# LCA des Mobilfunksystems UMTS

ausgearbeitet durch ESU-services
**Mireille Faist Emmenegger**
**Rolf Frischknecht**
**Niels Jungbluth**

unter Mitarbeit von
**Michael Guggisberg, Swisscom AG**
**Markus Stutz, Motorola**
**Tim Otto, Deutsche Telekom**
**Res Witschi, Swisscom AG**

Finanziert durch
**ETHZ, Forschungsstiftung Mobilkommunikation**

Uster, April 2003 Endbericht

## Impressum


| | |
|---|---|
| *Titel:* | LCA des Mobilfunksystems UMTS |
| *Finanziert durch:* | ETHZ, Forschungsstiftung Mobilkommunikation |
| *Liability Statement* | Information contained herein have been compiled or arrived at ESU-services from sources believed to be reliable. Nevertheless, ESU-services or the authors do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility. |



*Autoren:*

Dr. Mireille Faist Emmenegger
Dr. Rolf Frischknecht
Dr. Niels Jungbluth
ESU-services
Kanzleistrasse 4, 8610 Uster
Tel. 01 940 61 35, Fax 01 940 61 94
faist@esu-services.ch
www.esu-services.ch

# Kurzfassung

Ziel des Projektes ist es, die umweltbezogene Nachhaltigkeit des UMTS-Mobilfunksystems zu ermitteln, das in der Schweiz durch verschiedene Anbieter aufgebaut wird. In diesem Bericht wird eine Ökobilanz des UMTS-Mobiltelekommunikationssystems vorgestellt. Bilanziert werden die benötigten Elemente des Mobilnetzes (Mobiltelefon, Basisstation-System inkl. Antennen, Switching-System, Verwaltung) und des Festnetzes (Kabelsystem, Telefonzentralen, Verwaltung). Die funktionelle Einheit ist eine Datenmenge (1 Gbit), die von einem Mobil- zu einem anderen Mobil- bzw. zu einem Festnetzanschluss gesendet wird. Es wird für diese Studie angenommen, dass in einem schweizerischen UMTS-Netz im betrachteten Ausbaustandard ca. 3 mal mehr Daten als im GSM-Netz fliessen.

Vergleicht man die Datenübermittlung im GSM- bzw. im UMTS-Netz, so zeigt es sich, dass die Übermittlung von 1 Gbit in allen betrachteten Kategorien (kumulierter Energieaufwand, Treibhauseffekt, Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average)) mit dem UMTS-Netz ökologisch günstiger ist als mit dem GSM-Netz. Für 1 Gbit Datenübertragung Mobil zu Mobil werden im GSM-Netz 1.3 GJ-eq. benötigt bzw. 44 kg $CO_2$-eq. ausgestossen, während die gleiche Datenmenge im UMTS-Netz nur 0.94 GJ-eq. bzw. 27 kg $CO_2$-eq. verursacht. Dieser Unterschied ist auf die grössere Kapazität des UMTS-Netzes zurückzuführen, die zu einer besseren Umweltleistung pro Dateneinheit führt.

Das UMTS-Netz im geplanten Ausbauzustand für 2004 und mit der entsprechend berechneten Anzahl Kundinnen verursacht jedoch pro Kundin 2.1x mehr Treibhausgase und braucht 2.4x mehr Energie als das GSM-Netz in seinem aktuellen Ausbaustand. Der Ausbau des UMTS-Netzes wird also in Bezug auf die gesamte Bilanz der Telefonkommunikation von einem vermehrten Verbrauch von Ressourcen und Ausstoss von Emissionen begleitet. Es muss dabei angemerkt werden, dass die UMTS-Technologie andere Dienste als das GSM-Netz unterstützt und dadurch die Vergleichbarkeit nur beschränkt gegeben ist. Da es sich bei der UMTS-Technologie um eine neue Technik handelt, kann davon ausgegangen werden, dass sie am Anfang einer Lernkurve steht bzw. noch grosse Verbesserungspotentiale vorhanden sind.

Ein Datentransfer von Mobil zu Mobil zeigt gegenüber Mobil zu Festnetz höhere Ressourcenaufwendungen und Emissionen. Das Mobiltelefon ist aus Umweltsicht das wichtigste Element des Mobilfunknetz-Systems. Die Herstellung des Geräts selber trägt dabei den Hauptanteil (ca. 90%) der Umweltbelastungen des Mobiltelefons bei. Dies ist hauptsächlich auf den Einsatz von Halbleiterlementen und Edelmetallen in den elektronischen Komponenten der Mobiltelefone zurückzuführen. Durch ihren hohen Strombedarf tragen die Basisstationen (je nach Bewertungsmethode) zu 25-40% der Umweltbelastungen einer Datenübertragung Mobil zu Mobil bei. Die Transporte spielen eine wichtige Rolle in der Bilanz der elektronischen Komponenten. Dies wird durch die grosse Distanz zwischen den Fertigungsstätten (Asien) und durch das Transportmittel (Flugzeug) verursacht. Wichtige Bestandteile (bezüglich Ressourcenverbrauch und Emissionen) des Festnetzes sind das Kabelsystem des Anschlussnetzes, das sehr viel Kupfer enthält, sowie die Telefonzentralen, die einen hohen Stromverbrauch haben.

Vier Szenarien wurden gerechnet. Sie zeigen folgende Resultate:

- Der Stromverbrauch für den Betrieb des Netzes und damit der Strommix ist ein wesentlicher Parameter für die Umweltleistung der Mobiltelekommunikation. Der Bezug von deutschem statt Schweizer Strom für den Betrieb des UMTS-Netzes würde zu einer Verdoppelung der Treibhausgas-Emissionen pro Gbit führen.

- Bestrebungen, NIS-hot spots durch eine Begrenzung der Anzahl Makrosites bzw. eine vollständige Aufhebung der Makrosites zu vermeiden, würden zu einer Erhöhung der Anzahl Basisstationen führen. Dies hätte eine erhebliche Zunahme der Umweltbelastungen pro übertragene Datenmenge zur Folge (je nach Szenario bis zu 65%). Allerdings muss bemerkt werden, dass die nichtionisierende Strahlung in der Bilanzierung ausgeklammert wurde, da sie mangels wissenschaftlichem Konsens (noch) nicht in Ökobilanzbewertungs-methoden einbezogen werden kann.
- Das Benutzen von kombinierten Geräten ist ökologisch günstiger als das Benutzen von zwei separaten Geräten. Dies gilt allerdings nur, wenn das kombinierte Gerät alle Funktionen der separaten Geräte ersetzt.
- Eine dezentrale Speicherung von Daten mit einem Speicherchip ist von Vorteil, da der Energieverbrauch dieser Speicherform vernachlässigbar ist. Die zentrale Speicherung ist in der Herstellung pro gespeicherte Gbit allerdings umwelteffizienter.

Die Datenqualität kann dank der Zusammenarbeit mit Industriepartnern generell als gut bezeichnet werden. Für die wichtigsten Netzelemente (Mobiltelefon und Basisstation) konnten UMTS-spezifische Daten benutzt werden, für die anderen Netzelemente wurde auf Daten für das GSM-Netz zurückgegriffen. Allerdings fehlen noch Erfahrungswerte zum Betrieb der UMTS-Geräte und zum Datenfluss im UMTS-Netz, da dieses Netz noch nicht in Betrieb ist.

Es besteht noch Forschungsbedarf bei der Bilanzierung der Elektronikherstellung (Prozessemissionen und Herstellung der Betriebsmittel) und des Abbaus und der Verarbeitung seltener Metalle. Im Bereich des Stromverbrauchs wären verlässlichere Daten für Endgeräte und Basisstationen im Betrieb und in Abhängigkeit der Auslastung erwünscht.

Durch die Verzögerung der Einführung des UMTS-Netzes sind noch keine Betriebsdaten und Erfahrungswerte zu Datenfluss sowie Betrieb und Anzahl der Netzelemente vorhanden. Sobald solche Daten vorliegen, müssten die Resultate dieser Studie anhand dieser Erfahrungswerte überprüft werden.

Der Telekommunikationsbereich zeichnet sich durch zahlreiche Innovationen aus. So werden durch die Erhöhung der Netzkapazität neue Anforderungen an die Speicherung von Daten gesetzt. Alternativen in diesem Bereich konnten in dieser Studie nur grob dargelegt werden. Neben dem UMTS-Netz sind als Innovationen die verschiedenen Datenkommunikationstechnologien im Bürobereich, insbesondere Kupferkabel (Baseline), Glasfaser, WLAN, UMTS und Bluetooth noch wenig untersucht. Insbesondere fehlen Empfehlungen, welche Technologien für welche Telekommunikationsdienste aus Umweltsicht am besten eingesetzt werden. Eine Ökobilanz dieser Übertragungstechnologien könnte wichtige Bausteine zum umweltbezogenen Vergleich von Diensten liefern.

# Glossar

| Begriff | Bedeutung in dieser Arbeit |
|---|---|
| GSM | Globales System für Mobilkommunikation. In Europa entwickelte, mittlerweile weltweit dominierende Mobilfunktechnik in den Bereichen 900 MHz (D- und E- Netze), 1800 MHz (E-Netze) und 1900 MHz (überwiegend USA). Überträgt 9600 bit/s, max. bis 14.4 bit/s pro Kanal. |
| Taxminuten | Eine Taxminute ist eine verrechenbare Minute. Ein Gespräch kann mehrere Taxminuten haben (A ruft B an, B hat eine Umleitung auf C, dann wird die Strecke A-B an A und die Strecke B-C an B verrechnet). Dieser Anteil wird jedoch als vernachlässigbar angenommen. |
| UMTS | Universelles Mobiltelekommunikationssystem. Mobilfunktechnik der dritten Generation für höhere Datenraten von bis zu 384 kbit/s. Funkt im 1900 MHz Bereich, ist aber trotz des Namens nicht weltweit kompatibel. |

# Abkürzungen

| | **Deutsch** |
|---|---|
| >A | Emissionen in die Atmosphäre |
| >R | Ressourcen |
| >S | Emissionen in den Boden |
| >W | Emissionen in Gewässer |
| a | Böden für Nahrungsmittelproduktion |
| BSC | Base Station Controller, Basisstationsteuerung (GSM) |
| BSS | Base Station System, BSC und BTS (GSM) |
| BTS | Base Transceiver Station, Basisstation (GSM) |
| eco$^{mc}$ | Ökobilanz Datenbank der Firma ESU-services |
| E-1 | Exponentielle Schreibweise für Zahlen. Die Angabe 1.2E-2 wird z.B. als 1.2 * $10^{-2}$ = 0.012 gelesen. |
| EI'99 | Eco-Indicator '99 |
| ETH | Eidgenössische Technische Hochschule |
| f | Emissionen ins Süsswasser |
| Gbit | 1'000'000 kbit |
| GB | 1 Gigabyte = 8'388'608 kbit |
| GGSN | Gateway GPRS Support Node (UMTS), entspricht GMSC bei GSM |
| GMSC | Gateway Mobile Switching Center (GSM) |
| GPRS | General Packet Radio System, erster Always-on-Betrieb für Mobile Daten, Geschwindigkeit zunächst rund 50 kbit/s |
| GSM | Globales System für Mobilkommunikation, ursprünglich: Groupe Spécial Mobile |
| H | Hierarchist |
| HLR | Home Location Register |
| I | Individualist |
| kbit | 1'000 bit |
| kbyte | 1'024 byte (1 byte = 8 bit) |
| KVA | Kehrichtsverbrennungsanlage |
| LCA | Ökobilanz |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LCI | Sachbilanz |
| Li-Ion | Lithium-Ion |
| m | mobile Quelle von Luftschadstoffen |
| MB | 1 Megabyte |
| MGW | Media Gateway |
| MSC | Mobile Switching Center (UMTS) |
| n.a. | nicht angegeben |
| NIS | Nichtionisierende Strahlung |
| ÖvE | Ökoinventare von Energiesystemen |
| p | prozessbedingte Emission von Luftschadstoffen |
| RNC | Radio Network Controller (UMTS), entspricht BSC (GSM) |
| RNS | Radio-Network-System (UMTS), entspricht BSS (GSM) |
| s | Emissionen in Meere |
| s | stationäre Quelle von Luftschadstoffen |
| SGSN | Serving GPRS Support Node (UMTS), auch Packet MSC genannt, entspricht GSM-MSC |
| UBP | Umweltbelastungspunkte |

| | |
|---|---|
| UMTS | Universelles Mobiltelekommunikationssystem |
| USV | Unterbruchslose Stromversorgung, auch Notstromversorgung genannt |
| VoIP | Voice over IP, Sprache als Datenpakete mit dem Internet-Protokoll übertragen |

# Verdankung

Wir danken allen Personen, die uns im Rahmen dieser Studie Informationen zur Verfügung gestellt haben.

# Inhalt

**KURZFASSUNG** **I**

**GLOSSAR** **III**

**ABKÜRZUNGEN** **IV**

**VERDANKUNG** **V**

**1 ZIELSETZUNG UND METHODE** **1**

1.1 Zielsetzung 1
1.2 Die Ökobilanz-Methode 1
1.3 Berechnen der kumulierten Energie- und Stoffflüsse 4

**2 SYSTEMDEFINITION** **5**

2.1 Funktionelle Einheit 5
2.2 Datengrundlagen 6
2.3 Bewertungsmethoden und Auswertung der Ergebnisse 6
2.4 Netzelemente 7
2.5 Datenverkehr 9
2.6 Zurechnung der UMTS- bzw. GSM-Netzbestandteile 10
2.7 Zurechnung der Festnetz-Netzbestandteile 11

**3 SACHBILANZ** **12**

3.1 UMTS-System 12
3.2 GSM-System 17
3.3 Kennzahlen Energieverbrauch 19

**4 RESULTATE** **20**

4.1 UMTS-Netz 20
4.2 Vergleich des UMTS-Netzes mit dem GSM-Netz 31

**5 SZENARIEN** **34**

5.1 Beschreibung der Szenarien 34
5.2 Resultate 42

**6 FOLGERUNGEN UND AUSBLICK** **48**

6.1 Vergleich des UMTS-Netzes mit dem GSM-Netz 49
6.2 Wichtige Parameter in der Mobiltelekommunikation 49
6.3 Neue Trends in der Mobiltelekommunikation 50
6.4 Einbindung der Strahlung in der Ökobilanzierung 50
6.5 Datenqualität 51
6.6 Forschungsbedarf 52

**ANHANG** **53**

**A ÖKOBILANZ BEWERTUNGSMETHODEN** **53**

A.1 Übersicht zu den Methoden 53
A.2 Eco-indicator 99 54
A.3 Klimaänderungspotential 57
A.4 Methode der ökologischen Knappheit 1997 58

**B DATENGRUNDLAGEN** **61**

B.1 LCD-Display 61
B.2 Li-Ion-Batterie 62
B.3 UMTS-Basisstation, ab Werk 63
B.4 GSM-Mikrobasisstation 65
B.5 Klimaanlage, Basisstation 68
B.6 Festnetz, Netzelemente des Zugangs- und Verbindungsnetzes (ohne Kabel) 73
B.7 Festnetz, Kabelsystem 78

**LITERATUR** **82**

# 1 Zielsetzung und Methode

Der Bedarf nach Mobilkommunikations-Dienstleistungen weist hohe Wachstumsraten auf. Der Aufbau von Mobilfunknetzen erfolgt rasch und wird hauptsächlich durch ökonomische und gesetzliche Betrachtungen und Randbedingungen gesteuert. Umweltaspekte beschränken sich bis heute hauptsächlich auf einzelne Aspekte wie nichtionisierende Strahlung von Antennen und Mobiltelefonen oder Stromverbrauch von Telefonzentralen. Ein mehr oder weniger vollständiges Bild der verschiedenen Umweltauswirkungen des Mobilfunksystems UMTS hingegen erlaubt es den Betreibern und Herstellern, ihre Anstrengungen im Umweltschutz auf diejenigen Komponenten zu konzentrieren, bei denen die grössten Umweltentlastungspotenziale zu erwarten sind.

## 1.1 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist es, die umweltbezogene Nachhaltigkeit eines UMTS-Mobilfunksystems zu ermitteln. Bilanziert werden die benötigten Elemente des Mobilnetzes (Mobiltelefon, Basisstation-System inkl. Antennen, Switching-System, Verwaltung) und des Festnetzes (Kabelsystem, Telefonzentralen, Verwaltung). Die Umweltbelastungen werden unter Berücksichtigung aller wesentlichen Abschnitte des Lebensweges (Ressourcenentnahme, Herstellung, Betrieb, Demontage und Entsorgung) der Produkte und deren Infrastruktur ermittelt. Die Ergebnisse dieser Ökobilanz werden benötigt, um die Umweltauswirkungen des Betriebs und Wachstums des gesamten UMTS-Mobilfunksystems und seiner Komponenten zu quantifizieren und deren umweltbezogene Nachhaltigkeit abschätzen zu können.

Zu diesem Zweck wird ein LCA erstellt. Dieses bezweckt, die Umweltbelastungen abzuschätzen, die durch ein Mobilgespräch im UMTS-System verursacht werden. Da sich derzeit das UMTS-Netz noch im Aufbau befindet, sind keine Betriebsdaten vorhanden. Bei Datenlücken wurde mit Daten zum GSM-Netz gerechnet.

## 1.2 Die Ökobilanz-Methode

Die Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt[1] verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre („cradle to grave"), also von der Rohstoffentnahme bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle erfasst und beurteilt.

Die Internationale Organisation für Normung ISO hat die Vorgehensweise innerhalb der Ökobilanz-Methode mit der Norm ISO 14040 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997) in ihren Grundzügen und mit ISO 14041 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1998) für die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie die Sachbilanz standardisiert. Die Normen zu den weiteren Phasen der Ökobilanz (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a, b) wurden in der ersten Hälfte 2000 verabschiedet und veröffentlicht.

[1] Der Begriff Produkt schliesst hier Dienstleistungen mit ein.

Eine Ökobilanz lässt sich gemäss ISO 14040 grob in vier Phasen unterteilen (siehe Fig. 1.1): (1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, (2) Sachbilanz, (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung.

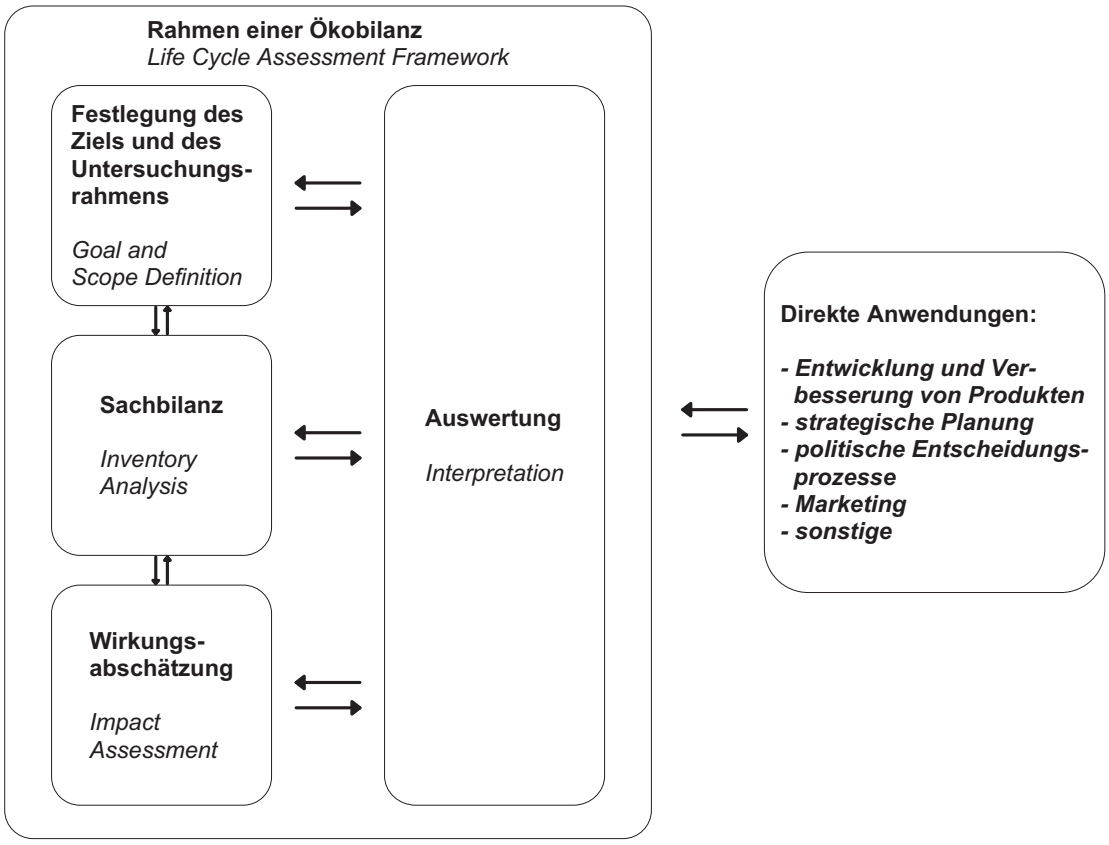



Fig. 1.1: Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in **deutsch** und *englisch*; gemäss (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997).

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt massgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die Umwelteinwirkungen[2] und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus (= Produktsystem) beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug gesetzt zum Untersuchungsgegenstand, der funktionellen Einheit.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt. In ISO 14040 ist die Wirkungsabschätzung als ein einziger Schritt dargestellt. Sie wird aber in folgende sieben Teilschritte unterteilt (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a):

- Begründung und Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Modellen: Hier werden jene Festlegungen spezifiziert, die in der Zieldefinition grob umrissen wurden.

[2] Ressourcennutzung und Schadstoffemissionen.

*Beispiel:* Die Wirkungskategorie 'Treibhauseffekt' wird ausgewählt, da sie sowohl Schäden an der menschlichen Gesundheit wie auch Ökosystemschäden verursacht. Ausserdem wird festgelegt, dass die Modelle des IPCC[3] verwendet werden sollen und der Indikator "kg $CO_2$-Äquivalente" gewählt werden soll (und nicht z.B. Strahlungsveränderung oder Temperaturveränderung).

- Zuordnung der Sachbilanz-Ergebnisse zu Umweltwirkungen (Klassifizierung): Dieser Schritt umfasst die Gruppierung der Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbräuche) nach den durch sie verursachten Umwelt(aus)wirkungen.

*Beispiel:* Da die Substanzen $CO_2$ und Methan treibhauswirksam sind, werden beide der Klasse Treibhauseffekt zugeordnet. Methan fördert zudem die Photooxidantenbildung und wird deshalb zusätzlich der Wirkungsklasse "Sommersmog" zugeordnet.

- Berechnung der Wirkungsindikator-Ergebnisse (Charakterisierung): Um verschiedene Substanzen mit gleicher Umweltwirkung vergleichen zu können, werden sie entsprechend ihrer Wirkung gewichtet. Dazu wird eine Referenzsubstanz bestimmt, bezüglich derer die Wirksamkeit der andern Schadstoffe ermittelt wird.

*Beispiel:* Die Umweltwirkung Treibhauseffekt wird auf der Basis der Treibhauspotenziale *(global warming potential, GWP)* quantifiziert. Referenzsubstanz ist $CO_2$. GWP hat deshalb die Dimension [kg $CO_2$-Äquivalent]. Methan hat gemäss (ALBRITTON & MEIRA-FILHO 2001) eine 23-mal grössere Treibhauswirkung als $CO_2$. Eine Emission von z.B. 1'000t Methan hat somit ein Treibhauspotential von 23'000t $CO_2$-Äquivalenten.

Diesen drei verbindlichen Schritten können folgende optionale Schritte folgen:

- Berechnung der Höhe der Wirkungsindikator-Ergebnisse im Verhältnis zu einem oder mehreren Referenzwert(en) (Normierung): Die Wirkungsindikator-Ergebnisse werden normiert. Dazu werden die Umweltwirkungen des Untersuchungsgegenstandes in Bezug gesetzt zu den gesamten Umweltauswirkungen einer Region absolut oder pro Kopf der Bevölkerung (z.B. der Welt, Europas oder eines Landes). Mittels Normierung wird somit der Beitrag der produktspezifischen Umweltauswirkungen an den gesamten (länderspezifischen, europäischen oder globalen) Umweltwirkungen bestimmt. Das Resultat der Normierung sind standardisierte, dimensionslose Wirkungsindikator-Ergebnisse. Die Gesamtheit der Indikatorergebnisse wird Wirkungsabschätzungsprofil genannt (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a).

*Beispiel:* Die gesamteuropäischen Treibhausgasemissionen des Jahres 1990 betrugen 6.5 Mia. t -Äquivalente. Die Emission von 23'000t $CO_2$-Äquivalenten (1'000t Methan) entspricht somit einem normierten Wirkungsindikatorwert von $3.5 \cdot 10^{-6}$. Das heisst, dass das untersuchte Produktsystem, welches 1'000t Methan emittiert, einen Beitrag von 3.5 Millionstel (ppm) an den Treibhauseffekt des Jahres 1990 beiträgt und damit auch diesen Anteil der Auswirkungen verantwortet.

- Ordnung: Die normierten Auswirkungswerte pro Wirkungskategorie können nun sortiert und möglicherweise klassiert werden.

*Beispiel:* Die verbal-argumentative Bewertung nach UBA (Schmitz et al. 1999) ordnet die Wirkungskategorien nach verschiedenen Kriterien.

---

[3] IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Gewichtung: Das Wirkungsabschätzungsprofil wird weiter zusammengefasst (bewertet). Gemäss (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997) darf dies bei internen Studien und bei externen nicht-vergleichenden Studien gemacht werden. Bei extern kommunizierten Produktvergleichen soll hingegen keine Vollaggregation vorgenommen werden. Zudem sollen in allen Fällen die vor der Gewichtung vorhandenen Daten verfügbar bleiben.

*Beispiel:* Der oben errechnete normierte Wirkungsindikatorwert für 23'000t $CO_2$-Äquivalente ($3.5 \cdot 10^{-6}$) wird gemäss Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) mit dem Faktor 2.5 gewichtet (d.h. multipliziert). Der Faktor errechnet sich aus der erforderlichen Reduktion der Treibhausgase auf 40% des Wertes von 1990 (siehe auch Unterabschnitt 2.4.3.6).

- Analyse der Datenqualität: Es wird untersucht, welchen Einfluss die identifizierten Unsicherheiten auf die Höhe der Wirkungsindikatorwerte pro Wirkungskategorie und damit auf die Aussagekraft der Ergebnisse haben.

In der *Auswertung* (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000b). Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

Der Stand der Forschung bezüglich nichtionisierender Strahlung erlaubt noch keine Einbindung dieser Emissionen in der Ökobilanzbewertung. Die gesundheitlichen Auswirkungen der Strahlung sind noch zu umstritten, um einen breit akzeptierten Bewertungsfaktor definieren zu können.

## 1.3 Berechnen der kumulierten Energie- und Stoffflüsse

Die aufbereiteten Rohdaten werden in die firmeninterne Ökobilanz-Software eco$^{mc}$ eingegeben. Dies ist eine relationale Datenbank, in der die Eingabe der Verknüpfungen für einen Prozess entsprechend der in Tab. 1.1 dargestellten Weise vorgenommen wird. Die Sachbilanzdaten des Beispiels in Spalte drei werden folgendermassen gelesen. Eine Kuh braucht pro kg Gewichtszuwachs 20kg Gras. Beim Wachstum scheidet sie 0.1kg Nitrat und 0.5kg Methan aus. Eine Wiese hingegen braucht zur Pflege Kühe die als „Rasenmäher" eine Bewaldung verhindern sowie Nitrat aus dem Boden. Die Datenbank eco$^{mc}$ enthält einen umfangreichen Basisdatensatz zu Energiebereitstellung, Transporten und Baumaterialien.

Emissionen in die Biosphäre werden in der Datenbank detailliert hinsichtlich des beeinträchtigten Umweltkompartiments unterschieden und durch ein Kürzel hinter dem Substanznamen kenntlich gemacht. Luftemissionen werden hinsichtlich mobiler (m), stationärer (s) oder prozessbedingter Quellen (p) unterschieden. Emissionen ins Wasser werden unterteilt nach Salzwasser (s) bzw. Frischwasser (f). Emissionen in landwirtschaftlich genutzten Boden werden mit einem (a) für agriculture gekennzeichnet.

Tab. 1.1 Beispiel einer Sachbilanz in eco$^{mc}$.

| | | Kuh | Gras |
|---|---|---|---|
| | Unit | kg | kg |
| Kuh | kg | 0 | 0.002 |
| Gras | kg | 20 | 0 |
| Nitrat in Boden a | kg | 0.1 | -0.002 |
| Methan p | kg | 0.5 | 0 |

Die Software berechnet dann die kumulierten, d.h. lebenszyklusbezogenen Ressourcenverbräuche und Schadstoffemissionen. Die Ausgabe der Ergebnisse ist ähnlich strukturiert. Sie enthält für alle Prozesse die kumulierten Werte. Tab. 1.2 zeigt das Ergebnis unseres kleinen Beispiels. Die Kuh benötigt demnach inklusive der indirekten Bezüge 20.8kg Gras pro kg und scheidet dabei 0.52kg Methan aus. Das Gras nimmt pro Kilogramm 1.9g Nitrat auf und verursacht im gesamten Lebenszyklus 1.04g Methanemissionen.

Tab. 1.2 Beispiel für das Ergebnis einer Sachbilanz in eco$^{mc}$.

| | | Kuh | Gras |
|---|---|---|---|
| | Unit | kg | kg |
| Kuh | kg | 1.04 | 0.00208 |
| Gras | kg | 20.8 | 1.04 |
| Nitrat in Boden a | kg | 0.0625 | -0.00188 |
| Methan p | kg | 0.52 | 0.00104 |

# 2 Systemdefinition

## 2.1 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird eine Datenmenge von 1 Gbit (1'000'000 kbit) definiert. Im UMTS-Netz können sowohl Datenpakete wie Gespräche übermittelt werden. Um die Resultate normieren zu können, wird eine Äquivalenz zwischen diesen zwei Arten von Übertragung gebildet. Dies basiert auf Annahmen zur durchschnittlichen Übertragungsrate von Daten und Gesprächen sowie auf Annahmen zur durchschnittlichen Benutzung des UMTS-Geräts durch die KundIn.

Weiter werden die Resultate der Studie für das UMTS- und das GSM-Netz pro KundIn normiert. Da die UMTS-Technologie andere Dienste als das GSM-Netz unterstützt, ist die Vergleichbarkeit nur beschränkt gegeben. Diese Resultate sollen vielmehr zeigen, welchen Verlauf die durch die mobile Telekommunikation verursachten Umweltbelastungen mit der Einführung des UMTS-Netz nehmen könnten.

Die Aufteilung des Festnetzes auf die unterschiedlichen Dienste (Festnetz-, Mobilfunkkommunikation) wird über die abgerechneten Taxminuten resp. Datenmengen gemacht. Die Verschlüsselungstechnik GSM arbeitet mit ca. 9.6 kbit/s. Bei der Umwandlung kann einerseits Speicherplatz eingespart werden, wenn tote Sprechzeiten nicht mitkodiert werden. Jedoch kommt noch zusätzlich ein Overhead (u.a. Verschlüsselungsinformationen) dazu. Deshalb wird in einer ersten Näherung der Umrechnungsfaktor 10 kbit/s benutzt[4]. Als Basis für die Berechnungen der totalen Datenmenge pro Jahr im UMTS-Netz dient eine aufgrund vom Penetrationsverlauf von Mobilgeräten berechnete Anzahl KundInnen in 2004 (durch die Verzögerung in der Einführung des Netzes ist diese Grösse eine rein theoretische und stellt keine Prognose für das Jahr 2004 dar). Es wird weiter angenommen, dass die Anzahl Taxminuten pro NutzerIn und Jahr im UMTS-Netz (projektierter Ausbaustand 2004) gleich wie im GSM-Netz (Ausbaustand heute) bleibt. Diese Taxminuten werden in Sprechzeit (mit einer Übertragungsrate von 10 kbit/s, ähnlich wie im GSM-Netz) und Datentransfer (mit einer Übertragungsrate zwischen 144 kbit/s – 384 kbit/s) aufgeteilt. Die totale Datenmenge im UMTS-Netz ergibt sich aus der Multiplikation der Taxminuten mit den

[4] Mail R. Witschi / M.Guggisberg, Swisscom AG, 24.10.2001

entsprechenden Übertragungsraten und der Anzahl NutzerInnen. In dieser Ökobilanz werden die Resultate auf 1 Gbit (1'000'000 kbit) bezogen, was demnach im GSM-Netz ca. 1’670 Taxminuten, im UMTS-Netz ca. 500 Taxminuten entspricht.

