

2. INTERNET – ÖKOLOGIEVERTRÄGLICH?

*Volker Türk/Michael Ritthoff/
Justus von Geibler/Michael Kuhndt*

Virtuell = umweltfreundlich?
Der ökologische Rucksack des Internets

Internet – ein Hoffnungsträger

Wohl kaum eine technische Innovation hat sich je so schnell ausgebreitet wie das, was gemeinhin als „Internet“ bezeichnet wird. War der Terminus bis zu Beginn der 90er Jahre nur Experten geläufig, so wandelte es sich seit Mitte des vergangenen Jahrzehnts zum Massenmedium. Wengleich die Schätzungen über die Anzahl der Nutzer weit streuen, so geben die folgenden Zahlen doch einen Eindruck über die derzeitige Verbreitung. eMarketer (2001) geht beispielsweise davon aus, dass 2001 weltweit ca. 300 Millionen aktive Internetnutzer zu verzeichnen waren (Europa: 108 Millionen, Deutschland: 30 Millionen), für 2005 werden bereits 640 Millionen Nutzer vorhergesagt. Wengleich die erste Euphorie ob der neuen Technik inzwischen einer gewissen Ernüchterung gewichen ist, erreichen uns dennoch beinahe täglich Meldungen über neue Inventionen und Innovationen aus diesem Bereich der Information und Kommunikation.

Marktforschungen haben ergeben, dass im Jahr 2000 rund 3 Mrd. Dollar in den Ausbau des europäischen Netzes geflossen sind, im 2001 sollen es 5,4 Mrd. gewesen sein (The Philips Group 2001). Intel ermittelte, dass von den 2005 benötigten Servern weltweit 2001 erst 4 Prozent im Einsatz waren (VDI Nachrichten 2001). Das Bundesinnenministerium hat im Dezember 2001 die eGovernment-Initiative „BundOnline 2005“ vorgestellt, die bei einem Finanzierungsbedarf von 1,65 Mrd. Euro bis zum Jahr 2005 376 öffentliche Dienstleistungen online bringen will. Auf der regionalen Ebene arbeitet z.B. die „Projekt Ruhr GmbH“ zusammen mit allen Kommunen

des Ruhrgebiets daran, wesentliche Elemente der öffentlichen Verwaltung unter einer einheitlichen Internetplattform Bürgern und Unternehmen digital zur Verfügung zu stellen. Und auf Seiten der EU werden die Veränderungen, welche die „Informationsgesellschaft“ mit sich bringen wird, als die einschneidendsten und bedeutendsten seit der Industriellen Revolution angesehen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des „Lissabon-Prozesses“ die Initiative e-Europa gestartet, die Europa zur Spitzenposition in diesem Veränderungsprozess verhelfen soll. Das einstmals wissens- oder wissenschaftsorientierte Internet scheint also zu einem universellen „Heilsbringer“ zu mutieren, ohne dass die Wirksamkeit bisher belegt worden ist.

Dabei werden das Internet und die sich dahinter verbergende Infrastruktur gemeinhin nicht mit signifikanten Umwelteinwirkungen assoziiert. Es herrscht die Annahme vor, dass dieses weltumspannende Kommunikationsmedium genauso virtuell sei wie sein Inhalt. Zuweilen wird es gar als eine der Innovationen angesehen, die eine nachhaltige, weniger ressourcenintensive Lebensweise ermöglichen könnte. In diesem Sinne äußert sich beispielsweise die Europäische Kommission in dem Bericht „Umwelttechnologie für eine nachhaltige Entwicklung“ (EU 2002). Mit dieser Technologie könnten natürliche Ressourcen durch Prozessoptimierung, Produktverbesserung, Wechsel von Produkten zu Dienstleistungen oder Strukturwandel effizienter genutzt werden.

Umwelteffekte der Internetnutzung

Der materielle Lebenszyklus des Internet

Welche Infrastruktur verbirgt sich nun hinter diesem „virtuellen Medium“ und welche Umwelteffekte sind mit ihr verbunden?

Ein Blick hinter die Kulissen „des Internets“ offenbart eine überraschend breite materielle Ausgangsbasis. Der Übersichtlichkeit halber lässt sich die Infrastruktur, ohne die dieses Massenmedium nicht möglich wäre, in vier Kategorien einteilen:

