



**Universität
Zürich^{UZH}**

Bachelorarbeit am Institut für Informatik

Untersuchung von Thin Client-Lösungen aus einer Lebenszyklus-Perspektive

Eine Fallstudie am Institut für Banking und Finance

Jürg Bargetze

12-729-901

Geboren in Vaduz, FL

Betreuer:

Prof. Dr. Lorenz Hilty, UZH

Dr. Roland Hischier, EMPA

14. Januar 2017

Zusammenfassung

Diese Arbeit vergleicht die verschiedenen Arbeitsstationen am Institut für Banking und Finance unter Berücksichtigung der Ökoeffizienz. Der aktuelle Stand der Literatur indiziert, dass die Grösse von elektronischen Geräten mit der ökologischen Gesamtbelastung korreliert. Dabei hinterlassen kleinere Geräte einen geringeren ökologischen Fussabdruck. Basierend auf eigenen erhobenen Daten und Berechnungen, wird in dieser Untersuchung erläutert, dass sich eine Ausweitung einer Thin Client-Lösung für die meisten Nutzer lohnt. Den grössten positiven Einfluss auf die Ökobilanz zeigt dabei generell eine Verlängerung der Nutzungsdauer. Damit Benutzerakzeptanz und Nutzen auf einem hohen Niveau gehalten werden können, müssen individuelle Bedürfnisse berücksichtigt werden.

Abstract

This thesis compares different workstations at the Department of Banking and Finance, while taking eco-efficiency into account. The current state of research literature suggests, that the size of electronic devices correlates with its economic impact, with smaller devices leaving a smaller ecological footprint. Based on my own collected data, this study shows that an expansion of a thin client solution is worthwhile for most users. The biggest positive impact on the ecological impact is generally caused by a extension of the devices' life cycle. To maintain user acceptance and benefit on a high level, individual needs must be considered.

Danksagung

Ohne die Hilfe einiger Personen wäre es nicht möglich gewesen, die vorliegende Arbeit so zu erstellen. Ich möchte es nicht versäumen, mich bei ihnen auf diesem Weg zu bedanken.

Ein besonderer Dank gilt René Hegglin vom Institut für Banking und Finance der Universität Zürich, der mir sehr viel gezeigt und mir bei Fragen immer zur Verfügung gestanden hat. Sehr grossen Dank auch an Stefan Widmer, der mir unglaublich viele Einblicke in die IT-Infrastruktur des IBF verschafft hat und mich bei Unklarheiten jederzeit tatkräftig unterstützt hat.

Vielen herzlichen Dank spreche ich meinen beiden Betreuern Dr. Roland Hischier (EMPA) und Prof. Dr. Lorenz Hilty (UZH) aus, welche mich durchwegs gut beraten und unterstützt haben. Ohne die Daten von Herrn Hischier und seine vielen Erläuterungen und Hinweise, wäre diese Bewertung in diesem Umfang nicht möglich gewesen. Auch Herrn Hilty bin ich sehr dankbar für seine kritischen Beurteilungen und Verbesserungsvorschläge.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den Studienteilnehmern für ihre Teilnahme am Online-Umfragebogen, dem Zentralen Informatikdienst und allen, die mich unterstützt haben.

Zudem möchte ich meiner Familie und meinen Freunden danken, welche mir mit ihren Rückmeldungen sehr geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract.....	ii
Danksagung	iii
Inhaltsverzeichnis.....	iv
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Forschungsfragen	2
1.3 Methodik	2
1.4 Aufbau der Arbeit	3
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 Begriffsdefinition.....	4
2.2 Geschichte	11
3 Verwandte Arbeiten.....	13
4 Ziel und Untersuchungsrahmen	15
4.1 Produktsystem.....	15
4.1.1 Funktionelle Einheit	17
4.1.2 Server	18
4.2 Typische Arbeitsplätze	20
5 Sachbilanz.....	23
5.1 Verwendete Daten	23
5.2 Annahmen	24
6 Wirkungsabschätzung.....	25
6.1 Wirkungskategorien	25
6.2 Typische Arbeitsplätze	28
6.3 Szenarien	35
6.4 Resultate	38
7 Diskussion.....	45
7.1 Interpretation	45
7.2 Limitationen und Unsicherheiten	48

8	Ausblick.....	50
8.1	Weiterführende Gedanken	50
8.2	Empfehlungen.....	51
9	Anhang	55
9.1	Abkürzungsverzeichnis.....	55
9.2	Literaturverzeichnis	57
9.3	Abbildungsverzeichnis.....	61
9.4	Tabellenverzeichnis.....	62
9.5	Inhalte der CD.....	62

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Nutzung von technischen Hilfsmitteln vereinfacht unseren Alltag seit der Digitalisierung enorm und durchdringt seither immer mehr Gebiete unseres Lebens. Doch mit dem steigenden Bedarf nimmt auch die Menge an Elektroaltgeräten zu – im Vergleich zu anderen Abfallarten sogar fast dreimal schneller. Oft findet eine Wiederverwertung der Altgeräte aus Europa in weniger entwickelten Ländern mit niedrigen Umweltstandards unter gesundheits- und umweltschädlichen Bedingungen statt (Fraunhofer UMSICHT, 2008). Verkaufsstatistiken zeigen, dass die meisten Personen ihre Geräte nicht ersetzen, sondern ihre Gerätepalette erweitern. (Hischier & Wäger, 2015) Somit nimmt der weltweite Material- und Energiebedarf ständig zu, obwohl die Energie- und Materialintensität der einzelnen Güter immer effizienter wird; dies ist der sogenannte Rebound-Effekt (Fraunhofer UMSICHT, 2011).

Treibhausgase stellen seit Beginn der Industrialisierung eine ständig wachsende Bedrohung für uns und unsere Umwelt dar. Damit verbunden bedrohen auch viele andere Entwicklungen das ökologische System. (Fraunhofer UMSICHT, 2011) Der Schutz der Umwelt ist eine der wichtigsten Aufgaben unserer Gegenwart und die Informations- und Kommunikationstechnik kann hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten. In einem Zeitalter des Umdenkens in Energiefragen, insbesondere nach Katastrophen wie Tschernobyl und Fukushima, sowie einer Neuorientierung in Nachhaltigkeitsfragen sind ökologische Untersuchungen von wachsender Bedeutung. Dazu verleihen Energie-, Anschaffungs- und Entsorgungskosten dem Thema zusätzliche Relevanz.

Umweltauswirkungen der Herstellungs- und Entsorgungsphase von IT-Geräten werden bei den meisten Kaufentscheidungen ausser Acht gelassen (Plepys, 2004b). Damit Stoffkreisläufe ökologisch und ökonomisch sinnvoll geschlossen werden können, wird eine ganzheitliche Bewertung der verschiedenen Lebenszyklen vorausgesetzt. Mit einer Lebenszyklusanalyse können diese Einflussfaktoren quantifiziert und eine Verminderung von Umwelteinwirkungen in Aussicht gestellt werden.

Am Institut für Banking und Finance werden seit Anfang 2015 Thin Clients benutzt und im Umfang dieser Arbeit wird untersucht, wie sich diese Lösung insbesondere aus einer ökologischen Sicht verhält.

1.2 Forschungsfragen

In der vorliegenden Arbeit sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Bei welchen Nutzergruppen lohnt sich eine Ausweitung der Thin Clients bezüglich der lebenszyklusweiten Umweltbelastungen unter Berücksichtigung der monetären Kosten und der Anforderungen der Benutzer?
- Wie gestaltet sich eine IT-Infrastruktur in diesem Umfang möglichst nachhaltig?
- Wie können Benutzerakzeptanz und Nutzen optimiert werden? Was muss beachtet werden?

1.3 Methodik

In einem ersten Schritt wurde die relevante Literatur untersucht und eine wissenschaftliche Basis erarbeitet. Um bedeutungsvolle Daten über die aktuelle Nutzung der IT am Institut für Banking und Finance zu bekommen, habe ich persönliche Nutzerbefragungen mit Entscheidungsträgern durchgeführt, die mich auf mögliche Besonderheiten hinweisen sollten und um mir einen Überblick zu verschaffen. In einem nächsten Schritt weitete ich die Befragungen mittels Online-Umfragebogen auf alle betroffenen Benutzer (administratives und technisches Personal ATP und Semesterassistenten SA des Instituts für Banking und Finance) aus. Ich erhoffte mir, aus diesen Daten, verschiedene Anforderungsgruppen identifizieren zu können.

Anhand einer Datenbasis von Roland Hischier (siehe hierzu Kapitel 5.1) wurde hochgerechnet, wie stark die Umwelt über den ganzen Lebenszyklus der verschiedenen IT-Geräte belastet wird. Im Anschluss habe ich verschiedene Szenarien zur Ausweitung der Thin Client-Lösung erstellt, ausgearbeitet und deren Vor- und Nachteile ermittelt. Schlussendlich sollte klar aufgezeigt werden können, welche Vor- und Nachteile sich für die verschiedenen Nutzergruppen und Szenarien ergaben. Die Ergebnisse sollten sachlich und objektiv präsentiert werden, um sie in der anschließenden Diskussion genauer untersuchen zu können.

Die vorliegende Arbeit soll die ökologischen Auswirkungen von ICT-Geräten sowie deren Einfluss auf die menschliche Gesundheit über ihren ganzen Lebenszyklus quantifizieren. Die Ökobilanz (LCA, Life Cycle Assessment) ist hierfür ein geeignetes Instrument, weshalb ich mich dafür entschieden habe, diese Arbeit im Stil einer Ökobilanz aufzubauen. Dabei wurde die Ökobilanz um einige Aspekte erweitert um auch die anderen Forschungsfragen beantworten zu können.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn werden Motivation, Forschungsfragen, Methodik und Aufbau der Arbeit genauer erläutert. Des Weiteren werden die theoretischen Grundlagen zu IT-Infrastruktur und Ökobilanzen und deren Geschichte kurz beschrieben. Um den aktuellen Wissensstand zu verstehen, werden in einem weiteren Kapitel (Kapitel 3) verwandte Arbeiten erläutert, die als Grundlage dienen.

Der Hauptteil dieser Arbeit ist wie eine Ökobilanz mit der Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen (Kapitel 4), der Sachbilanz (Kapitel 5), der Wirkungsabschätzung (Kapitel 6) und der Auswertung (Kapitel 7) aufgebaut:

Im Kapitel Ziel und Untersuchungsrahmen wird zuerst die Zielsetzung erläutert und die aktuelle Situation am Institut für Banking und Finance kurz vorgestellt. Es werden Produktsystem, Modellgrenzen und funktionelle Einheit definiert und die Nutzergruppen werden beschrieben. Ausserdem werden die typischen Arbeitsplätze gezeigt.

Auf die Sachbilanz wird in dieser Arbeit nicht genauer eingegangen, weshalb nur die verwendeten Daten gezeigt und die jeweils zugehörigen Annahmen erläutert werden.

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung (Kapitel 6) werden zuerst die verwendeten Wirkungskategorien erläutert und danach die Auswirkungen auf die Wirkungskategorien der typischen Arbeitsplätze im Vergleich analysiert. Im darauffolgenden Abschnitt wird auf Szenarien zur Forschungsfrage eingegangen und schlussendlich werden die Resultate zusammenfassend beschrieben.

In der Diskussion (Kapitel 7) wird die Wirkungsabschätzung interpretiert und auf Besonderheiten eingegangen. Schliesslich wird die Arbeit unter verschiedenen Gesichtspunkten in einem Fazit resümiert. Zudem wird auf Limitationen und Unsicherheiten der Untersuchung aufmerksam gemacht und gewisse Entscheidungen werden begründet.

Im letzten Kapitel werden offene Fragen, weiterführende Gedanken und andere aktuelle Bewegungen behandelt und schlussendlich werden Empfehlungen für einen möglichst ökologischen Umgang mit ICT-Geräten ausgesprochen.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe definiert und geschichtliche Hintergründe und Entwicklungen aufgezeigt.

2.1 Begriffsdefinition

In diesem Abschnitt werden einige fundamentale Begriffe und Konzepte beschrieben.

Application Service Provider (ASP)

Ein ASP ist ein (Anwendungs-)Dienstleister, der eine Anwendung zum Informationsaustausch über das Netz anbietet. Mit der Verbreitung von Computernetzwerken in den Neunzigerjahren hat sich ein Businessmodell entwickelt, das sich darauf spezialisiert, möglichst effizient und kostensparend SBC (siehe weiter unten) und zentral verwalteten Computerumgebungen anzubieten (Plepys, 2004a). Dabei wird der ganze Service an den Anwendungsdienstleister ausgelagert, damit der Kunde sich auf das Kerngeschäft konzentrieren kann. Der Anwendungsdienstleister kümmert sich hingegen um die gesamte Administration, Wartung und Betreuung. Dazu vermietet er die benötigte Software an den Kunden und verrechnet nur die Ressourcen, die der Kunde letztlich benötigt (Plepys, 2004b). Den Unterschied zwischen SBC und ASP beschreibt Plepys im gleichen Werk folgendermassen:

"The fundamental difference between the two is the degree of IT system centralisation and form of ownership." (Plepys, 2004b, S. 1)

Client

Ein Programm oder Endgerät, mit dem Dienste von einem Server abgerufen werden können, wird als Client bezeichnet, zu Deutsch Kunde (Duden, 2016). Dabei gilt es mehrere Konzepte zu unterscheiden: Von "Fat Clients" ist in den Fällen die Rede, in denen die Anwendung auf dem Client verarbeitet wird, von "Thin Clients", wo die Anwendung auf dem Server ausgeführt wird, und von "Smart Clients", wenn einfache Anwendungen lokal gelöst und komplexe Anwendungen auf dem Server verarbeitet werden (ITWissen, 2016a).

Cluster

Als Cluster (deutsch: Gruppe, Schwarm) oder auch Rechnerverbund bezeichnet man eine Gruppe miteinander vernetzter eigenständiger Computer, welche sich wie ein virtueller Prozessor verhält und sich für den Anwender wie ein einzelner Computer darstellt. Dies dient der Verbesserung der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Servicefreundlichkeit, Leistung, Skalierung oder des Durchsatzes mittels Load-Balancing. Solche Cluster nutzen gemeinsame Ressourcen und benutzen eine spezielle Software mit der die Aktivitäten der einzelnen Komponenten koordiniert werden (ITWissen, 2017a).

(Desktop)-Virtualisierung

Durch Virtualisierung können Hardware, Software und Netzwerke abstrahiert werden. Es wird eine Abstraktionsschicht zwischen Benutzer und physischer Ressource geschaffen, um mehrere Ressourcen zusammenzufassen, die sich dem Anwender als einzige Komponente präsentieren (ITWissen, 2017b). Durch Virtualisierung hat die Anzahl an weltweit benötigten Servern abgenommen (Koomey, 2011). Die Hardware wird flexibler und effizienter genutzt, da mehreren Benutzern gleichzeitig und unabhängig voneinander die Ausführung von Anwendungsprogrammen auf einer entfernten Instanz erlaubt wird. Dort finden schlussendlich die eigentliche Rechen- und Speicherleistungen statt (Fichter, Clausen, & Hintemann, 2011). Dabei kann Virtualisierung auf den unterschiedlichsten Ebenen implementiert sein. Insbesondere Desktopvirtualisierung ist für diese Arbeit von Relevanz:

"Desktopvirtualisierung abstrahiert vom normalerweise benötigten lokalen Rechnersystem, indem es den Desktop virtuell auf einem anderen Rechner ausführt wie bei Terminal-Services, Server Based Computing oder einen zentral abgelegten Desktop (nur) zur Laufzeit transparent auf das lokale System überträgt." (ITWissen, 2017b)

Energy Star

Beim Energy Star handelt es sich um ein 1992 eingeführtes freiwilliges, internationales Umweltzeichen für energiesparende Bürogeräte. Es umfasst Kriterien für den maximal zulässigen Energieverbrauch während des Normal-, Standby- und Soft-Off-Betriebes und reglementiert auch Stromsparmodi und Ruhezustände der Geräte. Schliesslich werden die Geräte in verschiedene Energieklassen eingeteilt (Energy Star, 2016).

"Reduction of standby losses, higher efficiency of power supplies and power factor correction were the three main measures considered by the Energy Star program." (Aebischer & Hilty, 2015, S. 80)

Fat Client

Als Fat Client wird hier ein vollwertig ausgestatteter Computer verstanden, der über ausreichend Rechen- und Speicherkapazität verfügt und mit einem CD-ROM-Laufwerk sowie einer leistungsstarken Grafikkarte ausgestattet ist. Da die gesamte Anwendung auf dem Gerät installiert und von diesem abgearbeitet wird, ist eine erhöhte Offline-Funktionalität geboten, was Fat Clients unabhängiger macht (ITWissen, 2016b).

Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit (manchmal auch funktionale Einheit) ist in der Ökobilanz die Basis, um Systeme miteinander vergleichen zu können. Sie ist die spezifische Bezugsgrösse, auf die sich die gesamten betrachteten Umweltwirkungen beziehen. Dabei werden nicht die Produkte selbst verglichen, sondern deren Nutzen (Klöppfer & Grahl, 2009).

Graue Energie

Darunter versteht man die nicht erneuerbare Energie, die für die Herstellung und Bereitstellung von Gütern über deren gesamten Lebenszyklus benötigt wird. Der Begriff wurde Ende des letzten Jahrhunderts vom Bundesamt für Umwelt geprägt (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015). Laut dem schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein entspricht sie dem gesamten Verbrauch an nicht erneuerbaren Energien eines Gerätes und wird folgendermassen definiert:

"'Grey energy' is calculated as the sum of non-renewable energy consumption during the life cycle – i.e., equal to the non-renewable part of 'cumulative demand' as defined in standard 4,600 of Association of the German Engineers (VDI)." (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015, S. 172)

Mainframe computing / Grossrechner

Als Mainframe bezeichnet man leistungsfähige Grosscomputer, die im Hintergrund umfangreiche Massendatenverarbeitungen ausführen. Sie sind um einiges schneller als

Personal Computer und können mehrere Benutzer gleichzeitig bedienen. Die Hardware benötigt oft einen grösseren Raum oder gar mehrere Räumlichkeiten und über ein Netzwerk sind zahlreiche Terminals daran angeschlossen. In der Rechnerhierarchie sind Mainframes zwischen Midrange-Rechnern und Supercomputern zu finden (ITWissen, 2017c).

Methode der ökologischen Knappheit

Die Methode der ökologischen Knappheit wurde 1990 ursprünglich auf privater Initiative entwickelt und wurde seither mehrfach aktualisiert. Das Verfahren dient der Wirkungsabschätzung von Sachbilanzen und wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) als eine zentrale Bewertungsmethode für Ökobilanzen in der Schweiz anerkannt. Das BAFU hat die methodische Weiterentwicklung mit Daten über den jeweils aktuellen Umweltzustand und mit den geltenden, rechtlich verankerten Umweltzielsetzungen massgebend gefördert. Die Bezeichnung ökologische Knappheit bezieht sich dabei auf die Art der Gewichtung bzw. das Verhältnis von Ist- zu Toleranzmenge und „Umweltbelastungspunkte“ beziehen sich auf die Einheit, in der die Umweltauswirkungen dargestellt werden (Frischknecht, Steiner, & Jungbluth, 2009).

Nachhaltigkeit (Nachhaltige Nutzung, Nachhaltige Entwicklung)

Bei nachhaltiger Nutzung wird ein System so genutzt, dass seine Funktion langfrisitg erhalten bleibt (Hilty, 2015). Unter nachhaltiger Entwicklung versteht man den sparsamen Umgang mit allen Rohstoffen unseres Planeten, insbesondere mit den nicht erneuerbaren Ressourcen. Zudem sollen Regenerationszyklen von erneuerbaren Ressourcen erhalten, die soziale Gerechtigkeit berücksichtigt, sowie die Lebensgrundlage der nachfolgenden Generationen bewahrt werden (Universität Siegen (2008), Hilty (2015)).