Da die Kommunikationswege der Nachricht unterschiedlich sein können, z.B. von UMTS-Endgerät zu UMTS-Endgerät, oder von UMTS-Endgerät zu Festnetzkunden (bzw. umgekehrt), sollen zwei unterschiedliche Varianten definiert werden, die diese Wege darstellen (der dritte Weg, UMTS-Endgerät zu Internetkunden, wird aufgrund der fehlenden Datenverfügbarkeit im Bereich Internet nicht berücksichtigt). Dieses Vorgehen wird durch den modularen Aufbau des Sachbilanzmodells erleichtert. Um die zwei Varianten untersuchen zu können, muss der Anteil der Nachrichten bekannt sein, die einen bestimmten Weg verfolgen.

Für die meisten der Elemente bedarf es einer Allokation des Herstellungs-, Installations-, Betriebs- und Entsorgungsaufwands auf eine übertragene Datenmenge. Als Grundlage dazu dienen für das GSM-Netz die Taxminuten in 2000 und für das UMTS-Netz die den Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus dem Jahre 2001 zugrunde liegenden Datenmengen. Für die Allokation der Verwaltungsaufwendungen wird der Anteil des Umsatzes vom Fest- bzw. GSM-Mobilnetz am Gesamtumsatz der Swisscom AG benutzt.

## 2.2 Datengrundlagen

Bilanziert werden die benötigten Elemente des Mobilnetzes (Mobiltelefon, Basisstation-System inkl. Antennen, Switching-System, Verwaltung) und des Festnetzes (Kabelsystem, Telefonzentralen, Verwaltung). Verschiedene Datenquellen werden benutzt: Angaben der Projektpartner Swisscom (Aufbau der Netze, Datenverkehr), Motorola (Herstellung und Betrieb von Mobiltelefonen und Basisstationen) und Deutsche Telekom (Materialaufwendungen des Festnetzes), Fragebogen bei Herstellern (Kabinen der Basisstationen, Antennen, Koaxialkabel) und Fachliteratur. Ein Teil der Daten gilt derzeit als vertraulich. Diese werden deshalb in diesem Bericht nicht ausgewiesen. Sie sind in einem separaten Anhang dokumentiert.

Die Ökobilanzierung basiert weiter auf Sachbilanzdaten zur Energiebereitstellung (FRISCHKNECHT *et al.* 1996), zu Baumaterialien (WEIBEL & STRITZ 1995), zu Transport- (MAIBACH *et al.* 1995) und Entsorgungsprozessen (ZIMMERMANN *et al.* 1996). Für die Ökobilanz werden diese sogenannten Hintergrunddaten mit den spezifischen Daten zu Materialverwendung, Energieverbrauch, etc. verknüpft. Annahmen hinsichtlich der Bilanzgrenzen für die verwendeten Basisprozesse und -materialien werden aus diesen Nachschlagewerken übernommen.

## 2.3 Bewertungsmethoden und Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden für ausgewählte Schadstoffe im Hinblick auf wichtige Teilprozessschritte sowie bezüglich der Treibhausgasemissionen ausgewertet. In einem zweiten Schritt werden die Sachbilanz-Ergebnisse mit dem kumulierten Energieaufwand, der Methode der ökologischen Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte) sowie mit der Ökobilanzbewertungsmethode „Eco-indicator ’99“ (kurz EI’99 - mit den drei Bewertungsperspektiven Egalitarist (E), Hierarchist (H) und Individualist (I)) bewertet. Die drei Bewertungsperspektiven werden im Anhang A beschrieben. Bei der Bewertung mit den Ökobilanzbewertungsmethoden erfolgt eine Auswertung der Bilanz nach wichtigen Teilprozessschritten und Schadstoffen/Ressourcen.

## 2.4 Netzelemente

### 2.4.1 Überblick

Betrachtet werden Herstellung, Installation und Betrieb aller nötigen Elemente, die für die Sendung und den Empfang einer UMTS-Nachricht nötig sind (s. Fig. 2.1). Für das Schweizer Netz wird als Ausbaustandard der Zustand 2004 gemäss den Lizenzvorgaben des BAKOM (Bundesamt für Kommunikation) gewählt (50% der Bevölkerung hat Zugang zum UMTS-Netz, möglicher Dienst 144-384 kbit/s). Der Ausbaustandard wurde am Anfang dieses Projekts berechnet. Durch die Verzögerung der Einführung des UMTS-Netzes stellen die Infrastrukturzahlen allerdings eine rein theoretische Grösse und keine Prognose für 2004 dar.

Die Signalübertragung mit Richtfunk stellte zur Zeit der Studie im Mobilfunknetz einen vernachlässigbaren Anteil und wurde deshalb nicht betrachtet.

In der folgenden Tabelle (Tab. 2.1) werden die Annahmen zu den Netzelementen gezeigt, die dieser Studie als Grundlage für die Berechnungen dienen.

Tab. 2.1: Grundlagedaten zur Berechnung des UMTS-Netzes

| Element | Total (in 1'000) | Lebensdauer | Bemerkung |
|---|---|---|---|
| Mobiltelefone | 300-600 | ca. 1 Jahr | Lebensdauer entspricht einem Durchschnitt für Europa |
| Basisstationen | ca. 1 | ca. 10 Jahre | |
| Masten | ca. 1 | 10-15 Jahre | 2-6 Antennen pro Mast |

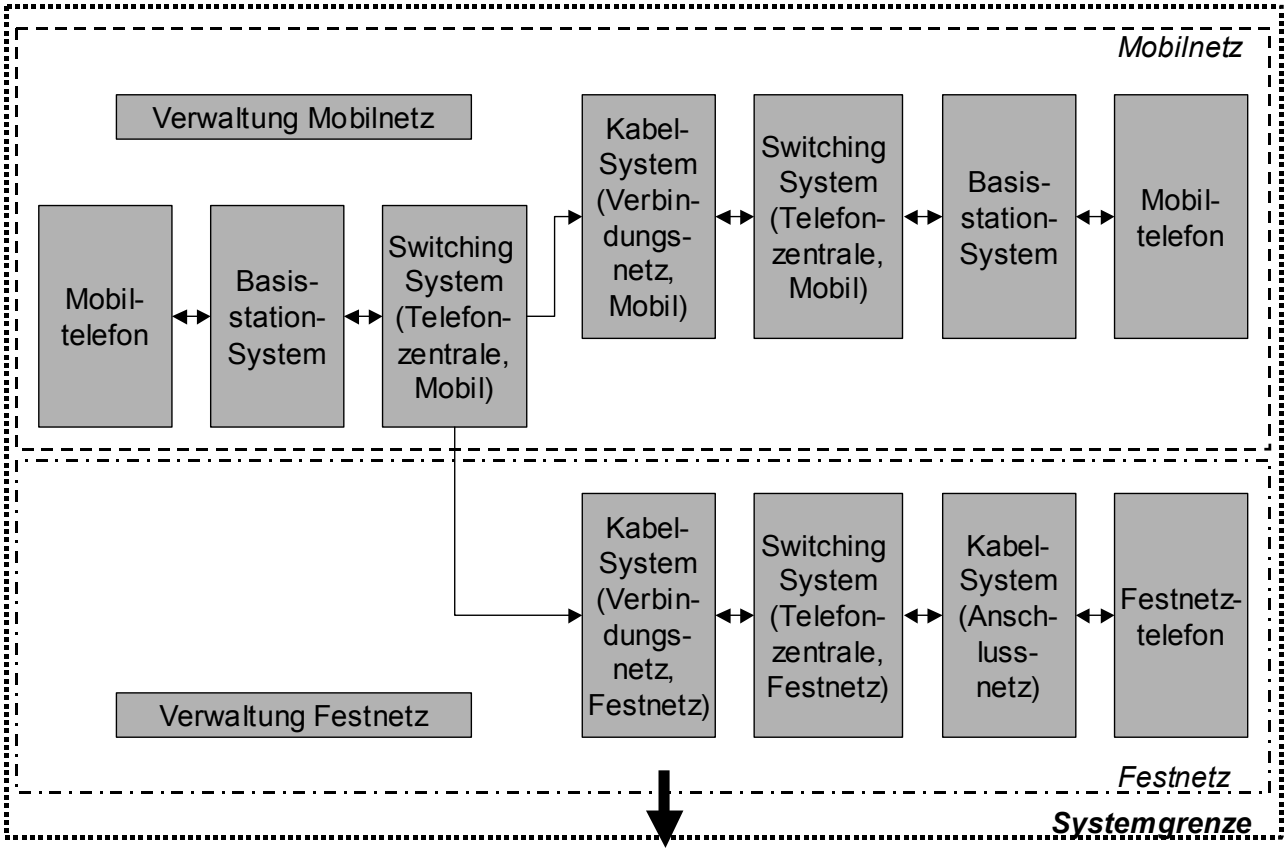
Für das GSM-Netz wird die aktuelle Zahl der Netzbestandteile benutzt. In Tab. 2.2 werden die für die Berechnungen zugrundeliegenden Zahlen für die Netzbestandteile im GSM-Netz dargelegt.

Tab. 2.2: Grundlagedaten zur Berechnung des GSM-Netzes

| Element | Total (in 1'000) | Lebensdauer | Bemerkung |
|---|---|---|---|
| Mobiltelefone | 3’300 | ca. 1 Jahr | Lebensdauer entspricht einem Durchschnitt für Europa |
| Basisstationen | 3.8 | ca. 10 Jahre | |
| Masten | 3.8 | 10-15 Jahre | 2-6 Antennen pro Mast |
| Telefonzentralen (MSC, BSC, GSC, HLR) | 0.1 | 10-15 Jahre | Die Allokation der Telefonzentralen, die sowohl Mobil- wie Festnetzelemente beinhalten, wird auf der Basis der Aufteilung des Stromverbrauchs vorgenommen (ca. 8% des Energieverbrauchs der Telefonzentralen werden von Netzelementen des Mobilfunknetzes verursacht). |

Mehrere Wege sind für die Nachricht möglich: sie kann von einem Mobiltelefon zu einem anderen Mobiltelefon, zu einem festen Anschluss oder zum Internet geschickt bzw. empfangen werden (Fig. 2.1: gezogene Linie). Der Bedarf des Netzes an Overhead und Infrastruktur (Verwaltung für die Abrechnungen, Leitungen / Festnetz für die Verbindung von Basisstationen untereinander bzw. von zwei unterschiedlichen Anbietern) wird durch die gestrichelten Linien dargestellt.

Fig. 2.1: Betrachtete Elemente des Mobilfunksystems UMTS. 1 Gbit = 1'000'000 kbit. Die Studie betrachtet das Mobilnetz und das Festnetz, das für eine Datenübertragung von Mobil- zu Festnetz nötig ist.




### 2.4.2 Mobiltelefon

Das Endgerät wird vom Nutzer zum Empfang und Verschicken von Nachrichten benutzt. Ein Mobiltelefon besteht aus einem Gehäuse, Leiterplatten mit integrierten Schaltungen und elektronischen Komponenten, einem LCD-Display, einer Antenne sowie weiteren Teilen (Ladegerät, Li-Ion Batterie, Papier für das Handbuch, Karton und Kunststoff für die Verpackung). Die Ladestation des Endgeräts wird nur bezüglich ihres Energieverbrauchs im Betrieb und ihres Materials berücksichtigt.

### 2.4.3 Basisstationssystem

Das Basisstationssystem (im UMTS-Netz Radio-Network-System, RNS genannt) sendet und empfängt Nachrichten über Antennen und wandelt analoge Funksignale in digitale Signale um. Die vom Mobiltelefon gesendete Nachricht wird zuerst von einer Antenne empfangen, die im UMTS-System meist von einem Verstärker gefolgt wird. Die Antennen sind an einem freistehenden oder auf einem Haus installierten (der häufigste Fall) Mast montiert. Die Funksignale werden in der Basisstation (im UMTS-Netz Node B genannt) in digitale Signale umgewandelt. Zum Betrieb der Basisstation braucht es ein Kühlaggregat, eine Notstromversorgungsanlage (USV) und einen Verteilschrank. Freistehende Basisstationen werden in Kabinen untergebracht. Der Verteilschrank

ist kaum von Bedeutung, da er sehr ähnlich wie eine Elektroverteilung in einem Haus ist. Er wird deshalb vernachlässigt. Die Antenne ist mit Koaxialkabeln mit der Basisstation verbunden.

### 2.4.4 Switching-System und Telefonzentralen

Unter dem Namen Switching-System werden hier die Netzelemente zusammengefasst, die die Basisstationen und die Gesprächsabläufe steuern. Als erstes Element nach der Basisstation kommt der Radio-Network-Controller (RNC), im GSM-Netz Basisstation-Controller (BSC) genannt. Es ist der Steuerungsrechner für den Node B. Ein RNC verbindet 100-150 Nodes B und steuert u.a. den Wechsel zwischen Zellen bzw. Antennen und die Stärke der Funkausstrahlung. Diese Elemente zählen eigentlich funktional zum Basisstationssystem. Räumlich sind aber RNC bzw. BSC bei den Mobile Switching Center (MSC) zu finden, z.T. auch in Telefonzentralen; deshalb werden sie in der Ökobilanz zum Switching-System gezählt.

Das Mobile Switching Center (MSC) ist ein Netzwerk-Computer, der den Gesprächablauf steuert. Location registers sowie weitere Datenbanken stellen Dienste und Daten bereit. Kabel verbinden MSC untereinander bzw. MSC mit RNC; hier handelt es sich um Mietleitungen.

Das Switching-System des Mobilnetzes befindet sich hauptsächlich in Telefonzentralen des Festnetzes, wo sich auch das Switching-System des Festnetzes befindet. Die Daten zum Gebäudebetrieb (Energieverbrauch, Betrieb der Klimaanlage, Notstromversorgungsanlage) werden aus Daten zu Festnetz-Telefonzentralen entnommen.

### 2.4.5 Kabelsystem und dazugehörende Netzelemente

Das Kabelsystem kann in ein Verbindungsnetz (Fern- und Regionalleitungen) und ein Anschlussnetz aufgeteilt werden. Die Telefonzentrale trennt Verbindungsnetz und Anschlussnetz. Im Kabelsystem werden vermehrt Glasfaserkabel eingesetzt, das Anschlussnetz besteht hingegen immer noch hauptsächlich aus Kupferkabeln.

Die Kabel verlaufen zum höchsten Teil unterirdisch in Rohranlagen. Kabelschächte werden für das Einziehen von Kabeln in Rohranlagen benötigt. Die Kabel werden an ihren Enden mit Kabelmuffen verbunden. Den Abschlusspunkt der Linie bzw. des allgemeinen Netzes bildet der Endverzweiger, worüber der Teilnehmer über das Endstellenkabel mit der Teilnehmereinrichtung verbunden ist. Kabelverzweiger sind die Anschalt- und Verzweigungseinrichtung des Ortsanschlusskabels. Oberirdische Kabel werden auf Holzmasten verlegt.

### 2.4.6 Verwaltung

Die Verwaltungsaufwendungen des Mobilfunknetz- bzw. Festnetzbetreibers enthalten den Energie-, Papier- und Wasserbedarf, die Abfälle und die Geschäftsfahrten und –reisen.

## 2.5 Datenverkehr

Mobilfunk- und Festnetz bestehen aus symmetrischen und nichtsymmetrischen Netzkomponenten. Symmetrische Netzkomponenten werden für ein Gespräch doppelt benötigt, wie bspw. das Mobiltelefon beim einem Anruf zwischen zwei Mobilfunkkunden. Nichtsymmetrische Netzelemente werden hingegen nur einmal benötigt, wie bspw. das Kabelsystem und die dazugehörenden Festnetz-Netzelemente wie Masten und Muffen. Der Datenverkehr besteht im Mobilfunk- und Festnetz aus netzinternen und netzübergreifenden Gesprächen. Netzinterne

Gespräche sind Gespräche, die das Netz, aus dem der Anrufende telefoniert, nicht verlassen. Solche Gespräche werden vom Telekommunikationsunternehmen nur einmal erfasst und müssen deshalb doppelt gezählt werden, um die Tatsache zu berücksichtigen, dass für ein solches Mobilgespräch z.B. zwei Handys gebraucht werden (s. Fig. 2.1). Netzübergreifende Gespräche verlassen das Netz des Anrufenden und werden als „ausgehendes Gespräch“ erfasst. Ist der angerufene Kunde desselben Telekommunikationsanbieters, dann wird dieses Gespräch zusätzlich als „einkommendes Gespräch“ erfasst. Deshalb werden diese Gespräche nur einmal gezählt. Der totale Datenverkehr in den unterschiedlichen Netzen für die Umrechnung auf die funktionelle Einheit wird nun wie folgt berechnet: die Menge der netzinternen Gespräche wird also verdoppelt und zu den netzübergreifenden Gesprächen addiert.

Der Datenverkehr im UMTS-Netz basiert auf der Projektion für 2004. Durch die Verzögerung der Einführung des UMTS-Netzes stellt das Datenvolumen allerdings eine rein theoretische Grösse und keine Prognose für 2004 dar.

Tab. 2.3: Jährlicher Datenverkehr im Mobil- und Festnetz (GUGGISBERG & WITSCHI 2001) und im UMTS-Netz in 2004 (Projektion) (GUGGISBERG 2001c) im Verhältnis zum GSM-Netz (als 1 gesetzt).

| | **Verhältnis Gesamtdatenverkehr** |
|---|---|
| Mobil-GSM | 1 |
| Festnetz | 6.5 |
| Mobil UMTS 2004 | 0.6 |

## 2.6 Zurechnung der UMTS- bzw. GSM-Netzbestandteile

Für die Modellierung in der Ökobilanz werden die Netzbestandteile jeweils durch den berechneten totalen Datenverkehr und die Lebensdauer dividiert. Da das UMTS-Mobilfunknetz noch nicht in Betrieb ist, sind noch nicht für alle Netzbestandteile Daten vorhanden. Für die wichtigsten Netzelemente (Mobiltelefon und Basisstation) konnten in dieser Studie aber UMTS-spezifische Daten benutzt werden.

Tab. 2.4 zeigt den auf 1 Gbit Datenübertragung bezogenen Bedarf an UMTS- bzw. GSM-Netzbestandteilen. So werden durchschnittlich während der Nutzungszeit etwa 4.5 Gbit Information mit einem UMTS-Mobiltelefon verschickt und empfangen. Die UMTS-Basisstationen senden und empfangen während ihrer Lebensdauer knapp 17'600 Gbit Information. Ein RNC demgegenüber verarbeitet mehr als 1’100'000 Gbit Information.

Tab. 2.4: Bedarf an UMTS- bzw. GSM-Netzbestandteilen für ein Gbit Datenverkehr (GUGGISBERG 2001b).

| Netzbestandteile UMTS | Einheit | Einheit im UMTS-Netz | Einheit im GSM-Netz | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|
| | | Pro Gbit | Pro Gbit | |
| **Mobiltelefon** | Anzahl | 2.23E-01 | 7.19E-01 | |
| **Basisstationsystem** | | | | |
| Antennen | Anzahl | 8.54E-05 | 2.08E-04 | |
| Empfänger-Verstärker | Anzahl | 1.71E-04 | | |
| Koaxialkabel | m | 5.12E-03 | 6.24E-03 | |
| NodeB/Basisstation | Anzahl | 5.69E-05 | 4.38E-04 | |
| USV-Anlage für NodeB (48V) | Anzahl | 3.20E-04 | 2.32E-03 | |
| Klimaanlage für NodeB's / BTS | Anzahl | 4.27E-05 | 8.22E-05 | |
| Kabel von NodeB / BTS zu RNC / BSC | m | 2.85E-02 | 5.48E-02 | |
| Fundament für Mast (Beton) | m3 | 1.54E-04 | 7.39E-04 | Nur für freistehende Masten |
| Erdbewegungen bei Kabelverlegung, Mastfundament | m3 | 1.54E-04 | 7.39E-04 | |
| Fundament für Kabine (Beton) | m3 | 7.68E-05 | 1.48E-04 | Nur für freistehende Kabinen |
| **Switching System** | | | | |
| RNC/BSC, MSC | Anzahl | 9.96E-07 | 3.20E-06 | |
| SGSN, GGSN und MGW / GSC, GMSC, HLR | Anzahl | 1.26E-06 | 1.14E-06 | |

## 2.7 Zurechnung der Festnetz-Netzbestandteile

Die Festnetz-Netzbestandteile werden mit den Daten aus (REGNER 2000, Zugangsnetz) und (LOUY 2001, Verbindungsnetz) auf der Basis der Kabellänge im deutschen bzw. im schweizerischen Netz hochgerechnet und dann durch den gesamten Datenverkehr im Festnetz dividiert. Im Anschlussnetz (auch Zugangsnetz genannt) bzw. im Verbindungsnetz ist der Faktor Element / m Kabel unterschiedlich und wird deshalb separat berechnet. Die Netzelemente werden für das Zugangsnetz auf die Länge der unterirdischen Kupferkabel normiert, mit Ausnahme der Holzmasten, die sich auf die oberirdischen Kabel beziehen. Beim Verbindungsnetz wird die ganze Kabellänge berücksichtigt. Für die oberirdischen Kabel rechnet REGNER (2000) mit 35 m Distanz zwischen den Masten.

Die Länge des Schweizer Kabelnetzes wird aufgrund des Bestands in 2000 gemäss (SWISSCOM 2001) ermittelt.

Die Menge Kabel pro Gbit wird aufgrund des totalen Datenverkehrs im Netz mal die Lebensdauer gerechnet. Die Kabel werden zu einem „Kabelsystem“ zusammengestellt, die anderen Festnetzbestandteile (Rohranlagen, Muffen usw.) zu den „Netzelementen“. Für die Berechnung des Anteils Kabelsystem pro Gbit wird die Lebensdauer der unterschiedlichen Sorten Kabel mit ihrer Länge gewichtet. Es wird weiter zwischen dem Kabelsystem und den Netzelementen des Anschluss- bzw. des Verbindungsnetzes unterschieden. Der Datenverkehr wird für das Kabelsystem und seine Netzelemente nur einfach gezählt. Es wird angenommen, dass die Verbindungen zwischen den MSC des Mobilnetzes im Verbindungsnetz verlaufen. Deshalb werden zum Festnetz-Datenverkehr noch die mobilnetzinternen Gespräche gezählt.

Tab. 2.5 zeigt den Bedarf an Festnetz-Netzbestandteilen für 1 Gbit Festnetz-Datenverkehr. Die Festnetz-Telefonzentrale verarbeitet beispielsweise während ihrer Nutzungsdauer durchschnittlich 210'000 Gbit Information , die Switches rund 20'000 Gbit.

Tab. 2.5: Bedarf an Festnetz-Netzbestandteilen für ein Gbit Festnetz -Datenverkehr. Die Daten stammen hauptsächlich aus (REGNER 2000) und (LOUY 2001). Die Anzahl Switches im Festnetz musste auf der Basis der Telefonzentralen-Fläche abgeschätzt werden.

| Netzbestandteile Festnetz | Einheit | Einheit im Festnetz | Einheit im Anschlussnetz | Einheit im Verbindungsnetz |
|---|---|---|---|---|
| | | Pro Gbit | Pro km | Pro km |
| **Festnetz-Telefon** | **Anzahl** | **2.50E-02** | | |
| **Telefonzentrale** | **Anzahl** | **4.35E-06** | | |
| **Switches** | **Anzahl** | **4.72E-05** | | |
| **Batteriegruppen** | **Anzahl** | **1.07E-05** | | |
| **Kabelsystem Anschlussnetz** | **Stk** | **1.74E-09** | | |
| **Kabelsystem Verbindungsnetz** | **Stk** | **1.60E-09** | | |
| **Netzelemente Anschlussnetz** | **Stk** | **2.08E-09** | | |
| **Netzelemente Verbindungsnetz** | **Stk** | **1.91E-09** | | |
| - Mehrfachrohr 3 | km | | 3.9E-04 | 8.1E-04 |
| - Mehrfachrohr 4 | km | | 1.8E-02 | 2.4E-02 |
| - Kabelkanal-Züge | km | | 2.7E-01 | |
| - Kabelrohr-Züge | km | | 2.1E-01 | 1.8E+00 |
| - Holzmasten | m3 | | 2.9E+01 | |
| - Endverzweiger | Anzahl | | 1.8E+01 | |
| - Abzweigkasten | Anzahl | | 1.9E-01 | |
| - Kabelschächte | Anzahl | | 2.6E-01 | |
| - Kabelverzweiger | Anzahl | | 2.9E-01 | |
| - Muffen Kupferkabel | Anzahl | | 2.0E+01 | 1.9E+01 |
| - Muffen Glasfaserkabel | Anzahl | | | 7.7E-01 |
| - Zwischenregeneratoren | Anzahl | | 2.6E-02 | |

# 3 Sachbilanz

## 3.1 UMTS-System

In diesem Kapitel werden die Module beschrieben, die zur Bilanzierung des UMTS-Mobilfunksystems benutzt wurden. Bei fehlenden Angaben wurde auf GSM-Geräte zurückgegriffen. Die für das GSM-System typischen Geräte werden im Kapitel 3.2 beschrieben. In den Berechnungen werden die im folgenden Text beschriebenen Module zur Beschreibung von möglichen Arten der Datenübermittlung verknüpft. Dazu beziehen sich die Module auf 1 Gbit Datenmenge.

Das Modul „Datenübermittlung, UMTS Mobiltelefon“ (siehe Tab. 3.1) berücksichtigt den Strom zum Betrieb, die Herstellung des Geräts und die Entsorgung. Das Gerät besteht aus einem Gehäuse, Leiterplatten mit integrierten Schaltungen und elektronischen Komponenten, einem LCD-Display, einer Antenne sowie weiteren Teilen (Ladegerät, Li-Ion Batterie, Papier für das Handbuch, Karton und Kunststoff für die Verpackung). Pro Gbit Datenübertragung werden ca. 2.3 kWh Strom

benötigt (MOTOROLA 2002). Dieser Wert beruht auf Schätzungen und berücksichtigt den Energiebedarf der Ladestation. Es wird angenommen, dass 20% der Geräte sowie die Kunststoff-Verpackung in der KVA verbrannt werden, währenddem die restlichen 80% zerlegt und rezykliert werden. Die Annahme der Verbrennung von Endgeräten in KVA stellt ein pessimistisches Szenario dar. Bisher wurden in der Schweiz keine Mobiltelefone im Kehricht nachgewiesen[5].

Tab. 3.1: Sachbilanz Modul „Datenübermittlung, UMTS-Mobiltelefon“

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, UMTS Mobiltelefon** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 8.38E-06 |
| **Materialien** | UMTS Mobiltelefon, ab Werk | Stk | 2.23E-01 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 5.25E-03 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 2.10E-02 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 1.92E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 8.38E-06 |

Die Antenne braucht für den Betrieb selber keinen Strom. Das Modul „Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation“ (siehe Tab. 3.2) besteht demnach aus der Antenne, dem Mast (freistehend, 30% oder auf einem Haus, 70%) und den Koaxialkabeln.

Tab. 3.2: Sachbilanz Modul „Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation“

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Materialien** | Koaxialkabel, ab Werk | m | 6.10E-02 |
| | Antenne, GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 2.08E-04 |
| | Antennenmast, freistehend, ab Werk | Stk | 1.64E-05 |
| | Antennenmast, auf Haus, ab Werk | Stk | 3.83E-05 |

Das Modul „Datenübermittlung, UMTS-Basisstation„ (siehe Tab. 3.3) besteht aus der Basisstation selber und ihrem Stromverbrauch, einer Klimaanlage (unterschiedlich ob sich die Basisstation im Innen- oder im Aussenbereich befindet), Batterien in einer Notstromversorgungs-Anlage (USV-Anlage), und aus einer Kabine (falls der zugehörige Antennenmast freistehend ist). Pro Gbit

[5] Die Rücklaufquote von Mobiltelefonen beträgt allerdings heute nur ca. 5% (Angabe Hr. M. Guggisberg, Swisscom, Mail 4.07.2002). Es wird vermutet, dass die restlichen ausgedienten Geräte weiterverschenkt oder als Zweitgeräte benutzt werden.

Datenübertragung bezieht die Basisstation 21.5 kWh Strom. Die Daten zur Basisstation stammen aus (GUGGISBERG 2001a). Der Energieverbrauch der Basisstation berücksichtigt die Klimaanlage (deren Verbrauch ca. 1.5 mal demjenigen der Basisstation entspricht). Die Basisstation hat eine Datenkapazität von brutto 1140 kBits/s, netto 480 kBits/s bei 50 Nutzern [6].

Tab. 3.3: Sachbilanz der Datenübermittlung, UMTS-Basisstation. Den Daten liegen zwei LCA von 2 Varianten von Akkus zugrunde.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, UMTS Basisstation** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 6.06E-05 |
| **Materialien** | Klimaanlage, GSM Basisstation, Innenbereich, ab Werk | Stk | 2.99E-05 |
| | Klimaanlage, GSM Basisstation, Aussenbereich, ab Werk | Stk | 1.28E-05 |
| | Kabinen, Basisstation, ab Werk | Stk | 8.54E-06 |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ I), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 6.40E-04 |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ II), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 6.40E-04 |
| | UMTS Basisstation, ab Werk | Stk | 5.69E-05 |
| **Abfälle** | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 7.54E-03 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 5.80E-04 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 6.06E-05 |

Die Module “Datenübermittlung, Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz“ und “Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz“ (siehe Tab. 3.4) bestehen aus dem Bedarf an Kupfer- und Glasfaserkabeln. Die Module „Datenübermittlung, Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz“ und „Datenübermittlung, Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz“ bestehen aus dem Bedarf an allen anderen Elementen, die für den Aufbau des Kabelsystems nötig sind (Rohranlagen, Muffen, usw.). Die Grabarbeiten sind wegen der Schwierigkeit der Erfassung und der Allokation (Grabarbeiten werden häufig gleichzeitig für verschiedene Infrastruktursysteme wie Gas, Strom usw. durchgeführt) nicht erfasst worden.

[6] Angabe Hr. M. Stutz, Motorola, Mail 9.01.2003

Tab. 3.4: Sachbilanz „Datenübermittlung, Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz“, „Datenübermittlung, Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz“, „Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz“, „Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz“.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz | Datenübermittlung, Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz | Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz | Datenübermittlung, Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit | Gbit | Gbit |
| **Materialien** | Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk | Stk | 1.74E-09 | | | |
| | Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk | Stk | | 2.08E-09 | | |
| | Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk | Stk | | | 1.59E-09 | |
| | Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk | Stk | | | | 1.91E-09 |

Die Module „Datenübermittlung, Telefonzentrale, Festnetz“ und „Datenübermittlung, Telefonzentrale, GSM Netz“ (siehe Tab. 3.5) beschreiben den Bedarf an Strom für Geräte, Kühlung und Batterieanlagen und an Kältemittel-Nachfüllmengen (inkl. ihren Transport) sowie den Bedarf an der dazugehörenden Infrastruktur (Batterien, Kühlmittel). Pro Gbit Datenübermittlung werden in den Zentralen demnach 7.6 kWh (Festnetz) bzw. 4.1 kWh (GSM-Netz) benötigt.

Tab. 3.5: Sachbilanz der Datenübermittlung, Telefonzentrale.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, Telefonzentrale, Festnetz | Datenübermittlung, Telefonzentrale, GSM Netz |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 2.75E-05 | 1.49E-05 |
| **Materialien** | Kaeltemittel R22 frei Lager Schweiz | kg | 7.62E-06 | 4.13E-06 |
| | Kaeltemittel R407C frei Lager Schweiz | kg | 3.61E-07 | 1.95E-07 |
| | Kaeltemittel R134a frei Lager Schweiz | kg | 1.14E-06 | 6.19E-07 |
| | Kaeltemittel R404A frei Lager Schweiz | kg | 1.64E-07 | 8.88E-08 |
| | Telefonzentrale, ab Werk | Stk | 4.35E-06 | 2.36E-06 |
| **Transporte** | Transport LKW 28 t | tkm | 4.65E-07 | 2.51E-07 |
| | Transport Schiene | tkm | 7.84E-07 | 4.24E-07 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.75E-05 | 1.49E-05 |
| | R22 H-FCKW p | kg | 7.62E-06 | 4.13E-06 |
| | R407C FKW p | kg | 3.61E-07 | 1.95E-07 |
| | R134a FKW p | kg | 1.14E-06 | 6.19E-07 |
| | R404A FKW p | kg | 1.64E-07 | 8.88E-08 |

Die Verwaltungsaufwendungen (Tab. 3.6) umfassen den Strom-, Treibstoff-, Papier- und Wasserverbrauch und die Abfälle. In der Verwaltung werden 1.2 kWh (Festnetz) bzw. 5.2 kWh (GSM-Netz) Strom, 6.1 g bzw. 30 g Papier und 0.7 Fahrzeug-km bzw. 2.9 Fahrzeug-km benötigt. Die Lkw-Transporte werden zum Transport der Betriebsmittel benötigt, die Pkw-Transporte stellen die Geschäftsfahrten dar.