Geräte zum Netzwerkzugriff: Auf der Nutzerseite sind an erster Stelle der PC oder das Notebook zu nennen, welche in Kombination mit einem Modem oder einer Netzwerkkarte die Eingangstore in das weltumspannende Netz darstellen. Schätzungen gehen davon aus, dass Ende 2000 alleine in Deutschland ca. 28 Millionen PCs instal-

liert waren, rund 2 Mio. mehr als im Jahr davor (BITKOM 2001). Dabei verfügten im Jahr 2000 ca. 25 Prozent aller Haushalte über einen Internetzugang; dies entspricht etwa 10 Millionen privat betriebenen internetfähigen Rechnern (Net Value 2000). Als multifunktionale Geräte dienen diese in den meisten Fällen aber auch anderen Anwendungen, wie der Textverarbeitung, der Grafikbearbeitung, dem Abspielen von Audio- und Videodateien oder der Eliminierung von Außerirdischen, Moorhühnern und anderen bedauernswerten Kreaturen. Dieses Phänomen der Multifunktionalität der zum Einsatz kommenden Geräte ist insofern von Relevanz, als dass bei der Abschätzung von deren Material- und Energieverbräuchen die Frage aufkommt, welcher Anteil dem Internet „anzulasten“ ist. Eine Frage, die übrigens nicht nur auf der Nutzerseite Probleme bereitet, sondern die auch für die gesamte Kommunikationsinfrastruktur von Bedeutung ist. Die Zeiten, in denen über den Monopolisten fast ausschließlich Telefonverbindungen vermittelt wurden, sind lange vorbei.

Das Phänomen der Multifunktionalität wird in zunehmendem Maße noch von dem der Konvergenz ergänzt. Darunter wird das Zusammenwachsen vormals getrennter Geräte oder Dienstleistungen verstanden. Schon jetzt kann auf ausgewählte Internetapplikationen mit dem Handy oder dem Handheldcomputer zugegriffen werden. Zukünftig werden sich auch über den Fernseher mit Hilfe von so genannten Set-Top-Boxen, das Auto und ggf. auch den Kühlschrank Verbindungen zum Internet aufbauen lassen. Die digitalen Informationen werden zudem nicht nur über die Kabel und Richtfunkstrecken der Telekommunikationsanbieter fließen, sondern auch über das Kabelfernsehen oder die Stromleitungen der Energieversorger bereitgestellt werden können.

Geräte zur Bereitstellung der Inhalte: Alle bisher genannten Geräte sind die Eintrittstore, die auf der Anwenderseite Verbindung zum Internet aufnehmen. Dem stehen die Inhalte der Informations- und Serviceanbieter gegenüber, bereitgestellt auf Internet-, FTP-, Mail- oder anderen Servern. Dabei kann es sich entweder um separate physische Einheiten handeln oder aber nur um Partitionen auf größeren Geräten bzw. so genannten Server-Farmen. Ergänzt werden größere Ansammlungen solcher Geräte um die für den sicheren und dauerhaften Betrieb notwendigen Hilfsgeräte wie Klimatechnik und UPS (Uninterruptable Power Supplies).

Vermittelnde Geräte: Um die Daten zwischen den Nutzern und den Servern zu vermitteln, bedarf es oftmals noch einer Reihe weiterer Geräte, wie so genannte Router, Gateways, Repeater und Switches. Auch bei diesen kann es sich, aber muss nicht, um separate Geräte handeln. In den meisten Fällen sind die vermittelnden Geräte an Knotenpunkten des weltumspannenden Netzes lokalisiert, kommen somit also nicht so häufig vor wie die Geräte der beiden zuerst genannten Kategorien.

Datentransfer-Medien: Schließlich müssen die Daten nicht nur bereitgestellt und vermittelt, sondern auch transferiert werden. Als Transfermedien werden großteils Kupfer- oder Glasfaserkabel der Telekommunikationsanbieter verwendet, die zwischen den einzelnen Verteilungszentren (Hubs) oftmals Kabel mit größerer Übertragungskapazität, so genannte Backbones, verlegt haben. Alternativ können die Daten aber auch per Richtfunk oder Satellit übertragen werden.

Da die Telekommunikationsmärkte inzwischen weitgehend liberalisiert und zudem von einem starken Wettbewerbsdruck gekennzeichnet sind, sind vollständige und quantifizierende Angaben zur Netzwerkinfrastruktur kaum verfügbar. Im Rahmen einer Abschätzung der deutschen Netzwerkinfrastruktur kommt Türk (2001) zu dem Schluss, dass die derzeit gegebene Datenlage sichere quantitative Aussagen nicht zulässt.

