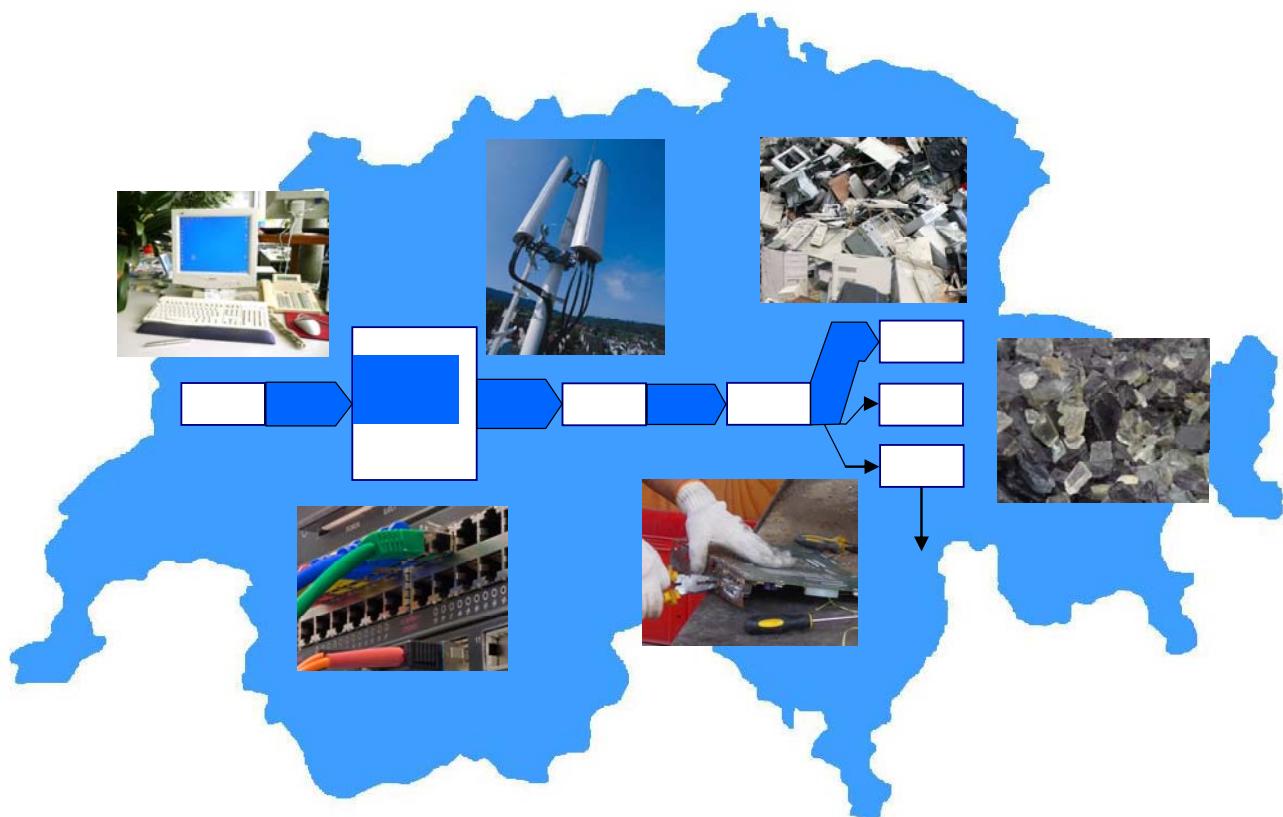


Materialflüsse und Umweltauswirkungen der Dienstleistung 'Internet Schweiz'

*Autoren*

Esther Müller, Rolf Widmer, Amélie Orthlieb, Benoît Girardin, Empa

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Su mandato dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN)

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Abfall und Rohstoffe, CH-3003 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Empa, Abteilung für Technologie und Gesellschaft

Autor/Autorin: Esther Müller, Rolf Widmer, Amélie Orthlieb

Begleitung BAFU: Marco Buletti, Susan Glättli

Titelfotos: Empa, BAFU, istockphoto.com

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Freigabe BAFU: 22. März 2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Zusammenfassung	3
Résumé	5
Summary	7
1 Einleitung und Zielsetzung	8
2 Dienstleistung 'Internet Schweiz'	9
2.1 Umfang der Dienstleistung 'Internet Schweiz'	9
2.2 Systemgrenzen	9
2.3 Schweizer Netzwerk	10
2.4 Datenimport und -export	11
3 Methodik	12
3.1 Datenbeschaffung	12
3.2 Schweizer Netzwerk	12
3.2.1 Nutzerkategorien	12
3.2.2 Providerkategorien	13
3.2.3 Gerätetypen Internet Schweiz	15
3.2.4 Allokation:	16
3.2.5 Mathematischer Modellaufbau	17
3.3 Datenimport und -export	18
3.3.1 Import, Export und Datenverkehr innerhalb der Schweiz	18
3.3.2 Aufteilung des Datenverkehrs in Anwendungen	18
3.3.3 Geräte pro Anwendung	19
3.4 Massen- und Stoffflussanalyse	20
3.5 Lebenszyklusanalyse	21
3.5.1 Funktionale Einheit	21
3.5.2 Bewertungsmethode	21
3.5.3 Ecoinvent Datenbank	22
3.5.4 Sachbilanz	22
4 Resultate und Diskussion	23
4.1 Schweizer Netzwerk	23
4.1.1 Massenflussanalyse	23
4.1.2 Stoffflussanalyse	27
4.1.3 Energiekonsum	29
4.1.4 Lebenszyklusanalyse	31
4.1.5 Szenarien	38
4.2 Datenimport und -export	40
4.2.1 Import, Export und interner Datenverkehr	40
4.2.2 Aufteilung des Datenverkehrs in Anwendungen	40
4.2.3 Massenflussanalyse	41
4.2.4 Lebenszyklusanalyse	42
4.3 Dienstleistung 'Internet Schweiz'	46
4.4 Datenunsicherheit	47
4.4.1 Schweizer Netzwerk	47
4.4.2 Datenimport und -export	47
5 Schlussfolgerungen	48

5.1	Schweizer Netzwerk	48
5.2	Datenimport und -export	48
5.3	Dienstleistung "Internet Schweiz"	48
5.4	Spezifischer Energiebedarf und Materialverbrauch	49
6	Literaturverzeichnis	51
7	Anhang	53
7.1	Parameter der für das Schweizer Netzwerk berücksichtigten Geräte	53
7.2	Allokationsfaktoren	54
7.3	Mathematischer Modellaufbau	55

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) will sich eine Übersicht über die Umweltbelastung ausgewählter Materialien, Produkte und Dienstleistungen verschaffen, um möglichen Handlungsbedarf zu erkennen und eine nachhaltige Materialbewirtschaftung zu ermöglichen. Es benötigt dazu Daten und Informationen über direkte und indirekte Materialflüsse und ihre ökologische Bewertung über den ganzen Lebenszyklus verschiedener Materialien, Produkte und Dienstleistungen.

In dieser Arbeit werden die Massen- und Stoffflüsse, der Energiekonsum sowie die Umweltauswirkungen der Dienstleistung „Internet Schweiz“ untersucht. Die Untersuchung schliesst an die beiden Studien über Materialflüsse und Umweltauswirkungen von Kunststoffen und elektrischen und elektronischen Geräten an. Damit wird der Reigen von drei Beispielen, je eines für eine Stoff-, eine Produkte- und eine Dienstleistungskategorie geschlossen.

Um die Dienstleistung „Internet Schweiz“ abzubilden, wurden stark vereinfachte Modelle entwickelt. Zunächst wurde in einem ersten Teil nur die Infrastruktur innerhalb der Schweizer Grenze - das Schweizer Netzwerk - betrachtet. Dazu wurde die Infrastruktur in zwei Teilbereiche aufgeteilt. Die Bereichsgrenze verläuft grob gesagt zwischen den Nutzern und den Anbietern bzw. zwischen ihren dazu nötigen Gerätelparks des Internets. Die Nutzer wurden in die folgenden fünf Kategorien aufgeteilt: Haushalte, Kleinstunternehmen, Kleinunternehmen und kleine Gemeinden, mittelgrosse Unternehmen und mittelgrosse Gemeinden und schliesslich Grossunternehmen sowie grosse Gemeinden, Kantone, Universitäten und Forschungszentren. Die Anbieter wurden gemäss ihren Zugangstechnologien ebenfalls in drei Kategorien aufgeteilt: Die erste Kategorie umfasst den Zugang über das Telefonkabel (Dial-up und DSL), die zweite den Zugang über das Fernsehkabel, die dritte Kategorie betrachtet den Zugang direkt über ein Glasfaserkabel und die vierte Kategorie beinhaltet den Internetzugang über Mobilfunk.

In einem zweiten Teil wurde mit Kenntnissen des Datenverkehrs zwischen der Schweiz und dem Ausland abgeschätzt, welchen Anteil an ausländischer Infrastruktur ein Internetnutzer in der Schweiz mitbenutzt und umgekehrt. Dazu wurde zunächst der Datenimport, -export sowie der Datenverkehr innerhalb der Schweiz abgeschätzt. Diese Datenströme wurden dann in verschiedenen Anwendungen (Web, Video, Speicherung, peer-to-peer etc.) aufgeteilt. Für jede Anwendung wurden die Geräte bestimmt, welche für die Bereitstellung, den Datentransport und den Empfang der Inhalte der verschiedenen Anwendungen benötigt werden. Die totale Anzahl benötigter Geräte wurde über die Grösse der Datenflüsse quantifiziert. So konnten schliesslich die Massenflüsse und Umweltauswirkungen auf Grund der Datenimporte und -exporte berechnet werden.

Da die Infrastruktur des Internets aus sehr vielen verschiedenen Geräten besteht, wurden diese zur Vereinfachung in eine begrenzte Anzahl von Gerätefamilien zusammengenommen und in einem Inventar erfasst. Für jede Gerätefamilie wurden Daten über Gewicht und Materialzusammensetzung, Energiekonsum sowie Lebensdauer erhoben bzw. abgeschätzt. Der Tatsache, dass viele der betrachteten Geräte nicht nur ausschliesslich für das Internet gebraucht werden, wird durch verschiedene Allokationen Rechnung getragen.

Auf der Basis dieser Daten wurde eine Massen- und Stoffflussanalyse durchgeführt. Das betrachtete System umfasst die in der bestehenden Infrastruktur gelagerten Geräte, sowie den Input an neuen Geräten und den Output von obsoleten Geräten. Als Entsorgungswege wurden die thermische Verwertung bzw. Entsorgung, die Deponie, welche dafür steht, dass die meisten Stoffe nur mit Verlusten recycelt werden können, sowie die stoffliche Verwertung berücksichtigt. Die Massenflussanalyse für das Jahr 2009 ergibt ein Lager innerhalb der Schweiz von 103'400 t. Der Input ist mit 36'300 t/Jahr um mehr als einen Faktor 2 grösser als der Output mit 17'100 t/Jahr. Das Lager der bestehenden Infrastruktur nimmt demnach pro Jahr um fast 20'000 t zu. Vom Output, welcher ausschliesslich in die Aufbereitung gelangt, wurden ca. 66% stofflich verwertet, 32% wurden thermisch verwertet und knapp 2% deponiert. Die Transferkoeffizienten wurden aus (Müller & Widmer 2008) übernommen. Zu den 103'400 t kommen noch rund 20'000 t an Infrastruktur im Ausland dazu, welche wir aufgrund des Datenimports nutzen. Gleichzeitig werden rund 9'000 t der Schweizer Infrastruktur von Ausländern benutzt, welche Daten aus der Schweiz beziehen.

Der Gesamtenergieverbrauch von 4'640 GWh/Jahr (530 MW) für den Betrieb der Infrastruktur beträgt rund 7.8 % des gesamten Elektrizitätskonsums in der Schweiz. Der Energiekonsum der verschiedenen Zugangstechnologien ist mit total 220 GWh/Jahr (27 MW) rund 20 mal tiefer als derjenige aller Nutzer mit 4'410 GWh/Jahr. Für die Infrastruktur im Ausland wurde der Energiekonsum nicht abgeschätzt.

Eine Lebenszyklusanalyse (LCA) unter Verwendung der ecoinvent Datenbank und der Software SimaPro quantifiziert die Umweltauswirkungen der Dienstleistung Internet in Umweltbelastungspunkten. Die LCA über alle Lebenszyklen des Schweizer Netzwerks ergibt eine rund 1.2-mal grössere Belastung durch die Produktion ($2.6 \cdot 10^{12}$ UBP) als durch die Nutzung ($2.1 \cdot 10^{12}$ UBP). Während eines Jahres verursacht demnach der Betrieb der gesamten Infrastruktur innerhalb der Schweiz fast gleich viele Belastungen wie die Produktion neuer Geräte zur Instandhaltung und Erweiterung der Dienstleistung Internet. Durch das Recycling werden Umweltbelastungen vermieden, wenn die entstehenden sekundären Rohstoffe Primärressourcen ersetzen, was durch negative Umweltbelastungspunkte ausgedrückt wird. Zählt man die Umweltbelastungen, welche für die Produktion und Nutzung von Geräten im Ausland verursacht werden, dazu, vergrössern sich die Belastungen um rund 5% (Produktion) respektive 11% (Nutzung). Nur 3% bzw. 5% der Belastungen durch die Produktion bzw. die Nutzung des Schweizer Netzwerkes kann ausländischen Nutzern zugeschrieben werden.

Résumé

L'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) désire fournir une vision globale des impacts liés à une sélection de matériaux, produits et services, dans le but de soutenir une gestion durable des matériaux. Il est donc nécessaire d'obtenir des informations sur les flux de matières et leurs impacts tout au long de leur cycle de vie.

Après deux études initiales sur les plastiques, en tant que matière, et sur les équipements électriques et électroniques, en tant que produit, une troisième analyse se concentre à présent sur les services Internet en Suisse. Cette dernière étude cherche à dresser le bilan des impacts environnementaux dus à la consommation de matière et d'énergie pour la mise en place et la maintenance des services Internet.

Des modèles simplifiés ont été développés afin d'obtenir une représentation fiable de l'utilisation d'Internet en Suisse. Dans une première partie, seule l'infrastructure présente en Suisse a été considérée. L'infrastructure a été subdivisée en deux sections, les utilisateurs d'Internet et les fournisseurs de service Internet. Les utilisateurs sont répartis en cinq catégories : les ménages, les micro-entreprises, les petites entreprises et les petites villes, les moyennes entreprises et les villes moyennes, et finalement les grandes entreprises, les grandes villes, les cantons, les universités et les centres de recherches. Les fournisseurs ont été classés en fonction des technologies d'accès disponibles: La première catégorie comporte l'accès sur le câble téléphonique (dial-up et DSL), la deuxième l'accès sur le câble de télévision, la troisième catégorie comprend l'accès directement sur les câbles à fibre optique et la quatrième catégorie englobe l'accès sur le réseau mobile.

Dans une deuxième partie nous avons estimé la part de l'infrastructure à l'étranger qui est utilisée depuis la Suisse, et la part de l'infrastructure suisse, utilisée depuis l'étranger selon le trafic de données entre la Suisse et l'étranger. Par conséquent, nous avons d'abord quantifié l'importation de données, l'exportation de données, et le trafic à l'intérieur de la Suisse. Ces flux de données ont ensuite été divisés en différentes applications (Web, vidéo, stockage, peer-to-peer, etc.). Pour chaque application, les dispositifs qui sont nécessaires à la fourniture, au transport des données et à la réception du contenu des différentes applications ont été identifiés. Puis, un inventaire du nombre total d'équipements nécessaires a été dressé en fonction de la taille des flux de données. Enfin, sur la base d'un inventaire, les flux de masse et les impacts environnementaux liés aux importations et aux exportations de données ont été calculés.

Ces utilisateurs et ces technologies sont associés à des équipements informatiques. Une liste des appareils les plus standards a été dressée dans le but d'établir un inventaire du matériel lié aux services Internet en Suisse. Pour chacun de ces appareils, des données sur le poids, la durée de vie et la consommation électrique ont été récoltées. Compte tenu que ces appareils ne servent pas à uniquement à l'usage d'Internet, un coefficient de facteur, ou allocation, est appliqué pour ne prendre en compte que la part des impacts directement liée à l'utilisation d'Internet.

Sur la base de cette collecte de données, une analyse des flux de matières a été établie. L'inventaire effectué a permis de calculer le stock présent en Suisse ainsi que les flux entrants et sortants du stock. Trois voies de fin de vie ont été définies comme étant l'incinération, la mise en décharge et le recyclage. L'analyse des flux de matières pour l'année 2009 montre un stock de 103'400 t. Les flux entrants (36'300 t /an) sont supérieurs d'un facteur 2 aux flux sortants avec (17'100 t /an). Le stock de l'infrastructure augmente donc chaque année de presque 20'000 t. Parmi les 17'100 t /an qui arrivent au traitement des déchets, plus de 66% du matériel est récupéré, 32% est incinéré (avec récupération d'énergie) et moins de 2% mis en décharge. Les coefficients de transfert ont été adoptés de (Müller & Widmer, 2008). Aux 103'400 t d'infrastructure Suisse, environ 20'000 t de l'infrastructure située à l'étranger est ajoutée pour tenir compte de l'importation des données. Dans le même temps, autour de 9'000 t de l'infrastructure suisse est utilisé par des utilisateurs de l'étranger, qui consomment des données en provenance de Suisse.

La consommation totale d'énergie de l'utilisation de l'infrastructure s'élève à 4'640 GWh /an (530 MW), soit environ 7.8% de la consommation totale d'électricité de la Suisse. La consommation électrique des fournisseurs d'accès de 220 GWh/an est nettement inférieur à celle des utilisateurs avec 4'410 GWh /an.

Une analyse du cycle de vie, utilisant la base de données ecoinvent et le logiciel SimaPro, quantifie l'impact environnemental des services Internet. Le cycle de vie est divisé en trois phases: la production, l'utilisation et la fin de vie. Le résultat pour l'infrastructure suisse montre, que l'impact au cours de la production ($2.6 \cdot 10^{12}$ UBP) est environ 1.2 fois plus grand que l'impact au cours de la phase d'utilisation ($2.1 \cdot 10^{12}$ UBP). Ainsi,

pendant un an, l'exploitation de la totalité de l'infrastructure en Suisse engendre moins d'impacts que la production de nouveaux équipements pour l'entretien et l'expansion des services Internet. La phase de fin de vie participe à réduire l'impact global. En effet, les matières recyclées sont utilisées pour une deuxième vie en évitant ainsi la production d'appareils à partir de ressources primaires, ce qui permet d'éviter des émissions néfastes dans l'environnement. Si on ajoute les impacts qui sont causés à la production et l'utilisation des équipements à l'étranger, les impacts augmentent d'environ 5% (production) ou 11% (utilisation), respectivement. Seulement 3% de l'impact de la production et 5% de l'impact de la phase d'utilisation peut être attribué à des utilisateurs à l'étranger.

Summary

The Federal Office for the Environment (FOEN) wants to provide an overview of impacts of selected materials, products or services, to support a sustainable material management. Therefore information of material flows and impacts throughout their whole life cycle is needed.

In this study, mass- and material flows, energy consumption as well as environmental impacts linked to the service 'Internet in Switzerland' are investigated. This work is in line with the two previous studies on material flows and environmental impacts of plastics and electric and electronic equipment.

To map the service 'Internet Switzerland', highly simplified models were developed. In a first part, we considered only the Swiss network, i.e. the infrastructure within the Swiss boundaries. The infrastructure was divided into two subareas, the internet users and the internet providers. The users were categorized into the following 5 categories: households, microenterprises, small enterprises and small public administrations, medium enterprises and medium public administrations and finally large enterprises together with large public administrations, cantons, universities and research centers. The providers were categorized according to the available access technologies: The first category implies the access over the telephone cable (dial-up and DSL) the second one the access over the television cable, the third category comprises the access directly over optic fiber cables and the fourth category encompasses the access over the mobile network.

In a second part we estimated the share of foreign infrastructure, used from within Switzerland, and the share of Swiss infrastructure, used from abroad according to the data traffic between Switzerland and abroad. Therefore, we first quantified the data import, data export, and the traffic within Switzerland. These data flows were then divided into different applications (web, video, storage, peer-to-peer, etc.). For each application, the devices were determined that are required for the provision, data transport and reception of the contents of the different applications. Then, an inventory of the total number of required equipment has been compiled according to the size of the data flows. Finally, based on the inventory, mass flows and environmental impact due to data imports and exports were calculated.

Since the infrastructure of the internet consists of many different devices, they were merged in a limited number of device families and as such included in an inventory. For each family, data on weight, material composition, energy consumption and lifespan were collected or estimated. The fact that many of the considered devices are not only used for the Internet was accounted for by including allocations.

Based on this inventory, a mass- and material flow analysis was performed. The system includes the stock of the existing infrastructure as well as the input of new devices and the output of obsolete items. Thermal recovery/disposal, landfilling, that stands for the loss of materials during recycling, and material recovery were considered as disposal pathways. The massflow analysis for the year 2009 results in a stock of 103'400 t. The input with 36'300 t /year is higher by a factor 2 than the output with 17'100 t /year. The stock of the existing infrastructure is therefore increasing every year by almost 20'000 t. Of the 17'100 t /year which reach the waste processing, over 66% of the material is recovered, 32% is thermally disposed of (with energy recovery) and less than 2% is landfilled. The transfer coefficients were adopted from (Müller & Widmer 2008). To the 103'400 t of Swiss infrastructure, around 20'000 t of infrastructure abroad is added that we use due to data import. At the same time around 9'000 t of the Swiss infrastructure is used by foreigners, which consume data from Switzerland.

The total energy consumption of the infrastructure's operation adds up to 4'640 GWh /year (530 MW), which is about 7.8% of the total electricity consumption of Switzerland. The consumption of the access technologies with 220 GWh/year is significantly lower than the users' one with 4'410 GWh/year.

A life cycle assessment (LCA), using the ecoinvent database and the software SimaPro, quantifies the environmental impact of the service Internet, measured in ecological scarcity. The LCA of all life cycles of the Swiss network results in an around 1.2 times higher impact during the production ($2.6 \cdot 10^{12}$ UBP) than during the use phase ($2.1 \cdot 10^{12}$ UBP). Thus, during one year, the operation of the entire infrastructure within Switzerland almost causes less impacts than the production of new equipment for maintenance and expansion of the Internet services. The recycling has a mainly positive impact since recovered material can replace primary production, which is expressed by negative ecopoints. Adding the environmental impacts which are caused for the production and use of equipment abroad, the impacts increase by around 5% (production) or 11% (use), respectively. Only 3% of the impact of production and 5% of the impact of the use phase can be attributed to foreign users.

1 Einleitung und Zielsetzung

Das BAFU will sich eine Übersicht über die Auswirkungen ausgewählter Materialien, Produkte und Dienstleistungen verschaffen, um möglichen Handlungsbedarf zu erkennen, mit dem Ziel einer nachhaltigen Materialbewirtschaftung. Es benötigt dazu Daten und Informationen über Materialflüsse und ihre ökologische Bewertung über deren ganzen Lebenszyklus hinweg.

Das übergeordnete Ziel ist es, basierend auf aussagekräftigen Daten, Handlungsfelder zu identifizieren, wo in Zukunft allfällige material- und produktpolitische neue oder zusätzliche Vorkehrungen zu treffen sind, wie z.B. erhöhte Anforderungen an die zu rezyklierenden Mengen oder Vorgaben zur Verwertung bestimmter seltener Metalle. Das BAFU will so eine Übersicht gewinnen, welche Materialien in Zukunft wichtig werden oder schon sind, sowie die Bevölkerung informieren, wo eine nachhaltige Materialbewirtschaftung einsetzen kann oder muss. Der Politik, der Wirtschaft und den KonsumentInnen müssen hierzu verständlich aufgearbeitete Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Die Untersuchung der Dienstleistung ‚Internet Schweiz‘ schliesst sich an die beiden Studien über Materialflüsse und Umweltauswirkungen von Kunststoffen und elektrischen und elektronischen Geräten an. Damit wird der Reigen von drei Beispielen, je eines für eine Material-, eine Produkte- und eine Dienstleistungskategorie geschlossen.

Ziel dieser Untersuchung ist es, auf Grund von vorhandenen Daten den Material – und Energiebedarf sowie mit einer Lebenszyklusanalyse (LCA = Life Cycle Assessment) die Umweltauswirkungen der vorhandenen Infrastruktur für die Dienstleistung ‚Internet Schweiz‘ abzuschätzen und aufzuzeigen. Die im Rahmen der Studie über elektrische und elektronische Geräte entwickelte Methodik wurde für die Untersuchung einer Dienstleistung angepasst und weiterentwickelt.

Die für diese Studie erhobenen vorhandenen Daten erlauben eine vereinfachte Abbildung der in der Schweiz vorhandenen Infrastruktur der Dienstleistung ‚Internet Schweiz‘, sowie eine erste Abschätzung über Materialflüsse, Energieverbrauch und Umweltauswirkungen. Da Daten über das Internet nicht nur innerhalb einer Landesgrenze konsumiert, sondern auch importiert und exportiert werden, wurden über Kenntnisse der Datenimporte und -exporte auch der Anteil an ausländischer Internet-Infrastruktur, welcher von der Schweiz genutzt wird, sowie auch den Anteil am Schweizer Netzwerk, welcher von ausländischen Nutzern mitbenutzt wird, abgeschätzt.

2 Dienstleistung 'Internet Schweiz'

2.1 Umfang der Dienstleistung 'Internet Schweiz'

Das Internet ist ein globales Netzwerk, welches aus vielen kleinen Netzwerken aufgebaut ist und sich stetig verändert und weiterentwickelt. Die vorliegende Studie stellt eine vereinfachte Momentaufnahme dieser komplexen Konstruktion dar.

Die Dienstleistung 'Internet Schweiz' umfasst viele verschiedene Dienstleistungen, wie zum Beispiel das 'World Wide Web' ([www](#)), 'E-Mail', und 'Instant Messaging'. Andere Kommunikationsmedien wurden an die auf dem 'Internet Protocol' (IP) basierende Technologie angepasst, um Dienstleistungen wie 'Voice over Internet Protocol (VoIP) oder Internet-Fernsehen (IPTV) anzubieten.

In dieser Studie wurden grundsätzlich alle auf IP basierenden Dienstleistungen und ihre dazugehörige Infrastruktur berücksichtigt, welche heute von Schweizer Internet Service Provider (ISP) angeboten werden. Dienstleistungen, welche noch keinen signifikanten Einfluss auf Infrastruktur sowie Energieverbrauch haben, werden durch entsprechende Allokationen weniger stark gewichtet oder gar nicht berücksichtigt. Die Allokationen sind in Kapitel 3.2.4 detailliert beschrieben.

2.2 Systemgrenzen

Die vom Internet als globales Netzwerk ermöglichten Dienstleistungen sind an sich geographisch nicht abgrenzbar. Daten werden nicht nur innerhalb einer Landesgrenze konsumiert, sondern auch importiert und exportiert, wie in Abbildung 1 dargestellt wird.

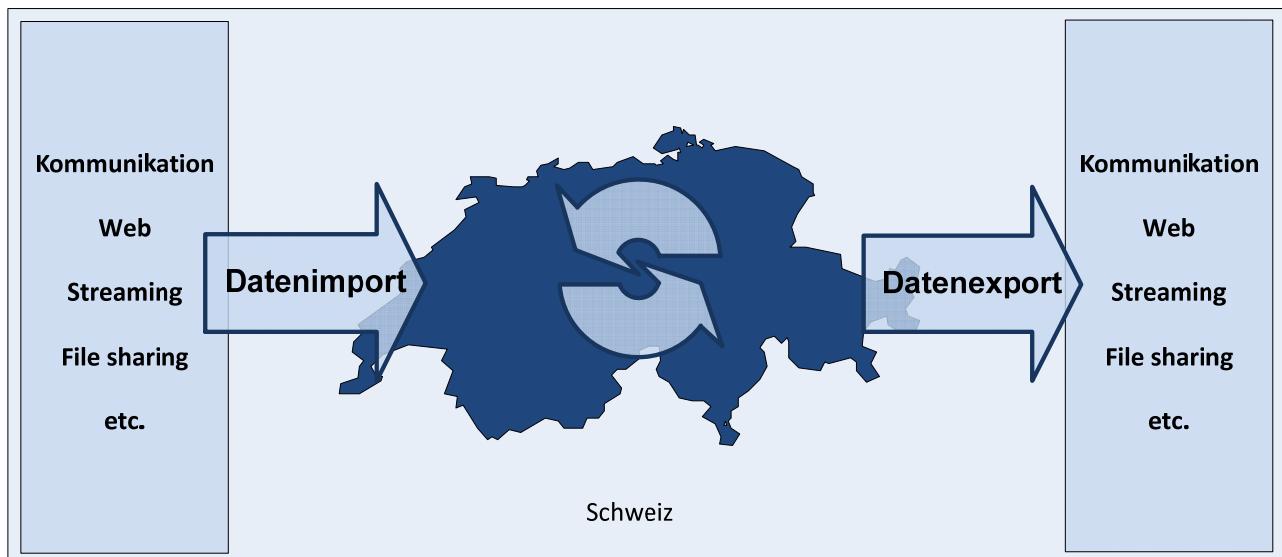


Abbildung 1: Die Dienstleistung 'Internet Schweiz' im internationalen Kontext.