Tab. 3.6: Sachbilanz der Verwaltung, Fest- und Mobilnetz. Die totalen Aufwendungen der Swisscom pro Jahr sind in den zwei letzten Spalten dargestellt.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, Verwaltung, Festnetz | Datenübermittlung, Verwaltung, GSM Netz | Verwaltung, Festnetz | Verwaltung, GSM Netz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit | a | a |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 4.33E-06 | 1.88E-05 | 1.04E+02 | 6.43E+01 |
| | Erdgas in Heizung atm. LowNOx KOND <100kW | TJ | 1.31E-06 | 5.67E-06 | 3.14E+01 | 1.94E+01 |
| | Heizoel EL in Heizung 1 MW | TJ | 3.51E-06 | 1.52E-05 | 8.42E+01 | 5.20E+01 |
| **Materialien** | Papier | kg | 6.14E-03 | 2.97E-02 | 1.47E+05 | 1.02E+05 |
| | Trinkwasser CH | kg | 6.41E+00 | 2.78E+01 | 1.54E+08 | 9.51E+07 |
| **Transporte** | Transport LKW 28 t | tkm | 3.07E-04 | 1.49E-03 | 7.37E+03 | 5.09E+03 |
| | Transport PKW CH Fzkm | Fzkm | 6.79E-01 | 2.94E+00 | 1.63E+07 | 1.01E+07 |
| **Abfälle** | Bausperrgut in Inertstoffdeponie | kg | 2.78E-05 | 1.21E-04 | 6.68E+02 | 4.13E+02 |
| | Abfaelle in SAVA | kg | 2.78E-06 | 1.21E-05 | 6.68E+01 | 4.13E+01 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 4.33E-06 | 1.88E-05 | 1.04E+02 | 6.43E+01 |

Zwei mögliche Gesprächswege wurden bilanziert: die Übermittlung von 1 Gbit von einem Mobiltelefon zu einem anderen Mobiltelefon und die Übermittlung von 1 Gbit von einem Mobiltelefon zu einem Festnetzanschluss (siehe Tab. 3.7). Im ersten Fall werden 2 Gbit der Elemente Mobiltelefon, Antenne, Basisstation, Telefonzentrale GSM-Netz (Switching-System) bezogen, weil diese Elemente für eine netzinterne Datenübermittlung doppelt benötigt werden (s. Fig. 2.1). Im Falle der Übermittlung vom Mobil- zum Festnetz werden alle Elemente nur einmal benötigt.

Tab. 3.7: Sachbilanz der Module „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz“ und „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz | Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Materialien** | Datenübermittlung, UMTS Mobiltelefon | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Festnetz-Telefon | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, UMTS Basisstation | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Telefonzentrale, GSM Netz | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Telefonzentrale, Festnetz | Gbit | 0.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz | Gbit | 0.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz | Gbit | 0.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Verwaltung, Festnetz | Gbit | 0.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Verwaltung, GSM Netz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |

## 3.2 GSM-System

Das Modul „Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon 2000“ (siehe Tab. 3.8) berücksichtigt den Strom zum Betrieb, die Herstellung des Geräts und die Entsorgung. Das Gerät besteht aus einer Antenne, einem Gehäuse, einem LCD-Display, Leiterplatten, integrierten Schaltungen und elektronischen Komponenten sowie weiteren Teilen (Ladegerät, Li-Ion Batterie, Papier für das Handbuch, Karton und Kunststoff für die Verpackung). Pro Gbit Datenübertragung werden ca. 14 kWh Strom benötigt. Dieser Bedarf wurde mit Daten aus (STUTZ *et al.* 2000) berechnet. Diese Werte berücksichtigen den Energiebedarf der Ladestation. Dabei wird angenommen, dass die Ladestation dauernd angeschlossen ist, und dass das Gerät während der Nacht (10 Stunden) aufgeladen wird. Die Ladezeit beträgt 140 Minuten, das Handy bleibt aber insgesamt 600 Minuten eingesteckt.

Tab. 3.8: Sachbilanz Modul „Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon“

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon 2000** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 5.02E-05 |
| | GSM Mobiltelefon 2000, ab Werk | Stk | 7.19E-01 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 1.39E-02 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 5.58E-02 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 5.60E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 5.02E-05 |

Die Hersteller der Mobiltelefone unternehmen Anstrengungen, um die Ladegeräte energetisch zu optimieren. Damit könnte der Stromverbrauch pro Gbit von 50 MJ auf 17 MJ gesenkt werden (s. Tab. 3.9).

Tab. 3.9: Sachbilanz Modul „Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon 2000, optimiertes Ladegerät“

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon 2000, optimiertes Ladegeraet** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 1.70E-05 |
| | GSM Mobiltelefon 2000, ab Werk | Stk | 7.19E-01 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 1.39E-02 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 5.58E-02 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 5.60E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 1.70E-05 |

Das Modul „Datenübermittlung, GSM Basisstation„ (siehe Tab. 3.10) besteht aus der Basisstation selber und ihrem Stromverbrauch, einer Klimaanlage (unterschiedlich ob sich die Basisstation im Innen- oder im Aussenbereich befindet), Batterien in einer Notstromversorgungs-Anlage (USV), und aus einer Kabine (falls der zugehörige Antennenmast freistehend ist). Pro Gbit Datenübertragung bezieht die Basisstation 13.5 kWh Strom[7]. Die Daten zur Herstellung der Basisstation stammen aus (BOHM 2000). Der Energieverbrauch der Basisstation berücksichtigt die Klimaanlage. Für diese Anlage wurde angenommen, dass der Energiebedarf der Klimatisierung anderthalb mal höher als derjenige des Geräts ist.

Tab. 3.10: Sachbilanz Modul „Datenübermittlung, GSM Basisstation“. Annahme: es werden 2 Varianten von wartungsfreier Akkus eingesetzt.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, GSM Basisstation** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 2.76E-05 |
| **Materialien** | Klimaanlage, GSM Basisstation, Innenbereich, ab | Stk | 5.75E-05 |
| | Klimaanlage, GSM Basisstation, Aussenbereich, ab | Stk | 2.46E-05 |
| **Materialien** | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ II), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 4.65E-03 |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ I), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 4.65E-03 |
| | Kabinen, Basisstation, ab Werk | Stk | 1.64E-05 |
| | USV-Anlage, Basisstation, ab Werk | Stk | 1.14E-04 |
| | GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 4.38E-04 |
| **Abfälle** | Kunststoffe in KVA | kg | 4.65E-03 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 5.35E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.76E-05 |

Zwei mögliche Gesprächswege wurden bilanziert: die Übermittlung von 1 Gbit von einem Mobiltelefon zu einem anderen Mobiltelefon und die Übermittlung von 1 Gbit von einem Mobiltelefon zu einem Festnetzanschluss (siehe Tab. 3.11). Im ersten Fall werden 2 Gbit der Elemente Mobiltelefon, Antenne, Basisstation, Telefonzentrale GSM-Netz (Switching-System) bezogen, weil diese Elemente für eine netzinterne Datenübermittlung doppelt benötigt werden (s. Fig. 2.1). Im Falle der Übermittlung vom Mobil- zum Festnetz werden alle Elemente nur einmal benötigt.

[7] Diese Zahl wird auf der Basis der installierten Leistung der Swisscom Basisstationen (Angabe Hr. Lampert, Swisscom AG, 5.11.2001) und dem Bedarf an Kühlung (ca. anderthalb mal der Stromverbrauch der Geräte, (BOHM 2000) ) berechnet.

Tab. 3.11: Sachbilanz der Module „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, GSM-Netz“ und „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, GSM-Netz“.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, GSM-Netz | Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, GSM-Netz |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Materialien** | Datenübermittlung, GSM Mobiltelefon 2000 | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Festnetz-Telefon | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, GSM Basisstation | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Telefonzentrale, GSM Netz | Gbit | 2.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Telefonzentrale, Festnetz | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Verwaltung, Festnetz | Gbit | | 1.00E+00 |
| | Datenübermittlung, Verwaltung, GSM Netz | Gbit | 1.00E+00 | 1.00E+00 |

## 3.3 Kennzahlen Energieverbrauch

In diesem Abschnitt wird der Energieverbrauch beim Betrieb der wichtigsten Elemente des Mobilfunk- und Festnetzes zusammengefasst. Mangels Erfahrungswerten im Betrieb des UMTS-Netzes müssen für Verwaltung und Telefonzentrale die selben Daten wie für das GSM-Netz angewendet werden (s. Tab. 3.12).

Tab. 3.12: Stromverbrauch im Betrieb der wichtigsten Netzelemente der Mobiltelekommunikation. Die Zahlen für Telefonzentrale und Verwaltung werden mangels Betriebsdaten für das UMTS-Netz als gleich für die beiden Netze abgeschätzt, d.h. der Ausbau wird als linear abhängig zur Datenmenge angenommen. Damit ist der Energieverbrauch dieser Elemente im UMTS-Netz vermutlich überschätzt, da die Geräte im UMTS-Netz pro Dateneinheit eher effizienter sind.

| | UMTS | GSM |
|---|---|---|
| | kWh/Gbit | kWh/Gbit |
| **Mobilnetz** | | |
| Mobiltelefon | 2.3 | 13.9 |
| Mobiltelefon, optimiertes Ladegerät | | 4.7 |
| Basisstation | 16.8 | 7.7 |
| Telefonzentrale | 4.1 | 4.1 |
| Verwaltung | 5.2 | 5.2 |
| **Festnetz** | | |
| Festnetztelefon | 2.8 | 2.8 |
| Telefonzentrale | 7.6 | 7.6 |
| Verwaltung | 1.2 | 1.2 |

Es zeigen sich Unterschiede zwischen den Elementen im UMTS- bzw. im GSM-Netz. Die hohe Datenkapazität des UMTS-Netzes führt dazu, dass das UMTS-Telefon pro Gbit weniger Strom

braucht als sogar das GSM-Gerät mit optimiertem Ladegerät (s. auch Tab. 3.9). Betrachtet man nur den Energieverbrauch pro Telefon und Jahr (ohne die übertragene Datenmenge zu berücksichtigten), so stellt sich heraus, dass das GSM-Gerät mit optimiertem Ladegerät einen tieferen Stromverbrauch als das UMTS-Gerät hat. Die Anzahl Basisstationen pro Kunde ist im UMTS-Netz höher als im GSM-Netz (ca. 50% mehr). Der Energieverbrauch einer UMTS-Basisstation in einem Jahr ist etwa 4 mal höher als derjenige einer GSM-Basisstation. Dies führt dazu, dass trotz höherem Datenumsatz der Energieverbrauch pro Dateneinheit für die UMTS-Basisstation höher ist.

# 4 Resultate

## 4.1 UMTS-Netz

### 4.1.1 Kumulierte Aufwendungen und Emissionen

In den folgenden Abbildungen werden die kumulierten Aufwendungen und Emissionen der Netzbestandteile und ihre relative Bedeutung gezeigt. Die kumulierten Ressourcenaufwendungen geben Auskunft einerseits über die eingesetzten Materialien (wie z.B. Kupfer, das hauptsächlich in den Kabeln vorkommt), andererseits über den Bedarf an Primärenergieträgern (z.B. Uran für Atomkraftwerke). Die Luftemissionen sind z.T. prozessbedingt, z.T. stammen sie aus der Verbrennung von Energieträgern. Hier werden sie zusammengefasst. Die Wasserschadstoffe werden bei den bilanzierten Prozessen hauptsächlich in Süsswasser emittiert. Bei indirekten Emissionen wie z.B. solchen aus der Treibstoffbereitstellung kann es sich auch um Emissionen ins Meer handeln.

Ausgewählte kumulierte Aufwendungen für die 2 Varianten Mobiltelefon zu Mobiltelefon und Mobiltelefon zu Festnetzanschluss werden in Tab. 4.1 dargestellt.

Tab. 4.1: Ausgewählte kumulierte Aufwendungen für die 2 Varianten „Mobiltelefon zu Mobiltelefon“ und „Mobiltelefon zu Festnetzanschluss“, UMTS-Netz.

| **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS Netz** | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz** |
|---|---|---|---|
| | Unit | Gbit | Gbit |
| Summe Kupfer | kg | 0.07 | 0.12 |
| Summe Rohbraunkohle | kg | 4.91 | 3.42 |
| Summe Rohfoerdersteinkohle | kg | 4.98 | 3.99 |
| Summe Rohoel | t | 0.003 | 0.003 |
| Summe Erdgas | Nm3 | 1.32 | 1.13 |
| Summe Wasserverbrauch | kg | 3 880 | 2 320 |

Fig. 4.1 zeigt die kumulierten Aufwendungen des Szenarios „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz“. In den meisten Kategorien dominiert das Mobiltelefon, ausser beim Kupferbedarf. Die Summe Kupfer kann hauptsächlich auf den Einsatz von Kupferkabeln

zurückgeführt werden. Pro Antenne werden z.B. 1 kg Kupferkabel (im Stecker und in den Kabeln) eingesetzt, dazu kommen noch die Kabel von den Antennen zur Basisstation (ca. 11 kg pro Antenne). In den Notstromversorgungs- und in den Klimaanlagen der Basisstationen wird auch eine grosse Menge Kupfer eingesetzt. Die Kategorie „Summe Uran“ gibt Auskunft über den Strombedarf und den Anteil der Atomkraft im Strommix. Dieser Anteil ist in der Schweiz höher als in Deutschland; deshalb gewinnen hier die Basisstationen an Bedeutung, deren Stromverbrauch bezogen auf ein Gbit etwa 7 mal so gross ist wie derjenige der Mobiltelefone für den Betrieb. Pro TJ Schweizer Strom ist die Summe Rohbraunkohle 4 mal kleiner als die Summe Rohfördersteinkohle, beim deutschen Strom ist dieses Verhältnis umgekehrt ist (2 mal grösser). Entsprechend verschieben sich für diese Kategorien die Verhältnisse, je nachdem ob eher Schweizer oder deutscher Strom nachgefragt wird. Die Summe Rohöl ergibt sich einerseits aus dem Verbrauch an Heizöl, Diesel oder Benzin, andererseits aus dem Einsatz an Kunststoffen. Die relativ hohe Bedeutung der Verwaltung in dieser Kategorien ist aber auf die Geschäftsfahrten und den Wärmeverbrauch zurückzuführen. Erdgas wird hauptsächlich in der Leiterplatten-Herstellung des Mobiltelefons und der Basisstationen eingesetzt. Der Wasserbedarf ist hauptsächlich auf den Einsatz von Strom aus Wasserkraft zurückzuführen.

Fig. 4.1: Ausgewählte kumulierte Aufwendungen der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz“. Hier werden die prozentualen Anteile der Module an der Gesamtsumme dargestellt.

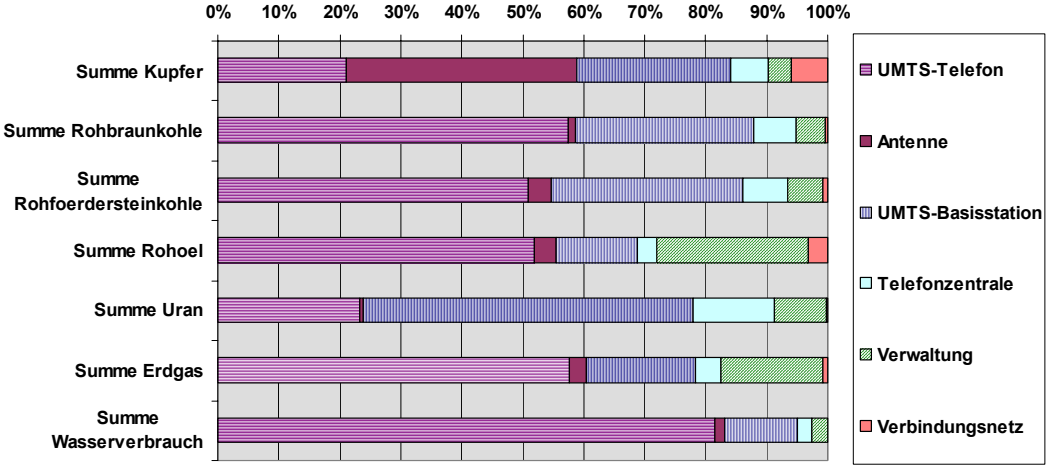
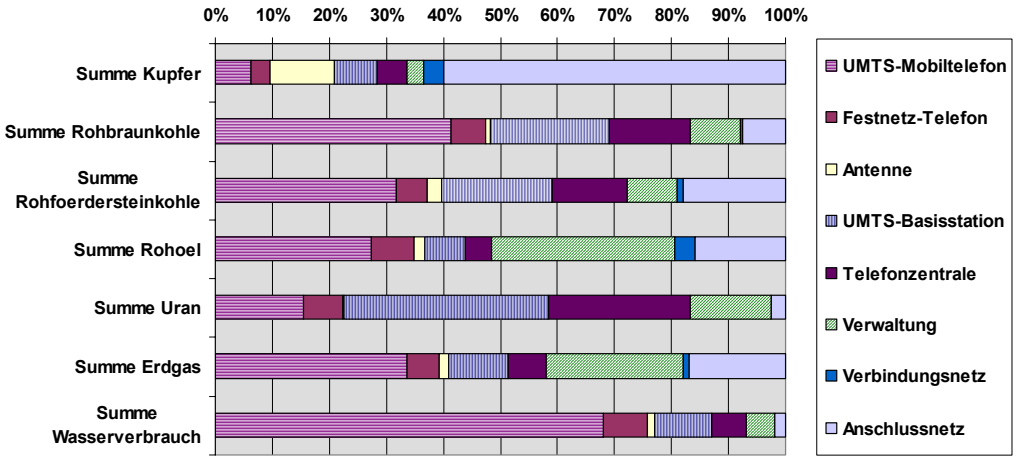



Fig. 4.2 zeigt die kumulierten Aufwendungen des Szenarios „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“. Die Komponenten „UMTS-Mobiltelefon“, „Antenne, GSM-Basisstation“ und „UMTS-Basisstation“ werden hier im Gegensatz zum vorherigen Szenario nur einmal benötigt; sie behalten aber untereinander das gleiche Beitragsmuster. Die Komponenten „Telefonzentrale“, „Verwaltung“, „Verbindungsnetz“ und „Anschlussnetz“ beinhalten die Aufwendungen für das GSM- und das Festnetz. Die Kupferleitungen des Anschlussnetzes sorgen für ca. 50% der Kupferaufwendungen. Auch zeigen sich die Bedeutung des Energieverbrauchs von Telefonzentralen und der Verwaltung (Summe Uran).

Fig. 4.2: Ausgewählte kumulierte Aufwendungen der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“. Hier werden die prozentualen Anteile der Komponenten an der Gesamtsumme dargestellt.




Ausgewählte kumulierte Emissionen für die 2 Varianten Mobiltelefon zu Mobiltelefon und Mobiltelefon zu Festnetzanschluss werden in Tab. 4.2 dargestellt.

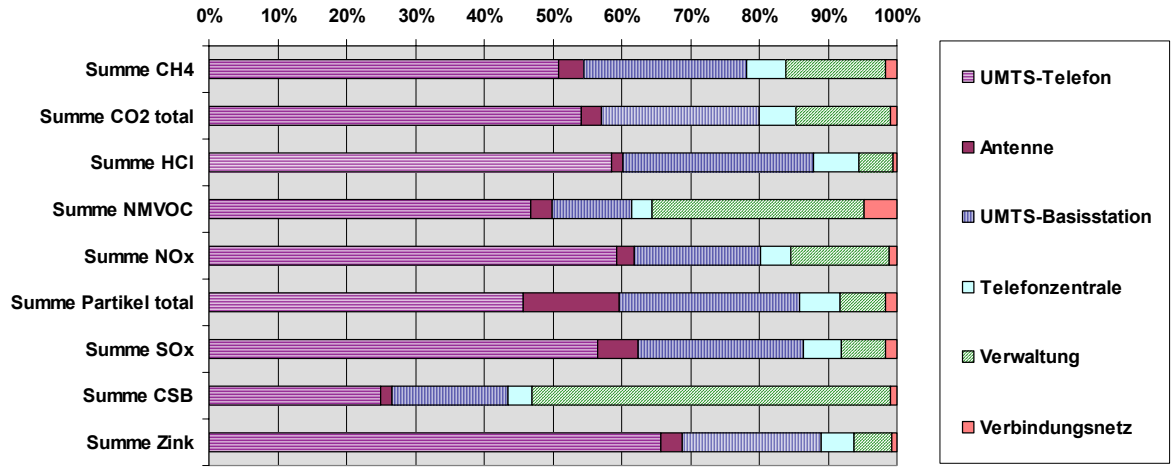
Tab. 4.2: Ausgewählte kumulierte Emissionen für die 2 Varianten „Mobiltelefon zu Mobiltelefon“ und „Mobiltelefon zu Festnetzanschluss“, UMTS-Netz.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS Netz** | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz** |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| Luftemissionen | Summe CH4 | kg | 0.05 | 0.04 |
| | Summe CO2 total | kg | 24.8 | 20.2 |
| | Summe HCl | kg | 0.003 | 0.002 |
| | Summe NMVOC | kg | 0.03 | 0.03 |
| | Summe NOx | kg | 0.06 | 0.05 |
| | Summe Partikel total | kg | 0.02 | 0.02 |
| | Summe SOx | kg | 0.14 | 0.12 |
| Wasser | Summe CSB | kg | 0.09 | 0.09 |
| | Summe Zink | kg | 0.0002 | 0.0001 |

Die $CO_2$-Emissionen stehen im Verhältnis zum Strommix, zum Kunststoffbedarf und zum fossilen Energieverbrauch. Die $NO_x$- und $SO_x$-Emissionen sind indirekt mit dem Bedarf an Heizöl und Erdgas, die $CH_4$-Emissionen mit dem Bedarf an Erdgas, und die HCl-Emissionen mit dem Einsatz von Kohle in Produktionsprozessen verknüpft, ähnlich wie die Emissionen an NMVOC und CSB, welche mit der Förderung von Öl verknüpft sind. Die Zinkemissionen werden durch die Herstellung von Gold, Kupfer, und Zink sowie durch die Bereitstellung von Strom verursacht. Die relative

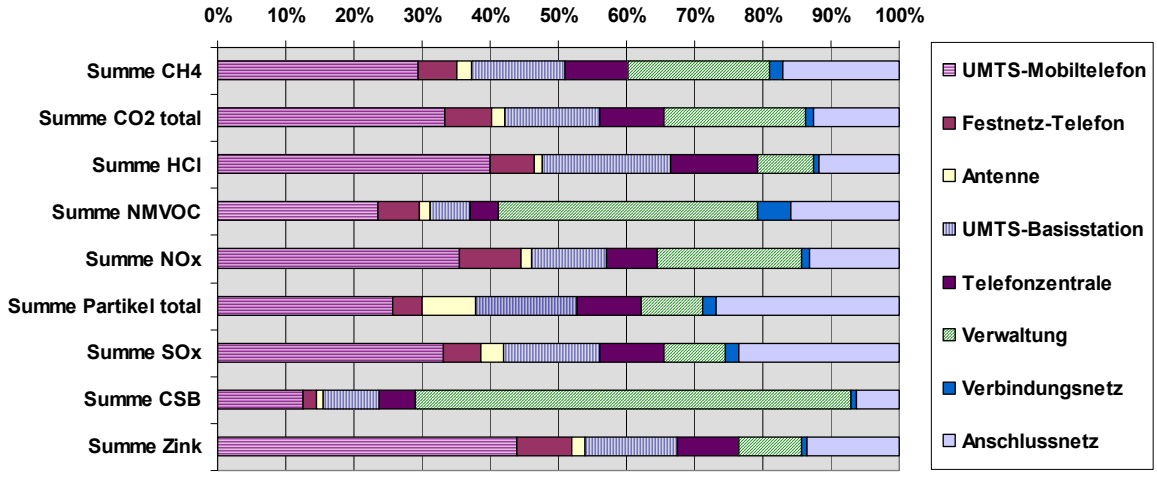
Bedeutung der Netzelemente in der Variante Mobiltelefon zu Mobiltelefon wird für ausgewählte kumulierte Emissionen in Fig. 4.3 dargestellt.

Fig. 4.3: Ausgewählte kumulierte Emissionen der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz“. Hier werden die prozentualen Anteile der Module an der Gesamtsumme dargestellt.




Der Einsatz an Kunststoffen im Anschlussnetz (Röhren) ist in der Variante Mobiltelefon zu Festnetzanschluss verhältnismässig hoch und schlägt deshalb zu Buche in der Kategorie „Summe Rohöl“, bzw. „Summe NMVOC“ und „Summe CSB“ (Fig. 4.4).

Fig. 4.4: Ausgewählte kumulierte Emissionen der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“. Hier werden die prozentualen Anteile der Komponenten an der Gesamtsumme dargestellt.



### 4.1.2 Bewertete Resultate

Die folgende Tabelle zeigt die mit der Methode Eco-Indicator ’99 Individualist, Hierarchist und Egalitarian und der Methode der ökologischen Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte, UBP) bewerteten Resultate. Zudem werden der Primärenergiebedarf (erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger getrennt) und die Treibhausgasemissionen ausgewiesen.

Für ein Gbit Datenübertragung Mobil-Mobil bzw. Mobil-Festnetz werden demnach 800 MJ-eq bzw. 640 MJ-eq nichterneuerbare Primärenergie benötigt und 27 kg bzw. 22 kg $CO_2$-eq. an Treibhausgasen ausgestossen (s. Tab. 4.3). Insgesamt sind die Ergebnisse der Bewertung für den reinen Mobilfunkverkehr höher als für die Datenübertragung auf das Festnetz. Bei der Methode EI'99-aggregated kehrt sich das Resultat, so dass die Datenübermittlung Mobil zu Festnetz höher bewertet wird als die Datenübermittlung Mobil zu Mobil. Der Unterschied ist bei den Perspektiven Egalitarian und Hierarchist nur gering. Für diese Kategorien sind die Ressource Kupfer und die Emissionen bei der Bleibereitstellung von Bedeutung. Bei der Perspektive Individualist kommt die Bedeutung des Festnetzes durch die starke Bewertung des Kupfers (als Ressource) zustande.

Tab. 4.3: Bewertete Ergebnisse der Datenübermittlung (1 Gbit Mobil zu Mobil und Mobil zu Festnetz).

| | | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz** | **Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz** |
|---|---|---|---|
| Methoden | Unit | Gbit | Gbit |
| Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen | MJ-eq | 801 | 640 |
| Bedarf erneuerbarer energetischer Ressourcen | MJ-eq | 138 | 107 |
| Treibhauseffekt 100a 2001 | kg $CO_2$-eq. | 27 | 22 |
| Umweltbelastungspunkte | UBP | 39 100 | 35 000 |
| EI'99-aggregated, Egalitarian | EI99-points | 1.8 | 2.0 |
| EI'99-aggregated, Hierarchist | EI99-points | 1.8 | 1.9 |
| EI'99-aggregated, Individualist | EI99-points | 6.2 | 10.8 |

In Fig. 4.5 wird die relative Bedeutung der einzelnen Netzkomponenten der Datenübertragung im Mobilfunknetz gezeigt. Der Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen wird vom Bedarf an fossilen Energieträgern (Treibstoffe, Uran für Atomkraft, Kohle usw.) hervorgerufen, der Bedarf erneuerbarer energetischer Ressourcen durch den Bedarf an Strom aus Wasserkraft. Da der Schweizer Strommix, der z.B. in den Basisstationen eingesetzt wird, v.a. mit Wasser- und Atomkraftwerken produziert wird, ergibt sich ein etwas unterschiedliches Bild zwischen dem Bedarf an energetischen Ressourcen, dem Treibhauseffekt und den Umweltbelastungspunkten. Die Bedeutung der Basisstationen für den Treibhauseffekt ist kleiner als bezüglich ihrem Bedarf an nichterneuerbaren energetischen Ressourcen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Energiebedarf der Basisstationen hauptsächlich durch den Stromverbrauch des Betriebs in der Schweiz dominiert wird. Im Gegensatz dazu stammen die Umweltbelastungen des Mobiltelefons zu einem grossen Teil aus dem Energieaufwand der Herstellung in Deutschland, dessen Anteil an thermischen Kraftwerken für die Stromproduktion sich im Treibhauseffekt niederschlägt. Die radioaktiven Abfälle werden bei den Umweltbelastungspunkten relativ stark bewertet. Deshalb ist der Anteil der Basisstationen bei dieser Bewertungsmethode höher als beim Treibhauseffekt. Bei den mit EI’99 Egalitarian und Hierarchist bewerteten Ergebnissen werden radioaktive Emissionen zwar berücksichtigt. Deren schädigende Wirkung ist aber gegenüber derjenigen der Schadstoffe aus fossilen Kraftwerken geringer, so dass die Basisstationen hier wiederum an Bedeutung verlieren.

Bei den mit EI'99 Individualist bewerteten Ergebnissen werden Ressourcen wie Kupfer sehr stark bewertet, so dass den Antennen (durch den Kupferverbrauch in den Kabeln) eine deutlich höhere Bedeutung zukommt.

Fig. 4.5: Bewertete Resultate der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz".

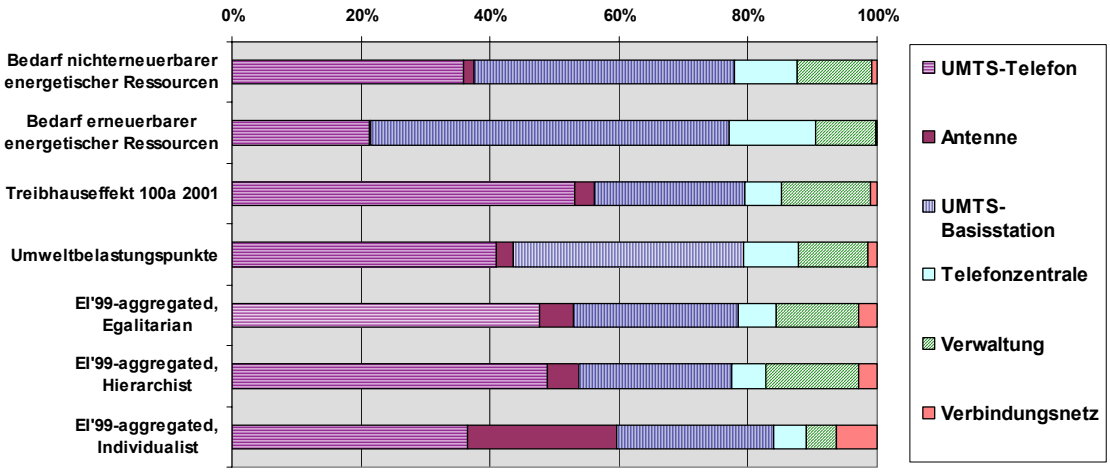



Fig. 4.6 zeigt die relative Bedeutung der einzelnen Netzkomponenten der Datenübermittlung von einem Mobiltelefon zu einem Festnetzanschluss. Telefonzentralen, Verwaltung, Verbindungs- und Anschlussnetz machen je nach Bewertungsmethoden zwischen 45% und 65% der Gesamtergebnisse aus. Die Telefonzentralen haben einen relativ hohen Stromverbrauch, während der Bedarf an nichterneuerbaren energetischen Ressourcen der Verwaltung hauptsächlich von der Heizenergie und den Geschäftsfahrten stammt. Deshalb ist die Verwaltung bezüglich Treibhauseffekt wichtiger als die Telefonzentralen, auch wenn der Bedarf an nichterneuerbaren Energieträgern etwa gleich ist. Besonders wichtig, bewertet mit dem Eco-indicator '99, ist das Anschlussnetz durch den hohen Bedarf an Kupferkabeln.