Es stellt sich natürlich die Frage, ob und in welchem Umfang mit dieser umfangreichen Anzahl an Geräten welche Umwelteinwirkungen verbunden sind. Dies ist eine Fragestellung, die inzwischen auch einige der Telekommunikationsunternehmen selbst beschäftigt. Zusammengeschlossen in der Global eSustainability Initiative (GeSI) haben diese sich zum Ziel gesetzt zu untersuchen, welchen Beitrag die Informations- und Kommunikationstechnologie zu einer nachhaltigeren Entwicklung leisten kann. Zum Start von GeSI brachte der Direktor des UN-Umweltprogramms (UNEP), Klaus Töpfer, die Hoffnung zum Ausdruck, dass die Telekommunikation einen Beitrag zur Reduzierung der globalen Umweltprobleme leisten könne. Die Auswirkungen von Internetanwendungen auf eine nachhaltige Entwicklung untersucht das Forschungsprojekt „Digital Europe: E-Business and sustainable development“. Hierbei werden in Zusammenarbeit mit multinationalen Unternehmen des Informations- und Kommunikationssektors die unterschiedlichen Umweltwirkungen des Inter-

nets und seiner Anwendung anhand mehrerer Fallbeispiele untersucht.

Die unterschiedlichen Umweltauswirkungen des Internets werden in der Forschung (z.B. Fichter 2001; Kuhndt/Geibler 2001) in direkte Effekte, indirekte Effekte und durch Verhaltensveränderungen bedingte Effekte untergliedert (siehe auch den Beitrag von Angrick in diesem Jahrbuch). Dabei werden die durch die Infrastruktur hervorgerufenen Auswirkungen den direkten Effekten zugerechnet. Dazu zählen in erster Linie deren Energie- und Materialverbräuche sowie das öko- und humantoxikologische Potenzial der verwendeten Stoffe. Ein vollständiger Überblick auf die Umweltauswirkungen der Infrastruktur ist aber erst gegeben, wenn nicht nur die installierte Infrastruktur während der Nutzungsphase, sondern der gesamte Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung, betrachtet wird, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

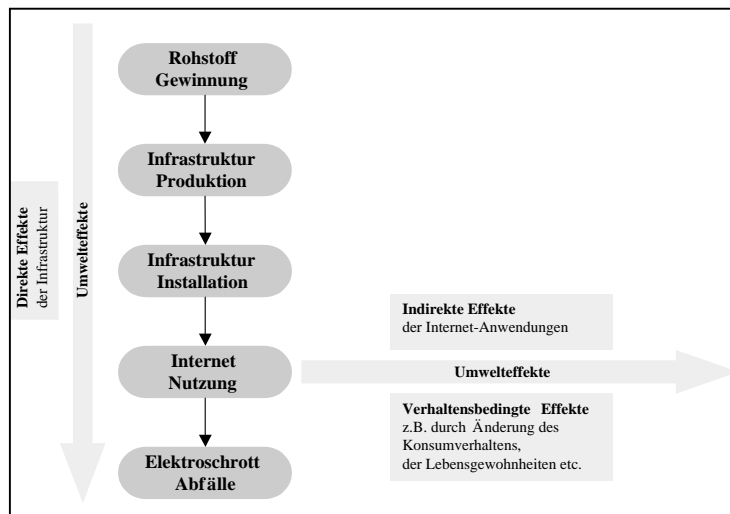


Abbildung: Lebenszyklusweite Umwelteffekte des Internets

Erkenntnisse über die Umwelteffekte sind für die verschiedenen Lebenszyklusabschnitte vereinzelt, über mehrere Abschnitte hinweg aber so gut wie nicht vorhanden. Eine den gesamten Lebenszyklus abdeckende, umfassende Untersuchung ist den Autoren nicht bekannt.

Das Hauptaugenmerk der bisherigen themenspezifischen Forschungsaktivitäten gilt dem Energieverbrauch während der Nutzungsphase sowie der Behandlung und Verwertung der sich auftürmenden Elektroschrotberge. Im Folgenden sollen zunächst diese beiden Aspekte beleuchtet werden, bevor erste Ergebnisse zur Abschätzung der lebenszyklusweiten Materialintensität vorgestellt werden.

Blickwinkel Toxizität

Ist die Anzahl der zum Einsatz kommenden Geräte schon vielschichtig, so ist die Betrachtung der zum Einsatz kommenden Funktions- und Strukturwerkstoffe noch sehr viel umfangreicher. Eine Auflistung der in PCs vorkommenden Elemente deckt einen nicht unbedeutenden Teil der Metalle und Nichtmetalle im Periodensystem der Elemente ab – von Aluminium, Blei, Cadmium und Chrom bis zu Indium, Quecksilber, Vanadium und Zink sind viele vertreten. Insbesondere die Schwermetalle und ihre Verbindungen sind oftmals von hoher toxikologischer Relevanz. Aber auch halogenierte Flammschutzmittel wie z.B. Tetrabrombisphenol A (TBBA) oder polybromierte Diphenylethern (PBDE), die in den Hauptplatinen und z.T. auch in den Monitorgehäusen zum Einsatz kommen, sind nicht unbedenklich. Im Brandfall (oder in der Müllverbrennungsanlage!) bilden sich wegen dieser Flammschutzmittel zudem größere Mengen an hochgiftigen Dioxinen und Furanen.