Um die Materialflüsse und Umweltauswirkungen der Dienstleistung 'Internet Schweiz' zu quantifizieren, wurde in einem ersten Teil nur die Infrastruktur innerhalb der Schweizer Grenzen betrachtet. Dabei wurde ein Inventar der effektiv vorhandenen und für das Internet genutzten Geräte erstellt. Dass Geräte wie Computer oder Mobiltelefone auch für andere Anwendungen gebraucht werden, wurde über die Nutzungszeit alloziert (siehe Kapitel 3.2.4).

In einem zweiten Teil wurde mit Kenntnissen des Datenverkehrs zwischen der Schweiz und dem Ausland abgeschätzt, welchen Anteil an ausländischer Infrastruktur ein Internetnutzer in der Schweiz mitbenutzt und umgekehrt. Dazu wurden dem Datenverkehr verschiedene Anwendungen und jeder Anwendung verschiedene Geräte zugeordnet, welche benötigt werden, um Informationen bereitzustellen und den Datenverkehr zu ermöglichen. Der Anteil der Nutzung der im Ausland vorhandenen Infrastruktur wurde über die Grösse der Datenflüsse bestimmt.

Für die Abschätzung der Umweltauswirkungen wurde der gesamte Lebenszyklus der in der Schweiz vorhandenen und im Ausland mitbenutzten Infrastruktur berücksichtigt. Dies beinhaltet auch die Geräteherstellung, welche meist im Ausland stattfindet. Somit war es möglich, die Auswirkungen der Schweizer Infrastruktur sowohl in den Produktionsländern während der Herstellung als auch in der Schweiz während der Nutzung und der Entsorgung abzuschätzen.

2.3 Schweizer Netzwerk

Der Aufbau des Schweizer Netzwerks zur Bereitstellung der Dienstleistung ‚Internet‘ ist sehr komplex. Um eine Abschätzung der Materialflüsse und deren Umweltauswirkungen handhabbar zu machen, wurde ein stark vereinfachtes Model entwickelt, welches mit möglichst wenigen Elementen das Wesentliche dieser Untersuchung richtig wiedergibt.

Zuerst wurde die Infrastruktur in zwei Teilbereiche aufgeteilt. Die Bereichsgrenze verläuft grob gesagt zwischen den Nutzern und den Anbietern (Providern) bzw. zwischen ihren dazu nötigen Gerätelparks des Internets. Die Nutzer wurden in 5 Kategorien, die Provider in 4 Kategorien zusammengefasst.

Charakterisierend im Model für den ersten Teilbereich, den Gerätelpark der Internetnutzer, ist 1) die Art der verwendeten Geräte und ihre wesentlichen spezifischen Eigenschaften wie Gewicht und Materialzusammensetzung, Energiekonsum sowie Lebensdauer, 2) die Anzahl Geräte in den unterschiedenen Nutzereinheiten (Haushalt bzw. Unternehmen) sowie 3) die Zeit, während der die Geräte mit dem Internet verbunden sind.

Der zweite Teilbereich umfasst die verschiedenen Zugangstechnologien mit ihrer zugehörigen Infrastruktur, welche von den Internet Service Provider (ISP) zur Bereitstellung dieser Dienstleistung verwendet werden. Charakterisierend im Model für diesen zweiten Teilbereich sind 1) wiederum die spezifischen Geräte 2) die Anzahl Geräte der verschiedenen betrachteten Zugangstechnologien sowie 3) die Zeit, während der die Geräte für die Bereitstellung des Internets genutzt werden.

Da die Infrastruktur des Internets aus sehr vielen verschiedenen Geräten besteht, wurden diese zur Vereinfachung in eine begrenzte Anzahl von Gerätefamilien zusammengenommen. (siehe Abbildung 2)

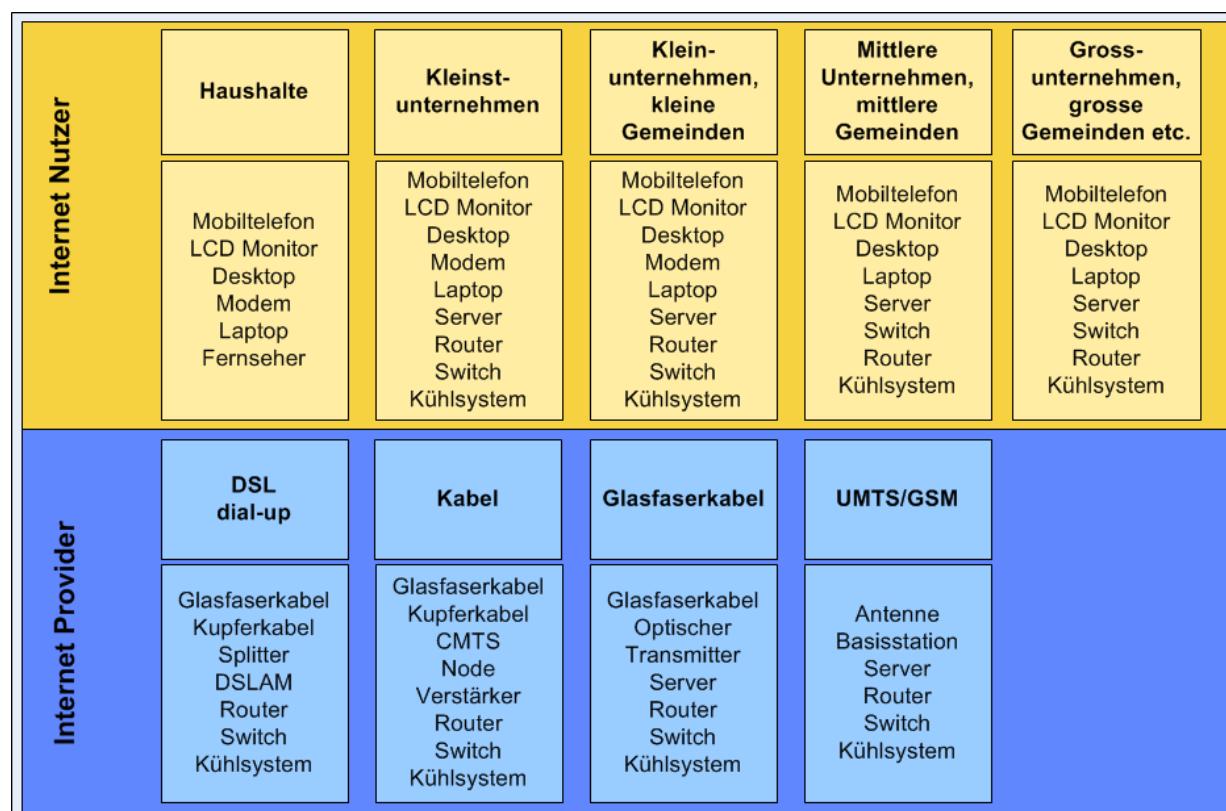


Abbildung 2: In dieser Studie verwendete schematische Struktur des Aufbaus des Schweizer Netzwerkes.

2.4 Datenimport und -export

Für die Abschätzung der Datenflüsse, welche in die Schweiz importiert und von der Schweiz ins Ausland exportiert werden, wurden die verschiedenen Verbindungen von inländischen und ausländischen ISPs und ihre Knotenpunkte analysiert und quantifiziert. Dazu wurden drei Teilbereiche separat betrachtet: die Bereitstellung des Inhalts, das Netzwerk der ISPs sowie der Internetzugang des Nutzers.

Weiter wurden auch die verschiedenen Inhalte des Datenverkehrs berücksichtigt, da diese von verschiedenen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 3 zeigt die schematische Struktur des Inventars für den Datenimport und -export. Das Inventar wird charakterisiert über 1) die Art der verwendeten Geräte und ihre wesentlichen spezifischen Eigenschaften wie Gewicht und Materialzusammensetzung, Energiekonsum sowie Lebensdauer, und 2) die Anzahl Geräte, welche für den jeweiligen Datenfluss der verschiedenen Inhalte benötigt werden.

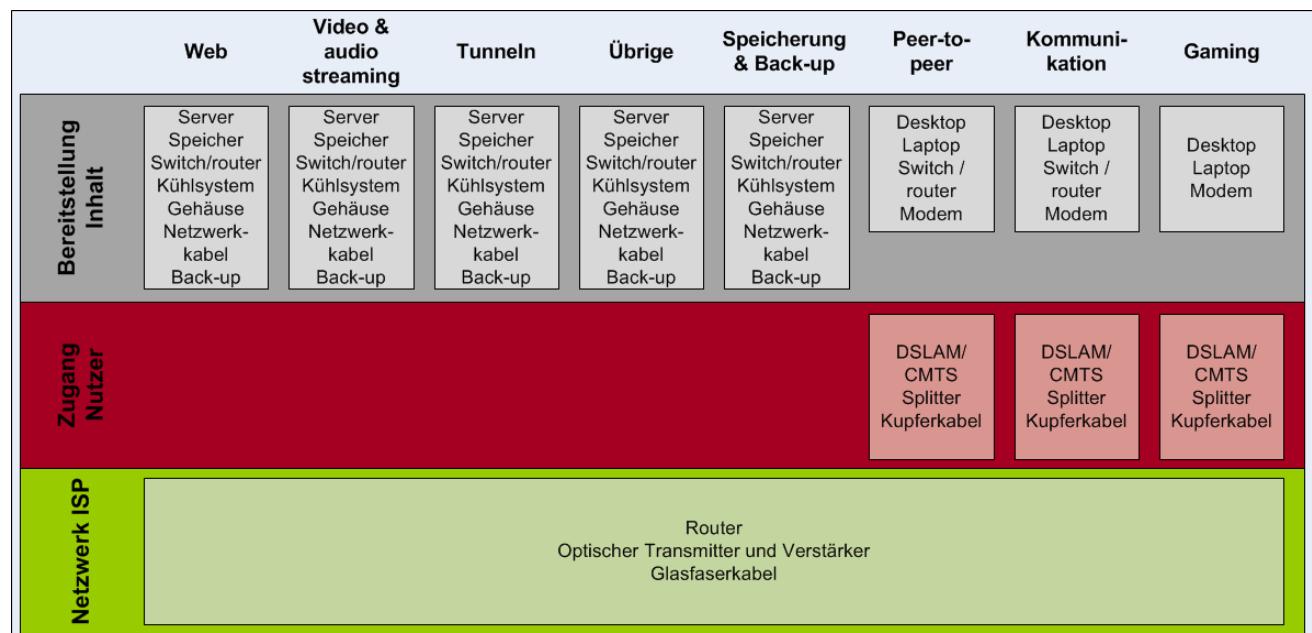


Abbildung 3: In dieser Studie verwendete schematische Struktur des Aufbaus des Datenimports und Exports.

3 Methodik

3.1 Datenbeschaffung

Als Grundlage für die Datenbeschaffung dienten Interviews mit verschiedenen wichtigen bzw. repräsentativen Akteuren. Um Daten über die Infrastruktur der Nutzer zu erheben, wurden IT-Verantwortliche einer Bank, eines grossen Detailhandelsunternehmens, einer Gemeindeverwaltung, einer Hochschule und eines Kleinunternehmens interviewt. Um mehr über die Zugangstechnologien zu erfahren, wurde mit den ISP Swisscom, Cablecom, und Switch zusammengearbeitet.

Eine weitere wichtige Grundlage waren Daten vom Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Kommunikation (BFS 2010), (BAKOM 2010). Die Materialzusammensetzung der Infrastruktur konnte teilweise aus der vorgängigen Studie über elektrische und elektronische Geräte (Müller & Widmer 2008) übernommen werden. Zusätzlich wurde für spezifische Fragenstellungen Fachliteratur sowie Informationen aus dem Internet hinzugezogen. Ein detailliertes Literaturverzeichnis ist in Kapitel 0 zu finden.

Statistiken über Datenimport und -export wurden von den ISP Swisscom, Sunrise und Switch zur Verfügung gestellt. Die Aufteilung der Datenflüsse in verschiedene Anwendungen wurde mit Angaben aus der Literatur (Sandvine 2010) vorgenommen. Daten über die Anzahl und Art der Geräte, welche pro Anwendung für die Bereitstellung der Inhalte benötigt werden, wurden durch Interviews mit verschiedenen Inhaltenanbietern und ISPs sowie Literaturrecherche (Hintermann et al. 2010) erhoben.

3.2 Schweizer Netzwerk

3.2.1 Nutzerkategorien

Im Teilbereich der Internetnutzer wird zwischen privater und geschäftlicher Internetnutzung unterschieden. Privatpersonen bzw. Haushalte wurden in der Kategorie ‚Haushalte‘ erfasst. Die Schweizer Unternehmen wurden gemäss ihrer Anzahl Mitarbeiter in Kleinstunternehmen (1 bis 9 Mitarbeiter), Kleinunternehmen (10 bis 49 Mitarbeiter), mittelgrosse Unternehmen (50 bis 250) und Grossunternehmen (> 250 Mitarbeiter) eingeteilt (BFS 2009). Aufgrund der Resultate der Interviews, wurden in die Unternehmenskategorien auch Universitäten, Forschungsinstitute, öffentliche Verwaltungen, Schulen, Spitäler etc. mit einbezogen, da sie sich in Bezug auf die verwendeten Geräte kaum unterscheiden.

Eine Unterscheidung der verschiedenen Sektoren wurde nicht gemacht. Im Landwirtschaftssektor wurde angenommen, dass ein Betrieb wie ein Haushalt modelliert werden kann. Weiter wird vermutet, dass im Industrie – wie auch im Dienstleistungssektor die Anzahl Geräte, welche zur Nutzung des Internets verwendet werden, vor allem von der Anzahl Mitarbeiter und nicht vom Sektor abhängt. Eine Abbildung aller Nutzerkategorien ist in Abbildung 4 zu sehen.

Für jede Kategorie wurde die Anzahl an Geräten aus jeder Gerätetypenfamilie bestimmt, welche pro Haushalt oder pro Mitarbeiter für die Nutzung des Internets verwendet werden. Weitere wichtige Parameter sind: Gewicht, Materialzusammensetzung, Lebensdauer, Energieverbrauch und Betriebsweise. Eine Zusammenstellung aller berücksichtigten Geräte ist in Kapitel 3.2.3 zu finden. Im Anhang 7.1 sind alle verwendeten Parameter aufgelistet.

Die Betriebsweise beinhaltet die Anzahl Stunden in denen ein Gerät im aktiven Gebrauch, im Standby-Modus oder ausgeschaltet ist und unterscheidet sich je nach privater oder geschäftlicher Nutzung. Für den Gebrauch am Arbeitsplatz werden auch die Wochenenden und Ferien berücksichtigt. In der Schweiz gibt es im Durchschnitt in einem Jahr 48 Arbeitswochen und 4 Wochen Ferien. In Tabelle 1 ist ein Beispiel der Betriebsweise eines Gerätes am Arbeitsplatz zu sehen.

Tabelle 1: Energiekonsum eines Gerätes am Arbeitsplatz.

Betriebsweise	Woche [h/Tag]	Wochenende [h/Tag]	Ferien [h/Tag]
Eingeschaltet	6	0	0
Standby	2	0	0
Ausgeschaltet	16	24	24

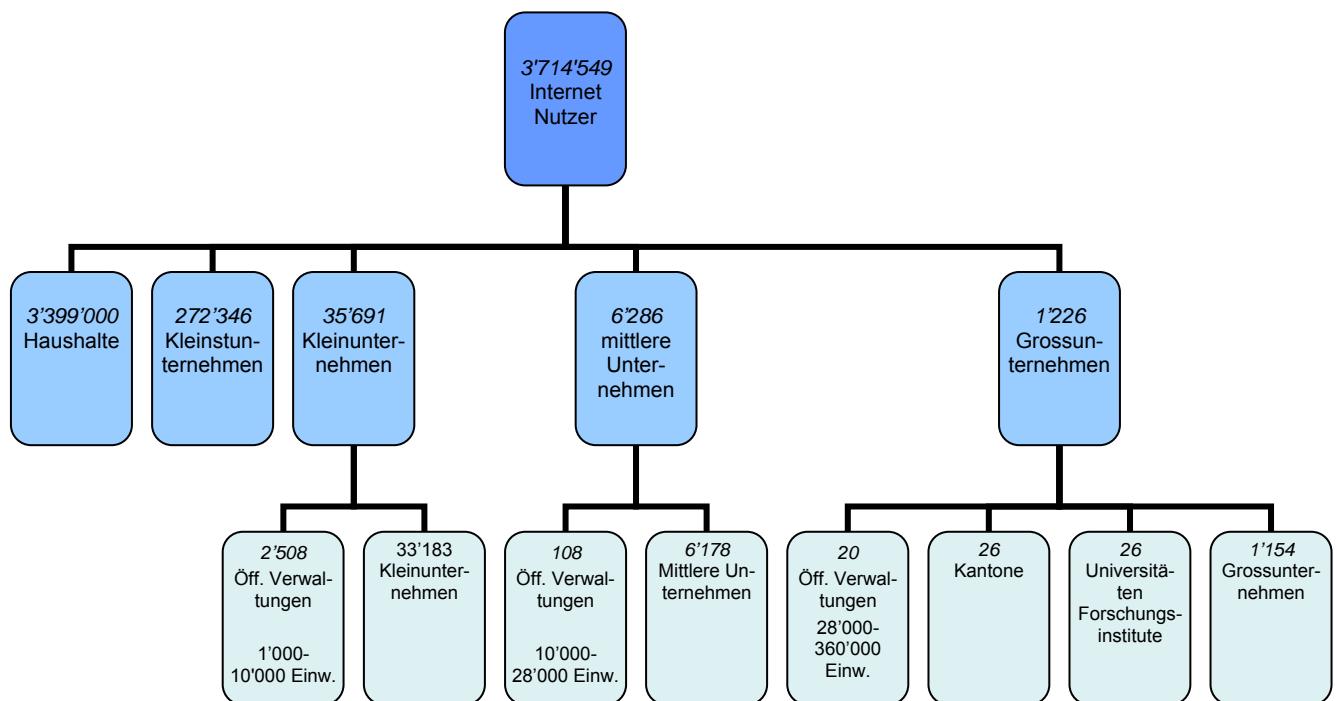


Abbildung 4: Kategorien der Internetnutzer mit der jeweiligen Anzahl Nutzer. Jede Kategorie ist aus einer oder mehreren Nutzergruppen aufgebaut.

3.2.2 Providerkategorien

Mit Daten des Bundesamtes für Statistik (BFS 2010) konnten die wichtigsten, in der Schweiz genutzten Zugangstechnologien bestimmt werden. Ein Zugang zum Internet kann über Telefonkabel, Koaxialkabel (Fernsehkabel), Glasfaserkabel, Funkverbindungen oder über die Energieversorgung (Stromkabel) erfolgen. In der Schweiz werden hauptsächlich die ersten vier Technologien verwendet.

Telefonkabel

Der Zugang über Telefonkabel wird von zwei Technologien unterstützt: „dial up“ und „Digital Subscriber Line“ (DSL). Beim „dial up“ wählt das Modem des Nutzers die Nummer eines ISP und verbindet sich so über das Telefonnetz mit dem Internet. Da gleichzeitiges Telefonieren und Surfen nicht möglich und die Bandbreite stark limitiert ist, hat die Verwendung dieser Technologie in den vergangenen Jahren stark abgenommen.

DSL ist die in der Schweiz am meisten verbreitete Technologie. Es gibt ca. fünfzehn verschiedene DSL im Zusammenhang mit verschiedenen Transfermöglichkeiten und Kapazitäten, die bekannteste Anwendung in der Schweiz ist jedoch die asymmetrische DSL (ADSL). Die digitale Datenübertragung erlaubt nun das gleichzeitige Telefonieren und Surfen (Internet Access Guide 2009).

Fernsehkabel

Der Internetzugang via Fernsehkabel ist die zweit meist genutzte Technologie in der Schweiz. Dies ist eine Breitbandtechnologie, welche die bereits vorhandene Infrastruktur des Kabelfernsehens nutzt. Fernsehen und Surfen gleichzeitig ist möglich, da das Signal verschiedene Kanäle (Frequenzbänder) des Kabels nutzt (Internet Access Guide 2009).

Glasfaserkabel

Der Internetzugang direkt über Glasfaserkabel erlaubt eine sehr hohe Bandbreite. Diese Art von Zugang wird erst hauptsächlich von Grossunternehmen, Universitäten und Forschungsinstituten verwendet, da die Installation von neuen Glasfaserkabeln bis zum Anschluss des einzelnen Nutzers teuer ist. Zunehmend erfolgt jedoch der Ausbau auch für Privathaushalte und KMUs welcher aber in dieser Studie nicht berücksichtigt ist. (SWITCH 2009).

Mobilfunk

Die meisten neueren Mobiltelefone haben die Möglichkeit zur Verbindung mit dem Internet. Zwei Technologien kommen heute zur Anwendung: „Universal Mobile Telecommunications System“ (UMTS) und „Global System for Mobile communication“ (GSM). Das Mobilfunknetz benötigt ein dichtes Netz von Antennen. Da die Infrastruktur für beide Technologien sehr ähnlich ist, wurde der Mobilfunk in einer Kategorie zusammengefasst (Internet Access Guide 2009).

In Abbildung 5 ist die Entwicklung der Anzahl Nutzer der verschiedenen Zugangstechnologien in der Schweiz in den letzten neun Jahren zu sehen.

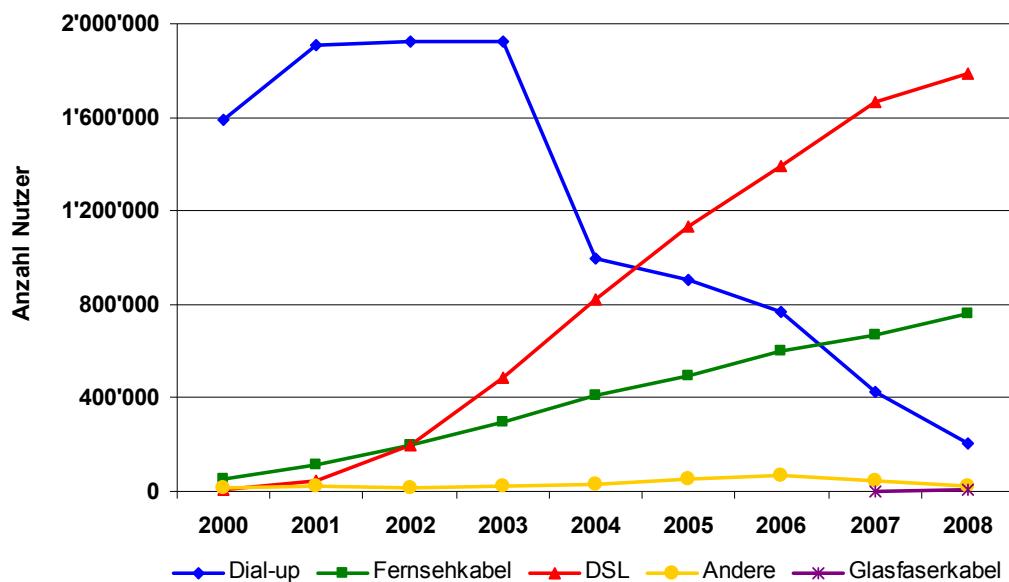


Abbildung 5: Entwicklung der Anzahl Nutzer der verschiedenen Zugangstechnologien in der Schweiz. Quelle: (BFS 2010).

Die Internet Provider wurden gemäss den verwendeten Zugangstechnologien in fünf Providerkategorien aufgeteilt. Abbildung 6 zeigt die Kategorien der Internet Provider, wie sie in der Studie berücksichtigt worden sind.

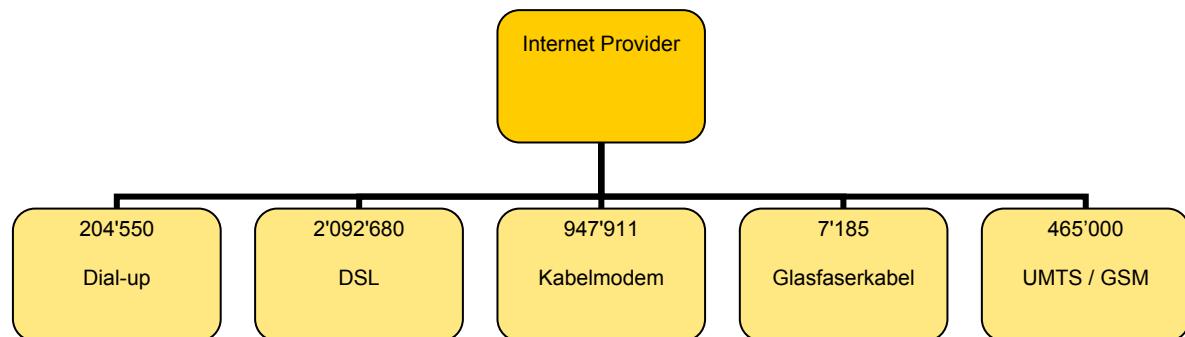


Abbildung 6: Kategorien der Zugangstechnologien mit der jeweiligen Anzahl Teilnehmer (BFS 2010)

Für jede Kategorie wurde die Infrastruktur bestimmt, welche von den ISP für die Bereitstellung des Internet-Zugangs verwendet werden. Ähnliche Geräte wurden vereint und als Standard-Geräte abgebildet. Die relevanten Daten für die Infrastruktur sind: Anzahl Geräte pro Kategorie, Gewicht, Materialzusammensetzung, Lebensdauer und Energieverbrauch. Da der Zugang zum Internet während 24 Stunden gewährleistet ist, wird angenommen, dass diese Geräte immer angeschaltet bleiben. Eine Zusammenstellung aller berücksichtigten Geräte ist in Kapitel 3.2.3 zu finden. Im Anhang 7.1 sind alle verwendeten Parameter aufgelistet.

3.2.3 Gerätelpark Internet Schweiz

Im Folgenden werden alle in dieser Studie verwendeten Geräte kurz erläutert. Eine detaillierte Zusammenstellung aller verwendeten Parameter ist im Anhang in Tabelle 9 zu finden.