Fig. 4.6: Bewertete Resultate der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz"

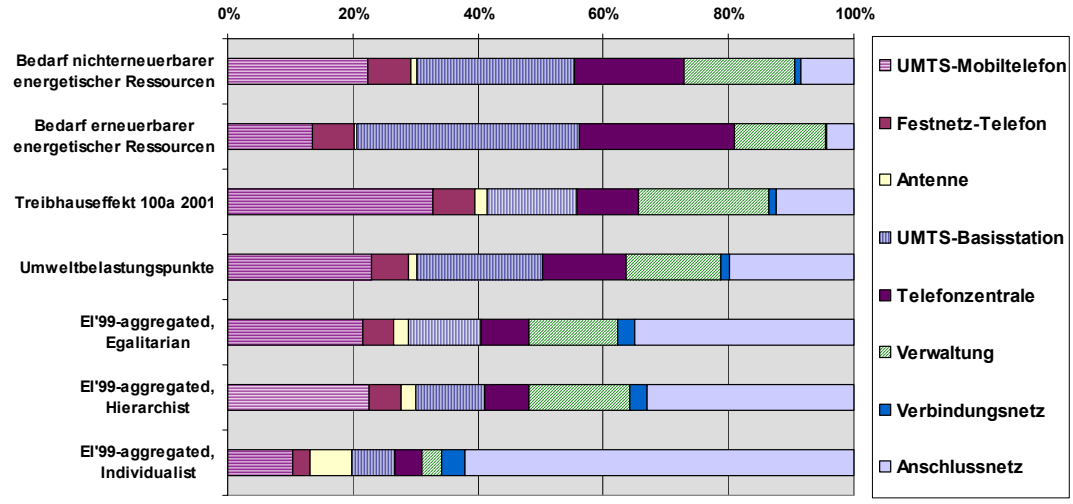
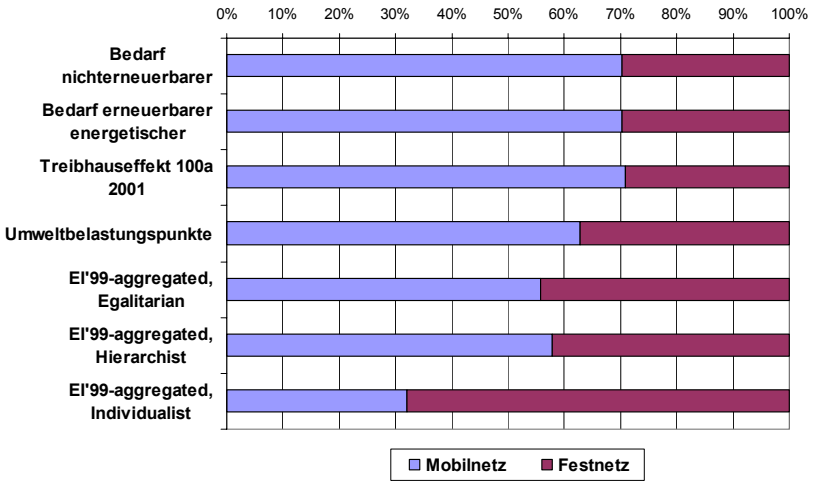


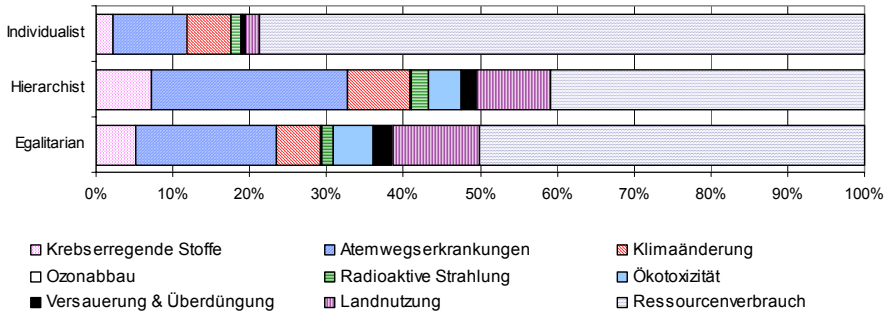
Fig. 4.7 zeigt die relative Bedeutung der Netzelemente des Festnetzes im Szenario „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“ im Vergleich zu den Komponenten des Mobilfunknetzes. Dieser Anteil liegt zwischen 30% und 40% (ausgenommen bei der Bewertungsmethode EI’99 Individualist mit 70%, vgl. Kommentare zu Fig. 4.6) und wird hauptsächlich durch das Anschlussnetz und die Telefonzentralen geprägt.

Fig. 4.7: Bedeutung des Festnetzes der Variante „1 Gbit Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“.



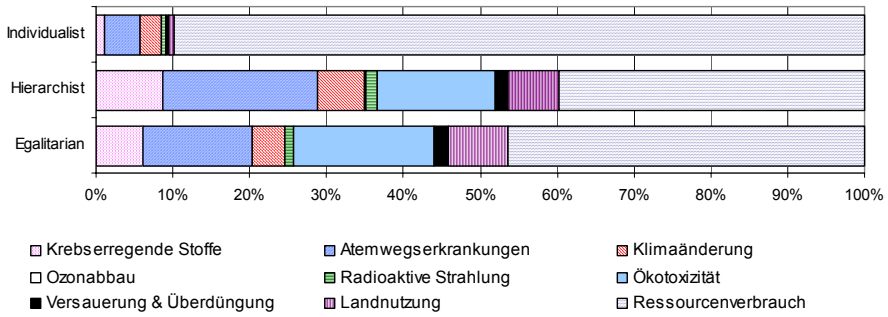

Die Aufteilung innerhalb der Wirkungskategorien des Eco-indicators ’99 werden in Fig. 4.8 gezeigt. Für alle drei Perspektiven ist der Ressourcenverbrauch die wichtigste Kategorie; für die Perspektive „Individualist“ ist dabei die wichtigste Ressource Kupfer, währenddem bei den anderen Perspektiven die wichtigste Ressource Rohöl ist, die bei Energieträgern und Kunststoffen eingesetzt wird. Weiter ist die Kategorie „Atemwegserkrankungen“ wichtig. Da ist v.a. $SO_x$ die wichtige Emission, die aus Verbrennungsprozessen in der Produktion stammt. Interessant ist die untergeordnete Bedeutung der Kategorie „Ozonabbau“ und damit der Kältemittelemissionen, die mit einer Emissionsrate von 2.8% der gesamten Füllmenge berücksichtigt werden. Dies sollte jedoch die Betreiber nicht daran hindern, mit ozonschädigenden Kältemitteln ausgerüstete Kälteanlagen sukzessive zu ersetzen.

Fig. 4.8: Bedeutung der Wirkungskategorien der Variante „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz“. Die Berechnungen beziehen sich auf 1 Gbit Datenübertragung, bewertet mit Eco-indicator ’99.




Im Szenario „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“ (Fig. 4.9) zeigt sich ein ähnliches Bild der Wirkungskategorien. Der Ressourcenverbrauch ist aufgrund des grossen Kupferbedarfs im Anschlussnetz noch wichtiger, v.a. bei den mit EI’99 Individualist bewerteten Ergebnissen.

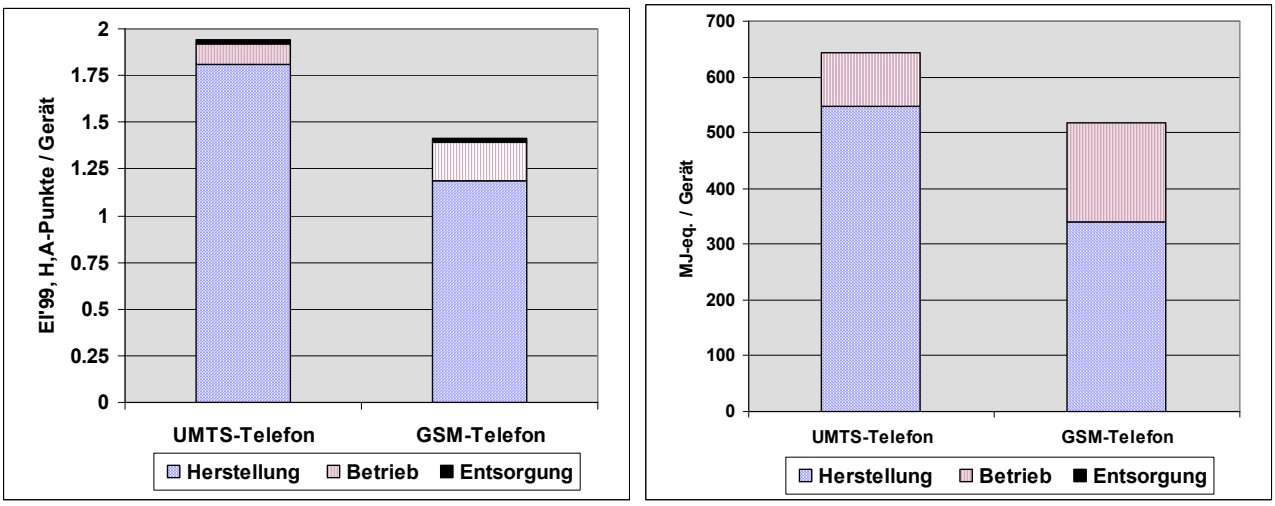
Fig. 4.9: Bedeutung der Wirkungskategorien der Variante „Datenübermittlung, von Mobiltelefon zu Festnetzanschluss, UMTS-Netz“. Die Berechnungen beziehen sich auf 1 Gbit Datenübertragung, bewertet mit Eco-indicator ’99.




### 4.1.3 Wichtige Parameter des Mobiltelefons

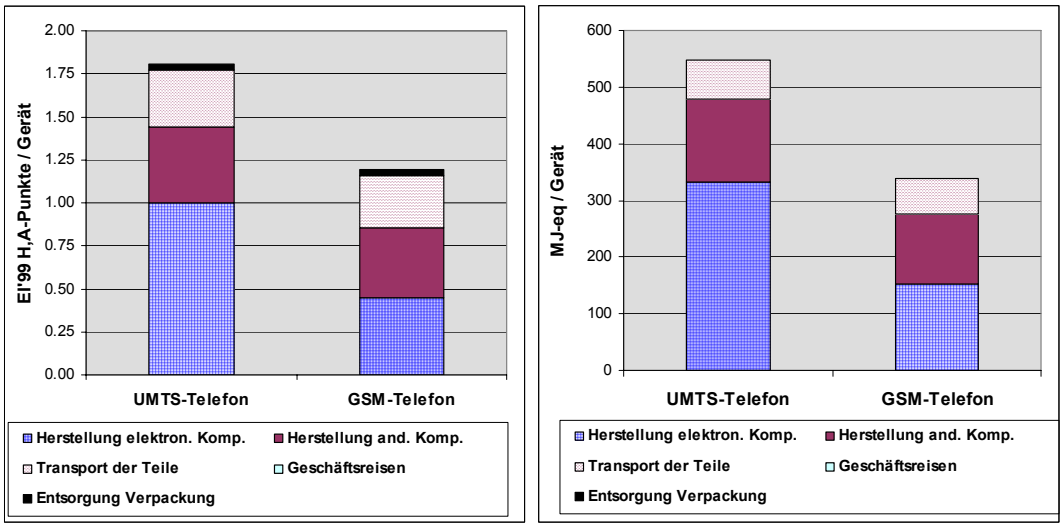
Der Betrieb macht nur ca. 5% (UMTS-Gerät) bzw. 15% (GSM-Gerät) der Umweltbelastungen des Mobiltelefons aus (s. Fig. 4.10). Trotz der Tatsache, dass mit 20% Verbrennung in der KVA ein relativ pessimistisches Szenario für die Entsorgung gewählt wurde, fallen die Umweltauswirkungen dieser Lebensphase nicht ins Gewicht. In Bezug auf den kumulierten Energieaufwand ist der Betrieb mit 15% (UMTS) bzw. 35% (GSM) etwas wichtiger als bzgl. EI’99-Punkte.

Fig. 4.10: Aufteilung der Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average) -Punkte und des kumulierten Bedarfs an nichterneuerbaren Energieträgern für ein UMTS- bzw. GSM-Mobiltelefon auf die verschiedenen Lebensphasen eines Geräts (Herstellung, Betrieb in der Schweiz, Entsorgung).



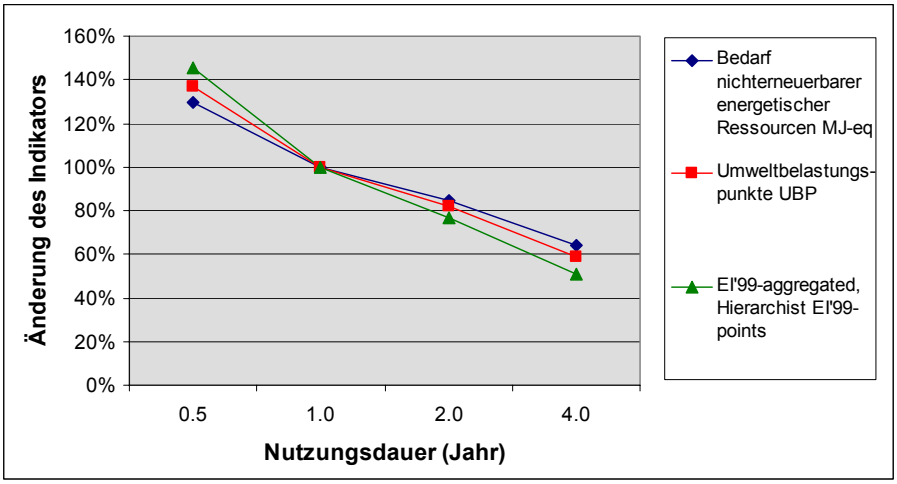

Die Herstellung von elektronischen Komponenten hat die grösste Bedeutung bei der Bilanzierung des Mobiltelefons (s. Fig. 4.11). Dies gilt sowohl für das UMTS- wie für das GSM-Gerät. Die Herstellung von Leiterplatten und die integrierten Schaltungen machen etwa 40-50% der Umweltauswirkungen aus. Bei diesen Elementen sind der Energieverbrauch, die Produktion von Halbleiterelementen und die Bereitstellung von Gold und z.T. Silber von Bedeutung für die Bilanzierung. Der Transport der elektronischen Komponenten trägt mit 18-25 % erstaunlich viel bei. Dies ist auf das Transportmittel und die grossen Distanzen zurückzuführen (Flugzeug).

Fig. 4.11: Aufteilung der Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average) -Punkte und des kumulierten Bedarfs an nichterneuerbaren Energieträgern für ein UMTS- bzw. GSM-Mobiltelefon auf die verschiedenen Komponenten bei der Herstellung.



Der Einfluss der Nutzungsdauer eines UMTS-Mobiltelefons auf die Resultate der Bilanzierung wird in Fig. 4.12 dargestellt. Fig. 4.12 zeigt die Änderung des Indikators für die Variante Mobil-Mobil, UMTS-Netz bei einer Kürzung bzw. einer Verlängerung der Nutzungsdauer. Eine Verdoppelung der Nutzungsdauer reduziert die Umweltbelastungen um ca. 20%, während eine Halbierung der Nutzungsdauer die Umweltbelastungen um 30-40% steigen lässt. In Europa liegt die Erneuerungsrate gemäss (TAGES ANZEIGER 2003) bei knapp einem Jahr, in Japan kauft ein Mobilfunkkunde bereits jedes halbe Jahr ein neues Mobiltelefon.

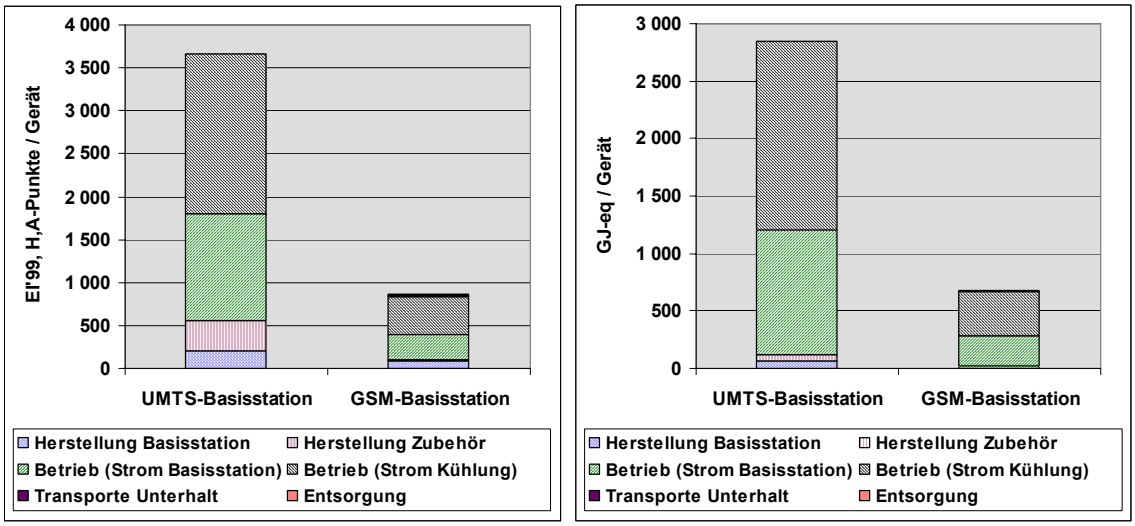
Fig. 4.12: Einfluss der Nutzungsdauer eines UMTS-Mobiltelefons auf die Resultate der Variante 1 Gbit Datenübertragung, , von Mobiltelefon zu Mobiltelefon, UMTS-Netz für die Indikatoren „Bedarf nichterneuerbarer energetischer Ressourcen“, „Umweltbelastungspunkte“ und „EI’99-aggregated, Hierarchist“.




### 4.1.4 Wichtige Parameter der Basisstation

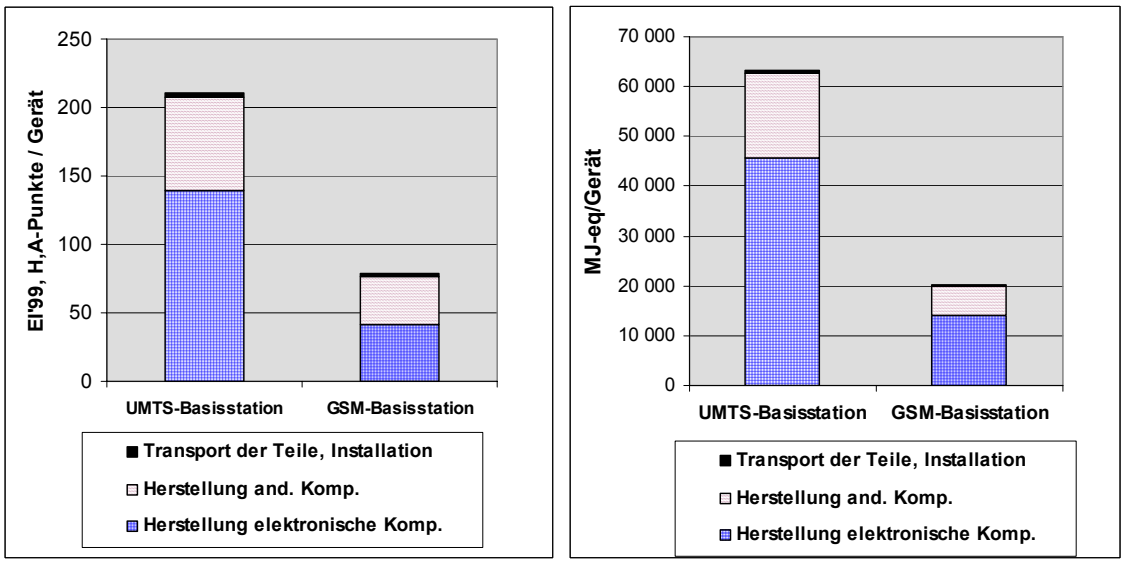
Im Gegensatz zum Mobiltelefon macht der Betrieb ca. 85% der Umweltbelastungen der Basisstationen bzw. 95% des kumulierten Energieaufwands aus (s. Fig. 4.13). Dieser Unterschied wird hauptsächlich durch die längere Lebensdauer (im Vergleich zum Mobiltelefon um einen Faktor 8 höher) dieser Geräte verursacht.

Fig. 4.13: Aufteilung der Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average) -Punkte und des kumulierten Bedarfs an nichterneuerbaren Energieträgern für eine UMTS- bzw. GSM-Basisstation auf die verschiedenen Lebensphasen: Herstellung der Basisstation, Herstellung des Zubehörs (USV-Anlage, Kabinen, Klimaanlage), Betrieb in der Schweiz, Unterhalt, Entsorgung.




Die Herstellung von elektronischen Komponenten hat wiederum die grösste Bedeutung bei der Bilanzierung der Basisstation (s. Fig. 4.14). Dies gilt sowohl für das UMTS- (mit 61%) wie für das GSM-Gerät (mit 44%). Die Transporte der Komponenten wird in dieser Studie möglicherweise unterschätzt, da keine detaillierten Daten wie für das Mobiltelefon zur Verfügung standen.

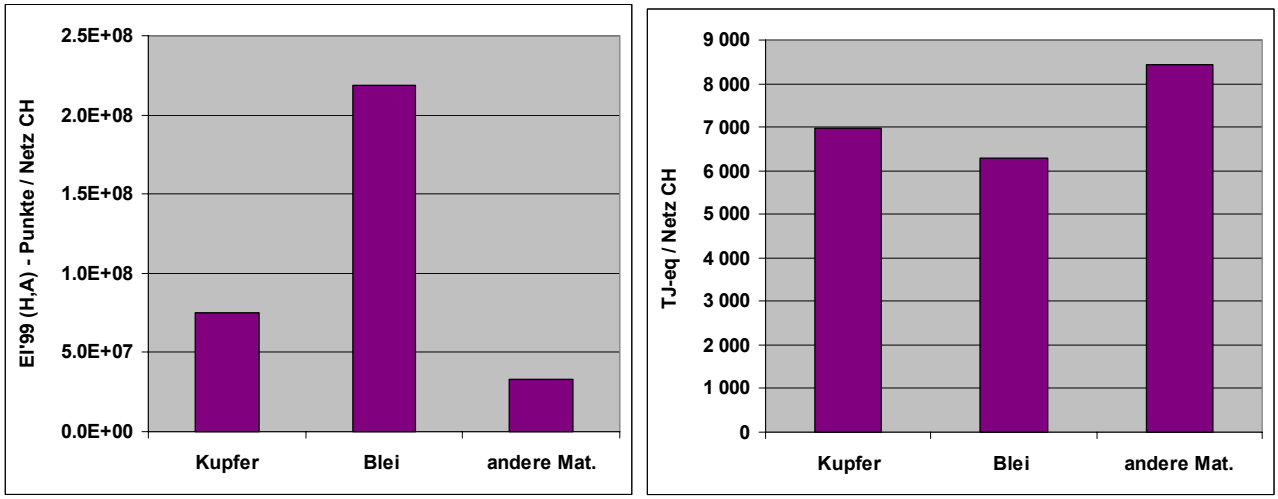
Fig. 4.14: Aufteilung der Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average) -Punkte für eine UMTS- bzw. GSM-Basisstation auf die verschiedenen Komponenten bei der Herstellung.



### 4.1.5 Wichtige Parameter des Anschlussnetzes

Wichtiges Material ist v.a. Blei, gefolgt von Kupfer (s. Fig. 4.15). Allerdings werden mit Blei ummantelte Kupferkabel im Festnetz nicht mehr eingesetzt, so dass diese Technologie nicht mehr relevant ist und daher auch aus Umweltsicht kein Optimierungspotential darstellt. In der Kategorie „andere Materialien“ ist der Stahl mit 50% des kumulierten Bedarfs an nichterneuerbaren Energieträgern ein weiteres wichtiges Material. Der hohe Energieaufwand zur Bereitstellung von Kupfer wird in dieser Abbildung sichtbar.

Fig. 4.15: Wichtige Materialien im Anschlussnetz.




## 4.2 Vergleich des UMTS-Netzes mit dem GSM-Netz

Im folgenden werden die ökologischen Auswirkungen eines Ausbaus des UMTS-Netzes in der Schweiz dargestellt.

Vergleicht man die Datenübermittlung im GSM- bzw. im UMTS-Netz, so zeigt es sich, dass die Übermittlung von 1 Gbit in allen betrachteten Kategorien (kumulierter Energieaufwand, Treibhauseffekt, Eco-indicator 99 (Hierarchist, Average)) mit dem UMTS-Netz ökologisch günstiger ist als mit dem GSM-Netz (s. Tab. 4.4). Für 1 Gbit Datenübertragung Mobil zu Mobil werden im GSM-Netz 1.3 GJ-eq. benötigt bzw. 44 kg $CO_2$-eq. ausgestossen, währenddem die gleiche Datenmenge im UMTS-Netz nur 0.94 GJ-eq. bzw. etwa 27 kg $CO_2$-eq. verursacht. Dieser Unterschied ist auf die grössere Kapazität des UMTS-Netzes zurückzuführen, die zu einer besseren Umweltleistung pro Dateneinheit führt.

Tab. 4.4: Vergleich des kumulierten Energieaufwands (erneuerbar und nichterneuerbar zusammengefasst), des Treibhauseffekts und der EI'99, Hierarchist-Bewertung für die Datenübermittlung im GSM- bzw. UMTS-Netz.

| | | kum. Energieaufwand | Treibhauseffekt 100a 2001 | EI'99-aggregated, Hierarchist |
|---|---|---|---|---|
| | | MJ-eq | kg CO2-eq | EI'99-points |
| Mobil-Mobil GSM | Gbit | 1 313 | 43.9 | 3.04 |
| Mobil-Festnetz GSM | Gbit | 935 | 30.3 | 2.55 |
| Mobil-Mobil UMTS | Gbit | 939 | 26.6 | 1.77 |
| Mobil-Festnetz UMTS | Gbit | 747 | 21.7 | 1.91 |

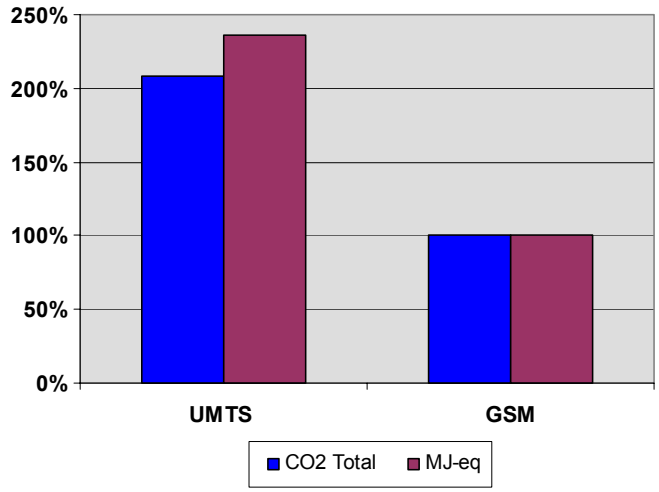
Dieser Unterschied kann mit dem Vergleich der Datenübermittlung mittels Mobilnetzen mit der Umweltbelastung einer Fahrt mit einem Personenwagen verdeutlicht werden (Tab. 4.5). Während bei der Datenübermittlung von 1 Gbit im GSM-Netz der kumulierte Energieaufwand einer Pkw-Fahrt von 250 km entspricht, sind es für die gleiche Übertragung im UMTS-Netz nur ca. 180 km.

Tab. 4.5: Vergleich der Umweltbelastungen der Datenübertragung in den beiden Netzen mit den Umweltbelastungen einer Pkw-Fahrt.

| | | kum. Energieaufwand | Treibhauseffekt 100a 2001 | EI'99-aggregated, Hierarchist |
|---|---|---|---|---|
| | | km Pkw | km Pkw | km Pkw |
| Mobil-Mobil GSM | Gbit | 246 | 128 | 99 |
| Mobil-Festnetz GSM | Gbit | 175 | 88 | 83 |
| Mobil-Mobil UMTS | Gbit | 176 | 78 | 57 |
| Mobil-Festnetz UMTS | Gbit | 140 | 63 | 62 |

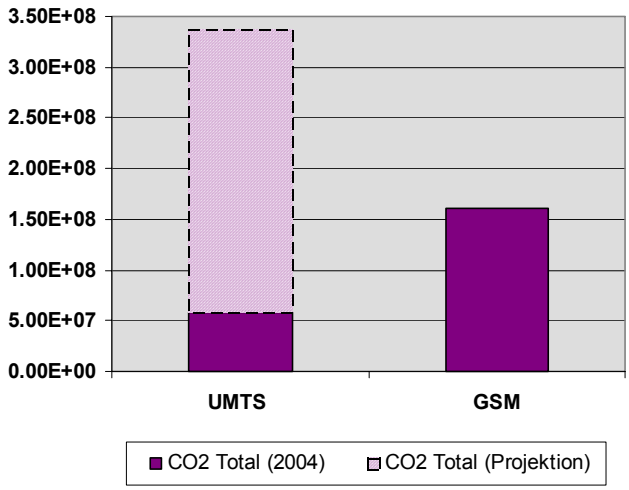
Betrachtet man die gesamte Datenübermittlung der Netze in der Schweiz, so ergibt sich ein anderes Bild (Fig. 4.16). Das UMTS-Netz im Zustand seiner Planung für 2004 und mit der entsprechend berechneten Anzahl Kundinnen und Datenmenge verursacht pro Kundin 2.1x mehr Treibhausgase und braucht 2.4x mehr Energie als das GSM-Netz in seinem aktuellen Ausbaustand.

Fig. 4.16: Energieaufwand und $CO_2$-Ausstoss pro KundIn des UMTS-Netzes im Vergleich zum GSM-Netz (als 100% gesetzt).




Unter der Annahme, dass das Verhältnis Basisstation zu KundIn bei einer weiteren Erhöhung der Netzabdeckung gleich bleibt, kann man den Ausstoss an Treibhausgasen für ein voll ausgebautes UMTS-Netz mit den Treibhausgas-Emissionen pro UMTS-KundIn und der heutigen Anzahl GSM-Kundinnen hochrechnen. So ergibt sich eine Verdopplung des Ausstosses an Treibhausgasen, der durch die Herstellung und den Betrieb des Netzes verursacht würde (s. Fig. 4.17).

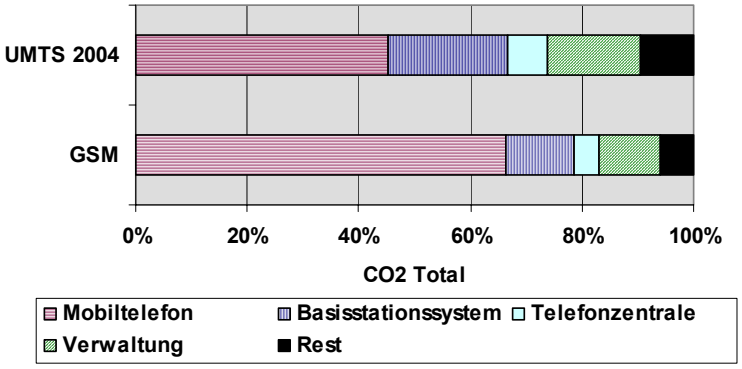
Fig. 4.17: Ausstoss von $CO_2$, der durch die Herstellung und den Betrieb der Mobilfunknetze in der Schweiz pro Jahr verursacht wird. Der gestrichelte plus der volle Balken für das UMTS-Netz entsprechen der Hochrechnung, falls alle GSM-Kundinnen auf die UMTS-Technologie wechseln würden.



Es ist jedoch anzunehmen, dass je weiter der Netzausbau fortgeschritten ist, desto höher der Materialaufwand ist, den jeder zusätzliche Ausbauschritt nach sich zieht (d.h. die Anzahl KundIn pro Basisstation verringert sich). Unter diesen Annahmen ist obige Zahl eher unterschätzt. Die Berechnungen basieren allerdings auf der Einführungsphase des UMTS-Netzes, in der Optimierungspotentiale noch vorhanden sind, die beim Betrieb der Geräte im GSM-Netz schon weitgehend ausgeschöpft wurden, was die Umweltbelastungen wieder eher kleiner werden lassen.

Fig. 4.18 zeigt die Bedeutung der wichtigsten Netzelemente in den beiden Netzen in Bezug auf dem $CO_2$-Ausstoss.

Fig. 4.18: Bedeutung der Netzkomponenten am Gesamttotal des $CO_2$-Ausstosses der Mobilkommunikation in der Schweiz pro Jahr.




# 5 Szenarien

## 5.1 Beschreibung der Szenarien

### 5.1.1 Szenario „Betrieb des Netzes in Deutschland“

#### *5.1.1.1 Motivation*

Diese Studie beschreibt den Zustand des projektierten Betriebs des UMTS-Netzes in der Schweiz. Da die Geräte zum Betrieb hauptsächlich Strom beziehen, ist es interessant zu wissen, wie stark die Art der Stromproduktion die Resultate der Ökobilanz beeinflusst. Deshalb wird ein Szenario gerechnet, bei dem das UMTS-Netz in Deutschland betrieben wird.

#### *5.1.1.2 Sachbilanz*

In der Schweiz besteht der Strommix (unter Berücksichtigung der Importe) zu etwa 50% aus Kernenergie, 40% Wasserkraft und die restlichen 10% aus nichterneuerbaren Energieträgern. In Deutschland hingegen wird mehr als 60% des Stroms mit thermischen Kraftwerken erzeugt. Für

dieses Szenario wird für den Betrieb der Geräte und in Telefonzentralen und Verwaltung statt dem Modul „Strom Niederspannung - Bezug in CH Import“ das Modul „Strom Niederspannung - Bezug in W-D Import“ benutzt. Alle anderen Daten bleiben unverändert.

### 5.1.2 Szenario „Netzausbau“

#### *5.1.2.1 Motivation*

Der Druck, Mobilfunknetze anders als mit dem bisherigen Konzept (in ländlichen Gebieten mit geringem Gesprächsvolumen vorwiegend Makrozellen, in Ballungszentren mit hohem Gesprächsvolumen mit zusätzlichen Mikrozellen) zu realisieren, wird von Teilen der Politik und Öffentlichkeit systematisch aufgebaut. Weil Mikrozellen eine geringere Sendeleistung der Basisstation benötigen als Makrozellen, werden diese von diesbezüglich besorgten BürgerInnen und PolitikerInnen favorisiert. Vorteil einer solchen Lösung wäre die Vermeidung von „hot spots“, Standorte mit hohen Immissionen. Unklar bleibt jedoch, ob diese Massnahme auch zu einer Senkung der durchschnittlichen Immissionswerte führen würde.