Problematisch sind allerdings nicht nur Teile der in den Geräten vorkommenden Materialien, sondern auch einige der während des Herstellungsprozesses verwendeten Substanzen. So sind die Abwässer aus der Halbleiterproduktion oftmals stark sauer und schwermetallhaltig, die Abluft enthält hochtoxische, reaktive und gefährliche Gase und Partikel und der während des Herstellungsprozesses entstehende Abfall Schwermetalle, organische Lösemittel und Arsen (World Bank Group 1998; Irish EPA 1997). Diese Stoffe stellen in der Regel keine relevante Gefahr während der Nutzung der Geräte dar, und auch in der Produktion gibt es aufgrund der notwendigen hohen Qualitäts- und Sicherheitsstandards kaum schwerwiegende Unfälle. Problematisch sind jedoch andere Phasen des Lebenszyklusses:

• *Robstoffgewinnung:* Hierbei sind z.B. der Abbau von Metallen und insbesondere die Gewinnung seltener Edelmetalle häufig mit starken Auswirkungen auf die lokalen und regionalen Ökosysteme verbunden.

⚡#*Herstellung*: Exemplarisch sei auf die Herstellung von Halbleitern verwiesen. Zur Vermeidung von Verunreinigungen werden z.T. chlorhaltige Lösungsmittel, Säuren und Basen verwendet; die Siliziumschichten der Halbleiterplatten werden mit unterschiedlichen Schwermetallverbindungen dotiert, und die Leiterbahnen werden unter Verwendung von Chlor-Organ- und Polyaromatischen-Verbindungen in die Oberfläche geätzt.

⚡#*Entsorgung*: Alleine in Deutschland fallen jedes Jahr mehr als 2 Millionen gebrauchte PCs, Drucker etc. an, die zu einem riesigen Müllberg führen, der sich nach Expertenmeinung mittelfristig verdreifachen wird (Frankfurter Rundschau 2001). Auf europäischer Ebene mussten 1998 sechs Millionen Tonnen Elektroschrott entsorgt werden (Steigerungsrate hier 5 Prozent pro Jahr). Über den Hausmüll entsorgt, landet der Elektroschrott entweder unbehandelt auf Deponien (und garantiert somit bereits heute die Entstehung zukünftiger Altlasten), wird einer „thermischen Verwertung“ in Müllverbrennungsanlagen zugeführt, deren Reinigungstechnik nicht für diese Schadstofffrachten dimensioniert wurde, oder landet auf weiten Wegen in Entwicklungsländern (Berichte über Elektroschrott in China machten Mitte des Jahres die Runde).

Die Relevanz der angeführten Punkte ist unbestritten, stellt aber für eine lebenszyklusweite Analyse eine bisher unlösbare Herausforderung dar. Der Aussagekraft toxikologischer Schädigungspotenziale von Stoffen auf Menschen und Umwelt sind gewisse Grenzen gesetzt, da Langzeitwirkungen vieler Stoffe so wenig bekannt sind wie ihre synergetischen oder antagonistischen Eigenschaften. Darüber hinaus ist es oft nicht möglich, auch nur für einen einzigen Stoff alle Auswirkungen auf die nichtlinearen, komplexen Systeme der Ökosphäre zu ermitteln, im Labor oder Freiland zu testen und zu quantifizieren.

Blickwinkel Energieverbrauch

Im Vergleich zu den toxikologischen Wirkungen verschiedener Stoffe sind die Energieverbräuche der Geräte relativ leicht messbar. Aus zwei Gründen stellt eine richtungssichere Abschätzung des Energieverbrauchs der Infrastruktur dennoch ein schwieriges Unterfangen dar:

Zum einen ist die Abgrenzung zwischen „internetbasierten“ und „nicht internetbasierten“ Verbräuchen schwierig. Zum anderen sind genauere quantitative Angaben für die überwiegende Mehrzahl der

verwendeten Geräte nicht vorhanden. Dennoch liegen zur Frage des Energieverbrauchs verschiedene, die gesamte Infrastruktur aggregierende Abschätzungen vor.

Als erster Versuch kann die Studie von Mills angesehen werden, die 1999 den internetbasierten Stromverbrauch in den USA auf 8 Prozent des Gesamtverbrauchs schätzte und von einer Steigerung auf bis zu 50 Prozent innerhalb eines Jahrzehnts ausging (Mills 1999). Ausgelöst durch die Publikation dieser enormen Zahlen, beschäftigte sich eine Arbeitsgruppe am Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) mit der Frage des Energieverbrauchs von Informationstechnologie und kam zu dem Ergebnis, dass Mills den Verbrauch überschätzt hatte; die Arbeitsgruppe bezifferte den Stromverbrauch aller Büro-, Telekommunikations- und Netzwerkgeräte auf landesweit lediglich 3 Prozent (Kooimey et al. 2001).