- Laptop: Laptops sind mobile Computer (PC). In der Schweiz besassen im Jahr 2009 rund 49% aller Haushalte und 80% aller Unternehmen mindestens einen Laptop (BFS 2010).
- Desktop: Ein Desktop Computer ist fix am Arbeitsplatz installiert und verfügt über mehrere Einheiten (z.B. einen Rechner und einen Monitor). In der Schweiz war im Jahr 2009 in 52% aller Haushalte und 100% aller Unternehmen mindestens ein Desktop PC vorhanden (BFS 2010).
- Fernseher: Fernsehgeräte sind mit Hilfe eines speziellen Dekodiergerätes in der Lage, Fernsehkanäle auch übers Internet zu empfangen. Dieser Dienst wird in der Schweiz noch sehr wenig genutzt.
- Modem: Ein Modem wandelt analoge in digitale Signale um und ermöglicht so den Internetzugang über die herkömmliche Telefonleitung. Es gibt viele verschiedene Arten von Modems (Internet Access Guide 2009).
- Mobiltelefon: Die meisten neuen Mobiltelefone verfügen über die Möglichkeit, sich mit dem Internet zu verbinden. In 2009 waren rund 9 Mio. Mobilteilnehmer in der Schweiz registriert (BFS 2010).
- Switch/Router: Router und Switches verbinden mehrere netzwerkfähige Geräte miteinander und diese Gruppe über Kabel oder Funk mit dem Internet. Router und Switches haben verschiedene Größen und werden sowohl von den Haushalten und kleinen Unternehmen als auch von Grossunternehmen und ISP verwendet (CISCO 2009; Internet Access Guide 2009).
- Server: Server sind eine Art Computer, welche das Netzwerk einer Organisation (Unternehmen, Administration etc.) mit Dienstleistungen oder Anwendungen unterstützen. Server haben spezifische Aufgaben, je nachdem ob es sich um einen Web-, Druck-, Datei-, Datenbank- oder Anwendungs-server handelt (Datacenter - Wikipedia 2009).
- Grosser Server: In Netzwerken müssen sehr viele Informationen organisiert und teilweise auch gespeichert werden, wofür grosse Server mit einer hohen Kapazität aber auch mit einem hohen Energieverbrauch verwendet werden (Datacenter - Wikipedia 2009).
- Kühl-system: In Rechenzentren, wo viele Server sowie auch Router und Switches in Betrieb sind, fällt viel Abwärme an.. Um die Temperatur und die Feuchtigkeit (beides wichtige Parameter um das Funktionieren der Geräte sicherzustellen) zu kontrollieren, werden deshalb Kühlsysteme eingesetzt (Datacenter - Wikipedia 2009).
Rechenzentren verfügen auch über eine Notstromversorgung, welche durch Batterien (Unterbrechungsfreie Strom Versorgung USV [eng: uninterruptible power supplies ,UPS]) oder Dieselgeneratoren sicher gestellt wird. Diese Geräte werden in dieser Studie nicht berücksichtigt (Datacenter - Wikipedia 2009).
- Splitter: Ein Splitter separiert Signale: die Telefonie- und Internetsignale für den DSL Zugang oder die Fernseh- und Internetsignale für den Zugang übers Fernsehkabel. Dadurch ist es möglich, gleichzeitig zu telefonieren bzw. fern zu sehen und das Internet zu benützen (Internet Access Guide 2009).
- DSLAM/ CMTS: Die Digital Subscriber Line Access Multiplexers (DSLAM) für den DSL Zugang bzw. das Cable Modem Termination System (CMTS) für den Zugang übers Fernsehkabel sind Schlüsselemente für die beiden Technologien. Sie dienen als Knotenpunkte zwischen den Anschlüssen der Nutzer und dem regionalen Netzwerk der ISP (CMTS - Wikipedia 2009; DSLAM - Wikipedia 2009; Internet Access Guide 2009; Agilent Technologies 2006).
- Node: Ein Glasfaser-Knoten verfügt über einen optischen Breitband-Empfänger, das der nachgeschaltete optisch modulierten Signal aus der Kopfstelle / Hub in ein elektrische Signal, welches dann zu den Nutzern gelangt, umwandelt (Hybrid fibre - Wikipedia 2011)

Verstärker: Als Leitungsverstärker, auch Leitungstreiber (von engl. line driver) oder Extender, bezeichnet man eine elektronische Verstärkerschaltung zur Verbesserung der Qualität bei der Übertragung von elektrischen Signalen. Der Leitungsverstärker hebt den Pegel eines Nutzsignals vor der Einspeisung in eine Übertragungsleitung an und gleicht so Dämpfungsverluste aus und mindert Störeinflüsse, da durch den höheren Signalpegel der Aufholverstärker am anderen Ende der Leitung mit geringerem Verstärkungsfaktor arbeiten kann. Gleichzeitig wird so die mögliche Reichweite der Übertragung erhöht (Leistungsverstärker - Wikipedia 2011)

- Kupferkabel:** Kupferkabel übermitteln das Signal vom Verteilungspunkt (z.B. DSLAM/CMTS) bis zu den Anschlüssen der Nutzer. Da Kupferkabel eine viel kleinere Übertragungskapazität als Glasfaserkabel haben, werden sie in den nächsten Jahren nach und nach durch diese ersetzt.
- Glasfaserkabel:** Glasfaserkabel haben eine hohe Übertragungskapazität über lange Distanzen. Es gibt sehr verschiedene Kabeldurchmesser. Da die Glasfaserkabel v.a. in den regionalen sowie nationalen Netzwerken verwendet werden, wurde ein Kabel mit grossem Durchmesser gewählt.
- Optischer Transmitter:** Ca. alle 80 km muss das optische Signal, welches von den Glasfaserkabeln übertragen wird, durch optische Transmitter aufbereitet und verstärkt werden (Sorrento 2009).
- Antenne:** Das Mobilfunknetzwerk benötigt ein dichtes Netz von Antennen, welche einen grossen Teil des Landes abdecken und so den Internetzugang über Funk ermöglichen (BAKOM 2009; Internet Access Guide 2009).
- Basisstation:** Zu jeder Antenne gehört eine Basisstation, welche den Input und Output des Signals regelt und die Energie für den Betrieb der Antenne bereitstellt (BAKOM 2009; Internet Access Guide 2009).

Die gesamte Infrastruktur für die Unterbringung oder Befestigung der Geräte wie z.B. Gebäude, Räume, Gehäuse, Fundamente etc. werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

3.2.4 Allokation:

Viele der in der Studie berücksichtigten Geräte werden nicht nur für die Nutzung des Internets gebraucht. So kann zum Beispiel ein Computer auch zum Lesen oder Schreiben von Dokumenten, zum Musikhören, für Berechnungen etc. gebraucht werden. Ebenso werden zum Beispiel die Kupferkabel sowohl für die Verbindung zum Internet als auch zur Festnetztelefonie gebraucht. Somit können nicht der gesamte Material- und Energiekonsum sowie die Umweltauswirkungen eines solchen Gerätes oder Kabels der Dienstleistung Internet angerechnet werden. Dieser Tatsache wird durch zwei verschiedene Allokationen Rechnung getragen.

Die erste Allokation berücksichtigt die Eignung einer Gerätefamilie, sich mit dem Internet zu verbinden. So wird zum Beispiel angenommen, dass sich alle Computer mit dem Internet verbinden können, jedoch nur 90% aller Mobiltelefone über die nötige Technologie verfügen. Die zweite Allokation berücksichtigt die Zeit, welche ein Nutzer mit einem bestimmten Gerät im Internet verbringt, oder während welcher ein Gerät eines Providers für das Bereitstellen des Internets verwendet wird, unabhängig von der verwendeten Bandbreite. Die Annahme ist z.B., dass während ca. 80% der Zeit, in welcher ein Computer eingeschaltet ist, auch das Internet benutzt wird. Weiter wird für das Mobilfunknetz angenommen, dass dieses im Jahr 2009 nur während knapp 8% der Zeit für das Internet und die übrige Zeit für die Bereitstellung der Mobiltelefonie gebraucht wird.

Diese Betrachtungen wurden für jedes Gerät der Nutzerkategorien und Providerkategorien gemacht. In Tabelle 2 ist ein Beispiel für die Allokation der Mobiltelefone aufgeführt.

Tabelle 3 zeigt die Allokation für Switches/Router

Tabelle 2: Beispiel der Allokation eines Laptops auf die Dienstleistung Internet.

Mobiltelefon	Eignung	Nutzungszeit	Total
Haushalte	0.9	0.05	0.045
Kleinunternehmen	0.9	0.05	0.045
Grossunternehmen	0.9	0.1	0.09

Tabelle 3: Beispiel der Allokation eines mittelgrossen Switch/Router auf die Dienstleistung Internet.

Switch/Router	Eignung	Nutzungszeit	Total
DSL	1.0	1.0	1.0
Kabel	1.0	1.0	1.0
Glasfaserkabel	1.0	1.0	1.0
UMTS/GSM	1.0	0.075	0.075

Eine Zusammenstellung aller Allokationsfaktoren ist im Anhang in Tabelle 10 und Tabelle 11 zu finden. Die Allokationsfaktoren basieren auf Daten aus den Interviews sowie eigenen Abschätzungen und bergen teilweise grosse Unsicherheiten.

3.2.5 Mathematischer Modellaufbau

Die Internetnutzer und -provider mit ihren Gerätelparks und den zugehörigen Allokationsfaktoren wurden in einem einfachen Modell zusammengefasst, mit welchem ein Inventar an Geräten erstellt wurde. Das Inventar bildet die Grundlage für die Massenflussanalyse (MFA) sowie die Lebenszyklusanalyse (LCA).

Die Anzahl Geräte G_{ij} einer Gerätefamilie j basiert auf folgender Gleichung:

$$G_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

Mit:

- U_i Anzahl Unternehmen/Haushalte pro Kategorie i (für Provider: $U_i = 1$)
- B_i Durchschnittliche Anzahl Mitarbeiter der Nutzerkategorie i (für Haushalte: Durchschnittliche Anzahl Personen pro Haushalt, für Provider: $B_i = 1$)
- α_j Interneteignung der Gerätefamilie j (1 = alle Geräte können verbunden werden, 0 = keine Geräte können verbunden werden)
- β_{ij} Internetgebrauch der Gerätefamilie j durch die Nutzerkategorie i (in % der mittleren Betriebszeit)
- γ_{ij} Nutzungsdichte der Gerätefamilie j pro Nutzerkategorie i (1 = jedes Unternehmen der Nutzerkategorie i braucht dieses Gerät, 0 = kein Unternehmen der Nutzerkategorie i braucht dieses Gerät)
- ρ_{ij} Anzahl der Geräte einer Gerätefamilie j pro Mitarbeiter/Personen im Haushalt (1 = ein Gerät pro Mitarbeiter, 2 = 2 Geräte pro Mitarbeiter, 0 = kein Gerät pro Mitarbeiter, für Provider: $\rho_{ij} =$ effektive Anzahl Geräte pro Provider)

Die Gesamtmasse des Inventars basiert auf folgender Gleichung:

$$W_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \cdot G_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \cdot U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

Mit: M_{ij} Durchschnittsmasse der Gerätefamilie j

Die übrigen mathematischen Gleichungen sind unter 7.3 im Anhang zu finden.

3.3 Datenimport und -export

Das Ziel der erweiterten Systemgrenzen ist auf der einen Seite die Berechnung der Massenflüsse sowie der Umweltauswirkungen der ausländischen Infrastruktur, welchen von Schweizer Nutzern mitbenutzt wird, auf der anderen Seite wird auch die Schweizer Infrastruktur, welche von ausländischen Nutzern benötigt wird, quantifiziert.

Diese Berechnungen basieren auf den folgenden methodischen Schritten:

1. Abschätzen des Datenimports, -exports sowie des Datenverkehrs innerhalb der Schweiz
2. Aufteilen des Datenverkehrs in verschiedenen Anwendungen (Web, Video, Speicherung, peer-to-peer etc.)
3. Bestimmen der Geräte, welche für die Bereitstellung, den Datentransport und den Empfang der Inhalte der verschiedenen Anwendungen benötigt werden, und bestimmen des Anteils der Nutzung der benötigten Geräte über die Grösse der Datenflüsse.
4. Berechnen der Massenflüsse und Umweltauswirkungen der ausländischen und Schweizer Infrastruktur, welche von den Schweizern, bzw. dem Ausland mitbenutzt wird.

3.3.1 Import, Export und Datenverkehr innerhalb der Schweiz

Für die Abschätzung des Imports, Exports und des Datenverkehrs innerhalb der Schweiz wurden wöchentlichen Statistiken der ISPs Swisscom, Sunrise und Switch zu durchschnittlichen und maximalen Datenflüssen verwendet. Aus diesen Daten konnten der totale Datenimport, -export und der innere Datenverkehr extrapoliert werden (Girardin 2011).

3.3.2 Aufteilung des Datenverkehrs in Anwendungen

Wie bereits erwähnt, benötigen verschiedene Internet-Anwendungen verschiedene Geräte, um die jeweiligen Inhalte bereit zu stellen. Deshalb wurde der gesamte Datenverkehr in verschiedene Anwendungen aufgeteilt. Da keine Schweizer Daten zur Verfügung standen, wurden diese aus einer europäischen Studie übernommen (Sandvine 2010).

Folgende Anwendungen wurden berücksichtigt:

Web

Das 'World Wide Web' ist die meistgebrauchte Anwendung des Internets und verursacht auch den grössten Datenverkehr. Der Verkehr ist sehr heterogen, da auf Webseiten verschiedene Arten von Anwendungen und Informationen aufgerufen werden können. Video und audio streaming, Datenspeicherung und Back-up Dienstleistungen sowie sicherer Datenverkehr, welche auch Teil des Web sind, werden separat berücksichtigt.

Video and audio streaming

Mit der starken Zunahme der Kapazitäten der Internetverbindungen hat video und audio streaming stark an Bedeutung zugenommen und ist für einen grossen Teil des Datenverkehrs verantwortlich. Oft werden jedoch sehr beliebte Inhalte in sogenannten 'Content Delivery Networks' (CDNs) lokal gespeichert und dann von innerhalb der Schweiz den Nutzern zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht es, den internationalen Datenverkehr etwas zu verringern.

Tunneln

Tunneln ist ein generischer Begriff welche verschiedene Protokolle wie TLS (Transport Layer Security), SSH (Secure Shell) oder L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol). Beinhaltet. Diese Protokolle werden normalerweise für sichere Datenverbindungen, sicherer Mailverkehr oder virtuelle private Netzwerke (virtual private networks, VPN) verwendet. VPN benutzt man zum Beispiel um von zuhause aus auf den Server seiner Firma zuzugreifen.

Speicherungs- und Back-up Dienstleistungen

Diese Dienstleistungen erlauben es den Nutzern, ihre Daten im Internet anstatt auf ihrer eigenen Festplatte zu speichern, und auf diese dann von jedem mit dem Internet verbundenen Computer wieder zuzugreifen.

Peer-to-peer file sharing

In einem reinen Peer-to-Peer-Netz sind alle Computer gleichberechtigt und können sowohl Dienste in Anspruch nehmen, als auch zur Verfügung stellen (Peer-to-Peer – Wikipedia 2011). BitTorrent und eDonkey sind die beliebtesten Protokolle für File-Sharing. Benutzer müssen zunächst eine Software installieren um Dateien hoch- und runter zu laden. Für diese Anwendung sind keine Server notwendig, da die beteiligten Computer gleichzeitig Nutzer und Provider sind.

Kommunikation

Kommunikation beinhaltet Anwendungen und Protokolle, welche Instant Messaging sowie Voice- und Video Echtzeit-Kommunikation zwischen zwei oder mehr Benutzern und ihren Computern über das IP-Protokoll ermöglichen. Skype und MSN Messenger sind die beliebtesten Kommunikations-Anwendungen in Europa.

Gaming

Dieser Datenverkehr wird durch Online-Multiplayer-Spiele generiert. Das Spiel selbst ist auf dem Rechner eines Spielers installiert. Allerdings sendet er Informationen an andere Akteure wie die Position und die Bewegung des virtuellen Spielers. Typischerweise ist der Spieler, der ein neues Spiel startet, der Server für die anderen Spieler.

Übriger Datenverkehr

Aufgrund der Vielzahl von Anwendungen und Protokollen welche im Internet zur Verfügung stehen, ist es schwierig, Informationen über alle Kategorien zu berücksichtigen. Verbleibender Verkehr wurde somit in dieser letzten Kategorie eingestuft. Sie umfasst Software-Updates, E-Mail-, Bulk-Transfer (File Transfer Protocol, iTunes, etc.), News-Groups, etc.

Internet Protocol Television (IPTV)

IPTV ist auch Teil des Internets, da es über das IP-Protokoll geliefert wird. Der Verkehr wurde durch Extrapolation der Daten von Swisscom TV für die ganze Schweiz abgeschätzt. IPTV wird ausschließlich innerhalb der Schweiz geliefert, und ist somit für den grenzüberschreitenden Verkehr nicht relevant. Die Dienstleistung ist jedoch einen erheblichen Anteil des lokalen Datenverkehrs aus.

3.3.3 Geräte pro Anwendung

Für jede Anwendung wurde die Infrastruktur bestimmt, welche für die Bereitstellung des Inhalts, den Transfer über das Netzwerk der ISPs und Empfang der Inhalte beim Nutzer benötigt wird.

Es wird angenommen, dass die Inhalte der Anwendungen Web, Video und Audio streaming, Tunneln sowie Speicherungs- und Back-up Dienstleistungen von Rechenzentren zur Verfügung gestellt werden und von da über das Netzwerk der ISP zu den Nutzern transferiert werden. Für die Anwendungen Peer-to-peer, Kommunikation und Gaming werden die Endgeräte der Nutzer sowie ihren Zugang zum Netzwerk der ISP benötigt, um Inhalte zu transferieren (siehe Abbildung 3).

Ähnliche Geräte wurden wiederum vereint und als Standard-Geräte abgebildet. Die relevanten Daten für die Infrastruktur sind: Anzahl Geräte, welche für die Bereitstellung eines bestimmten Datenflusses benötigt werden, Gewicht, Materialzusammensetzung, Lebensdauer und Energieverbrauch. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, besteht die Infrastruktur für den Datenimport und -export oft aus den gleichen Geräten wie das Schweizer Netzwerk. Diese Geräte sind in Kapitel 3.2.3 und im Anhang 7.1 detailliert beschrieben.

Folgende Geräte kommen neu dazu:

Netzwerk Speicher (NAS):	Die Speicherung von Daten auf einem separaten Gerät anstatt auf Servern wird immer populärer. Dieses Gerät besteht hauptsächlich aus Festplatten, verfügt aber auch über die meisten Komponenten eines Servers oder Computers. Es ist an das Netzwerk angeschlossen und ermöglicht Server oder Computer den Zugriff auf die benötigten Dateien.
Back-up Speicher:	Um die Sicherheit der Daten zu gewährleisten, ist es notwendig, regelmäßige Back-ups zu machen. Es ist üblich, Back-ups auf einem tragbaren Speichermedium zu machen und dieses dann an einen sicheren Ort zu verschieben. Als gängigste Speichermedien werden Festplatten verwendet.
Gehäuse	In Rechenzentren werden metallisches Gehäuse für die Montage mehrerer Gerätemodule wie Server, NAS, Switches, usw. verwendet. Diese bestehen aus Stahl oder Aluminium und sind über zwei Meter hoch.
Netzwerk-Kabel	Netzwerk-Kabel werden verwendet, um Geräte in den Rechenzentren zu verbinden. Am meisten werden Glasfaserkabel verwendet, welche eine sternförmige Netzwerktopologie benötigen. Dabei werden alle Rechner getrennt mit einer zentralen Einrichtung wie z.B. einem Switch verbunden, was oft zu erheblichen Kabellängen führt.

Eine detaillierte Zusammenstellung aller verwendeten Geräte und ihrer Parameter ist im Anhang in Tabelle 9 zu finden.

3.4 Massen- und Stoffflussanalyse

Zur Quantifizierung der Massen- und Stoffflussströme der Dienstleistung 'Internet Schweiz' wird, unter Berücksichtigung der vorhandenen Daten, das in der Studie über Materialflüsse elektrischer und elektronischer Geräte in der Schweiz (Müller & Widmer 2008) entwickelte generische System übernommen. Das generische System umfasst den Lebenszyklus innerhalb der Systemgrenze Schweiz. Die Produktion, die hauptsächlich im Ausland stattfindet, wird für die Massen- und Stoffflussanalyse nicht berücksichtigt. Es werden möglichst aktuelle Daten verwendet, um den aktuellen Zustand des Systems abzubilden.

Sind die Massenflüsse bekannt, können damit, zusammen mit Zusammensetzung und Transferkoeffizienten, die jeweiligen Stoffflüsse quantifiziert und grafisch dargestellt werden. Die grafische Darstellung mittels Sankey Diagrammen hilft, die Übersicht in der grossen Datenmenge zu bewahren sowie Ungenauigkeiten, Fehler, falsche Annahmen etc. zu erkennen und zu korrigieren. Verwendet wird dazu das Programm eisankey, welches ein Verlinken der Flüsse im Diagramm mit Excel-Daten erlaubt.

Das System für die Dienstleistung 'Internet Schweiz' wird einheitlich gemäss Abbildung 7 mit sechs Prozessen und sechs Flüssen beschrieben. Einzig im Prozess Konsum kann sich ein Lager bilden. Lager, welche durch die Deponierung von Materialien und Stoffen oder von Schlacken nach der thermischen Verwertung entstehen, werden nicht berücksichtigt. Als Entsorgungswege wurden die Aufbereitung sowie der Export gebrauchter Geräte berücksichtigt. Viele Firmen sowie auch die ISP verfügen über direkte Verträge mit Entsorgungsunternehmen (Business-to-Business Lösungen) welche die Entsorgung ihrer alten Geräte übernehmen, oder verkaufen bzw. verschenken ihre Geräte an die Mitarbeiter. Auch die meisten Schweizer Haushalte entsorgen ihre Geräte in der Aufbereitung. Es kommt auch vor, dass gebrauchte, noch funktionstüchtige Geräte exportiert werden.

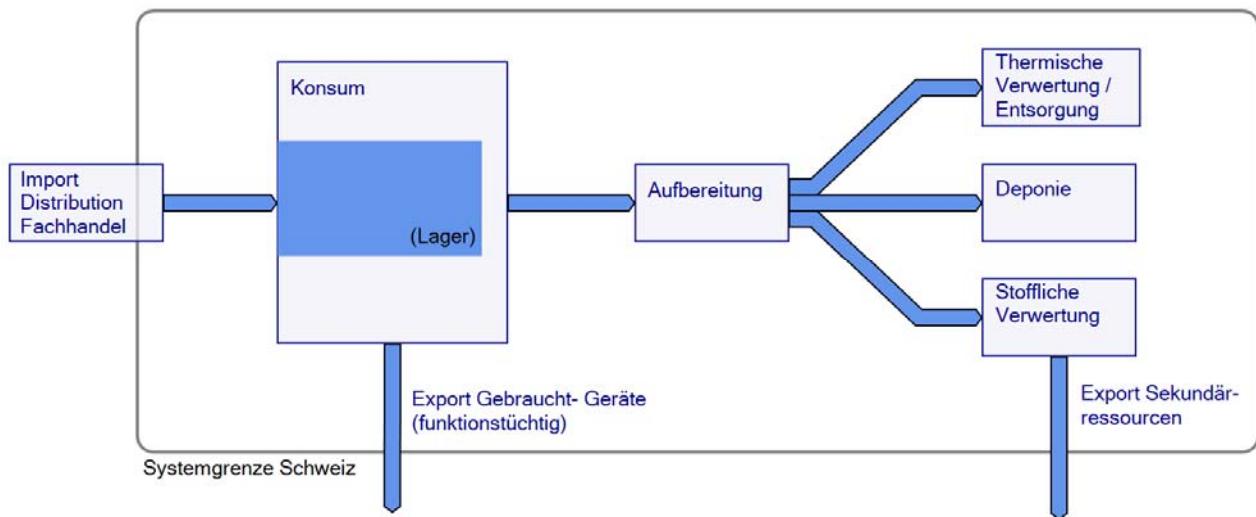


Abbildung 7: Generisches System der durch die Dienstleistung „Internet Schweiz“ verursachten Flüsse und Lager in der Schweiz.

Gemäss diesem System werden mit den vorhandenen Daten zunächst die Massenflüsse für die Nutzer wie auch für die Provider abgeschätzt. Transferkoeffizienten werden aus der Studie über elektrische und elektronische Geräte (Müller & Widmer 2008) übernommen. Anschliessend können zusammen mit der Zusammensetzung der Geräte die Stoffflüsse berechnet werden.

Die Massenflüsse, welche durch den Datenimport von Schweizer Nutzern im Ausland und von ausländischen Nutzern innerhalb der Schweiz generiert werden, können zu den Massenflüssen des Schweizer Netzwerks addiert oder subtrahiert werden.

3.5 Lebenszyklusanalyse

3.5.1 Funktionale Einheit

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) der Dienstleistung „Internet Schweiz“ umfasst ein sehr weites Spektrum von Technologien, Geräten, Nutzern sowie Nutzungsarten. Um all diese verschiedenen Aspekte zu vereinen, wurde eine umfassende funktionale Einheit gewählt, auf welche die Umwelteinwirkungen bezogen werden.

Die gewählt funktionale Einheit ist:

“Die Nutzung der Dienstleistung ‘Internet Schweiz’ während eines Jahres”

Dies beinhaltet für das Schweizer Netzwerk die Produktion, den Gebrauch und die Entsorgung aller in der Schweiz vorhandenen, für das Internet verwendeten Geräte während eines Jahres. Für den Datenimport und -export bezieht sich die funktionale Einheit auf das importieren und exportieren von Informations- und Kommunikationsflüssen über das Internet während eines Jahres.

Ausgehend von dieser funktionalen Einheit können dann die Auswertungen präzisiert werden, um so auch spezifische Fragestellungen zu beantworten.

3.5.2 Bewertungsmethode

Die für diese Studie benutzte Bewertungsmethode sind die Umweltbelastungspunkte (BAFU 2008). Die Schweizer Methode ermittelt die Umweltbelastung, indem die Mengen der emittierten Schadstoffe bzw. der benötigten Ressourcen mit den jeweiligen Ökofaktoren multipliziert werden. Die Ökofaktoren werden für die verschiedenen Einwirkungen entsprechend ihrer Schädlichkeit bestimmt. Je höher der Ökofaktor ist, desto belastender ist die entsprechende Einwirkung. Die Einheit der Ökofaktoren ist Umweltbelastungspunkte (UBP) / Einheit der Umwelteinwirkung. Also z.B. UBP / g emittierte Substanz, UBP / MJ energetische Ressource oder UBP / m² Landnutzung. Dadurch ergibt sich die Umweltbelastung jeder Umwelteinwirkung in derselben Einheit UBP. Diese können anschliessend summiert werden zur gesamten Umweltbelastung.

Die Grundlage der Bewertung basiert auf den folgenden drei Elementen:

- Die *Charakterisierung* beinhaltet die relative Schädlichkeit einer Schadstoffemission oder eines Abbaus von Rohstoffen in Bezug auf eine Referenzsubstanz.
- Die *Normierung* quantifiziert den Beitrag einer jeweiligen Emissionen oder Ressourcennutzung am gesamten aktuellen Fluss.
- Die *Gewichtung* berücksichtigt, ob die Belastung in einem gewissen Gebiet bereits eine kritische Schwelle überschritten hat und damit bei weiteren Emissionen mit Schäden zu rechnen ist oder ob die Belastung noch weit von der kritischen Schwelle entfernt ist. Diese Schwelle wird definiert durch die gesetzlichen und politischen Umweltziele der Schweiz. Der Abstand zwischen der aktuellen Situation und den Zielen wird als ökologische Knaptheit bezeichnet.

Die gewichteten Resultate werden in den Kategorien Emissionen in die Luft, Emissionen in Oberflächengewässer, Emissionen ins Grundwasser, Emissionen in den Boden, Energie Ressourcen, Natürliche Ressourcen und Ablagerung von Abfall wiedergegeben.

3.5.3 Ecoinvent Datenbank

Die LCA erfolgt unter der Verwendung der Ecoinvent Datenbank (Hischier et al. 2007). In Ecoinvent sind Daten für Desktop-Computer, Notebook, CRT- und LCD-Monitor, Modem, DSLAM, Switch/Router, Drucker, Maus und Tastatur, vorhanden. Diese Datensätze enthalten alle Rohmaterialien, welche zur Produktion dieser Geräte benötigt werden, das Gewicht, der Energiekonsum und die Lebensdauer der Geräte sowie auch Angaben über Transportwege und Abfallbehandlung.

Auf Basis dieser Datensätze wurde die LCA der Dienstleistung Internet erstellt. Die meisten Geräte konnten mit Anpassungen des Gewichts direkt aus der Ecoinvent Datenbank übernommen werden. Für einige Geräte sind jedoch noch keine Datensätze in der Datenbank vorhanden. Um dennoch Abschätzungen der Umweltauswirkungen machen zu können, wurden diese Datensätze aus den bestehenden Datensätzen abgeleitet (verwenden von sog. Proxies, da das Erstellen neuer Datensätze sehr aufwändig ist).

Die Verwendung von Proxies beinhaltet grobe Abschätzungen. Für eine erste Abschätzung der Umweltauswirkungen genügt dieser Ansatz, jedoch entstehen dadurch ungewisse Abweichungen. Die daraus entstehenden Unsicherheiten sollten deshalb vertieft betrachtet und quantifiziert werden bzw. entsprechende Datensätze entwickelt werden.

3.5.4 Sachbilanz

Die Erstellung der Sachbilanz sowie die Berechnung der Umweltbelastung erfolgten mit dem LCA-Programm SimaPro. Die aufbereiteten Daten über Nutzer, Provider und ihre Infrastruktur wurden in die Software implementiert, indem für jede Kategorie eine Produktions- und Gebrauchsphase sowie die Entsorgung definiert wurden.

Um die Geräte an die funktionale Einheit anzupassen, mussten die Anzahl Geräte pro Kategorie durch ihre Lebensdauer geteilt werden, damit nur die Nutzung während eines Jahres berücksichtigt wird.