Ökobilanz / Lebenszyklusanalyse

Die Ökobilanz ist eine systematische Analyse der mit einem Produkt verbundenen Umweltwirkungen, verursacht durch Energie- und Materialressourcen während des gesamten Lebensweges. Ökobilanzen befassen sich mit den ökologischen Eigenschaften von Systemen und lassen ökonomische und soziale Dimensionen ausser Acht. Die Untersuchung kann *from cradle to grave* (von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Anwendung bis zur Beseitigung), aber auch nur bis zu einem bestimmten

Zeitpunkt der Verarbeitung gemacht werden (z. B. *from cradle to factory gate*) (Klöpffer & Grahl, 2009). Ausserdem wird sie von Ness *et al.* als die etablierteste und am besten entwickelte Methode der Nachhaltigkeitsbewertung gewertet (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Eine Ökobilanz umfasst folgende vier Phasen: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Das Ziel ist eine Bilanzierung aller verursachten Stoff- und Energieflüsse über den Lebensweg des Produkts, um die ökologische Nachhaltigkeit zu quantifizieren. Dabei findet man heraus, in welchen Bereichen es Verbesserungspotenzial gibt und wie hoch dieses ist (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Ökoeffizienz

Ökoeffizienz beinhaltet sowohl die ökonomische als auch die ökologische Effizienz. Ziel in Bezug auf die IT-Branche ist somit, geeignete IT-Dienstleistungen unter Beibehaltung der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit mit einem Minimum an Umweltbelastung zu erzeugen (Fraunhofer UMSICHT, 2011). Laut dem Weltwirtschaftsrat für Nachhaltige Entwicklung (WBCSD) wird Ökoeffizienz erreicht durch:

"die Bereitstellung von preisgünstigen Waren und Dienstleistungen, die menschliche Bedürfnisse befriedigen und Lebensqualität bringen bei schrittweiser Verringerung der Umweltauswirkungen und der Ressourcen-Intensität von Gütern über den gesamten Lebenszyklus auf ein Niveau im Einklang mit der geschätzten Tragfähigkeit der Erde." (Fraunhofer UMSICHT, 2011, S. 13)

ReCiPe-Methode

Die ReCiPe-Methode ist ein methodisches Instrument zur quantitativen Analyse des Lebenszyklus von Produkten. Hier wird die Beschreibung von Goedkoop *et al.* (2012) als Grundlage verwendet:

Das primäre Ziel der ReCiPe-Methode ist die Umwandlung einer langen Liste von kumulierten Stoff- und Energieflüssen in eine beschränkte Anzahl von Indikatorgrössen. Diese Indikatorgrössen spiegeln die relative Schwere des Einflusses in verschiedenen Umweltbelastungen wieder. Innerhalb von ReCiPe werden solche Indikatoren auf zwei Ebenen definiert:

- 1) 18 relativ robuste Midpoint-Indikatoren – nicht einfach zu interpretieren

- 2) drei einfach zu verstehende Endpoint-Indikatoren – mit höherer Unsicherheit verbunden

In ReCiPe wird für jeden dieser Indikatoren ein sogenannter Umweltmechanismus als Basis für die Modellierung benutzt. Unter Umweltmechanismus versteht man dabei eine Reihe von Effekten, welche zusammen zu einem gewissen Mass an Belastung führen, beispielsweise auf die menschliche Gesundheit oder das Ökosystem.

Eine logische Folge aus der Nutzung nur des ersten Schrittes (siehe dazu die untere Abbildung) ist die relativ geringe Unsicherheit, welche in diesem steckt. Zusätzlich zu den 18 Midpoint-Indikatoren, werden aber auch drei, mit einer deutlich höheren Unsicherheit verbundene, sogenannte Endpoint-Indikatoren berechnet. Motivation für die Berechnung letzterer ist die Tatsache, dass eine so grosse Anzahl von Midpoint-Indikatoren eher schwierig zu interpretieren ist; teilweise wegen dieser hohen Zahl, teilweise aber auch aufgrund ihrer abstrakten Bedeutung. Die Indikatoren auf dem Endpoint-Niveau sind für eine einfachere Interpretation gedacht, da es davon nur gerade drei gibt und diese erst noch eine einfacher verständliche Bedeutung aufweisen.

Der Nutzer kann bei der ReCiPe-Bewertungsmethode somit wählen zwischen Unsicherheit in den Indikatoren und Unsicherheit bezüglich der korrekten Interpretation von Indikatoren. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Gesamtübersicht über die Struktur der Methode.

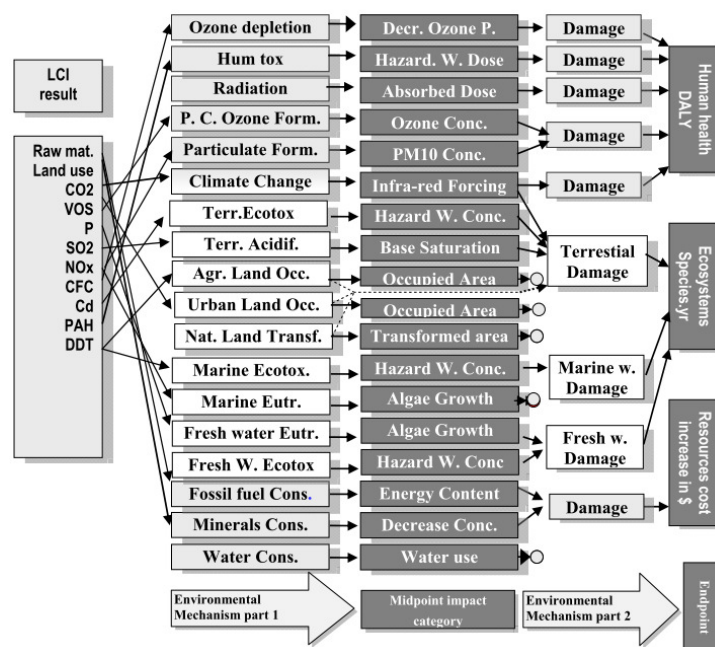


Abbildung 1: Beziehung zwischen den LCI-Parametern (links), den ReCiPe-Midpoint-Indikatoren (Mitte) und den ReCiPe-Endpoint-Indikatoren (rechts) aus ReCiPe 2008 (Darstellung aus Goedkoop *et al.*, 2009, S. 3)

Server

Ein Server ist ein leistungsstarker Zentralcomputer, mit dem mehrere andere Computer (oder teilweise auch Programme) verbunden sind. Diese greifen meist über das Netzwerk auf die Daten bzw. Ressourcen auf dem Server zu. Ein Server als Software ist ein Computerprogramm, welches mit dem Client kommuniziert und ihm Zugang zu bereitgestellten Daten verschafft (Aschermann, 2016).

Server-based Computing

Bei SBC bildet jeder Client eine Art Terminal, der lediglich zur Ein- und Ausgabe der Daten dient. Auf den Arbeitsstationen befindet sich keinerlei Software. Es handelt sich um eine zentrale, serverseitige Bereitstellung von Anwendungsprogrammen, was bedeutet, dass jegliche Programme und Updates auf den Servern installiert werden. Die eigentliche Bearbeitung wird somit auf dem Server ausgeführt und das verarbeitete Resultat dann zurück an den Client geschickt (ITAdministrator, 2010).

Thin Client

Die amerikanische Environmental Protection Agency (EPA) und damit auch die Europäische Kommission in Brüssel definieren Thin Clients im Rahmen der Spezifikation des (EU) Energy Star-5.0-Programms wie folgt:

"Ein unabhängig mit Strom versorgter Computer, der auf eine Verbindung zu entfernten Rechenressourcen angewiesen ist, um seine primäre Funktionalität zu erhalten. Die hauptsächliche Rechenleistung (wie z. B. Programmausführung, Datenspeicherung, Interaktion mit anderen Internet Ressourcen usw.) wird mittels der entfernten Rechenressourcen durchgeführt." (Skurk, Unger, & Delvalle Silva, 2013, S. 5)

Thin Clients dienen im Wesentlichen nur der Ein- und Ausgabe von Daten und besitzen im Vergleich zu Desktop-Computern weniger Hardwarekomponenten und keine beweglichen Teile wie z. B. ein CD-Laufwerk. Thin Clients sind in der Regel nicht auf Portabilität ausgelegt, haben weniger Speicherplatz, langsamere Prozessoren, benötigen weniger Energie, haben typischerweise eine längere Lebensdauer als normale PCs und sind auch günstiger (Plepys, 2004b).

Virtuelle Maschine

Der Begriff virtuelle Maschine (VM) ist laut ITWissen zweifach definiert: Meistens wird die Bezeichnung im Kontext der Servervirtualisierung verwendet und beschreibt das in einer abgeschotteten virtuellen Umgebung laufende virtualisierte System – sozusagen eine Nachbildung eines Rechnersystems. Dabei handelt es sich vorwiegend um ein vollständiges Betriebssystem, welches sich exakt so verhält, als sei es direkt auf der Hardware installiert. Die virtuelle Maschine läuft unter der Kontrolle des Virtual Machine Monitor (VMM) oder Hypervisors. Je nach Systemarchitektur hat die virtuelle Maschine dabei direkten, teilweisen oder gar keinen Zugriff auf die Hardware. Daneben bezeichnet man virtuelle Laufzeitumgebungen für Programme, die speziell für diese Laufzeitumgebungen geschrieben wurden, ebenfalls als virtuelle Maschinen, beispielsweise die Java Virtual Machine (ITWissen, 2016c).

2.2 Geschichte

Lebenszyklusanalyse / Ökobilanz

Seit Ende des zwanzigsten Jahrhunderts steigt das Interesse, Energieverbrauch und Schadstoffemissionen zu messen, und insbesondere seit der weltweiten Ölkrise der 1970er-Jahre wird bewusst, dass die Ressourcen endlich sind. Eine nachhaltige Entwicklung und die Reduktion von Treibhausgasen gehört zur politischen Agenda aller europäischen Staaten. Bei Lebenszyklusanalysen, wird, wie aus dem Namen ergeht, der ganze Lebenszyklus berücksichtigt und eben nicht nur die zu diesem Moment anfallenden Kosten. Durch die Ökobilanz können Prozesse optimiert, politische Ziele besser erfüllt, kann Transparenz geschaffen, Marketing betrieben und besser kommuniziert werden (Universität Siegen, 2008).

In Amerika wurden in den 1970er-Jahren die ersten Untersuchungen durchgeführt, die nicht nur die benötigte Energie, sondern auch (Abfall-)Emissionen über die verschiedenen Lebensphasen aufzeigen, durchgeführt worden. Etwa gleichzeitig fanden in Europa ähnliche Entwicklungen statt (Ayres, 1995). Der deutsche Begriff Ökobilanz wurde wahrscheinlich erstmals 1984 in der Packstoffstudie des damals so benannten Schweizer Bundesamts für Umweltschutz benutzt (Klöpffer & Grahl, 2009). Erst in den 1990er-Jahren wurde die erste Ökobilanz von ICT-Geräten durchgeführt (Aebischer & Hilty, 2015) und in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre wurde die Methode von der ISO standardisiert (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Früher bestand die Motivation hinter Ökobilanzen hauptsächlich darin, Umweltschäden zu verhindern. Heute sind ökonomische Gründe dazugekommen, denn es lassen sich direkt Kosten einsparen und Green IT lässt sich besser vermarkten.

Server-based Computing / Computer

In den 1950er- und 1960er-Jahren waren Prozessoren und Speicher in Relation zur angebotenen Leistung deutlich teurer als heutzutage, weshalb Grossrechenanlagen, sogenannte Mainframes, zum Einsatz kamen. Die Clients – "Terminal" genannt, bestanden in ihrer Funktionalität nur aus Monitor und Tastatur und wurden über serielle Leitungen direkt an das Mainframe angebunden. Sämtliche Datenverarbeitung und Rechenleistung wird dabei auf dem zentralen Server erbracht, wobei Benutzereingaben und Bild- sowie Audioausgaben zwischen Client und Server ausgetauscht werden (Fraunhofer UMSICHT, 2011). Lange Zeit hatte die Datenverbindung eine limitierende Eigenschaft, weshalb zentrale Systeme nicht optimal ausgelastet werden konnten (Technopedia, 2016).

Der Ursprung der heutigen Desktop-Computer wurde im Jahr 1981 von IBM kommerziell vertrieben. Es war das erste System, das einen Bildschirm, ein Computergerät und eine Tastatur in drei verschiedenen Gehäusen kombinierte (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015). In den Jahren ab 1980, als persönliche Rechner (PCs) massentauglich wurden, waren Mainframes oder server-based Computing noch weit verbreitet. Als die Computer- bzw. Rechenleistung jedoch billiger wurde, haben dezentralisierte Systeme die zentralisierten ersetzt, denn vieles konnte nun auf einem einfachen PC erledigt werden. Die Verkaufszahlen solcher Systeme wuchsen bis Mitte der 2000er-Jahre, als Laptops begannen, immer mehr Marktanteile von Desktop-Computern zu übernehmen. (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Seit dem Aufstieg der Desktop-Computer hat sich die Bandbreite, die Verbreitung bzw. Verfügbarkeit der Internetinfrastruktur in allen Bereichen verbessert. Die Effizienz von server-based Computing ist dank besserer Verfügbarkeit und Auslastung deutlich gestiegen. Heute ist es möglich, schnell auf Daten von Servern zuzugreifen oder Anwendungen auf dem Server auszuführen (Technopedia, 2016). Das Benutzererlebnis ist dabei vergleichbar mit dem an einem Desktop-Computer.

Durch die erhöhten Anforderungen wegen komplexerer Aufgaben, erhöhter Wartungskosten und sinkender Lebensdauern der Hardware überlegen sich viele Unternehmen, wieder zu zentralisierten Systemen zu wechseln (Plepys, 2004b). Somit kann SBC bei gleichbleibender Funktionalität für den Endnutzer einiges an Energie- und Kosteneinsparpotenzial bieten: geringerer Service-Aufwand durch Software-Standardisierung, schnellere Software-Aktualisierung, effizientere Geräte und längere Lebenszyklen der Thin Clients (ITWissen, 2017).

3 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden verwandte Arbeiten, die als Grundlage dienen und der aktuelle Wissensstand der Forschung beschrieben.

Mit möglichst ökologischer ICT-Infrastruktur haben sich schon viele Autoren befasst, beispielsweise im Sammelwerk "ICT. Innovations for Sustainability" von Hilty und Aebischer (2015), das einer meiner Hauptgrundlagen darstellt. Es gibt Kapitel, in denen verschiedene Aspekte von Energiebedarf und -kosten untersucht werden, aber auch die Materialbasis von ICT-Geräten und ihre Veränderung über die Zeit, wird genauer vorgestellt. Es werden zudem verschiedene Modelle für eine Nachhaltigere Nutzung mit und durch ICT vorgestellt und aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet.

Es ist weitestgehend bekannt, dass es ökologisch nicht sinnvoll ist, nach wenigen Jahren ein neues Notebook zu kaufen. Mit diesem Thema beschäftigt sich die Studie "Zeitlich optimierter Ersatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten" von Prakash *et al.* (2011). Sie zeigt das Treibhauspotenzial in den verschiedenen Lebenszyklusphasen und die benötigte Amortisationszeit der verschiedenen Szenarien in Abhängigkeit der Energieeffizienzsteigerung. Das Ergebnis ist erstaunlich, denn bei einer Energieeffizienzsteigerung der verschiedenen Geräte von zwanzig Prozent, läge die Amortisationszeit zwischen 17 und 44 Jahren, bei siebzig Prozent immer noch bei 13 Jahren.

Es gibt zahlreiche Autoren, die sich die Frage stellen, ob SBC innerhalb der ICT-Infrastruktur neben herkömmlichen Computern die ökologischere Variante darstellt und die Frage wird meist mit "Ja" beantwortet. Wie auch Andrius Plepys in seinem Paper "Software Renting – Better Business, Better Environment: The Case of Application Service Providing (ASP)" aus dem Jahr 2002 bereits feststellte, bieten Client-Server-Systeme sowohl wirtschaftliche, als auch ökologische Vorteile. Einerseits kann der Energieverbrauch während der Nutzungsphase verringert werden, andererseits haben Client-Server-Systeme das Potenzial, die Lebensdauer der Produkte zu erhöhen und somit den Materialverbrauch zu verringern. In einem seiner weiteren Werke, "The feasibility of adopting server-based computing in commercial and residential sectors" von 2004, zeigt er, dass mit server-based Computing bei gleichbleibendem Anwendernutzen weniger Materialverbrauch und dadurch weniger Elektromüll entsteht. Zudem kann der Administrationsaufwand um ein vielfaches reduziert werden.

Die Studie "Thin Clients 2011 – Ökologische und ökonomische Aspekte virtueller Desktops" vom Fraunhofer-Institut zeigt unter anderem, dass Thin Clients im Vergleich zu Desktop-Computern ökologische wie auch wirtschaftliche Vorteile hat.

Roland Hischier *et al.* haben in ihrem Werk "Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware" eine LCA von verschiedenen IT-Geräten gemacht. Dabei haben sie gezeigt, dass die Produktionsphase einen entscheidenden Einfluss auf die Umweltwirkungen hat. Dieser Einfluss der Herstellungsphase verstärkt sich, je kleiner (und energieeffizienter) die ICT-Geräte werden. Auf der anderen Seite steigt die Relevanz der Auswirkungen durch die Datenübertragung in der Nutzungsphase, je kleiner die Geräte sind (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Als wichtigste Datengrundlage für diese Arbeit dient der benutzte Datensatz von Hischier, den er für einen Vergleich von Printprodukten und ICT-Geräten erstellt hat. Der Schlussbericht zu dieser Frage, "Webapplikation zur Unterstützung eines nachhaltigeren Umgangs mit Printprodukten & ICT-Geräten" beschreibt die ganze Ökobilanz der verglichenen Elemente.

Wie man erkennen kann, sind die theoretischen Grundlagen bereits gut untersucht. Der Energiebedarf von Datacentern, der Lebenszyklus von IT-Infrastruktur und die damit verbundenen Emissionen sind bereits Untersuchungsobjekt von mehreren Forschungsgruppen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Erkenntnisse auf die Praxis zu beziehen, konkret auf die Universität Zürich. Es soll eine Lebenszyklus-Analyse der verschiedenen an der Universität benutzten IT-Infrastrukturszenarien vollzogen werden. Dabei sollen Nutzergruppen identifiziert werden, bei denen sich eine Thin Client-Ausweitung lohnen würde. Daraus soll eine möglichst nachhaltige Umsetzung mit optimierter Benutzerakzeptanz und maximiertem Nutzen herausgearbeitet werden.

4 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel dieser Untersuchung ist es, eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von der IT-Infrastruktur am Institut für Banking und Finance während des gesamten Lebenswegs durchzuführen. Die Analyse der ökologischen Wirkungen (Ökobilanz) von IT-Geräten berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus, d. h. die Produktion, den Betrieb sowie das Recycling bzw. die Entsorgung, und soll die gesamte ökologische Belastung bestimmen.

Es handelt sich konkret um eine Anschaffung von zehn Thin Clients im Frühjahr 2015, von denen neun Stück an die Semesterassistenten des IBF verteilt wurden. Die Frage, die nun gestellt wird, ist, bei welchen Nutzergruppen sich eine Ausweitung der Thin Clients unter Betrachtung der Dimensionen der Nachhaltigkeit, der monetären Kosten und der Nutzerbedürfnisse lohnt.