Für das Jahr 2000 beziffern in einer neuen, umfangreichen Studie Roth et al. (2002) den Stromverbrauch in den USA durch die gesamte Telekommunikations-Infrastruktur und durch Büro- und Informationsgeräte außerhalb der Haushalte auf 97 TWh/Jahr; das entspricht knapp 3 Prozent des gesamten Stromverbrauchs der USA. In den Haushalten kämen nochmals rund 10 TWh/Jahr hinzu. Darüber hinaus erstellten Roth et al. Zukunftsszenarien des Stromverbrauchs für die wichtigsten Komponenten und Geräte: Deren addierter Verbrauch steigt in zwei nicht ökologisch optimierten Szenarien von 85 TWh (rund 2,5 Prozent des landesweiten Verbrauchs) im Jahr 2000 auf 110 bzw. 135 TWh im Jahr 2010, während er im Szenario „Greening of IT“ auf 62 TWh fällt.

Erste Berechnungen dieser Art für Deutschland wurden am Wuppertal-Institut durchgeführt (Barthel/Lechtenböhmer/Thomas 2001). Für das Jahr 2000 ergibt sich durch Internet und Endgeräte ein Stromverbrauch von 4,2 TWh/Jahr, d.h. knapp 1 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland; aktualisierte Berechnungen gehen für 2001 von rund 1,3 Prozent aus. Je nach den Nutzungsgewohnheiten im Jahr 2010 und dem Sleep-Mode-Verbrauch der eingesetzten Endgeräte wurde jedoch für das Jahr 2010 ein Verbrauch zwischen 13 und 35 TWh/Jahr abgeschätzt, was 2 bzw. 6 Prozent des Gesamtstromverbrauchs entspricht. Die Differenz von 22 TWh, die durch effizientere Technik und ökologisch optimiertes Nutzerverhalten eingespart werden kann, entspricht etwa 2 Prozent der deutschen CO₂-Emissionen.

Zu ähnlichen Größenordnungen kommt Türk, nach dessen Berechnungen der Stromverbrauch des Internets in Deutschland im Jahr 2001 bis zu 1,7 Prozent des Gesamtstromverbrauchs ausgemacht hat. Bei einer Ausweitung des Betrachtungshorizontes auf den gesamten Lebenszyklus (d.h. inklusive der Produktions- und Verwertungsphase) der Geräte, dürfte der Gesamtverbrauch nicht mehr als 3 bis 4 Prozent des nationalen Verbrauchs ausgemacht haben, so die Schätzung (Türk 2001).

Betrachtet man den Energieverbrauch der Einzelgeräte, so zeigt sich, dass früher der Monitor der Hauptverbraucher des PC war, heute jedoch andere Bauteile mehr Energie verbrauchen. Die Ursachen sind in dem zunehmenden Einsatz neuer Monitore und LC-Displays, dem Einsatz der „Power-Save“-Funktionen und dem stetig steigenden Stromverbrauch von Haupt- und Grafikprozessor zu suchen.

Ein Blick zurück in die Geschichte des Computers offenbart hier eine interessante Entwicklung. Bei der Einführung des Intel-80386 Prozessors hatte dieser eine Stromaufnahme von etwa 1 W, beim 80486 waren es etwa 3 W, beim Pentium etwa 15 W, beim Pentium II bereits 35 W. Die aktuellen Pentium-4-Prozessoren verbrauchen dagegen ca. 65 W. (Berücksichtigen muss man dabei allerdings, dass die Rechenleistung in einem weit höheren Maße gestiegen ist. Die Computernutzer kaufen jedoch stets einen Computer, der mit gängiger Software arbeiten kann, nicht eine spezifische Rechenleistung.) Hinsichtlich ihrer flächenspezifischen Heizleistung überbieten heutige Prozessoren damit elektrische Herdplatten z.T. deutlich. Da im Gegensatz zu diesen die Wärmeentwicklung bei Prozessoren unerwünscht ist und innerhalb kurzer Zeit zu einer Beschädigung führen kann, muss sie aktiv abgeführt werden, was neben einem weiteren Stromverbrauch unter anderem Lärm verursacht. Hinzu kommt, dass inzwischen separate leistungsfähige Grafikprozessoren einen ähnlichen Energieverbrauch zeigen wie die eigentlichen Hauptprozessoren und selbst einige bisher unkritische Bauelemente, wie der Chipsatz, aufgrund ihres teilweise hohen Stromverbrauchs bisweilen eine zusätzliche Kühlung benötigen.

Blickwinkel Materialverbrauch

Eine Betrachtung der lebenszyklusweiten Umwelteffekte des Internets kann auch aus dem Blickwinkel des Materialverbrauchs durchgeführt werden. Ein solcher Ansatz weist gegenüber dem Blickwinkel der To-

xizität und des Energieverbrauchs gewisse Vorteile auf. Eine toxikologische Analyse kann zwar einige der problematischen Stoffströme, aber nicht die u. U. mengenmäßig bedeutsamen Materialverbräuche beachten. Aus diesem Grund ist die Betrachtung des Ressourceneinsatzes, d.h. der Input-Seite des Produktionsprozesses, wichtig. Der Energieverbrauch kann dabei in den Materialverbrauch einbezogen werden. Damit wird auch die Extraktionsseite, also die Materialgewinnung und die damit verbundenen Eingriffe in die Natur, berücksichtigt und infolge der Massenerhaltung zugleich indirekt auch die Output-Seite betrachtet.

Bei einer vergleichbaren Eingriffstiefe kann davon ausgegangen werden, dass die Verringerung der Inputs in einem annähernd analogen Verhältnis zur Reduktion der freigesetzten Schadstoffe (Reststoffe und Emissionen) auf der Output-Seite steht. Betrachtungen der Materialintensität von Produkten, Gütern, Dienstleistungen stellen dabei eine handhabbare Möglichkeit zur richtungssicheren Abschätzung des Umweltverbrauchs her.

Ausgehend von diesem grundlegenden Prinzip, wurde am Wuppertal-Institut das MIPS-Konzept (Materialinput pro Serviceeinheit) entwickelt, das die lebenszyklusweiten Materialeinsätze (MI) erfasst und zudem die Möglichkeit bietet, nicht mehr nur Produkte in den Mittelpunkt der Betrachtung zu stellen, sondern die von ihnen erbrachte Dienstleistung (Schmidt-Bleek 1994). Mit Hilfe des MIPS-Konzepts wurden verschiedene Abschätzungen des Umweltverbrauchs von Computern durchgeführt, die jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen und die starke Dynamik und Variationsbreite des gesamten Segments widerspiegeln.

Ein grundsätzliches Problem solcher Betrachtungen besteht darin, dass bisher überwiegend Strukturwerkstoffe (wie Stahl, Aluminium, Kunststoffe) einer ökologischen Untersuchung unterzogen wurden, die für einen Computer wichtigen Funktionswerkstoffe (wie Halbleiter, Leuchtstoffe etc.) aber kaum. Eine erste Bewertung weist darauf hin, dass trotz der geringen Masse ihr Anteil am gesamten Umweltverbrauch von Computern beträchtlich ist. Wesentliche Bauteile sind dabei die eingesetzten Halbleiter, die Speicherbausteine, Grafikchip und Chipsatz, welche in der Herstellung besonders ressourcenintensiv sind.

Für die Herstellung einer Workstation inklusive Monitor schätzen Grote und Malley (1997) den Materialverbrauch auf etwa 11 t. Die-

ser Materialverbrauch liegt bei weitem über dem Verbrauch für die Herstellung eines heute gängigen PCs, die etwa 0,5 bis 1,5 t Material bedarf. Gründe für diese stark variierenden Werte liegen in der unterschiedlichen Ausstattung, aber auch in den Stückzahlen (Effizienz bei der Produktion) und in der steigenden Integrationsdichte bei der Computerherstellung. Dies könnte als Indiz dafür gewertet werden, dass die Herstellung von PCs in der Tendenz ressourceneffizienter wird, bei stetig steigender Leistung.

Etwas anders verhält es sich bei der Herstellung des Monitors, da hier durch die steigende durchschnittliche Größe (Bildschirmdiagonale) Effizienzgewinne kompensiert oder überkompensiert werden. Da der Monitor auf den Ressourcenverbrauch des „Komplettsystems PC“ einen entscheidenden Einfluss hat, kann von insgesamt eher gleich bleibenden Ressourcenverbräuchen für die Herstellung kompletter Systeme ausgegangen werden. Der Einfluss der zunehmenden Verwendung von LC-Displays kann in seiner Wirkung noch nicht hinreichend sicher abgeschätzt werden. Hier besteht die berechtigte Hoffnung, dass infolge steigender Stückzahlen die Effizienz der Produktion zunehmen und sich die Ausschussquote reduzieren wird. Dass dieser Vorgang bereits eingesetzt hat, wird insbesondere an den gesunkenen Preisen deutlich.