Produktion

Die Produktionsphase beschreibt alle Prozesse, Materialien und Transporte, welche für die Herstellung eines bestimmten Gerätes notwendig sind. Alle in Ecoinvent vorhandenen Angaben wurden unverändert übernommen.

Nutzung

Die Nutzungssphase beinhaltet den Transport von der Endmontage (üblicherweise in Europa) via den Fachhandel bis zum Nutzer sowie den Energiekonsum während der Nutzung des Gerätes. Für den Transport wurde die standardmäßig in Ecoinvent vorhandene mittlere Transportdistanz von 200 km per Zug sowie 100km per Lastwagen übernommen. Für den Energiekonsum des Schweizer Netzwerks wurde mit dem Schweizer Strommix gerechnet, welcher hauptsächlich aus Wasserkraft- und Atomstrom besteht. Die bereits in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Betriebsweisen wurden übernommen. Für den Stromverbrauch im Zusam-

menhang mit dem Datenimport wurde entsprechend den Herkunftsländern und ihrem Anteil am Datenimport ein Strommix erstellt.

Entsorgung

Die Entsorgung charakterisiert die Abfallbehandlung sowie Recyclingprozesse. Die in Econinvent vorhandenen Datensätze enthalten bereits Entsorgungsszenarien, welche für die Studien übernommen werden. Jedes Gerät wird zunächst in einem ersten Prozess manuell oder maschinell behandelt. Nach dieser Behandlungsstufe wird der Output entweder thermisch entsorgt bzw. deponiert, oder aber es folgt als zweiter Prozess die stoffliche Verwertung. Die in der stofflichen Verwertung generierten Sekundärressourcen können gleiche Materialien aus Primärressourcen ersetzen. Dieser für die Umwelt positive Beitrag wird durch negative Umweltbelastungspunkte ausgedrückt.

4 Resultate und Diskussion

4.1 Schweizer Netzwerk

4.1.1 Massenflussanalyse

Mit den erhobenen Daten für die Nutzer- sowie Providerkategorien wurde ein ausgewähltes Inventar von Geräten erstellt, welche für die untersuchten Effekte relevant sind. Das Inventar beinhaltet für alle Geräte deren gesamte Anzahl sowie die spezifischen Angaben zu Durchschnittsgewicht, Materialzusammensetzung und Nennleistung / Energieverbrauch sowie die Lebensdauer.

Aus den Angaben über Anzahl, Zusammensetzung und Gewicht werden die Lagerbestände der Materialien und mit der Lebensdauer die Input- und Outputflüsse der Lager berechnet bzw. abgeschätzt und dargestellt (siehe Abbildung 8). Alle diese Angaben beruhen sowohl auf erhobenen Daten aber auch auf Expertenwissen und Abschätzungen. Die Daten beziehen sich jeweils auf das Jahr 2009.

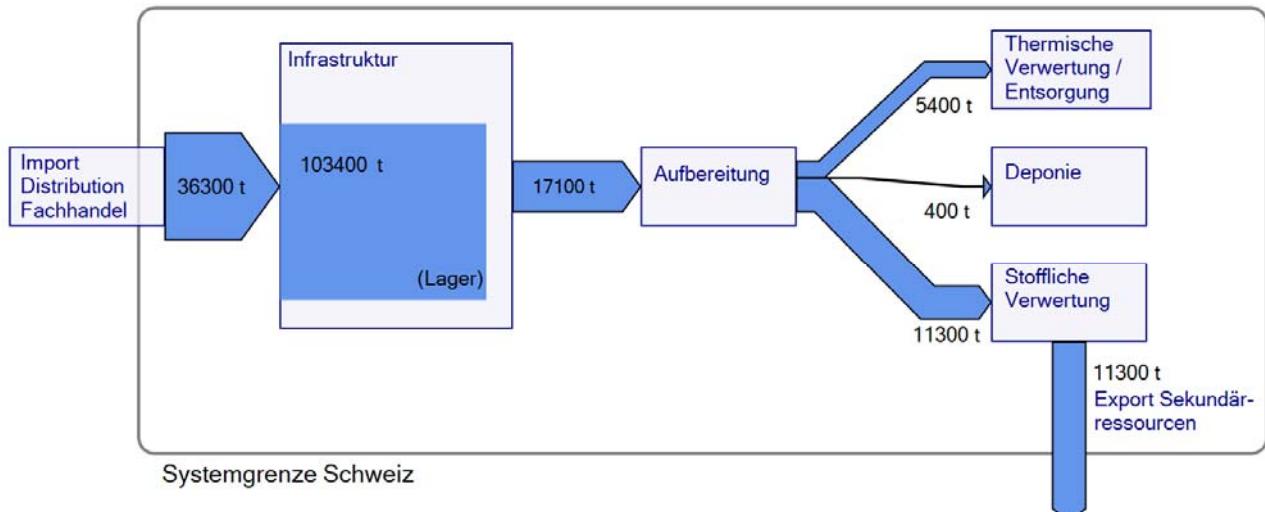


Abbildung 8: Massenflüsse der gesamten Infrastruktur des Schweizer Internet-Netzwerkes im Jahr 2009 in Tonnen. Wichtig: diese Materiallager und –flüsse sind allozierte Werte und die gesamte sekundäre Infrastruktur für deren Unterbringung ist nicht berücksichtigt!

Im Jahr 2009 waren 103'400 t an Materialien in der Infrastruktur gelagert. 36'300 t kamen neu dazu und 17'100 t wurden via Aufbereitung entsorgt. Somit wuchs das Lager um knapp 20'000 t an. Gemäss Angaben der ISP wächst die Infrastruktur der Provider pro Jahr durchschnittlich um rund 50%, da aufgrund von technologischen Fortschritten die vorhandenen Geräte ausgetauscht werden und das Glasfaserkabelnetz stetig ausgebaut wird. Gemäss den vorhandenen Zeitreihen des BFS (BFS 2009) werden die Lagerzunahmen an Geräten in Haushalten auf rund 6%, diejenigen der Unternehmen auf rund 15% geschätzt.

Von den 17'100 t welche in die Aufbereitung gelangten, wurden ca. 66% stofflich verwertet, 32% wurden thermisch verwertet und knapp 2% deponiert. Die Transferkoeffizienten wurden aus (Müller & Widmer 2008) übernommen.

Der Export gebrauchter Geräte konnte aufgrund der vorliegenden Daten nicht quantifiziert werden, weshalb das generische Massenflussdiagramm in Abbildung 7 angepasst und vereinfacht wurde. Es kann jedoch angenommen werden, dass ein Teil der gebrauchten Geräte, vor allem Computer, ins Ausland exportiert werden, wo ein umweltgerechtes Recycling in Bezug auf Emissionen & Verwertungsquoten nicht unbedingt gewährleistet werden kann. Weiter ist es auch möglich, dass die Entsorgung über Business-to-Business Lösungen teilweise im Ausland erfolgt.

Im Vergleich zu der gesamten Lagermenge von 1'676'500 t an elektrischen und elektronischen Geräten im Jahr 2006 in der Schweiz ist das Lager der Dienstleistung Internet um mehr als ein Faktor 10 kleiner (Müller & Widmer 2008). Die Gesamtmenge elektrischer und elektronischer Geräte besteht jedoch zu knapp 80% aus Haushalts- und Hobbygeräten, Leuchtmitteln und Spielwaren. Die in der Studie betrachtete Kategorie ICT/Unterhaltungselektronik ist mit 359'200 t mehr als doppelt so gross, schliesst aber sehr viele nicht Internet relevante Geräte (z.B. Drucker, Kopierer, Stereoanlage, DVD-Player etc.) mit ein.

Um den Einfluss der verschiedenen Bestandteile der Infrastruktur des „Internet Schweiz“ differenzierter darzustellen, wurde die gesamte Infrastruktur in die folgenden vier Hauptkomponenten aufgeteilt:

- ICT-Geräte (G): Umfasst alle Geräte, sowohl der Nutzer als auch der Provider
- Glasfaserkabel (GFK): Berücksichtigt alle Glasfaserkabel im Schweizer Netz, welche für das Internet gebraucht werden
- Kupferkabel (KK): Berücksichtigt alle Kupferkabel im Schweizer Netz, welche für das Internet gebraucht werden
- Antennen (A): Schliesst alle Antennen des Schweizer Mobilfunknetzes mit ein

Betrachtet man nun die Massenflüsse nach dieser Aufteilung, dominieren sowohl die Massenflüsse als auch die Lager von ICT-Geräten das Bild (siehe Abbildung 9). Vor allem in der Entsorgung sind die ICT-Geräte vorherrschend, da sie mit 2-10 Jahren eine deutlich kürzere Lebensdauer als Kabel (50 Jahre) und Antennen (30 Jahre) aufweisen.

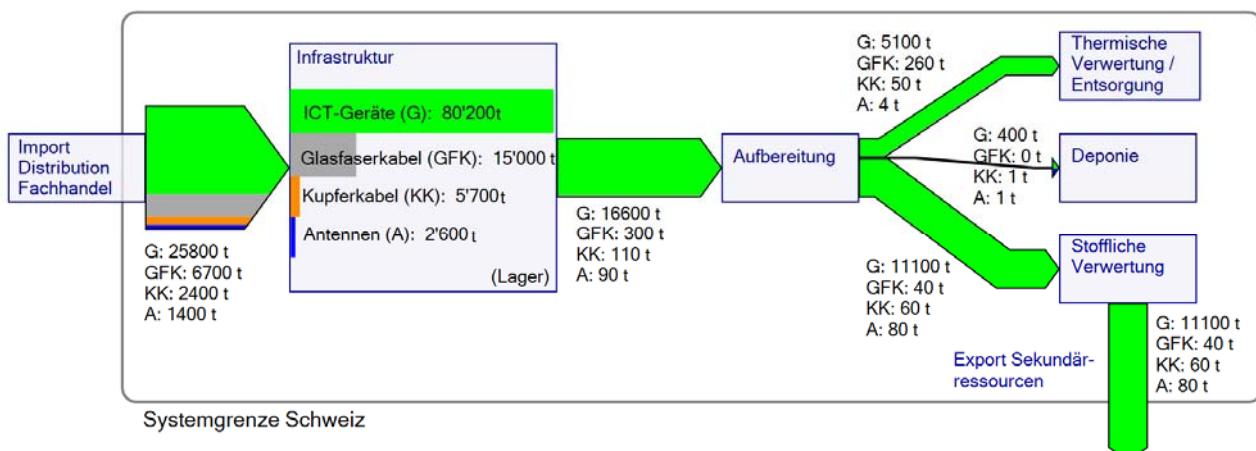


Abbildung 9: Aufteilung der totalen Massenflüsse 2009 auf die vier Hauptkomponenten der Infrastruktur; ICT-Geräte (G), Glasfaserkabel (GFK), Kupferkabel (KK) und Antennen (A), in Tonnen. Wichtig: diese Materiallager und -flüsse sind allozierte Werte und die gesamte sekundäre Infrastruktur für deren Unterbringung ist nicht berücksichtigt!

Wie bereits unter 3.2.4 erläutert, wird ein Gerät nicht nur für die Nutzung des Internets gebraucht oder nicht alle Geräte verfügen über die Eigenschaft, sich mit dem Internet verbinden zu können. Somit können nicht der gesamte Material- und Energiekonsum sowie die Umweltauswirkungen eines solchen Gerätes der Dienstleistung Internet angerechnet werden. Den Einfluss der Allokationsfaktoren ist in Abbildung 10 zu sehen, wo jeweils einmal alle Allokationsfaktoren auf 1 gesetzt wurden (alle Geräte werden ausschliesslich für

das Internet genutzt) und einmal die in Tabelle 10 und Tabelle 11 im Anhang aufgeführten Allokationsfaktoren verwendet werden.

Am meisten Material ist in beiden Fällen in den rund 3.3 Mio. Haushalte in der Schweiz gelagert. Der grosse Unterschied durch die Allokation kommt aufgrund der Fernseher zustande, die in der Schweiz in fast jedem Haushalt zu finden sind. Auf das Internet alloziert werden jedoch lediglich jene Fernseher, die über einen IPTV Zugang verfügen. Der Unterschied bei den Unternehmen ist vor allem auf die Verwendung von Desktop und Laptop Computern für das Internet oder andere Anwendungen zurück zu führen.

[Tonnen]

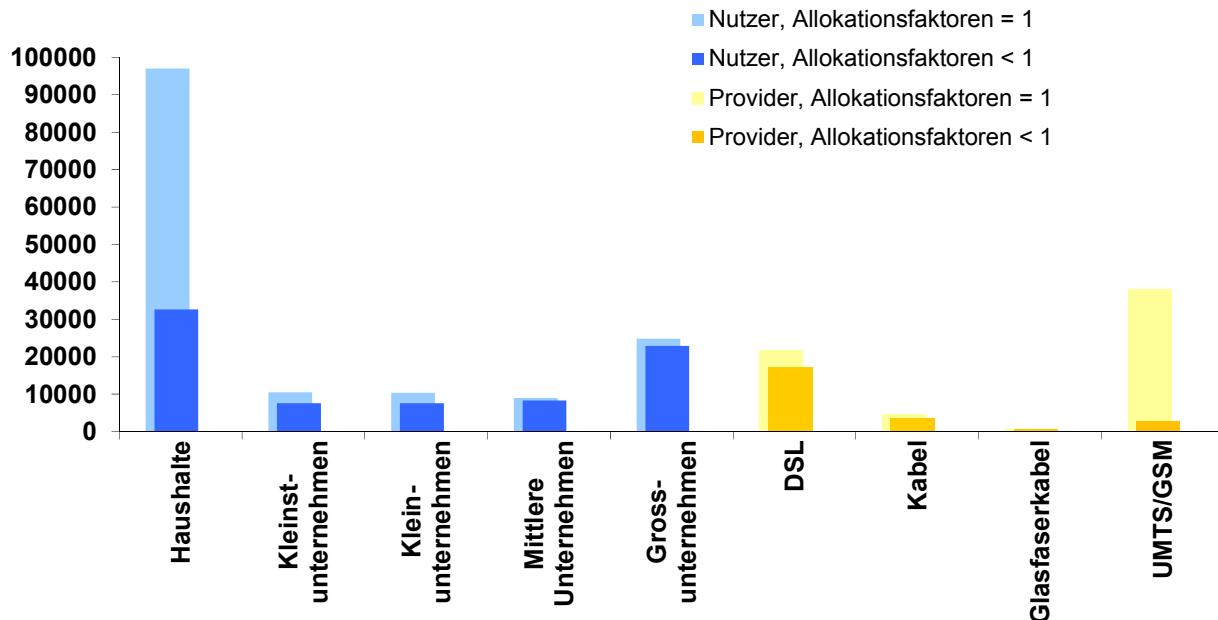


Abbildung 10: Einfluss der Allokation auf die Infrastruktur der verschiedenen Nutzer und Provider Kategorien

Die Kategorie „DSL“, welche über 70% aller Schweizer Internetteilnehmer abdeckt, verfügt über das grösste Materiallager der Provider. Der Unterschied durch Allokation ist auf die Kupferkabel zurückzuführen, welche zu 50% der Festnetztelefonie zugeschrieben wurden. Im Kabelnetzwerk werden sowohl Internet wie auch Fernseh-Daten übertragen. Die Datenmenge welche für das Internet übertragen wird ist jedoch sehr viel grösser, weshalb ist der Unterschied durch die Allokation nur klein ist. Das Glasfasernetzwerk ist in der Schweiz erst im Aufbau, weshalb das Materiallager noch sehr klein ist. Es wird mehrheitlich von grossen Institutionen wie Universitäten, Forschungsinstitute oder Grossunternehmen genutzt. Das Mobilfunknetz dagegen ist bereits sehr gut ausgebaut und aufgrund der vielen Antennen auch sehr materialintensiv. Da dieses Netz jedoch noch hauptsächlich zum Telefonieren genutzt wird und der Gebrauch von Internet via Mobiltelefon erst beginnt, ist der Allokationsfaktor mit 7.5% noch klein. Eine Betrachtung der Kategorie UMTS/GSM ohne Allokation zeigt, dass diese Technologie über ein beträchtliches Materiallager verfügt. Zukünftig müssen die Allokationsfaktoren den weiteren Entwicklungen angepasst werden.

Die zwei grössten Materiallager in den Kategorien 'Haushalte' und 'DSL' sind in Abbildung 11 in ihre Bestandteile aufgeteilt worden. In den Haushalten machen die Desktop-Computer mit ihren Monitoren sowie die Fernsehgeräte insgesamt 85% vom Materiallager aus. Laptops und Modems kommen noch auf 15% und die Mobiltelefone haben trotz der grossen Anzahl von 9 Mio. Stück aufgrund ihres kleinen Gewichts und der geringen Allokation einen Anteil von weniger als 1%. Beim DSL-Netzwerk machen die Glasfaserkabel mit 58% sowie die Kupferkabel mit rund 26% den Hauptanteil des Lagers aus. Einen Beitrag von knapp 8% leisten die DSLAMs. Switches und Router machen rund 4% aus, Splitter 3%. Die Kühlsysteme fallen wegen ihrer geringen Anzahl wenig ins Gewicht.

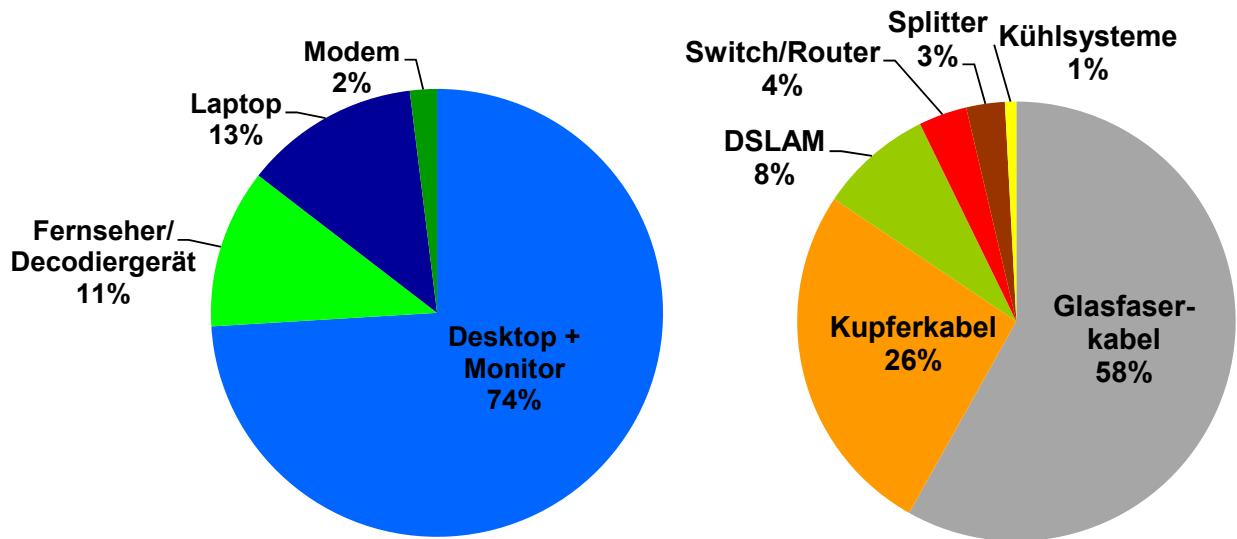


Abbildung 11: Hauptsächliche Bestandteile der Materiallager der Kategorien 'Haushalte' (links) sowie 'DSL' (rechts).

Das Gesamtgewicht der verschiedenen für das Schweizer Netzwerk benötigten Geräte geteilt durch die totale Anzahl Nutzer ergibt das Gewicht pro Gerät und Nutzer (Abbildung 12). Die totale Anzahl Nutzer wird mit der Anzahl Haushalte und Unternehmen sowie der durchschnittlichen Anzahl Personen pro Haushalt oder der durchschnittlichen Mitarbeiterzahl berechnet und beträgt rund 11'000'000. Dabei werden natürlich Personen, die sowohl zuhause wie auch während der Arbeit über Internet verfügen doppelt gezählt.

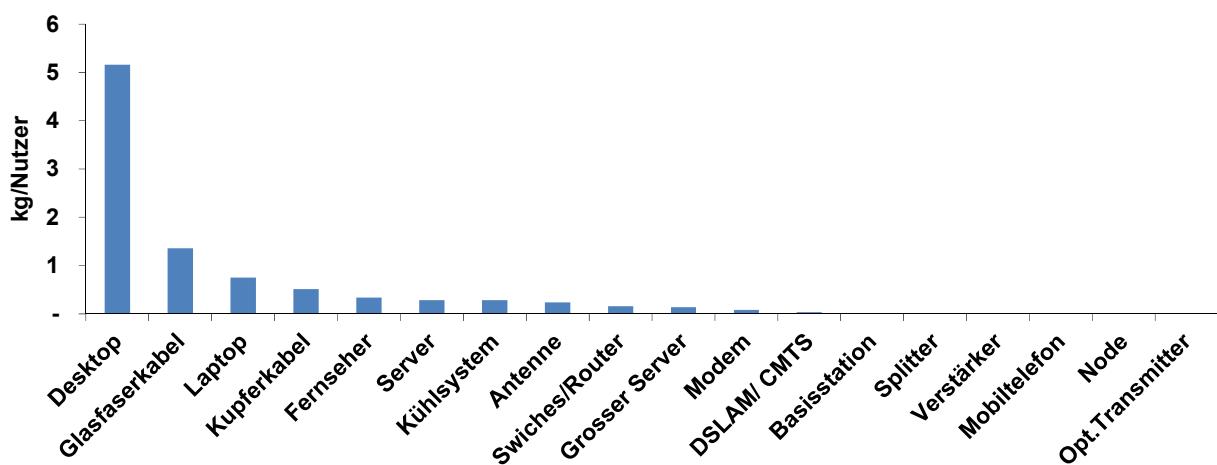


Abbildung 12: Gewichte der für das Schweizer Netzwerk benötigten Geräte pro Nutzer in kg.

An erster Stelle steht der Desktop Computer mit 5 kg, gefolgt vom Glasfaserkabel mit 1.4 kg, dem Laptop mit 0.8 kg und dem Kupferkabel mit 0.5 kg. Alle übrigen Geräte machen weniger als ein halbes Kilogramm pro Nutzer aus. Insgesamt kommen auf jeden Nutzer 9.5 kg Material wovon die Endgeräte rund 70% ausmachen.

4.1.2 Stoffflussanalyse

4.1.2.1 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung und die Auswahl der Stoffe für alle ICT-Geräte in dieser Studie wurden von der Kategorie 'ICT und Unterhaltungselektronik' der Studie über die Materialflüsse von elektrischen und elektronischen Geräten (Müller & Widmer 2008) übernommen.

Die Zusammensetzung von Kupferkabeln wurde teilweise aus der Literatur übernommen (Unger & Gough 2008), diejenige von Glasfaserkabeln und Antennen wurde von Experten abgeschätzt. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Zusammensetzungen, wiederum aufgeteilt in die 4 Hauptkomponenten der Infrastruktur ist in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: Zusammensetzung der vier Hauptkomponenten der Infrastruktur des Internets in der Schweiz in Gewichts-%. (n.a.: Ein Vorkommen dieser Stoffe in sehr kleinen Mengen kann nicht ausgeschlossen werden, es sind jedoch keine Daten vorhanden)

	ICT-Geräte	Glasfaserkabel	Kupferkabel	Antennen
Eisen	36	n.a.	n.a.	0.9
Alu	5.0	n.a.	n.a.	0.03
Kupfer	4.0	n.a.	0.5	0.02
Blei	0.29	n.a.	n.a.	n.a.
Cadmium	0.018	n.a.	n.a.	n.a.
Quecksilber	7.0E-05	n.a.	n.a.	n.a.
Gold	2.4E-04	n.a.	n.a.	n.a.
Silber	1.2E-03	n.a.	n.a.	n.a.
Palladium	6.0E-05	n.a.	n.a.	n.a.
Indium	5.0E-04	n.a.	n.a.	n.a.
Kunststoffe 'bromiert'	18	n.a.	n.a.	n.a.
Kunststoffe	12	0.99	0.5	0.05
Bleiglas	19	n.a.	n.a.	n.a.
Glas	0.30	0.01	n.a.	n.a.
Übriges	5.7	n.a.	n.a.	n.a.

In Abbildung 13 ist die kumulierte Zusammensetzung der gesamten in der Schweiz vorhandenen Infrastruktur für die Dienstleistung Internet abgebildet. Die Zusammensetzung wird von Eisen und Kunststoff dominiert. Weitere wichtige Bestandteile sind Bleiglas und Kunststoffe mit bromierten Flammschutzmitteln. Diese beiden Stoffe sollten in den kommenden Jahren in der Infrastruktur bzw. im Lager stetig abnehmen, da die Röhrenbildschirme, welche Bleiglas enthalten durch Flachbildschirme ersetzt werden und Kunststoffe mit bromierten Flammschutzmitteln seit 2005 in elektronischen Geräten verboten sind. Neue Geräte sollten also diese Stoffe nicht mehr enthalten.

Auch Kupfer und Aluminium sind in signifikanten Mengen vorhanden. Edelmetalle jedoch weisen so kleine Mengen auf, dass sie in Bezug auf ihren Massenanteil kaum eine Rolle spielen. Da sie jedoch sehr wertvoll sind, sind sie vor allem für das Recycling-Geschäft von grosser Bedeutung.

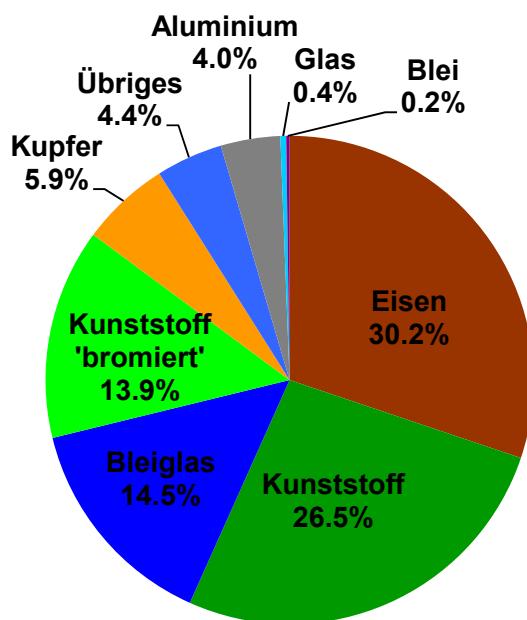


Abbildung 13: Zusammensetzung des Lagers der Infrastruktur des Internets in der Schweiz in Gewichts-%.

Die für ICT-Geräte verwendete Zusammensetzung beruht auf einem Mix von ICT-Geräten und Unterhaltungselektronik, welcher mit den in dieser Studie untersuchten Geräten nur bedingt verglichen werden kann. Es wird angenommen, dass z.B. die Zusammensetzung von grossen Routern und Switches, welche über grosse Leiterplatten verfügen, einen höheren Anteil an Edelmetallen aufweist. Ebenfalls nicht speziell berücksichtigt wurden die Metall-Racks, an welchen die Geräte oft befestigt sind. Es ist also möglich, dass in dieser Stoffflussanalyse generell der Metallgehalt unterschätzt wird.

Weiter konnten zur Zusammensetzung von Glasfaserkabeln und Antennen bisher keine Daten erhoben werden. Diese wurden von Experten lediglich abgeschätzt und sind daher unsicher.

4.1.2.2 Stoffflüsse

Die Kombination der Massenflüsse mit der Zusammensetzung und den Transferkoeffizienten für die einzelnen Stoffe ergibt die Flüsse und das Lager einzelner relevanter Stoffe. Die Transferkoeffizienten wurden wiederum aus (Müller & Widmer 2008) übernommen. Einzig die Transferkoeffizienten für Kunststoffe wurden angepasst, da im Jahr 2009 bereits deutlich mehr Kunststoffe als im 2006 stofflich verwertet wurden.

Da die Flüsse, Lager und Entsorgungswege der einzelnen Stoffe in (Müller & Widmer 2008) bereits im Detail besprochen worden sind und sich die Resultate dieser Studie, da viele Daten übernommen wurden, nur wenig davon unterscheiden, werden hier nur die Stoffflüsse von Kupfer und Kunststoffen als Beispiele besprochen. Für alle weiteren Stoffflüsse wird auf die vorangegangene Studie verwiesen.