Dabei wurden die Arbeitsplätze von ungefähr dreissig Semesterassistenten (SA) und rund zwanzig Mitarbeitern des administrativen und technischen Personals (ATP) untersucht. Anhand einer Online-Befragung, bei der 15 ATPs und 15 SAs teilgenommen haben, konnten das Arbeitsverhalten, die Nutzung und im weiteren Sinne das ökologische Verständnis evaluiert werden.

Es wurden typische Arbeitsplätze definiert, verschiedene Szenarien erarbeitet und verglichen. Insbesondere der Vergleich zwischen der "neuen" Thin Client-Lösung und der "normalen" Desktop-Computer-Lösung ist von speziellem Interesse.

Die Ergebnisse der ökologischen Produktanalyse sollen dazu beitragen, ein Gefühl zu entwickeln für die Umwelteinwirkungen von IT-Infrastruktur an der Universität. Ausserdem ist es möglich, eine Optimierung der Ökobilanz in Aussicht zu stellen und mögliche ökologische Risiken und Schwachstellen aufzuzeigen. Dabei sollen die zweite und dritte Forschungsfrage, wie sich IT-Infrastruktur möglichst nachhaltig gestalten kann und was beachtet werden muss, um Benutzerakzeptanz und -nutzen zu optimieren, beantwortet werden. Die Resultate sollen schliesslich als Entscheidungsgrundlage für die Ausweitung einer Thin Client-Lösung betrachtet werden.

4.1 Produktsystem

In diesem Abschnitt der Untersuchung werden Nutzen und Funktion des Untersuchungsobjekts definiert. Im Einklang mit der Fragestellung, wird in dieser Untersuchung Herstellung, Nutzung sowie Entsorgung der Computer-Infrastruktur eines einzelnen Arbeitsplatzes betrachtet. Diese Infrastruktur kann entweder aus einem

vollwertigen Computer (Desktop-Computer, Laptop, Surface) bestehen, oder aber aus einer Arbeitsstation (einem Thin Client) sowie der nötigen Server-Infrastruktur, auf welcher zentral die Programme abgelegt sind. Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, sollen alle drei Phasen des Lebenszyklus untersucht werden, wobei die Distribution vernachlässigt wird.

Dabei sollen zuerst alle typischen Positionen einzeln bestimmt werden und in einem nächsten Schritt soll ein Vergleich der verschiedenen Szenarien durchgeführt werden.

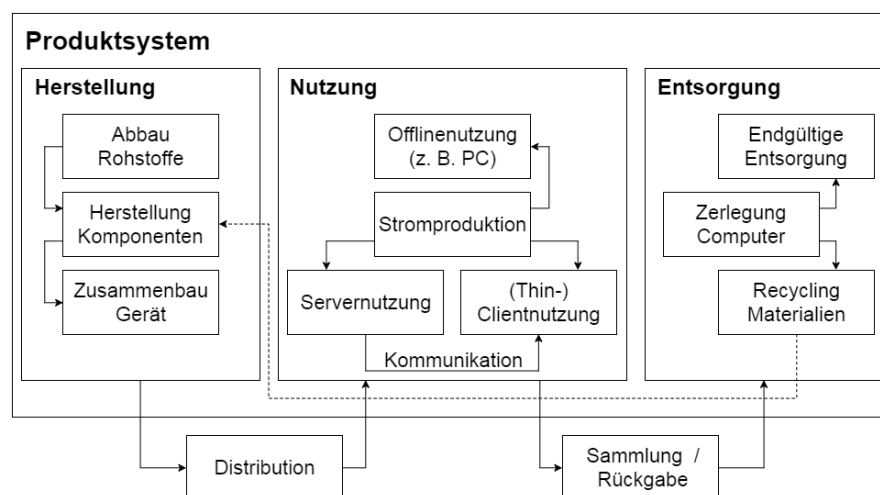


Abbildung 2: Systemgrenzen der Ökobilanz

Für die vorliegende Fallstudie wird der Teil des Instituts für Banking und Finance der Universität Zürich an der Plattenstrasse 14, 8032 Zürich als Untersuchungsobjekt gewählt. Berücksichtigt werden dort die Arbeitsplätze der Semesterassistenten und des administrativ-technischen Personals; nicht Teil der Untersuchung sind beispielsweise die Arbeitsplätze der Doktoranden.

In dieser Studie liegt der Fokus auf der Infrastruktur, welche für die Ausführung der lokalen Software nötig ist; die Untersuchung beschäftigt sich nicht mit der zugrundeliegenden Kommunikationsinfrastruktur (Rundfunk, Internet, Festnetz-Telefonie, Mobilfunk), da angenommen wird, dass diese unabhängig von der Art der Arbeitsstation im gleichen Umfang verwendet werden.

Auch Druckgeräte werden in dieser Studie nicht berücksichtigt, da auch für diese angenommen werden kann, dass sie von der Art der benutzten Arbeitsstation nicht beeinflusst werden.

Tastaturen und Mäuse fließen in die Berechnungen ein, damit es möglich ist, einen Desktop-Computer mit beispielsweise einem Laptop (hier sind Tastatur und Maus bereits eingebaut) zu vergleichen.

Die Distribution der Produkte wurde vernachlässigt, da von einem Transport per Hochseeschiff ausgegangen wird und sie von untergeordneter Wichtigkeit ist.

4.1.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit für diesen Vergleich ist ein Arbeitsplatz mit einer kompletten Arbeitsstation (Tastatur, Maus, Bildschirm(e) inbegriffen) für eine Person über ein Jahr. Im Fall der Thin Client-Lösungen sind die Server mit einberechnet. Aus der Befragung konnten die folgenden verschiedenen Profile mit angegebenen Spezifikationen unterschieden werden:

Administrativ-technisches Personal (ATP)

Die Haupttätigkeit von Mitarbeitern des administrativ-technischen Personals besteht in nicht sehr rechenintensiven Tätigkeiten wie Korrespondenz, Archivierung und Sekretariatsarbeiten. Sie verwenden hauptsächlich Microsoft Office, Internet-Browser, SAP, Adobe und die Datenbank (Server) des Instituts. Zudem wird ein kleiner Teil an Webmaster-, statistischen und grafischen Tätigkeiten von ihnen übernommen.

Bei den ATPs wird deshalb angenommen, dass Ihre Arbeitsstationen täglich neun Stunden eingeschaltet sind, davon siebeneinhalb Stunden in aktiver Nutzung und eineinhalb Stunden im Stromsparmodus.

Semesterassistierende (SA)

Bei den Semesterassistierenden unterscheiden sich die Tätigkeiten etwas mehr. Es wird, wie auch beim ATP, viel im Browser, in LaTeX und in Microsoft Office gearbeitet, ein Teil von ihnen (rund sechs Personen) führt aber auch rechenintensivere Aufgaben und teilweise Berechnungen durch. Dabei benutzen sie Programme wie Matlab, Stata, und R.

Bei den Semesterassistierenden wird hier ebenfalls mit neun Stunden im eingeschalteten Modus gerechnet, davon aber nur sechs Stunden in aktiver Nutzung und die verbleibenden drei Stunden im Stromsparmodus.

	SA		ATP	
Eingeschaltet	9 Stunden		9 Stunden	
Aktive Nutzung	6 Stunden		7.5 Stunden	
Stromsparmodus	3 Stunden		1.5 Stunden	
Anz. Bildschirme	1 (~ 60 %)	2 (~ 40 %)	1 (~ 45%)	2 (~ 55 %)
Nutzung	Schwach	Stark	Schwach	

Tabelle 1: Darstellung der verschiedenen Nutzungsprofile

Zusätzlich wird für diese Studie zwischen starker und schwacher Nutzung der Thin Client-Lösungen unterschieden. Bei den Semesterassistierenden wird angenommen, dass es neun (60 %) schwache Nutzer gibt, die mit einer Übertragung von 177.5 kbps zum Server kommunizieren und einen Bildschirm benutzen. Sechs Anwender (40 %) benutzen zwei Bildschirme und sind starke Nutzer, bei denen mit einer Übertragungsrate von 290 kbps gerechnet wird. Bei den ATPs wird angenommen, dass alle schwache Nutzer sind und ein Teil (55 %) einen zweiten Bildschirm benutzt.

4.1.2 Server

Da bei den zwei Thin Client-Lösungen davon ausgegangen wird, dass im Hintergrund ein Server läuft, soll auch dieser modelliert werden. Es handelt sich dabei um die Server des zentralen Informatikdienstes der Universität Zürich.

Generelle Informationen und zusätzliche Annahmen

Die Serverinfrastruktur setzt sich grundsätzlich aus einem Server-Rack (Chassis) mit Servereinheiten und einem Rack mit dem Storagesystem zusammen. Folgende Informationen stammen, wenn nicht anders gekennzeichnet, vom Zentralen Informatikdienst der Universität Zürich.

Der VMware Cluster, auf dem die IBF VDI VMs laufen, besteht aus sechzehn HP Blade Servern, die etwas älter als ein Jahr sind. Der Cluster ist aus ausfalltechnischen Gründen über zwei Standorte verteilt und so ausgelegt, dass ein Standort ausfallen kann und alle produktiven VMs vom anderen Standort getragen werden können. Die Server sind aus diesem Grund nie mehr als 50 Prozent ausgelastet. Jeder dieser Blade Server verfügt über 2 x 12 Cores mit 2.3 GHz (CPU) und je 512 GB Memory und kann ca. drei Jahre genutzt werden. Ein Blade Chassis, voll bestückt mit sechzehn Servern, hat bei der aktuellen Auslastung eine Leistungsaufnahme von ca. 5.5 kW. Das Limit

des Server-Racks liegt bei 9.7 kW. Bei dem Blade Chassis wird mit einer Lebenserwartung von rund sechs Jahren gerechnet.

Die Server sind über FC SAN an zwei zentrale Stagesysteme angebunden. Dabei handelt es sich um zwei gespiegelte HP 3PAR 7400 Stagesysteme für Virtualisierung, mit je 200 TB Storage gespiegelt, also 400 TB. Diese haben je ein Gewicht von ca. 153 kg und eine Leistungsaufnahme von je ca. 4.5 kW. Es gilt anzunehmen, dass auch ein Storage-Rack benötigt wird. Das 42U Intelligent Series Rack von HP wäre passend und hat 110 kg. Die Lebensdauer eines Stagesystems liegt bei ca. vier Jahren, das Rack kann etwa zwölf Jahre (eigene Annahmen) benutzt werden.

Eine Ausweitung um einen Faktor vier vom Institut für Banking und Finance wäre nach Aussage der Zentralen Informatikdienste kein Problem. Da ausserdem davon ausgegangen wird, dass sich die Serverkapazität im nächsten Jahr erhöhen wird, ist auch eine grössere Ausweitung möglich.

Die 23 VMs des IBF sind mit je 4 GB Memory und zwei vCPUs bestückt. Zwischen den Thin Clients am Institut und den VDI VMs im Datencenter der Zentralen Informatik werden Bildschirminformationen und Maus- bzw. Tastatur-Inputs übertragen, dies ergibt einen Mittelwert von ungefähr 200 kbps.

Ungünstigerweise befinden sich die virtuellen Desktops auf der gleichen Hardware wie die virtuellen Server. Die virtuelle Serverinfrastruktur schränkt die Auslastung und somit auch die Effizienz enorm ein. Einerseits durch die erhöhte benötigte Datensicherheit, die durch das gespiegelte Stagesystem erreicht wird. Andererseits durch andere Konfiguration, diese Effizienz widerspiegelt sich in der sogenannten Power Usage Effectiveness (PUE). Wäre die virtuelle Desktop Umgebung grösser, könnte sie auf ein dediziertes Server- (bzw. Stagesystem) ausgelagert werden.

In der folgenden Tabelle werden die Eigenschaften des Datencenters zusammengefasst:

	Server-Rack	Server	Storage-Rack	Storage
Beschreibung	Chassis	16 Bladeserver mit je 6 kg	42U Intelligent Series Rack	2 HP 3PAR 7400
Gewicht	120 kg	96 kg	110 kg	306 kg
Lebensdauer	6 Jahre	3 Jahre	12 Jahre	4 Jahre
Stromverbrauch	5.5 kW		9 kW	

Tabelle 2: Spezifikationen der Serverkomponenten

4.2 Typische Arbeitsplätze

In der Fragestellung geht es hauptsächlich um den Vergleich zwischen der Thin Client-Lösung und der "normalen" Desktop-Computerlösung. Da in der Praxis am IBF jedoch etwas mehr Arbeitsstationen benutzt werden, und um einen besseren Gesamteindruck zu bekommen, werden auch diese in diesem Teil der Fallstudie vorgestellt.

In den nachfolgenden Tabellen werden die typischen Arbeitsplätzen des Instituts vorgestellt: ein typischer Laptop, ein typischer Computer, ein Computer der als Thin Client wiederverwendet wird, ein Thin Client, ein Microsoft Surface und ein Bildschirm.

Da es am IBF eine Vielzahl von verschiedenen Marken und Modellen von Laptops gibt, musste hier ein idealtypisches Beispiel gewählt werden. Die Laptops sind aus dem Jahr 2010 und neuer. Bei den unten aufgezeigten Spezifikationen handelt es sich um ein Macbook Pro, das aus dem Datensatz von Roland Hischier gewählt wurde:

Gewicht	2.5 kg
Grösse (Bildschirmdiagonale)	15" (ca. 38.1 cm)
Optische Laufwerke	Ohne
Geplante Lebenszeit	4 Jahre
Ungefähre Kosten	1500–1600.– CHF

Tabelle 3: Spezifikationen eines typischen Laptops

Es werden auch einige verschiedene Modelle von Desktop-Computern genutzt, mit unterschiedlichen Anschaffungsjahren und variierenden Spezifikationen. In der nachfolgenden Tabelle wurde dies zusammengefasst:

Hersteller	HP
Typ	Mini tower (CMT)
Gewicht	9 kg
Prozessor	Intel i5, Intel i7
Hauptspeicher RAM	8–16 GB
Festplatte	500 GB – 1 TB HDD, teils auch SSD mit 256 – 512 GB
Optische Laufwerke	1
Geplante Lebenszeit	5 Jahre
Ungefähre Kosten	1200–1400.– CHF

Tabelle 4: Spezifikationen eines typischen Computers

Als kostengünstige Alternative zu den Thin Clients werden zusätzlich ältere, nicht ausgemusterte Serien von HP-Computern wiederverwendet. Dabei wird die alte

Festplatte entfernt und eine 32 GB SSD eingebaut, auf der Windows Embedded, eine abgespeckte Version von Windows, installiert wird.

Hersteller	HP
Typ	dc7800, dc7900 Serie
Gewicht	7.3 kg
Prozessor	Intel Core 2
Hauptspeicher RAM	4–8 GB
Festplatte HD	32 GB SSD
Optische Laufwerke	1
Geplante Lebenszeit	Nach 5 Jahren in Nutzung vielleicht noch 2 Jahre als Thin Client
Ungefähre Kosten	1400.– CHF

Tabelle 5: Spezifikationen eines Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird

Das Institut Banking und Finance der Universität Zürich wurde im Frühling 2015 mit zehn neuen Thin Clients ausgestattet, wovon neun Stück an die Semesterassistierenden verteilt wurden und einer in der IT-Abteilung für Testzwecke und Ähnliches zurückgehalten wird. Die Thin Clients haben folgende Spezifikationen:

Hersteller	HP
Typ	T520 G9F08AA
Gewicht	1.1 kg
Prozessor	AMD GX-212JC Dual-Core SOC APU
Hauptspeicher RAM	4 GB
Festplatte HD	16–32 GB SSB
Optische Laufwerke	Ohne
Geplante Lebenszeit	6 Jahre
Ungefähre Kosten	600.– CHF

Tabelle 6: Spezifikationen eines Thin Clients

Es gibt auch einige Personen, die seit 2016 mit einem Microsoft Surface Pro 4 mit den folgenden Spezifikationen ausgestattet sind:

Hersteller	Microsoft
Typ	Pro 4
Gewicht	800 g
Grösse (Bildschirmdiagonale)	12.3" (ca. 31.24 cm)
Prozessor	Intel Core i5 der 6. Generation
Hauptspeicher RAM	4 GB
Festplatte HD	128 GB SSD
Optische Laufwerke	Ohne
Geplante Lebenszeit	3 Jahre
Ungefähre Kosten	1000–1500.– CHF

Tabelle 7: Spezifikationen eines Microsoft Surface Pro 4

Am IBF wird aktuell zwischen zwei verwendeten Typen von Bildschirmen unterschieden. Es gibt ein älteres Modell von Philips und ein neueres Modell von Samsung. Die meisten Mitarbeitenden besitzen jedoch bereits einen Samsung-Bildschirm und die Philips-Bildschirme werden nach und nach ersetzt. Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass das Hauptaugenmerk nicht auf die Bildschirme gerichtet wird, kann das Modell von Philips für die Untersuchung wegrationalisiert werden. Der LED-Monitor von Samsung mit 24 Zoll wird seit ungefähr 2010 angeschafft.

Hersteller	Samsung
Typ	S24E450F
Gewicht (mit Fuss)	5.1 kg
Grösse (Bildschirmdiagonale)	24" (ca. 60.96 cm)
Energieklasse	B
Geplante Lebenszeit	8 Jahre
Ungefähre Kosten	180–220.– CHF

Tabelle 8: Spezifikationen eines Samsung (24") Bildschirms

Schliesslich werden noch die Verbrauchsangaben (in Watt) der verschiedenen Arbeitsstationen in den unterschiedlichen Nutzungsmodi zusammengefasst. Obwohl die Messung im Sleep- und im ausgeschalteten Modus 0.0 W ausgewiesen hat, wurde hier ein etwas höherer Wert (in der nachfolgenden Tabelle markiert mit ²) gewählt. Dies einerseits mit dem Interesse, die Messungenauigkeiten zu eliminieren, aber andererseits mit dem Wissen, dass solch ein geringer Stromverbrauch keinen grossen Einfluss in der Nutzungsphase ausmacht. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Nutzungsphase schlussendlich einen bescheidenen Anteil der ökologischen Folgen ausmacht.

	Aktiv	Sleep	Aus	Bemerkungen
Laptop	17.9	1.33	0.32	<i>Übernommen von Hischer</i>
Surface	30 ¹	0.5 ²	0.1 ²	<i>Eigene Messungen ¹ und Annahmen ²</i>
Thin Client	7 ¹	0.5 ²	0.1 ²	<i>Eigene Messungen ¹ und Annahmen ²</i>
Computer als TC	45 ¹	0.5 ²	0.1 ²	<i>Eigene Messungen ¹ und Annahmen ²</i>
Desktop-Computer	75 ¹	0.5 ²	0.1 ²	<i>Eigene Messungen ¹ und Annahmen ²</i>
Bildschirm	26	0.3	0.3	<i>Energy Star Angabe</i>

Tabelle 9: Überblick über die Verbrauchsangaben (in W) der verschiedenen elektronischen Geräte in den verschiedenen Nutzungsmodi

5 Sachbilanz

In diesem Kapitel einer Ökobilanz sollen die Umweltaspekte als Inputs und Outputs quantifiziert und zusammengestellt werden. Dabei sollen die Ressourcenverbräuche und Energieflüsse dem Nutzen bzw. den damit korrelierenden Emissionen gegenübergestellt werden. Da solch eine Auflistung jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, verweise ich an dieser Stelle auf die Arbeit von Roland Hischier, dessen Datengrundlage in dieser Arbeit verwendet wird.

5.1 Verwendete Daten

Grundlage für die Berechnung der verschiedenen Arbeitsplatz-Konfigurationen bildet die Studie "Webapplikation zur Unterstützung eines nachhaltigeren Umgangs mit Printprodukten & ICT-Geräten" (Hischier R. , 2013). Basierend auf den Angaben in diesem Schlussbericht wurden die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit ausgeführt. Basis für die dort aufgeführten Geräte sind die folgenden drei Arbeiten: (Hischier, Keller, Lisibach, & Hilty, 2013), (Hischier, Classen, Lehmann, & Scharnhorst, 2007), (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015), welche für die Vorketten und Hintergrunddaten mit der Datenbank ecoinvent (Version v3.2) verknüpft wurden (ecoinvent, 2015).