War bei der Betrachtung der Workstation noch die Herstellung dominierend, so gewinnt seit einiger Zeit die Nutzung an Bedeutung. Der Stromverbrauch während der Nutzungsphase schlägt sich dann in nicht unbedeutendem Maße auf die lebenszyklusweiten Ressourcenverbräuche nieder. Berechnet man, von dem Stromverbrauch eines heutigen PCs (100–150 Watt) ausgehend, den mit der Stromerzeugung verbundenen Materialverbrauch, so zeigt sich, dass bei einem relativ sparsamen System und zurückhaltender Benutzung von einer Stunde pro Tag und einer durchschnittlichen Lebensdauer von drei Jahren etwa 300 kg abiotische Rohstoffe für die Stromerzeugung (europäischer Strommix) benötigt werden. Bei intensiver Nutzung am Arbeitsplatz kann der Wert aber leicht auch 1200-1500 kg erreichen – und damit den Ressourcenverbrauch der Herstellung gar überbieten.

Zur Ermittlung der Stoffströme, die für das Internet induziert werden, müssen neben den Ressourcenverbräuchen der Einzelgeräte noch die anderen Teile der Internetinfrastruktur berücksichtigt werden. In einer Studie über die Internetinfrastruktur in Deutschland

kommt Türk (2001) zu dem Schluss, dass dieses Forschungsfeld noch recht unbearbeitet ist und belastbare Ergebnisse praktisch nicht vorhanden sind. Das Internet ist bisher kein abgrenzbarer Sektor, der in den offiziellen Statistiken auftaucht und verlässlich abgebildet wird.

Dennoch sind richtungssichere Abschätzungen in diesem Bereich dringend geboten, und erste Forschungsinitiativen haben sich gebildet. So führt das Wuppertal-Institut im Rahmen des Projektes „Digital Europe“ in Kooperation mit Hewlett-Packard eine Analyse der Ressourceneffizienz von Handheld-Computern und Laptops durch. Außerdem werden die Auswirkungen der verstärkten Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie auf nationaler Ebene für mehrere Länder untersucht. Im Auftrag der Bundesregierung hat sich die Initiative „Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik (NIK)“ gebildet, die unter der Beteiligung führender Forschungseinrichtungen ein Roadmap für eine nachhaltige Informationstechnik in Deutschland initiieren soll. Ziel ist es, Innovationspfade aufzuzeigen, wie die ökonomischen Potenziale der IuK-Technik mit den ökologischen Anforderungen des Leitbilds „Nachhaltiger Entwicklung“ in Einklang gebracht werden können.

Fazit

Die Entwicklung der Internetnutzung ist in den letzten Jahren beträchtlich vorangeschritten. Hiermit ist eine Reihe von unterschiedlichen Umwelteffekten verbunden. Die direkten Effekte durch die Internetinfrastruktur wurden in Bezug auf Toxizität, Energie- und Materialverbrauch dargestellt. Daraus lässt sich folgern:

Die Auswirkungen auf die Umwelt durch das Internet sind relevant und werden es auch bleiben. Dies liegt an der weiterhin steigenden Anzahl von Computern und Peripheriegeräten sowie der zunehmenden Durchdringung des Lebensalltags mit netzbasierten Diensten und Geräten. Infolge höherer Leistung und längerer Nutzung pro Tag wird der Energieverbrauch und damit verbunden der generelle Ressourcenverbrauch während der Nutzungsphase weiter ansteigen. Wann durch das Erreichen einer Sättigung der Nachfrage, aufgrund von Effizienzgewinnen in der Herstellung die verursachten Umwelteffekte zurückgehen werden, ist zur Zeit noch nicht absehbar.

Die vorgestellten Untersuchungen sind nur erste Ergebnisse zur direkten Umweltrelevanz des Internets. Es besteht weiterer Forschungs-

bedarf. Zur Beurteilung des „Gesamtsystems Internet“ sind insbesondere die Auswirkungen seiner Anwendungen (indirekte Effekte) und die ausgelösten Veränderungen des Konsumverhaltens und der Lebensgewohnheiten (verhaltensbedingte Effekte) einzubeziehen. Die Datenlage ist für Forschungszwecke ein limitierender Faktor. Dies ist allerdings nicht verwunderlich, handelt es sich beim Internet ja nicht um ein singuläres Produkt oder eine einzelne Produktkette, sondern um ein überaus komplexes System, ein System, welches zudem schwer einzugrenzen ist und aufgrund der kurzen Innovationszyklen große Technologiesprünge aufweist. Um dennoch die Umwelteffekte verlässlich abschätzen zu können, muss der Informationsaustausch zwischen den beteiligten Akteuren verbessert werden. Viel versprechende Ansätze sind Forschungs- und Unternehmenskooperationen.

Aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen lässt sich erheblicher Handlungsbedarf für die weitere Ausgestaltung des Internets ableiten. Grundsätzlich sollten die Akteure, die mit dem Ausbau der Infrastruktur befasst sind, Umwelteffekte schon im Planungsstadium berücksichtigen. Dies wird allerdings nur dann in hinreichendem Maße geschehen, wenn die dafür notwendigen Informationen zur Verfügung stehen.

Aufgabe der Forschung ist es, die gewonnenen Erkenntnisse schnell und akteurspezifisch aufzubereiten. Des Weiteren ist es wichtig, die politischen Rahmenbedingungen daraufhin zu überprüfen, inwieweit sie in der Lage sind, die richtigen Anreize für die ökologisch optimierte Herstellung und Nutzung des Internets zu geben.

Literaturhinweise

Barthel, Claus/Lechtenböhrer, Stefan/Thomas, Stefan: GHG Emission Trends of the Internet in Germany, in: Langrock, Thomas/Ott, Hermann E./Takeuchi, Tsuneo (Eds.): Japan & Germany: International Climate Policy & the IT Sector, Wuppertal Spezial 19, Wuppertal: Wuppertal-Institut 2001.

BITKOM (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien): Wege in die Informationsgesellschaft. Berlin: BITKOM, 2001.

Deutscher Bundestag (Hg.): Innovationen zur Nachhaltigkeit: Ökologische Aspekte der Informations- und Kommunikationstechniken, Bonn 1998.

eMarketer: in: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Monitoring Informationswirtschaft – Studie von Infratest Burke GmbH & Co. und das Institute for Information Economics, Berlin: BMWi 2001.

Europäische Union: Umwelttechnologie für eine nachhaltige Entwicklung, Bericht der Europäischen Kommission KOM (2002) 122.

- Fichter, K.*: Umwelteffekte von E-Business und Internetökonomie: Erste Erkenntnisse und umweltpolitische Schlussfolgerungen, Arbeitspapier für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin 2001.
- Frankfurter Rundschau 22.08.01*: Beim Computermüll hört der Service auf.
- Grote, Andrea/Malley, Jürgen*: Schwergewicht, Der PC hinterläßt enorme Spuren in der Umwelt. *c't*, 5/1997.
- Irish Environmental Protection Agency (EPA)*: The Use of Cleaner Production Technologies in Metal Finishing and Electronic Industries – Synthesis report, EPA, Wexford/Ireland 1997.
- Koomey, Jonathan*: Rebuttal to Testimony on ‚Kyoto and the Internet: The Energy Implications of the Digital Economy‘, Berkeley, CA, USA: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-46509. [Online]. Quelle: <http://enduse.LBL.gov/Projects/InfoTech.html> [2 August 2001].
- Koomey, Jonathan/Kawamoto, Kaoru/Nordman, Bruce/Piette, Mary Ann/Brown, Richard E.*: Memorandum on ‚Initial comments on ‚The Internet Begins with Coal‘‘ to Skop Laitner, EPA Office on Atmospheric Programs. Berkeley, CA, USA: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-44698. [Online]. Quelle: <http://enduse.LBL.gov/Projects/InfoTech.html> [2 August 2001].
- Kubndt, M./von Geibler, J.*: Auswirkungen des elektronischen Geschäftsverkehrs auf die Ressourceneffizienz: Perspektiven der Forschung, in: Umweltwirtschaftsforum, September 2001, S. 15-19.
- Mills, Mark P.*: The Internet Begins with Coal: A Preliminary Exploration of the Impact of the Internet on Electricity Consumption, Arlington/VA, USA 1999. [Online]. Quelle: <http://www.fossilfuels.org/Electric/internet.htm> [11 July 2001].
- Net Value*: [Online]. Quelle: <http://www.zdnet.de/news/artikel/2000/05/31006-wc.html> [2. Dezember 2001].
- Roth, Kurt W./Goldstein, Fred/Kleinman, Jonathan*: Energy Consumption by Office and Telecommunication Equipment in Commercial Buildings, Cambridge (MA): Arthur D. Little Inc. 2002.
- Schmidt-Bleek, Friedrich*: Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften, Berlin/Basel/Boston: Birkhäuser 1994.
- Silicon Valley Toxics Coalition*: [Online]. Quelle: <http://www.svtc.org> [15 September 2001].
- The Philips Group*, in: VDI Nachrichten 30. März 2001, Netzknoten sind wahre Stromfresser.
- Türk, Volker*: Assessing the Resource Intensity of the Internet Infrastructure: Data Analysis for a Material-Flow Oriented Approach and First Results on Electricity Consumption, M. Sc. Thesis, Lund University 2001. [Online]. Quelle: <http://www.iiee.lu.se/information/library/publications/2002/volker.html>
- World Bank Group/United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)*: Toward cleaner production, Washington/D.C. 1998.