Für die Diskussionen ist es deshalb wichtig, neben den technischen Randbedingungen auch die ökologischen Konsequenzen abzuschätzen, da solche Netze unvermeidlicherweise mit einer Multiplikation der Anzahl Anlagen verbunden sind, um eine (gegenüber den heutigen Verhältnissen) einigermassen gleichbleibende Netzqualität garantieren zu können.

Das Szenario berücksichtigt drei denkbare Entwicklungen: den konventionellen Ausbau des GSM-Netzes bis 2005 (50% mehr Basisstationen im Vergleich zu heute), Szenario x4 und Szenario x10. Da der Netzausbau hauptsächlich aus Gründen der Netzqualität und des Abdeckungsgrades erfolgt und keine Daten bezüglich Entwicklung der Kundenzahl und des Datentransfers bzw. der Sprechzeit vorliegen, wird für diese Ausbauvarianten von der gleichen Anzahl KundInnen und Datenmenge wie im Ist-Zustand für das GSM-Netz ausgegangen. Damit sind die Umweltauswirkungen pro Gbit der ausgebauten Netze vermutlich etwas überschätzt.

In diesem Szenario wird nur das GSM-Netz betrachtet. In Zukunft müsste jedoch auch noch dasselbe für das UMTS-Netz berechnet werden, da GSM und UMTS zumindest in der ersten Zeit parallel bestehen werden.

#### *5.1.2.2 Sachbilanz*

Die Eckdaten (Anzahl Mikro- und Makrobasisstationen) des Ist-Zustandes und der Ausbauvarianten werden in Tab. 5.1 beschrieben.

Tab. 5.1: Eckdaten des Ist-Zustandes und der Ausbauvarianten.

| | Ist-Zustand | Konv. Ausbau 2005 | Szenario BTS x4 | Szenario BTS x10 |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl Kundinnen (Basis GSM) | Stand 2001 | Stand 2001 | Stand 2001 | Stand 2001 |
| Datenmenge (Basis GSM) | Stand 2001 | Stand 2001 | Stand 2001 | Stand 2001 |
| Anzahl BSC/MSC | Stand 2001 | Stand 2001[8] | Stand 2001 | Stand 2001 |
| Anzahl Makrobasisstationen inkl. MakroBTS in Mikrosites | 3‘800 | 5’700 | 7’600 | 15’200 |
| Anzahl Mikrobasisstationen | -[9] | -[10] | 7’600 | 22’800 |

### Szenario x4

Es werden keine neuen GSM-Makrozellen mehr gebaut. Für den weiteren Netzausbau werden nur noch GSM-Mikrobasisstationen für Mikrozellen verwendet. Im Endausbau würden dann im Vergleich zu heute total 4 mal mehr Anlagen benötigt. Davon sind 75% Mikro- und 25% Makrozellen. Aus Kapazitätsgründen würde ein Teil der zusätzlichen Mikrosites mit Basisstationen für Makrosites (inkl. Kühlung, etc.) ausgerüstet.

Eine typische Mikrobasisstation braucht keine Kühlung. Sie kann z. Bsp. direkt an einer Hausmauer befestigt werden und benötigt im Vergleich zu einer Makrobasisstation eine kleinere USV. Bilanziert wurde das Modell RBS 2302 von Ericsson. Für Mikrozellen kommen typischerweise Rundstrahlantennen zum Einsatz.

Die Sachbilanzdaten befinden sich in Tab. 5.2 (Antennen) und in Tab. 5.3. Die Sachbilanzdaten der einzelnen Komponenten beziehen sich jeweils immer auf 1 Gbit des totalen jährlichen Datenverkehrs des Gesamtsystems.

[8] Es werden keine zusätzlichen BSC/MSC benötigt, da der Datenverkehr in den Szenarien in etwa unverändert bleibt.

[9] Im heutigen GSM-Netz gibt es schon Mikrobasisstationen. Sie wurden mangels Daten in der Bilanzierung des Ist-Zustands vernachlässigt. Sie sind im heutigen Ausbau von ungeordneter Bedeutung (persönliche Kommunikation, Hr. M. Guggisberg, 23.01.2003).

[10] s. Fussnote 9.

Tab. 5.2: Sachbilanzdaten für die Antennen im Szenario x4. Die Rundstrahlantennen (Antenne, GSM Basisstation, Mikrozelle) werden direkt an die Hauswand angebaut und brauchen deshalb keinen Mast. Das Modul „Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Szenario x4“ berücksichtigt die neue Anzahl Antennen für Makrobasisstationen.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Szenario x4 | Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Mikrozelle, Szenario x4 |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Materialien** | Koaxialkabel, ab Werk | m | 1.22E-01 | 1.10E-01 |
| | Antenne, Rundstrahl-, GSM Basisstation, ab Werk | Stk | | 3.29E-03 |
| | Antenne, GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 4.16E-04 | |
| | Antennenmast, freistehend, ab Werk | Stk | 3.29E-05 | |
| | Antennenmast, auf Haus, ab Werk | Stk | 7.67E-05 | |

Tab. 5.3: Sachbilanzdaten für die Basisstationen (Makro- und Mikrobasisstation) im Szenario x4. Mikrozellen benötigen keine Kühlung. Das Modul „Datenübermittlung, GSM Basisstation, Szenario x4“ berücksichtigt die neue Anzahl Makrobasisstationen.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Datenübermittlung, GSM Basisstation, Szenario x4 | Datenübermittlung, GSM Basisstation, Mikrozelle, Szenario x4 |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 5.52E-05 | 7.69E-06 |
| **Materialien** | Klimaanlage, GSM Basisstation, Innenbereich, ab | Stk | 1.15E-04 | |
| | Klimaanlage, GSM Basisstation, Aussenbereich, ab | Stk | 4.93E-05 | |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ II), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 9.29E-03 | 2.05E-04 |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ I), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 9.29E-03 | 2.05E-04 |
| | Kabinen, Basisstation, ab Werk | Stk | 3.29E-05 | |
| | USV-Anlage, Basisstation, ab Werk | Stk | 2.28E-04 | |
| | GSM Basisstation, Mikrozelle, ab Werk | Stk | | 3.29E-04 |
| | GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 8.76E-04 | |
| **Abfälle** | Kunststoffe in KVA | kg | 9.30E-03 | 4.66E-04 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 1.07E-01 | 9.86E-03 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 5.52E-05 | 7.69E-06 |

### Szenario x10

In diesem Szenario müssen zudem auch die bestehenden GSM-Makrosites abgebaut und durch GSM-Mikrozellen ersetzt werden. Es werden im Vergleich zu heute total 10 mal mehr Anlagen benötigt, d.h. insgesamt 38'000 Mikrozellen. Aus Kapazitätsgründen würde nur ein Teil der Mikrosites mit Mikrobasisstationen ausgerüstet. Die übrigen Mikrosites sind mit konventionellen Basisstationen ausgerüstet. Gegenüber dem Szenario x4 sind im Szenario x10 doppelt soviele Makro- und dreimal soviele Mikrobasisstationen erforderlich. Die für die Bilanzierung der

Rundstrahlantenne und der Mikrobasisstation zugrunde liegenden Daten sind dieselben wie im Szenario x4. Die Sachbilanzdaten befinden sich in Tab. 5.4 (Antennen) und in Tab. 5.5.

Tab. 5.4: Sachbilanzdaten für die Antennen im Szenario x10. Die Rundstrahlantennen (Antenne, GSM Basisstation, Mikrozelle) werden direkt an die Hauswand angebaut und brauchen deshalb keinen Mast. Das Modul „Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Szenario x10“ berücksichtigt die neue Anzahl Antennen für Makrobasisstationen.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Szenario x10** | **Datenübermittlung, Antenne, GSM Basisstation, Mikrozelle, Szenario x10** |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Materialien** | Koaxialkabel, ab Werk | m | 2.44E-01 | 3.30E-01 |
| | Antenne, Rundstrahl-, GSM Basisstation, ab Werk | Stk | | 9.86E-03 |
| | Antenne, GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 8.33E-04 | |
| | Antennenmast, freistehend, ab Werk | Stk | 6.57E-05 | |
| | Antennenmast, auf Haus, ab Werk | Stk | 1.53E-04 | |

Tab. 5.5: Sachbilanzdaten für die Basisstationen (Makro- und Mikrobasissation) im Szenario x10. Mikrozellen benötigen keine Kühlung. Das Modul „Datenübermittlung, GSM Basisstation, Szenario x10“ berücksichtigt die neue Anzahl Makrobasisstationen.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Datenübermittlung, GSM Basisstation, Szenario x10** | **Datenübermittlung, GSM Basisstation, Mikrozelle, Szenario x10** |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 1.10E-04 | 2.31E-05 |
| **Materialien** | Klimaanlage, GSM Basisstation, Innenbereich, ab | Stk | 2.30E-04 | |
| | Klimaanlage, GSM Basisstation, Aussenbereich, ab | Stk | 9.86E-05 | |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ II), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 1.86E-02 | 2.88E-03 |
| | Anwendung Akkus in 48V USV-Anlage (wartungsfrei, Typ I), in Mobilfunknetz, 1 Jahr | Stk | 1.86E-02 | 2.88E-03 |
| | Kabinen, Basisstation, ab Werk | Stk | 6.57E-05 | |
| | USV-Anlage, Basisstation, ab Werk | Stk | 4.57E-04 | |
| | GSM Basisstation, Mikrozelle, ab Werk | Stk | | 9.86E-04 |
| | GSM Basisstation, ab Werk | Stk | 1.75E-03 | |
| **Abfälle** | Kunststoffe in KVA | kg | 1.86E-02 | 1.40E-03 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 2.14E-01 | 2.96E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 1.10E-04 | 2.31E-05 |

### 5.1.3 Szenario kombiniertes Gerät

#### *5.1.3.1 Motivation*

Die neuen Generationen von Telekommunikations-Geräten vereinbaren immer mehr Funktionen. Ein sehr häufiges Beispiel ist die Kombination von Handheld- mit Handy-Funktionen. In diesem Szenario wird der Vergleich zwischen einem kombinierten Gerät und zwei separaten Geräten beschrieben. Geräte mit GSM-Technologie werden verglichen, da keine entsprechenden Daten für die UMTS-Technologie zur Verfügung stehen. Es wird aber angenommen, dass die Resultate sich auf die UMTS-Technologie übertragen lassen. Die Geräte werden auf der Basis einer Stunde Gebrauch für die Handheld-Funktion und 10 Minuten für die Handy-Funktion verglichen.

#### *5.1.3.2 Sachbilanz*

Das Modul „Betrieb, kombiniertes Gerät, GSM Mobiltelefon“ (siehe Tab. 5.6) berücksichtigt den Strom zum Betrieb, die Herstellung des Geräts und die Entsorgung. Das Gerät besteht aus einem Gehäuse, einer Antenne, einem LCD-Display, Leiterplatten, integrierten Schaltungen und elektronischen Komponenten sowie weiteren Teilen (Ladegerät, Li-Ion Batterie, Papier für das Handbuch, Karton und Kunststoff für die Verpackung). Pro h Betrieb werden ca. 16 Wh Strom benötigt[11]. Dieser Wert berücksichtigt den Energiebedarf der Ladestation (etwa 7 mal der eigentliche Energiebedarf des Geräts). Es wird angenommen, dass das Gerät 10 Minuten in seiner Funktion als Mobiltelefon plus 1 Stunde in seiner Funktion als Handheld während seiner Lebensdauer von einem Jahr gebraucht wird. Es wird angenommen, dass 20% der Geräte sowie die Kunststoff-Verpackung in der KVA verbrannt werden, währenddem die restlichen 80% zerlegt und rezykliert werden. Dies stellt ein pessimistisches Entsorgungsszenario für die Schweiz dar (s. auch Kap. 3.1).

Tab. 5.6: Sachbilanz Modul „Betrieb, kombiniertes Gerät, GSM Mobiltelefon“.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Betrieb, kombiniertes Gerät, GSM Mobiltelefon** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | h |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 5.66E-08 |
| **Materialien** | Kombiniertes Geraet, GSM Mobiltelefon, ab Werk | Stk | 2.34E-03 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 5.92E-05 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 2.37E-04 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 2.31E-04 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 5.66E-08 |

Das Modul „Betrieb, Handheld“ (siehe Tab. 5.7) berücksichtigt den Strom zum Betrieb, die Herstellung des Geräts und die Entsorgung. Das Gerät besteht aus einem Gehäuse, einem LCD-

[11] Dieser Wert basiert auf den Energieverbrauch des GSM-Mobiltelefons und des Handhelds für die Nutzungsdauer der jeweiligen Funktionen.

Display, Leiterplatten, integrierten Schaltungen und elektronischen Komponenten sowie weiteren Teilen (Li-Ion Batterie, Papier für das Handbuch, Karton und Kunststoff für die Verpackung). Pro h Betrieb werden ca. 0.4 Wh Strom benötigt[12]. Dieser Wert berücksichtigt den Energiebedarf der Ladestation (etwa 7 mal der eigentliche Energiebedarf des Geräts). Es wird angenommen, dass das Gerät während seiner Lebensdauer von 3 Jahren 1 Stunde pro Tag benutzt wird. Weiter wird angenommen, dass 20% der Geräte sowie die Kunststoff-Verpackung in der KVA verbrannt werden, währenddem die restlichen 80% zerlegt und rezykliert werden.

Tab. 5.7: Sachbilanz Modul „Betrieb, Handheld“.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Betrieb, Handheld** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | h |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 1.99E-10 |
| **Materialien** | Handheld, ab Werk | Stk | 9.13E-04 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 2.74E-05 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 1.10E-04 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 5.19E-05 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 1.99E-10 |

Das Modul „Betrieb, GSM Mobiltelefon 2000, optimiertes Ladegerät“ (siehe Tab. 5.8) berücksichtigt den Strom zum Betrieb, die Herstellung des Geräts und die Entsorgung. Das Ladegerät ist gegenüber früheren Ausführungen optimiert und braucht nur noch ca. 30% des Energiebedarfs älterer Geräte. Pro h Betrieb werden ca. 106 Wh Strom benötigt[13]. Dieser Wert berücksichtigt den Energiebedarf der Ladestation (etwa 7 mal der eigentliche Energiebedarf des Geräts). Es wird angenommen, dass das Gerät 10 Minuten pro Tag während seiner Lebensdauer von einem Jahr gebraucht wird. Es wird angenommen, dass 20% der Geräte sowie die Kunststoff-Verpackung in der KVA verbrannt werden, währenddem die restlichen 80% zerlegt und rezykliert werden.

[12] Mail Markus Stutz, Motorola, 25.10.02.

[13] Dieser Wert basiert auf einen Stromverbrauch von 6.6 kWh/Jahr (Mail Markus Stutz, Motorola, 25.10.02).

Tab. 5.8: Sachbilanz Modul „Betrieb, GSM Mobiltelefon 2000, optimiertes Ladegerät“

| | Modul-Namen eco[mc] | | Betrieb, GSM Mobiltelefon 2000, optimiertes Ladegerät |
|---|---|---|---|
| | | Unit | h |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 3.81E-07 |
| **Materialien** | GSM Mobiltelefon 2000, ab Werk | Stk | 1.61E-02 |
| **Abfälle** | Entsorgung, GSM Mobiltelefon, in KVA, Var. B | kg | 3.12E-04 |
| | Zerlegung, Elektronikschrott | kg | 1.25E-03 |
| | Kunststoffe in KVA | kg | 1.25E-03 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 3.81E-07 |

### 5.1.4 Szenario „zentrale vs. dezentrale Speicherung“

#### *5.1.4.1 Motivation*

Die neuen Übertragungstechnologien (z.B. MMS, Multimedial messaging system) erlauben das Verschicken von immer grösseren Datenmengen. Zum Teil wird sich aber der Kunde wünschen, die Daten nach dem Empfangen zu behalten und nochmals anzuschauen. Zu diesem Zweck werden grössere, z.T. externe Speicher (memory sticks) für Mobiltelefone angeboten. Es fragt sich, ob eine zentrale Lösung, die ähnlich wie die digitalen Anrufbeantworter funktionieren würde (wie z.B. die T-Netbox[14] der Deutschen Telekom), nicht eine ökologisch bessere Alternative zu den Speicherchips darstellt. In diesem Abschnitt werden die Sachbilanzdaten dieser beiden Optionen beschrieben. Allerdings basieren die Sachbilanzdaten auf groben Abschätzungen, da derzeit kein entsprechendes System für die Speicherung von Bildern angeboten wird. Deshalb wird hier ein zentraler digitaler Anrufbeantworter mit einem Speicherchip aufgrund ihres Datenumsatzes verglichen.

#### *5.1.4.2 Sachbilanz*

Das Modul „Speicherung, T-NetBox“ (siehe Tab. 5.9) berücksichtigt den Strom zum Betrieb und die Herstellung des Geräts selber. Die Sachbilanz beschränkt sich mangels detaillierterer Daten auf das Berücksichtigen des Strombedarfs im Betrieb, der Herstellung der Leiterplatten und der integrierten Schaltungen. Es wird angenommen, dass die gespeicherten Daten im Durchschnitt alle 14 Tage erneuert werden.

[14] T-Net box ist ein Angebot der Deutschen Telekom und entspricht dem Angebot „Combox“ der Swisscom AG in der Schweiz.

Tab. 5.9: Sachbilanz Modul „Speicherung, T-NetBox“

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Speicherung, T-NetBox** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 6.15E-06 |
| **Materialien** | T-NetBox-Plattform, ab Werk | Stk | 1.64E-05 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 6.15E-06 |

Das Modul „Speicherung, Speicherchip“ (siehe Tab. 5.10) berücksichtigt den Strom zum Betrieb und die Herstellung des Geräts selber. Die Sachbilanz beschränkt sich mangels detaillierterer Daten auf das Berücksichtigen des Strombedarfs für den Betrieb und die Herstellung, der eingesetzten Materialien sowie der nötigen Transporten der Materialien. Es wird angenommen, dass die gespeicherten Daten im Durchschnitt alle 14 Tage erneuert werden. Der Stromverbrauch des Speicherchips ist pro Dateneinheit ca. 200x kleiner als derjenige der zentralen Speicherung.

Tab. 5.10: Sachbilanz Modul „Speicherung, Speicherchip“

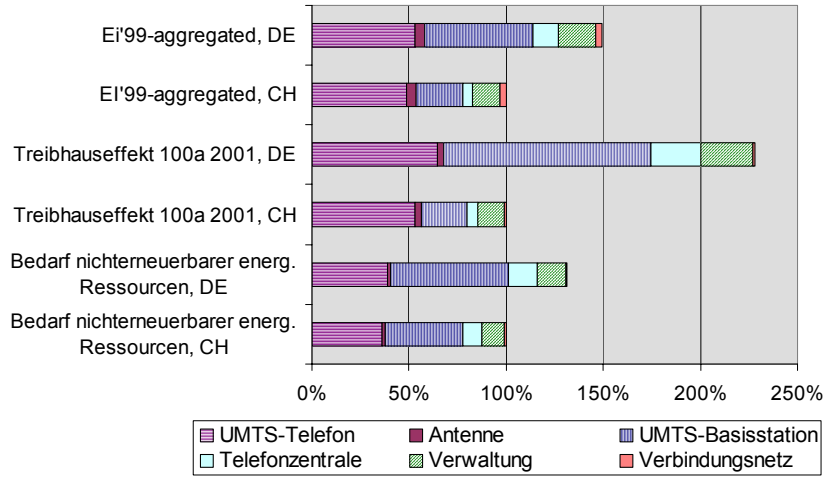
| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Speicherung, Speicherchip** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Gbit |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 2.61E-08 |
| **Materialien** | Speicherchip, ab Werk | Stk | 9.17E-01 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.61E-08 |

## 5.2 Resultate

### 5.2.1 Szenario „Betrieb des Netzes in Deutschland“

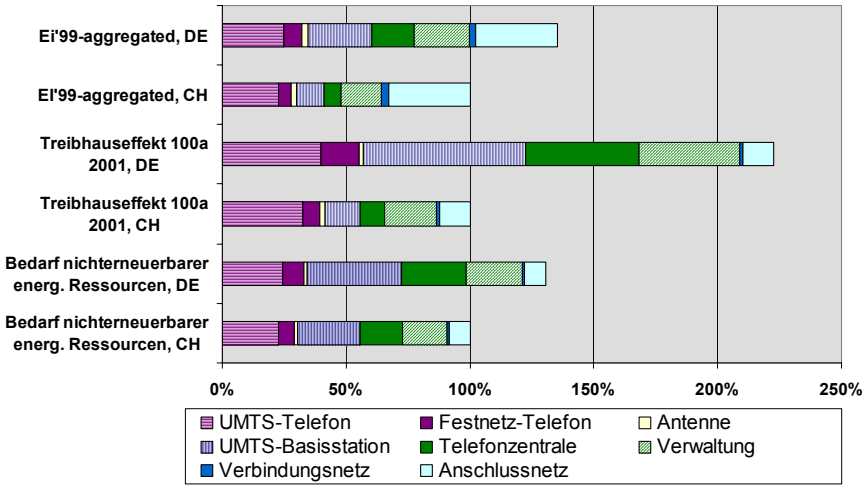
In diesem Szenario wurden alle Stromaufwendungen beim Betrieb der Geräte und der Infrastruktur mit dem Strommix Deutschland berechnet. Die bewerteten Resultate dieses Szenarios werden in Fig. 5.1 im Verhältnis zu den Resultaten im Ist-Zustand (Betrieb in der Schweiz) dargestellt.

Fig. 5.1: Bewertete Resultate (Eco-indicator EI'99 (Hierarchist, Average), Treibhauseffekt 100a 2001, Bedarf an nichterneuerbarer energetischer Ressourcen) des UMTS-Netzes für einen Datentransfer Mobil zu Mobil im Falle des Betriebs in der Schweiz (CH) bzw. in Deutschland (DE). Die Schweizer Werte werden jeweils als 100% gesetzt.




Je nach Bewertungsmethode erhöhen sich die Umweltbelastungen bis zu einem Faktor 2. Am stärksten zeigt sich der Effekt beim Treibhauseffekt. Die relative Bedeutung der Netzelemente, die viel Strom verbrauchen, nimmt zu. Hier sind es die Basisstation und die Telefonzentrale. Dies gilt auch für die Variante Mobil zu Fest (s. Fig. 5.2). Dieses Szenario zeigt die grosse Bedeutung des Strommixes in der Ökobilanz der Mobiltelekommunikation.

Fig. 5.2: Bewertete Resultate (Eco-indicator EI'99 (Hierarchist, Average), Treibhauseffekt 100a 2001, Bedarf an nichterneuerbarer energetischer Ressourcen) des UMTS-Netzes für einen Datentransfer Mobil zu Fest im Falle des Betriebs in der Schweiz (CH) bzw. in Deutschland (DE). Die Schweizer Werte werden jeweils als 100% gesetzt.



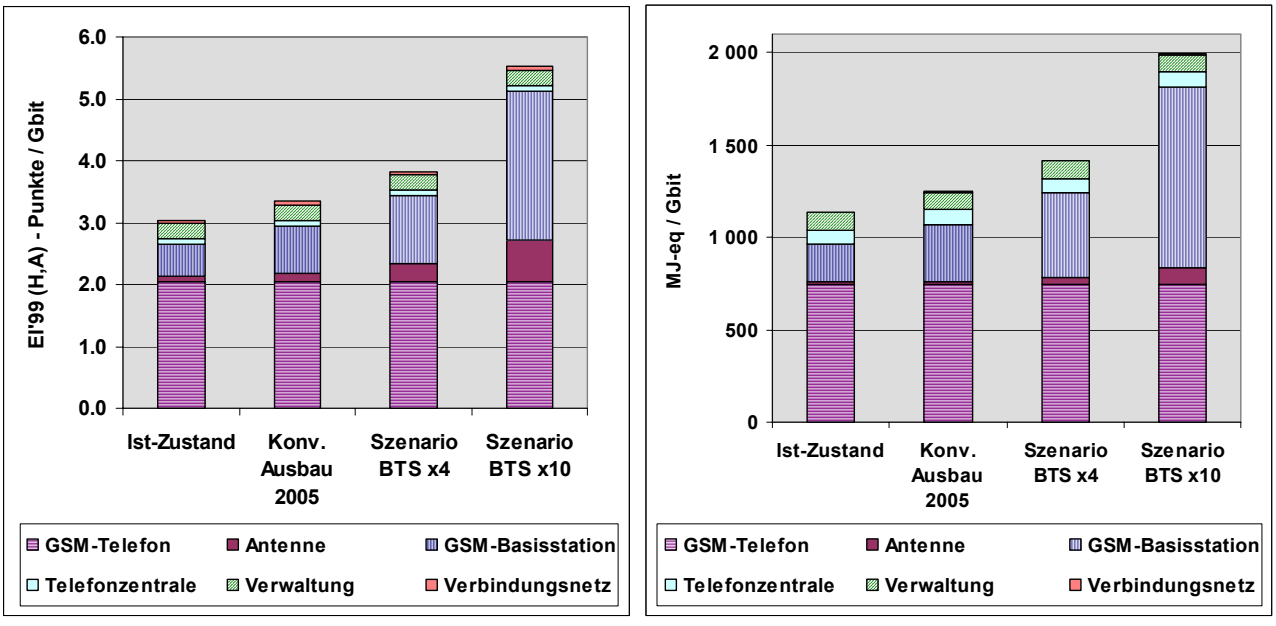
Mit der Wahl des Strommixes bzw. durch eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energieträgern haben die Netzbetreiber ein erhebliches Potential, die Umweltbelastungen (insb. den Treibhauseffekt) der Mobiltelekommunikation zu senken.

### 5.2.2 Szenario „Netzausbau“

Dieses Szenario untersucht die Auswirkungen eines Ausbaus des GSM-Netzes mit Mikrozellen statt Makrozellen. Vorteil einer solchen Verlagerung in der Technik wäre die Vermeidung von „hot spots“, Standorte mit hohen Immissionen. Unklar bleibt jedoch, ob diese Massnahme auch zu der angestrebten Senkung der durchschnittlichen Immissionswerte und damit der Dosis führen würde. Solche Netze sind unvermeidlicherweise mit einer Multiplikation der Anzahl Anlagen verbunden, um eine einigermassen gleichbleibende Netzqualität garantieren zu können. Hier werden die ökologischen Konsequenzen einer solchen Lösung abgeschätzt. Neben dem konventionellen Ausbaustand 2005 werden zwei unterschiedliche Varianten untersucht: eine Vervierfachung bzw. eine Verzehnfachung der Anlagen.

Der Vergleich zwischen den Varianten bezüglich Umweltauswirkungen ist in Fig. 5.3 dargestellt.

Fig. 5.3: Vergleich des Ist-Zustands und eines konventionellen Ausbaus für 2005 mit dem Szenario x4 und Szenario x10 bewertet mit Eco-indicator ’99 (Hierarchist, Average) und mit dem kumulierten Bedarf an nichterneuerbaren Energieträgern. Der Vergleich basiert auf 1 Gbit Datenübermittlung Mobil zu Mobil.




Die Erhöhung der Anzahl Anlagen führt zu einem höheren kumulierten Energieaufwand und zu höheren Umweltbelastungen, hier in der Bewertung mit Eco-indicator ’99. Gegenüber dem konventionellen Ausbau 2005 werden im Szenario x4 pro Jahr 14% mehr Energieaufwand bzw. 15% höhere Umweltbelastungen und im Szenario x10 59% mehr Energieaufwand bzw. 65% höhere Umweltbelastungen verursacht. Diese unterproportionale Steigerung hat zwei Gründe: einerseits machen die Basisstationen nur einen Teil der gesamten Umweltbelastungen aus. Andererseits fällt eine zusätzliche Mikrobasisstation und Rundstrahlantenne in der Bilanz weniger stark ins Gewicht

als eine zusätzliche Basisstation und Antenne für eine Makrozelle. Die Mikrobasisstationen verursachen bei der Herstellung etwa einen Drittel der Umweltbelastungen (bewertet mit EI'99) im Vergleich zu einem Rack einer Makrobasisstation. Eine Makrobasisstation braucht etwa drei mal mehr Strom pro Standort als eine Mikrobasisstation. Hauptverantwortlich für die Zunahme der Umweltbelastungen ist damit der Ausbau mit Makrobasisstationen. Es muss dabei bemerkt werden, dass Mikrobasisstationen weniger Gespräche als Makrobasisstationen abwickeln können. Wegen den obengenannten Unterschieden zwischen Makro- und Mikrobasisstationen ist eine Vervierfachung der Anlagen nicht mit einer Vervierfachung der Umweltbelastungen der Basisstationen verbunden. Im konventionellen Ausbau machen die Basisstationen 23% der Umweltbelastungen aus, im Szenario x4 bzw. x10 steigen sie auf 29% bzw. 43%, während der Anteil des Mobiltelefons von 67% (konv. Ausbau: 61%) auf 53% bzw. 37% sinkt.

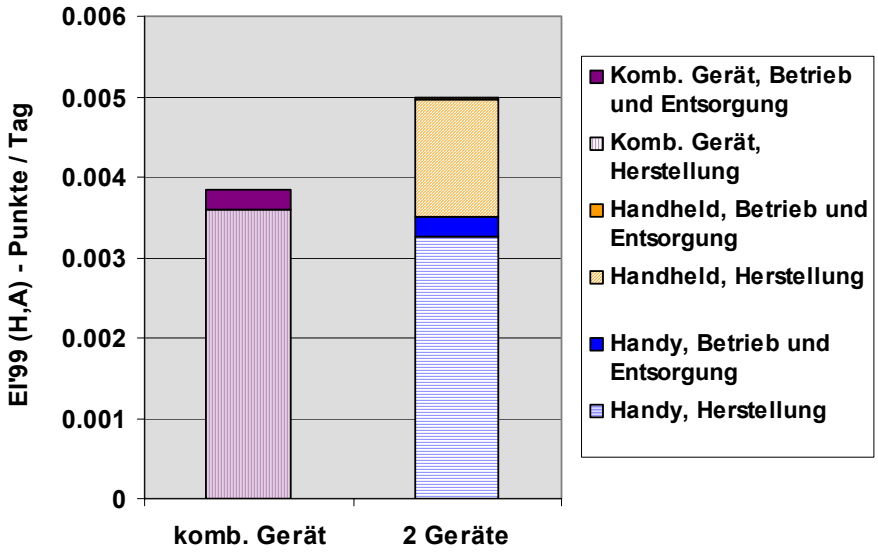
Auslöser für die Szenarien waren die vorhandenen Bestrebungen in der Schweiz, „Hot Spots" im Mobilkommunikationsnetz aus gesundheitlichen Bedenken zu beseitigen. Welchen Einfluss die nichtionisierenden Strahlungsemissionen auf das Gesamtergebnis der Ökobilanz haben, konnte in dieser Studie nicht eruiert werden. Die Grundlage, um solche Aussagen machen zu können, wäre eine ursächliche Beziehung zwischen einer Schädigung in der Umwelt und einer Umwelteinwirkung (Schadstoffe, Strahlung, etc.). Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIS) ist diesbezüglich jedoch noch kein wissenschaftlicher Konsens erzielt worden. Indizien bzw. Resultate einzelner Studien reichen nicht aus für die Erstellung der für die Ökobilanz notwendigen ursächlichen Beziehung. Konsequenterweise wurde deshalb auf die Berücksichtigung der NIS in dieser Studie verzichtet und der Fokus auf die etablierten Umweltaspekte gerichtet. Deshalb kann auch keine Aussage darüber gemacht werden, ob und in welchem Ausmass durch die Vermeidung von NIS-Hotspots bzw. der dadurch erwirkten Vervielfachung der Basisstationen eine Reduktion der Belastung durch nichtionisierende Strahlung erreicht werden kann.

### 5.2.3 Szenario kombiniertes Gerät

Hier wird ein kombiniertes Gerät mit zwei separaten Geräten verglichen. Für das kombinierte Gerät wird die gleiche Nutzungsdauer pro Tag für die jeweilige Funktion wie für die separaten Geräte angenommen. Der Vergleich basiert auf der Nutzung des Geräts bzw. der Geräte während einem Tag (1h Handheld, 10 Min. Telefon).

Fig. 5.4 zeigt den Vergleich zwischen der Benutzung eines kombinierten Geräts und das Benutzen zweier separater Geräte. Hier wiederum ist v.a. die Herstellung des Geräts für den grössten Teil der Umweltbelastungen verantwortlich (zwischen 97-99%). Wie für das Mobiltelefon sind die elektronischen Komponenten dabei wichtig.

Fig. 5.4: Vergleich von einem kombinierten Gerät mit zwei separaten Geräten (Eco-indicator '99 (Hierarchist, Average)-Punkte) für die Benutzung während einem Tag (1h Handheld, 10 Min. Telefon).