Ein Teil der Nutzungsdaten, konnte aus den Resultaten der Online-Umfrage am Institut für Banking und Finance hergeleitet werden (die Resultate der Umfrage sind nur in digitaler Form einsehbar). Die Spezifikationen der einzelnen Arbeitsstationen wurden durch eigene Messungen und durch Recherche im Internet herausgefunden. In der Studie von Hischier werden folgende für diese Arbeit relevanten Geräte untersucht:

- Tablet (LCD-Bildschirm)
- Laptop
- Desktop, ohne Monitor
- Monitor (neues Modell)

Auch die Datengrundlage für die Berechnung der Auswirkungen der Netzbelastung ist die oben erwähnte Studie von Hischier, wobei für die Servernutzung und die Datenübertragung der Client-Lösungen die Rahmenbedingungen angepasst wurden.

5.2 Annahmen

Die in der Studie von Hischier (Hischier R. , 2013) getroffenen Annahmen haben auch im Rahmen dieser Untersuchung Gültigkeit und wurden deshalb unverändert übernommen. Dementsprechend wird beispielsweise die Stromversorgung in der Produktion mit einem globalen Strommix modelliert und in der Nutzungsphase wird von einem schweizerischen Strommix ausgegangen.

Für diese Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die prozentuale Zusammensetzung der in der Studie von Hischier modellierten ICT-Geräte als konstant angenommen werden kann. Eigene Messungen bzw. Abklärungen im Rahmen dieser Untersuchung werden auf die Kilogramm-Werte der einzelnen Geräte in Hischiers Daten skaliert.

Bei den beiden Thin Client-Lösungen wird zudem die Servernutzung mit einberechnet. Über die Lebensdauer können die prozentualen Anteile der Produktions- und Entsorgungsphase einkalkuliert werden. In der Nutzungsphase werden zusätzlich die Belastung für die Übertragung der Daten und der anteilmässige Energieverbrauch des Servers selber dazu addiert. Allgemein kann angenommen werden, dass der benötigte Stromverbrauch eines Servers verdoppelt werden kann, damit die Kühlungs- und allgemeine Unkosten gedeckt sind (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015).

Für die Nutzungsphase wird mit 48 Arbeitswochen pro Jahr gerechnet.

6 Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung werden die Stoffemissionen nach ihrer unterschiedlichen Wirkung auf die Umwelt in sogenannte Wirkungskategorien gruppiert. Dabei werden die einzelnen Substanzen abhängig von ihrem Schädigungspotenzial gegeneinander gewichtet, indem eine Leitsubstanz pro Wirkung bestimmt wird (Dinkel, 2013).

6.1 Wirkungskategorien

Um ein möglichst umfassendes Bild zu bekommen, wird eine ganze Reihe unterschiedlicher Wirkungskategorien benutzt. Diese Indikatoren wurden auch von Hischier (siehe Abschnitt 5.1) verwendet und werden hier kurz vorgestellt.

Bei den nachfolgenden drei Indikatoren handelt es sich um ReCiPe-Endpoint-Kategorien. Aus welchen Umweltmechanismen und Midpoint-Indikatoren sie sich zusammensetzen, kann in Abbildung 1 nachgeschlagen werden.

Schaden am Ökosystem (EQ – Ecosystem Quality)

Dieser Indikator misst die Schäden an der Qualität bzw. Diversität des Ökosystems. Sie hat mehrere Einflussgrößen wie z. B. Versauerung, Eutrophierung, Landnutzung, Einfluss der ökotoxischen Stoffe, aber auch die Anzahl an verlorenen Spezies während eines Jahres wirkt sich auf den Indikator aus. Er wird in Punkten gemessen (Goedkoop, *et al.*, 2009).

Schaden an der menschlichen Gesundheit (HH – Human Health)

Die Schäden an der menschlichen Gesundheit werden meist anhand des DALY-Konzepts ('disability-' oder 'disease-adjusted life years') berechnet. Mit dieser ReCiPe-Endpoint-Kategorie soll die Bedeutung verschiedener Krankheiten auf die Gesellschaft gemessen werden. Mit DALY soll nicht nur die Sterblichkeit, sondern auch die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst und in einer Masszahl summiert werden: $DALY = YLL + YLD$.

Dabei stellt YLL die durch einen vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre und YLD die mit einer Krankheit oder Behinderung gelebten Lebensjahre dar. Der Schaden an der menschlichen Gesundheit wird in Punkten gemessen (Goedkoop, *et al.*, 2009).

Schaden bei der Rohstoffverfügbarkeit (Res Resource Availability)

Durch die Ressourcenverfügbarkeit werden überlebenswichtige Ressourcen wie Wasser, Land, Mineralien (z. B. Metalle), fossile Brennstoffe, Wind-, Wasser- und Solarenergie usw. gelistet und die Kostenveränderung gemessen. Auch dieser Indikator wird in Punkten gemessen (Goedkoop, *et al.*, 2009).

Treibhauspotenzial (GWP – Global Warming Potential)

Das Treibhauspotenzial beschreibt den Einfluss von Gasen auf die Temperaturerhöhung auf der Erde (Dinkel, 2013) und wird in Form von CO₂-Äquivalenten (in kg) angegeben. Es handelt sich um einen ReCiPe-Indikator und Hischier verweist dabei auf folgende Erläuterung:

"Die Treibhausgasemissionen quantifizieren die kumulierten Wirkungen verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz CO₂. Die Treibhauswirkung wird auf Basis der Treibhauspotenziale des 5. Sachstandberichts des IPCC (2013) quantifiziert." (KBOB, *et al.*, 2014, S. 7)

Kumulierter Energieaufwand (CED – Cumulative Energy Demand)

Der hier verwendete kumulierte Energieaufwand quantifiziert den nicht erneuerbaren Anteil des Energieverbrauchs (auch grauen Energie genannt), welcher über einen Prozess benötigt wird. Dies beinhaltet den Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern. Nicht eingeschlossen sind hingegen erneuerbare Energieträger wie Wasserkraft, Holz bzw. Biomasse (ohne Kahlschlag von Primärwäldern), Sonnen-, Wind-, geothermische Energie und Umgebungswärme (KBOB, *et al.*, 2014). Vor allem der nicht erneuerbare Anteil des Energieaufwands ist von grosser Bedeutung und wird hier in MJ-Äquivalenten angegeben:

"According to the research by Huijbregts et al. 'fossil CED correlates well with most impact categories, such as global warming, resource depletion, acidification [...]' but its use as a stand-alone indicator for the environmental impact of a product is nevertheless limited due to 'the large uncertainty in the product-specific fossil CED-based impact scores' resulting from releases and land use due to non-fossil energy consumption." (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015, S. 174)

Methode der ökologischen Knappheit (UBP – Umweltbelastungspunkte)

Die Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen erfolgt, indem die Mengen der emittierten Schadstoffe bzw. der benötigten Ressourcen mit den jeweiligen Ökofaktoren multipliziert werden. Dabei geht es darum, die verschiedenen Auswirkungen, wie z. B. diejenige auf die menschliche Gesundheit, das Klima oder auf Ökosysteme, entsprechend ihrer Bedeutsamkeit gegeneinander zu gewichten. Die ökologische und politische Relevanz der Stoffe spielt dabei eine entscheidende Rolle. Dabei werden die aktuelle Belastung und ein gesellschaftlich gestelltes Ziel (Toleranzmenge) verglichen und das Verhältnis wird als ökologische Knappheit bezeichnet. So werden beispielsweise Emissionen, die in Europa wenig Umweltrelevanz haben oder zu denen noch zu wenig bekannt ist, nicht bewertet. Der Ökofaktor bestimmt die Schädlichkeit der verschiedenen Einwirkungen und je höher dieser ist, desto umweltbelastender ist die entsprechende Einwirkung. Der Ökofaktor wird dabei entsprechend der ISO-Norm 14'044 aus drei Elementen hergeleitet:

Charakterisierung: Dabei handelt es sich um die relative Schädlichkeit eines Schadstoffes gegenüber einer Referenzsubstanz innerhalb der bestimmten Wirkungskategorie.

Normierung: Dies ist der Beitrag einer Einheit eines Schadstoffes an die gesamte aktuelle Belastung einer Region (hier: Schweiz) pro Jahr.

Gewichtung: Darunter versteht man das Verhältnis der momentanen Schadstoffemission (bzw. Ressourcenverbrauch) zu den politisch festgelegten Emissions- resp. Verbrauchszielen.

Die Methode der ökologischen Knappheit hat dabei das Ziel, die verschiedenen Auswirkungen durch Vollaggregation zu einer einzigen Kenngrösse, den Umweltbelastungspunkten (UBP), zusammenzufassen (Frischknecht, Steiner, & Jungbluth, 2009).

6.2 Typische Arbeitsplätze

In Abschnitt werden die typischen Arbeitsplätze am Institut für Banking und Finance vorgestellt und deren Einfluss auf die drei ReCiPe-Endpoint-Indikatoren (EQ: Ecosystem Quality, HH: Human Health, Res: Resource Availability) aufgezeigt. Für die Berechnung des Einflusses auf die gewählten Wirkungskategorien wurden dieselben Daten verwendet die Roland Hischier (Hischier, Keller, Lisibach, & Hilty, 2013, ecoinvent, 2015) in seinen Untersuchungen benutzt, und nach Kilogramm skaliert.

Es wird bei der Vorstellung der verschiedenen Arbeitsplätze noch nicht auf die unterschiedlichen Benutzertypen eingegangen, sondern von einem Durchschnittsnutzer (gemittelte Servernutzung über einen Monat, durchschnittliche Nutzungszeiten) ausgegangen. Beim Durchschnittsnutzer wird angenommen, dass die Arbeitsstation neun Stunden eingeschaltet ist, davon 6.75 Stunden aktiv genutzt wird und sich 2.25 Stunden im Stromsparmodes befindet. Die Nutzungsphasen können unterschiedlich lang sein.

Annahmen zu den Client-Lösungen

Bei den Thin Client-Lösungen geht man von einer durchschnittlichen Übertragung von 200 kbps (über acht Stunden) zum Server und zurück aus. Der Anteil einer virtuellen Maschine am Server wird in die Produktions- und Entsorgungsphase mit einem Anteil von 1/700 der gesamten Hardware gerechnet.

Es gestaltet sich als sehr schwierig den gesamten Datentransfer, der in der Nutzungsphase über die benutzten Server läuft, zu quantifizieren. Um eine Annäherung zur Datentransfermenge zu treffen, wird in Rücksprache mit dem ZI davon ausgegangen, dass 1200 VMs auf dem Cluster laufen, und die Übertragung einer VM wird hochgerechnet.

Um generell auf das Internet zugreifen zu können, werden neben dem Endgerät vier Gerätetypen vorausgesetzt (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015): Dabei wurden beim Customer Premises Equipment (i), beim Access Network (ii) und beim Edge and Core Network (iii) die Annahmen und Zahlen von Hischier übernommen. Bei den Metro und Core Routern (iii) wurde eine Annahme getroffen, dass je zwei davon benötigt werden. Die Angaben zum Datacenter können in Tabelle 2 eingesehen werden. Die hier verwendete Berechnungsmethode der Internetbelastung basiert wiederum auf einer Berechnung von Hischier und kann in digitaler Form genauer eingesehen werden.

Laptop

Die Berechnungen des Laptops wurden so übernommen, da keine Anpassungen im Gewicht gemacht werden mussten. In der nachfolgenden Abbildung ist schnell ersichtlich, dass laut den drei ReCiPe-Endpoint-Indikatoren fast ausschliesslich die Produktionsphase für die Umweltwirkungen verantwortlich ist und die vierjährige Nutzungsphase einen recht kleinen Einfluss hat (EQ: 10 Prozent HH: 5 Prozent Res: 7 Prozent).

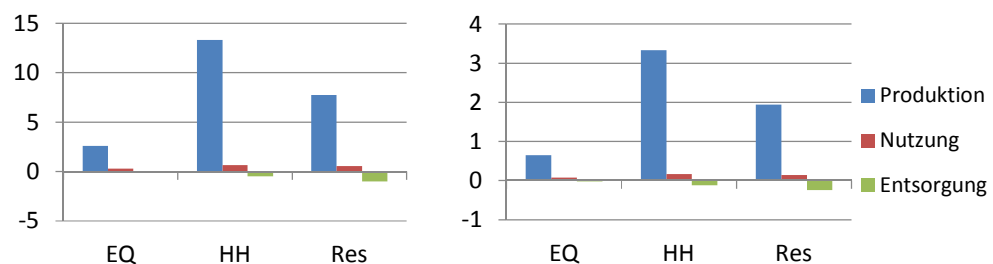


Abbildung 3: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Laptops über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Desktop-Computer

Auch beim Desktop-Computer ist die Produktion die bedeutsamste Phase, wobei die fünfjährige Nutzungsphase durch den höheren Stromverbrauch von 75 W und die Entsorgung einen grösseren Anteil der ökologischen Folgen ausmacht als beim vorgestellten Laptop. Ein beachtlicher Anteil der Punkte (EQ: 7 Prozent, HH: 14 Prozent, Res: 26 Prozent) kann in der Entsorgungsphase subtrahiert werden.

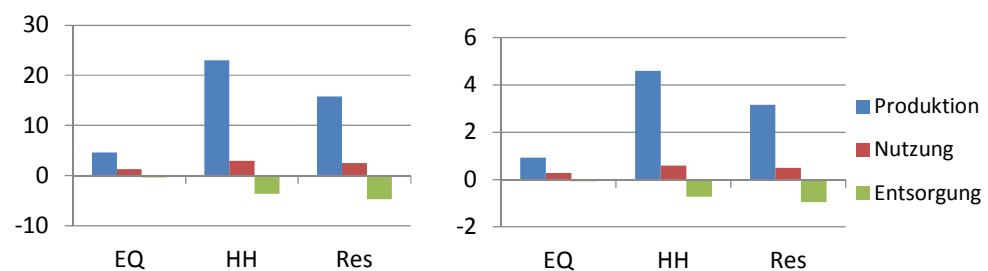


Abbildung 4: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Um einen Vergleich wagen zu können, ist jedoch von der gleichen Funktionalität auszugehen, weshalb ein Bildschirm dazugerechnet werden muss. Die Produktion von

Bildschirmen hat dabei einen beachtlichen Einfluss, wie in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist. Die Position der Herstellungsphase hat sich sogar noch etwas verstärkt, wobei sich die aufsummierten Werte jedes Indikators mit dem Bildschirm mindestens verdoppelt haben. Betrachtet man die funktionelle Einheit des Desktop-Computers (inkl. Bildschirm), hat er absolut gesehen den schlechtesten Wert in jeder ReCiPe-Endpoint-Kategorie. Zählt man die Punkte der funktionellen Einheit, die sich über die drei Phasen ergeben zusammen, erhält man für EQ 2.749 Punkte, für HH 10.840 Punkte und für Res 6.359 Punkte.

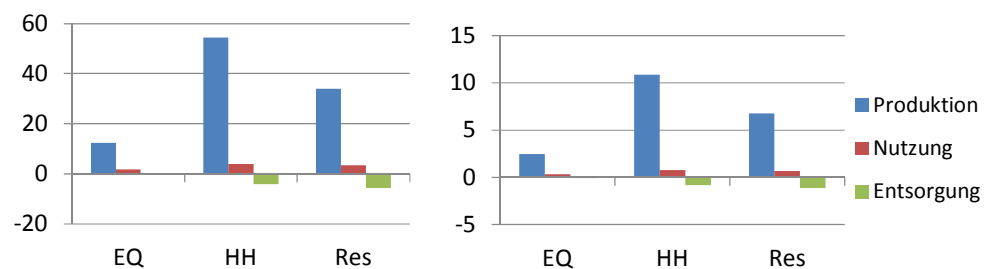


Abbildung 5: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Desktop-Computer als Thin Client wiederverwendet

Bei diesem Arbeitsplatz ist auch die Produktion die bedeutsamste Phase des Lebenszyklus. Der Einfluss des Servers wurde hier nur mit einem Verhältnis von 2/7 einbezogen, da die Nutzungsphase auf sieben Jahre geschätzt wird, während der Computer nur zwei Jahre als Thin Client benutzt wird. Die Modellierung erfolgt anhand des Computer-Datensatzes, wo die Nutzungszeit angepasst und die Kilogramm-Werte skaliert werden.

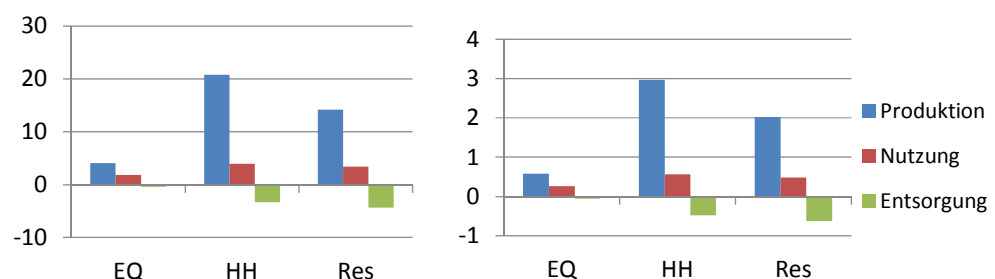


Abbildung 6: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird, ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Wie in der nächsten Abbildung gut erkennbar ist, erhöht der Bildschirm den Einfluss der Produktionsphase enorm. Durch die relativ lange Nutzungsdauer von sieben Jahren, sind die aufsummierten Auswirkungen der funktionellen Einheit mit EQ: 1.994, HH: 7.681 und Res: 4.550 jedoch vergleichsweise recht gut.

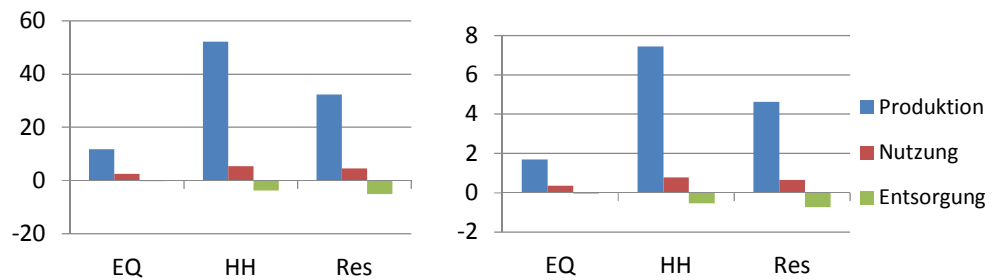


Abbildung 7: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird, mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Thin Client

In den Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Zusammenstellung eines Thin Clients der eines Computers ähnelt. In der Nutzungsphase von sechs Jahren wird mit einem Verbrauch von sieben Watt pro Stunde gerechnet, jedoch wird noch der Anteil einer virtuellen Maschine auf dem Server dazu addiert. Die Nutzungsphase hat einen entscheidend grösseren Einfluss, doch sind die Werte im Vergleich immer noch enorm klein. Insbesondere bei den Schäden am Ökosystem (EQ) sind die Einflüsse der Nutzung interessant, da sie höher sind als in der Produktion. Ausserdem ist auch der Anteil der Entsorgung im Vergleich zu den anderen Arbeitsplätzen deutlich grösser.



Abbildung 8: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Thin Clients ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Der Anteil des Bildschirms ist beachtlich, wie in Abbildung 9 gut ersichtlich ist: Der aufsummierte Wert für HH über den gesamten Lebenszyklus ist mehr als drei Mal höher. Im Vergleich zu den anderen, nicht mobilen Arbeitsstationen, sind die Auswirkungen der funktionellen Einheit ähnlich oder gar besser (vgl. Tabelle 13).

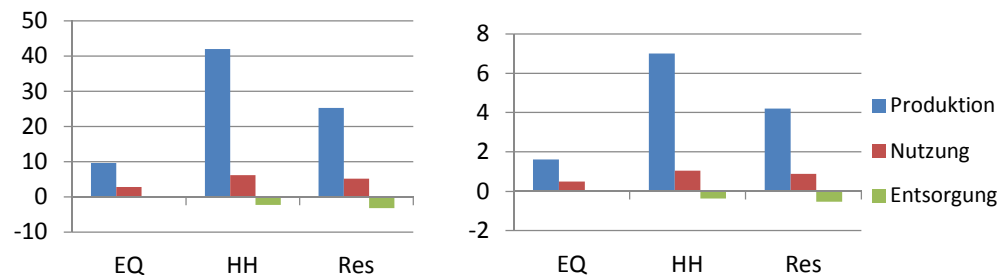


Abbildung 9: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Thin Clients mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Microsoft Surface Pro 4

Beim Microsoft Surface Pro 4 wurde angenommen, dass es von der Zusammensetzung her am ehesten mit einem Tablet verglichen werden kann. Im Datensatz von Hischer werden zwei Tablets mit unterschiedlichen Bildschirmstechnologien modelliert, einerseits ein LCD im klassischen Gerät und andererseits ein e-Paper-Bildschirm. Die e-Paper-Variante ist mit einem erhöhten Herstellungsaufwand verbunden, wobei in der Nutzungsphase deutlich weniger Strom benötigt wird. Da das Surface einen LCD-Bildschirm hat, wurde diese Variante gewählt und angenommen, dass es in der Zusammenstellung einem Tablet gleichzusetzen ist. Somit wurde die Nutzungszeit angepasst, von einem Stromverbrauch von 30 W ausgegangen und die Kilogramm-Werte skaliert, um nachfolgende Abbildung zu zeigen.

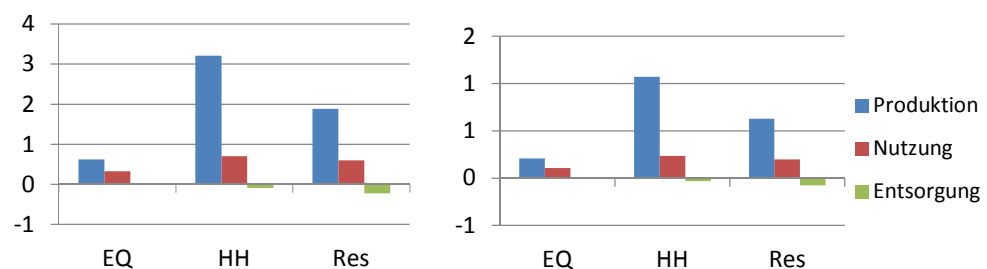


Abbildung 10: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Microsoft Surface Pro 4 über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Wie bei jedem Endgerät ist die Produktionsphase entscheidend für die Umweltbelastung, wobei durch die Tatsache, dass das Surface mit nur 800 Gramm enorm leicht ist, die absoluten Auswirkungen relativ gering sind (beispielsweise Human Health in der Produktion: 3.214 Punkte).

Bildschirm

In der unteren Abbildung ist ersichtlich, dass auch bei den Bildschirmen die Herstellung für über 90 Prozent der Punkte (EQ: 91 Prozent, HH: 95 Prozent, Res: 93 Prozent) verantwortlich ist und somit einen enormen Einfluss hat. Die Nutzungsphase (acht Nutzungsjahre, in denen 26 Watt pro Stunde verbraucht werden) hat einen sehr kleinen Einfluss.

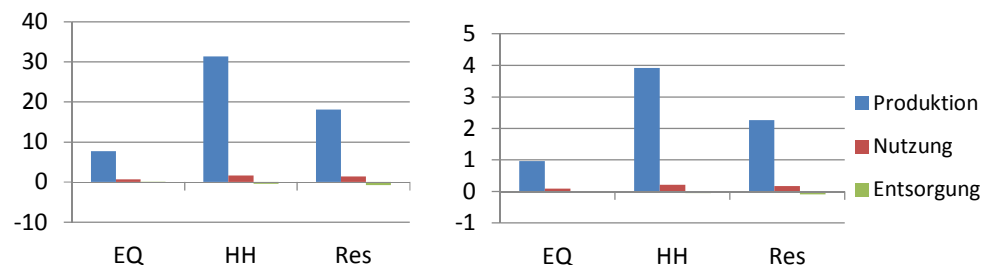


Abbildung 11: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Bildschirms über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

Anteil einer virtuellen Maschine

Abbildung 12 zeigt die bis anhin abwechslungsreichste Aufteilung der Wirkungskategorien. In jedem Endpoint-Indikator hat die Nutzungsphase eine entscheidende Rolle. Dies liegt daran, dass die Server täglich deutlich länger in Betrieb und auch besser ausgelastet sind. Andererseits ist auch mit einigen Unsicherheiten bei diesen Berechnungen zu rechnen (mehr dazu im Kapitel Limitationen und Unsicherheiten). Der Einfluss der Nutzungsphase an den Belastungspunkten ist in EQ für rund 71 Prozent verantwortlich, in HH für ca. 47 Prozent und beträgt bei Res ungefähr 53 Prozent.

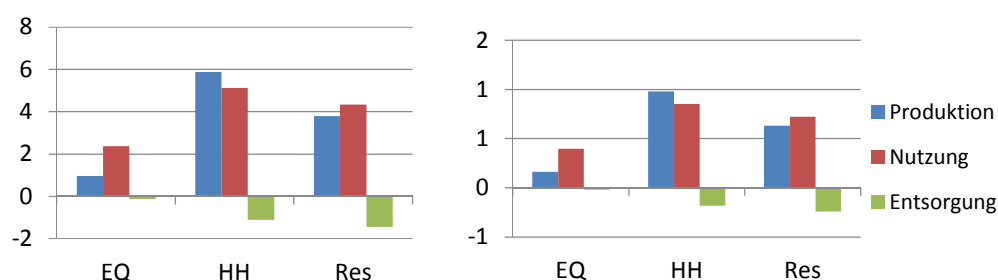


Abbildung 12: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren einer virtuellen Maschine über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Auswirkungen des Servers auf die verschiedenen Wirkungskategorien aufgezeigt. Es wird zwischen zwei Benutzertypen unterschieden, wobei ein einfacher Nutzer 177.5 kbps verschickt und bei einem starken Nutzer wird mit 290 kbps gerechnet. Die Gruppe der ATPs besteht nur aus schwachen Nutzern und die Jahresnutzung basiert auf 1'800 Stunden, bei den SAs gibt es auch starke Nutzer und die Nutzung des Computer beläuft sich bei allen SAs auf 1'440 Stunden pro Jahr.

Indikator: Belastung:	GWP [kg CO ₂ -Eq.]	CED [MJ-Eq.]	UBP [Punkte]	EQ [Punkte]	HH [Punkte]	Res [Punkte]
Pro MB	1.223E-04	1.102E-02	3.456E-01	2.744E-06	5.934E-06	5.028E-06
Pro Stunde (einfach)	9.77E-03	8.81E-01	2.76E+01	2.19E-04	4.74E-04	4.02E-04
Pro Stunde (stark)	1.60E-02	1.44E+00	4.51E+01	3.58E-04	7.74E-04	6.56E-04
Pro Jahr (ATP, einfach)	17.59	1584.95	49686	0.394	0.853	0.723
Pro Jahr (SA, einfach)	14.07	1267.96	39749	0.316	0.683	0.578
Pro Jahr (SA, stark)	22.99	2071.60	64942	0.516	1.115	0.945

Tabelle 10: Umwelteinfluss der Servernutzung pro MB, Stunde und Jahr

6.3 Szenarien

Im nachfolgenden Abschnitt werden ein paar interessante Szenarien vorgestellt und Besonderheiten aufgezeigt. In den Abbildungen und Tabellen werden folgende Arbeitsstationen vorgestellt: Laptop, Computer (die Zahl verweist immer auf die Anzahl Bildschirme), Computer, der als Thin Client wiederverwendet wird (dafür steht PC-TC), Thin Clients (abgekürzt mit TC) und zuletzt das Microsoft Surface Pro 4 (Surface). Es wird mit typischen Benutzern gerechnet, da der Unterschied vernachlässigbar ist.

Lebensdauer um ein Jahr erhöhen

In diesem Szenario wurde die Lebensdauer jedes Arbeitsplatzes um ein Jahr erhöht. Dadurch nimmt der Einfluss der Herstellungsphase im Schnitt etwas ab und die Umweltwirkungen der Nutzungsphase nehmen prozentual ein wenig zu.

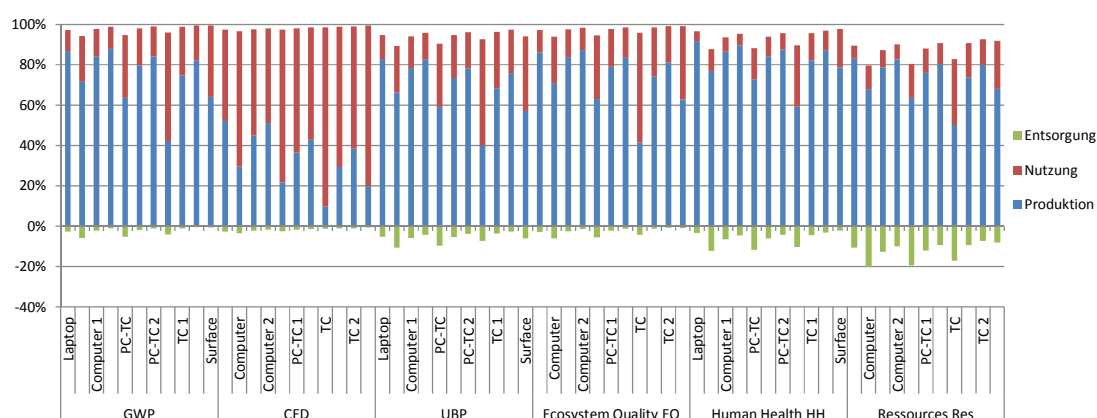


Abbildung 13: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr) im Szenario "Lebensdauer um ein Jahr erhöhen"

In Tabelle 11 werden die absoluten Werte der funktionellen Einheit in den drei Phasen und die absolute Veränderung (in der Tabelle unter delta Δ zu finden) zum ursprünglichen Szenario gezeigt.

Durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer, wird die Belastung der Produktionsphase auf ein Jahr mehr verteilt. Dies wirkt sich bei allen Arbeitsstationen positiv auf die Umweltbelastung aus. Eine Verlängerung der Nutzungsphase, auch wenn damit eine Aufrüstung der Hardware verbunden ist, empfiehlt sich aus ökologischer Sicht in den meisten Fällen.

		Produktion	Δ	Nutzung	Δ	Entsorgung	Δ	Total	Δ
GWP	Laptop	24.27	-6.07	3.33	0.00	-0.78	0.19	28.37	-4.32
	Computer 1	93.71	-18.74	16.31	0.00	-2.46	0.49	112.47	-13.34
	PC-TC 1	67.41	-9.63	16.04	0.00	-1.67	0.24	85.12	-6.06
	TC 1	62.95	-10.49	21.28	0.00	-0.93	0.15	85.16	-8.49
	Surface	7.33	-2.44	4.85	0.00	-0.06	0.02	12.24	-2.29
CED	Laptop	305.80	-76.45	299.99	0.00	-15.82	3.95	621.61	-40.86
	Computer 1	1152.39	-230.48	1469.51	0.00	-60.29	12.06	2682.19	-97.85
	PC-TC 1	828.24	-118.32	1445.52	0.00	-41.97	6.00	2315.72	-28.39
	TC 1	769.86	-128.31	1917.79	0.00	-29.98	5.00	2717.62	-63.36
	Surface	90.58	-30.19	437.15	0.00	-2.59	0.86	530.31	-24.15
UBP	Laptop	56880	-14220	9404	0	-3599	900	69884	-6122
	Computer 1	211776	-42355	46067	0	-15818	3164	273662	-7556
	PC-TC 1	151943	-21706	45315	0	-10956	1565	208214	1772
	TC 1	138831	-23139	60120	0	-7501	1250	206453	-6886
	Surface	17653	-5884	13704	0	-1845	615	33202	-1579
EQ	Laptop	0.519	-0.130	0.075	0.000	-0.017	0.004	0.611	-0.091
	Computer 1	2.048	-0.410	0.366	0.000	-0.062	0.012	2.475	-0.273
	PC-TC 1	1.473	-0.210	0.360	0.000	-0.042	0.006	1.875	-0.120
	TC 1	1.374	-0.229	0.477	0.000	-0.026	0.004	1.878	-0.173
	Surface	0.157	-0.052	0.109	0.000	-0.002	0.001	0.268	-0.047
HH	Laptop	2.664	-0.666	0.161	0.000	-0.100	0.025	2.925	-0.442
	Computer 1	9.049	-1.810	0.791	0.000	-0.675	0.135	10.515	-0.325
	PC-TC 1	6.508	-0.930	0.778	0.000	-0.468	0.067	7.755	0.074
	TC 1	6.003	-1.000	1.032	0.000	-0.325	0.054	7.360	-0.296
	Surface	0.804	-0.268	0.235	0.000	-0.023	0.008	1.062	-0.215
Res	Laptop	1.548	-0.387	0.137	0.000	-0.198	0.049	1.882	0.059
	Computer 1	5.658	-1.132	0.670	0.000	-0.917	0.183	7.245	0.887
	PC-TC 1	4.043	-0.578	0.659	0.000	-0.639	0.091	5.341	0.791
	TC 1	3.608	-0.601	0.875	0.000	-0.457	0.076	4.940	0.389
	Surface	0.470	-0.157	0.199	0.000	-0.056	0.019	0.726	-0.026

Tabelle 11: Übersicht der Veränderung der funktionellen Einheit auf die Wirkungskategorien im Szenario "Lebensdauer um ein Jahr erhöhen"

Interessanterweise hat sich das Total der funktionellen Einheit für den Computer, der als Thin Client wiederverwendet wird in den Wirkungskategorien UBP, HH und Res verschlechtert, wobei auch die funktionelle Einheit der anderen Arbeitsstationen (außer Surface) einen schlechteren Wert bei der Ressourcenverfügbarkeit (Res) haben.

Starke Nutzer

In diesem Szenario wird von unterschiedlichen Übertragungsraten ausgegangen. Dabei beschreibt die Zahl hinter den jeweiligen Abkürzungen die Datenrate in kbps.

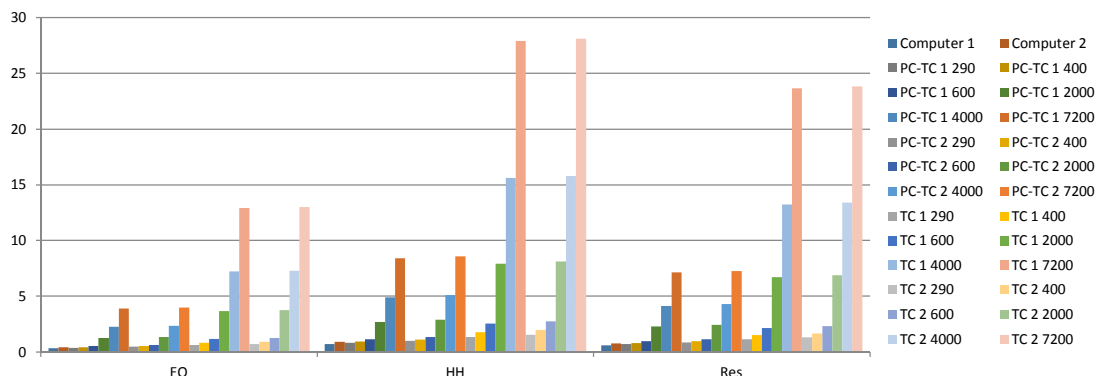


Abbildung 14: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren der Nutzungsphase über ein Jahr.

An erster Stelle im Säulendiagramm befinden sich zwei Computer (zum Vergleich), danach der Computer, der als Thin Client wiederverwendet wird, mit unterschiedlichen Übertragungsraten (zuerst ein Bildschirm, danach zwei) und ein Thin Client mit unterschiedlichen Übertragungsraten (zuerst ein Bildschirm, danach zwei). Die höchsten Werte haben die Thin Client-Lösungen. Dies weil sie die ganzen Berechnungsdaten an den Server schicken müssen, dieser die Eingabe verarbeitet und sie zurück schickt.

In der nächsten Abbildung werden die vier extremsten Thin Client-Lösungen genauer betrachtet und mit den normalen Computern verglichen. Wie zu erkennen ist, ist bei solch starken Übertragungsraten (ein gemittelter Nutzer des Instituts hat nur 200 kbps) der Einfluss deutlich erkennbar.

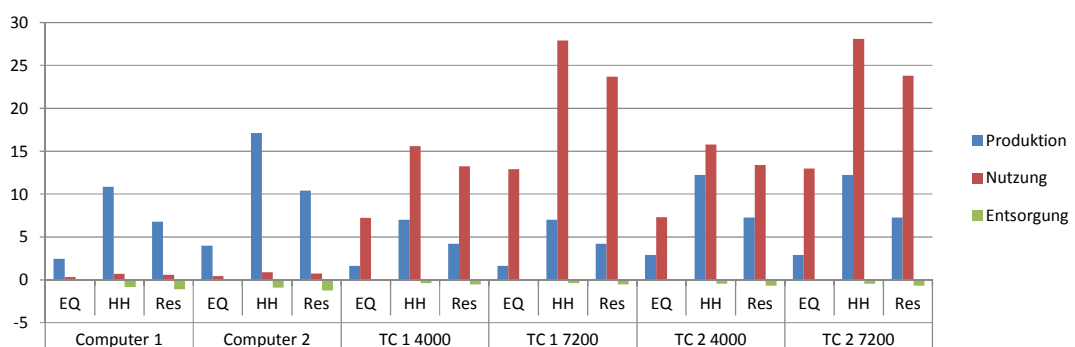


Abbildung 15: Vergleich zwischen Computer und Thin Client-Lösung über die unterschiedlichen Phasen pro funktionelle Einheit (1 Jahr)

Aus diesen Berechnungen wäre zu schliessen, dass es für intensive Rechenarbeiten bzw. Übertragungsraten, empfehlenswerter ist, einen Desktop-Computer einzusetzen. Es gibt jedoch einige Unsicherheiten bei der Servermodellierung die sich bei solch einer starken

Übertragung erkenntlich zeigen, weshalb dieser Schluss unter Vorsicht zu geniessen ist (mehr dazu im Abschnitt 4.1.2 und 7.2). Wie eine Studie des Fraunhofer Instituts zeigt und auch die generelle Annahme ist, kann durch Thin Clients in Kombination mit Desktop-Virtualisierung einiges an Treibhausgasemissionen eingespart werden.

"Ein auf höhere Anforderungen eines Power Users ausgerichteter Thin Client in Verbindung mit einer Lösung zur Desktop-Virtualisierung verursacht 30 bis 42 Prozent weniger Treibhausgasemissionen als ein nutzenäquivalentes PC-System." (Fraunhofer UMSICHT, 2011)

6.4 Resultate

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Arbeitsplätze in den Wirkungskategorien GWP, CED und UBP verglichen. Schliesslich soll noch ein Überblick über die Einflüsse der verschiedenen Arbeitstationen in allen gewählten Wirkungskategorien aufgezeigt werden.