Kupfer ist in der Infrastruktur der Dienstleistung Internet vor allem in den Geräten sowie auch in den Kupferkabeln zu finden. Unter der Annahme, dass die Infrastruktur der Nutzer pro Jahr um 6 bzw. 15% wächst und die Infrastruktur der Provider gar um 50% wächst, nimmt das Kupferlager pro Jahr um 1'500 t zu. Aufgrund der langen Lebensdauer von Kupferkabeln, wird die Entsorgung jedoch vom Kupfer aus den ICT-Geräten dominiert. Kupfer wird fast vollständig wiederverwertet, nur ein kleiner Teil geht in diesem Prozess verloren (siehe Abbildung 14).

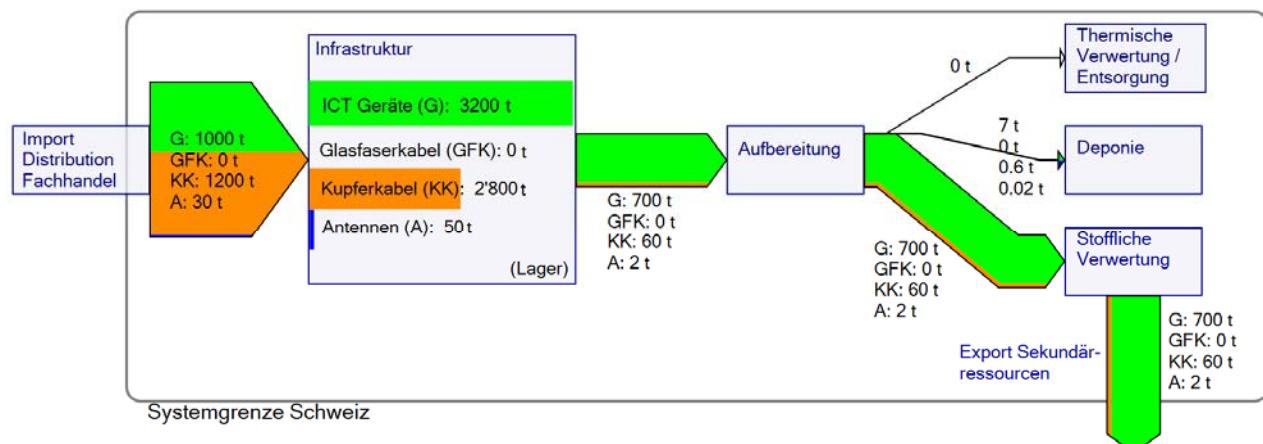


Abbildung 14: Kupferflüsse der gesamten Infrastruktur der Dienstleistung „Internet Schweiz“ aufgeteilt auf die vier Hauptkomponenten im Jahr 2009 in Tonnen.

Die Hauptmenge an Kunststoffen in der Infrastruktur der Dienstleistung Internet lagert in den Glasfaserkabeln. Da das Glasfaserkabelnetz zur Zeit rasch ausgebaut wird, nimmt das Kunststofflager pro Jahr um knapp 9'000 Tonnen zu. Wie die Kupferkabel haben auch die Glasfaserkabel eine Lebensdauer von rund 50 Jahren, weshalb der jährliche Output aus der Infrastruktur noch sehr klein ist. Der Kunststoff, der in die Aufbereitung gelangt (wiederum aus ICT Geräten), wird immer noch zu einem grossen Teil thermisch verwertet. Die Wiederverwertung von Kunststoffen hat jedoch in den letzten Jahren zugenommen und die Rückgewinnungstechnologien entwickeln sich rasant weiter.

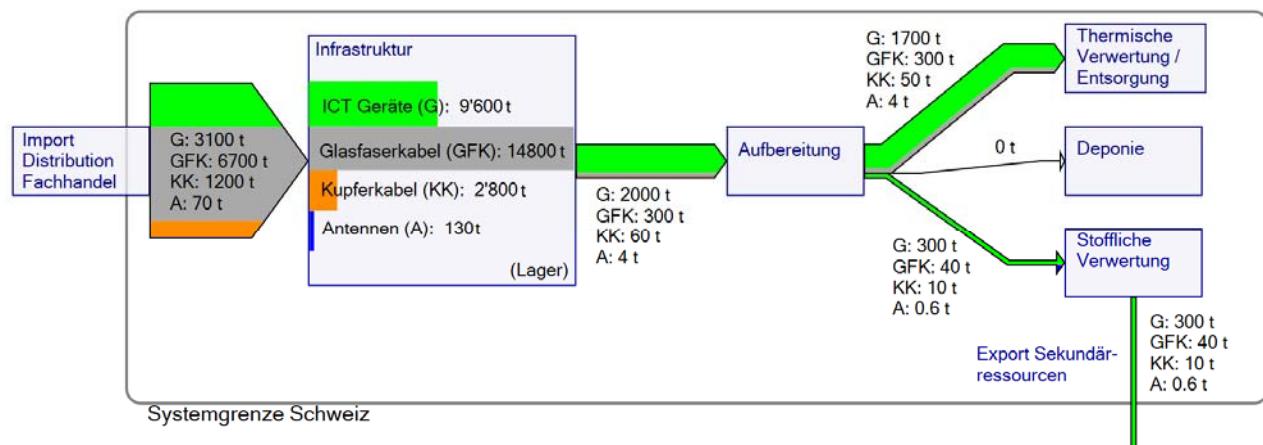


Abbildung 15: Kunststoffflüsse der gesamten Infrastruktur der Dienstleistung „Internet Schweiz“ aufgeteilt auf die vier Hauptkomponenten im Jahr 2009 in Tonnen.

4.1.3 Energiekonsum

Aufgrund der vorhandenen Daten wurde der Energiekonsum nur für den Betrieb der Infrastruktur berechnet. Eine vollständige Energiebilanz mit Einbezug des Energie-Konsums bzw. -Rückgewinnung der übrigen Prozesse im betrachteten System wurde nicht erstellt.

Auch wurde die Auslastung des Netzwerks nicht berücksichtigt. Die Auslastung kann Auswirkungen auf den Energiekonsum wie auch auf die Kapazität des Netzes haben. Nach Angaben von Swisscom ist jedoch der Energiekonsum des Netzwerks mehrheitlich unabhängig von der Auslastung.

Der Energiekonsum hängt stark von Annahmen über Server und Kühlsysteme und deren Energieverbrauch ab. Da es im Rahmen dieser Studie nicht möglich war, genauere Angaben über Rechenzentren und deren Energieverbrauch bzw. Kühlleistung zu erhalten, ist der erhaltene totale Energiekonsum unsicher. In einer nächsten Studie sollte diese Datenlücke geschlossen werden.

Der Gesamtenergieverbrauch von 4'640 GWh/Jahr (530 MW) beträgt rund 7.8 % des gesamten Elektrizitätskonsums in der Schweiz (BFE 2011). Gemäss einer Analyse des Schweizer Energieverbrauchs betrug im

Jahr 2006 der Anteil des Betriebs von ICT sowie Unterhaltungselektronik rund 5.4% des Schweizer Stromverbrauchs (Kirchner et al. 2008). In Deutschland macht der Betrieb von ICT laut einer deutschen Studie macht bis zu 9.4% des gesamten Stromverbrauchs aus (Stobbe & Schlomann 2008).

Der Energiekonsum der verschiedenen Zugangstechnologien ist mit total 220 GWh/Jahr (27 MW) rund 20 mal tiefer als derjenige aller Nutzer mit 4'410 GWh/Jahr. Eine Zusammenstellung des Energiekonsums ist in Tabelle 5 zu finden.

Tabelle 5: Energiekonsum der Infrastruktur der verschiedenen Nutzer und Provider.

Kategorien	Energiekonsum [GWh/Jahr]
Haushalte	600
Kleinstunternehmen	380
Kleinunternehmen	510
Mittlere Unternehmen	890
Grossunternehmen	2'030
Total Nutzer	4'410
DSL	140
Kabel	40
Glasfaserkabel	1
UMTS/GSM	40
Total Provider	220
Total	4'640

Der gesamte jährliche Energiekonsum der Gerätelparks der Nutzer-Kategorien ist in Abbildung 16 graphisch dargestellt. In der Kategorie Haushalte sind wiederum Desktop und Laptop Computer und Fernseher wichtig. Bei den kleineren Unternehmen weisen die Server und ihre Kühlssysteme den höchsten Energiekonsum auf, bei mittleren und grossen Unternehmen spielen vermehrt auch Router und Switches diverser Größen sowie deren Kühlssysteme eine wichtige Rolle. Die Annahmen zu Anzahl dieser Geräte pro Unternehmen und deren Energieverbrauch basieren auf Resultaten der Interviews sowie eigenen Abschätzungen. Es wird vermutet, dass der Energiekonsum dieser beiden Kategorien etwas überschätzt wurde.

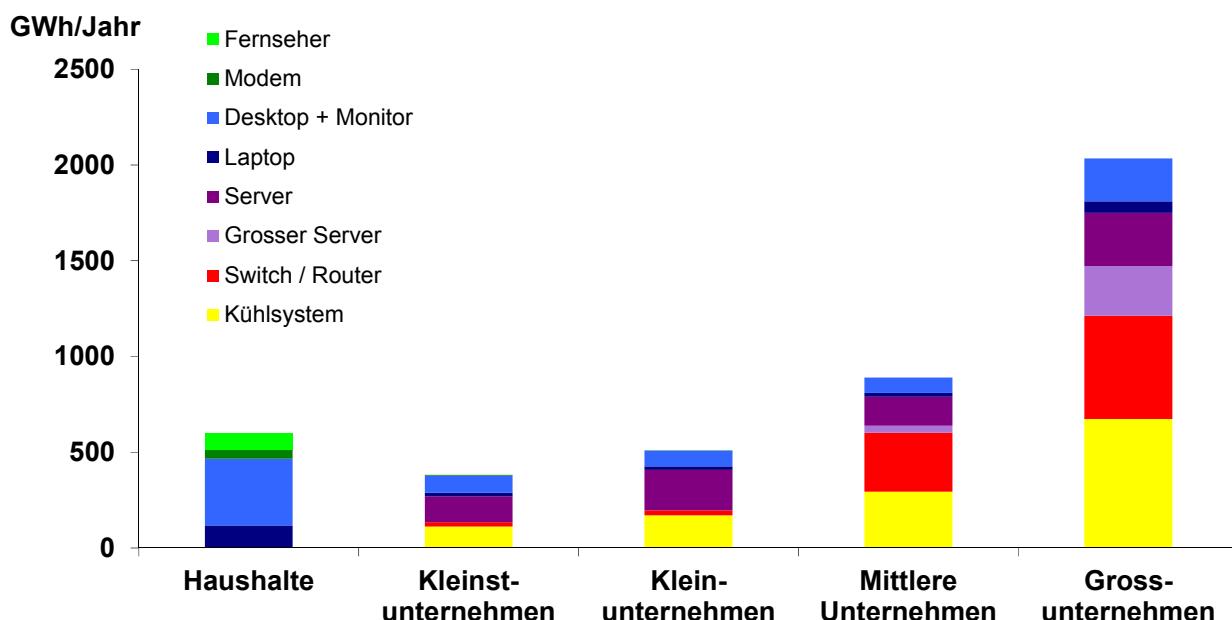


Abbildung 16: Energiekonsum der Geräte der verschiedenen Nutzer-Kategorien (allozierte Werte).

Die Provider haben einen kleineren Gerätelpark als die Nutzer, und auch ihr Energiekonsum ist wesentlich geringer. Die Kategorie DSL, als Zugangstechnologie mit den meisten Teilnehmern, weist mit rund 60% den

höchsten Anteil am Gesamtkonsum von 238 GWh/Jahr auf. Der Beitrag der Kabel-, Glasfaserkabel- sowie UMTS/GSM Netzwerke ist aus den gleichen Gründen, wie bereits im Rahmen der Massenflussanalyse besprochen, klein.

Interessant ist ein Vergleich der materialintensiven mit den energieintensiven Geräten der Provider. Wie in Abbildung 17 zu sehen ist, wird der gesamte Materialverbrauch aller Provider durch die Glasfaserkabel, Kupferkabel und Antennen dominiert, einen kleinen Anteil machen auch die DSLAMS sowie Basisstationen, Switches und Router aus. Betrachtet man den Energiekonsum, fallen die Glasfaserkabel, Kupferkabel, Antennen und die Splitter weg, da dies alles passive Geräte sind und keine eigene Energieversorgung benötigen. Ins Gewicht fallen nun hauptsächlich die DSLAMs, Switches und Router, Kühlsysteme, und Verstärker.

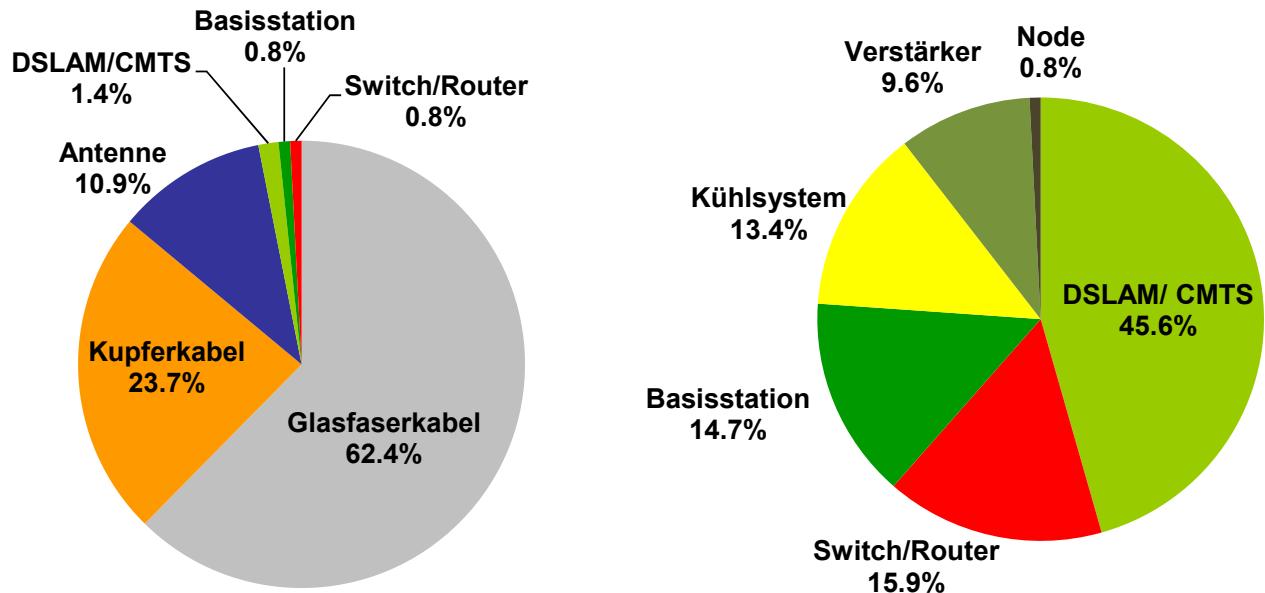


Abbildung 17: Materialkonsum (rechts) sowie Energiekonsum (links) aller Provider, aufgeteilt nach Geräten.

4.1.4 Lebenszyklusanalyse

4.1.4.1 Gesamtbetrachtung

Die LCA über alle Lebenszyklen des Schweizer Netzwerks (Abbildung 18) ergibt eine rund 1.2-mal grössere Belastung durch die Produktion ($2.6 \cdot 10^{12}$ UBP) als durch die Nutzung ($2.1 \cdot 10^{12}$ UBP). Während eines Jahres verursacht demnach der Betrieb der gesamten Infrastruktur innerhalb der Schweiz weniger Belastungen wie die Produktion neuer Geräte zur Instandhaltung und Erweiterung der Dienstleistung Internet.

Betrachtet man die einzelnen Umwelteinwirkungen, so wird die Produktion durch Emissionen in die Luft sowie Emissionen in Oberflächengewässer dominiert. Diese kommen hauptsächlich durch den hohen Energieverbrauch während der Produktion sowie die Gewinnung sowie Verarbeitung von Metallen zustande. Während der Nutzung entsteht die hohe Belastung durch die Ablagerung von Abfall aufgrund der Verwendung von Atomstrom und den daraus entstehenden radioaktiven Abfällen.

In der Entsorgung kann durch die stoffliche Verwertung die Primärproduktion verringert werden, was durch negative Umweltbelastungspunkte ausgedrückt wird ($-3.7 \cdot 10^{11}$ UBP).

Insgesamt beträgt die totale Umweltbelastung des Schweizer Netzwerks während eines Jahres $4.3 \cdot 10^{12}$ UBP.

Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus aufgeteilt auf die in der Infrastruktur vorhandenen Geräte (Abbildung 19), so weisen die Desktop-Computer den höchsten Anteil an der Umweltbelastung durch die Produktion auf. Auch während der Nutzung spielen sie eine signifikante Rolle. Die Desktop-Computer sind immer noch die von den meisten Nutzern verwendeten Geräte, um sich mit dem Internet zu verbinden, was sich aufgrund des beträchtlichen Gewichts und der eher kurzen Lebensdauer dieser Geräte stark auf den Lebenszyklus des gesamten Internets auswirkt. Während der Nutzung sind jedoch neben den Endgeräten

vor allem Server, Router und Switches und ihre Kühlssysteme wichtig, welche das ganze Jahr während 24h in Betrieb sind.

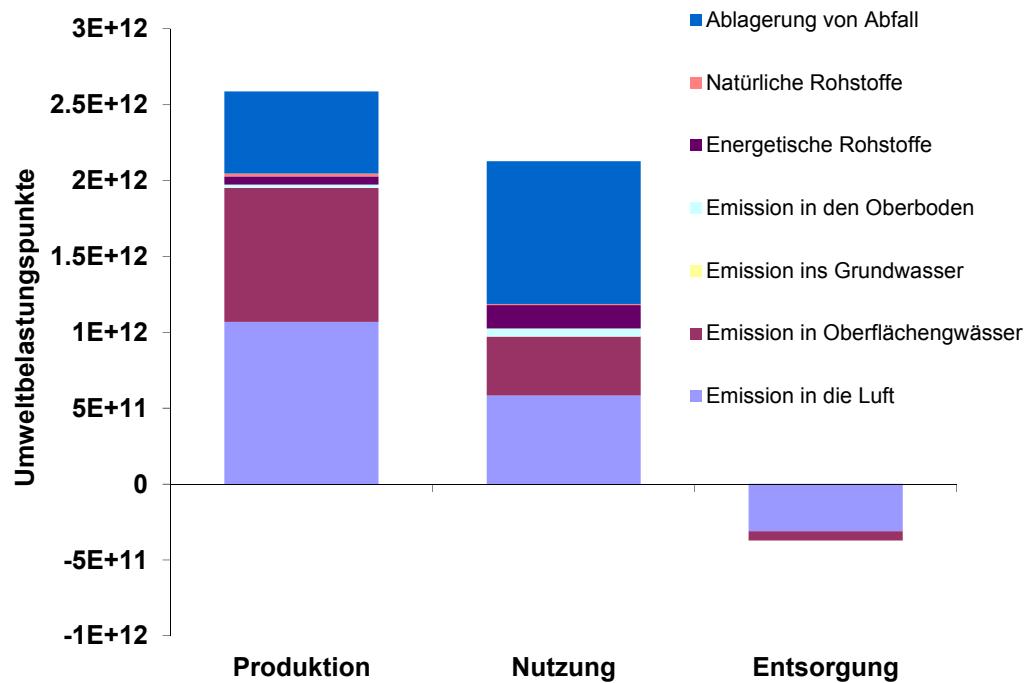


Abbildung 18: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen Produktion, Nutzung und Entsorgung des Schweizer Internet Netzwerkes, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

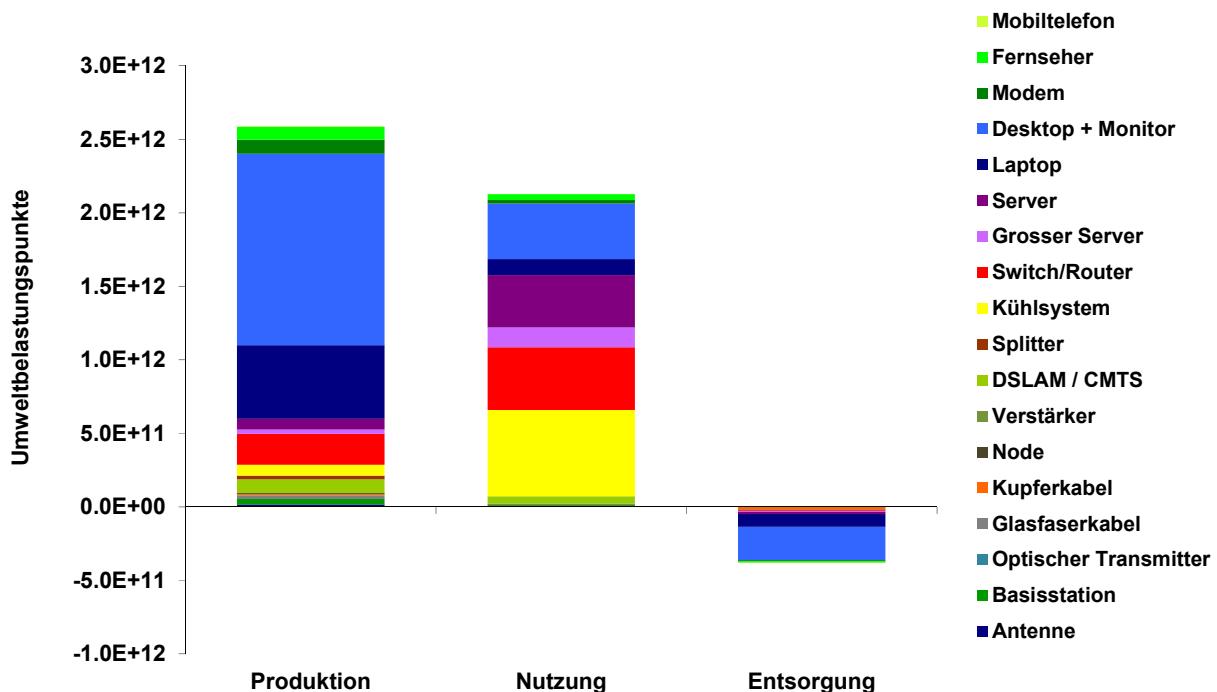


Abbildung 19: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen Produktion, Nutzung und Entsorgung des Schweizer Internet Netzwerkes, aufgeteilt nach Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Im Folgenden wird auf die drei Lebenszyklen einzeln eingegangen.

4.1.4.2 Produktion

Die Umweltbelastung durch die Produktion, aufgeteilt in die fünf Nutzerkategorien und ihre jeweiligen Geräteparken, ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Kategorie Haushalte weist mit $8.5 \cdot 10^{11}$ UBP die grösste Umweltbelastung in der Produktion auf, hauptsächlich verursacht durch die Desktop und Laptop Computer und die Fernseher. Die Belastung durch die vier Unternehmenskategorien ist hauptsächlich auf die Verwendung von Desktop Computern zurückzuführen. Da die Grossunternehmen insgesamt über die meisten Arbeitsplätze und somit auch Computer verfügen, ist ihre Belastung mit $7.4 \cdot 10^{11}$ die Höchste aller Unternehmenskategorien.

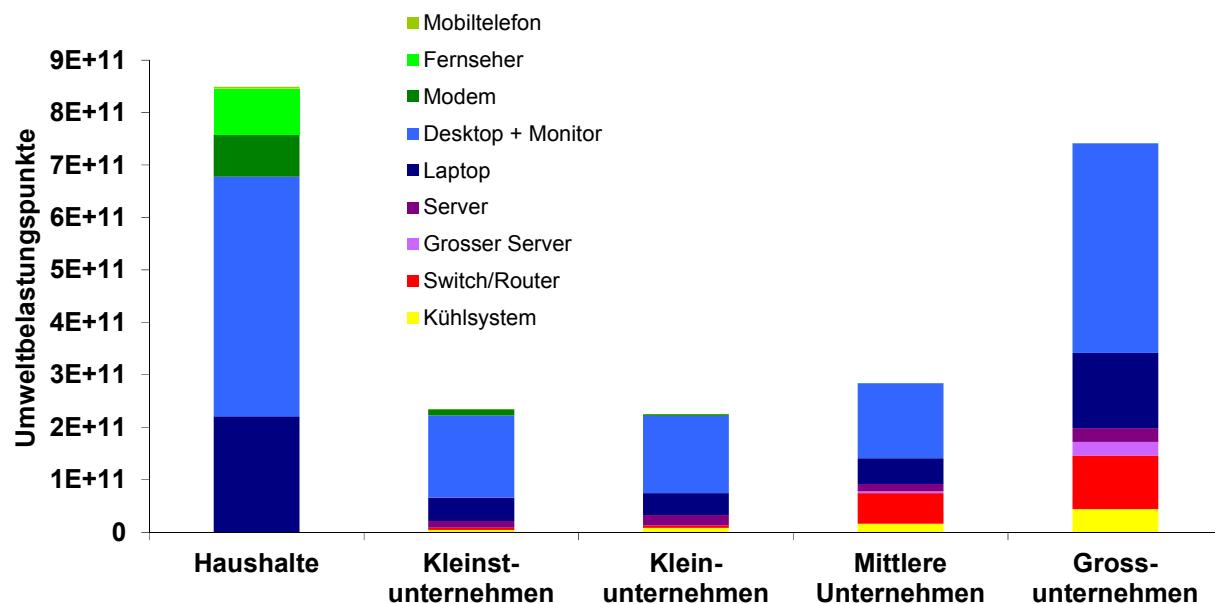


Abbildung 20: Umweltbelastung der Produktion der verschiedenen Nutzerkategorien und ihren jeweiligen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Ein Desktop Computer setzt sich zusammen aus einem Desktop, einem LCD-Monitor, einer Tastatur und einer Maus. Jedes dieser Bestandteile führt in der Produktion zu einer anderen Umweltbelastung. Die grössten Belastungen entstehen durch die Herstellung des LCD-Moduls für den LCD-Monitor. Weiter sind daran massgeblich die Halbleiterproduktion, die Extraktion (Primärproduktion) von Metallen sowie die zur Herstellung verbrauchte Energie beteiligt. Zusammengezählt ergibt die Produktion dieser Geräte eine Belastung von $1.5 \cdot 10^6$ UBP. Die Belastung durch die Produktion eines Laptops ist mit $3.5 \cdot 10^5$ UBP rund 4-mal kleiner.

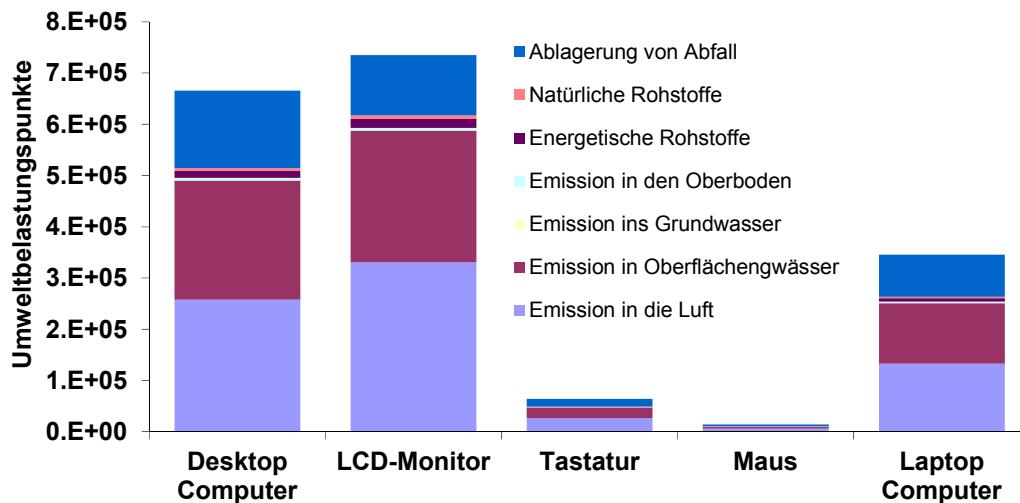


Abbildung 21: Umweltbelastung der Produktion eines Desktop Computers, gemessen in Umweltbelastungspunkten (nicht alloziert).

Bei den Internetprovidern entsteht die grösste Umweltbelastung während der Produktion der Infrastruktur der Kategorie DSL als grösster Internetprovider in der Schweiz mit $1.9 \cdot 10^{11}$ UBP. Die Umweltauswirkungen der Kategorie Kabel beträgt $1.3 \cdot 10^{10}$, diejenige von UMTS/GSM $5.3 \cdot 10^{10}$ UBP. Belastungen ausgelöst durch die Kategorie Glasfaserkabel ist mit $1.9 \cdot 10^9$ UBP um einen Faktor 25 - 95 kleiner als diejenige der anderen Provider. Die Umweltbelastung der Produktion der verschiedenen Providerkategorien und ihren jeweiligen Geräten ist in Abbildung 22 dargestellt.

In den Kategorien DSL entsteht die Belastung hauptsächlich durch die Produktion von DSLAMs, Switches und Router, Splitter sowie Glasfaserkabel. DSLAMs sind Knotenpunkte zwischen den Anschlüssen der Nutzer und dem regionalen Netzwerk der ISP, teilweise sichtbar als graue, rund 1 m hohe Boxen am Strassenrand. Pro Jahr müssen ca. 7'500 DSLAMs ersetzt werden. Splitter sind kleine Geräte mit einem Gewicht von rund 100 g, welche die gleichzeitige Nutzung eines Telefonanschlusses zum Telefonieren und Surfen ermöglichen. Da diese jedoch für jeden Internetanschluss der DSL- oder Kabeltechnologie benötigt werden, ist die angenommene Produktion pro Jahr mit über 770'000 Stück sehr hoch. So werden, auch wenn die Belastung pro Gerät sehr gering ist, in der Summe die Auswirkungen durch die Produktion dennoch signifikant.

Für die Kategorien Kabel entsteht die Belastung hauptsächlich durch die Produktion von Nodes, wichtige und zahlreiche Knotenpunkte im Kabelfsystem, sowie Switches und Router. Für die Kategorie Glasfaserkabel wird die Belastung hauptsächlich durch die Produktion von Glasfaserkabeln, für die Kategorie UMTS/GSM durch die Produktion von Antennen und Basisstationen verursacht.

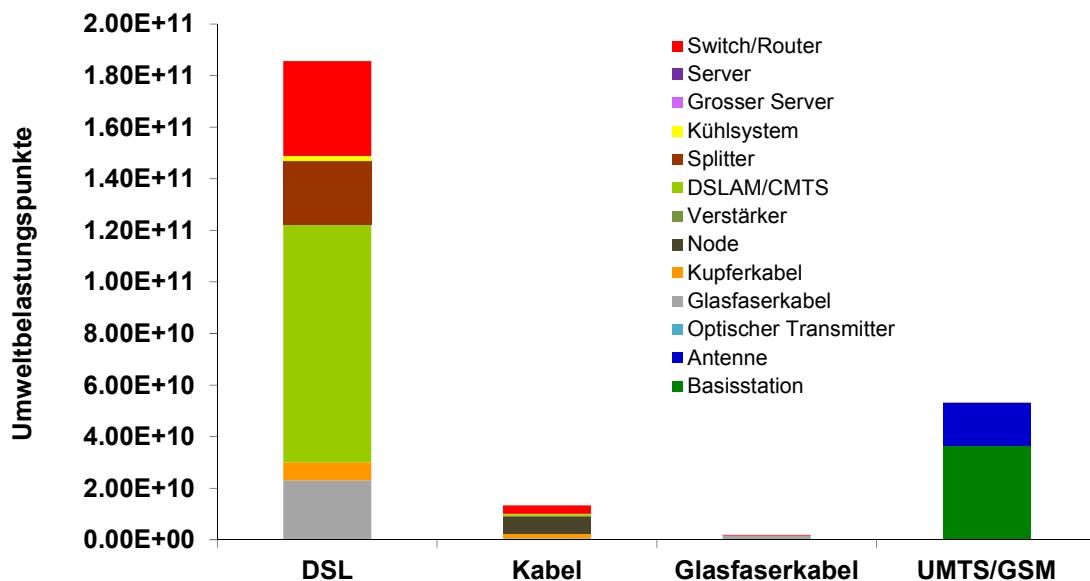


Abbildung 22: Umweltbelastung der Produktion der verschiedenen Providerkategorien und ihren jeweiligen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Insgesamt entstehen während der Produktion der Geräte der Nutzer $2.3 \cdot 10^{12}$ UBP. Für die Herstellung der Geräte der Provider werden lediglich $2.5 \cdot 10^{11}$ UBP berechnet. Die Herstellung der Endgeräte der Nutzer verursacht demnach eine rund 10-mal höhere Belastung als diejenige der Netzwerkkomponenten.

4.1.4.3 Nutzung

Die Umweltbelastung eines Gerätes während der Nutzungsphase (siehe Abbildung 23) hängt im Wesentlichen von dessen Strombedarf, sowie vom Transport bis zum Nutzer ab. Der Anteil des Transports ist jedoch vernachlässigbar klein. Neben dem Strombedarf der verschiedenen Geräte hat der Strommix einen grossen Einfluss.

Mit dem Schweizer Strommix gerechnet, welcher hauptsächlich aus Wasserkraft und Kernenergie besteht, ist die Umweltbelastung durch den Betrieb der gesamten Internet Infrastruktur in der Schweiz ungefähr gleich gross wie die Belastungen durch die Produktion neuer Geräte zur Instandhaltung und Erweiterung des Gerätelparkes. Andere Zusammensetzungen des Stroms, z.B. mit einem hohen Anteil an Energie aus Kohlekraftwerken, würden die Belastungen während der Nutzungsphase erheblich vergrössern.

Betrachtet man die verschiedenen Nutzerkategorien, so gehen während der Nutzung die grössten Belastungen von den Grossunternehmen ($9.3 \cdot 10^{11}$ UBP) aus. Haushalte spielen, im Gegensatz zu der Produktion, mit $2.8 \cdot 10^{11}$ UBP nur noch eine untergeordnete Rolle. Dies kommt durch die Annahme zustande, dass in den Haushalten die meisten Internet-relevanten Geräte nur wenige Stunden pro Tag verwendet werden, im Gegensatz zu den Unternehmen, deren Geräte mindestens 5 Arbeitstage pro Woche eingeschaltet sind. Server, Router, Switches und Kühlsysteme bleiben gemäss Annahmen immer eingeschaltet.

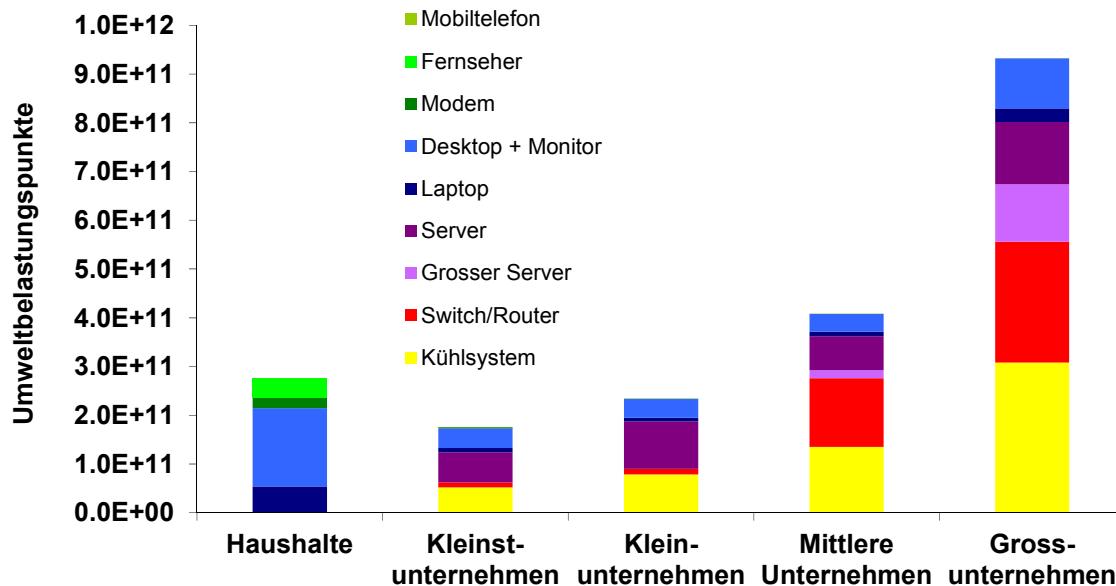


Abbildung 23: Umweltbelastung der Nutzungsphase durch die verschiedenen Nutzerkategorien und ihren jeweiligen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Die Kategorie DSL weisst auch in der Nutzungsphase wiederum die grössten Belastungen auf (Abbildung 24). Diese sind mit $6.5 \cdot 10^{10}$ UBP um einen Faktor 2 grösser als diejenigen der Produktion. Dies beruht erneut darauf, dass die Geräte der Providernetzwerke immer in Betrieb sind. Die Kategorie Kabel weist einen kleineren Gerätelpark auf und verfügt auch vermehrt über kleine Geräte mit einem geringeren Energieverbrauch und kommt auf eine Belastung von $2.0 \cdot 10^{10}$ UBP Das Mobilfunknetz UMTS/GSM verursacht vor allem durch den Betrieb von Basisstationen und ihre Kühlssysteme eine Belastung von $1.7 \cdot 10^{10}$.

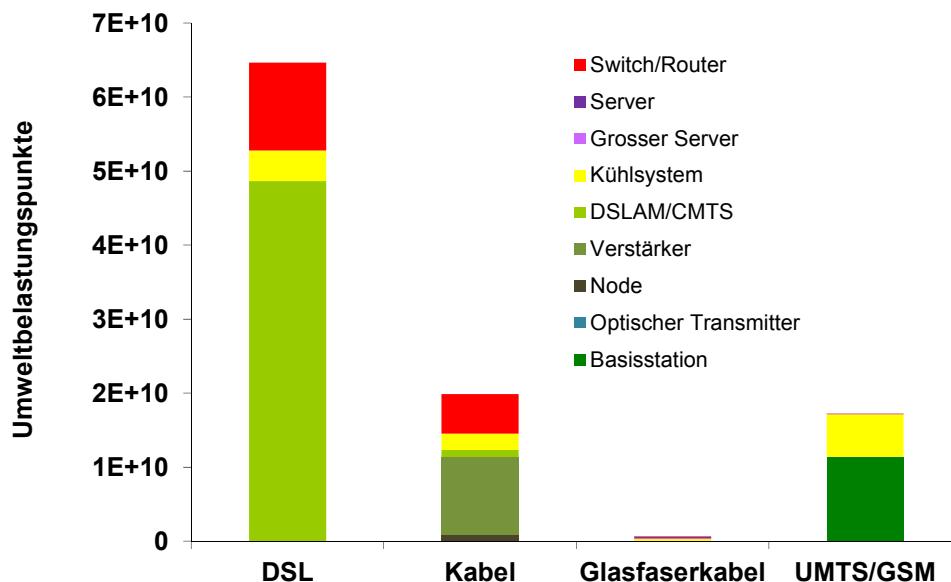


Abbildung 24: Umweltbelastung der Nutzungsphase durch die verschiedenen Providerkategorien und ihren jeweiligen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Die Endgeräte der Nutzer erzeugen während der Nutzungsphase eine totale Belastung von $2.0 \cdot 10^{12}$ UBP der Betrieb der Netzwerkinfrastruktur der Provider $1.0 \cdot 10^{11}$ UBP. Es sind also wiederum die Nutzer, die aufgrund des hohen Energiekonsums der Endgeräte eine rund 20-mal höhere Belastung verursachen.

4.1.4.4 Entsorgung

Die Entsorgung nach neusten technologischen Standards erzeugt kaum weitere Umweltbelastungen sondern es kann durch die stoffliche Verwertung die Primärproduktion verringert werden (Abbildung 25). Dieser für die Umwelt positive Beitrag wird durch negative Umweltbelastungspunkte ausgedrückt. Die Grösse der verringerten Umweltbelastung hängt mit der Materialintensität sowie der Verwertbarkeit der einzelnen Geräte zusammen, weshalb in der Entsorgung materialintensive Kategorien wie die Haushalte ($-1.6 \cdot 10^{11}$) und die Grossunternehmen ($-9.9 \cdot 10^{10}$) auch am meisten Primärressourcen einsparen können.

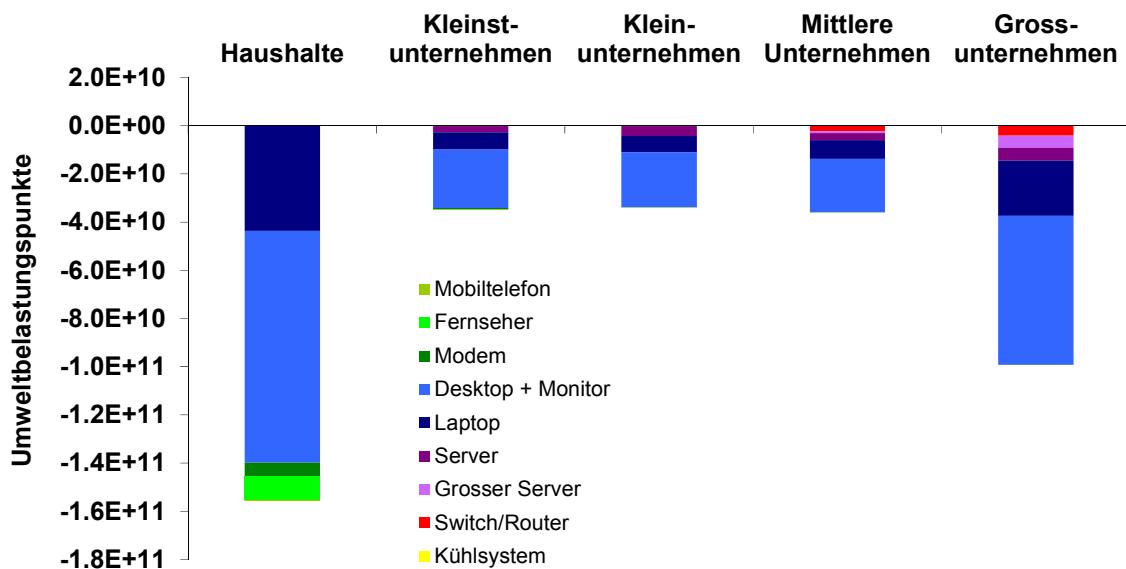


Abbildung 25: Umweltbelastung der Entsorgungsphase durch die verschiedenen Kategorien von Nutzern, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

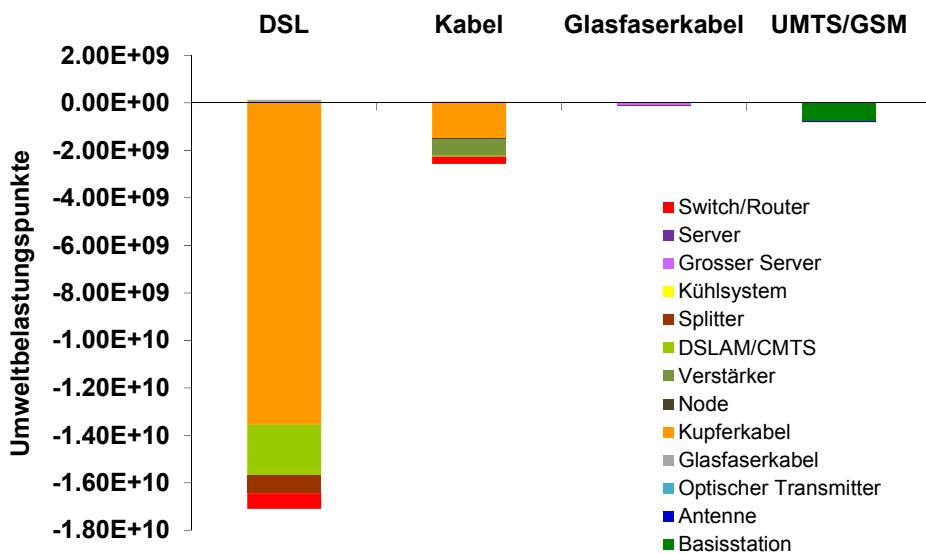


Abbildung 26: Umweltbelastung der Entsorgungsphase durch die verschiedenen Kategorien von Zugangstechnologien, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Die Entsorgung der Geräte der Zugangstechnologien (Abbildung 26) führt ebenfalls grösstenteils zu negativen Umweltbelastungen. Vor allem durch die relativ einfache stoffliche Verwertung der Kupferkabel kann die Produktion von primärem Kupfer eingespart werden. Die übrigen Geräte werden in einem aufwändigeren Prozess aufbereitet und rezykliert, somit sind ihre Anteile an den „Einsparungen“ geringer. Einzig die für die Kategorien DSL, Kabel und Glasfaserkabel verwendeten Glasfaserkabel können z.Z. keiner stofflichen Ver-

wertung zugeführt werden und führen durch die thermische Entsorgung zu geringfügigen Umweltbelastungen. Die Umweltbelastungspunkte der Kategorie Glasfaserkabel sind mit $-9.6 \cdot 10^7$ wiederum sehr klein und in Abbildung 26 kaum sichtbar.

4.1.5 Szenarien

Das für diese Studie erstellte Modell mit allen aktuellen Input-Parametern stellt eine Momentaufnahme der heutigen Infrastruktur dar. Die verfügbaren Daten erlauben es jedoch, verschiedene Szenarien abzuleiten oder auch zukünftige Entwicklungen einzubeziehen.

Im Folgenden werden zwei mögliche Zukunftsszenarien für das Schweizer Netzwerk vorgestellt.

4.1.5.1 'Mobiles Internet'

Im Grundmodell für 2009 sind die Allokationsfaktoren für die Nutzungszeit des Mobilfunknetzes UMTS/GSM für das Internet mit 7.5% sehr klein. Die aktuellen Entwicklungen zeigen jedoch, dass der Anteil an mobilem Internet bereits sehr stark gewachsen ist und in den kommenden Jahren noch stärker anwachsen wird. So mit wird der Anteil der Infrastruktur des Mobilfunknetzes, welcher dem Internet Schweiz angerechnet wird, ebenfalls stark zunehmen.

Für das Szenario 'Mobiles Internet' wurde für den Allokationsfaktor der Nutzungszeit ein exponentielles Wachstum von 7.5% im Jahr 2009 auf 100% im Jahr 2030 angenommen und die jeweilige Zunahme der UMTS/GSM Infrastruktur, welche dem Internet angerechnet wird, quantifiziert (siehe Abbildung 27).

Im Jahr 2009 betrug die allozierte UMTS/GSM Infrastruktur knapp 3'000 Tonnen. Mit einer 100% Allokation der Nutzungszeit würde die UMTS/GSM Infrastruktur knapp 39'000 Tonnen zum Gesamtgewicht beitragen. Das Gesamtgewicht der Infrastruktur des Schweizer Netzwerks würde von 103'200 auf 139'000 Tonnen anwachsen, was einer Zunahme von 35% entspricht (Abbildung 27).

Ein Allokationsfaktor von 100% ist wahrscheinlich nicht zu erreichen, da neben dem Internet die Mobilfunktelefonie weiterhin eine bedeutende Rolle spielen wird. Werden jedoch die Datenmengen betrachtet, so werden in Zukunft weit grössere Datenflüsse für das Internet als für die Telefonie über das Mobilfunknetzwerk geschickt werden.

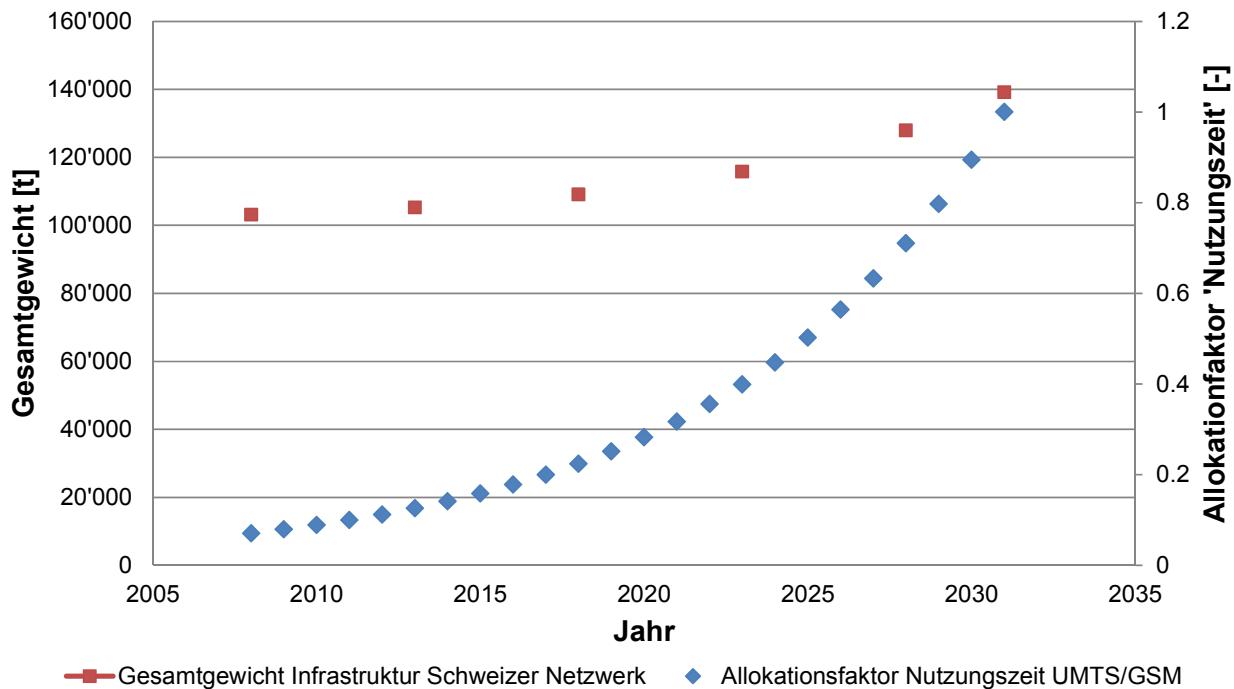


Abbildung 27: Zunahme des Gesamtgewichts der Infrastruktur des Schweizer Netzwerks bei einer Zunahme des Allokationsfaktors 'Nutzungszeit' für das mobile Internet.

4.1.5.2 'Ökologisches Internet'

Das Szenario 'Ökologisches Internet' betrachtet mögliche Auswirkungen durch den Gebrauch von weniger materialintensiven Geräten mit einer längeren Lebensdauer und einem geringeren Energieverbrauch.

Angewandt wurde das Szenario auf Desktop und Laptop Computer sowie Fernsehgeräte, da für diese Geräte gute Datenquellen bezüglich der Anzahl vorhandenen Geräte, Lebensdauer und Energieverbrauch vorhanden sind.

Anstatt der heutigen Verteilung von 46% Desktops und 54% Laptops wurde angenommen, dass in Haushalten und Unternehmen nur noch rund 20% Desktops und dafür 80% Laptops verwendet werden. Die Gesamtzahl an Computern bleibt unverändert, ebenso die Zahl an Internet-fähigen Fernsehgeräten. Weiter wurde die Lebensdauer von Laptops von 3 auf 4 Jahre, diejenige von Fernsehgeräten von 5 auf 7 Jahre erhöht. Die Lebensdauer von Desktops bleibt unverändert bei 5 Jahren. Für den geringeren Energieverbrauch wurde ein Mittelwert der energieeffizientesten Geräte, welche heute gemäss Top Ten (Topten International Group 2011) und Energy Star (Energystar 2011) auf dem Markt sind, berücksichtigt. Alle Annahmen sowie die resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Annahmen und Resultate Szenario 'ökologisches Internet'.

	Anzahl Geräte		Lebensdauer		Gesamtgewicht [t]		Gesamtenergieverbrauch [GWh/Jahr]	
	Grundmodell	Ökol. Internet	Grundmodell	Ökol. Internet	Grundmodell	Ökol. Internet	Grundmodell	Ökol. Internet
Desktops	2'851'600	1'143'600	5	5	57'000	12'600	824	116
Laptops	3'313'600	5'049'200	3	4	8'300	22'900	235	124
Fernseher	233'900	233'900	5	7	3'700	3'700	83	29
Total					103'200	73'600	4'580	3'710
Abnahme in %						29%		19%

Aufgrund des Wechsels von Desktops zu Laptops nimmt das Gesamtgewicht der Computer um rund 30'000 Tonnen ab. Insgesamt führt der Gerätewechsel zu einer Abnahme des Gesamtgewichts der Infrastruktur des Schweizer Netzwerks um 29% ab. Der Energieverbrauch nimmt bei den Computern um über 800 GWh/Jahr ab, bei den Fernsehern um rund 50 GWh/Jahr. Insgesamt nimmt der Energieverbrauch der Infrastruktur des Schweizer Netzwerkes um gut 20% ab.

Betrachtet man die Umweltauswirkungen, so können durch den Ersatz von Desktops mit Laptops die Belastungen durch die Produktion um 26% sowie durch die Nutzung um 16% verringert werden (Tabelle 7). Bei der Entsorgung der Geräte können aufgrund der weniger materialintensiven Laptops dann natürlich auch weniger Gutschriften erworben werden.

Tabelle 7: Resultate der LCA des Szenario 'ökologisches Internet' in UPB

	Grundmodell (UPB)	Ökologisches Internet (UPB)	Abnahme in %
Produktion	2.6E+12	1.9E+12	27%
Nutzung	2.1E+12	1.8E+12	16%
Entsorgung	-3.7E+11	-2.4E+11	34%

Dieses einfache Szenario zeigt, dass mit relativ einfachen Mitteln wie dem Austausch eines materialintensiven Gerätes mit einem leichteren Gerät, dem Heraufsetzen der Lebensdauer sowie mit dem konsequenten Anwenden energieeffizienter Geräte bereits sehr viel Material und Energie gespart werden kann.

4.2 Datenimport und –export

4.2.1 Import, Export und interner Datenverkehr

Die Extrapolation der von den verschiedenen ISP zur Verfügung gestellten Daten ergibt einen mittleren Datenimport von 80 Gbps, oder rund 300 PB/Jahr. Die Datenexporte sind mit 35 Gbps oder 132 PB/Jahr rund 2.3 mal kleiner als die Importe. Der grosse interne Schweizer Datenverkehr von 66 Gbps oder 247 PB/Jahr kommt vor allem durch 'Content Delivery Networks' (CDN's) zustande, welche populäre Inhalte wie z.B. MS Windows Updates oder sehr gefragte Videos in der Schweiz speichern und diese über das interne Netzwerk verteilen. Eine weitere wichtige Rolle im internen Datenverkehr spielt der IPTV. Abbildung 28 zeigt eine Übersicht über die den Datenimport, -export und den internen Datenverkehr.

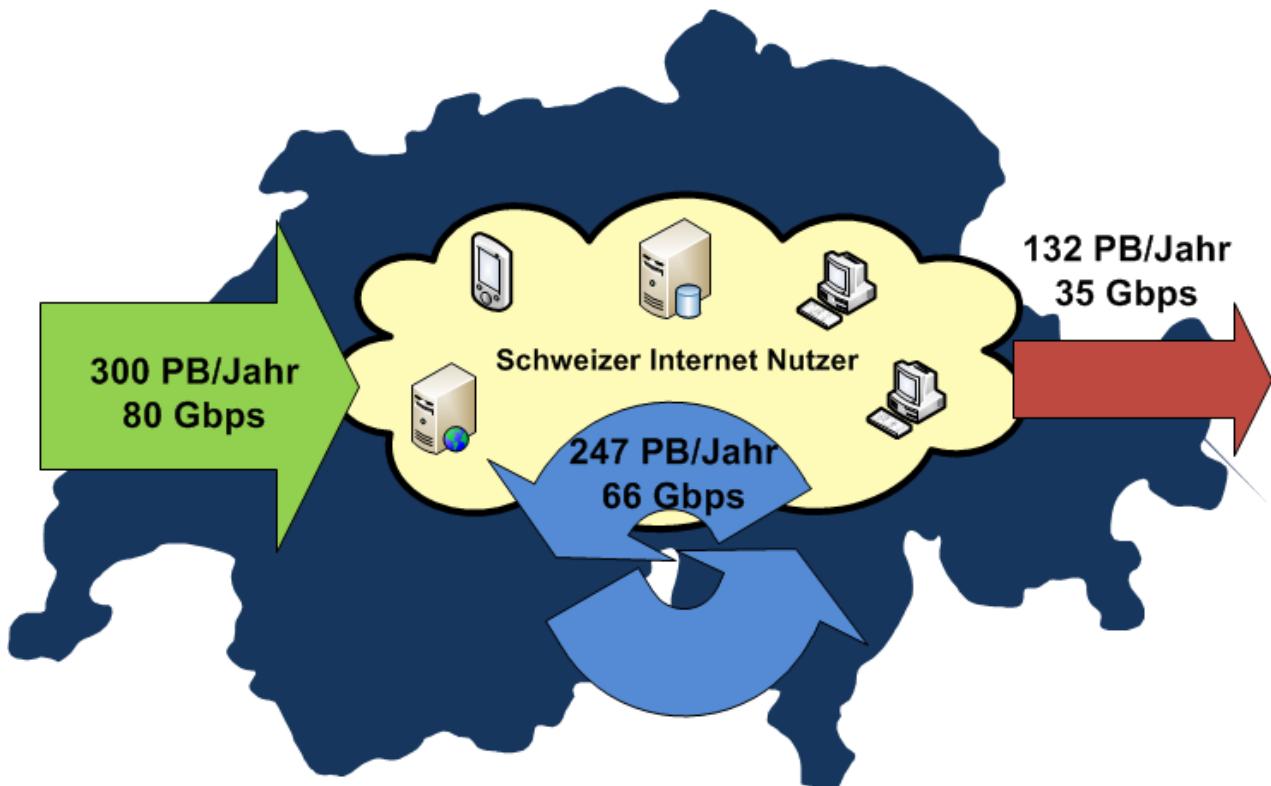


Abbildung 28: Import, Export und interner Datenverkehr der Schweiz im Jahr 2010 (1 PetaByte (PB) = 10^{15} Bytes $\approx 1\,500\,000$ CD-ROM, 1 GigaBit pro Sekunde (Gbps) = 125×10^6 Bytes/sec).

4.2.2 Aufteilung des Datenverkehrs in Anwendungen

Der Datenverkehr wird dominiert von den drei Anwendungen 'Web', Video und Audio streaming' und 'Peer-to-peer'. Dabei ist der Datenimport immer grösser als der Export, mit Ausnahme von 'Kommunikation' und 'Gaming', wo der Verkehr symmetrisch ist (siehe Abbildung 29). In Abbildung 30 ist der interne Schweizer Datenverkehr mitberücksichtigt, welcher hauptsächlich aus Daten für IPTV, aber auch 'Video und Audio streaming' und 'Web' besteht. Der grösste Anteil am Verkehr der zwei letzten Anwendungen stammt von CDNs. Ohne die CDNs wäre also der Datenimport beträchtlich grösser.

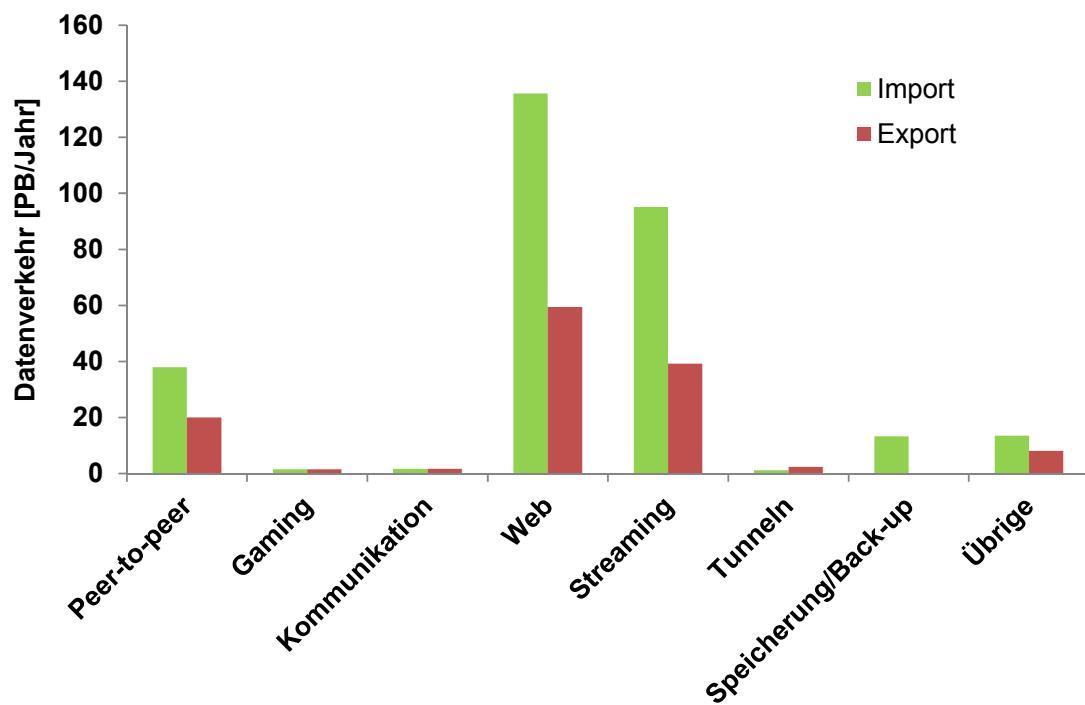


Abbildung 29: Vergleich zwischen Datenimport und -export für jede Anwendung (2010)

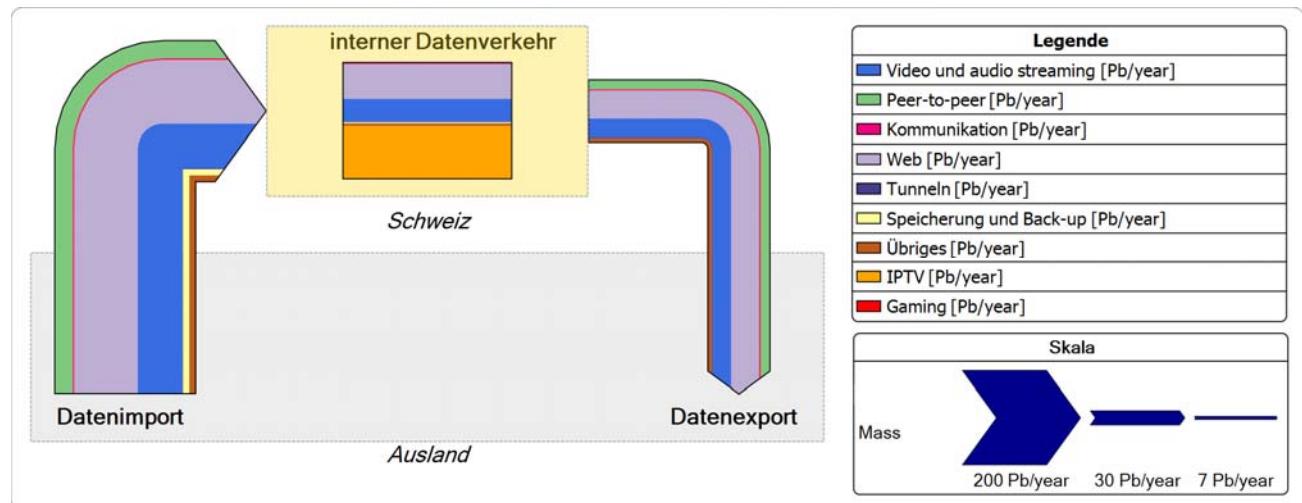


Abbildung 30: Import, Export und interner Datenverkehr der Schweiz im Jahr 2010 in Mbps, aufgeteilt nach Anwendungen

4.2.3 Massenflussanalyse

Das Inventar wurde gemäss Abbildung 3 für 1 PB/Jahr Datenimport oder Export erstellt und dann auf die effektiven Datenflüsse pro Anwendung extrapoliert. Zusammen mit den Annahmen zu Gewicht und Lebensdauer der berücksichtigten Geräte (siehe Tabelle 9 im Anhang) kann die Masse der Infrastruktur berechnet werden, welche aufgrund des Schweizer Datenimports und -exports im Ausland bzw. in der Schweiz mitbenutzt wird, sowie die Massenflüsse, welche zum Erhalt dieser Infrastruktur ausgelöst werden.

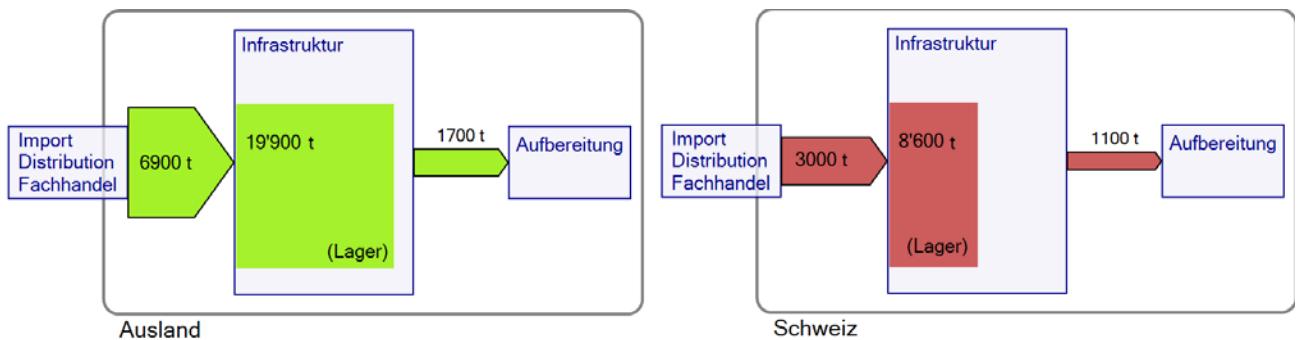


Abbildung 31: Infrastruktur im Jahr 2010 welche im Ausland durch Schweizer Datenimporte und in der Schweiz durch Datenexporte von Schweizer bzw. ausländischen Nutzern mitbenutzt wird, sowie Massenflüsse, welche zum Erhalt dieser Infrastruktur ausgelöst werden

Im Jahr 2010 waren rund 20'000 t Infrastruktur im Ausland notwendig, um die Inhalte der Schweizer Datenimport bereit zu stellen sowie zu transferieren. Im gleichen Jahr wurde ein Anteil von rund die Hälfte mit 8'600 t Geräte in der Schweiz von ausländischen Nutzern mitbenutzt. Der Massenfluss, um diese Infrastruktur zu erhalten, erneuern und erweitern betrug im Ausland 6'900 t, in der Schweiz 3'000 t. Der Output aus der Infrastruktur ist mit 1'700 t und 1'100 t eher klein. Es wird angenommen, dass die Entsorgungswege des Outputs im Ausland und in der Schweiz ähnlich sind. Genaue Details über Input und Output Flüsse im Ausland konnten nicht erhoben werden.

4.2.4 Lebenszyklusanalyse

4.2.4.1 Gesamtbetrachtung

Die LCA der Datenimport und -exporte während einem Jahr zeigt, dass die grössten Umweltauswirkungen während der Nutzungszeit entstehen (Abbildung 32), da die meisten Geräte, welche für die Datenübertragung benötigt werden, immer in Betrieb sind. Bei den Datenimporten sind die Belastungen während der Nutzung mit $2.6 \cdot 10^{11}$ UBP rund 2-mal, bei den Exporten mit $1.2 \cdot 10^{11}$ UBP rund 1.3-mal grösser als während der Produktion ($1.3 \cdot 10^{11}$ resp. $8.9 \cdot 10^{10}$ UBP). Dieser Unterschied kommt durch die unterschiedlichen Geräte und ihre Nutzung zustande, welche für die Datenimporte und -export benötigt werden sowie auch durch den unterschiedlichen Strommix: für den Datenexport wurde mit dem Schweizer Strommix gerechnet, für den Import wurde entsprechend den Herkunftsländern und ihrem Anteil am Datenimport ein Strommix erstellt, welcher durch einen signifikanten Anteil an Energie aus Kohlekraftwerken zu einer höheren Umweltbelastung führt. In der Entsorgung kann durch die stoffliche Verwertung die Primärproduktion verringert werden, was durch negative Umweltbelastungspunkte ausgedrückt wird ($-3.2 \cdot 10^{10}$ resp. $-2.2 \cdot 10^{10}$ UBP).

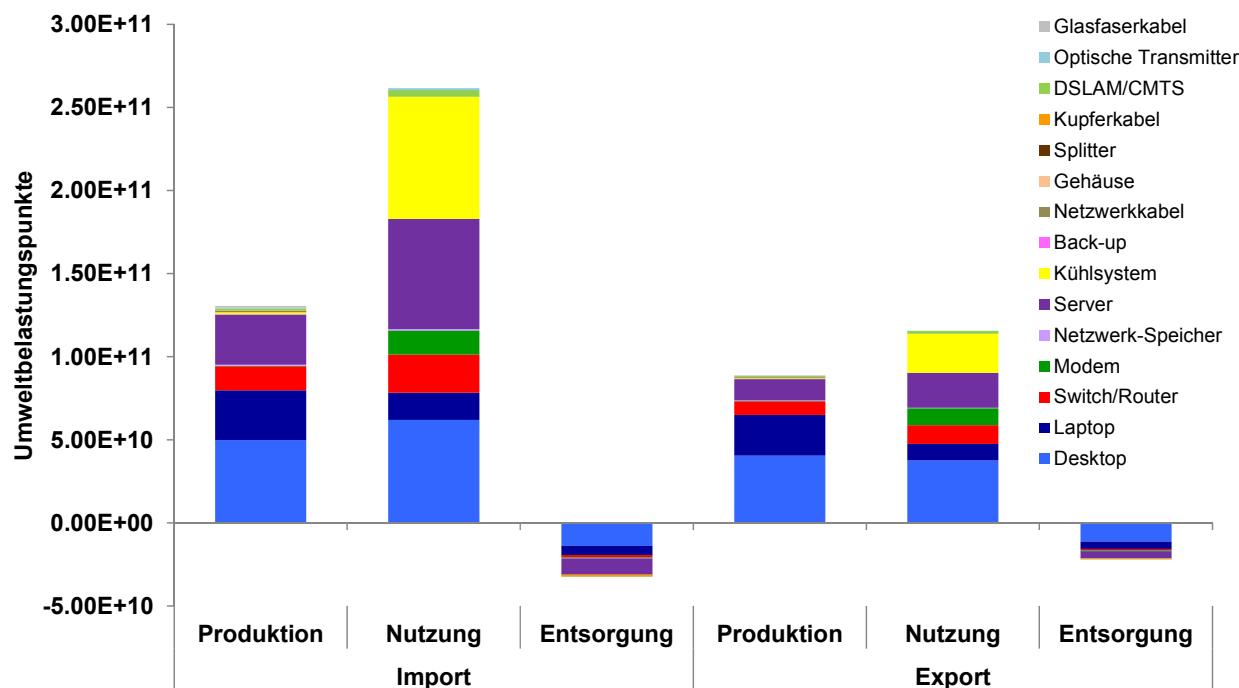


Abbildung 32: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen Produktion, Nutzung und Entsorgung der notwendigen Infrastruktur für den Datenimport sowie -export, aufgeteilt nach Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Während der Produktion machen bei Import und Export wiederum Desktop und Laptop Computer den grössten Anteil an der Belastung aus. Während der Nutzung sind es zusätzlich Server, Router und Switches und ihre Kühlsysteme, welche viel Energie konsumieren und deshalb einen grossen Beitrag zur Gesamtbelastung leisten.

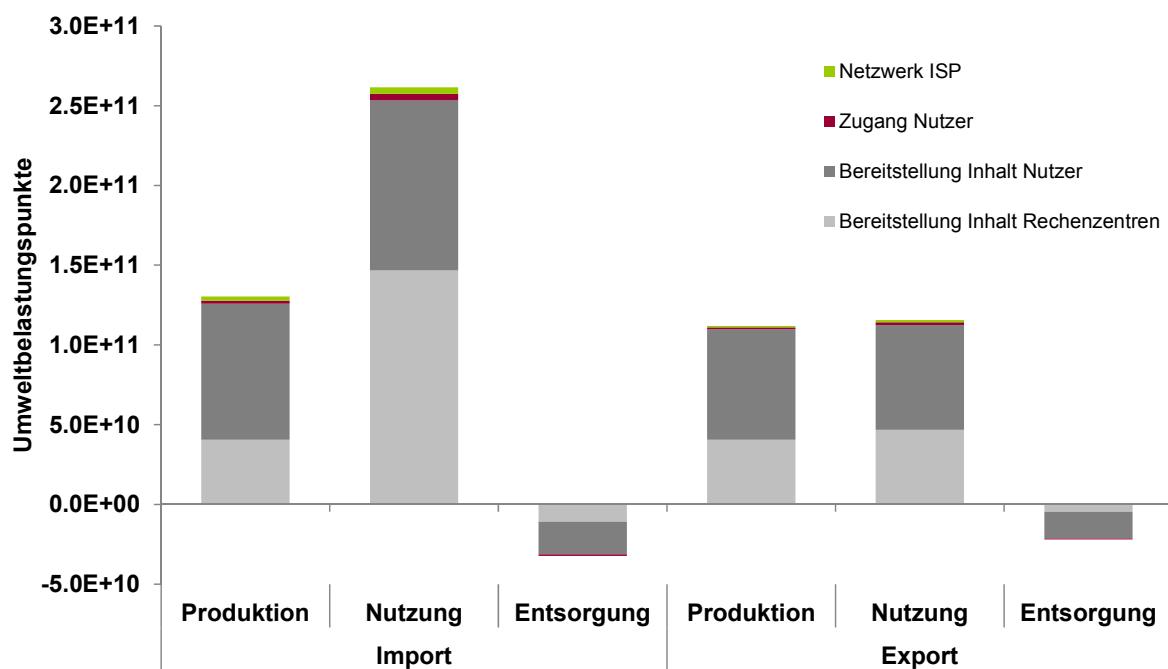


Abbildung 33: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen Produktion, Nutzung und Entsorgung der notwendigen Infrastruktur für den Datenimport sowie -export, aufgeteilt nach Netzwerk-Teilbereich, gemessen in Umweltbelastungspunkten.

Betrachtet man die LCA aufgeteilt nach den drei Netzwerk-Teilbereichen 'Bereitstellung des Inhalts durch Rechenzentren und Nutzer', 'Zugang Nutzer' und 'Netzwerk ISP', so ist klar zu erkennen, dass sowohl bei den Datenimporte wie -exporten während der Produktion und der Nutzung Umweltauswirkungen hauptsächlich durch Geräte der Nutzer und der Rechenzentren entstehen (Abbildung 33). Der Zugang der Nutzer sowie die Netzwerke der ISPs haben in beiden Phasen nur einen insignifikanten Anteil. Dies zeigt wiederum, dass negative Umweltauswirkungen hauptsächlich durch die Endgeräte verursacht werden und dass der Datentransport selbst über weite Strecken keine wesentlichen Belastungen erzeugt.

4.2.4.2 Produktion

Werden die Belastungen durch die Produktion aufgeteilt nach Anwendungen und Geräten, so ist wiederum klar zu erkennen, dass die Anwendungen 'Peer-to-peer', 'Gaming' und 'Kommunikation', und die dafür benötigten Endgeräte der Nutzer, Desktops und Laptops, die grössten Umweltbelastungen verursachen. Einen rund 4-mal kleineren Anteil haben 'Web', 'Multimedia', 'Tunneln', 'Speicherung/Back-up' und 'Übrige' und die dafür genutzten Geräte.

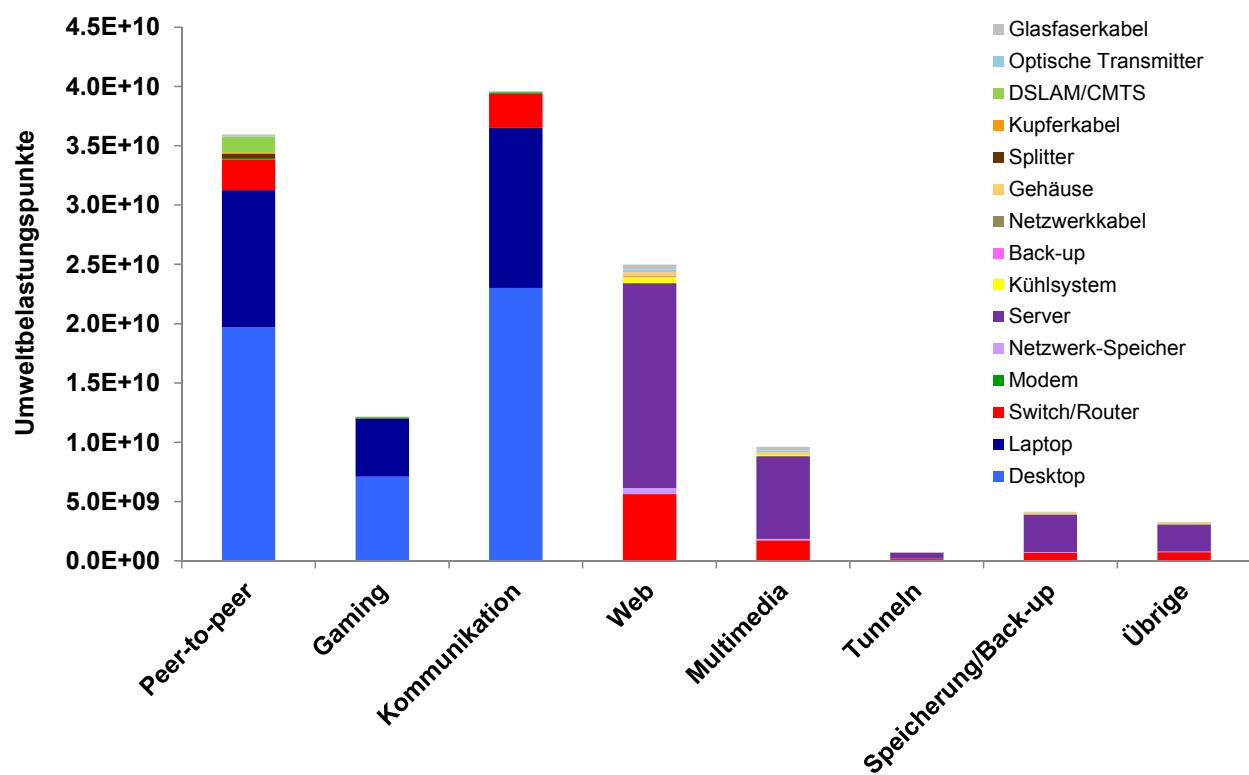


Abbildung 34: Umweltbelastungen der Produktion, aufgeteilt nach Anwendungen und Geräte, gemessen in Umweltbelastungspunkten. Es ist nur der Datenimport berücksichtigt.

4.2.4.3 Nutzung

Die Anwendung 'Web' und die dafür benötigte Infrastruktur an Servern und Speicher, Router und Switches und die damit verbundenen Kühlsysteme, verursachen während der Nutzung die grösste Umweltbelastung. Der Betrieb der Endgeräte für die Anwendungen 'Peer-to-peer', 'Gaming' und 'Kommunikation' ist etwas weniger signifikant, da diese Geräte nicht immer in Betrieb sind.

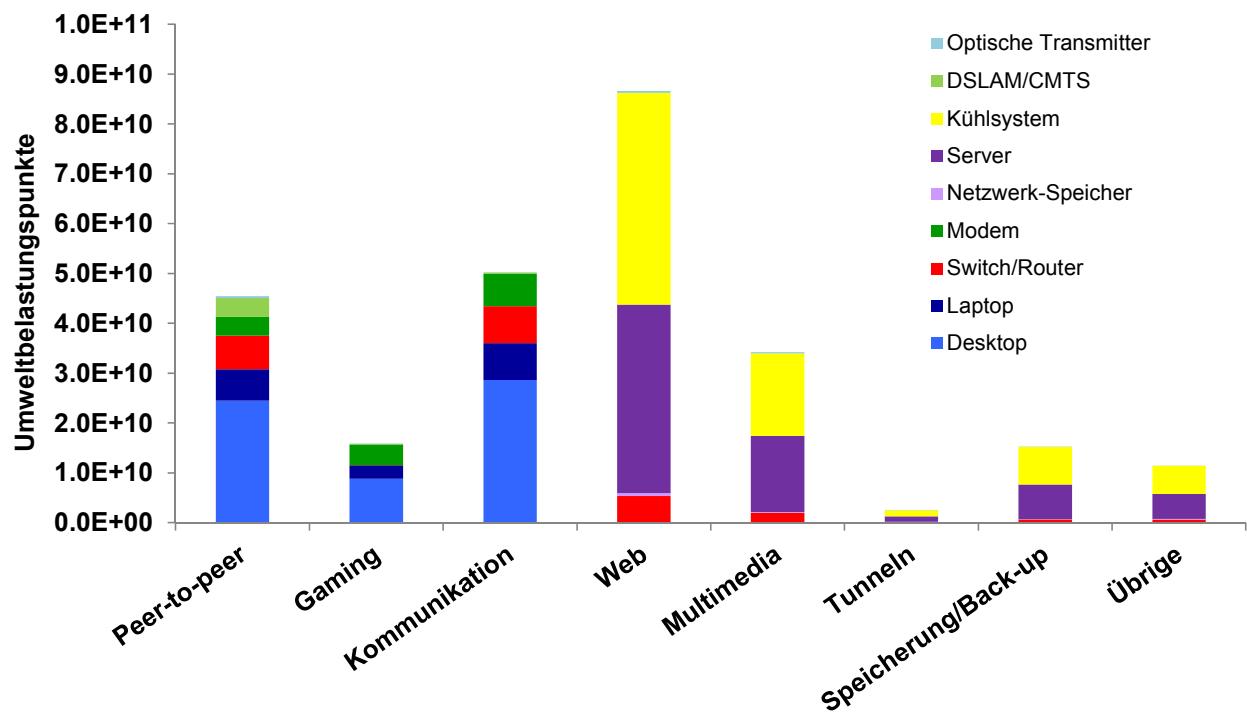


Abbildung 35: Umweltbelastungen der Nutzung, aufgeteilt nach Anwendungen und Geräte, gemessen in Umweltbelastungspunkten. Es ist nur der Datenimport berücksichtigt.

4.2.4.4 Entsorgung

Die Ergebnisse für die Entsorgung korrelieren mit den Resultaten der Produktionsphase und werden somit nicht separat dargestellt. Diejenigen Geräte, welche die grössten Belastungen während der Produktion erzeugen, können in der Entsorgung durch ein umweltgerechtes Recycling und die damit verbundene Gewinnung von Sekundärressourcen auch am meisten Umweltbelastungen vermeiden. Die vermiedenen Umweltbelastungen beziehen sich meist auf die Gewinnung und Verarbeitung von Metallen (z.B. Vermeidung von Emissionen in die Luft sowie Oberflächengewässer).

4.3 Dienstleistung 'Internet Schweiz'

Die Resultate des Schweizer Netzwerks werden nun mit den Resultaten des Datenimports und -exports kombiniert, um ein komplettes Bild über den Materialverbrauch und die Umweltauswirkungen der gesamten Dienstleistung 'Internet Schweiz' zu erhalten.

Die Infrastruktur der gesamten Dienstleistung 'Internet Schweiz' umfasst rund 123'000 Tonnen Material (Abbildung 36). Rund 19'900 Tonnen oder 20% davon ist ausländische Infrastruktur, welche von Schweizer Nutzern verwendet wird. 8'600 Tonnen oder 8 % des Schweizer Netzwerkes werden von Ausländern benutzt.

Bei der Massenflussanalyse wurde angenommen, dass die nicht mehr gebrauchten Geräte in dieselben Entsorgungspfade gelangen wie in der Schweiz. Dies ist jedoch nicht in jedem Fall gewährleistet. Der Anteil an im Ausland recycelten Geräten ist jedoch mit 1'700 Tonnen relativ klein.

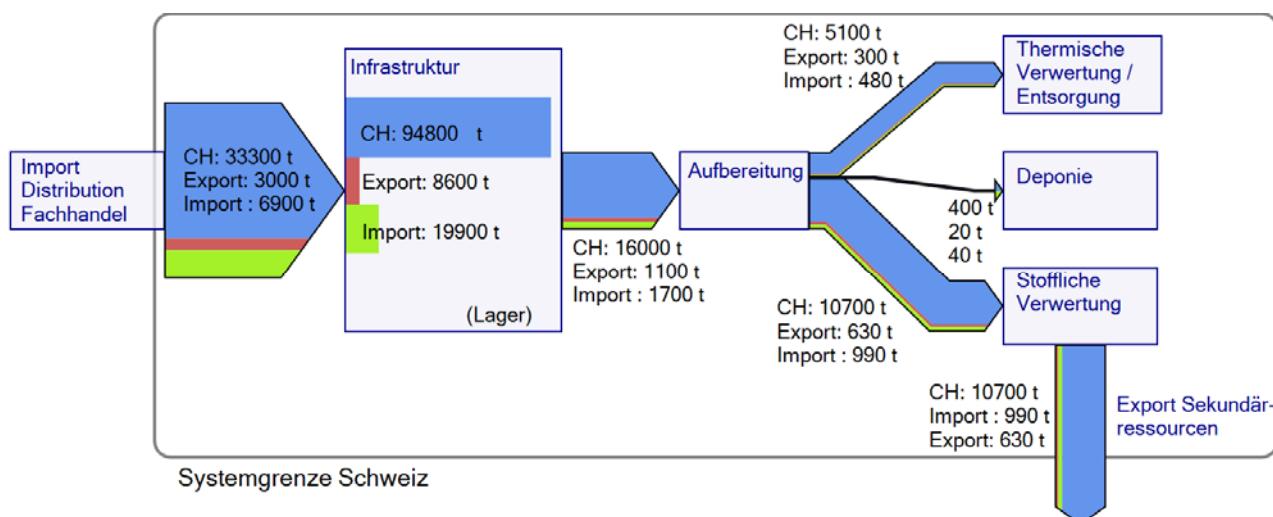


Abbildung 36: Massenflüsse der gesamten Infrastruktur der Dienstleistung 'Internet Schweiz' im Jahr 2009 in Tonnen. CH: Infrastruktur von Schweizern innerhalb der Schweiz genutzt. Export: Infrastruktur von Ausländern in der Schweiz genutzt. Import: Infrastruktur von Schweizern im Ausland genutzt

Bei der LCA über die gesamte Dienstleistung 'Internet Schweiz' während eines Jahres (siehe Abbildung 37) kommen bei der Produktion zu den $2.6 \cdot 10^{12}$ UBP des Schweizer Netzwerkes noch $1.3 \cdot 10^{11}$ UBP durch den Import dazu. Dies ergibt dann eine totale Umweltbelastung von $2.7 \cdot 10^{12}$ UBP. Der Anteil der Umweltbelastungen, welche für die Produktion von Geräten im Ausland verursacht werden, beträgt lediglich 5%. Und nur 3% der Belastungen durch die Produktion des Schweizer Netzwerkes kann ausländischen Nutzern zugeschrieben werden.

Während der Nutzung beträgt die totale Umweltbelastung $2.4 \cdot 10^{12}$ UBP. Rund 11% davon entfallen auf den Betrieb von ausländischer Infrastruktur und 5% entsteht durch die Bereitstellung und Transport der Daten für den Export.

Durch die Entsorgung können total $4.1 \cdot 10^{11}$ UBP vermieden werden. Davon entfallen ca. 8% auf das Ausland.

Insgesamt beträgt die totale Umweltbelastung des Schweizer Netzwerks während eines Jahres $4.7 \cdot 10^{12}$ UBP.

Obwohl die Schweiz 1.2-mal so viele Daten importiert, wie innerhalb des Schweizer Netzwerkes verkehren, macht die im Ausland genutzte Infrastruktur nur 20% des gesamten Materialverbrauchs aus und verursacht nur 5 - 11% der gesamten Umweltbelastungen. Ein Vergleich des Energieverbrauchs ist leider aufgrund der vorhandenen Daten nicht möglich.

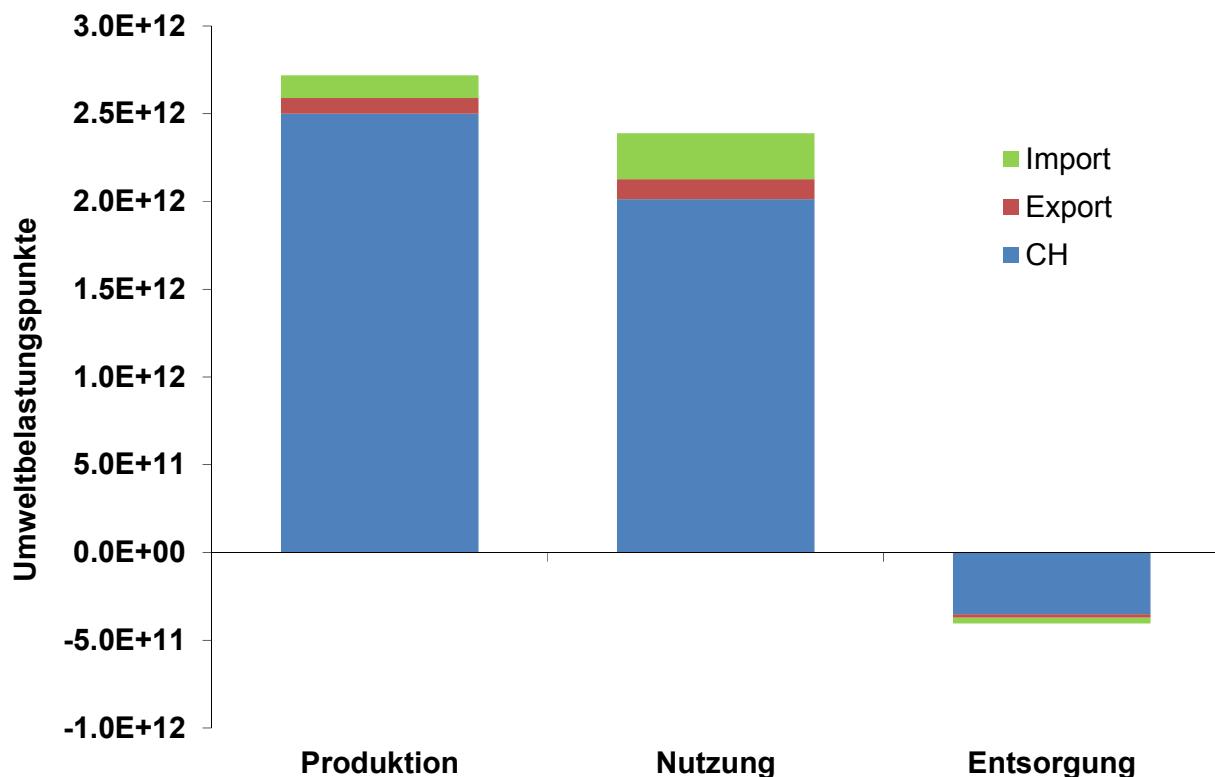


Abbildung 37: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen Produktion, Nutzung und Entsorgung der gesamten Infrastruktur der Dienstleistung 'Internet Schweiz' gemessen in Umweltbelastungspunkten. CH: Umweltbelastungen innerhalb der Schweiz. Export: Umweltbelastungen innerhalb der Schweiz, verursacht durch Datenexport. Import: Umweltbelastungen im Ausland, verursacht durch Datenimport.

4.4 Datenunsicherheit

4.4.1 Schweizer Netzwerk

Die grundlegenden Daten der Studie beruhen auf wenigen Interviews mit IT-Spezialisten der verschiedenen Nutzerkategorien sowie den ISP Swisscom, Cablecom und Switch, auf Statistiken verschiedener Bundesämter und auf Literaturstudien. Um ein Modell der Infrastruktur des Internets zu erstellen, mussten diese Daten extrapoliert und mit eigenen Abschätzungen ergänzt werden. Sowohl die Extrapolation wie auch die eigenen Abschätzungen bringen eine gewisse Datenunsicherheit mit sich.

Um die Auswirkungen der Datenunsicherheit zu überprüfen, wurde eine Sensitivitätsanalyse des in Kapitel 3.2.5 vorgestellten mathematischen Modells gemacht, um die sensitivsten Parameter zu identifizieren. Gleichzeitig wurden alle Parameter gemäss ihrer Datenqualität oder Unsicherheit klassifiziert. Diejenigen Parameter, welche eine hohe Sensitivität bei gleichzeitiger hoher Unsicherheit aufwiesen, wurden wenn möglich erneut untersucht, um eine bessere Datenqualität zu erhalten. Dennoch sollen die hier vorgestellten Daten und Resultate als Größenordnungen und nicht als exakte Zahlen verstanden werden.

4.4.2 Datenimport und -export

Eine genaue Untersuchung der Unsicherheiten der Berechnungen im Zusammenhang mit Datenimporten und -exporten wurde nicht gemacht. In (Girardin 2011) werden jedoch diese Unsicherheiten, zusammen mit den Grenzen der Studie eingehend diskutiert, weshalb an dieser Stelle darauf verzichtet wird.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Schweizer Netzwerk

- Die Dienstleistung 'Internet Schweiz' beansprucht innerhalb der Schweiz eine Infrastruktur von 103'400 Tonnen Material, erzeugt 17'100 Tonnen Abfall, benötigt 4.6 TWh/Jahr an elektrischer Energie (zum Vergleich: KKW Mühleberg generiert ca. 3TWh/Jahr elektrische Energie) und erzeugt während eines Jahres eine Umweltbelastung von $4.3 \cdot 10^{12}$ Umweltbelastungspunkten. Dies entspricht ca. der Umweltbelastung von 1 Million Fahrzeugen während einem Jahr.
- Der Betrieb der gesamten Infrastruktur innerhalb der Schweiz verursacht rund 1.2-mal weniger Belastungen wie die Herstellung neuer Geräte zur Instandhaltung und Erweiterung der Dienstleistung Internet. Durch eine sachgerechte Entsorgung können rund 10% der Belastungen durch Herstellung und Nutzung kompensiert werden.
- Die Internetnutzer benötigen rund 3-mal mehr Material, verbrauchen rund 20-mal mehr Energie und verursachen während der Herstellungs- und Nutzungsphase 10- bzw. 20-mal mehr Umweltbelastungen als die Internetprovider. Allfällige Massnahmen im Bereich nachhaltiger Materialbewirtschaftung und Energieeffizienz sollten demnach vor allem auf die Endnutzer und ihre Endgeräte abzielen.
- Für den Materialkonsum sind hauptsächlich Computer (60%) und Kabel (20%), für den Energiekonsum Kühlsysteme (30%) sowie Server, Router/Switches und Computer (je 20%) verantwortlich.
- In der Herstellung verursachen Desktop Computer die höchsten Belastungen.
- Während der Nutzung sind nur der Stromverbrauch sowie die Einschaltzeit massgebend.
- Durch eine vermehrte Nutzung von Laptops anstelle von Desktops, die Verwendung von energieeffizienten Geräten und einer höheren Lebensdauer könnte der Materialkonsum um 30%, der Energiekonsum um 20% und die Umweltbelastungen um rund 25% (Herstellung) bzw. 15% (Nutzung) gesenkt werden.
- Die Infrastruktur besteht hauptsächlich aus Eisen, Kunststoff, Kupfer und Aluminium. Rund 66% dieser Stoffe werden im Recycling wiederverwertet. Diese Rate kann hauptsächlich durch ein verbessertes Kunststoffrecycling, welches technisch bereits möglich ist, angehoben werden.

5.2 Datenimport und -export

- Die Schweiz importiert mit 300 PB/Jahr 1.2-mal so viele Daten wie innerhalb der Schweiz verkehren (247 PB/Jahr). Der Export beträgt mit 132 PB/Jahr weniger als die Hälfte des Imports.
- Der Datenverkehr in der Schweiz wird durch IPTV und durch Daten aus Content Delivery Networks dominiert. Dadurch, dass populärer Internet-Inhalt innerhalb der Schweiz in Content Delivery Networks gespeichert wird, kann der Datenimport stark vermindert werden.
- Die Umweltbelastungen, welche durch Datenimporte und -exporte verursacht werden, sind für die Nutzungsphase am grössten, da die meisten betroffenen Geräte rund um die Uhr eingeschaltet sind. Für die Datenimporte fällt dies noch stärker ins Gewicht, da der ausländische Strommix weniger umweltfreundlich als der Schweizer Strommix ist.
- Während der Herstellung entstehen Belastungen hauptsächlich durch Endgeräte der Nutzer (Computer), während der Nutzungsphase verursacht jedoch die Bereitstellung des Inhalts in Rechenzentren die meisten Belastungen (Server, Switches, Router, Kühlsystem). Die Netzwerke der ISP spielen in beiden Phasen fast keine Rolle. Der Datentransport erzeugt also selbst über weite Strecken keine wesentlichen Belastungen.

5.3 Dienstleistung "Internet Schweiz"

- Durch den Datenimport benutzen wir im Ausland 19'900 Tonnen ICT Material mit. Der Betrieb und die Instandhaltung dieser Infrastruktur während eines Jahres verursacht $1.3 \cdot 10^{11}$ UBP (Produktion) und $2.6 \cdot 10^{11}$ UPB (Nutzung). Gleichzeitig benutzen durch den Datenexport ausländische Nutzer

8'600 Tonnen Material in der Schweiz mit. Der Betrieb und die Instandhaltung dieser Infrastruktur während eines Jahres verursacht $8.8 \cdot 10^{10}$ UBP (Herstellung) und $1.2 \cdot 10^{11}$ UPB (Nutzung).

- Trotz der 1.2-fachen Datenmenge, die wir im Vergleich zum internen Datenfluss in der Schweiz importieren, macht die im Ausland genutzte Infrastruktur nur 20% der Gesamtmasse aus und verursacht nur 5 - 11% der gesamten Umweltbelastungen.
- Der Datenimport ist mehr als doppelt so hoch wie der Datenexport. Materialverbräuche und Umweltbelastungen durch den Import werden also nicht mit dem Export kompensiert.

5.4 Spezifischer Energiebedarf und Materialverbrauch

Um ein eingängiges Mass für die Material- und Energieintensität des Internets zu erhalten, wurde folgende Analogie zu einem Auto benutzt:

Beides sind Maschinen, die für den erbrachten Dienst (Transportdistanz bzw. Datenmengen) Energie brauchen; beim Auto wird dies in Liter Benzin pro 100km oder in MJ/km angegeben - beim Internet entsprechend in Wh/Byte. Der Materialverbrauch entspricht im 'Steady State' (=Gleichgewicht, d.h. Infrastruktur wächst nicht) dem Abfall, den die Maschine im Betrieb und bei der Entsorgung produziert. Dies ist beim Auto dessen Gesamtgewicht inkl. aller Ersatzteile bezogen auf dessen Lebensfahrdistanz (1'500kg und 150'000km) in kg/km, beim Internet entspricht dies dem Elektronikschatz in kg/bit,

Diese Sichtweise ist eher beschränkt und lässt vor alle die 'Rucksäcke' während allen Lebensphasen weg z.B. werden die an die Energieträger gekoppelten 'Abfälle' wie CO₂ nicht mitgewogen. Ebenso werden die Gutschriften durch Recycling weggelassen.

Nichtsdestotrotz ergibt dies einfach zu berechnende, nachvollziehbare und mit anderen Dienstleistungen vergleichbare Kennzahlen für die Material- und Energieintensität.

Spezifischer Energiebedarf:

$$\text{Energie}/\text{Data} [\text{Wh}/\text{Byte}] = x [\text{GWh}/\text{a}] / y [\text{PB}/\text{a}]$$

Spezifischer Materialverbrauch:

$$\text{Masse}/\text{Data} [\text{g}/\text{Byte}] = z [\text{t}/\text{a}] / y [\text{PB}/\text{a}]$$

Die für die Berechnung der Kennzahlen notwendigen Werte sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Bilanz wird folgendermassen berechnet:

$$\text{Bilanz} = \text{Schweiz total} + \text{Datenimport} - \text{Datenexport}$$

Tabelle 8: Energieverbrauch, Datenströme und Materialverbrauch der Dienstleistung 'Internet Schweiz'.
Schweiz total: Materialverbrauch und Energieverbrauch in der Schweiz, verursacht durch Schweizer und aus der Schweiz exportierten Datenströme , **Datenimport:** Materialverbrauch und Energieverbrauch in Ausland, verursacht durch in die Schweiz importierte Datenströme, **Datenexport:** Materialverbrauch und Energieverbrauch in der Schweiz, verursacht durch aus der Schweiz importierten Datenströme.

Datenstrom	Energie (x) [GWh/Jahr]	Daten (y) [PB/Jahr]	Material (z) [t/Jahr]
Schweiz total	4'640	379	17'100
Datenimport	570*	300	1'700
Datenexport	250*	132	1'100
Bilanz	5'110	547	17'700

*Energiebedarf Import und Export berechnet aus Schweizer Bedarf und den jeweiligen UBP während der Nutzung.

Die Kennzahlen sind für 2009:

Spezifischer Energiebedarf: 9 GWh/PB bzw. 9 Wh/MB

Spezifischer Materialverbrauch: 32 t/PB bzw. 0.032 g/MB

Diese Kennzahlen können dazu dienen, Vergleiche anzustellen. Z.B. könne man fragen, wie weit ein Velokurier mit einem e-Velo (ca. 9Wh/km) einen einseitigen Brief (ca. 4kB) mit dem äquivalenten Energiebedarf des Internets bringen könnte. Die Antwort wäre ca. 250 km.

6 Literaturverzeichnis

- Agilent Technologies, 2006. Understanding DSLAM and BRAS Access Devices. Available at: http://advanced.comms.agilent.com/n2x/docs/whitepapers/bras_dslam.htm.
- BAFU, 2008. *Die Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP)*, Bundesamt für Umwelt.
- BAKOM, 2010. Bundesamt für Kommunikation. Available at: <http://www.bakom.admin.ch/> [Accessed July 4, 2011].
- BAKOM, 2009. Bundesamt für Kommunikation. Available at: <http://www.bakom.admin.ch/> [Accessed January 12, 2010].
- BFE, 2011. *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010*, Bern: Bundesamt für Energie. Available at: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=de&dossier_id=00763.
- BFS, 2010. Statistik Schweiz - Bundesamt für Statistik. Available at: <http://www.bfs.admin.ch/> [Accessed July 4, 2011].
- BFS, 2009. Statistik Schweiz - Bundesamt für Statistik. Available at: <http://www.bfs.admin.ch/> [Accessed January 12, 2010].
- CISCO, 2009. Products & Services - Cisco Systems. Available at: <http://www.cisco.com/en/US/products/index.html> [Accessed January 21, 2010].
- CMTS - Wikipedia, 2009. Cable modem termination system - Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/CMTS> [Accessed January 21, 2010].
- Datacenter - Wikipedia, D., 2009. Data center - Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Datacentre> [Accessed January 21, 2010].
- DSLAM - Wikipedia, 2009. Digital subscriber line access multiplexer - Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/DSLAM> [Accessed January 21, 2010].
- Energystar, 2011. Home : ENERGY STAR. Available at: <http://www.energystar.gov/> [Accessed July 13, 2011].
- Girardin, B., 2011. *Environmental Impacts of Information and Communication Flows in and out of Switzerland*. St. Gallen: University of Lausanne.
- Hintermann, R., Fichter, Klaus & Stobbe, Lutz, 2010. *Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland. Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz*, Dessau-Roßlau, Deutschland: Umwelt Bundesamt.
- Hischier, R. et al., 2007. Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. Available at: <http://www.ecoinvent.org/documentation/>.
- Hybrid fibre - Wikipedia, 2011. Hybrid fibre-coaxial - Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_fibre-coaxial [Accessed July 8, 2011].
- Internet Access Guide, 2009. Internet Access Guide. Available at: http://conniq.com/InternetAccess_Introduction.htm [Accessed January 21, 2010].
- Kirchner, A. et al., 2008. *Analyse des Schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2006 nach Verwendungszwecken*, Bundesamt für Energie.
- Leistungsverstärker - Wikipedia, 2011. Leistungsverstärker – Wikipedia. Available at: <http://de.wikipedia.org/wiki/Leistungsverst%C3%A4rker> [Accessed July 8, 2011].
- Müller, E. & Widmer, R., 2008. *Materialflüsse der elektrischen und elektronischen Geräte in der Schweiz*, Bundesamt für Umwelt.
- Peer-to-Peer – Wikipedia, 2011. Peer-to-Peer – Wikipedia. Available at: <http://de.wikipedia.org/wiki/Peer-to-Peer> [Accessed July 8, 2011].
- Sandvine, 2010. *Fall 2010 Global Internet Phenomena Report*, Sandvine Intelligent Broadband Networks. Available at:

<http://www.sandvine.com/downloads/documents/2010%20Global%20Internet%20Phenomena%20Report.pdf>.

Sorrento, N., 2009. GigaMux 1600 | Optical Transport | DWDM | 10 Gigabit Ethernet | OADM | WDM | Sorrento Networks. Available at: <http://sorrentonet.com/products/GM1600/index.html> [Accessed January 21, 2010].

Stobbe, L. & Schlomann, B., 2008. „*Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft*”, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.

SWITCH, 2009. SWITCH. Available at: <http://www.switch.ch/> [Accessed January 21, 2010].

Topten International Group, 2011. topten.ch - topten.ch - Der Klick zum besten Produkt! Available at: <http://www.topten.ch/> [Accessed July 13, 2011].

Unger, N. & Gough, O., 2008. Life cycle considerations about optic fibre cable and copper cable systems: a case study. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 16(14), p.1517-1525. Available at: [Accessed January 12, 2010].

7 Anhang

7.1 Parameter der für das Schweizer Netzwerk berücksichtigten Geräte.

Tabelle 9: Verwendete Parameter aller für das Schweizer Netzwerk berücksichtigten Geräte.

Gerät	Gewicht [kg]*	Lebensdauer [Jahre]	Energiekonsum [W]		
			Eingeschaltet	Standby	Ausgeschaltet
Laptop:	2.5	3	40	3	1.5
Desktop + Monitor:	20	5	190	3	1.4
Fernseher+ Decodiergerät:	16	5	154	21	-
Modem:	0.30	5	2	-	-
Mobiltelefon:	0.15	2	0.42	-	-
Switch/Router:	0.5	5	43	-	-
	5.0	6	143	-	-
	6.0	10	370	-	-
	35	10	1105	-	-
	303	10	4510	-	-
Server:	10	5	283	-	-
Grosser Server:	131	10	2931	-	-
Kühlsystem:	50	10	Abhängig von Energiekonsum Server / Router / Switches		
Splitter:	0.10	6	-	-	-
DSLAM:	30	6	1080	-	-
CMTS:	30	6	739	-	-
Node:	0.5	3	48	-	-
Verstärker:	0.55	3	27	-	-
Kupferkabel:	33	50	-	-	-
Glasfaserkabel:	470	50	-	-	-
Optische Transmitter:	42	6	400	-	-
Antennen:	3000	30	-	-	-
Basisstationen:	303	10	3225	-	-
Netzwerk Speicher (NAS):	48	5	200	-	-
Back-up Speicher:	1	4	-	-	-
Gehäuse:	105	15	-	-	-
Netzwerk-Kabel:	55	50	-	-	-

* kg/km für Kabel

7.2 Allokationsfaktoren

Tabelle 10: Allokationsfaktoren für die Eignung eines Gerätes, sich mit dem Internet zu verbinden

	Haus-halte	Kleinst-unter-nehmen	Klein-unter-nehmen	Mittlere Unter-nehmen	Gross-unter-nehmen	DSL	Kabel	Glas-faser-kabel	UMTS/ GSM
Laptop	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desktop + Mo-nitor	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TV + Decoder	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
Modem	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mobiltelefon	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Switch/Router	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Server	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grosse Server	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kühlsystem	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Splitter	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DSLAM/ CMTS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Node	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verstärker	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kupferkabel	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Glasfaserkabel	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Optischer Transmitter	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antenne	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Basisstation	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle 11: Allokationsfaktoren für die Nutzungszeit, während der ein Gerät mit dem Internet verbunden ist.

	Haus-halte	Kleinst-unter-nehmen	Klein-unter-nehmen	Mittlere Unter-nehmen	Gross-unter-nehmen	DSL	Kabel	Glas-faser-kabel	UMTS/ GSM
Laptop	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0	0	0	0
Desktop + Mo-nitor	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0	0	0	0
TV + Decoder	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Modem	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Mobiltelefon	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0	0	0	0
Switch/Router	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Server	0	1	1	1	1	0	0	0.8	0.075
Grosse Server	0	0	0	1	1	0	0	1	0.075
Kühlsystem	0	1	1	1	1	1	1	1	0.075
Splitter	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0
DSLAM/ CMTS	0	0	0	0	0	1	0.7	0	0
Node	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0
Verstärker	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0
Kupferkabel	0	0	0	0	0	0.5	0.7	0	0
Glasfaserkabel	0	0	0	0	0	1	0.8	1	0
Optischer Transmitter	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Antenne	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075
Basisstation	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075

7.3 Mathematischer Modellaufbau

Anzahl Geräte G_{ij} Internet CH [Stück]

$$G_{ij} = U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

$$G_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

Mit:

- B_i Durchschnittliche Anzahl Mitarbeiter der Nutzerkategorie i (für Haushalte:
Durchschnittliche Anzahl Personen pro Haushalt, für Provider: $B_i = 1$)
- U_i Anzahl Unternehmen/Haushalte pro Kategorie i (für Provider: $U_i = 1$)
- γ_{ij} Nutzungsdichte der Gerätefamilie j pro Nutzerkategorie i (1 = jedes Unternehmen der Nutzerkategorie i braucht dieses Gerät, 0 = kein Unternehmen der Nutzerkategorie i braucht dieses Gerät)
- ρ_{ij} Nutzungsdichte der Gerätefamilie j pro Mitarbeiter/Personen im Haushalt
(1 = ein Gerät pro Mitarbeiter, 0 = kein Gerät pro Mitarbeiter, für Provider:
 $\rho_{ij} = \text{effektive Anzahl Geräte pro Provider}$)
- α_j Interneteignung der Gerätefamilie j (1 = alle Geräte können verbunden werden,
0 = keine Geräte können verbunden werden)
- β_{ij} Internetgebrauch der Gerätefamilie j durch die Nutzerkategorie i (in % der mittleren Betriebszeit)
- n Anzahl Nutzerkategorien, 9 in dieser Studie
- m Anzahl Gerätefamilien, 22 in dieser Studie

Masse W_{ij} Internet CH [kg]

$$W_{ij} = M_{ij} \cdot G_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \cdot U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

$$W_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \cdot G_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \cdot U_i \cdot B_i \cdot \alpha_j \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

Mit: M_{ij} Durchschnittsmasse der Gerätefamilie j für die Nutzerkategorie i

Output-Flüsse Out_{ij} [kg]

$$Out_{ij} = \frac{W_{ij}}{L_j}$$

$$Out_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{W_{ij}}{L_j}$$

Mit: L_j Lebensdauer der Gerätefamilie j

Input-Flüsse In_{ij} [kg]

$$In_{ij} = Out_{ij} + dW_{ij} = \frac{W_{ij}}{L_j} + W_{ij} \cdot \eta$$

$$In_{\text{Internet_CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{W_{ij}}{L_j} + W_{ij} \cdot \eta$$

Mit:

- dW_{ij} jährlicher Bestandszuwachs der Gerätefamilie j in Kategorie i
- η jährlicher Zuwachsrate der Gerätefamilie j in % G_j

Energiekonsum E_{ij} [kWh/Jahr]

$$E_{ij} = (P_{on,ij} \cdot t_{on,ij} + P_{standby,ij} \cdot t_{standby,ij} + P_{off,ij} \cdot t_{off,ij}) \cdot G_{ij} \cdot 365 \cdot 10^{-3}$$

$$E_{\text{Internet,CH}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{on,ij} \cdot t_{on,ij} + P_{standby,ij} \cdot t_{standby,ij} + P_{off,ij} \cdot t_{off,ij}) \cdot G_{ij} \cdot 365 \cdot 10^{-3}$$

Mit:

$P_{on,ij}$	Leistung im on-Modus
$P_{standby,ij}$	Leistung im standby-Modus
$P_{off,ij}$	Leistung im off-Modus
$t_{on,ij}$	tägliche Betriebsstunden im on Modus
$t_{standby,ij}$	tägliche Betriebsstunden im standby Modus
$t_{off,ij}$	tägliche Betriebsstunden im off Modus

Zusammensetzung Geräte Cin_{jk} , $Cstock_{jk}$, $Cout_{jk}$ [kg]

$$Cin_{jk} = In_j \cdot z_{jk}$$

$$Cstock_{jk} = W_j \cdot z_{jk}$$

$$Cout_{jk} = Out_j \cdot z_{jk}$$

Mit:

In_j	Summe aller Input-Flüsse der Gerätefamilie j
W_j	Summe der Masse der Gerätefamilie j
Out_j	Summe aller Output-Flüsse der Gerätefamilie j
z_{jk}	Zusammensetzung der Gerätefamilie j aus den Fraktionen k

Die Flüsse in die drei Entsorgungswege sind:

$$Out_{thermVerwertung} = \sum_{k=1}^o Cout_{jk} \cdot t_k^{thermV}$$

$$Out_{Deponie} = \sum_{k=1}^o Cout_{jk} \cdot t_k^{Dep}$$

$$Out_{stoffVerwertung} = \sum_{k=1}^o Cout_{jk} \cdot t_k^{stoffV}$$

Mit: t_k Transferkoeffizienten der Fraktion k (von o = 15 in dieser Studie) für die 3 verschiedenen Entsorgungswege: thermische Verwertung, Deponie und stoffliche Verwertung