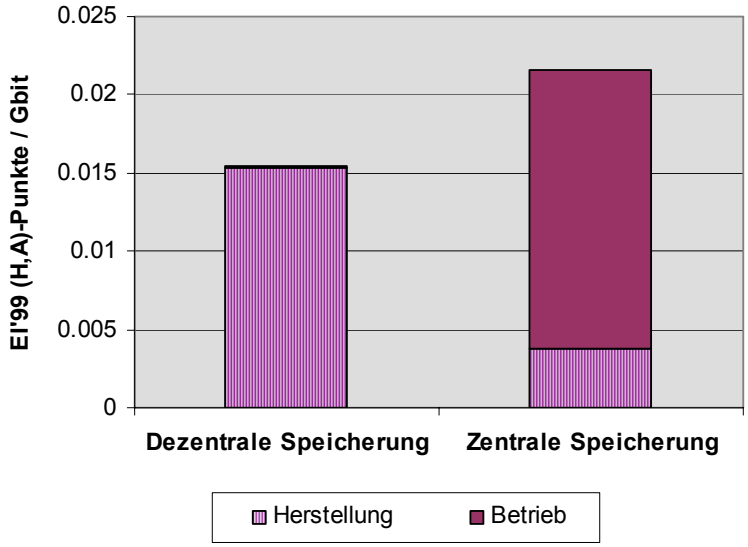



Die Bilanz zeigt, dass das Benutzen eines kombinierten Geräts im Vergleich zu zwei separaten Geräten ökologisch günstiger ist. Allerdings kann ein kombiniertes Gerät nicht alle Funktionen eines Handhelds erfüllen. So ist die Aussage bezüglich ökologischer Vorteile nur dann gültig, wenn diese Funktionen nicht benötigt werden und somit nicht zum Kauf eines weiteren Geräts führen. Auch ist die unterschiedliche Geschwindigkeit des technischen Fortschritts für die verschiedenen Funktionen eines kombinierten Geräts problematisch, weil die Lebensdauer sich an der am schnellsten veralteten Funktion orientiert. Damit werden womöglich noch funktionstüchtige Geräteteile entsorgt.

### 5.2.4 Szenario „zentrale vs. dezentrale Speicherung“

In diesem Szenario wird ein digitaler Anrufbeantworter mit einem Speicherchip aufgrund ihres Datenumsatzes verglichen. Die Resultate dieses Vergleichs werden in Fig. 5.5 dargestellt.

Fig. 5.5: Vergleich der zentralen mit der dezentralen Speicherung pro Gbit.




Bei der dezentralen Speicherung sind die Umweltauswirkungen des Betriebs vernachlässigbar (gemessen mit Eco-Indicator ’99 (Hierarchist) -Punkten). Die zentrale Speicherung zeigt ein ganz anderes Bild: die Herstellung der Speicherinfrastruktur macht nur 17% der gesamten Umweltbelastungen aus. Eine dezentrale Speicherung ist ökologisch von Vorteil, da im Betrieb praktisch keine Belastungen entstehen. Die zentrale Speicherung ist in der Herstellung pro gespeicherte Gbit allerdings umwelteffizienter.

# 6 Folgerungen und Ausblick

**Das Mobiltelefon ist aus Umweltsicht das wichtigste Element des Mobilfunknetz-Systems. Die Herstellung des Geräts und seiner Komponenten (Leiterplatten, integrierte Schaltungen) selber trägt dabei den Hauptanteil (ca. 90%) der Umweltbelastungen des Geräts bei. Hierbei spielt die kurze Nutzungsdauer des Mobiltelefons eine wesentliche Rolle.**

**An zweiter Stelle folgt die Basisstation. In der Bilanz fällt hauptsächlich der Betrieb ins Gewicht. Dieser Unterschied zum Mobiltelefon kann durch die um einen Faktor 8 höhere Nutzungsdauer erklärt werden.**

**Pro Datenmenge verursacht das UMTS-Netz weniger Umweltbelastungen als das GSM-Netz. Der höhere Energieverbrauch und die aufwendigere Herstellung der Geräte im UMTS-Netz werden durch die schnellere Übertragungsrate kompensiert.**

**Pro UMTS-NutzerIn und Jahr ist aufgrund der nachgefragten Dienste eine höhere Datenmenge als im GSM-Netz zu erwarten. Dies würde trotz der höheren Effizienz in der Übertragung der Daten zu einer Erhöhung der gesamten Aufwendungen und Emissionen pro Kundin in der Mobiltelekommunikation führen.**

**Das GSM-Netz ist eine ausgereifte Technologie, währenddem das UMTS-Netz noch am Anfang der Lernkurve steht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass grosse Verbesserungspotentiale bei den UMTS-Netzelementen bezüglich Aufwendungen und Emissionen sowohl bei der Herstellung wie beim Betrieb der Geräte noch vorhanden sind.**

**Der Stromverbrauch für den Betrieb des Netzes und damit der Strommix ist ein wesentlicher Parameter für die Umweltbelastung der Mobiltelekommunikation. Der Bezug von deutschem statt Schweizer Strom für den Betrieb des UMTS-Netzes würde zu einer Verdopplung der Treibhausgas-Emissionen führen. Mit der Wahl des Strommixes bzw. durch eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energieträgern haben die Netzbetreiber ein erhebliches Potential, die Umweltbelastungen (insb. die Treibhausgas-Emissionen) der Mobiltelekommunikation zu senken.**

**Die Vermeidung von „hot spots“, Orten hoher nichtionisierender Strahlungsimmissionen, durch einen auf Mikrozellen basierten Aufbau des Netzes führt zu einer Erhöhung der Umweltbelastungen. Es muss dabei bemerkt werden, dass die möglichen Auswirkungen der nichtionisierenden Strahlung in der Studie nicht einbezogen werden konnten.**

**Eine dezentrale Speicherung ist insgesamt ökologisch von Vorteil, da im Betrieb praktisch keine Belastungen entstehen. Die zentrale Speicherung ist in der Herstellung pro gespeicherte Gbit allerdings umwelteffizienter.**

**Die Bilanz zeigt, dass das Benutzen eines kombinierten Geräts im Vergleich zu zwei separaten Geräten ökologisch günstiger ist.**

## 6.1 Vergleich des UMTS-Netzes mit dem GSM-Netz

Durch seine grössere Kapazität ist das UMTS-Netz pro übertragene Datenmenge ökologisch günstiger als sein Vorgänger, das GSM-Netz. Pro Gerät und damit auch pro KundIn ist das Resultat aber umgekehrt, da die höhere Datenübermittlung pro NutzerIn im UMTS-Netz die höhere Effizienz kompensiert. Das UMTS-Netz im Zustand seiner Planung für 2004 und mit der entsprechend berechneten Anzahl Kundinnen verursacht pro Kundin 2.1x mehr Treibhausgas-Emissionen und braucht 2.4x mehr Energie als das GSM-Netz in seinem aktuellen Ausbaustand. Der Ausbau des UMTS-Netzes wird also in Bezug auf die gesamte Bilanz der Telefonkommunikation mit einem vermehrten Verbrauch von Ressourcen und Ausstoss von Emissionen begleitet. Dies kann damit erklärt werden, dass UMTS-Geräte tendenziell einen höheren Energieverbrauch und z.T. einen höheren Materialverbrauch haben (z.B. ist die Leiterplatte von UMTS-Telefonen grösser als diejenige des GSM-Telefons). Deshalb ist es sehr wichtig, dass sowohl Hersteller als auch Anbieter Anstrengungen zur Verbesserung der Geräte unternehmen. Ansatzpunkte sind die Herstellung der Elektronikkomponenten und der Stromverbrauch der Basisstationen, insbesondere der Bedarf an Kühlung. Es muss dabei angemerkt werden, dass die UMTS-Technologie andere Dienste als das GSM-Netz unterstützt und dadurch die Vergleichbarkeit nur beschränkt gegeben ist. Im Weiteren ist das UMTS-Netz noch am Anfang der Lernkurve; grosse Verbesserungspotentiale sind noch vorhanden. Die in dieser Untersuchung berechneten Ergebnisse basieren auf Annahmen zum Kundenverhalten und zum Betrieb der Geräte; so ist das Ausmass der tatsächlichen Umweltbelastung des UMTS-Netzes noch unsicher.

## 6.2 Wichtige Parameter in der Mobiltelekommunikation

Für ein Gbit Datenübertragung Mobil-Mobil bzw. Mobil-Festnetz werden 800 MJ-eq. bzw. 640 MJ-eq. nichterneuerbare Primärenergie benötigt und 27 kg bzw. 22 kg $CO_2$-eq. an Treibhausgasen ausgestossen. Die Emissionen und Ressourcenaufwendungen sind also tendenziell höher bei der Datenübertragung von einem Mobiltelefon zu einem anderen Mobiltelefon als zu einem Festnetzanschluss. Dies wird durch die hohen Umwelteinwirkungen des Mobiltelefons selber verursacht. Weitere wichtige Komponenten des Mobilnetzes sind die Basisstationen, im Festnetz sind es das Anschlussnetz sowie die Telefonzentralen und die Verwaltung.

Die Nutzungsdauer der Geräte spielt eine grosse Rolle für ihre relative Bedeutung in der Bilanz. Die Nutzungsdauer des Mobiltelefons ist mit einem Jahr sehr kurz, währenddem die anderen Geräte und die Infrastruktur 4 bis 10 mal länger eingesetzt werden. In der Erhöhung der Nutzungszeit des Mobiltelefons (z.B. durch Leasing, Wiederverwendung, Verlängerung der Innovationszyklen usw.) steckt somit ein grosses Potential zur Verbesserung der Bilanz der Mobilkommunikation.

Der Strommix bzw. der Anteil an nichterneuerbaren Energieträgern spielt in der Bilanz eine grosse Rolle. Das Betreiben des Schweizer UMTS-Netzes mit deutschem Strom würde zu einer Verdoppelung der Treibhausgas-Emissionen führen. Mit der Wahl des Strommixes bzw. durch eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energieträgern haben die Netzbetreiber ein erhebliches Potential, die Umweltbelastungen (insb. die Treibhausgas-Emissionen) der Mobiltelekommunikation zu senken.

Der Materialverbrauch spielt eine relativ wichtige Rolle, z.B. mit dem Einsatz von Edelmetallen im Mobiltelefon oder mit den Aufwendungen an Kupfer und Blei in Kupferkabeln. Letztere sind aber schon Bestand des Netzes und werden heute nicht mehr eingebaut. Glasfaserkabel sind zwar sehr grob bilanziert, ihre Länge im Schweizer Netz ist allerdings noch von geringer Bedeutung.

Die Transporte spielen eine wichtige Rolle in der Bilanz der elektronischen Komponenten. Dies wird durch die grosse Distanz zwischen den Fertigungsstätten (Asien) und durch das Transportmittel (Flugzeug) verursacht.

Die Entsorgung der Elektronik (mehrheitlich Zerlegung und Recycling) fällt nicht ins Gewicht, auch nicht mit der pessimistischen Annahme eines Anteils Entsorgung in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA). Dies kann mit der guten Umweltleistung der schweizerischen KVAs erklärt werden. Das Recycling von Gold in Schmelzwerken wird in der Bilanz z.T. dadurch berücksichtigt, dass ein (hier bilanziertes) Schmelzwerk in Europa Gold aus Elektronikschrott einsetzt.

## 6.3 Neue Trends in der Mobiltelekommunikation

### 6.3.1 Netzausbau

Eine Entwicklung zu einer Erhöhung der Anzahl Basisstationen würde die Umweltbelastungen des Netzes (unter Ausklammerung der nichtionisierenden Strahlung) pro übertragene Datenmenge erheblich steigen lassen (je nach Szenario um bis zu 65%). Die Vorteile einer solchen Lösung (Senkung der maximalen Immissionen) müssten gegenüber den ökologischen Nachteilen gut abgewogen werden. Dies kann mit der Ökobilanz-Methode zur Zeit nicht abschliessend beurteilt werden, weil die Bewertung der nichtionisierenden Strahlung mangels Grundlagendaten zu Dosis-Wirkungs-Effekten in Ökobilanz noch nicht einbezogen werden kann.

### 6.3.2 Kombinierte Geräte

Die Bilanz zeigt, dass das Benutzen eines kombinierten Geräts im Vergleich zu zwei separaten Geräten ökologisch günstiger ist. Allerdings kann ein kombiniertes Gerät nicht alle Funktionen eines Handhelds erfüllen. So ist die Aussage bezüglich ökologischer Vorteile nur dann gültig, wenn diese Funktionen nicht benötigt werden und somit nicht zum Kauf eines weiteren Geräts führen. Auch ist die unterschiedliche Geschwindigkeit des technischen Fortschritts für die verschiedenen Funktionen eines kombinierten Geräts problematisch, weil die Lebensdauer sich an der am schnellsten veralteten Funktion orientiert. Damit besteht die Gefahr, dass noch funktionstüchtige Geräteteile entsorgt werden.

### 6.3.3 Speicherung

Eine dezentrale Speicherung ist insgesamt ökologisch von Vorteil, da im Betrieb praktisch kein Belastungen entstehen. Die zentrale Speicherung ist in der Herstellung pro gespeicherte Gbit allerdings umwelteffizienter. Bei der zentralen Speicherung liegt das Optimierungspotential bei der Reduktion des Betriebsstrombedarfs.

## 6.4 Einbindung der Strahlung in der Ökobilanzierung

Der Stand der Forschung bezüglich nichtionisierender Strahlung erlaubt noch keine Einbindung dieser Emissionen in die Ökobilanzbewertung. Die gesundheitlichen Auswirkungen der nichtionisierenden Strahlung sind noch zu umstritten, um einen breit akzeptierten Bewertungsfaktor definieren zu können.

## 6.5 Datenqualität

Die Datenqualität kann dank der Zusammenarbeit mit Industriepartnern (Hersteller und Anbieter) generell als gut bezeichnet werden. Es sind allerdings noch keine Erfahrungswerte für den Betrieb des UMTS-Netzes vorhanden. In dieser Studie wurde der Energieverbrauch der Geräte abgeschätzt. Durch die Verzögerung der Einführung des Netzes sind auch keine Angaben zum Kundenverhalten und damit zur gesamten Datenübermittlung möglich. Die in dieser Studie benutzten Zahlen basieren auf dem Penetrationsverlauf von Endgeräten und Annahmen zu Nutzungszeit und Datenübermittlungsraten.

Die Datenqualität kann beim Mobiltelefon als sehr gut bewertet werden. Als gut kann die Datenqualität zur Basisstation und zum Festnetz beurteilt werden. Die anderen Elemente konnten nur abgeschätzt werden (z.B. die Elektronik im Festnetz). Eine bessere Erfassung der Elektronik im Festnetz könnte zu einer relativ höheren Bedeutung dieses Netzes führen.

Weiter ist durch das Vorhandensein von Erfahrungswerten die Datenbasis für das GSM-Netz besser als für das UMTS-Netz. Die Umweltbelastungen im UMTS-Netz für das Mobiltelefon und die Basisstation pro Datenmenge kleiner sind als bei den entsprechenden Geräten im GSM-Netz. Da aber für Telefonzentralen und Verwaltung im UMTS-Netz mangels spezifischen Zahlen die gleichen Aufwendungen pro Datenmenge wie im GSM-Netz angenommen wurden, sind Telefonzentralen und Verwaltung im UMTS-Netz vermutlich überschätzt.

Tab. 6.1 fasst die Datenqualität der untersuchten Netzelemente zusammen.

Tab. 6.1: Datenqualität zu den untersuchten Netzelementen.

| | Zusammensetzung des Geräts | Herstellung der Komponenten | Herstellung des Geräts | Energieverbrauch im Betrieb | Lebensdauer | Datenmenge |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GSM-Mobiltelefon | ++ | + | + | +/- | ++ | + |
| UMTS-Mobiltelefon | + | + | +/- | - | +/- | - |
| GSM-Basisstation | + | + | +/- | +/- | +/- | + |
| UMTS-Basisstation | +/- | +/- | - | +/- | +/- | - |
| Antenne | + | +/- | +/- | | +/- | +/- |
| Switching System | - | +/- | - | + | +/- | + |
| Kabelsystem | + | +/- | +/- | | +/- | + |
| Verwaltung | | | | ++ | | + |

Daten zu den Prozessemissionen bei der Herstellung elektronischer Komponenten werden immer noch sehr selten publiziert. Die Emissionen dieser Prozesse sind damit womöglich noch unterschätzt.

Da die Bilanzen für Gold und Silber auf Daten von Minen mit einem Umweltbericht basieren, von denen man eher eine gute ökologische Leistung erwarten kann, und Angaben zu den Emissionen des Abbaus oft nicht vorhanden sind, sind Edelmetalle in der Bilanz ebenfalls eher unterschätzt.

In dieser Studie konnten die beiden Speichersysteme (zentral und dezentral) nur grob abgebildet werden. Zum Beispiel wird die zentrale Speicherung mit einem zentralen Anrufbeantworter angenähert. Es wäre notwendig, die Bilanz zu verfeinern, um wirklich äquivalente Systeme zu vergleichen und zu endgültigen Resultaten zu kommen.

## 6.6 Forschungsbedarf

Die Herstellung der Elektronik ist in der ökologische Bilanzierung der Mobiltelekommunikation ein wichtiger Faktor. In diesem Bereich sind noch sehr wenige Daten vorhanden, insbesondere bei den Prozessemissionen und für den Abbau und die Herstellung seltener Metalle (z.B. Antimon). Für viele Betriebsmittel (v.a. Gase) der Elektronik-Herstellung sind auch keine Daten vorhanden. Für eine Verfeinerung der Bilanz müssten solche Stoffe untersucht werden. Allerdings ist die Datenverfügbarkeit im Bereich der Elektronikherstellung vermutlich gering.

Im Bereich des Stromverbrauchs wären verlässlichere Daten für Endgeräten und Basisstationen im Betrieb und in Abhängigkeit der Auslastung erwünscht.

Durch die Verzögerung der Einführung der UMTS-Netze sind noch keine Betriebsdaten und Erfahrungswerte zu Datenfluss sowie Betrieb und Anzahl der Geräte vorhanden. Sobald solche Daten vorliegen, müssten die Resultate dieser Studie anhand dieser Erfahrungswerte überprüft werden.

Der Telekommunikationsbereich zeichnet sich durch zahlreiche Innovationen aus. So werden durch die Erhöhung der Netzkapazität neue Anforderungen an die Speicherung von Daten gestellt. Alternativen in diesem Bereich konnten in dieser Studie nur grob bilanziert werden. Eine detailliertere Bilanzierung könnte Optimierungspotentiale in diesem Bereich aufzeigen. Neben dem UMTS-Netz sind als Innovationen die verschiedenen Datenkommunikationstechnologien im Bürobereich, insbesondere Kupferkabel (Baseline), Glasfaser, WLAN, UMTS und Bluetooth noch wenig untersucht. Insbesondere fehlen Empfehlungen, welche Technologien für welche Telekommunikationsdienste aus Umweltsicht am besten eingesetzt werden. Ein LCA der Übertragungstechnologien könnte wichtige Bausteine zum Vergleich von Diensten liefern.

# Anhang

# A Ökobilanz Bewertungsmethoden

## A.1 Übersicht zu den Methoden

In den folgenden Unterabschnitten werden einige ausgewählte Bewertungsmethoden kurz beschrieben und charakterisiert. Die Auswahl beinhaltet möglichst unterschiedliche Ansätze und stellt nicht den Anspruch, nur „Best practice"- Methoden zu enthalten. Für eine detailliertere Beschreibung der Methoden sei auf die jeweiligen Originalquellen verwiesen. Neben den Unterschieden in den Konzepten unterscheiden sich Bewertungsmethoden auch darin, welche Umwelteffekte überhaupt berücksichtigt werden (siehe Tab. A-1).

Tab. A-1: Übersicht über die in ausgewählten Ökobilanz-Bewertungsmethoden explizit berücksichtigten Umweltauswirkungen.

| | Umweltauswirkung (nach Udo de Haes 1996:19) | Treibhauseffekt (GWP 2001, 100a) | Ökologische Knappheit, 1997 | KEA | Eco-indicator 95 | Eco-indicator 99 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ressourcen | Abiotische Ressourcen | ∅ | √ [1] | √ [1] | ∅ | √ [6] |
| | Biotische Ressourcen | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | Lebensräume/ Land | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | √ |
| Emissionen | Klimaveränderung | √ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Ozonschichtabbau | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Humantoxische Wirkungen | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Ökotoxische Wirkungen | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Photooxidantenbildung | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Versäuerung [3] | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Überdüngung [2] | ∅ | √ | ∅ | √ | √ |
| | Geruch | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | Lärm | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ [9] |
| | Radioaktive Emissionen | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ [7] | √ |
| | Unfallopfer | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | Abfälle [4] | ∅ | √ [5] | ∅ | ∅ | ∅ |

[1]): Berücksichtigt werden nichterneuerbare Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran) sowie Wasserkraft bei der ökologischen Knappheit.
[3]): Luft- und Wasseremissionen.
[4]): Die mit der Entsorgung von Abfällen verursachte Energiebedarf resp. die verursachten Emissionen sind unter Luft- und Wasserverschmutzung berücksichtigt.
[5]): Inklusive schwach-, mittel- und hochaktive Abfälle aus der Kernenergiekette.
[6]): Inkl. nichterneuerbare Energieträger (aber ohne Uran).
[7]): Ein mit der CML-Vorgehensweise und mit Eco-indicator 95 kompatibler Vorschlag wird in Frischknecht (1998:129ff) gemacht.
[9]): Müller-Wenk (1999) hat einen kompatiblen Vorschlag zur Lärmbewertung gemacht.

Der geographische Geltungsbereich, der der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren zugrunde liegt, variiert ebenfalls. So orientiert sich die Methode der ökologischen Knappheit an schweizerischen, schwedischen, norwegischen, holländischen oder belgischen Umweltzielen, wogegen die Eco-indicator-Bewertungsmethoden sich auf durchschnittlich europäische Verhältnisse beziehen. Der

Bedarf nicht erneuerbarer Energie ausgedrückt als Kumulierter Energieaufwand (KEA) ist vom geographischen Anwendungsbereich unabhängig. Die Darstellung der Resultate erfolgt bei den meisten Methoden vollaggregierend, d.h. das Endergebnis wird durch eine Zahl ausgedrückt, kann aber bei den beiden Eco-indicator Methoden auch auf der Stufe Wirkungsbilanz erfolgen (Ergebnis der Charakterisierung). Einzig die wirkungsorientierte Klassifizierung gemäss CML/UBA sieht keine Vollaggregation vor, sondern zeigt die kumulierten Umweltwirkungen pro Umwelteffekt als Endergebnis.

## A.2 Eco-indicator 99

Die Methode Eco-indicator 99 (GOEDKOOP & SPRIENSMA 2000a, b) ist aus der Methode Eco-indicator 95 (GOEDKOOP 1995) heraus weiterentwickelt worden. Das Konzept der Schadensmodellierung wurde weiterentwickelt und verfeinert. Zudem konnten im Vergleich zum Eco-indicator 95 weitere Umwelteffekte berücksichtigt werden (insbesondere Ressourcenentwertung und Flächeninanspruchnahme).

Ausgangspunkt dieser Methode ist der Bewertungsschritt, d.h. sie wurde Top-Down entwickelt (und nicht Bottom-Up ausgehend vom Ergebnis der Sachbilanz). Als Schutzgüter, deren Beeinträchtigung mithilfe einer Ökobilanz zu quantifizieren sind, werden

- Menschliche Gesundheit,
- Ökosystem Qualität, und
- Ressourcenentwertung

berücksichtigt. Ausgehend von diesen drei Schutzgütern werden Umweltschadensmodelle für die als wichtig erachteten Umweltwirkungen entwickelt um damit eine Anbindung an die Sachbilanzergebnisse zu ermöglichen. Im Folgenden werden die Schadensmodelle vorgestellt.

### *Menschliche Gesundheit*

Schäden an der menschlichen Gesundheit werden in DALYs (disability adjusted life years) gemessen, ein Indikator welcher von der Weltgesundheitsorganisation und der Weltbank entwickelt wurde und sowohl vorzeitige Todesfälle als auch Krankheiten unterschiedlicher Schweregrade einschliesst. Schäden an der menschlichen Gesundheit werden für respiratorische und karzinogene Effekte, Effekte infolge der Klimaänderung, des Ozonschichtabbaus und radioaktiver Strahlung quantifiziert. Die verwendeten Modelle bestehen aus den fünf folgenden Teilschritten (siehe Fig. 6.1):

1. Analyse der Stoffverteilung nach der Emission: Damit wird eine Emission (in Masseeinheiten oder als Zerfälle pro Sekunde) mit der vorübergehenden Änderung der Konzentration in Luft, Wasser und/oder Boden verknüpft.
2. Expositionsanalyse: Die modellierte Änderung der Konzentration wird in eine Dosis für die dadurch geschädigten Bevölkerung resp. des dadurch geschädigten Ökosystems überführt.
3. Effektanalyse: Mit der ermittelten Dosis werden die damit verbundenen Gesundheitseffekte (z.B. die Häufigkeit und Arten von Krebs) bestimmt.
4. Schadensanalyse: Die Gesundheitseffekte werden mithilfe des DALY-Konzeptes gewichtet. Dabei werden die Gesamtdauer (in Jahren), während der Personen mit einer Krankheit leben müssen (Years Lived Disabled, YLD), resp. die durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre (Years of Life Lost, YLL) abgeschätzt.
5. Schadensbewertung: Die abgeschätzten beeinträchtigten und verlorenen Lebensjahre werden gewichtet und addiert. Dazu sind Werturteile nötig.

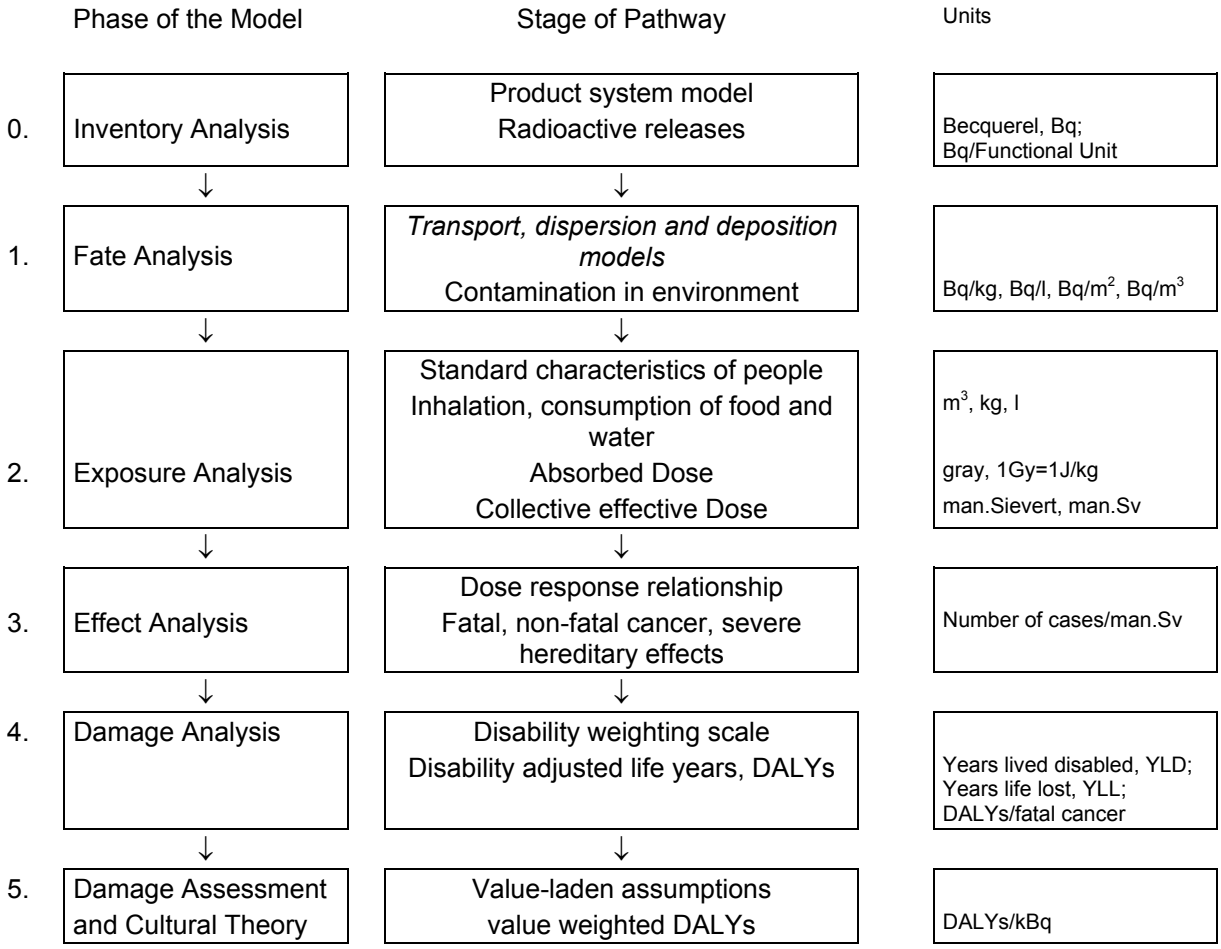



Fig. 6.1: Überblick über die Schritte der Schadensmodellierung ausgehend von Sachbilanzergebnissen (Inventory Analysis) bis zur Schadensbewertung (Damage Assessment) am Beispiel der Emission radioaktiver Isotope und den dadurch zusätzlich verursachten Krebserkrankungen (FRISCHKNECHT *et al.* 2000).

### *Ökosystem Qualität*

Schäden an der Ökosystemqualität werden in Abhängigkeit des Prozentsatzes der durch die Umweltbelastung verschwundenen Arten ausgedrückt. Die Schadensmodellierung ist hier nicht so homogen wie beim Schutzgut „Menschliche Gesundheit".

- Ökotoxizität wird durch den Anteil Arten quantifiziert, der in der Umwelt unter toxischem Stress leben muss (Potentially Affected Fraction, PAF). Da dieser Schaden nicht real beobachtbar ist, muss ein grober Umrechnungsfaktor verwendet werden, um toxischen Stress in tatsächlich beobachtbare Schäden überzuführen.
- Versäuerung und Überdüngung werden in einer gemeinsamen Umweltwirkungskategorie modelliert. Die Schadensmodellierung erfolgt über die Schäden an Gefässpflanzen.
- Schäden durch Landbedarf und Landveränderungen werden basierend auf empirischen Daten über das Auftreten von Gefässpflanzen in Abhängigkeit des Landtyps und der Flächengrösse modelliert. Sowohl der lokale Schaden auf dem besetzten oder veränderten Gebiet als auch der regionale Schaden am Ökosystem werden berücksichtigt.

- Schäden an Ökosystemen infolge von Klimaänderungen, des Ozonschichtabbaus oder der Photooxidantenbildung werden in der Methode (noch) nicht berücksichtigt.

### *Ressourcenentwertung*

Der Ressourcenverbrauch wird durch einen Indikator gewichtet, der die Qualität der verbleibenden mineralischen und fossilen Ressourcen beschreibt. Der Indikator drückt den Qualitätsverlust mit Hilfe erhöhter Energieverbräuche des zukünftigen Ressourcenabbaus aus.

### *Zusammenfassung der Methode*

In Fig. 6.2 werden die verschiedenen Teilschritte (weiss) und (Zwischen-)Resultate (grau hinterlegt) für die Modellierung des Eco-indicator 99 gezeigt.

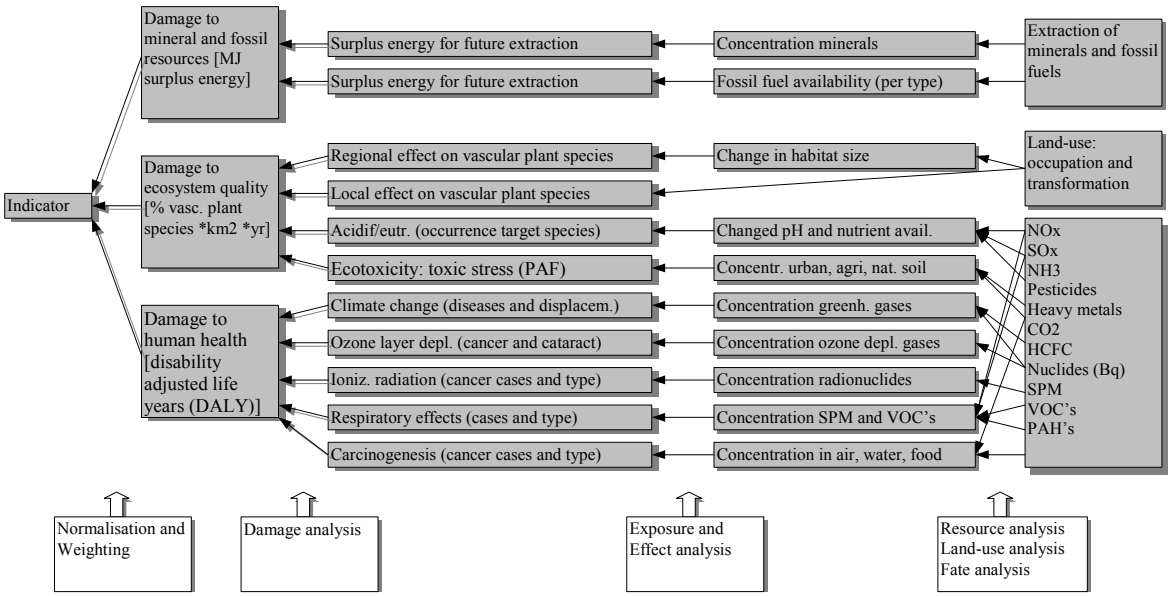



Fig. 6.2: Vereinfachendes Schema der Vorgehensweise beim Eco-indicator 99. Grau: (Zwischen-) Ergebnisse; Weiss: Modellierungen; GOEDKOOP & SPRIENSMA (2000a:11).