Treibhauspotenzial (GWP)

Abbildung 14 zeigt das Treibhauspotenzial der verschiedenen Arbeitsstationen pro funktionelle Einheit und man erkennt, dass wie auch bei den vorherigen Indikatoren die Produktionsphase den grössten Einfluss hat. Erneut stechen die Arbeitsplätze mit zwei Bildschirmen deutlich heraus. In der darauffolgenden Abbildung stellt man fest, dass der Einfluss pro funktionelle Einheit beim Computer mit zwei Bildschirmen verglichen mit den anderen Zwei-Bildschirm-Lösungen noch deutlich höher ist. Dementsprechend wäre eine Client-Lösung vorzuziehen.

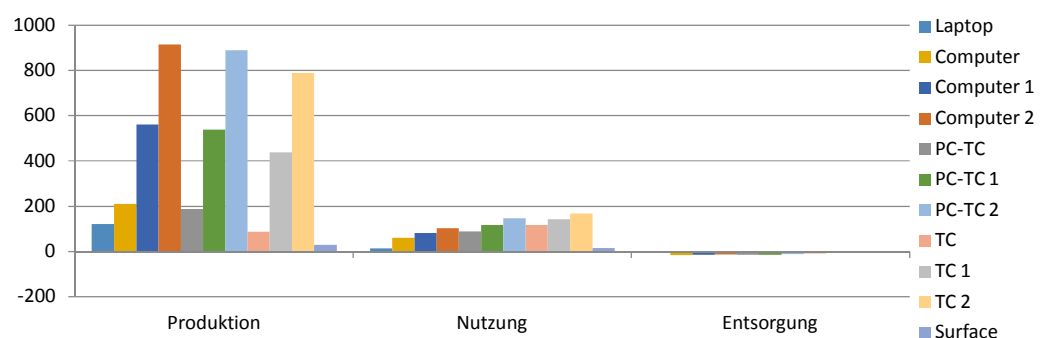


Abbildung 16: Treibhauspotenzial (GWP) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus

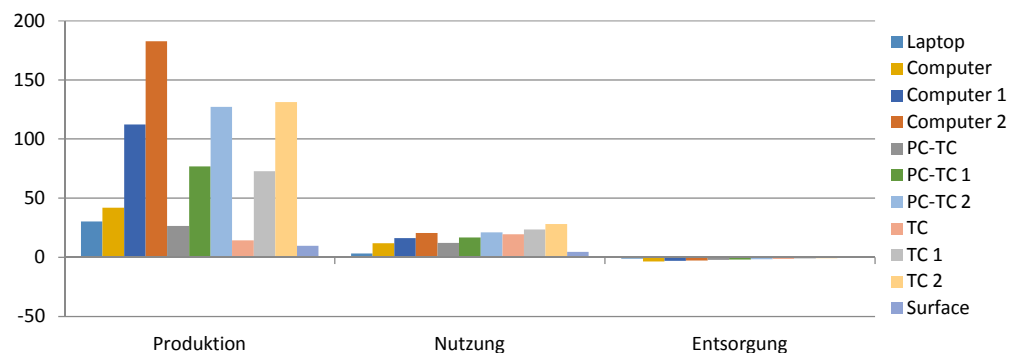


Abbildung 17: : Treibhauspotenzial (GWP) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr)

Kumulierter Energieaufwand (CED)

In der nächsten Abbildung wird der kumulierte Energieaufwand ausgewiesen. Hier ist zu erkennen, dass die Nutzungsphase generell einen deutlich grösseren Einfluss hat. Zudem fällt auf, dass insbesondere bei den serverbasierten Lösungen die Nutzungsphase einen grösseren Einfluss hat, da für die Kommunikation zum Server mehr Energie benötigt wird als bei einer Offline-Lösung. In der Herstellung stechen die Arbeitsplätze mit zwei Bildschirmen wiederum sichtlich heraus.

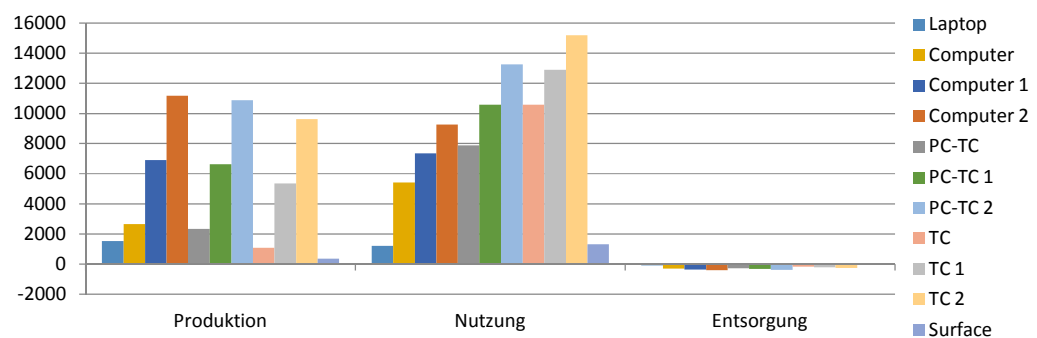


Abbildung 18: Non-Renewable Cumulative Energy Demand (CED) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus

In der unteren Abbildung fallen in der Herstellungsphase vor allem wieder die drei Positionen mit zwei Bildschirmen auf. In der Nutzungsphase ist erstaunlicherweise der Energiebedarf des Thin Clients mit ein und zwei Bildschirmen am grössten, wobei der Computer mit zwei Bildschirmen, der als Thin Client wiederverwendet wird, absolut gesehen mehr Energie braucht (siehe dazu Tabelle 12).

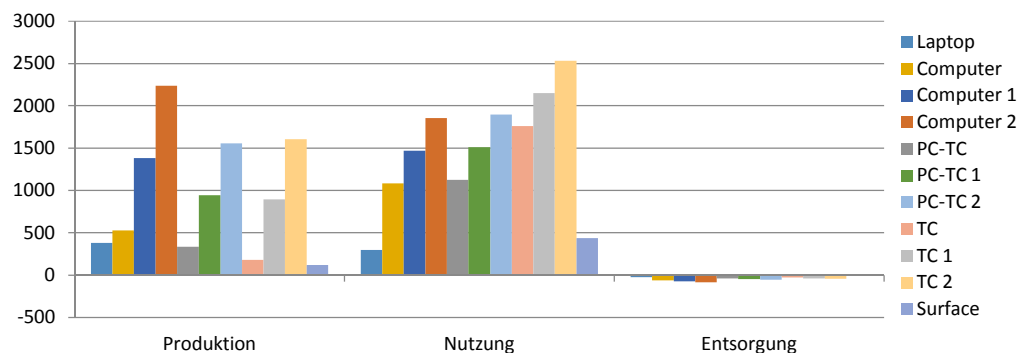


Abbildung 19: Non-Renewable Cumulative Energy Demand (CED) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr)

Umweltbelastungspunkte (UBP)

Die Umweltbelastungspunkte als vollaggregierte Wirkungskategorie zeigen erneut, dass die Herstellungsphase die grösste Belastung aufweist. Die Bildschirme tragen einen beachtlichen Anteil dazu bei. In der Nutzungsphase haben die Thin Client-Lösungen den grössten Einfluss, wobei gesamt betrachtet, der Desktop-Computer, der als Thin Client wiederverwendet wird am umweltbelastendsten ist, gefolgt vom Desktop-Computer.

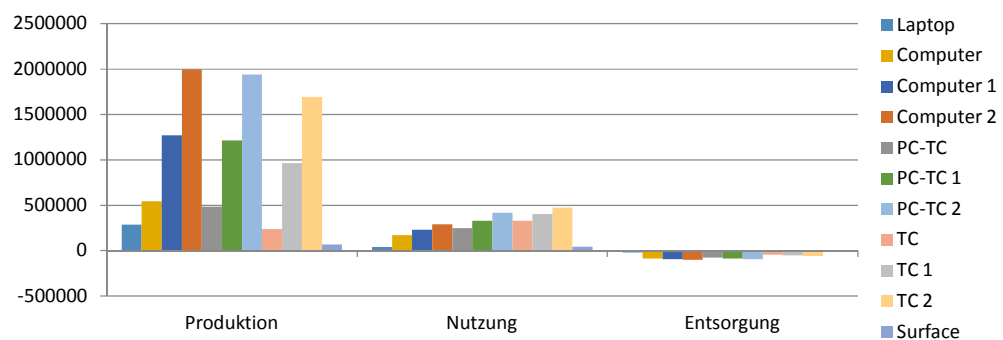


Abbildung 20: Umweltbelastungspunkte (UBP) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus

Die Umweltbelastung pro funktionelle Einheit zeigt ein ähnliches Bild: Die Zwei-Bildschirm-Lösungen stechen wieder hervor, wobei der Desktop-Computer an der Spitze steht und der Thin Client an zweiter Stelle.

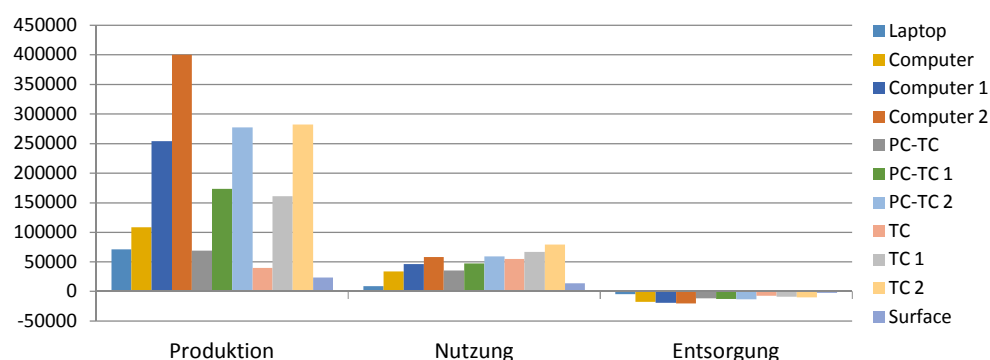


Abbildung 21: Umweltbelastungspunkte (UBP) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr)

Zusammenfassung

Die nachfolgende Tabelle zeigt noch einmal die Wirkungskategorien aller typischen Arbeitsplätze über die drei Phasen aufsummiert. Wie zu erwarten, haben die Arbeitsplätze mit zwei Bildschirmen die höchsten Werte. Wobei der Computer in den verschiedenen Bildschirm-Kategorien im Schnitt den schlechtesten Wert hat.

Indikator:	GWP [kg CO ₂ -Eq.]	CED [MJ-Eq.]	UBP [Punkte]	EQ [Punkte]	HH [Punkte]	Res [Punkte]
Einzelwerte:						
Anteil einer VM	145.42	9991.98	402357	3.221	9.904	6.693
Bildschirm	387.97	7300.91	816290	8.469	32.565	18.794
Thin Client	182.48	10155.08	487883	4.025	13.789	8.865
PC-Thin Client	254.53	9492.91	640877	5.588	21.411	13.232
Computer	253.90	7754.40	626010	5.563	22.256	13.527
Arbeitsstationen mit einem Bildschirm:						
Surface	43.61	1663.39	104345	0.945	3.829	2.254
Laptop	130.77	2649.88	304023	2.807	13.468	7.295
Thin Client 1	561.90	16685.91	1280032	12.302	45.939	27.307
PC-Thin Client 1	638.22	16408.79	1445096	13.961	53.769	31.850
Computer 1	629.05	13900.19	1406088	13.745	54.199	31.794
Arbeitsstationen mit zwei Bildschirmen:						
Thin Client 2	941.33	23216.74	2072180	20.579	78.090	45.750
PC-Thin Client 2	1021.92	23324.66	2249316	22.334	86.127	50.468
Computer 2	1004.20	20045.99	2186166	21.926	86.143	50.060

Tabelle 12: Übersicht der über alle Phasen des Lebenszyklus aufsummierten Wirkungskategorien pro Arbeitsplatz

In der nächsten Abbildung ergibt das kumulative Verhältnis jedes gestapelten Elements genau hundert Prozent, so ist der relative Anteil jeder Phase besser zu erkennen. Aus der Abbildung kann beispielsweise herausgelesen werden, dass die Nutzungsphase vor allem beim kumulierten Energieaufwand CED eine entscheidende Rolle spielt. Dabei hat die Dauer der Nutzungsphase jedoch einen massgeblichen Einfluss.

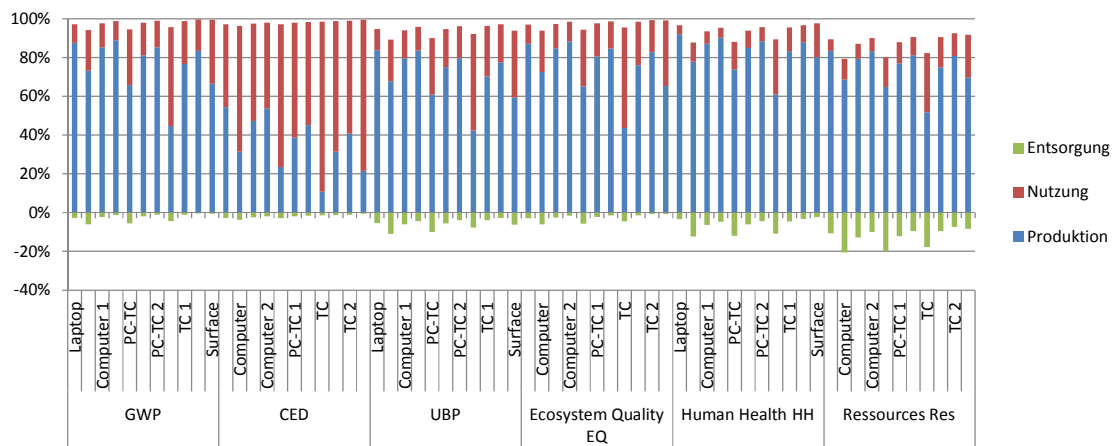


Abbildung 22: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus

Um einen Vergleich machen zu können, werden die Wirkungskategorien der einzelnen Arbeitsplätze noch auf die funktionelle Einheit reduziert. In Abbildung 23 interessant ist die Tatsache, dass beim Thin Client (ohne Bildschirm) die Nutzungsphase einen relativ hohen Umwelteinfluss hat (beispielsweise stammt über 90 Prozent des kumulierten Energiebedarfs CED aus der Nutzung). Absolut betrachtet ist dieser Wert jedoch mit den anderen vergleichbar. Dadurch, dass die Herstellungsphase jedoch weniger umweltbelastend und energieintensiv ist, ist der relative Anteil dementsprechend gross.

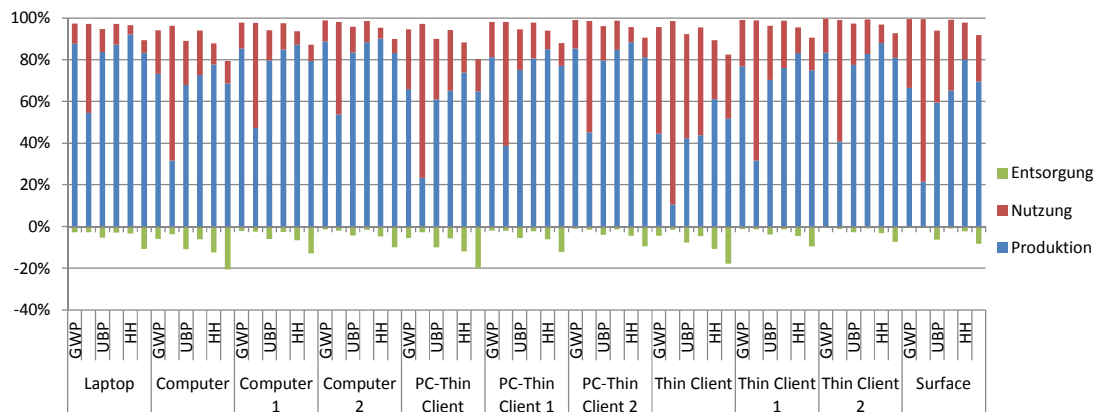


Abbildung 23: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr) in den Kategorien GWP, CED, UBP, EQ, HH und Res

Die nächste Tabelle zeigt, dass der "normale" Computer in den Kategorien GWP, UBP, EQ, HH und Res die höchsten Belastungen ausweist. Allgemein kann man sagen, je kleiner (bzw. leichter) ein Elektrogerät ist, desto weniger Einfluss hat es auf die Umwelt, weshalb Thin Client-Lösungen sicher empfehlenswert sind.

Indikator:	GWP [kg CO ₂ -Eq.]	CED [MJ-Eq.]	UBP [Punkte]	EQ [Punkte]	HH [Punkte]	Res [Punkte]
Einzelwerte:						
Anteil einer VM	24.24	1665.33	67060	0.537	1.651	1.115
Bildschirm	48.50	912.61	102036	1.059	4.071	2.349
Thin Client	30.41	1692.51	81314	0.671	2.298	1.477
PC-Thin Client	36.36	1356.13	91554	0.798	3.059	1.890
Computer	50.78	1550.88	125202	1.113	4.451	2.705
Arbeitsstationen mit einem Bildschirm:						
Surface	14.54	554.46	34782	0.315	1.276	0.751
Laptop	32.69	662.47	76006	0.702	3.367	1.824
Thin Client 1	93.65	2780.98	213339	2.050	7.657	4.551
PC-Thin Client 1	91.17	2344.11	206442	1.994	7.681	4.550
Computer 1	125.81	2780.04	281218	2.749	10.840	6.359
Arbeitsstationen mit zwei Bildschirmen:						
Thin Client 2	145.99	3332.09	321331	3.191	12.304	7.210
PC-Thin Client 2	156.89	3869.46	345363	3.430	13.015	7.625
Computer 2	200.84	4009.20	437233	4.385	17.229	10.012

Tabelle 13: Übersicht der über alle Phasen aufsummierten Wirkungskategorien einer funktionellen Einheit pro Arbeitsplatz

Schliesslich zeigt die letzte Abbildung noch den Vergleich der entscheidenden Arbeitsstationen und man sieht, dass der Thin Client im Schnitt die beste Option darstellt. Die Summe der funktionelle Einheit eines Thin Clients ist verglichen mit der Computerlösung in allen ReCiPe-Endpoint Kategorien zu bevorzugen (EQ: 35 Prozent, HH: 36 Prozent und Res: 38 Prozent besser). Aber auch die Endpoint-Indikatoren des Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird, gestaltet sich ökologischer als die aktuelle Desktop-Computer-Lösung (in allen drei Kategorien 32 Prozent besser).

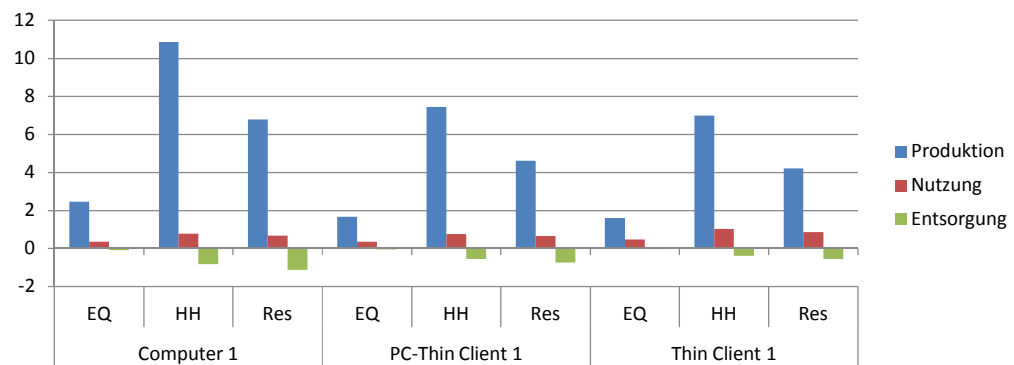


Abbildung 24: Vergleich zwischen der funktionellen Einheit eines Computer, eines Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird und eines Thin Clients

7 Diskussion

Durch die Wirkungsabschätzung im vorhergehenden Kapitel werden die entscheidenden Unterschiede in der Ökobilanz aufgezeigt und in diesem Kapitel der Arbeit werden die Ergebnisse interpretiert, diskutiert und Schlüsse aus der Wirkungsabschätzung gezogen. Es wird auf Besonderheiten der Arbeit eingegangen und die Arbeit wird in einem Fazit resümiert. Zudem wird auf Limitationen und Unsicherheiten der Untersuchung aufmerksam gemacht und gewisse Entscheidungen werden begründet.

7.1 Interpretation

In der nachfolgenden Interpretation geht es darum, die Ergebnisse der vorangegangenen Phasen der Ökobilanz zu analysieren und Schlussfolgerungen in einer möglichst transparenten Form zu ziehen. Die Forschungsfrage soll in einem ökologischen, einem (betriebs-)wirtschaftlichen und in einem benutzertechnisch Fazit resümiert werden. Angestrebt wird eine leicht verständliche, vollständige und konsistente Darstellung der Ergebnisse der Ökobilanz in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Umfang der Studie.

Ökologisches Fazit

Aus ökologischer Sicht ist die aktuelle Verfahrensweise am Institut für Banking und Finance bereits sehr empfehlenswert. Die insbesondere durch Stefan Widmer, ICT-Techniker am IBF, geförderte Praxis, ausgemusterte Computer als Thin Clients umzunutzen, erspart enorme Mengen an elektronischem Abfall:

"SBC systems allow using a range of hardware platforms including outdated personal computers. Experience shows, that the lifetime of old hardware can be at least doubled, which reduces the amount of electronic waste and eliminates life cycle related impacts of the new products." (Plepys, 2004b, S. 2)

Wie in der Wirkungsabschätzung beschrieben und auch von anderen Autoren postuliert, ist die Herstellung die materialintensivste und umweltbelastendste Phase des Lebenszyklus (Plepys, 2002, Hischier R. , 2013). Dies bekräftigt die Empfehlung, Elektrogeräte so lange wie möglich zu nutzen. Durch die Nutzung von Thin Clients können viele Umweltbelastungen reduziert werden, da die Hardware deutlich leichter ist und weniger komplizierte Technik benutzt wird. Sie können zudem länger als ein Computer genutzt werden, was zu weniger Ressourcenverschwendung führt.

Eine Möglichkeit, die Nachhaltigkeit zu verbessern, wäre das ökologische Bewusstsein der Mitarbeiter zu stärken. Die Studienteilnehmer haben ihr eigenes Umweltbewusstsein auf einer Skala von 1 bis 5 zwar bereits mit einem Median von 4 bewertet, wobei der Mittelwert bei den ATPs bei 3.73 und bei den SAs bei 3.33 gelegen hat. Weniger als 50 Prozent der Befragten geben jedoch an, ihre Geräte bei längeren Unterbrüchen oder beim Verlassen des Arbeitsplatzes auszuschalten. Hier zeigt sich ein gewisses Potenzial zur Schaffung eines ökologischeren Bewusstseins.

Das Bewusstsein der Nutzer ist oftmals zu wenig geschärft um zu wissen, wie man IT-Infrastruktur nachhaltiger gestalten kann. Die Bereitschaft, einen Beitrag für eine nachhaltigere Gestaltung der IT-Infrastruktur zu leisten, bildet sich in der Umfrage sehr unterschiedlich ab. Sie reicht von sehr gering (auf die Frage "Was wären Sie bereit dazu beizutragen? Welche Einschränkungen wären Sie bereit einzugehen?" antworteten drei von 15 teilnehmenden ATPs mit "keine", "wenig" und ein anderer kommentiert "?") bis zu einer enormen Offenheit, die Gewohnheiten zu ändern und der Bereitschaft, einen eigenen Beitrag zu leisten. So wären einige Benutzer bereit, die Anzahl an Geräten zu reduzieren, indem sie z. B. ihren Laptop mit sich herumtragen oder auch weniger drucken und vor allem ihre Geräte länger nutzen würden. Natürlich wird bei solchen Aussagen angenommen, die Geräte erfüllen immer noch ihren gewünschten Nutzen. Teilweise (mind. drei ATPs) ist es den Befragten bewusst, dass es sich ökologisch lohnt, die Geräte länger zu nutzen. Ein Umfrageteilnehmer erwähnt sogar, dass ein möglichst hohes Load-balancing zwecks grösstmöglicher Auslastung die Nachhaltigkeit fördern würde (Kommentar: "beispielsweise HCP nachts mischen mit administrativen Tätigkeiten tagsüber"). Auch Offenheit gegenüber Cloudlösungen (um die eigene Hardware zu reduzieren) ist vorhanden.

Auch einer der Semesterassistierenden befand die aktuelle Situation als genügend nachhaltig, während hier vorgeschlagen wird, das eigene Gerät mitzubringen, da praktisch jede Person einen ausreichenden Laptop zur Verfügung hat. Das Bewusstsein, die Geräte ein- und auszuschalten ist ebenfalls gegenwärtig und auch die Bereitschaft, sie ökologischer zu gebrauchen, wäre vorhanden.

(Betriebs-)Wirtschaftliches Fazit

Im Umfang dieser Arbeit kann leider kein genaues betriebswirtschaftliches Fazit gezogen werden. Der aktuelle Wissensstand der Forschung ist jedoch so weit, dass man annehmen kann, dass die Kosten bei server-based Computing vorhersehbarer und geringer sind. Einerseits können Administrations- und Hardwarekosten eingespart und andererseits die Nutzungsdauer erhöht werden, was sich positiv auf den wirtschaftlichen Vergleich auswirkt (Fichter, Clausen, & Hintemann, 2011).

Da SBC sich modularer gestaltet, kann man davon ausgehen, dass weniger "over-investment" betrieben wird. Man kann Teile der Infrastruktur besser auswechseln und laufend den Anforderungen anpassen, anstatt zu viel zu zahlen, damit die Infrastruktur nicht gleich wieder ausgewechselt werden muss (Plepys, 2004b).

Entgegen der Aussage von Plepys, dass die bestehende PC-Infrastruktur oft als "technology lock-in" wirkt und eine Verlagerung zu Thin Clients verhindern (Plepys, 2004b), werden am IBF ältere Computer umgerüstet und als Thin Clients verwendet.

Damit sich der Unterhalt eines Servers lohnt, muss eine kritische Masse erreicht werden. Da im untersuchten Fall die zentralen Informatikdienste auch andere Clients bedienen, ist diese kritische Masse jedoch schon erreicht und eine Ausweitung der Server würde die Nutzung tendenziell nur günstiger gestalten.

Benutzertechnisches Fazit

Um generell auf eine Thin Client-Lösung umsteigen zu können, wird eine gute Netzwerkinfrastruktur vorausgesetzt. An der Universität Zürich ist diese Voraussetzung erfüllt. Für eine erfolgreiche Umsetzung von IT-Lösungen sind nicht nur die Kosten, sondern auch das Handling bzw. die Benutzerfreundlichkeit der IT-Infrastruktur von entscheidender Rolle. Aus Benutzersicht ändert sich nicht allzu viel, ausser dass man von einer verbesserten Datensicherheit bzw. -verfügbarkeit ausgehen kann. Eine Ausweitung der Thin Client-Lösung auf die ATPs wäre in diesem Fall empfehlenswert, denn ihre Aufgabengestaltung scheint sehr homogen, was bei der Umsetzung von server-based Computing von Vorteil ist:

"The most successful roll out of SBC/ASP solutions is in cases with large and uniform user base and limited variety of applications." (Plepys, 2004b, S. 1)

Bei den Semesterassistenten ist eine solch pauschale Aussage wohl nicht so einfach zu machen. Es gilt anzunehmen, dass ein kompletter Umstieg auf Thin Client-Lösungen nicht die beste Möglichkeit darstellt, da der Aufgabenbereich und die Bedürfnisse mehr variieren. So meint beispielsweise ein SA: "möglichst effiziente Geräte verwenden, durch die höhere Leistung werden Aufgaben schneller gelöst und dadurch verbrauchen sie weniger Energie", dieser Aussage schliesse ich mich an. So wäre es beispielsweise möglich, 2 starke Computer zur Verfügung zu stellen, wobei für die meisten Benutzer ein Thin Client ausreichend ist. Die Anforderungen der Benutzer variieren, sodass beispielsweise mobile Arbeitsstationen (Laptop und Microsoft Surface Pro 4) weiterhin vom Institut zur Verfügung gestellt werden sollen.

Oft spielt es bei der Umsetzung von SBC eine entscheidende Rolle, wo sich die Daten physisch befinden. Da sich die Daten im untersuchten Fall jedoch immer noch bei der Universität befinden, kann man nicht von einem Interessenkonflikt ausgehen und ein gewisses Mass an Sicherheit ist gewährleistet. Das Risiko eines Totalausfalls ist relativ klein, da der Cluster über zwei Standorte verteilt und somit nur zu 50 Prozent ausgelastet ist und auch die Daten im Storage gespiegelt sind. Dies führt dazu, dass die Verfügbarkeit enorm hoch gehalten wird und vergleichbar ist mit einer Offline-Variante, wenn nicht sogar sicherer. Es ist ausserdem möglich, Risiken an die Zentrale Informatikabteilung auszulagern, wobei dies gleichzeitig eine Abhängigkeit schafft. Wenn der Zentralen Informatikdienst die VMs vom IBF verwaltet, verliert das IBF dadurch einen Teil der Kontrolle. Ausserdem wird der administrative Aufwand durch interne Abläufe ein wenig erhöht, beispielsweise dadurch, dass Anträge gestellt werden müssen. Möglicherweise besteht auch das Risiko, dass die Nutzer kein Vertrauen haben und die Akzeptanz von SBC nicht gegeben wäre. Dies ist im Fall des IBF jedoch nicht zutreffend.

15 von 15 teilnehmenden ATPs sind mit der aktuellen IT-Infrastruktur zufrieden (auf die Frage Ja/Nein) und auch 13 von 15 SAs sind zufrieden. Einer der stärkeren Nutzer fordert modernere Arbeits-PCs, ein anderer bemängelt, dass viele Kabel herumliegen und teilweise nicht eingesteckt seien und ein dritter verlangt einen zweiten Bildschirm.

7.2 Limitationen und Unsicherheiten

Einige Limitationen und Unsicherheiten sind nicht zu vermeiden.

Einerseits könnte man argumentieren, dass die Daten schon etwas älter sind (Quelle von 2007, 2009 und 2015). Diesen Vorwurf "alter Daten", kann man hier ziemlich leicht entkräften, denn das Mooresche Gesetz und das Koomeysche Gesetz heben sich bei stationären Geräten (welchen hier primär die Aufmerksamkeit gilt) weitgehend auf: Ausgehend von Moore verdoppelt sich die Anzahl der Transistoren pro Computerchip alle 18–20 Monate, es steigt also die Platzeffizienz (Aebischer & Hilty, 2015). Andererseits steigt auch die Energieeffizienz, so hat sich die Verlustleistung (power dissipation; Energie, die in thermische Energie übergeht) innerhalb der letzten Jahrzehnte alle 18 Monate halbiert, sprich die Rechenleistung pro aufgewendetes Watt hat sich verdoppelt (Nadeski & Frantz, 2014). Dies heisst, dass der absolute Stromverbrauch und die ungefähre Grösse pro Gerät nahezu gleich bleiben.

Die Berechnungen der verschiedenen Arbeitsstationen wurden anhand einer beschränkten Anzahl an Datensätzen für einige "Default"-Geräte (siehe vorne) erstellt. Die Skalierung für die weiteren Geräte anhand ihres Gewichts stellt sicherlich eine

Quelle an Unsicherheit dar, insbesondere bei den Thin Clients, die auf Basis eines Desktop-Computers berechnet wurden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Zusammenstellung im Vergleich zu einem solchen Desktop-Computer in einigen Aspekten unterschiedlich ist und somit mit spezifischeren Daten eine genauere Wirkungsabschätzung hätte vorgenommen werden können; leider aber liegen solch spezifische Daten nicht vor. Die Berechnungen des Microsoft Surface Pro 4 stellen ebenfalls eine Ungewissheit dar, denn das Surface ist eine Mischung zwischen Tablet und Laptop. Die Resultate der Bildschirme beinhalten auch eine gewisse Ungenauigkeit, denn die am Institut verwendeten LED-Bildschirm wurden Anhand eines LCD-Bildschirms berechnet. Diese Unsicherheit ist jedoch vernachlässigbar, einerseits weil der Fokus nicht auf die Bildschirme gesetzt wurde und andererseits weil bei allen fixen Arbeitsstationen mit dem gleichen Bildschirm gerechnet wurde.

Im Umfang dieser Arbeit standen leider keine genaueren Daten zur Verfügung und diese Skalierungsmethode wird auch von anderen Autoren in diesem Bereich so gehandhabt (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015). Es wäre sicher interessant zu wissen, ob sich die Berechnungen unterscheiden würden, wenn genauere Datensätze vorhanden gewesen wären.

Die Berechnungen des Servers bzw. des Anteils einer virtuellen Maschine basieren auf einigen Annahmen, die man noch genauer untersuchen könnte. Insbesondere die Nutzungsphase, bei der der gesamte Stromverbrauch der Serverinfrastruktur durch die gesamte Datentransfermenge dividiert wird, um den Stromverbrauch pro MB zu errechnen, beinhaltet einige Unsicherheiten. So wurde die gesamte Datentransfermenge anhand eines durchschnittlichen Nutzers des IBF hochgerechnet (auf 1200 Nutzer), dies sind jedoch Annahmen, da auf der Serverinfrastruktur vor allem virtuelle Server und nicht virtuelle Desktops laufen. Spezifischere Angaben würden hier eine genauere Modellierung ermöglichen, denn der benötigte Stromverbrauch pro übertragenes MB ist in meinen Berechnungen um ein vielfaches höher als bei ähnlichen Berechnungen (beispielsweise Hischier R., 2013) (Details können im Dokument "Berechnungen" unter "Det. Internet" eingesehen werden). Eine Möglichkeit wäre, von einem dedizierten System auszugehen.

8 Ausblick

In diesem letzten Kapitel wird ein Ausblick für weitere Forschungsfragen gegeben und schlussendlich werden noch Empfehlungen ausgesprochen.

8.1 Weiterführende Gedanken

Man kann sicherlich sagen, dass sich ökologische Massnahmen auch ökonomisch rechnen, denn Ökologie ist ein gutes Werbemittel, wie Plepys ebenfalls festhielt:

"To satisfy its ICT needs the company needs to consider several criteria including functional quality, data security, ergonomics and service reliability. In addition, if a company is concerned about its environmental image it will most likely have a policy on green purchasing and goals for waste minimisation and energy savings." (Plepys, 2002, S. 2)

Da die Geräte tendenziell immer weniger Strom verbrauchen, gibt es in Zukunft andere Bereiche, in denen man Einsparungspotenzial finden kann:

"[...] Lunden and Malmodin conclude that although the 'impacts per connected device and data volume are lower than in the past', further decreases can be achieved only by reducing energy consumption at core sites, data centers and in the end user devices." (Hischier, Coroama, Schien, & Achachlouei, 2015, S. 175)

Da in vielen Organisationen bereits viel Wert auf einen geringen Verbrauch in der Nutzungsphase gelegt wird, wird in Zukunft sicherlich grösseres Interesse auf eine ökologische Produktion und Rohstoffbeschaffung gelegt. So gibt es beispielsweise am Federal Institute of Natural Resources and Geological Science verschiedene Forschungsgebiete zur Rückverfolgbarkeit von diversen Rohmaterialien wie Kassiterit und Coltan. Dies mit dem Zweck, wie bei Diamanten, ein Label zur Zertifizierung von Rohmaterialien zu gründen und ein Bewusstsein für eine faire und transparente Förderung von Rohstoffen im Bergbausektor zu schaffen (Poulson, 2010).

Wie ein Umfrageteilnehmer erwähnte, ist es offenbar nicht im Interesse der Unternehmen, die Produkte langlebiger zu machen: "[...] dass man nicht alle 2-3 Jahre einen neuen Rechner braucht. (Dies scheint aber nicht im wirtschaftlichem Interesse zu sein). Mein erster Laptop hielt fast 14 Jahre, alle weiteren musste ich spätestens nach 4 Jahren ersetzen." Dies hängt vor allem mit wirtschaftlichen Interessen zusammen. Dieses Phänomen stellt eine enorme Herausforderung dar, wobei die wahrscheinlich einzige Möglichkeit darin besteht, das Bewusstsein der Benutzer und Kunden zu sensibilisieren und dadurch ihre wirtschaftliche Macht auszuspielen und etwas zu verändern.

Ausserdem wäre es möglich, die Ökobilanz noch auf andere Bereiche der Universität auszuweiten, so könnte beispielsweise der Energiebedarf von Beleuchtungen oder Heizungen genauer untersucht werden.

Es gibt noch viele spannende Punkte, die es zu untersuchen gäbe und zahlreiche neue Entwicklungen, auch im Bereich der energieeffizienteren Servernutzung (Schomaker, Janacek, & Schlitt, 2015). Es gibt bereits sehr viele Ströme und neue Bewegungen für eine ökologischere Infrastrukturgestaltung, die in der Literatur angesprochen werden, wie beispielsweise Consolidation, Colocation, Virtualization und Cloud Computing (Hintemann, 2015). Andere Interessante Themen wären Dematerialization, Green Economy, Nachhaltigkeitsinnovation, Sustainable Entrepreneurship, Smart Energy, Green ICT (Wie kann ICT selbst nachhaltiger gestaltet werden?), Green by ICT (wie kann durch ICT Nachhaltigkeit gefördert werden?) usw.

8.2 Empfehlungen

Nachfolgend werden noch ein paar allgemeine Empfehlungen für einen ökologischen Umgang mit IT-Infrastruktur gegeben.

Geräte recyceln

Im Jahr 2010 wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika nur rund 19 Prozent der elektronischen Geräte recycelt, das sind rund 27 Prozent des Elektroschrotts (in Tonnen) (Electronics TakeBack Coalition, 2014). Das ist eine Menge an natürlichen Ressourcen, die verloren gehen und es ist wichtig, mit diesen begrenzten Rohstoffen verantwortungsvoll umzugehen.

"In the short term, recycling rates should be systematically maximized for the specific elements contained in ICT devices, not just for their total mass. The material turnover in a leaking loop economy needs to be slowed down, i.e., active residence time has to be maximized." (Wäger, Hirsch, & Widmer, The Material Basis of ICT, 2015, S. 219)

Umweltgerechte Produktgestaltung

Ökologische Produktgestaltung manifestiert sich momentan hauptsächlich durch eine energieeffiziente Nutzungsphase (siehe beispielsweise Energy Star). Da jedoch in der Herstellungsphase von ICT-Geräten der signifikanteste Beitrag der gesamten Emissionen entsteht, sollte sie auch im Fokus einer nachhaltigen Produktpolitik stehen.

Wie auch in der Schlussfolgerung von Wäger *et al.* festgestellt wird, wäre es wichtig, die Herstellung von ICT-Geräten, sowie den Recyclingprozess so zu gestalten, dass eine minimale Ressourcen- und Materialverschwendung stattfindet (Wäger, Hischier, & Widmer, 2015). Langfristig gibt es auch eine Empfehlung:

"In the long term, the material substrates of ICT (as well as all other technologies) need to be changed toward the use of more abundant elements and bio-compatible substances." (Wäger, Hischier, & Widmer, 2015, S. 219)

Wenn sich die Lebensdauer der Produkte erhöhen lässt, nimmt der relative Anteil der Produktion ab. Es gibt einige Massnahmen, insbesondere für Hersteller, die zu einer Lebensdauerverlängerung von ICT-Geräten führen würden: die Möglichkeiten der Auf- und Nachrüstung, ein modularer Aufbau, eine recyclinggerechte Konstruktion, eine zufriedenstellende Ersatzteilverfügbarkeit, die Standardisierung von Komponenten und eine allgemeine Verlängerung der Mindestgarantie (Prakash, Liu, Schischke, & Stobbe, 2011). Durch eine Modulbauweise wäre es vergleichsweise einfach, eine Funktions- bzw. Leistungserweiterung, sowie eine Reparatur im Bedarfsfall durchzuführen. Zudem würde die Verwertungsquote beim Produktrecycling erhöht (Richter, 2009b).

Die Hauptverantwortung dafür, energie- und ressourceneffiziente Produkte auf den Markt zu bringen, liegt dabei vor allem in der Hand der Grosskonzerne und diese können wahrscheinlich nur durch die Nachfrage der Konsumenten beeinflusst werden. Die Nachfrage ändert sich vermutlich durch das Bewusstsein, was zum nächsten Punkt führt.

Bewusstsein verstärken

Es ist wichtig, dass den Benutzern bewusst ist, unter welchen schädlichen Bedingungen unsere Produkte teilweise hergestellt und recycelt werden. Eine nachhaltigere Produktgestaltung würde sich vor allem auf die nicht von der Globalisierung profitierenden Bevölkerungsschichten positiv auswirken.

Labels unterstützen

Wenn ein Bewusstsein geschaffen wurde, ist es wichtig, dieses auch zu fördern, beispielsweise durch die Kennzeichnung von Produkten mit gewissen Labels. Es gibt zahlreiche Labels wie "Energy Star", die energiesparende Geräte auszeichnen. Andere Labels sind z. B. Green Star, Der Blaue Engel oder Green Seal. Sie fördern die Nachhaltigkeit auf verschiedensten Ebenen.

Geräte ökologisch nutzen

Obwohl es einen relativ kleinen Einfluss hat, ist es wichtig, die Geräte bei langen Unterbrüchen auszuschalten. Oftmals verbrauchen Elektrogeräte jedoch auch dann Energie, wenn sie vermeintlich ausgeschaltet sind. Um diesem Problem entgegenzuwirken, könnten die Geräte beispielsweise an eine Master/Slave-Steckleiste oder eine manuell ausschaltbare Steckleiste angeschlossen werden, die dann entsprechend ausgeschaltet wird. In Unternehmen könnte man Schulungen mit diesem Zweck durchführen.

Politische Forderungen

Es wäre im Interesse der Gesellschaft, dass gewisse Stoffe (z. B. bestimmte Halogenverbindungen) nicht in den Elektrogeräten und deren Verpackung benutzt werden. So dürfen beispielsweise krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe nach EU-Kategorie 1, 2 und 3 nicht in Computergehäusen verbaut werden (Richter, 2009a). Es gilt jedoch anzunehmen, dass diese Liste kontinuierlich erweitert und dem aktuellen Stand der Wissenschaft angepasst werden soll.

Geräte optimal auslasten

Ausserdem ist praktisch jeder Arbeitsplatz mit einem Computer und einer Internetverbindung ausgestattet, wodurch Internettelefonie ermöglicht wird. Dadurch könnte das Telefongerät an vielen Orten nahezu obsolet werden.

Wenn alles nichts mehr hilft, gibt die New York Times zehn Gebrauchsarten für alte Computer an:

<i>"-Fish tank.</i>	<i>But it's a lot of work to make it waterproof.</i>
<i>-Litter box.</i>	<i>If your kitty isn't too picky.</i>
<i>-Decoration.</i>	<i>Chips and circuit boards can be made into earrings and clipboards.</i>
<i>-Gold mine.</i>	<i>Many 60's units used a fair amount of gold.</i>
<i>-Furniture.</i>	<i>Use it as doorstep or high-tech hassock.</i>
<i>-Reincarnation.</i>	<i>Use it to play old games or upgrade it to use as a backup device or personal Web server.</i>
<i>-Planet saver.</i>	<i>Recycle it and feel noble.</i>
<i>-Source of cash.</i>	<i>But not much. Sell it to a secondhand-computer shop.</i>
<i>-Gift.</i>	<i>If it's still breathing, donate it to a good cause or give it to a friend or relative.</i>
<i>-Boat anchor."</i>	

(Goldberg, 1998)

Gebrauchs-/Nutzungsphase verlängern

Als wichtigste Empfehlung, manifestiert durch die vorliegenden Berechnungen, macht jedoch die Produktionsphase in praktisch allen Szenarien den grössten Einfluss auf die Umwelt aus und dementsprechend ist eine längere Nutzung von entscheidendem Potenzial.

Die kurze Nutzungsdauer von insbesondere mobilen Geräten ist oftmals damit verbunden, dass es keine praktikablen Möglichkeiten gibt, die Leistungsfähigkeit der Geräte für einen angemessenen Preis nachzurüsten. Stattdessen kaufen die Konsumenten oftmals neue Geräte, obwohl die alten noch funktionieren (Prakash, Liu, Schischke, & Stobbe, 2011).

9 Anhang

9.1 Abkürzungsverzeichnis

ASP	Application Service Provider
ATP	Administratives und technisches Personal (am IBF)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa (lat.) (deutsch: ungefähr)
CED	Cumulative energy demand (Wirkungskategorie: Kumulierter Energieaufwand)
CPU	Central Processing Unit (deutsch: Prozessor, zentrale Verarbeitungseinheit)
d. h.	das heisst
e.g.	exempli gratia (lat.) (englisch: for example, deutsch: zum Beispiel)
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPA	Environmental Protection Agency (US-Umweltschutzbehörde)
EQ	Damage to Ecosystem Quality (Wirkungskategorie: ReCiPe-Endpoint-Kategorie)
Eq.	Equivalent (deutsch: Äquivalent)
EU	Europäische Union
FC SAN	Fibre Channel Storage Area Network
GWP	Global Warming Potential (Wirkungskategorie: Treibhauspotenzial, ReCiPe Kategorie)
HDD	Hard Disk Drive (deutsch: Festplattenlaufwerk, Festplatte)
HH	Damage to Human Health (Wirkungskategorie: ReCiPe-Endpoint-Kategorie)
HP	Hewlett-Packard Company
i.e.	id est (lat.) (deutsch: das heisst)
IBF	Institut für Banking und Finance an der Universität Zürich
ICT	Information and Communications Technology (vgl. IKT)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik (vgl. ICT)
inkl.	inklusive

ISO	International Standardization Organization (deutsch: Internationale Organisation für Normung)
IT	Informationstechnologie (englisch: Information technology)
kbps	Kilobit pro Sekunde (auch: kbit/s, entspricht 1'000 bit/s)
kW	Kilowatt (entspricht 1'000 Watt)
LCA	Life Cycle Assessment (deutsch: Lebenszyklusanalyse, Ökobilanz)
LCD	Liquid Crystal Display (deutsch: Flüssigkristallbildschirm)
LCI	Life Cycle Inventory
LED	Light-emitting Diode (deutsch: Leuchtdiode, lichtemittierende Diode)
mind.	mindestens
MJ	Megajoule
PC	Personal Computer (deutsch: Einzelplatzrechner, Computer)
PUE	Power Usage Effectiveness
Res	Resource Availability (Wirkungskategorie: ReCiPe-Endpoint-Kategorie)
SA	Semesterassistent / Semesterassistierende (am IBF)
SBC	Server-based Computing
SSD	Solid-State-Drive (Festplattenstandard, Speichermedium)
TCO	Total Cost of Ownership (deutsch: Gesamtbetriebskosten)
UBP	Umweltbelastungspunkte (Wirkungskategorie)
usw.	und so weiter
UZH	Universität Zürich
VDI	Virtual Desktop Infrastructure
vgl.	vergleiche
VM	Virtuelle Maschine
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (deutsch: Weltwirtschaftsrat für Nachhaltige Entwicklung)
z. B.	zum Beispiel
ZI	Zentrale Informatik der Universität Zürich

9.2 Literaturverzeichnis

- Aebischer, B., & Hilty, L. M. (2015). The Energy Demand of ICT: A Historical Perspective and Current Methodological Challenges. In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 71–103). Zürich: Springer International Publishing.
- Aschermann, T. (19. April 2016). Was ist ein Server? Definition und Funktion einfach zusammengefasst. Von Praxistipps: http://praxistipps.chip.de/was-ist-ein-server-definition-und-funktion-einfach-zusammengefasst_12282 (zuletzt: 31.08.2016) abgerufen
- Ayres, R. U. (1995). Life cycle analysis: A critique. In M. Xu, Resources, Conservation and Recycling (pp. 199–223). Fontainebleau Cedex, Frankreich: Elsevier.
- Dinkel, F. (2013). Skript Ökobilanzen Lebenszyklusanalyse Life cycle analysis. Basel: Fachhochschule Nordwestschweiz.
- Duden. (7. November 2016). Client. Von Duden: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Client> (zuletzt: 07.11.2016) abgerufen
- ecoinvent. (2015). ecoinvent data v3.2 – cut-off system model – available at www.ecoinvent.org. Zürich: ecoinvent Association.
- Electronics TakeBack Coalition. (2014). Facts and Figures on E-Waste and Recycling. USA.
- Energy Star. (2016). Was ist Energy Star? Von Energy Star: http://www.energystar.ch/ueber/ueber_was.asp (zuletzt: 18.12.2016) abgerufen
- Fichter, K., Clausen, J., & Hintemann, R. (2011). Roadmap "Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020". Entwicklung eines Leitmarktes für Green Office Computing. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt, BITKOM.
- Fraunhofer UMSICHT. (2008). Studie Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008. Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT .
- Fraunhofer UMSICHT. (2011). Studie Thin Clients 2011 – Ökologische und ökonomische Aspekte virtueller Desktops. Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.
- Frischknecht, R., Steiner, R., & Jungbluth, N. (2009). Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Netherlands, Den Haag: VROM – Ministry of Housing Spatial Planning and Environment.

- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2012). ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (revised). Netherlands, Den Haag: VROM – Ministry of Housing Spatial Planning and Environment.
- Goldberg, C. (1998). Where Do Computers Go When They Die? Von Technology Circuits: <http://www.ce.cmu.edu/~GreenDesign/comprec/nytimes98/12die.html> (zuletzt: 16.12.2016) abgerufen
- Hilty, L. (2015). Öffentlicher Vortrag zu "Informatik und Nachhaltigkeit – Wege zu einem nachhaltigen Lebensstil". Konstanz: Universität Zürich, EMPA.
- Hilty, L., & Aebischer, B. (2015). ICT. Innovations for Sustainability. Zürich: Springer.
- Hintemann, R. (2015). Consolidation, Colocation, Virtualization, and Cloud Computing: The Impact of the Changing Structure of Data Centers on Total Electricity Demand. In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 125–136). Zürich: Springer International Publishing.
- Hischier, R. (2013). mat. Webapplikation zur Unterstützung eines nachhaltigeren Umgangs mit Printprodukten & ICT-Geräten. Eine Studie im Auftrag der „Denkfabrik Visuelle Kommunikation“. Schlussbericht. Finale Version v1.0. St. Gallen: EMPA.
- Hischier, R., & Wäger, P. A. (2015). The Transition from Desktop Computers to Tablets: A Model for Increasing Resource Efficiency? In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 243–256). Zürich: Springer International Publishing.
- Hischier, R., Classen, M., Lehmann, M., & Scharnhorst, W. (2007). Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Empa – TSL.
- Hischier, R., Coroama, V., Schien, D., & Achachlouei, M. (2015). Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware. In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 171–189). Zürich: Springer International Publishing.
- Hischier, R., Keller, M., Lisibach, R., & Hilty, L. (2013). Mat – an ICT application to support a more sustainable use of print products and ICT devices. In L. Hilty, B. Aebischer, G. Andersson, & W. Lohmann, ICT4S 2013: Proceedings of the First International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability (pp. 223–230). Zürich: ETH Zurich, University of Zurich and EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology.

- ITAdministrator. (30. August 2010). Server / Client. Von IT Administrator: http://www.it-administrator.de/themen/server_client/grundlagen/86659.html (zuletzt: 31.08.2016) abgerufen
- ITWissen. (2016a). Client. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Client-client.html> (zuletzt: 06.12.2016) abgerufen
- ITWissen. (2016b). Fat-Client. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Fat-Client-fat-client.html> (zuletzt: 07.11.2016) abgerufen
- ITWissen. (2016c). Virtuelle Maschine. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Virtuelle-Maschine-VM-virtual-machine.html> (zuletzt 13.12.2016) abgerufen
- ITWissen. (2017a). Cluster. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Cluster-cluster.html> (zuletzt: 02.01.2017) abgerufen
- ITWissen. (2017b). Virtualisierung. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Virtualisierung-VT-virtualization-technology.html> (zuletzt: 02.01.2017) abgerufen
- ITWissen. (2017c). Mainframe. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Mainframe-mainframe.html> (zuletzt: 03.01.2017) abgerufen
- ITWissen. (2017d). Server-based Computing. Von ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Server-based-Computing-SBC-server-based-computing.html> (zuletzt: 04.01.2017) abgerufen
- KBOB, et al. (2014). Empfehlung Nachhaltiges Bauen: Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1. Bern: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB), Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau), Interessensgemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB).
- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2009). Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Koomey, J. (2011). Growth in Data Center Electricity Use 2005–2010. A report by Analytics Press, completed at the request of The New York Times.
- Nadeski, M., & Frantz, G. (2014). Future of Medical Imaging. In T. Farncombe, & K. Iniewski, Medical Imaging: Technology and Applications (pp. 1–22). Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Plepys, A. (2002). Software Renting – Better Business, Better Environment: The Case of Application Service Providing (ASP). San Francisco: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

- Plepys, A. (2004a). Environmental Implications of Product Servicing: The Case of Outsourced Computing Utilities. Doctoral Dissertation. Lund, Sweden: IIIIEE, Lund University.
- Plepys, A. (2004b). The feasibility of adopting server-based computing in commercial and residential sectors. Lund, Sweden: International Institute for Industrial Environmental Economics at Lund University (unpublished).
- Poulson, F. P. (Director). (2010). Blood in the Mobile [Motion Picture].
- Prakash, S., Liu, R., Schischke, K., & Stobbe, L. (2011). Zeitlich optimierter Ersatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten. Freiburg: Umweltbundesamt.
- Richter, I. (2009a). Empfehlungen für die umweltfreundliche Beschaffung von Notebooks – Leitfaden Version 1.0. Deutschland: BITKOM, Umweltbundesamt, Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Inneren.
- Richter, I. (2009b). Empfehlungen für die umweltfreundliche Beschaffung von Desktop-PCs – Leitfaden Version 1.1. Deutschland: BITKOM, Umweltbundesamt, Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Inneren.
- Schomaker, G., Janacek, S., & Schlitt, D. (2015). The Energy Demand of Data Centers. In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 113–124). Zürich: Springer International Publishing.
- Skurk, H., Unger, M., & Delvalle Silva, D. (2013). Produktneutrale Leistungsbeschreibung Thin Clients – Leitfaden Version 2.0. Deutschland: BITKOM, Beschaffungsamt des Bundesministeriums des Inneren.
- Technopedia. (2016). Server-Based Computing (SBC). Von Technopedia: <https://www.techopedia.com/definition/24428/server-based-computing--sbc> (zuletzt: 05.10.2016) abgerufen
- Universität Siegen. (02. Februar 2008). Ökobilanz Allgemein. Von Universität Siegen: http://www.mb.uni-siegen.de/st/umwelttechnik/forschung/oeko_allgemein/oekobilanz_allgemein.html?lang=e (zuletzt: 04.10.2016) abgerufen
- Wäger, P. A., Hischier, R., & Widmer, R. (2015). The Material Basis of ICT. In L. Hilty, & B. Aebischer, ICT Innovations for Sustainability. Springer Series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. (pp. 209–221). Zürich: Springer International Publishing.

9.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beziehung zwischen den LCI-Parametern (links), den ReCiPe-Midpoint-Indikatoren (Mitte) und den ReCiPe-Endpoint-Indikatoren (rechts) aus ReCiPe 2008 (Darstellung aus Goedkoop <i>et al.</i> , 2009, S. 3)	9
Abbildung 2: Systemgrenzen der Ökobilanz	16
Abbildung 3: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Laptops über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts).....	29
Abbildung 4: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	29
Abbildung 5: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	30
Abbildung 6: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird, ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	30
Abbildung 7: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Desktop-Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird, mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	31
Abbildung 8: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Thin Clients ohne Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	31
Abbildung 9: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Thin Clients mit Bildschirm über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts)	32
Abbildung 10: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Microsoft Surface Pro 4 über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts).....	32
Abbildung 11: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren eines Bildschirms über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts).....	33
Abbildung 12: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren einer virtuellen Maschine über den gesamten Lebenszyklus (links) und einer funktionellen Einheit (rechts).....	34
Abbildung 13: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr) im Szenario "Lebensdauer um ein Jahr erhöhen"	35
Abbildung 14: ReCiPe-Endpoint-Indikatoren der Nutzungsphase über ein Jahr.	37
Abbildung 15: Vergleich zwischen Computer und Thin Client-Lösung über die unterschiedlichen Phasen pro funktionelle Einheit (1 Jahr)	37
Abbildung 16: Treibhauspotenzial (GWP) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus	38
Abbildung 17: : Treibhauspotenzial (GWP) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr)	39
Abbildung 18: Non-Renewable Cumulative Energy Demand (CED) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus.....	39
Abbildung 19: Non-Renewable Cumulative Energy Demand (CED) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr).....	40
Abbildung 20: Umweltbelastungspunkte (UBP) der verschiedenen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus.....	40

Abbildung 21: Umweltbelastungspunkte (UBP) der verschiedenen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr)	41
Abbildung 22: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze über den gesamten Lebenszyklus	42
Abbildung 23: Summiertes Verhältnis der Lebenszyklusphasen der unterschiedlichen Arbeitsplätze pro funktionelle Einheit (1 Jahr) in den Kategorien GWP, CED, UBP, EQ, HH und Res.....	43
Abbildung 24: Vergleich zwischen der funktionelle Einheit eines Computer, eines Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird und eines Thin Clients.....	44

9.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der verschiedenen Nutzungsprofile	18
Tabelle 2: Spezifikationen der Serverkomponenten.....	19
Tabelle 3: Spezifikationen eines typischen Laptops	20
Tabelle 4: Spezifikationen eines typischen Computers	20
Tabelle 5: Spezifikationen eines Computers, der als Thin Client wiederverwendet wird.....	21
Tabelle 6: Spezifikationen eines Thin Clients	21
Tabelle 7: Spezifikationen eines Microsoft Surface Pro 4	21
Tabelle 8: Spezifikationen eines Samsung (24") Bildschirms	22
Tabelle 9: Überblick über die Verbrauchsangaben (in W) der verschiedenen elektronischen Geräte in den verschiedenen Nutzungsmodi	22
Tabelle 10: Umwelteinfluss der Servernutzung pro MB, Stunde und Jahr	34
Tabelle 11: Übersicht der Veränderung der funktionellen Einheit auf die Wirkungskategorien im Szenario "Lebensdauer um ein Jahr erhöhen"	36
Tabelle 12: Übersicht der über alle Phasen des Lebenszyklus aufsummierten Wirkungskategorien pro Arbeitsplatz	41
Tabelle 13: Übersicht der über alle Phasen aufsummierten Wirkungskategorien einer funktionellen Einheit pro Arbeitsplatz	43

9.5 Inhalte der CD

Zusfsg.txt	Zusammenfassung
Abstract.txt	Abstract
Bachelorarbeit.pdf	Die gesamte Bachelorarbeit
Umfrageresultate.xls	Die Resultate der Benutzerumfrage (nur in digitaler Form)
Berechnungen.xlsx	Die Berechnungen und die Resultate der Wirkungsabschätzung (nur in digitaler Form)