Alle Emissionen, Landinanspruchnahmen und -transformationen werden als in Europa auftretend angenommen. Gleiches gilt für die damit verbundenen Schäden, was eine einschränkende Annahme darstellt. Diese Einschränkung wurde aber für Schäden durch Ressourcenverbrauch, und infolge der Emission von Treibhausgasen, ozonschichtabbauenden Stoffen, persistenten karzinogenen Substanzen, anorganischen Luftschadstoffen mit einer weiträumigen Verfrachtung und einigen langlebigen radioaktiven Isotopen nicht gemacht.

Die Methode berücksichtigt zwei Arten von Unsicherheiten:

- Datenunsicherheiten, die mit technischen Problemen der Messung und der Bestimmung von Expositions-, Effekt- und Schadensfaktoren zusammenhängen und
- Unsicherheiten in den Modellen.

Datenunsicherheiten werden unter Annahme einer lognormalen Wahrscheinlichkeitsverteilung mithilfe der quadratischen geometrischen Standardabweichung quantifiziert. Die Unsicherheiten sind in einzelnen Bereichen beträchtlich und können zwei bis über drei Grössenordnungen betragen.

Modellunsicherheiten können nicht wie Datenunsicherheiten behandelt werden. Modelle sind entweder korrekt oder nicht. Bei der Modellbildung sind Annahmen des Anwenders über Parameter und Modellgrenzen notwendig, die Werturteile beinhalten und die die Ergebnisse beeinflussen können. Drei verschiedene Wertemuster für diese Entscheidungen werden in der Methode benutzt, was zu drei in sich konsistenten Schadensmodellen führt. Die Ausgestaltung der Wertemuster erfolgt auf der Basis der Kulturtheorie (siehe dazu auch HOFSTETTER 1998:41-79) und umfasst die folgenden drei Typen von Entscheidern (stark vereinfacht):

- E (Egalitarian): Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (Langzeitperspektive); weit entfernt lebende Menschen ebenso wichtig wie die eigene Familie; minimale wissenschaftliche Indizien der Umweltschädlichkeit eines Schadstoffes reichen aus, um ihn in einer Ökobilanz zu bewerten (vorsichtige Grundhaltung).
- I (Individualist): Hier und heute sind sehr wichtig (Kurzzeitperspektive, eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen); nur wissenschaftlich klar beweisbare Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen werden anerkannt (risikofreudige Grundhaltung).
- H (Hierarchist): Wägt jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und den Nutzen ab. Ein Konsens der Wissenschafter/-innen über Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen rechtfertigt deren Einbeziehen in Ökobilanzen.

Mit diesen drei Perspektiven umfassen die Ergebnisse einer Bewertung mit dem Eco-indicator 99 somit je drei Datensets für Humangesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen.

Die abschliessende Gewichtung zwischen diesen drei Dimensionen erfolgt auf der Basis der Ergebnisse eines an der ETH Zürich unter Ökobilanz-Experten durchgeführten schriftlichen Panels. Die dort eruierten Gewichtungsfaktoren, die nicht einem europäischen Durchschnitt entsprechen, können als Default-Werte verwendet werden. Andere, z.B. firmen- oder vereinsspezifische Gewichtungstripel sind jedoch denkbar resp. erwünscht. Die Methode wird in der Datenbank gemäss den Angaben in (JUNGBLUTH & FRISCHKNECHT 2000) verwendet.

## A.3 Klimaänderungspotential

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das „global warming potential“ (GWP) nach IPCC (ALBRITTON & MEIRA-FILHO 2001, HOUGHTON *et al.* 1996) als Wirkungsparameter beigezogen. Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt. Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potenzielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms $CO_2$ bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen $CO_2$ umgerechnet werden. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist relevant, da dieser die Temperaturveränderungsrate massgeblich bestimmt, welche wiederum die erforderliche Adaptionsfähigkeit für terrestrische Ökosysteme vorgibt. Die Verwendung der längeren Integrationszeiten von 500 Jahren entspricht auch etwa der Integration über einen unendlichen Zeithorizont und lässt Aussagen über das Potenzial der absoluten Veränderung zu (Meeresspiegelerhöhung, Veränderung der Durchschnittstemperatur). In Tab. A-2 sind die Treibhauspotenziale ausgewählter Substanzen aufgeführt.

Tab. A-2: Treibhauspotenziale für verschiedene Integrationszeiträume infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase, bezogen auf Kohlendioxid in der Version für 1996 (HOUGHTON *et al.* 1996) und 2001 (ALBRITTON & MEIRA-FILHO 2001).

| kg $CO_2$-Äquiv. | Integrationszeitraum | | | Version 2001 |
|---|---|---|---|---|
| | 20a | 100a | 500a | 100a |
| $CO_2$ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $CH_4$ | 56 | 21 | 6.5 | 23 |
| $N_2O$ | 280 | 310 | 170 | 296 |
| H-FKW 125 | 4'600 | 2'800 | 920 | 3400 |
| H-FKW 134a | 3'400 | 1'300 | 420 | 1300 |
| $SF_6$ | 16500 | 23900 | 36500 | 22200 |

## A.4 Methode der ökologischen Knappheit 1997

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten Grundlagendaten. Die Umweltbelastung wird zu sogenannten Umweltbelastungspunkten (UBP) zusammengefasst. Die Grundlagen der Methode wurden erstmals 1978 (MÜLLER-WENK 1978), die aktuellste Version 1998 publiziert (BRAND *et al.* 1998).

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip „Distance-to-target". Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und anderseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert.

Fig. 6.3 zeigt ein vereinfachtes Vorgehensschema dieser Bewertungsmethode. Daraus geht hervor, dass die Schritte Klassifizierung und Charakterisierung nur für klimarelevante und ozonschichtabbauende Substanzen und für Primärenergie (sowie für die Säuren HCl und HF) durchgeführt werden. Ansonsten werden die Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbrauch) und Abfallmengen aus der Sachbilanz direkt gewichtet.

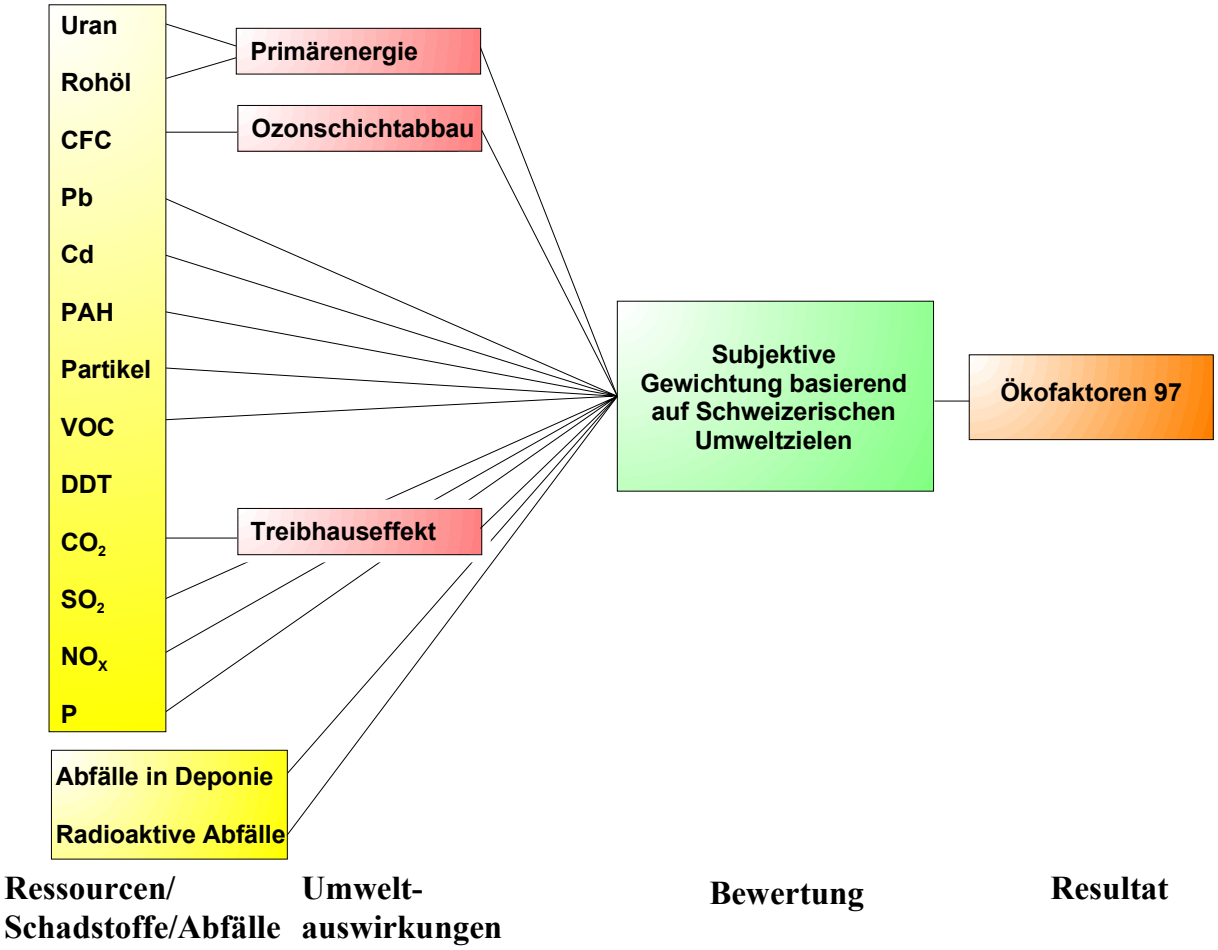



Fig. 6.3: Schematische Darstellung der Methode der ökologischen Knappheit 1997.

Die Bewertung erfolgt mittels Ökofaktoren $w_j$, welche wie folgt definiert sind:

$$w_j = c \cdot \frac{1}{f_{kj}} \cdot \frac{f_{aj}}{f_{kj}}$$

| | |
|---|---|
| $w_j$ | Ökofaktor $w_j$, bezogen auf die Umwelteinwirkung j |
| c | Konstante; $c = 10^{12}$ $a^{-1}$ |
| $f_{aj}$ | aktueller Fluss pro Jahr und Fläche, bezogen auf die Umwelteinwirkung j; Einheit meist (t/a). |
| $f_{kj}$ | Zielfluss (bzw. kritischer Fluss) pro Jahr und Fläche, bezogen auf die Umwelteinwirkung j. Einheit gleich wie $f_{aj}$, meist (t/a). |

Der Faktor c ist für alle Ökofaktoren identisch und dient der besseren Handhabbarkeit der Zahlen. Der erste Quotient gewichtet die Emission am kritischen Fluss dieser Emission (Normalisierung; wie bedeutend ist die betrachtete Emission im Verhältnis zu ihrem kritischen Fluss?). Der zweite Quotient gewichtet mit dem Verhältnis aus heutigem Gesamtfluss und kritischem Fluss (Gewichtung; wie bedeutend sind die gesamten Emissionen im Verhältnis zu den kritischen Emissionen?).

Die Methode der ökologischen Knappheit verwendet im Normalisierungsschritt (siehe oben) die kritischen Flüsse. Werden dazu wie international üblich die aktuellen anstelle der kritischen Flüsse verwendet ($f_{aj}$ statt $f_{kj}$), so lässt sich die obige Formel wie folgt umwandeln:

$$w_j = c \cdot \frac{1}{f_{aj}} \cdot \frac{f_{aj}}{f_{kj}} \cdot \frac{f_{aj}}{f_{kj}}$$

wobei der erste Faktor die Normalisierung darstellt, währenddem der zweite und dritte Faktor zusammen die Gewichtung der entsprechenden Emission j ausdrückt. Demzufolge beruht die Methode der ökologischen Knappheit auf einer quadratischen Funktion zur Bestimmung der Öko- oder Gewichtungsfaktoren. Eine Änderung des Verhältnisses von aktuellem zu kritischem Fluss eines Schadstoffes hat damit einen überproportionalen Einfluss auf dessen Gewichtung.

# B Datengrundlagen

Dieser Anhang stellt die Grundlagedaten für die Module LCD-Display, Li-Ion-Batterie, UMTS-Basisstation, GSM-Mikrobasisstation, Klimaanlage, Netzelemente des Festnetzes und Kabelsystem des Festnetzes. Die anderen Module können aufgrund der Vertraulichkeit der Daten nicht in dieser Form dargestellt werden und sind in einem vertraulichen Anhang dokumentiert.

## B.1 LCD-Display

Die Bilanz des LCD-Display basiert auf der Bilanz aus (YAMAGUCHI *et al.* 2002). Berücksichtigt werden die Materialzusammensetzung, Abwasser sowie der Energieverbrauch. Keine Daten sind zu den Emissionen vorhanden.

Tab. B-1: Anteil der Materialien eines LCD-Displays (Gewicht Total: 7.6g)

| Material | Gew.-% | Bemerkung |
|---|---|---|
| Glas | 72 | |
| PET (light polarizing film) | 16 | |
| akrylisches Harz | 5 | |
| Farbfilter (Pigmente/akrylisches Harz) | 3 | Vernachlässigt |
| NH3 | 2 | |
| Kunststoff-Polymer (spacing beads) | 1 | |
| Russ / akrylisches Harz | 1 | Als Russ bilanziert |
| Andere | 1 | |
| Total | 100 | |

Die Betriebsmittel (Total 61.5g für das LCD-Display) werden in Tab. B-2 zusammengefasst.

Tab. B-2: Betriebsmittel der LCD-Herstellung

| Material | Gew.-% | Bemerkung |
|---|---|---|
| Organische Amine | 57 | |
| HCl+HNO3 (etching liquid) | 37 | Ann.: 50% je |
| Phenol Novolak + PGMEA (photoresist) | 6 | |
| Andere | 0.4 | |
| Total | 100 | |

Der Stromverbrauch wird mit 1.6 kWh pro Stück angegeben, der Bedarf an vollentsalztem Wasser mit 15 l und die Abwassermenge mit 18.8 l „Abfallflüssigkeit“ (als Abfall in SAVA bilanziert) und 0.88 l „Abwasser“ (mit normalem Abwasser CH angenähert).

Die Transporte werden aufgrund von Standarddistanzen für die Materialien gerechnet.

Tab. B-3: Sachbilanz des LCD-Displays.

| | Modul-Namen eco[mc] | | LCD Display, GSM Mobiltelefon, ab Werk, Daten Japan |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Energie** | Strom Mittelspannung - Bezug in UCPTE | TJ | 5.76E-06 |
| | Ammoniak frei Regionallager Schweiz | kg | 2.00E-4 |
| | Russ | kg | 3.00E-5 |
| | Chlorwasserstoff HCl (Salzsaeure) | kg | 1.13E-02 |
| | Salpetersaeure | kg | 1.13E-02 |
| | Glas (Flach-) unbeschichtet | kg | 5.47E-03 |
| | Anwendung PET-Vorfoermlinge | kg | 1.22E-03 |
| | Wasser vollentsalzt | kg | 1.50E+01 |
| **Transporte** | Transport Schiene | tkm | 1.26E-02 |
| | Transport LKW 40 t | tkm | 2.93E-03 |
| **Abfälle** | Abfaelle in SAVA | kg | 1.88E-02 |
| | Abwasser CH-Durchschnitt: pro m3 in ARA Gr.Kl | m3 | 8.80E-04 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 5.76E-06 |

## B.2 Li-Ion-Batterie

In den Mobiltelefonen werden hauptsächlich Li-Ion-Batterien eingesetzt. Die Aufteilung zu den Inhaltsstoffen (Tab. B-4) basiert auf Angaben aus (DOKA 2002).

Tab. B-4: Zusammensetzung der Li-Ion-Batterie.

| | Gewichtsanteil | Bemerkung |
|---|---|---|
| Eisen | 41% | |
| MnO2 | 32% | (Mn 20.2%) |
| Kohlenstoff | 3% | |
| Nickel | 4% | |
| Lithium | 3% | |
| Elektrolyt | 13% | Annahme: Salzsäure. Übliche Elektrolyten sind aber LiPF6 usw. |

Die Daten zum Energieverbrauch der Herstellung werden aus (ISHIHARA *et al.* 2002) entnommen.

Tab. B-5: Sachbilanz der Li-Ion Batterien.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Li-Ionen Batterie, Mobiltelefon, ab Werk |
|---|---|---|---|
| | | Unit | kg |
| **Energie** | Strom Mittelspannung - Bezug in UCPTE | TJ | 4.68E-05 |
| **Materialien** | Kupfer | kg | 2.00E-03 |
| | Russ | kg | 2.64E-02 |
| | Nickel ab Anreicherung | kg | 6.16E-02 |
| | Roheisen | kg | 3.61E-01 |
| | Schwefelsaeure H2SO4 | kg | 1.14E-01 |
| | Anwendung HDPE-Folie | kg | 1.20E-01 |
| | Lithium | kg | 2.64E-02 |
| | Mangan | kg | 2.82E-01 |
| **Transporte** | Transport Schiene | tkm | 1.98E-01 |
| | Transport LKW 40 t | tkm | 3.73E-02 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 4.68E-05 |

## B.3 UMTS-Basisstation, ab Werk

Die benutzten Daten für die Sachbilanz der UMTS-Basisstation (Node B) stammen aus (GUGGISBERG 2001a). Die Energieaufwendungen werden entsprechend den Verwaltungs– und Betriebsaufwendungen (Overhead) für das Mobiltelefon angenommen. Sie werden aufgrund der Leiterplattenfläche hochgerechnet. Die Herstellungsenergie der Leiterplatten wird im entsprechenden Modul berücksichtigt.

Das Referenzprodukt ist ein UMTS-Netzwerkteil RBS 3202 (Ericsson). Die technischen Spezifikationen für die RBS 3202 Basisstation werden in Tab. B-6 gezeigt.

Es wird mit 120g Alufront pro Einschub gerechnet. Für breitere Einschübe (Typ XIII, Typ IX) wird dieses Gewicht mit einem entsprechenden Faktor multipliziert (s. Fussnote 15).

Tab. B-6: Technische Daten des RBS 3202 (GUGGISBERG 2001a).

| | **PWB 4-lagig** | **PWB 8-lagig** | **IC SO** | **IC SQFP** | **IC QFP** | **Alu-Front** [15] | **Plastik-platte** | **weitere Materialien** | **Total Gewicht** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m2 | m2 | Stück | Stück | Stück | kg | | | kg |
| *Teil A* | *0.296* | *0.0221* | *60* | *0* | *0* | *0* | *0* | | *46.1* |
| Batterien | | | | | | | | 43 kg, 12 Bleiakkus | 43 |
| 6 Netzteile | 0.296 | 0.0221 | 60 | 0 | 0 | | | Kondensatoren, Stahlblech, Aludruckguss | 3.1 |
| *Teil B* | | *2.4* | *973* | *478* | *186* | *8.2* | *1.8* | | *27* |
| Einschübe | | | | | | | | | |
| Typ I (2x) | | 0.109 | 14 | 20 | 4 | 0.24 | | weitere elektron. Komp. | 1.04 |
| Typ II (5x) | | 0.273 | 100 | 75 | 30 | 0.6 | | | 3 |
| Typ III (23x) | | 1.256 | 460 | 345 | 138 | 2.76 | 1.84 | | 4.6 |
| Typ IV (4x) | | 0.218 | 128 | | | 0.48 | | | 2 |
| Typ V (1x) | | 0.055 | 71 | 6 | 1 | 0.12 | | | 0.52 |
| Typ VI (2x) | | 0.109 | 62 | 8 | 4 | 0.24 | | | 1.2 |
| Typ VII (3x) | | 0.164 | 105 | 12 | 9 | 0.36 | | | 2.58 |
| HV-Teil | | 0.0256 | 33 | 3 | 0 | | | | |
| Extraprint | | 0.0025 | | | | | | | |
| Typ VIII (3x) | | | | 9 | | 1.8 | | 30% Alu, 70% versilbertes Messing | 5.34 |
| Typ IX (3x) | | | | | | 1.44 | | Alu 30% | 6.66 |
| Typ X (1x) | | 0.00838 | | | | 0.12 | | | 0.14 |
| Verbindungs-PCB | | 0.224 | | | | | | | |
| Total | 0.30 | 2.47 | 1033.3 | 477.8 | 186.5 | 8.2 | 1.8 | | 73.2 |

Zum Node B gehören auch Koaxialkabel. Da die Angaben aus Tab. B-7 sehr unsicher sind, werden sie entsprechend der Empfehlung von (GUGGISBERG 2001a) mit einem Faktor 2 multipliziert.

[15] Die Alu-Front wiegt pro Einschub 120 g. Beim Typ VIII ist die Front breiter und wird deshalb mit einem Faktor 5 multipliziert, beim Typ IX mit einem Faktor 4.

Tab. B-7: Gewicht, Länge, Durchmesser und Anzahl Koaxialkabel im Node B (GUGGISBERG 2001a).

| | Gewicht Total | Länge | Durchmesser | Anzahl Stück |
|---|---|---|---|---|
| | g | mm | mm | |
| Typ I | 40 | 410 | 7 | 3 |
| Typ II | 80 | 590 | 7 | 3 |
| Typ III | *500*[16] | 1500 | 11 | 6 |

Für Service werden 3000 Fahrten mit einer durchschnittlichen Distanz von 50 km für alle 3500 BTS pro Jahr getätigt[17]. Das Transportmittel ist ein Pkw Kombi oder ein VW Bus. Hier wird mit einem Personenwagen gerechnet. Für die Installation bzw. Deinstallation wird eine Distanz von je 100 km angenommen, für den Import aus Europa eine Distanz von 1'000 km[18].

Tab. B-8 fasst die Angaben zur Herstellung einer GSM-Basisstation zusammen.

Tab. B-8: Sachbilanz der UMTS-Basisstation, ab Werk.

| | Modul-Namen eco$^{mc}$ | | UMTS Basisstation, ab Werk |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in W-D Import | TJ | 2.27E-03 |
| **Materialien** | Aluminium 0% Rec. | kg | 2.78E+01 |
| | Kupfer | kg | 7.43E+00 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 7.74E+00 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 3.39E+01 |
| | Leiterplatte, 4-lagig, ab Werk | m2 | 2.96E-01 |
| | Koaxialkabel, ab Werk | m | 1.14E+01 |
| | Leiterplatte, 8-lagig, ab Werk | m2 | 2.47E+00 |
| | Integrierte Schaltung QFP, ab Werk | Stk | 1.86E+02 |
| | Integrierte Schaltung SQFP, ab Werk | Stk | 4.78E+02 |
| | Integrierte Schaltung SO, ab Werk | Stk | 1.03E+03 |
| **Transporte** | Transport PKW CH Fzkm | Fzkm | 3.43E+02 |
| | Transport LKW 28 t | tkm | 2.56E+01 |
| | Transport LKW 40 t | tkm | 1.36E+02 |
| | Transport Schiene | tkm | 1.54E+01 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.27E-03 |

## B.4 GSM-Mikrobasisstation

Die benutzten Daten für die Sachbilanz der GSM-Mikrozelle stammen aus (GUGGISBERG 2003). Es wird eine Mikrobasisstation RBS 2302 von Ericsson bilanziert.

[16] Abschätzung aufgrund der Dicke und des spezifischen Gewichts der Kabel.

[17] Mail Michael Guggisberg, Swisscom, 27.08.2002

[18] Mail Michael Guggisberg, Swisscom, 27.08.2002

Die Energieaufwendungen werden entsprechend den Verwaltungs –und Betriebsaufwendungen (Overhead) für das Mobiltelefon angenommen. Sie werden aufgrund der Leiterplattenfläche (Mobiltelefon 133 $cm^2$, Mikrobasisstation 2'500 $cm^2$) hochgerechnet. Die Herstellungsenergie der Leiterplatten wird im entsprechenden Modul berücksichtigt.

Das Referenzprodukt ist eine Mikrobasisstation RBS 2302 (Ericsson). Die technischen Spezifikationen für die RBS 2302 Basisstation werden in Tab. B-9 und Tab. B-11 gezeigt.

Tab. B-9: Elektronische Komponente der RBS 2302 (GUGGISBERG 2003).

| | **PWB 2-lagig** | **PWB 4-lagig** | **PWB 6-lagig** | **PWB 8-lagig** | **IC SO** | **IC SQFP** | **IC QFP** | **Konden-satoren** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^2$ | $m^2$ | $m^2$ | $m^2$ | Anzahl | Anzahl | Anzahl | Anzahl |
| PWB Var. A | 0.028<br>0.00062 | | | | 7 | 1 | | 20 |
| PWB Var. B | 0.016 | | | | 10 | | | 44 |
| PWB Var. C | 0.0106 | | | | 2.63 | 0.38 | | 7.5 |
| PWB Var. D | 0.051 | | | | | | | |
| PWB Var. E | | | 0.0138<br>0.00504<br>0.018<br>0.0798<br>0.0258 | | 63 | 12 | 16 | 16 |
| Netzteil | | 0.044 | | 0.0033 | 9 | | | |
| Total ($m^2$) | 0.11 | 0.04 | 0.14 | 0.00 | | | | |
| Total (kg) | | | | | | | | 0.001313 |
| Total (Anzahl) | | | | | 91.6 | 13.4 | 16.0 | 87.5 |

Die Kondensatoren werden mit einem angenommenen Gewicht von 0.015 g und einer Zusammensetzung wie in Tab. B-10 berechnet.

Tab. B-10: Zusammensetzung der Kondensatoren (Annahme basierend auf den Kondensatoren des Mobiltelefons).

| | Zusammensetzung der Kondensatoren |
|---|---|
| Ag | 0.1% |
| Sn | 11.2% |
| Ni | 0.6% |
| Si | 88.1% |

Die Abdeckungen ($AlSi_9Cu_3Fe$, mit Aluminium angenähert) der Leiterplatte Var. A, Var. B und Var. C wiegen von 260g, 100g und 70g. Für die 50g Kabel mit Kupfergeflecht wird 65% Kupfer, 35% PE angenommen. Das Netzteil wird anhand der Daten in Tab. B-6 berechnet (im Verhältnis zum Gesamtgewicht eines Node B, mit einem Faktor 0.15). Tab. B-11 fasst die Materialien von Abdeckung und Netzteil zusammen.

Tab. B-11: Andere Materialien der RBS 2302 (GUGGISBERG 2003).

| | Alu-Abdeckung | PE | Kupfer | Stahlblech |
|---|---|---|---|---|
| | kg | kg | kg | kg |
| Var. A | 0.26 | | | |
| Var. B | 0.1 | | | |
| Var. C | 0.07 | | | |
| Netzteil | 1.8 | | | 0.432 |
| Total (kg) | 2.2300 | 0.0175 | 0.0325 | 0.4320 |

Für das Gehäuse wird gewichtsproportional mit der gleichen Zusammensetzung wie für die GSM-Basisstation gerechnet. Für Service werden 3000 Fahrten mit einer durchschnittlichen Distanz von 50 km für alle 3500 BTS pro Jahr getätigt[19]. Das Transportmittel ist ein Pkw Kombi oder ein VW Bus. Hier wird mit einem Personenwagen gerechnet. Für die Installation bzw. Deinstallation wird eine Distanz von je 100 km angenommen, für den Import aus Europa eine Distanz von 1'000 km[20].

Tab. B-12 fasst die Angaben zur Herstellung einer GSM-Basisstation zusammen.

[19] Mail Michael Guggisberg, Swisscom, 27.08.2002

[20] Mail Michael Guggisberg, Swisscom, 27.08.2002

Tab. B-12: Sachbilanz der GSM-Mikrobasisstation, ab Werk.

| | Modul-Namen eco[mc] | | GSM Basisstation, Mikrozelle, ab Werk |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Energie** | Strom Mittelspannung - Bezug in W-D Impo | TJ | 2.05E-04 |
| **Materialien** | Aluminium 0% Rec. | kg | 2.84E+00 |
| | Kupfer | kg | 3.25E-02 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 1.40E+00 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 8.05E+00 |
| | HDPE-Granulat | kg | 1.75E-02 |
| | Geschmolzenes Silber, Mix, ab Werk | kg | 1.56E-06 |
| | Nickel ab Anreicherung | kg | 7.80E-06 |
| | Zinn ab Anreicherung | kg | 1.47E-04 |
| | Keramik | kg | 1.16E-03 |
| | Leiterplatte, 4-lagig, ab Werk | m2 | 5.34E-02 |
| | Leiterplatte, 6-lagig, ab Werk | m2 | 1.42E-01 |
| | Integrierte Schaltung QFP, ab Werk | Stk | 1.60E+01 |
| | Integrierte Schaltung SQFP, ab Werk | Stk | 1.34E+01 |
| | Integrierte Schaltung SO, ab Werk | Stk | 9.16E+01 |
| **Transporte** | Transport PKW CH Fzkm | Fzkm | 3.43E+02 |
| | Transport LKW 28 t | tkm | 1.20E+02 |
| | Transport LKW 40 t | tkm | 6.12E+01 |
| | Transport Schiene | tkm | 2.47E+00 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.05E-04 |

## B.5 Klimaanlage, Basisstation

*Klimaanlage Innenbereich (indoor), Hersteller Carrier*

Die Materialzusammensetzung dieser Klimaanlage, die im Innenbereich eingesetzt wird (Innenbereich-Modell, indoor unit model 42vkc-18), wurde vom Hersteller Carrier angegeben (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001, s. Tab. B-13). Dieses Modell hat eine Kühlleistung von 2.3 kW.

Tab. B-13: Gewicht der einzelnen Teile der Klimaanlage Carrier indoor unit model 42vkc-18 (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001).

| | Einheit | Gewicht |
|---|---|---|
| Zinkblech | kg | 8.34 |
| Kunststoff | kg | 6.81 |
| *-Auffanggefäss* | *PS* | *1.30* |
| *-rechte und linke Seiten* | *PS* | *1.80* |
| *-Lufteintrittsgitter* | *ABS* | *0.40* |
| *-Luftaustrittsgitter* | *ABS* | *0.98* |
| *-CONTROL BOX ASSY* | *ABS* | *1.00* |
| *- Ventilator-Flügel* | *PP* | *0.35* |
| *-Luftfilter* | *Exp. Poliurethane* | *0.08* |
| *-SUPPORT Luftfilter* | *ABS* | *0.30* |
| *-Deckel* | *PP* | *0.20* |
| *-seitliche Isolation* | *EXP. PVC* | *0.40* |
| Spuleneinbau | | |
| *-Kupfertuben* | kg | 2.15 |
| *-Aluminium Gussnaht* | kg | 2.32 |
| *-Zinkblech* | kg | 1.43 |
| Ventilatormotor | kg | 2.56 |
| Kondensatoren | | Not Available |
| Sensor | | Not Available |
| Anschlussdose | | Not Available |
| Sicherung 1A | | Not Available |
| POWER Leiterplatte | cm3 and kg | Not Available |
| CONTROL Leiterplatte | cm3 and kg | Not Available |
| Vereisungs-Schutzvorrichtung | | Not Available |
| Rest | kg | 1.40 |
| Total | kg | 25.00 |

Der Stromverbrauch der Herstellung wird auf der Basis des Gewichts des Gerätes (24 kg) mit den Daten für eine Wärmepumpe 10 und 30 kW (3.7 MJ/kg Gerät, Datenbank eco$^{mc}$) angenähert. Die Fläche der Leiterplatten (control Printed Circuit Board (PCB), power PCB) wird aus den Angaben des Herstellers CTA übernommen (0.02 m$^2$ pro Gerät). Bei diesem Modell fehlen Angaben zu den Materialien für die Teile Kondensatoren, Sensoren, Anschlussdose, Sicherung, Thermostat und Rest. Diese Teile sind insgesamt 1.4 kg schwer und machen weniger als 10% des Gesamtgewichts aus. Sie fand mangels Daten keine Berücksichtigung. Beim Teil „Ventilatormotor“ (2.56 kg) wurde als Material Kupfer angenommen. Die Füllmenge an Kältemittel wird gleich wie für das Aussenbereich-Modell angenommen (s. Tab. B-15). Es sind keine Angaben zu den Verlusten an Kältemittel vorhanden. Hier wird ähnlich wie im Festnetz mit einem Ersatz von 3% pro Jahr gerechnet, die als Emissionen verbucht werden. Die Lebensdauer ist 10 Jahre.

Für die Entsorgung wird angenommen, dass der Metallanteil und die Kältemittel rezykliert werden, währenddem der Kunststoffanteil in der KVA verbrannt wird. Die Transportdistanzen werden entsprechend den Angaben des Arbeitpapiers ecoinvent 2000 Qualitätsrichtlinien, Version 5.7 (Qualitaet_5.7.pdf, 18.12.2002) angenommen.

Energie- und Materialaufwendungen für die Herstellung einer Klimaanlage für den Innenbereich werden in Tab. B-14 zusammengefasst.

Tab. B-14: Sachbilanz der Herstellung einer Klimaanlage, Innenbereich-Modell (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001).

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Klimaanlage, GSM Basisstation, Innenbereich, ab Werk** |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Energie** | Strom Mittelspannung - Bezug in CH Impor | TJ | 9.10E-05 |
| **Materialien** | Aluminium 0% Rec. | kg | 2.32E+00 |
| | Kupfer | kg | 4.71E+00 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 5.50E-01 |
| | PUR-Hartschaum | kg | 8.00E-02 |
| | PVC schlagfest | kg | 4.00E-01 |
| | Polystyrol EPS | kg | 5.78E+00 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 9.77E+00 |
| | Kaeltemittel R22 frei Lager Schweiz | kg | 9.80E-01 |
| | Leiterplatte, 6-lagig, ab Werk | m2 | 2.00E-02 |
| | Transport LKW 40 t | tkm | 2.46E+00 |
| **Transporte** | Transport Schiene | tkm | 5.31E+00 |
| **Abfälle** | Kunststoffe in KVA | kg | 1.03E+00 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 9.10E-05 |
| | R22 H-FCKW p | kg | 2.94E-01 |

### *Klimaanlage Aussenbereich (outdoor), Hersteller Carrier*

Die Materialzusammensetzung dieser Klimaanlage, die im Aussenbereich eingesetzt wird (Aussenbereich-Modell, outdoor unit model 38GL-18), wurde vom Hersteller Carrier angegeben (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001, s. Tab. B-15).

Tab. B-15: Gewicht der einzelnen Teile eines Modells Carrier OUTDOOR UNIT MODEL 38GL-18 (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001).

| | Einheit | Gewicht |
|---|---|---|
| Zinkblech | kg | 19.09 |
| Kunststoff | kg | 1.49 |
| -Ventilator, Propeller (PP) | kg | 0.42 |
| -Vordergitter | kg | 0.49 |
| -Access panel, control box | kg | 0.08 |
| -Griff | kg | 0.03 |
| -Öffnung (PP) | kg | 0.46 |
| Spuleneinbau | | |
| *-Kupfertuben* | kg | 2.83 |
| *-Aluminium Gussnaht* | kg | 2.11 |
| *-Zinkblech* | kg | 0.32 |
| Ventilatormotor | kg | 3.25 |
| Kompressor | kg | 15.00 |
| Kondensatoren | | NA |
| Schaltschütz | | NA |
| Anschlussdose | | NA |
| Leitungen (Kupfer) | kg | 0.60 |
| Comp. Isolation. (Baumwollfaser) | kg | 0.40 |
| Coil grille (wire steel) | kg | 0.28 |
| R22 Kältemittel (System) | kg | 0.98 |
| Rest | kg | 0.67 |
| Total | kg | 47.00 |

Der Stromverbrauch der Herstellung wird auf der Basis des Gewichts des Gerätes (45 kg) mit den Zahlen für eine Wärmepumpe 10 und 30 kW (3.7 MJ/kg Gerät, Datenbank eco$^{mc}$) angenähert. Die Fläche der Leiterplatten (control Printed Circuit Board (PCB), power PCB) wird aus den Angaben des Herstellers CTA übernommen (0.02 m$^2$ pro Gerät). Bei diesem Modell fehlen Angaben zu den Materialien für die Teile Kondensatoren, „contractor“, „terminal block“. Diese Teile wiegen insgesamt 0.67 kg. Zu den Teilen „Ventilatormotor“ (3.25 kg) und „Kompressor“ (15 kg) gibt es keine Angaben zu den Materialien. Es wurde Kupfer für den Ventilatormotor und Stahlblech verzinkt für den Kompressor angenommen. Es sind keine Angaben zu den Verlusten an Kältemittel vorhanden. Hier wird ähnlich wie im Festnetz mit einem Ersatz von 3% pro Jahr gerechnet, die als Emissionen verbucht werden. Die Lebensdauer ist 10 Jahre.

Für die Entsorgung wird angenommen, dass der Metallanteil und die Kältemittel rezykliert werden, währenddem der Kunststoffanteil in der KVA verbrannt wird. Die Transportdistanzen werden entsprechend den Angaben des Arbeitpapiers ecoinvent 2000 Qualitätsrichtlinien, Version 5.7 (Qualitaet_5.7.pdf, 18.12.2002) angenommen.

Energie- und Materialaufwendungen für die Herstellung einer Klimaanlage für den Aussenbereich werden in Tab. B-16 zusammengefasst.

Tab. B-16: Sachbilanz der Herstellung einer Klimaanlage, Aussenbereich-Modell (swisscom_carrier.xls, 17.12.2001).

| | Modul-Namen eco[mc] | | Klimaanlage, GSM Basisstation, Aussenbereich, ab Werk |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Energie** | Strom Mittelspannung - Bezug in CH Impor | TJ | 1.68E-04 |
| **Materialien** | Aluminium 0% Rec. | kg | 2.11E+00 |
| | Kupfer | kg | 6.68E+00 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 8.80E-01 |
| | Stahl niedriglegiert | kg | 2.80E-01 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 3.44E+01 |
| | Kaeltemittel R22 frei Lager Schweiz | kg | 9.80E-01 |
| | Leiterplatte, 6-lagig, ab Werk | m2 | 2.00E-02 |
| **Transporte** | Transport LKW 40 t | tkm | 4.53E+00 |
| | Transport Schiene | tkm | 9.46E+00 |
| **Abfälle** | Kunststoffe in KVA | kg | 8.80E-01 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 1.68E-04 |
| | R22 H-FCKW p | kg | 2.94E-01 |

### *Klimaanlage, Hersteller CTA*

Für die Klimaanlage des Herstellers CTA gibt es nur die Materialzusammensetzung (Quelle: Fax CTA, Modell ASY 12 Fst-W). Technische Angaben zum Modell fehlen. Für die Transporte werden Standarddistanzen angenommen. Dieses Modul wird nicht für die Berechnungen verwendet. Die Daten (Tab. B-17) dienen z.T. als Ergänzung für die vorherigen Module.

Tab. B-17: Sachbilanz der Herstellung einer CTA-Klimaanlage.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Klimaanlage CTA, GSM Basisstation, ab Werk |
|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk |
| **Materialien** | Aluminium 0% Rec. | kg | 2.00E+00 |
| | Kupfer | kg | 2.60E+00 |
| | Deckfarbe | kg | 5.00E-01 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 1.15E+01 |
| | Kaeltemittel R22 frei Lager Schweiz | kg | 3.25E+00 |
| | Zink fuer Verzinkung | kg | 2.25E-02 |
| | HDPE-Granulat | kg | 1.75E+00 |
| | Weissblech | kg | 7.50E-02 |
| | Leiterplatte, 6-lagig, ab Werk | m2 | 2.00E-02 |
| **Transporte** | Transport LKW 40 t | tkm | 2.12E+00 |
| | Transport Schiene | tkm | 5.54E+00 |

## B.6 Festnetz, Netzelemente des Zugangs- und Verbindungsnetzes (ohne Kabel)

In diesem Modul werden die Sachbilanzen aller Netzelemente des Zugangs- und Verbindungsnetzes dokumentiert, d.h. von der Vermittlungsstelle bis zum Hausanschluss. Die Kabel werden aber separat bilanziert. Es beinhaltet die folgenden Elemente:

1. Rohranlagen (Mehrfachrohr / Kabelrohr, Kabelkanalanlagen): diese Systeme werden im Erdreich eingebaut und die Kabel darin eingezogen.
2. Holzmasten: oberirdische Kabelverlegung.
3. Endverzweiger: Abschlusspunkt des allgemeinen Netzes. Hier endet das öffentliche Telekommunikationsnetz beim Teilnehmer.
4. Kabelschacht: für das Einziehen von Kabeln in Rohranlagen benötigt.
5. Abzweigkasten: gleiche Aufgabe wie Kabelschächte.
6. Kabelverzweiger: Anschalte- und Verzweigungseinrichtung des Ortsanschlusskabels.
7. Muffen: verbinden Kabel an den Kabelenden. Es werden zwei unterschiedliche Typen für das Zugangs- und für das Verbindungsnetz verwendet.
8. Zwischenregeneratoren: verstärkendes, elektronisches Bauteil, um Signale aufzubereiten bzw. zu verstärken.
9. Kupferkabel: übertragen Informationen mittels elektrischer Signale. Sie bestehen aus der Kabelseele und dem Kabelmantel.
10. Glasfaserkabel: werden zur Übertragung optischer Signale eingesetzt.

Die spezifischen Materialaufwendungen der verschiedenen Netzelementen wurden aus (REGNER 2000) entnommen.

Die Umrechnung der deutschen Daten, die sich jeweils auf das deutsche Netz oder Teile davon (zwei Ortsnetze für das Zugangsnetz) beziehen, wurde wie folgt vorgenommen: Alle obengenannten Elemente des Zugangsnetzes wurden für die Ortsnetze Darmstadt und Jugenheim auf die Länge Kupferkabel bezogen (ausser bei Holzmasten, die sich auf die Länge oberirdischer Kabel beziehen). Diese Elemente wurden anschliessend aufgrund der Kupferkabellänge im Schweizer Anschlussnetz hochgerechnet. Dabei wurde ähnlich wie in (REGNER 2000) für Deutschland das Netz Darmstadt als städtische Region mit 35% und das Netz Jugenheim als ländliche Region mit 65% gewichtet[21].

Das deutsche Verbindungsnetz besteht ausschliesslich aus Glasfaserkabeln, während das entsprechende Schweizer Netz auch noch Kupferkabel enthält. Die bilanzierten Elemente des Verbindungsnetzes[22] wurden für Deutschland auf die Länge Glasfaserkabel bezogen und wieder für die Länge des Schweizer Verbindungsnetzes hochgerechnet, wobei je nach Element zwischen Kupfer- und Glasfaserkabeln unterschieden wurde:

- Kabelmuffen des Zugangsnetzes für Kupferkabel, Kabelmuffen des Verbindungsnetzes für Glasfaserkabel (Annahme: die Muffen sind spezifisch für die Kabelsorte).

[21] Gebietsflächenverteilung für Deutschland gemäss einer Auskunft vom Statistischen Bundesamt in (REGNER 2000).

[22] In der benutzten Quelle sind nur Zahlen zu den Kabelrohren und den Kabelmuffen enthalten.

- Bei Kabelrohren wurde mit der Gesamtlänge des Verbindungsnetzes (Kupfer- und Glasfaserkabel) hochgerechnet.

### *Rohranlagen*

Bei den folgenden Daten handelt es sich um einen mittleren Typ (gewichtet) der jeweiligen Rohranlagen. Es wird angenommen, dass der gleiche mittlere Typ für das Anschluss- und das Verbindungsnetz gilt. Tab. B-18 fasst die Materialaufwendungen für Mehrfachrohre und Kabelzüge zusammen.

Tab. B-18: Materialaufwendungen der verschiedenen Rohranlagen (REGNER 2000, S. 17, 18).

| | **Mehrfachrohr 3** | **Mehrfachrohr 4** | **Kabelkanal-Züge** | **Kabelrohr-Züge** |
|---|---|---|---|---|
| | kg/m | kg/m | kg/m | kg/m |
| PE (HD) | 1.87 | 0.92 | 0.0064 | 0.64 |
| PVC schlagfest | | | 1.34 | |
| Bemerkung | Verbindungsstücke vernachlässigt | Verbindungsstücke vernachlässigt | Abstandhalter. 96% aus HDPE, 155 g/Stück, 1 St/ 23.4 Kabelkanalröhre. Annahme für Hart-PVC: PVC schlagfest. Die Zahlen für PVC beinhalten Abstandhalter und Rohrmuffe | Verbindungsstücke vernachlässigt |

### *Holzmasten*

Der Abstand zwischen 2 Masten beträgt ca. 35 m. Ein Holzmast hat ein Volumen von durchschnittlich 0.15 $m^3$. Als Holz wurde Fichte (Fichte entrindet ab Waldstrasse) gewählt.

### *Endverzweiger*

Aus den verschiedenen Endverzweiger-Typen wurde ein mittlerer Typ mittels Gewichtung ihrer Häufigkeit im Ortsnetz Jugenheim gebildet. Die Materialzusammensetzung von Endverzweigern wird in Tab. B-19 angegeben.

Tab. B-19: Materialaufwendungen eines durchschnittlichen Endverzweigers (REGNER 2000, S. 43, Jugendheim)

| | **End-verzweiger** | **Bemerkung** |
|---|---|---|
| | kg/Stk | |
| Polyesterharz gesättigtes | 0.13 | Annahme für glasfaserverstärktes Polyester gemäss (REGNER 2000): 70% Polyesterharz, 30% Glasfaser. Polyester wird mit Polyesterharz angenähert |
| Polystyrol schlagfest | 0.062 | |
| Polypropylen-Granulat | 0.095 | |
| Stahlblech verzinkt | 0.021 | |
| Glasfaser | 0.031 | |

### *Kabelschacht*

Die Daten in Tab. B-20 beschreiben einen mittleren Kabelschacht-Typ. Als Material wird Stahlbeton verwendet.

Tab. B-20: Materialaufwendungen eines Kabelschachtes (REGNER 2000, S. 23)

| | **Kabelschächte** | **Bemerkung** |
|---|---|---|
| | kg/Stk | |
| Stahl unlegiert | 0.04 | Annahme für Stahlbeton: 1% Armierungsstahl |
| Beton (ohne Armierungseisen) | 3.95 | |

### *Abzweigkasten*

Die Daten in Tab. B-21 beschreiben einen mittleren Typ eines Abzweigkastens. Diese werden in Stahlbeton gefertigt.

Tab. B-21: Materialaufwendungen eines mittleren Abzweigkastens (REGNER 2000, S. 24).

| | **Total** | **Bodenplatte + Kasten-rahmen** | **Einführung splatte** | **Zwischen-rahmen** | **Deckel-rahmen** | **Deckel** | **Verguss-mörtel** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk |
| Stahl unlegiert | 3.56 | 2.75 | | 0.81 | | | |
| PE (HD) | 2.73 | | 2.73 | | | | |
| Zementmoertel | 14.2 | | | | | | 14.2 |
| Beton (ohne Armierungseisen) | 432 | 272 | | 80.2 | 33 | 46.7 | |
| Gusseisen | 79.8 | | | | 33 | 46.7 | |
| Bemerkungen | | Annahme für Stahlbeton: 1% Armie-rungsstahl | | Annahme für Stahlbeton: 1% Stahl | Annahme: Hälfte aus Beton bzw. aus Guss-eisen | Annahme: Hälfte aus Beton bzw. aus Guss-eisen | Annahme für Verguss-mörtel |

### *Kabelverzweiger*

Die verschiedenen Teile der Kabelverzweiger werden anhand der Verteilung der verschiedenen Typen im Netz gemittelt. Die Materialaufwendungen eines mittleren Kabelverzweigers werden in Tab. B-22 aufgeführt.

Tab. B-22: Materialaufwendungen eines mittleren Kabelverzweigers (REGNER 2000, S. 22).

| | **Total** | **durchschn. Gehäuse** | **durchschn. Sockelmasse** | **durchschn. Gestell mit Endverschlüssen** |
|---|---|---|---|---|
| | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk | kg/Stk |
| Polyesterharz gesättigtes | 24.8 | | 17.9 | 6.84 |
| Glasfaser | 7.7 | | 7.7 | |
| Polycarbonat | 40.3 | 40.3 | | |
| Stahl hochlegiert | 13.8 | | | 13.8 |
| Bemerkung | | | Glasfaserverstärktes Polyester, 30% Glasfaser (Annahme gemäss (REGNER 2000) | 12 Endverschlüsse (EV) pro Gestell, 1 Gestell pro Stück, Gestell aus Edelstahl (7 kg), EV aus Polyester/Edelstahl 1:1, 85% 1.2 kg /EV, 15% 0.8 kg / EV |

### *Kabelmuffen*

Die verschiedenen Teile der Kabelmuffen werden anhand der Verteilung der verschiedenen Typen im Netz gemittelt. Es wird zwischen zwei Muffentypen für Kupfer- bzw. Glasfaserkabel unterschieden. Die Materialaufwendungen werden in Tab. B-23 zusammengefasst.

Tab. B-23: Materialaufwendungen mittlerer Kabelmuffen (REGNER 2000, S. 26, Muffen Kupferkabel, Zugangsnetz) und (LOUY 2001, Glasfaserkabel, Verbindungsnetz).

| | **Muffen Kupferkabel** | **Muffen Glasfaserkabel** | **Bemerkung** |
|---|---|---|---|
| | kg/Stk | kg/Stk | |
| PE (HD) | | 0.002 | |
| PE (LD) | 0.161 | | |
| PVC schlagfest | 0.0012 | | Annahme für PVC |
| Polyesterharz gesaettigtes | | 0.4858 | |
| Polystyrol schlagfest | | 0.004 | Annahme für Polystyrol |
| Polypropylen-Granulat | 0.0399 | 3.29 | Annahme für PP |
| Aluminium 0% Rec. | 0.035 | 0.332 | Annahme für Aluminium |
| Stahlblech verzinkt | 0.0526 | | Annahme fuer Stahlblech |
| Glasfaser | 0.00525 | 0.208 | Annahme für PA Glasfaser |
| Stahl hochlegiert | 0.0104 | 0.1 | Annahme für Stahl |
| Spanplatte | 0.0195 | | |
| Gummi EPDM | 0.0087 | | Annahme für Butyl- und Silikonkautschuk |

### *Zwischenregeneratoren*

In (REGNER 2000) werden Zwischenregeneratoren mit einer Masse von 1.25 kg betrachtet. Nach dem worst case Prinzip wird in (REGNER 2000) die ganze Masse als Elektronik verbucht. In der vorliegenden Arbeit wird 90% des Gewichts als Gehäuse (Stahl unlegiert) und 10% des Gewichts als Elektronik (Leiterplatte, 6-lagig) angenommen.

Tab. B-24: Abschätzung der Materialaufwendungen eines Zwischenregenerators basierend auf (REGNER 2000).

| | | **Zwischen-regenerator** |
|---|---|---|
| | | Stk |
| Stahl unlegiert | kg | 1.13E+00 |
| Leiterplatte 6-lagig | $m^2$ | 6.63E-02 |

### *Sachbilanz der Netzelemente*

Tab. B-25 fasst die Sachbilanz der Netzelemente des Anschluss- bzw. des Verbindungsnetzes zusammen. Die Anzahl Netzelemente für die zwei Netze werden im vertraulichen Anhang dokumentiert.

Tab. B-25: Sachbilanz „Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk“ und „Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk“.

| | Modul-Namen eco[mc] | | Netzelemente, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk | Netzelemente, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk | Stk |
| **Materialien** | PE (HD) | kg | 2.37E+07 | 2.50E+07 |
| | PE (LD) | kg | 5.12E+05 | 3.12E+04 |
| | PVC schlagfest | kg | 5.60E+07 | 2.33E+02 |
| | Fichte entrindet ab Waldstrasse | m3 | 8.06E+04 | |
| | Polyesterharz gesaettigtes | kg | 1.50E+06 | 4.11E+03 |
| | Polystyrol schlagfest | kg | 1.76E+05 | 3.38E+01 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 3.96E+05 | 3.56E+04 |
| | Aluminium 0% Rec. | kg | 1.11E+05 | 9.58E+03 |
| | Stahlblech verzinkt | kg | 2.27E+05 | 1.02E+04 |
| | Glasfaser | kg | 4.58E+05 | 2.78E+03 |
| | Stahl unlegiert | kg | 1.46E+05 | 2.85E+03 |
| | Stahl hochlegiert | kg | 6.35E+05 | |
| | Polycarbonat | kg | 1.85E+06 | |
| | Zementmoertel | kg | 4.28E+05 | |
| | Beton (ohne Armierungseisen) | kg | 1.32E+07 | |
| | Gusseisen | kg | 2.40E+06 | |
| | Leiterplatte, 6-lagig, ab Werk | m2 | 2.62E+02 | |
| | Spanplatte | kg | 6.18E+04 | 3.77E+03 |
| | Gummi EPDM | kg | 2.76E+04 | 1.69E+03 |
| **Transporte** | Transport LKW 28 t | tkm | 4.73E+06 | 1.26E+06 |
| | Transport Schiene | tkm | 1.90E+07 | 5.03E+06 |

## B.7 Festnetz, Kabelsystem

### *Kupferkabel*

Aus den Haupt-Kabeltypen (insg. mehr als 90% im jeweiligen Netz) wird pro Ortsnetz (Jugendheim, Darmstadt) ein mittlerer Typ gebildet. Diese beiden Typen werden dann mit dem Faktor für ländliche und für städtische Gebiete (65% bzw. 35%) gewichtet. Tab. B-26 fasst die Material- und Energieaufwendungen für die Herstellung von Kupferkabeln zusammen.

Tab. B-26: Material- und Energieaufwendungen für die Herstellung von Kupferkabeln (REGNER 2000, S. 46-48).

| | | durchschn. Kabel Jugenheim | durchschn. Kabel Darmstadt | 35% Darmstadt, 65% Jugenheim | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| | Unit | Pro m | Pro m | Pro m | |
| **Energieträger** | | | | | |
| Heizoel EL in Heizung 100 kW | t | | | 1.96E-06 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| Erdgas in Heizung atm. LowNOx KOND <100kW | $Nm^3$ | | | 2.68E-02 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| Strom Mittelspannung - Bezug in CH Import | TJ | | | 1.29E-07 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| **Materialien** | | | | | |
| Kupfer | kg | 0.34 | 0.52 | 0.41 | |
| Aluminiumfolie | kg | 0.01 | 0.01 | 0.0069 | |
| PE (LD) | kg | 0.05 | 0.09 | 0.061 | |
| Stahl hochlegiert | kg | 1.20 | 1.10 | 1.17 | |
| Kraftpapier ungebleicht | kg | 0.03 | 0.05 | 0.040 | Annahme für Papierisolation |
| Blei | kg | 0.84 | 1.14 | 0.95 | Ab 1970 Kunststoffmantel |
| Schmieröl, ab Raffinerie RER | kg | 0.01 | 0.00 | 0.0050 | Annahme für Petrolat (Mineralöl als Füllmaterial) |
| Brettschichtholz | kg | 0.15 | 0.13 | 0.14 | Annahme für Jute |
| *Gesamtgewicht* | *kg* | *2.63* | *3.05* | *2.78* | |
| | | | | | |
| *Total betrachtete Meter im jeweiligen Netz* | *m* | *393 633* | *1 480 023* | | |

## *Glasfaserkabel*

Die Glasfaserkabel wurden aus den Daten für das Ortsnetz Darmstadt ermittelt, da es im ON Jugenheim keine Glasfaserkabel gibt. Der Energieverbrauch wurde den Angaben für die Herstellung von Koaxialkabeln entnommen und als gewichtsproportional angenommen. Tab. B-27 fasst die Material- und Energieaufwendungen für die Herstellung mittlerer Glasfaserkabel zusammen.

Tab. B-27: Material- und Energieaufwendungen für die Herstellung mittlerer Glasfaserkabel (REGNER 2000, S. 45).

| | | **Glasfaserkabel Zugangsnetz** | **Glasfaserkabel Verbindungsnetz** | **Bemerkung** |
|---|---|---|---|---|
| | | kg/m | kg/m | |
| **Energieträger** | | | | |
| Heizoel EL in Heizung 100 kW | t | 9.29E-08 | 1.17E-07 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| Erdgas in Heizung atm. LowNOx KOND <100kW | $Nm^3$ | 1.27E-03 | 1.60E-03 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| Strom Mittelspannung - Bezug in CH | TJ | 6.13E-09 | 7.71E-09 | Annahme: wie Koaxialkabel, proportional zum Gewicht |
| **Materialien** | | | | |
| PE (LD) | kg | 6.56E-02 | 6.97E-02 | |
| PVC schlagfest | kg | 1.37E-03 | | Annahme für PVC |
| Polyesterharz gesättigtes | kg | 7.44 E-03 | 1.16E-02 | |
| PP-Vorförmlinge | kg | 7.44 E-03 | 1.83E-02 | |
| Aluminiumfolie | kg | 1.88 E-02 | 2.16E-02 | |
| Glasfaser | kg | 1.22 E-02 | 3.32E-03 | |
| Stahl hochlegiert | kg | 1.16 E-02 | 1.49E-02 | Annahme für Stahl |
| Polycarbonat | kg | 4.72 E-03 | 4.98E-03 | Annahme für Aramid |
| Kupfer | kg | 2.89 E-03 | 4.98E-03 | |
| Schmieröl, ab Raffinerie RER | kg | 1.61E-02 | 1.66E-02 | Annahme für Füllmasse (Petrolat) |
| Total Gewicht | kg | 1.48E-01 | 1.66E-01 | |

Die spezifischen Werte von Tab. B-26 und Tab. B-27 werden für die Sachbilanz des Kabelsystems mit den Längen der entsprechenden Kabel im Schweizer Netz (Zugangs- und Verbindungsnetz, s. vertraulicher Anhang) multipliziert (Tab. B-28).

Tab. B-28: Sachbilanz „Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk“ und „Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk“.

| | **Modul-Namen eco$^{mc}$** | | **Kabelsystem, Anschlussnetz, Festnetz, ab Werk** | **Kabelsystem, Verbindungsnetz, Festnetz, ab Werk** |
|---|---|---|---|---|
| | | Unit | Stk | Stk |
| **Energie** | Strom Niederspannung - Bezug in CH Import | TJ | 2.93E+01 | 1.95E+00 |
| | Erdgas in Heizung atm. LowNOx KOND <100kW | TJ | 2.19E+02 | 1.46E+01 |
| | Heizoel EL in Heizung 1 MW | TJ | 1.89E+01 | 1.26E+00 |
| **Materialien** | PE (LD) | kg | 1.24E+07 | 1.53E+06 |
| | PVC schlagfest | kg | 1.01E+04 | |
| | Polyesterharz gesaettigtes | kg | 5.45E+04 | 1.28E+05 |
| | Polypropylen-Granulat | kg | 5.45E+04 | 2.01E+05 |
| | Aluminium 0% Rec. | kg | 1.34E+06 | 3.14E+05 |
| | Glasfaser | kg | 8.92E+04 | 3.65E+04 |
| | Stahl unlegiert | kg | 1.78E+08 | 1.15E+07 |
| | Polycarbonat | kg | 3.46E+04 | 5.48E+04 |
| | Kupfer | kg | 7.04E+07 | 4.55E+06 |
| | Blei | kg | 3.39E+08 | 2.17E+07 |
| | Kraftpapier ungebleicht | kg | 6.49E+06 | 4.15E+05 |
| | Brettschichtholz | kg | 2.17E+07 | 1.39E+06 |
| | Schmieröl, ab Raffinerie RER | kg | 8.80E+05 | 2.31E+05 |
| **Transporte** | Transport LKW 28 t | tkm | 3.04E+07 | 2.04E+06 |
| | Transport Schiene | tkm | 3.56E+08 | 2.32E+07 |
| **Emissionen Luft** | Abwaerme in Luft s | TJ | 2.93E+01 | 1.95E+00 |

# Literatur

ALBRITTON, D. L. & MEIRA-FILHO, L. G. 2001: *Technical Summary*. HOUGHTON, J. T., DING, Y., GRIGGS, D. J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P. J., XIAOSU, D., Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, www.ipcc.ch/pub/reports.htm, Cambridge, UK.

BOHM, B. 2000: *Life cycle strategies of base transceiver stations - environmental assessment and cost estimation*. Master Thesis, Institute for Environmental Engineering, Technische Hochschule Berlin, Berlin.

BRAND, G., SCHEIDEGGER, A., SCHWANK, O., BRAUNSCHWEIG, A. 1998: *Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997.* No. Schriftenreihe Umwelt 297, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

FRISCHKNECHT, R. 1998: *Life Cycle Inventory Analysis for Decision-Making: Scope-Dependent Inventory System Models and Context-Specific Joint Product Allocation*. Ph.D.-thesis No. 12599, Inst. f. Energietechnik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 255 Seiten,Switzerland.

FRISCHKNECHT, R., BOLLENS, U., BOSSHART, S., CIOT, M., CISERI, L., DOKA, G., DONES, R., GANTNER, U., HISCHIER, R., MARTIN, A. 1996: *Ökoinventare von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz.* Auflage No. 3, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, www.energieforschung.ch, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, CH.

FRISCHKNECHT, R., BRAUNSCHWEIG, A., HOFSTETTER, P., SUTER, P. 2000: "Human Health Damages due to Ionising Radiation in Life Cycle Impact Assessment." In *Review Environmental Impact Assessment* Vol. **20** (2): 159-189.

GOEDKOOP, M. 1995: *The Eco-indicator 95 - Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale.* Final Report Novem, rivm, Amersfoort.

GOEDKOOP, M. & SPRIENSMA, R. 2000a: *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment.* Methodology Report, 2nd revised ed. PRé Consultants, www.pre.nl/eco-indicator99/, Amersfoort, The Netherlands.

GOEDKOOP, M. & SPRIENSMA, R. 2000b: *Methodology Annex: The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment.* 2nd revised ed. PRé Consultants, www.pre.nl/eco-indicator99/, Amersfoort, The Netherlands.

GUGGISBERG, M. 2001a, *Node B RBS 3202.doc*, 2002.

GUGGISBERG, M. 2001b, *Swisscom_Netzbestandteile.xls*, 2001.

GUGGISBERG, M. 2001c, *umts_kunden_mf.xls*, 2001.

GUGGISBERG, M. & WITSCHI, R. 2001, *daten thru put.doc*, 2001.

HOFSTETTER, P. 1998: *Perspectives in Life Cycle Impact Assessment: A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere*. Kluwer Academic Publishers, ISBN/ISSN 0-7923-8377-X, 484 Seiten, Boston, Dordrecht, London.

HOUGHTON, J. T., MEIRA-FILHO, L. G., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTENBERG, A., MASKELL, K. 1996: *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change*. LAKEMAN, J. A., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997: *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and framework.* European standard EN ISO 14040 Geneva.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1998: *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis.* European standard EN ISO 14041 Geneva.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a: *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment.* European standard EN ISO 14042 Geneva.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000b: *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life cycle interpretation.* European standard EN ISO 14043 Geneva.

JUNGBLUTH, N. & FRISCHKNECHT, R. 2000: *Eco-indicator 99 - Implementation: Assignment of Damage Factors to the Swiss LCI database "Ökoinventare von Energiesystemen".* ESU-services, www.esu-services.ch, Uster.

LOUY, D. 2001: *Telekommunikation im ökologischen Fokus - Ermittlung und Bewertung des Ressourceneinsatzes für Verbindungsnetzbestandteile der Netzinfrastruktur*. Praxissemesterbericht, Fachhochschule, Zittau/Görlitz.

MAIBACH, M., PETER, D., SEILER, B. 1995: *Ökoinventar Transporte - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen.* Technischer Schlussbericht, Auftrag No. 5001-34730, ISBN 3-9520824-5-7, INFRAS, Zürich.

MOTOROLA 2002: *Life Cycle Cost (LCC) Study for the Paragon A830 3G (UMTS) Phone.* Motorola, MATC-E, Wiesbaden.

MÜLLER-WENK, R. 1978: *Die ökologische Buchhaltung: Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik*. Campus Verlag Frankfurt.

MÜLLER-WENK, R. 1999: *Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise.* IWÖ - Diskussionsbeitrag No. 77, ISBN Nr. 3-906502-80-5, Hochschule St. Gallen, http://www.iwoe.unisg.ch/service/Veroeff/db77.htm, Switzerland.

REGNER, S. 2000: *Telekommunikation im ökologischen Fokus - Ermittlung und Bewertung des Ressourceneinsatzes für Festnetzbestandteile der Netzinfrastruktur*. Diplomarbeit, Fachbereich MND Umwelttechnik/Umweltmesstechnik, Fachhochschule Wiesbaden, Wiesbaden.

STUTZ, M., FRANZ, R., TZSCHEUTSCHLER, P. 2000: "Energy use in the Life Cycle of a Cellular Phone: a Study of the Impacts During Manufacturing and Use." In *Electronic Goes Green 2000+, September 11-13*. Berlin.

SWISSCOM 2001: *Geschäftsbericht Linien: Bestand der Fern- und Regional-Kabelanlagen, der Freileitungsanlagen und des Anschlussnetz unterirdisch, 2000.* Swisscom, Bern.

WEIBEL, T. & STRITZ, A. 1995: *Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen.* ESU-Reihe (Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt) No. 1/95, Zürich.

ZIMMERMANN, P., DOKA, G., HUBER, F., LABHARDT, A., MÉNARD, M. 1996: *Ökoinventare von Entsorgungsprozessen. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen.* ESU-Reihe No. 1/96, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz.