

Studie

»Managed Workplaces 2015«

Ökologische und ökonomische Analyse von Software-Thin-Clients



© Fraunhofer UMSICHT

für:

IGEL Technology GmbH
Herrn Dr. Frank Lampe
Hanna-Kunath-Str. 31
28199 Bremen

Oberhausen, 12. März 2015

»Managed Workplaces 2015«

Ökologische und ökonomische Analyse von Software-Thin-Clients

vorgelegt von: **Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik UMSICHT**
Institutsleiter
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
Internet: www.umsicht.fraunhofer.de

Projektteam und Ansprechpartner:

Name	Telefon	E-Mail
Christian Knermann*	0208 8598-1118	christian.knermann@umsicht.fraunhofer.de
Thorsten Wack	0208 8598-1278	thorsten.wack@umsicht.fraunhofer.de
André Reinecke	0208 8598-1318	andre.reinecke@umsicht.fraunhofer.de
Thomas Bieseke	0208 8598-1199	thomas.bieseke@umsicht.fraunhofer.de
Dr.-Ing. Markus Hiebel	0208 8598-1181	markus.hiebel@umsicht.fraunhofer.de
Dipl.-Lök. Daniel Maga	0208 8598-1191	daniel.maga@umsicht.fraunhofer.de
Tatiana Bladier	0208 8598-1494	tatiana.bladier@umsicht.fraunhofer.de

* Projektleitung

Stand der Bearbeitung: 12. März 2015

Urheberrechtshinweis

Das Urheberrecht an den im Rahmen dieser Studie von Fraunhofer UMSICHT erstellten Konzepten, Entwürfen, Analysen, Studien und sonstigen Unterlagen liegt bei Fraunhofer UMSICHT. Die Übertragung von Urheberrechten bedarf der Schriftform.

Der Auftraggeber ist zur Nutzung der vorliegenden Studie für die nach dem Auftrag vorgesehenen Zwecke berechtigt. Vervielfältigungen sind nur mit der ausdrücklichen Zustimmung von Fraunhofer UMSICHT zulässig. Veränderungen, Übersetzungen oder digitale Nachbearbeitungen sind nicht zulässig. Eine Weitergabe der Studie an Dritte mit Ausnahme von öffentlichen Fördermittelstellen oder Kapitalgebern ohne schriftliche Freigabe durch Fraunhofer UMSICHT ist nicht zulässig.

©Copyright Fraunhofer UMSICHT, 2015

Inhalt

1	Zusammenfassung (executive summary)	1
2	Aufgabenstellung	5
2.1	Historischer Hintergrund	5
2.2	Hardware-Thin-Clients	6
2.3	Software-Thin-Clients	7
3	Methodik	8
3.1	Berechnung der Treibhausgasemissionen: Carbon Footprint	8
3.2	Systemgrenzen	8
3.3	Betrachtete Systeme und Szenarien	9
3.4	Funktionelle Einheit	11
3.5	Anwendung der Strommessgeräte	11
3.6	Installation Thin-Client-Software	12
4	Datenerhebung und Auswahl der zu vergleichende Geräte	14
4.1	Datengrundlage und Datenqualität	14
4.2	Produktionsphase	15
4.2.1	Auswahl des bilanzierten Desktop-PCs	15
4.2.2	Auswahl des bilanzierten Notebooks	19
4.2.3	Auswahl des bilanzierten Servers	23
4.3	Distribution	26
4.4	Nutzungsphase	27
4.4.1	PC mit Thin-Client-Software	28
4.4.2	PC mit Windows 7	29
4.4.3	Notebook mit Thin-Client-Software	30
4.4.4	Notebook mit Windows 7	31
4.4.5	Server-Anteil	32
4.5	End-of-Life	32
5	Berechnung Carbon Footprint	34
5.1	Ergebnisse Szenarien eins bis vier	34
5.2	Sensitivitätsanalysen der Produktionsphase	35
5.2.1	Sensitivitätsanalyse: geringe Emissionen	35
5.2.2	Sensitivitätsanalyse: hohe Emissionen	36
5.3	Sensitivitätsanalyse der Distributionsphase	36
5.4	Sensitivitätsanalysen der Betriebsphase	37
5.4.1	Älterer PC mit hoher Leistungsaufnahme	37
5.4.2	Ländervergleiche USA und UK	38

6	Interpretation der Ergebnisse	41
6.1	Annahmen, Konsistenz und Datenqualität	41
7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	43
7.1	Lebenszyklus im Unternehmenseinsatz	43
7.1.1	Beschaffung und Erstinstallation	43
7.1.2	Betrieb	44
7.1.3	Deinstallation und Entsorgung	44
7.2	Lebenszyklus je Anwendungsfall	44
7.2.1	Neuer Desktop-PC	45
7.2.2	Neues Notebook	46
7.2.3	Alter Desktop-PC als Software-Thin-Client	47
7.2.4	Altes Notebook als Software-Thin-Client	49
7.2.5	Neuer Hardware-Thin-Client	49
7.3	Gegenüberstellung	49
7.4	Hochrechnung	51
8	Fazit und Empfehlungen	54
9	Literaturverzeichnis	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10	Tabellenverzeichnis	60
11	Bildverzeichnis	61

1 Zusammenfassung (executive summary)

Ausgangslage

Der Treibhauseffekt ist ein natürlicher Prozess innerhalb der Erdatmosphäre, welcher bewirkt, dass auf der Erde für Menschen annehmbare Temperaturen herrschen. Doch besonders seit Beginn der Industrialisierung wird der Effekt vom Menschen verstärkt, da bei Verbrennungs- und anderen industriellen Prozessen Treibhausgase freigesetzt werden, deren erhöhte Konzentration die Strahlungsbilanz der Erde und somit den Treibhauseffekt beeinflusst.

Eine langfristige Stabilisierung des natürlichen Treibhauseffekts der Atmosphäre ist nur durch eine signifikante Reduzierung der Emissionen an CO₂ oder CO₂-Äquivalenten möglich. Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen sind die Erhöhung der Energieeffizienz von Maschinen, z. B. durch intelligente Steuerprogramme, oder der Ersatz von energieintensiven Rechnerarchitekturen durch CO₂-arme Lösungen. Unter dem Stichwort der »Green IT« werden entsprechend Ansätze und Lösungen diskutiert, mit denen die IT-Branche ihren Beitrag zu Reduktion der Treibhausgasemissionen leisten kann.

Diese Emissionen entstehen längst nicht nur durch die Leistungsaufnahme von Computersystemen in der Betriebsphase. Auch und insbesondere die Produktion trägt in erheblichem Maß zu Treibhausgasemissionen bei. Eine ganzheitliche ökologische Bewertung einer IT-Komponente oder -Infrastruktur sollte entsprechend den kompletten Lebenszyklus über die Phasen Produktion, Herstellung, Distribution, Betrieb sowie Recycling/Entsorgung umfassen.

Aufgabenstellung

Vor diesem Hintergrund ist es Gegenstand dieser Studie, Möglichkeiten zur Reduktion der Emission von CO₂-Äquivalenten durch IT-Komponenten zu untersuchen. Im Fokus stehen dabei die Betriebsmodelle verschiedener Arbeitsplatzcomputer und dabei insbesondere die sogenannten Software-Thin-Clients. Es handelt sich dabei um eine Software-Lösung, die dazu dient, vorhandene Arbeitsplatzcomputer (Desktop-PCs oder Notebooks) in logische Thin-Clients zu konvertieren, um die Lebens- und Nutzungsdauer der Geräte zu verlängern. Die Geräte werden dazu einer Zweitnutzung als Clients von Server Based Computing-Infrastrukturen zugeführt.

Die technischen Details dieses Ansatzes werden vorgestellt, bevor der Einsatz von Software-Thin-Clients mit dem von herkömmlichen Desktop-PCs und Notebooks verglichen wird. Dieser Vergleich wird im Rahmen einer vollständigen Ökobilanzierung durchgeführt, welche den bereits erwähnten kompletten Lebenszyklus über Produktion, Herstellung, Distribution, den Betrieb sowie abschließend Recycling/Entsorgung bewertet.

Bei der abschließenden Bewertung wird die Wirkungskategorie des GWP (Global Warming Potential, gemessen in Kilogramm CO₂-Äquivalenten [kg CO₂e]) herangezogen.

In einem weiteren Schritt wird der Einsatz der verschiedenen Lösungen ebenso unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für verschiedene Unternehmensgrößen betrachtet.

Ergebniszusammenfassung

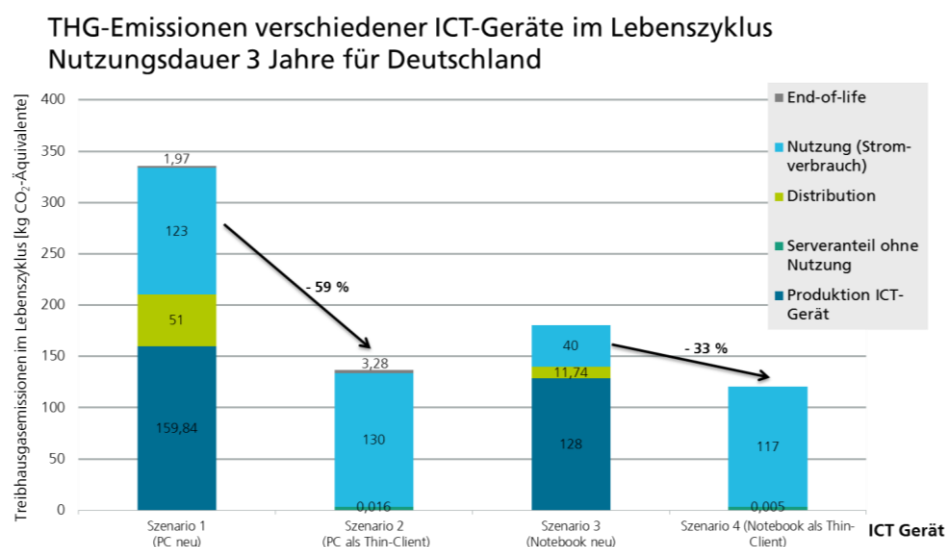
Die Bilanzierung des kompletten Lebenszyklus zeigt, dass ein signifikanter Anteil der CO₂e-Emissionen auf die Produktion der Geräte entfällt. Dies bedeutet, dass im Umkehrschluss die Weiterverwendung älterer Geräte als logischer Thin Client die Produktion von neuen Geräten verhindert bzw. aufschiebt und so einen positiven Umweltbeitrag leistet.

Im direkten Vergleich des Neukaufs eines aktuellen PC-Modells (Szenario 1) mit dem Weiterbetrieb eines älteren PCs als Software-Thin-Client (Szenario 2) zeigt sich, dass der Software-Thin-Client über den gesamten Betrachtungszeitraum von drei Jahren die Emissionen relativ um ca. **59 %** reduziert¹. Absolut entspricht dies einer Reduktion um **198,8 kg CO₂e** pro Arbeitsplatz.

Im idealtypischen Fall, dass sich sämtliche Arbeitsplätze eines Unternehmens in Thin Clients umwandeln lassen, folgt daraus für 100 Arbeitsplätze die Einsparung von **19,88 t CO₂e**, für ein größeres Unternehmen mit 600 Arbeitsplätzen entsprechend **119,3 t CO₂e** und für ein sehr großes Unternehmen mit 15 000 Arbeitsplätzen folglich die Vermeidung von **2 982 t CO₂e**.

Die folgende Grafik visualisiert die Ergebnisse, wobei die End-of-Life-Phase in den Szenarien 3 und 4 so klein ist, dass sie grafisch nicht darstellt ist.

Bild 1-1: Treibhausgas (THG)-Emissionen der Szenarien mit deutschem Strommix (ICT = Information and communication technology)

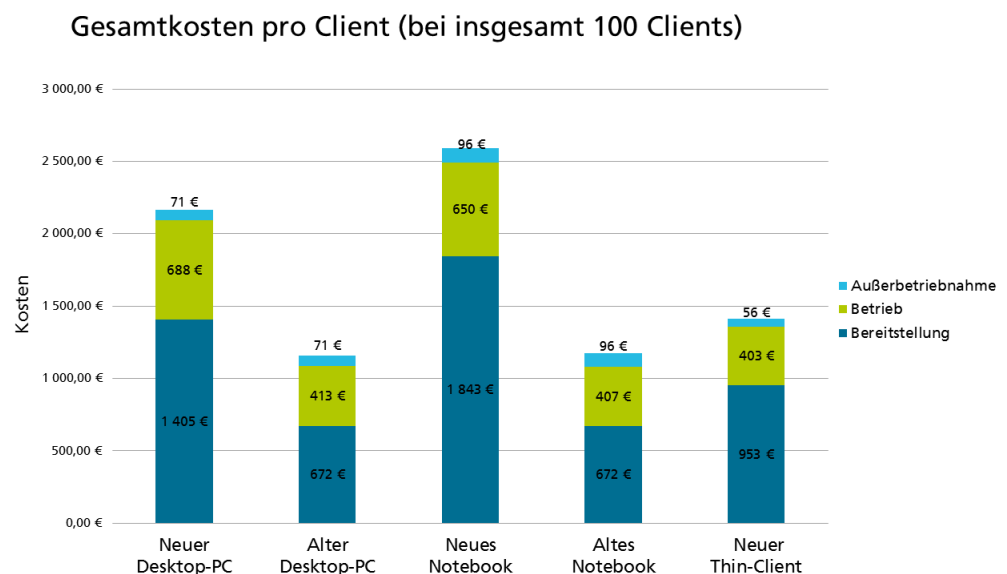


¹ Der Abstand zwischen den Szenarien 3 und 4 entspricht ungefähr einer relativen Einsparung von 33 %.

Auch im Hinblick auf die ökonomischen Aspekte erscheint der Einsatz von Software-Thin-Clients sinnvoll. So ergeben sich für den Desktop-PC in einem Szenario mit 100 Clients Kosten von ca. **2 165 €** sowie ca. **2 590 €** für das Notebook. Demgegenüber sind für einen älteren Desktop-PC im Betrieb als logischer Thin-Client ca. **1 157 €** zu veranschlagen, für ein Notebook als logischer Thin-Client ca. **1 176 €** und für den Hardware-Thin-Client **1 413 €**.

Im direkten Vergleich eines neuen PCs und eines alten PCs als Software-Thin-Client ergibt sich eine **Einsparung von 47 %** bzw. **1 008 €** beim Einsatz des Software-Thin-Clients. In einem idealtypischen Szenario, bei dem konsequent alle vorhandenen Altgeräte in logische Thin-Clients konvertiert und keine neuen Geräte gekauft werden, könnte das Unternehmen somit über **100 800 €** einsparen.

Bild 1-2:
Gesamtkosten pro Client bei 100 zu unterstützenden Arbeitsplätzen



Bei einer Betrachtung für größere Unternehmen ergeben sich aufgrund von Skaleneffekten sinkende Kosten pro Arbeitsplatz und ein geändertes Verhältnis der Lösungen zueinander. Für das sehr große Unternehmen mit 15 000 IT-Arbeitsplätzen ergeben sich für den Desktop-PC entsprechend niedrigere Kosten von ca. **1 565 €** sowie ca. **1 902 €** für das Notebook. Demgegenüber sind für einen älteren Desktop-PC im Betrieb als logischer Thin-Client ca. **952 €** zu veranschlagen, für ein Notebook als logischer Thin-Client ca. **975 €** und für den Hardware-Thin-Client **1 146 €**.

Die Kosten sinken also über alle betrachteten Anwendungsfälle, wobei im direkten Vergleich des neuen Desktop-PCs mit einem älteren PC, der in einen logischen Thin-Client verwandelt wird, eine **Einsparung von 39 %** bzw. **612 €** pro Arbeitsplatz möglich ist. Unter der idealtypischen Annahme, dass alle Arbeitsplätze in Software-Thin-Clients umgewandelt werden, könnten in diesem Beispielszenario über **9 180 000 €** eingespart werden.

Die Untersuchungen und ihre Ergebnisse zeigen somit, dass der Einsatz von Software-Thin-Clients aus Sicht der Treibhausgasemissionen und aus Sicht der Wirtschaftlichkeit Vorteile gegenüber herkömmlichen Desktop-PCs bietet.

Es folgt daraus für Entscheider und IT-Einkäufer in den Unternehmen die Empfehlung, zielgerichtet anhand des konkreten Bedarfs eines jeden Endanwenders abzuwägen, welches Endgerät mit welchem Betriebsmodell geeignet ist, diesen Bedarf zu decken.

Software-Thin-Clients ermöglichen in diesem Zusammenhang einen idealen Einstieg in die strategische Anwendung von Server Based Computing. Da die Altgeräte, die in einen logischen Thin-Client konvertiert werden, bereits im Unternehmen vorhanden sind, entfällt die Investition in Hardware und es entstehen lediglich moderate Kosten durch Anschaffung und Inbetriebnahme der Thin-Client-Software sowie ggf. den Aufbau von weiteren Terminal Servern zur Unterstützung dieser Clients.

Software-Thin-Clients bieten somit einen ökonomisch sinnvollen Weg für eine sanfte Migration hin zu einem strategischen Thin-Client Konzept. Der logische nächste Schritt auf diesem Weg ist die Ablösung der Altgeräte durch Hardware-Thin-Clients, wenn diese Altgeräte das Ende ihres erweiterten Lebenszyklus erreicht haben.

2 Aufgabenstellung

Im Kontext dieser Arbeit wird der Einsatz sogenannter Software-Thin-Clients unter ökologischen und ökonomischen Aspekten untersucht. Die technischen bzw. historischen Hintergründe der Software-Thin-Clients werden in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben, bevor in den weiteren Hauptkapiteln die verwendete Methodik, Datenerhebung und -auswertung dargelegt wird.

Die Studie führt damit die Untersuchungen aus dem früheren Bericht »Thin Clients 2011 – Ökologische und ökonomische Aspekte virtueller Desktops« [Fraunhofer UMSICHT – 2011] fort und erweitert den Fokus auf den neuen Anwendungsfall der Software-Thin-Clients. Auch für diesen Fall werden Produktion, Betrieb und spätere Entsorgung der für den Betrieb notwendigen Hardware berücksichtigt.

Zur Bewertung der Umweltfreundlichkeit wurde wieder eine Ermittlung der Treibhausgasemissionen vorgenommen. Das Thema ist weiter aktuell und ohne konkrete Reduzierungsverpflichtungen der Weltgemeinschaft ist das Ziel, den Temperaturanstieg auf der Erde auf 2°C zu begrenzen, kaum zu erreichen. Hier sind andere, intelligente Nutzungskonzepte (auch im IT-Bereich) gefragt, um einen Beitrag zum Klimaschutz (und damit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen) zu liefern.

2.1 Historischer Hintergrund

Die technische Grundlage für das Server Based Computing (SBC) ist keine grundlegend neue Erfindung, sondern geht zurück auf ein Betriebsmodell, wie es im Bereich der Großrechner (der sog. Mainframes) bereits Mitte des vergangenen Jahrhunderts Anwendung gefunden hat. In Relation zur gebotenen Leistung waren Rechenkapazitäten zu dieser Zeit rar und signifikant teurer, als dies heute der Fall ist. An den Arbeitsplätzen kamen simple Text-Terminals, wie das in den 1970er-Jahren entwickelte Modell »VT100« der Digital Equipment Corporation (DEC) zum Einsatz. Diese Geräte waren mittels serieller Leitungen mit den zentralen Rechnern verbunden und dienten lediglich der Ein- und Ausgabe, während sämtliche Berechnungen zentral ausgeführt wurden. Dies wird auch als Prinzip der entfernten Präsentation bezeichnet.

Erst später setzte die Entwicklung zu Netzwerken unter Verwendung des heute gebräuchlichen Ethernet-Standards und des TCP/IP-Protokolls ein. Auch in solchen Netzwerken war, beispielsweise mit dem im Betriebssystem UNIX implementierten X11-Protokoll, das verteilte Arbeiten nach dem Prinzip der entfernten Präsentation möglich.

Erst mit der Markteinführung des IBM-PCs und kompatibler Systeme setzte in größerem Maßstab der Wechsel hin zu dezentralem Einsatz von Rechenkapazitäten und verteilter Datenhaltung ein. Dem weit verbreiteten Betriebssystem

MS-DOS mit der grafischen Benutzeroberfläche Windows (for Workgroups) fehlte seinerzeit noch Multi-User- sowie Multi-Tasking-Unterstützung, so dass auch Arbeiten mittels entfernter Präsentation zunächst nicht möglich war. Sämtliche Datenverarbeitung fand auf den Clients statt. Dass mit PC-Systemen Rechenleistung zu einem vergleichsweise niedrigen Einstandspreis verfügbar war, leistete dieser Entwicklung Vorschub.

Erst Mitte der 1990er Jahre fand unter den Aspekten steigender Kosten für das Client-Management und höherer Sicherheitsanforderungen erneut ein Umdenken statt und das Arbeiten auf zentralen Servern rückte wieder in den Fokus. In der Welt der Windows-Betriebssysteme unterstützte Microsoft diesen Prozess, indem man in Kooperation mit der Firma Citrix Systems die »Terminal Server Edition (TSE)« als Variante des Betriebssystems Windows NT entwickelte. Dieses System unterstützte neben Multi-User- sowie Multi-Tasking-Betrieb den entfernten Zugriff zunächst über das Citrix-eigene Protokoll »Independent Computing Architecture (ICA)«, später auch über Microsofts Entwicklung des »Remote Desktop Protocol (RDP)«.

2.2 Hardware-Thin-Clients

Zeitgleich etablierten sich als Alternative zu herkömmlichen PCs die sogenannten Thin-Clients als Nachfahren der Text-Terminals aus den Anfangstagen der Datenverarbeitung. Die Thin-Clients werden seither als Hardware in verschiedenen Formfaktoren angeboten. Die Systeme sind wesentlich kompakter als PCs und kommen in der Regel ohne aktive Komponenten wie Lüfter oder Festplatten aus. Als Betriebssystem kommt auf den Systemen oftmals eine Embedded-Variante von Microsoft Windows oder aber ein speziell für diesen Einsatzzweck angepasstes Linux-System zum Einsatz. Maßgebliche Aufgabe der Thin-Client-Betriebssysteme ist es, im Rahmen entfernter Präsentation als Plattform für die Client-Programme verschiedener Server-Infrastrukturen zu dienen.

Anders als in den Anfangstagen der Windows NT TSE steht den Clients inzwischen auf Seiten der Server ein reichhaltiges Ökosystem verschiedener Lösungsansätze gegenüber. Erwähnt seien hier exemplarisch die nach wie vor über RDP erreichbaren Remotedesktopdienste als reine Microsoft-Lösung, ebenso wie Citrix XenApp, welches über ICA kommuniziert. Neben den klassischen Terminal Servern ist auch die Desktop-Virtualisierung inzwischen ein etabliertes Betriebsmodell, bei dem anstelle von Server-Betriebssystem im Multi-User-Einsatz jedem Anwender ein dediziertes Client-Betriebssystem zur Verfügung steht. Auch in diesem Umfeld sind Microsoft und Citrix mit Lösungen vertreten, ebenso wie beispielsweise VMware mit dem Produkt Horizon View und einem eigenen Protokoll zur entfernten Präsentation namens »PC-over-IP (PCoIP)«.

Aufgrund der Weiterentwicklung der Infrastrukturlösungen in Verbindung mit signifikanten Verbesserungen der Performance von Remoteprotokollen können Thin-Clients heutzutage annähernd jeden Anwendungsfall abbilden, der mit einem herkömmlichen PC möglich ist.

2.3 Software-Thin-Clients

In den letzten Jahren haben sich Software-Thin-Clients als weitere Alternative neben üblichen PCs und den bereits bekannten Hardware-Thin-Clients etabliert. Ein früher Vorläufer dieser Entwicklung war bereits im Jahr 2002 die IGEL Thin Client Card (TC Card), die einen herkömmlichen PC mittels Einbau einer CompactFlash Karte in einen Thin-Client verwandelte.

Heutzutage werden die Thin-Client Betriebssysteme dagegen in der Regel direkt auf der Festplatte oder einer Solid State Disk (SSD) installiert. In diesem Zusammenhang findet auch der Begriff des »PC Repurposings« Anwendung. Ziel ist hierbei, PC- ebenso wie Notebook-Hardware einer anderen Verwendung zuzuführen. In diesem Fall wird der Thin-Client nicht als fertiges Paket aus Client-Hardware und -Software angeboten, sondern ein angepasstes Thin-Client-Betriebssystem, wie beispielsweise der im Jahr 2009 eingeführte IGEL Universal Desktop Converter (UDC2), zur Installation auf beliebigen PC- oder Notebook-Systemen verwendet [Knermann – 2014].

Einen Aufschwung haben Software-Thin-Clients unter anderem durch das Supportende für das Betriebssystem Microsoft Windows XP im April 2014 erfahren. In der Folge war der sichere Weiterbetrieb zahlreicher Client-Computer insbesondere im Unternehmenseinsatz nicht mehr möglich. Oftmals handelte sich hierbei allerdings um ältere Systeme, die für ein Update auf neuere Versionen von Windows aus Gründen von mangelnder Leistung oder technischer Kompatibilität nicht mehr geeignet waren.

Durch die Umwandlung in einen Thin-Client müssen solche Computer jedoch nicht zwingend entsorgt werden, sondern können im Rahmen der entfernten Präsentation als Client für einen Terminal Server oder virtuellen Desktop noch einige Jahre weiterbetrieben werden. Die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen dieses Ansatzes werden im Folgenden untersucht und bewertet.

3 Methodik

3.1 Berechnung der Treibhausgasemissionen: Carbon Footprint

Aufgrund der globalen und weitreichenden Auswirkungen kommt dem Klimawandel eine besondere Rolle zu. Die zugehörige Wirkungskategorie Klimawandel (climate change) bezieht sich auf die negativen Umweltwirkungen der anthropogen bedingten Erwärmung der Erdatmosphäre und ist eine der in Ökobilanzen am häufigsten untersuchten Wirkungskategorien.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat mit der Berechnung der Treibhauspotenziale (GWP = global warming potential) für die klimarelevanten Gase ein geeignetes und international anerkanntes System erstellt, mit dem diese innerhalb der Wirkungskategorie Klimaveränderung (Treibhauspotenzial) umgerechnet und aggregiert werden können [IPCC – 2007]. Dieses System bietet die Möglichkeit, über den Wirkungsindikator »Verstärkung der Infrarotstrahlung« mit dem Wirkungsindikatorwert (Einheit) »CO₂-Äquivalente (CO₂e)« und dem Charakterisierungsfaktor »Treibhauspotenzial GWP für jedes Treibhausgas« das Treibhauspotenzial eines Produktes in seinem Lebenszyklus zu berechnen. Zur Bewertung der Klimawirksamkeit von ICT-Geräten (ICT = Information and Communication Technology) wird deshalb der Wirkungsindikator »Verstärkung der Infrarotstrahlung« verwendet, der unter anderen die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) berücksichtigt. Zur Berechnung werden Charakterisierungsfaktoren nach ReCiPe 1.08 (Hierarchist Modell, letztes Update Dezember 2013) verwendet [Goedkoop – 2013]. Als Verweilzeit der Treibhausgase in der Atmosphäre wird ein Zeitraum von 100 Jahren angenommen.

3.2 Systemgrenzen

Die Studie untersucht den Carbon Footprint von ICT-Geräten von der Wiege bis zur Bahre »cradle-to-grave«. Die Lebenszyklusabschnitte sind in Bild 3-1 visualisiert.

Bild 3-1:
Lebenszyklusansatz zur Bilanzierung von ICT-Geräten



Es werden explizit folgende Phasen des Lebensweges berücksichtigt, wobei immer vom bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlagen ausgegangen wird:

- Materialherstellung und Produktion ICT-Gerät (ohne Display)
- Logistik/Distribution
- Nutzung des ICT-Geräts

- End-of-Life-Phase (Verwertung/Recycling) des ICT-Geräts

Bei der Bilanzierung der Produktion des Notebooks ist systembedingt das integrierte Display eingeschlossen. Dies ist ein Unterschied zum Desktop-PC. Bei der Nutzungsphase wurde der Stromverbrauch des Bildschirms des Notebooks nicht erfasst, indem das Notebook in seiner Dockingstation zugeklappt gemessen wurde.

3.3 Betrachtete Systeme und Szenarien

Die Analyse der **ökologischen Wirkungen** umfasst die Bewertung des Betriebs eines Arbeitsplatzgeräts als Software-Thin-Client im Hinblick auf Produktion, Betrieb und Entsorgung mit besonderer Berücksichtigung der Energieintensität (CO₂-Emissionen) für

- einen typischen Desktop-PC und
- ein typisches Notebook.

Die **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** umfasst die Bewertung von fünf Anwendungsfällen von Managed Desktops im Hinblick auf Anschaffungskosten, Arbeitsaufwand, Stromverbrauch. Folgende Anwendungsfälle werden betrachtet:

- Neukauf eines PC
- Neukauf eines Notebooks
- Weiterbetrieb eines älteren PCs als Software-Thin-Client
- Weiterbetrieb eines älteren Notebooks als Software-Thin-Client
- Neukauf eines Hardware-Thin-Clients

Zudem erfolgt eine Hochrechnung auf zwei Unternehmenstypen:

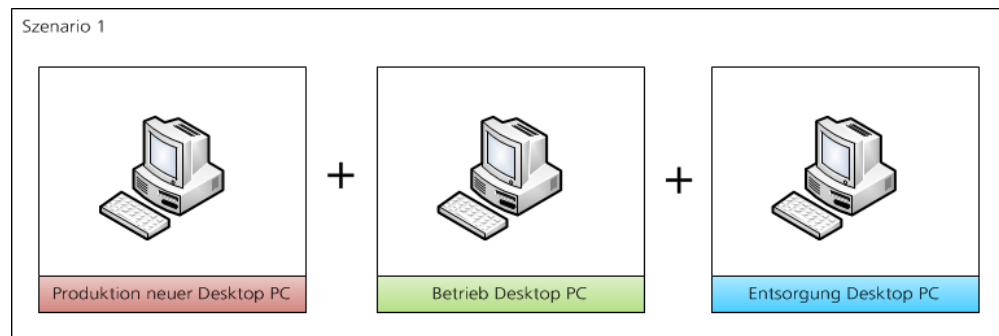
- 1. für ein mittelständisches Unternehmen mit 600 IT-Arbeitsplätzen
- 2. ein Großunternehmen mit 15 000 IT-Arbeitsplätzen.

Im Folgenden werden die ökobilanziell untersuchten Szenarien etwas detaillierter dargestellt.

Im Szenario 1, welches als Referenzszenario dient und in Bild 3-2 dargestellt ist, wird der gesamte Lebenszyklus eines Desktop-PCs im Hinblick auf seine Treibhausgasemissionen bewertet. Dies schließt dessen Produktion, Nutzung sowie dessen Entsorgung ein.

Bild 3-2:

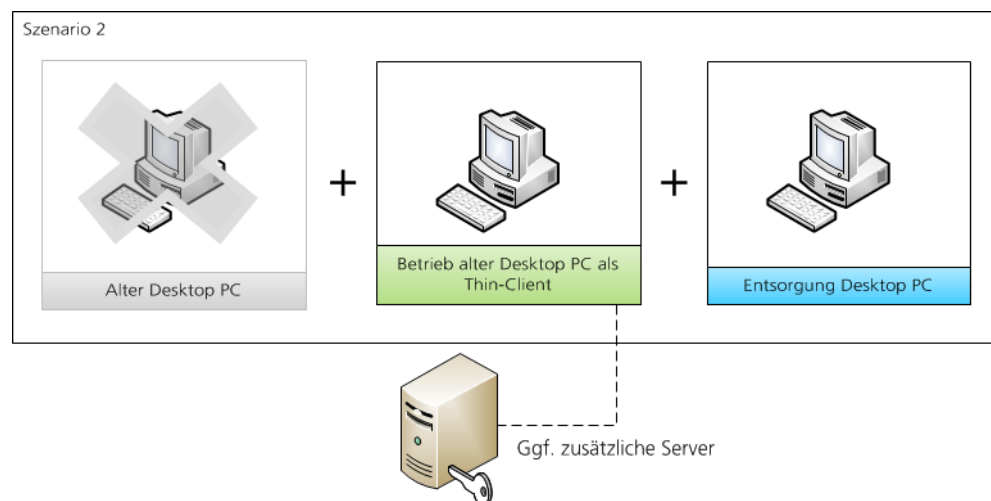
Szenario 1: Arbeiten mit einem neuen Desktop-PC



Szenario 2 untersucht den Fall, dass ein älterer Desktop-PC als Software-Thin-Client weiter genutzt werden kann. In diesem Fall entfällt die Produktion des Geräts. Am Ende des Lebenszyklus wird das Gerät, wie ein neuer PC auch, entsorgt. Szenario 2 ist in Bild 3-3 visualisiert.

Bild 3-3:

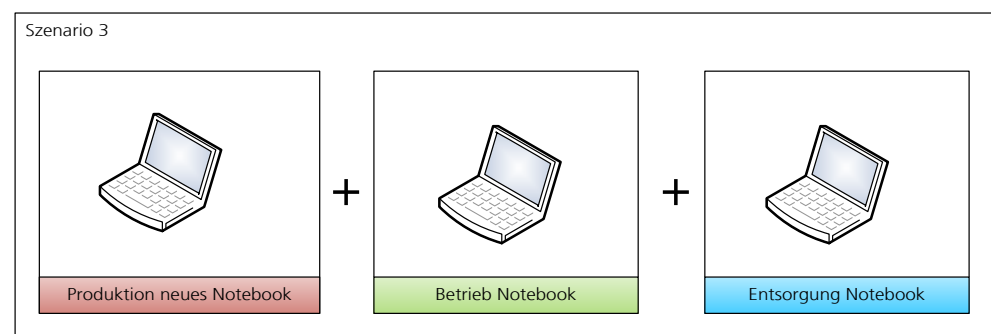
Szenario 2: Arbeiten mit einem gebrauchten Desktop-PC als Thin-Client



In Szenario 3 wird angenommen, dass die Arbeit an einem neuen Notebook erfolgt.

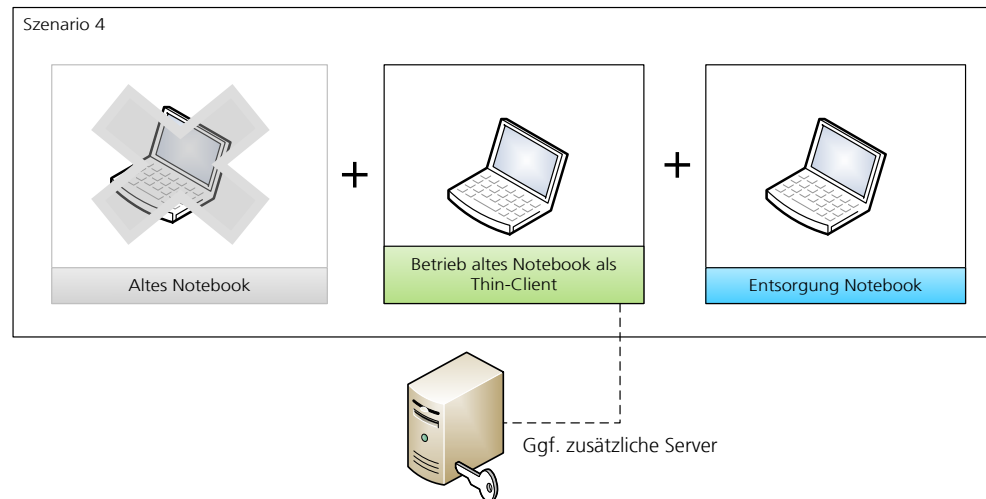
Bild 3-4:

Szenario 3: Arbeiten mit neuem Notebook



Verglichen wird das Szenario 3 mit der Option, dass ein gebrauchtes Notebook weiter betrieben wird als Software-Thin-Client. Diese Möglichkeit wird mit Szenario 4 abgebildet.

Bild 3-5:
Szenario 4: Arbeiten mit gebrauchten Notebook als Thin-Client



3.4 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit ist nach ISO 14040 definiert als »quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit« [DIN Deutsches Institut für Normung e.V. – November 2009].

Als funktionelle Einheit wird die **»3-jährige Nutzung«** eines ICT-Geräts definiert. Das heißt, dass abhängig von der Lebensdauer eines ICT-Geräts der Produktionsaufwand von drei Jahren dem Gerät zugeschlüsselt wird. Als Lebensdauer von Neugeräten (Desktop-PCs und Notebook) werden 5 Jahre angenommen. Somit werden 3/5 des Produktionsaufwands für die funktionelle Einheit berechnet. Gleiches gilt für die Distribution und die End-of-Life Phase (Verwertung/Entsorgung) der ICT-Geräte. Für den Stromverbrauch in der Nutzungsphase werden entsprechend der funktionellen Einheit drei Jahre Betrieb berücksichtigt. Das Nutzerverhalten ist im Detail in Kapitel 4.3 beschrieben. Für die Altgeräte wird angenommen, dass diese weitere drei Jahre als Thin-Client betrieben werden können, ohne dass sie ersetzt werden müssten. Da es sich bei den Altgeräten um ICT-Geräte handelt, die alternativ entsorgt werden würden, werden keine Aufwendungen für deren Herstellung bilanziert.

3.5 Anwendung der Strommessgeräte

Ausschlaggebend für eine Bewertung der Betriebsphase von IT-Komponenten unter ökologischen Gesichtspunkten ist deren elektrische Leistungsaufnahme, gemessen in Watt (W). Bei der Untersuchung darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass die in Computern eingesetzten Netzteile aufgrund kapazitätsbegrenzter Leistungsfähigkeit die elektrische Leistungsaufnahme erhöhen.

zitiver bzw. induktiver Effekte eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung aufweisen. Das Produkt der effektiven Werte von Strom und Spannung wird als in Voltampere (VA) gemessene Scheinleistung bezeichnet.

Für die Betrachtung ist jedoch nur die Wirkleistung relevant, da es sich dabei um den Anteil der Scheinleistung handelt, der tatsächlich Arbeit verrichtet, also als Leistung genutzt und letztlich in Wärme umgewandelt wird.

Die Relation von Schein- und Wirkleistung wird durch den sogenannten Leistungsfaktor (Power Factor [PF]) ausgedrückt. Nur im Idealfall bei einem PF von 1 sind Schein- und Wirkleistung identisch. Viele preiswerte Messgeräte, die den PF nicht berücksichtigen, erfassen zwar die Scheinleistung, aber nicht die für den Energieverbrauch relevante Wirkleistung und weisen somit zu hohe Werte aus, was die Ergebnisse verfälschen würde.

Wenngleich die Netzteile von PCs, typischerweise mit einer Nennleistung von über 50 W bzw. 75 W (je nach Geräteklasse), nach der Norm EN 61000-3-2 mit einer Leistungsfaktorkorrektur ausgestattet sein müssen, kann damit eine Phasenverschiebung und somit eine Abweichung zwischen Wirk- und Scheinleistung nicht komplett ausgeglichen werden. Zur Erfassung der Leistungsaufnahme der Clients in den betrachteten Szenarien kam entsprechend das hochpräzise 1-Phasen-Leistungsmessgerät LMG95 der Firma ZES Zimmer Electronic Systems zum Einsatz. Dieses Gerät erfasst auch nicht lineare Lasten, wie sie typischerweise bei Schaltnetzteilen anliegen, sehr genau und weist den PF sowie Schein- und Wirkleistung aus. Dabei liegt die Messungenauigkeit des Gerätes bei 0,015 % des Messwerts und 0,01 % des Messbereichs für eine Grundschwingung im Bereich von 45-65 Hz.

Zur Bestimmung der aus dem Betrieb der Clients resultierenden Umweltauswirkungen wurde die Wirkleistung in Bezug zu den zu erwartenden Emissionen von CO₂-Äquivalenten (CO₂e) gesetzt.

3.6 Installation Thin-Client-Software

Auf den in Kapitel 4.4 exemplarisch untersuchten Geräten wurde der IGEL Universal Desktop Converter (UDC2) in der Version 5.05.100 lokal am Gerät mittels interaktivem Setup installiert. Dazu wurde mit dem von IGEL bereitgestellten Einrichtungsprogramm »UDC2Stick.exe« ein mittels Syslinux bootfähiger USB-Stick erzeugt und dann zur Installation verwendet.

Für Installationen auf eine große Anzahl von Clients bietet der Hersteller zwei Verfahren zur automatisierten Installation des UDC2 an. Zum einen kann dies über eine vorgefertigte virtuelle Maschine, die sogenannte »UDC Deployment Appliance«, oder aber über die Microsoft Remote Installation Services (RIS) erfolgen. Weitere Informationen zu Installation, technischen Voraussetzung sowie Eigenschaften des UDC2 finden sich in [Knerrmann – 2014].

Nach erfolgreicher Installation wurden die Clients in das zentrale Management einer Instanz der IGEL Universal Management Suite (UMS) in der Version 4.08.100 integriert und über den Management Server mit den notwendigen Einstellungen versorgt, um auf eine zentrale Terminal Server-Infrastruktur zugreifen zu können.

Die UMS erlaubt es, bei Linux-Geräten 100 % der Client-Konfiguration zentral zu verwalten. So können die Client-Computer effizient in ein Management-Konzept eingebunden werden und lokale administrative Aufwände direkt am Gerät entfallen weitestgehend.

4 Datenerhebung und Auswahl der zu vergleichende Geräte

4.1 Datengrundlage und Datenqualität

Die zur Berechnung der Treibhausgasemissionen notwendigen Daten beruhen auf öffentlich zugänglichen Ökobilanzstudien zu ICT-Geräten, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Insgesamt wurden im Rahmen der Literaturrecherche 10 Studien zu Desktop-PCs identifiziert, in denen 22 Desktop-PCs ökobilanziell bewertet wurden. Im Hinblick auf Notebooks wurden 13 Studien identifiziert, in denen 30 Notebooks untersucht wurden. Die meisten dieser Studien haben die ökologischen Wirkungen der ICT-Geräte im Lebenszyklus untersucht, einige beziehen sich auf die sozialen Auswirkungen [Ciroth – 2011; Ekener-Petersen – 2013; Manhart – 2006].

Die Firma Apple hat »Environmental Reports« veröffentlicht, welche den Carbon Footprint von aktuellen Desktop-PCs und Notebooks ausweisen (z. B. [Apple Inc – 2014e], [Apple Inc – 2014c]). Da diese Berichte von Apple selbst herausgegeben werden, ist die Beurteilung der Datenqualität schwierig.

Neben den Berichten der Firma Apple wurden öffentlich geförderte Studien durchgeführt, die sich entweder auf durchschnittliche ICT-Gerätezusammensetzungen beziehen oder auf ein spezifisches Modell. Ein Beispiel für durchschnittliche ICT-Geräte ist die in der »Lot 3-Studie« veröffentlichte Zusammensetzung eines Desktop-PCs und eines Notebooks (IVF – 2007), welche in den vorherigen Studien für die IGEL Technology GmbH als Referenz verwendet wurden. In den letzten Jahren sind weitere Studien zu verschiedenen Desktop-PCs der Firma Dell veröffentlicht worden. Untersucht wurden die Geräte Dell OptiPlex 580, Dell OptiPlex 790 (IVF – 2007), Dell OptiPlex 780 Mini Tower und der Dell FX-100 Zero Client [Teehan, Kandlikar – 2013a]. Die detaillierte Material- und Komponentenzusammensetzung des Dell OptiPlex 780 ist dem Anhang der Dissertation von Teehan [Teehan, Kandlikar – 2013b] zu entnehmen. Der Dell Optiplex 780 Minitower Desktop wurde circa 2010 produziert und hat eine Größe bzw. Gewicht von 41cm x 43 cm x 19 cm bzw. 10,7 kg.

Die meisten Ökobilanzstudien verwenden Hintergrunddaten, welche Informationen zu Umweltwirkungen von ICT-Komponenten wie Transistoren enthalten, die der ecoinvent-Datenbank entnommen sind. Die ecoinvent-Daten enthalten Daten zur Produktion, Nutzung und Entsorgung der Komponenten [Hischier, Classen, Lehmann, Scharnhorst – 2007a]. Zudem enthält ecoinvent Daten zu Modulen wie Leiterplatten [Hischier, Classen, Lehmann, Scharnhorst – 2007b], zu gesamten Geräten wie einem Desktop Computer, LCD-Monitor etc. [Lehmann, Hischier – 2007], zu Verbräuchen in der Nutzungsphase [Lehmann – 2007] sowie spezifische Daten zu verschiedenen Entsorgungspfaden und Recyclingprozessen [Hischier – 2007].

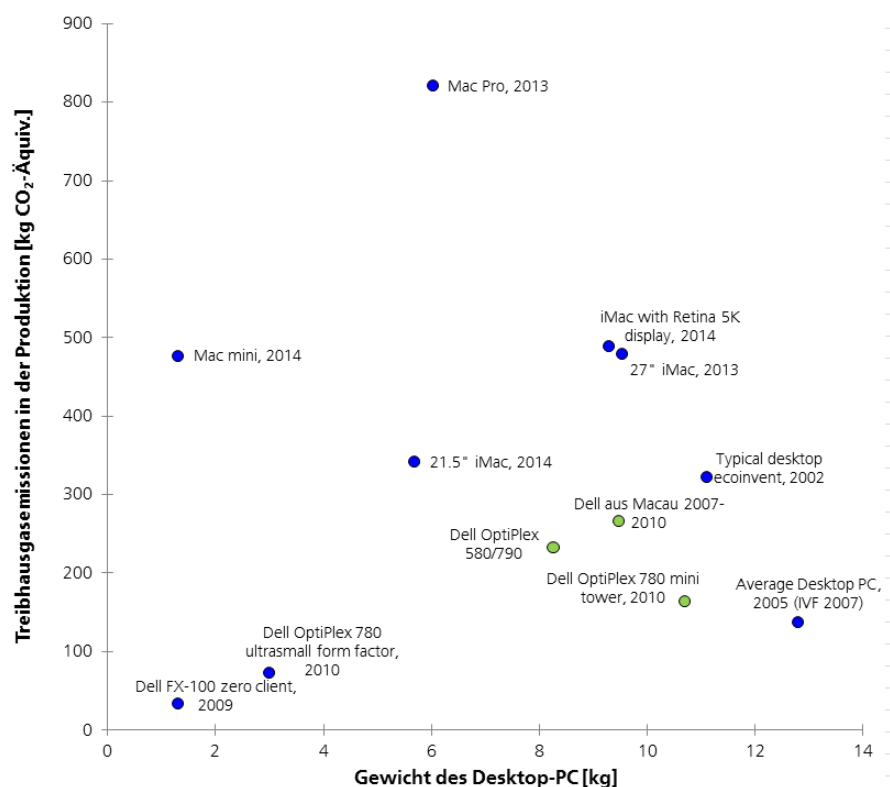
Neben diesen Hintergrunddatenbanken werden in dieser Studie spezielle Datenbanken verwendet wie die der MEeP-Studie [Kemna – 2011], die nationale koreanische Datenbank [Choi – 2006] oder die GaBi-Datenbank von PE International [Herrmann – 2008].

4.2 Produktionsphase

4.2.1 Auswahl des bilanzierten Desktop-PCs

Nicht in allen Studien zu Desktop-PCs sind die Treibhausgasemissionen der Produktionsphase eindeutig zu entnehmen. Insgesamt wurden 14 Treibhausgasbilanzen von Desktop-PCs in die Auswahl mit einbezogen [Scheumann – 2013] [Apple Inc – 2014e] [Apple Inc – 2013a] [Apple Inc – 2014f] [Apple Inc – 2014i] [Apple Inc – 2013e] [IVF – 2007] [Song – 2013] [Teehan, Kandlikar – 2013a]. Bild 4-1 zeigt die Treibhausgasemissionen und das Gewicht von verschiedenen Desktop-PCs. Aus optischen Gründen ist ein Wert eines älteren PCs aus dem Jahre 1998 mit dem Gewicht von 22 kg und 189 kg CO₂-Äquivalenten nicht im Bild 4-1 dargestellt.

Bild 4-1:
Treibhausgasemissionen in der Produktion von Desktop-PCs und deren Gewichte (14 Werte, einer ist ausgeblendet, grüne Punkte repräsentieren den Durchschnitt)



In Bild 4-1 ist zu erkennen, dass es keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Masse eines Desktop-PCs und den Treibhausgasemissionen während dessen Herstellung gibt. Die Apple-Geräte weisen tendenziell geringere Gewichte und einen vergleichsweise hohen Carbon Footprint auf. Die Ursache

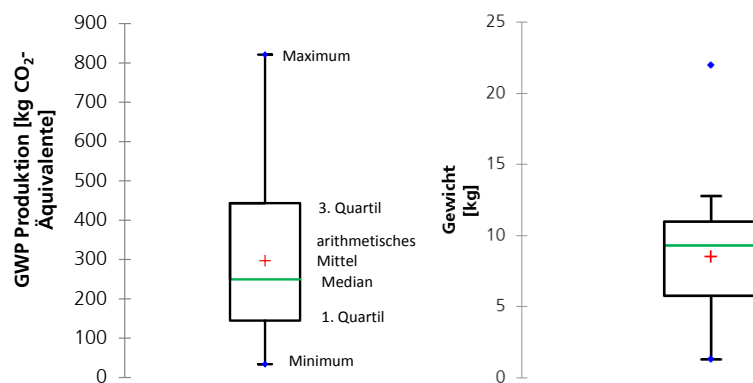
hierfür kann nur vermutet werden, könnte jedoch zum Teil dem Umstand zugeschrieben sein, dass Apple die Gehäuse aus energieintensiv hergestelltem Aluminium fertigt, während die meisten anderen Marktteilnehmer auf Kunststoffe setzen.

Ältere Geräte, wie der in der IVF-Studie [IVF – 2007] bilanzierte Desktop-PC, weisen ein relativ hohes Gewicht (> 12 kg) auf und einen vergleichsweise geringen Carbon Footprint. Die Desktop-PCs der Firma Dell (OptiPlex 580,780) [Teehan, Kandlikar – 2013a], [Scheumann – 2013] sowie ein Durchschnitt-Desktop-PC der Firma Dell aus Macau [Song – 2013] weisen ein Gewicht von ca. 10 kg auf und einen Carbon Footprint zwischen ca. 200 bis 300 kg CO₂-Äquivalenten. Die kleineren Varianten Dell FX-100 Zero Client und Dell OptiPlex 780 Ultra-Small Form Factor (USFF) haben ein Gewicht von weniger als 4 kg und einen Carbon Footprint von kleiner als 100 kg CO₂-Äquivalenten.

Bild 4-2 zeigt die statistische Verteilung des Carbon Footprints und der Gewichte der Stichprobe. Untergliedert wird in Quartile: 50 % der Werte liegen zwischen 164 und 477 kg CO₂-Äquivalenten bzw. 5,7 und 11 kg.

Bild 4-2:

Scatterplot der Treibhausgasemissionen in der Produktion von Desktop-PCs (13 Studien)



Wie Tabelle 4-1 zeigt, liegt der Median bei 266,4 kg CO₂-Äquivalenten bzw. 9,3 kg Gewicht und das arithmetische Mittel bei 309,9 kg CO₂-Äquivalenten bzw. 8,5 kg.

Tabelle 4-1: Deskriptive Statistik zu Treibhausgasemissionen und Gewicht von Desktop-PCs

Statistik	GWP Produktion [kg CO ₂ e]	Gewicht [kg]
Anz. der Beobachtungen	13	13
Minimum	33,6	1,3
Maximum	821,1	22
Median	266,4	9,3

Mittelwert	309,9	8,5
Standardabweichung (n-1)	215,5	5,5

Folgende Geräte/Studien weisen Treibhausgasemissionen in der Nähe des Mittelwerts auf:

- Dell OptiPlex 580/790: 233 kg CO₂e (Scheumann – 2013)
- Dell OptiPlex 780 Mini Tower, 2010: 164 kg CO₂e [Teehan, Kandlikar – 2013a]
- Dell aus Macau 2007-2010: 266 kg CO₂e [Song – 2013]

Die Datenqualität der PC-Zusammensetzung in der AfB-Studie ist schwer einzuschätzen, da sie sich auf die Datenblätter der Dell Rechner OptiPlex 580/790 stützt, aber Daten anderer Geräte, die im Rahmen der Untersuchungen der TU Berlin zur »Zerlegung von 53 Desktop-PC« des FG Abfallwirtschaft erhoben wurden, verwendet. Daher wird diese Studie in dieser Arbeit nicht weiter genutzt. Bild 4-3 zeigt die Zusammensetzung des bilanzierten Dell Optiplex 580.

Bild 4-3:

Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung des Dell Optiplex 580 in [Scheumann – 2013]

Desktop PC	Dell Optiplex 580; Produktion 2012	Angaben in Gramm
Total		8260
Metals	64%	5317
Electronic components	31%	2550
Plastics	5%	393
FE-Metals	61,85%	5108,81
NE-Metals	2,28%	188,671
Iron-Copper-Mix	0,23%	19,323
Cables with connectors	2,87%	237,108
Power supply	9,31%	769,188
Drive	9,92%	819,708
Hard Disk Drive	3,27%	270,239
Printed Circuit Board	5,17%	426,799
CPU and RAM	0,28%	23,464
Batteries	0,04%	3,05
Thermoplastics white	3,33%	275,203
Thermoplastics black	1,05%	86,969
Mixed plastics	0,38%	31,216
Stromkabel	PVC-Mantelleitungen nach VDE 0250	0,3275
Verpackung	corrugated board	1950
	LDPE	200

Für den Dell OptiPlex 780 Mini Tower (Jahr 2010) liegen detaillierte Daten vor. Jedes in Bild 4-4 dargestellte Bauteil ist im Detail aufgegliedert bis zu einzelnen Spulen, Kondensatoren etc. Aus Platzgründen ist die detaillierte Zusammensetzung hier nicht dargestellt.

Bild 4-4:

Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung des Dell OptiPlex 780 Mini Tower in [Teehan, Kandlikar – 2013b]

Category	Unit	Measurement	GHG (kg CO ₂ -eq)	Primary energy (MJ)
Power supply (excl. IC's)	Mass (g)	1461	40	749
Casing	Mass (g)	6171	14	255
Circuit boards (excl. IC's)	Mass (g)	1028	38	744
IC's (packages)	Mass (g)	40	15	301
IC's (die)	Area (mm ²)	500	22	318
Battery	Mass (g)	0	0	0
Display	Mass (g)	0	0	0
Other	Mass (g)	1959	28	502
Transport	Mass (g)	10660	3	43
Assembly	Products	1	1	25
Total	Mass(g)	10660	161	2937

Die Zusammensetzung des Dell Desktop-PCs aus Macau wurde mittels Zerlegung von Geräten aus den Jahren 2007-2010 ermittelt und ist in [Song – 2013] zusammengefasst.

Bild 4-5:

Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung des Desktop-PCs in [Song – 2013]

	Categories	Weight (kg)	Percentage
Desktop	Iron housing	4.95	47.28 %
	Plastic housing	0.16	1.53 %
	Printed wiring board	0.66	6.30 %
	CD-ROM/DVD ROM	0.75	7.16 %
	Power supply unit	1.62	15.47 %
	Hard disk	0.55	5.25 %
	Cable	0.14	1.34 %
	Radiator (Al)	0.57	5.44 %
	Fan	0.07	0.67 %
	Packing	1	9.55 %
	Total	10.47	100.00 %

Alle drei Studien verwenden zur Abbildung der Produktionsprozesse ecoinvent 2.2-Daten [Hischier, Classen, Lehmann, Scharnhorst – 2007a].

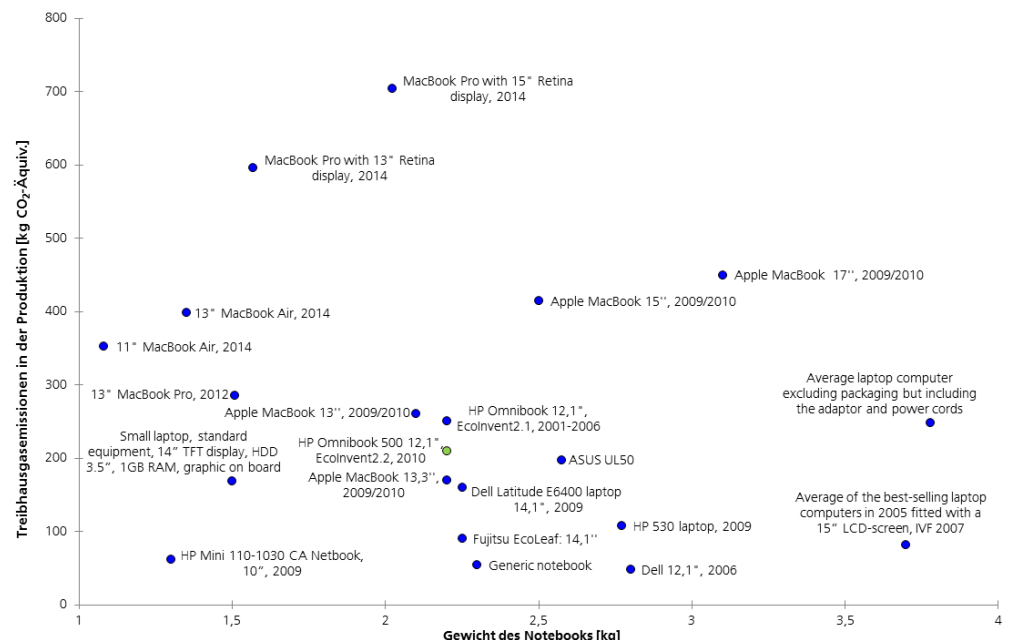
Die Studie von [Teehan, Kandlikar – 2013a] verwendet die detaillierteste Datenbasis, insbesondere im Hinblick auf die Zusammensetzung des Geräts.

Die Studie von [Song – 2013] liegt am nächsten beim Mittelwert und auch beim Median aller in dieser Studie untersuchten Geräte. Für die Wahl eines möglichst repräsentativen Werts wird daher für diese Studie der in [Song – 2013] bilanzierte Dell Desktop-PC als Referenzwert herangezogen.

4.2.2 Auswahl des bilanzierten Notebooks

Als Datenbasis werden 22 Carbon Footprints berücksichtigt, welche verschiedenen Notebook-Studien entnommen sind. Eine Übersicht zu den Treibhausgasemissionen und Gewichten verschiedener Notebooks zeigt Bild 4-6 [Apple Inc – 2014a], [Apple Inc – 2014b], [Apple Inc – 2014c], [Apple Inc – 2012], [Deng – 2011], [Herrmann – 2008], [Lu – 2006], [Prakash – 2012], [Scheumann – 2013], [Teehan, Kandlikar – 2013a], [Teehan, Kandlikar – 2013b]. Wie bereits beim Desktop-PC ist auch hier keine klare Korrelation zwischen den Treibhausgasemissionen in der Produktion und dem Gewicht des Notebooks zu erkennen. Auffällig ist weiterhin, dass die von Apple vertriebenen MacBooks tendenziell höhere Treibhausgasemissionen zeigen.

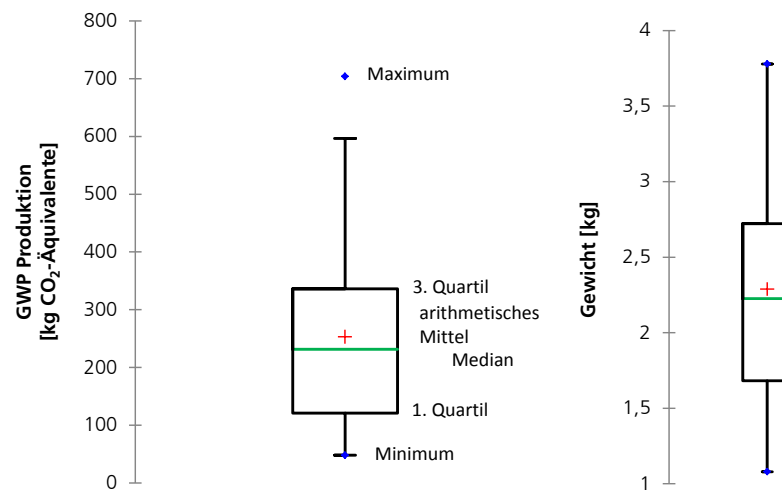
Bild 4-6:
Treibhausgasemissionen in der Produktion von Notebooks und deren Gewichte (22 Werte)



Neben den MacBooks wurden teilweise generische Notebooks untersucht sowie solche der Firmen HP, Dell, Fujitsu und Asus.

Wie Bild 4-7 und Tabelle 4-2 zeigen, liegt der Carbon Footprint der Notebookherstellung zwischen 48 und 704 kg CO₂-Äquivalenten und das Gewicht zwischen 1,1 und 3,6 kg.

Bild 4-7:
Scatterplot der Treibhausgasemissionen in der Produktion von Notebooks (22 Werte)



Wie Tabelle 4-2 zeigt, liegt der Median bei 231 kg CO₂-Äquivalenten bzw. 2,2 kg und das arithmetische Mittel bei 253 kg CO₂-Äquivalenten bzw. 2,3 kg. Der Median ist für diese Stichprobe repräsentativer, da dieser verglichen mit dem arithmetischen Mittel Ausreißer weniger stark berücksichtigt.

Tabelle 4-2: Deskriptive Statistik zu Treibhausgasemissionen und Gewicht von Notebooks

Statistik	GWP Produktion [kg CO ₂ -Äquivalente]	Gewicht [kg]
Anz. der Beobachtungen	22	22
Minimum	48	1,08
Maximum	704	3,78
Median	231,3	2,2
Mittelwert	253,1	2,3
Standardabweichung (n-1)	174,8	0,75

Folgende Geräte/Studien zeigen Treibhausgasemissionen um den Mittelwert:

- ASUS UL50: 197 kg CO₂-Äquivalente ([Scheumann – 2013], [Ciroth – 2011])
- HP Omnibook 500 12,1", ecoinvent 2.2, 2010: 214 kg CO₂-Äquivalente [Prakash – 2012]
- Average laptop computer: 248,5 kg CO₂-Äquivalente [Deng – 2011]
- 12,1" HP Omnibook with dock, ecoinvent 2.1: 250 kg CO₂-Äquivalente [Prakash – 2013]

Die Materialzusammensetzung des ASUS UL50 ist in Bild 4-8 dargestellt.

Bild 4-8:

Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung des Notebooks ASUS UL50 aus [Ciroth – 2011] in [Scheumann – 2013]

Notebook	Toshiba, 2001 (Gewichstreduktion 20%) & Asus UL50, 2009	Angaben in Gramm
Total		2574
Plastic/Metals	51%	1305
Electronic components	14%	350
Battery	15%	389
Screen	20%	530
Chassis		700
Keyboard		79
Battery		389
PCB		350
HDD		97
DVD/CD Drive		261
Screen		530
Power Supply		362
Packaging	corrugated board	739
	HDPE	15

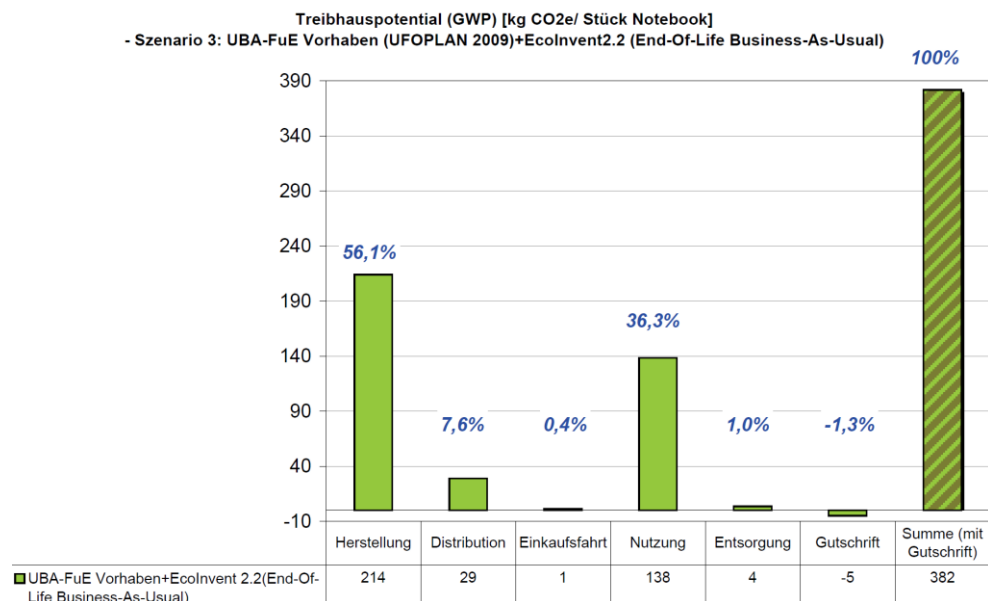
Die Datenqualität der ASUS UL50-Studie ist schwer einzuschätzen, da neben Daten aus [Ciroth – 2011] auch Daten eines Toshiba-Gerätes eingeflossen sind sowie Daten aus [Prakash – 2012].

Die Daten zu dem HP Omnibook 500 12,1", ecoinvent 2.2, 2010, veröffentlicht in [Prakash – 2012] beziehen sich auf ecoinvent 2.2-Daten [Lehmann, Hirschier – 2007], die aktualisiert wurden mit Daten aus dem Projekt »Schaffung einer Datenbasis zur Ermittlung ökologischer Wirkungen der Produkte der IKT« [Prakash – 2013]. Aktualisiert wurden die Datensätze »integrierte Schaltungen« (IC) und »Bildschirm-Modul« [Prakash – 2013].

Die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus sind in Bild 4-9 dargestellt.

Bild 4-9:

Treibhausgasemissionen eines HP Omni-book 500 12,1", ecoinvent 2.2 mit Daten aus [Prakash – 2013],
Quelle: [Prakash – 2012]



Die Annahmen der Studie für die Bilanzierung der Distribution und Verteilung zu den Verkaufsstandorten sind der Studie O'Connell und Stutz [O'Connell – 2010] [O'Connell] entnommen. Diese haben einen Lufttransport von China nach Polen sowie weitere Landtransporte per LKW von Polen bis zu den Endkunden berücksichtigt. Im Detail liegen der Studie folgende Annahmen zugrunde:

- Von den Produktionsstandorten zum Flughafen (LKW 16–32 t) 500 km und 80 % Auslastung,
- Von Shanghai PuDong Flughafen nach Warschau Flughafen 8 000 km,
- Feinverteilung von Polen zu den Verkaufsläden (LKW 7,5–16 t) 1 000 km und 80 % Auslastung.

Tabelle 4-3 fasst die Datensätze zur Modellierung der Distribution und Feinverteilung zusammen.

Tabelle 4-3: Datensätze zur Modellierung der Distribution und Feinverteilung [Prakash – 2012]

Input	Datensätze	Zeitbezug	Ortsbezug	Quelle
Transport von Produktionsstandorten zum Flughafen	Transport, LKW 16–32 t, EURO3	2005	Europa	ecoinvent 2.2
Flugverkehr (von Shanghai nach Warschau)	Transport, Luftfracht, Interkontinental	2000	Europa	ecoinvent 2.2
Feinverteilung (vom Flughafen zu den Verkaufsläden)	Transport, LKW 7.5–16t, EURO3	2005	Europa	ecoinvent 2.2

Das »12,1" HP Omnibook with dock, ecoinvent 2.1« [Prakash – 2013] basiert auf der gleichen Datenbasis wie das »HP Omnibook 500 12,1", ecoinvent 2.2, 2010« [Prakash – 2012] mit dem Unterschied, dass veraltete Hintergrunddaten verwendet wurden. Daher wird dieses nicht weiter berücksichtigt.

Das von [Deng – 2011] bilanzierte Notebook, wie in Bild 4-10 dargestellt, wiegt ca. 3,8 kg ist somit vergleichsweise schwer.

Bild 4-10:

Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung eines generischen Notebooks [Deng – 2011]

Bill of Materials and embodied energy and CO₂ in material.

Materials	Amount per laptop (gram)	Source	Energy intensity (MJ/kg)	Energy use per laptop (MJ)	CO ₂ intensity (kg CO ₂ /kg)	CO ₂ per laptop (kgCO ₂)
ABS	373	Disassembly	71–95	27–36	3.7–4.8	1.4–1.8
PC	406	Disassembly	105–125	43–51	6.1–7.3	2.5–2.9
Other plastic	343	Disassembly	107	37	5.5	1.9
Glass	300	Disassembly	44–65	13–20	2.7–4.1	0.8–1.2
Copper	270	Disassembly	34–96.1	9.2–26	2.1–5.9	0.55–1.6
Aluminum	512	Disassembly	128–157	66–80	7.1–8.3	3.6–4.3
Steel	871	Disassembly	31–92	26–78	2.1–5.9	1.8–5.1
Gold	0.36	Literature ^a	58,407–677,514	21–244	2356–43374	0.85–15
Silver	1.4	Literature	340–11,769	0.48–17	19–754	0.03–1.06
Epoxy	244	Calculation ^b	126–242	33–64	7.2–14	1.7–3.5
Palladium	0.06	Calculation	64,240–208,177	3.9–12	4097–13704	0.25–0.83
Nickel	0.99	Calculation	94–202	0.09–0.20	5.8–13	0.006–0.013
Zinc	0.1	Calculation	23–84	0.002–0.008	0.7–5.8	0.001–0.001
Neodymium	0.02	Calculation	344–748	0.007–0.02	22–45	0.001–0.001
Tin	9.3	Calculation	235–309	2.2–2.9	12–20	0.11–0.19
Lead	6.1	Calculation	13–22	0.08–0.1	9.1–20	0.09–0.18
Other	442	Disassembly	n/a	n/a		
Total	3779			280–665		16–41

^a Based on published literature content (Miyamoto et al., 1998).

^b Calculation based on material content per area circuit board (Shirahase and Akiko, 2007).

Da der Trend heute eher in Richtung leichtere Notebooks geht, wird dieses Notebook nicht als Referenz verwendet. Ebenfalls nicht verwendet werden die Daten zum ASUS UL50, da die Datenqualität nicht hinreichend beurteilt werden konnte.

Die Hintergrunddaten zum HP Omnibook 500 12,1" sind relativ aktuell (letztes Update 2012). Zudem liegt der Carbon Footprint der Produktion mit 214 kg CO₂-Äquivalenten nahe beim berechneten Median, welcher 231 kg CO₂-Äquivalente beträgt (Tabelle 4-2).

Daher wird der Carbon Footprint dieses Notebooks (214 kg CO₂-Äquivalente) im Rahmen dieser Studie als Referenzwert verwendet.

4.2.3 Auswahl des bilanzierten Servers

Insgesamt liegen nur zwei Studien vor, in denen Treibhausgasemissionen der Herstellung von Servern untersucht wurden.

Zum einen hat die Firma Dell den »PowerEdge R710 2U rack server« mit 2 Prozessoren, 12 GB RAM, 4x146 GB Festplatte, 2 Stromanschlüssen, einem DVD Laufwerk und 4 Lüftern im Hinblick auf Treibhausgasemissionen untersucht [Stutz – 2012]. Für die Produktion des Geräts in Texas wurden bis Werkstor 471 kg CO₂-Äquivalente berechnet. Bild 4-11 zeigt die Treibhausgasemissionen des Dell PowerEdge R710 2U rack servers in seinem Lebenszyklus. Zu erkennen ist, dass über 90 % der Treibhausgasemissionen durch die Nutzung verursacht werden. Ca. 7 % resultieren aus der Produktion.

Bild 4-11:
Carbon Footprint eines
Dell PowerEdge R710
2U rack servers [Stutz –
2012]

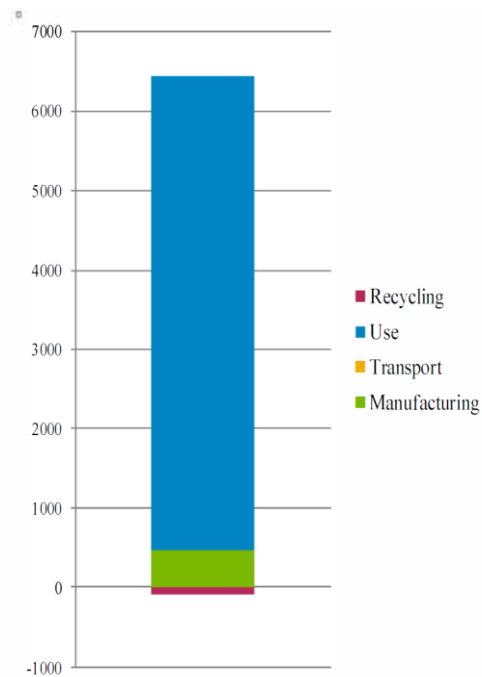


Figure 2: Total product carbon footprint [kg CO2eq] of the Dell PowerEdge R710 in the US

Eine weitere Studie hat einen Dell PowerEdge rack server, model EMU 3710P71, hergestellt im Jahr 2005, untersucht [Teehan – 2013]. Tabelle 4-4 fasst die Masse und die Treibhausgasemissionen dieses Servers aufgegliedert nach Baugruppen zusammen.

Tabelle 4-4: Masse und Treibhausgasemissionen verschiedener Bauteile des Dell PowerEdge rack server, model EMU 3710P71, hergestellt im Jahr 2005 [Teehan, Kandlikar – 2013b]

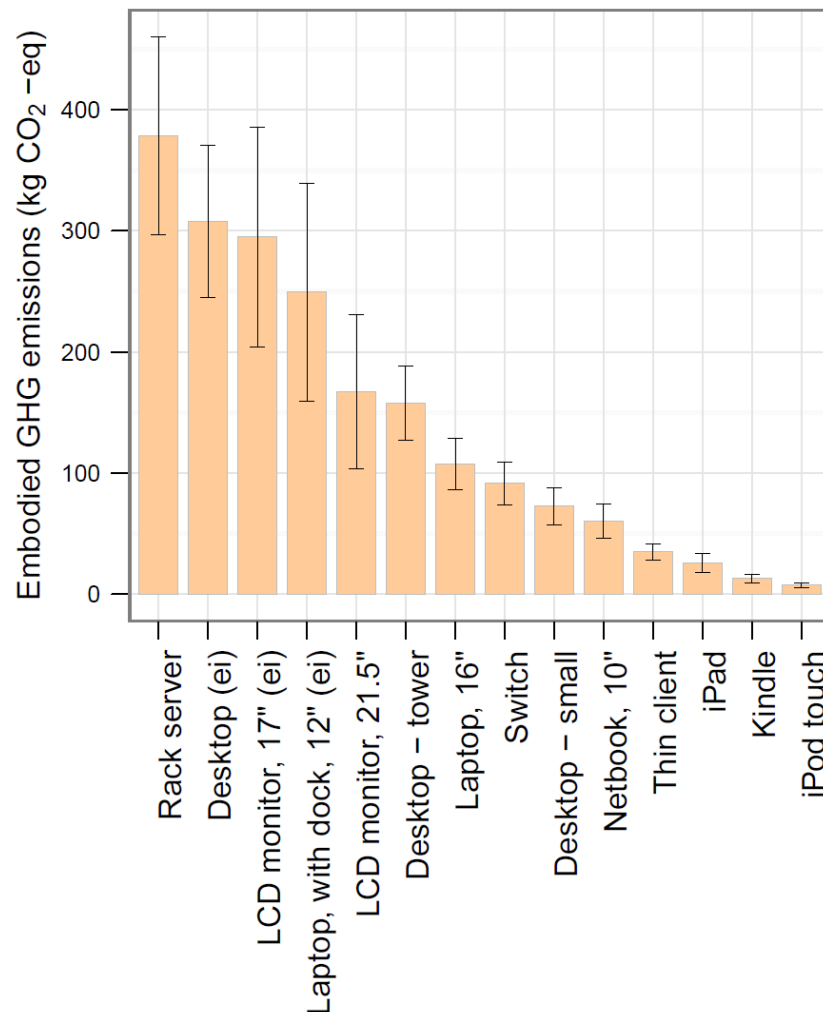
Baugruppe	Masse [g]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -Äquivalente]
Power supply	2 911	89,3
Casing	8 767	18,5
Circuit boards	2 199	128,8
ICs (packages)	88	50,8
ICs (die)	3 043	72,4
Other	1 506	18,2
Transport	-	3,9
Assembly	-	1,2
Total	15 471	383,1

e

werden in der Herstellung des Dell PowerEdge rack server, model EMU 3710P71 383,1 kg CO₂-Äquivalente freigesetzt, wovon über 60 % der Treibhausgasemissionen auf die Circuit Boards und ICs entfallen. Im Vergleich zu einem Desktop-PC liegen die Treibhausgasemissionen eines solchen Servers etwas höher wie folgendes Bild 4-12 zeigt.

Bild 4-12:

Mittelwerte Treibhausgasemissionen der ICT-Geräteproduktion, Unsicherheitsbalken geben Standardabweichung an; Quelle: [Teehan, Kandlikar – 2013a]



Weitere Daten liegen derzeit nicht vor. Aufgrund der schwierigen Datengrundlage werden daher die neueren Daten des Dell PowerEdge R710 2U rack servers als Approximation verwendet. Das Dell-Gerät war ab 2009 erhältlich und ist bereits durch seinen Nachfolger abgelöst worden. Der Server enthält in der Ausführung 12 GB RAM, was einer minimalen Ausstattung entspricht. Daher werden zusätzlich 6 Arbeitsspeicherriegel mit jeweils 16 GB bilanziert, was einem gesamten Arbeitsspeicher von 108 GB entspricht. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** fasst die Treibhausgasemissionen zusammen, die aus der Produktion eines Arbeitsspeicherriegels resultieren. Pro Ar-

beitsspeicherriegel werden ca. 2,4 kg CO₂-Äquivalente emittiert. Dies entspricht für sechs Arbeitsspeicherriegel zusätzlichen Treibhausgasemissionen von 14,51 kg CO₂-Äquivalenten.

Tabelle 4-5: Sachbilanz eines RAM-Bausteins [Teehan, Kandlikar – 2013b]

Baugruppe	Hintergrunddaten ecoinvent	Masse [g]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -Äquivalente]
RAM IC's: 60-pin 8x12mm 18X @ 0.16g each	GLO: Integrated circuit, IC, memory type, at plant	2,9	0,0029 kg*506 kg CO ₂ e = 1,47
RAM: Other IC's	GLO: Integrated circuit, IC, memory type, at plant	0,4	0,0004 kg*506 kg CO ₂ e = 0,2
RAM 2 PCB: 6 layer, 3 x 13cm	GaBi-Datensatz »GLO: Printed Wiring Board 4-layer rigid FR4 with HASL finish (Subtractive method)« ²	13	0,0039 m ² *192 kg CO ₂ e= 0,7488
Total		16,3	2,4188

Insgesamt werden somit für die Produktion des Servers 471 + 14,51 = 485,51 kg CO₂-Äquivalente veranschlagt.

4.3 Distribution

Die Aufwendungen der Distribution sind stark abhängig von den lokalen Verhältnissen. Wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, wurden für das Notebook ein LKW Transport in China, ein Lufttransport von China nach Polen sowie ein weitere Landtransporte per LKW von Polen bis zu den Endkunden in Deutschland berücksichtigt. Für die Neugeräte werden folgende Annahmen getroffen.

Tabelle 4-6: Annahmen zur Distribution von Neugeräten

Input	Datensätze	Strecke	kg CO ₂ e *t-1*km ⁻¹	THG-Emissionen pro kg	Quelle
Transport von Produktionsstandorten zum Flughafen	Transport, LKW 16–32 t, EURO3	500	0,185	0,0925	ecoinvent 2.2
Flugverkehr (von Shanghai nach Warschau)	Transport, Luftfracht, Interkontinental	8 000	1,07	8,56	ecoinvent 2.2
Feinverteilung (vom Flughafen zu den Ver-	Transport, LKW 7.5-16t, EURO3	1 000	0,238	0,238	ecoinvent 2.2

² Datensatzdokumentation online verfügbar unter: <http://gabi-documentation-2014.gabi-software.com/xml-data/processes/8fe17ed4-0fee-4350-a707-2d539a5bfd6f.xml>

kaufsläden)

Für die Altgeräte wird angenommen, dass diese entweder in der Firma weiter benutzt werden können und somit keine Distribution notwendig ist, oder dass diese innerhalb von Deutschland 300 km transportiert werden. Es wird ein Anteil von 1:1 angenommen. Die Annahmen zu den Treibhausgasemissionen für Altgeräte sind in Tabelle 4-7 dokumentiert.

Tabelle 4-7: Annahmen zur Distribution von Altgeräten

Input	Datensätze	Strecke	kg CO ₂ e*t ⁻¹ *km ⁻¹	THG-Emissionen pro kg	Quelle
Feinverteilung (vom Flughafen zu den Verkaufsläden)	Transport, LKW 7.5-16t, EURO3	300	0,238	0,0714	ecoinvent 2.2

Auf Basis der Zahlen aus Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7 ergeben sich die Treibhausgasemissionen, die bei der Distribution entstehen. Diese sind in Tabelle 4-8 zusammengefasst.

Tabelle 4-8: Annahmen zur Distribution von Altgeräten

ICT-Gerät	Gewicht	kg CO ₂ e*kg ⁻¹ *km ⁻¹	Anteil	CO ₂ e/Gerät	CO ₂ e/funktionelle Einheit
Desktop-PC	9,47	8,89	1,00	84,19	50,52
Notebook	2,2	8,89	1,00	19,56	11,74
Alter Desktop-PC	12,8	0,0714	0,50	0,46	0,016
Altes Notebook	3,7	0,0714	0,50	0,13	0,005

Für die Berechnung des Carbon Footprints in Kapitel 5 werden die Zahlen aus Tabelle 4-8 verwendet. In Kapitel 5.3 findet sich eine Sensitivitätsanalyse (Ersatz des Flugtransportes durch Containerschifffahrt).

4.4 Nutzungsphase

Um aussagekräftige Durchschnittswerte der Leistungsaufnahme in der Betriebsphase zu erhalten, wurden exemplarisch die zu unterscheidenden Anwendungsfälle im produktiven Betrieb gemessen, während typische Anwender ihre Arbeit an den Geräten verrichteten. Die Leistungsaufnahme wurde pro Anwendungsfall für den Zeitraum einer Woche erfasst und es wurden daraufhin Mittelwerte für die Zustände Betrieb und Standby berechnet. Aus diesen wurde dann der in der Ökobilanzierung verwendete Jahresbedarf an Energie bestimmt.

Für alle Anwendungsfälle gilt zur Abgrenzung, dass Bildschirm, Peripherie wie Tastatur und Maus sowie auch sämtliche Komponenten der Infrastruktur (zentraler Storage, Router, Switches, Firewalls, E-Mail-, Druck- und Datenbankserver)

nicht berücksichtigt wurden, da diese für alle Anwendungsfälle gleichermaßen benötigt werden und sich damit »wegkürzen«.

Weiterhin gilt für die Anwendungsfälle der Notebooks, dass diese mit Dockingstation und externem Monitor betrieben wurden. Der interne Monitor der Notebooks war jeweils außer Betrieb.

4.4.1 PC mit Thin-Client-Software

Für den Betrieb mit der Thin-Client-Software IGEL UDC2 wurde ein ca. drei Jahre alter PC mit den folgenden technischen Daten ausgewählt.

- Prozessor: Intel Core i3-2100 CPU (3,10 GHz)
- Hauptspeicher: 4 GB
- Festplatte: 300 GB (herkömmliche Festplatte)
- Optisches Laufwerk: 1x DVD-RW
- Netzteil: 250 W (intern)
- Gewicht: 9,90 kg

Es handelte sich bei diesem Gerät bereits bei seiner Markteinführung um ein sehr umweltfreundliches Modell mit niedrigem Energieverbrauch, das im **Standby** eine Leistungsaufnahme von **0 W** aufweist. Zwar waren im Betrieb vereinzelte Lastspitzen zu beobachten, während ein Endanwender typische Bürotätigkeiten an dem Gerät verrichtete. Über den Beobachtungszeitraum von einer Woche war der Mittelwert der Leistungsaufnahme im **Betrieb** dennoch relativ konstant und lag bei **19,15 W**.

Zur Bestimmung der Leistungsaufnahme pro Jahr wird für den Betrieb als Thin-Client angenommen, dass das Gerät an 220 Arbeitstagen im Jahr jeweils neun Stunden betrieben wird. Für diese Zeit wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme im Betrieb verwendet. Für die übrige Zeit wird grundsätzlich die Standby-Leistungsaufnahme zum Ansatz gebracht. Dies liegt darin begründet, dass sich für die Anwender keine funktionellen Einschränkungen aus dem Abschalten der Clients ergeben, da Sitzungen auch im getrennten Zustand auf den Servern weiterbestehen und kein Schließen von Anwendungen oder Abmelden erforderlich ist. Der Zugriff auf die Terminal Server, beispielsweise von extern bzw. am Wochenende, ist auch ohne laufenden Client im Büro immer möglich.

Es ergibt sich für den als logischer Thin-Client betriebenen PC der folgende Energiebedarf pro Jahr:

$$\begin{aligned} \text{PC (»Thin-Client«)} & 220 \text{ Tage} \times (9 \text{ h} \times 19,15 \text{ W} + 15 \text{ h} \times 0 \text{ W}) \\ & + 145 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times 0 \text{ W} = \mathbf{37,92 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

4.4.2 PC mit Windows 7

Für den Anwendungsfall eines neu gekauften PCs wurde ein aktuelles Modell mit den folgenden technischen Daten ausgewählt.

- Prozessor: Intel Core i5-4570 CPU (3,20 GHz)
- Hauptspeicher: 8 GB
- Festplatte: 250 GB (SSD)
- Optisches Laufwerk: 1x DVD-RW
- Netzteil: 250 W (intern)
- Gewicht: 8,99 kg

Dieser PC verwendet mit der sog. Haswell-Architektur einen aktuellen Intel-Prozessor, der wie auch das gesamte System auf niedrigen Energiebedarf hin optimiert ist und im **Standby** eine Leistungsaufnahme von **0 W** aufweist. Statt einer herkömmlichen Festplatte kommt in diesem Fall eine Solid State Disk (SSD) ohne bewegliche Teile zum Einsatz. Über den Beobachtungszeitraum von einer Woche wurde für dieses System im **Betrieb** eine Leistungsaufnahme von **15,79 W** gemessen.

Bei der Bestimmung der Leistungsaufnahme pro Jahr wurde, wie in früheren Betrachtungen [Fraunhofer UMSICHT – 2011] auch, »(...) angenommen, dass ein PC an 220 Arbeitstagen im Jahr jeweils neun Stunden betrieben wird. Für diese Zeit wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme im Betrieb gemessen. Viele Benutzer fahren ihr System außerhalb dieser Arbeitszeit herunter. In diesem Fall wird die Standby-Leistungsaufnahme zum Ansatz gebracht.

Es wird allerdings kalkuliert, dass nur 2/3 der Desktop-PC außerhalb der Kernarbeitszeit abgeschaltet werden. Dies hat sowohl technische als auch organisatorische Gründe. So ist es, wie oben erläutert, Teil der IT-Strategie von Fraunhofer UMSICHT, sämtliche Daten in einem Storage Area Network (SAN) zu speichern. Zudem nutzen viele Anwender nicht nur lokale Applikationen sondern auch Client-/Server-Anwendungen, die mit Datenbanken und anderen Infrastrukturdiensten interagieren. Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, Richtlinien zu etablieren, um laufende Rechner zeitgesteuert in den Ruhezustand zu versetzen. Dies würde offene Netzwerkverbindungen stören und könnte zu Datenverlust führen. Weiterhin greifen insbesondere Power User auch außerhalb der Kernarbeitszeiten von extern über das Remote Desktop Protokoll auf ihre Desktops zu.

Im Rahmen des Berechnungsmodells wird entsprechend angenommen, dass aktuell ein Drittel der PC kontinuierlich betrieben wird. Dieser Ansatz ist im Vergleich zu anderen Erhebungen eher konservativ gewählt. So geht die britische Umweltorganisation Global Action Plan ebenso davon aus (vgl. [GAP – 2007], S. 6), dass ca. 30 % der Büro-PC in Großbritannien kontinuierlich nicht

abgeschaltet werden – ein Wert, der in anderen Industrienationen ähnlich hoch sein dürfte. Für die USA hat die Umweltbehörde EPA ermittelt, dass dort sogar annähernd 60 % der Desktops auch nachts nicht ausgeschaltet werden [Lüke – 2007] (...)« (vgl. [Fraunhofer UMSICHT – 2011], S. 28). Im Rahmen der fortschreitenden Diskussion von Green-IT Konzepten findet hier erst langsam ein Umdenken statt. Es zeigt sich jedoch auch in den Erfahrungen der Autoren aus ihrem alltäglichen IT-Betrieb, dass Anwender dazu tendieren, ihren PC laufen zu lassen, je mehr Anwendungen sie im Multitasking-Betrieb parallel nutzen.

Für einen PC, der regelmäßig abgeschaltet wird, ergibt sich der folgende Jahresbedarf:

$$\begin{aligned} \text{PC (»Standby«)} & 220 \text{ Tage} \times (9 \text{ h} \times 15,79 \text{ W} + 15 \text{ h} \times 0 \text{ W}) \\ & + 145 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times 0 \text{ W} = \mathbf{31,26 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Für einen PC, der nicht abgeschaltet wird, sondern außerhalb der Arbeitszeit im Leerlauf (»Idle«) weiterläuft, folgt der Jahresbedarf entsprechend:

$$\text{PC (»Idle«)} \quad 365 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times 15,79 \text{ W} = \mathbf{138,32 \text{ kWh}}$$

Dieser Fall wird im Folgenden mit einem Anteil von 1/3 berücksichtigt, so dass sich der folgende **Durchschnittswert** ergibt:

$$\begin{aligned} \text{PC } \varnothing & \quad 1/3 \times 138,32 \text{ kWh} \\ & + 2/3 \times 31,26 \text{ kWh} = \mathbf{66,95 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (Kapitel 5.4.1) wird untersucht, wie sich der Einsatz weniger energieeffizienter PCs auf das Modell auswirkt.

4.4.3 Notebook mit Thin-Client-Software

Für den Betrieb mit der Thin-Client-Software IGEL UDC2 wurde ein ebenfalls ca. drei Jahre altes Notebook mit den folgenden technischen Daten ausgewählt.

- Prozessor: Intel Core i5-2410M CPU (2,30 GHz)
- Hauptspeicher: 2 GB
- Festplatte: 160 GB (herkömmliche Festplatte)
- Optisches Laufwerk: 1x DVD-RW
- Netzteil: 80 W (extern)
- Gewicht (inkl. Dockingstation und Netzteil): 3,37 kg

Für diesen Anwendungsfall wurde im **Standby** eine Leistungsaufnahme von **0,62 W** gemessen. Während ein Endanwender an dem Gerät in einer Terminal Server-Sitzung arbeitete, wurde über den Beobachtungszeitraum von einer Woche im **Betrieb** ein Mittelwert von **13,42 W** erfasst.

Auch hier wird zur Bestimmung der Leistungsaufnahme pro Jahr für den Betrieb als Thin-Client angenommen, dass das Gerät an 220 Arbeitstagen im Jahr jeweils neun Stunden betrieben wird. Für diese Zeit wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme im Betrieb verwendet. Für die übrige Zeit wird grundsätzlich die Standby-Leistungsaufnahme zum Ansatz gebracht. Der Anwendungsfall ist damit nicht vollständig nutzenäquivalent zum Betrieb als Fat-Client, denn als logischer Thin-Client ist das Notebook funktional abhängig von den Terminal Servern oder virtuellen Desktops im Rechenzentrum. Grundsätzlich unterstützt auch ein Software-Thin-Client mittels WLAN- und VPN-Unterstützung die mobile Nutzung. Wenngleich der Zugriff auf die zentralen Dienste damit auch unterwegs möglich ist, bleibt dieser Fall in der Betrachtung unberücksichtigt, da keine belastbare Datenbasis zur Auswirkung von Lade- und Entladezyklen des Akkus vorliegen. Grundsätzlich ist in diesem Fall jedoch von einem höheren Energiebedarf auszugehen, der sich u. a. auch darin begründet, dass das Notebook unterwegs in der Regel mit seinem integrierten Bildschirm betrieben wird.

Es ergibt sich für das als logischer Thin-Client betriebene Notebook der folgende Energiebedarf pro Jahr:

Notebook (»Thin-Client«) 220 Tage x (9 h x 13,42 W + 15 h x 0,62 W)
+ 145 Tage x 24 h x 0,62 W = **30,78 kWh**

4.4.4 Notebook mit Windows 7

Für den Anwendungsfall eines neu gekauften Notebooks wurde ein aktuelles Modell mit den folgenden technischen Daten ausgewählt.

- Prozessor: Intel Core i5-4300U CPU (1,90 GHz)
- Hauptspeicher: 8 GB
- Festplatte: 250 GB (SSD)
- Optisches Laufwerk: –
- Netzteil: 90 W (extern)
- Gewicht (inkl. Dockingstation und Netzteil): 2,77 kg

Für diesen Anwendungsfall wurde im Standby eine Leistungsaufnahme von **0,45 W** gemessen. Während ein Endanwender an dem Gerät in einer Terminal Server-Sitzung arbeitete, wurde über den Beobachtungszeitraum von einer Woche im Betrieb ein Mittelwert von **9,42 W** erfasst.

Bei der Bestimmung der Leistungsaufnahme pro Jahr wurde, wie im Fall des PCs auch, angenommen, dass das Gerät an 220 Arbeitstagen im Jahr jeweils neun Stunden betrieben wird. Für diese Zeit wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme im Betrieb zugrunde gelegt. Für die übrige Zeit wird die Standby-Leistungsaufnahme zum Ansatz gebracht.

Es ergibt sich für das Notebook der folgende Energiebedarf pro Jahr:

$$\begin{aligned} \text{Notebook (»Standby«)} & 220 \text{ Tage} \times (9 \text{ h} \times 9,42 \text{ W} + 15 \text{ h} \times 0,45 \text{ W}) \\ & + 145 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times 0,45 \text{ W} = \mathbf{21,70 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

In der Natur des Notebooks liegt es, dass damit grundsätzlich auch die mobile Nutzung möglich ist. Da keine belastbare Datenbasis zur Auswirkung von Lade- und Entladezyklen des Akkus vorliegen, bleibt dieser Fall unberücksichtigt. Grundsätzlich ist in diesem Fall jedoch von einem höheren Energiebedarf auszugehen, der sich u. a. auch darin begründet, dass das Notebook unterwegs in der Regel mit seinem integrierten Bildschirm betrieben wird.

4.4.5 Server-Anteil

Ergebnisse aus früheren Erhebungen zeigen, dass zum in Kapitel 4.2.3 ausgewählten Serversystem mit zwei Höheneinheiten (2U) vergleichbare Systeme beim Betrieb virtueller Terminal Server oder Desktops im Tagesverlauf in der Spitze bis zu 284 W an Energie aufnehmen. Über den Tagesverlauf von 24 Stunden ergibt sich ein **Durchschnittsverbrauch von 226 W** an Arbeitstagen. An freien Tagen (Wochenende, Feiertage) läuft der Server permanent »Idle«. In diesem Fall liegt der Durchschnittsverbrauch bei **212 W**.

Diese Werte werden mit einem Faktor von 1,7 beaufschlagt, um Klimatisierung und USV im Rechenzentrum zu berücksichtigen. Bei 220 Arbeitstagen folgt daraus der nachstehende **Jahresbedarf**:

$$\begin{aligned} \text{Server} & 220 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times (226 \times 1,7) \text{ W} \\ & + 145 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times (212 \times 1,7) \text{ W} = 3\,282,77 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dieser Wert ist anteilig auf die Clients zu verrechnen. Für den Betrieb von Terminal Servern wird angenommen, dass die Hardware bis zu 100 Clients bedienen kann, wenn sie als Virtualisierungsplattform für mehrere virtuelle Terminal Server VMs dient.

Für den als logischer Thin-Clients betriebenen PC ergibt sich damit der folgende Gesamtbedarf an Energie pro Jahr:

$$\begin{aligned} \text{PC (»Thin-Client«)} & 37,92 \text{ kWh} \\ + \text{ Server-Anteil} & 3.282,77 \text{ kWh} / 100 = \mathbf{70,75 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Für das als logischer Thin-Clients betriebene Notebook folgt entsprechend:

$$\begin{aligned} \text{Notebook (»Thin-Client«)} & 30,78 \text{ kWh} \\ + \text{ Server-Anteil} & 3.282,77 \text{ kWh} / 100 = \mathbf{63,61 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

4.5 End-of-Life

Die Emissionen durch die Entsorgung bzw. Verwertung sind stark abhängig vom Entsorgungs- bzw. Verwertungspfad, den lokalen Randbedingungen und den getroffenen Annahmen z. B. im Hinblick auf den Umgang mit Gutschriften

für recyceltes Material. Viele Ökobilanzstudien betrachten zudem die End-of-Life-Phase nicht.

Die berichteten Treibhausgasemissionen reichen von -1 kg CO₂-Äquivalenten pro Desktop-PC [IVF – 2007] bis 28,8 kg CO₂-Äquivalenten [Apple Inc – 2014f]. Negative Werte ergeben sich dann, wenn die Aufwendungen der Entsorgung geringer ausfallen als die Emissionen, die durch die Gewinnung von Sekundärrohstoffen eingespart werden können. Für den ausgewählten Desktop-PC wurden Treibhausgasemissionen in Höhe von 3,28 kg CO₂-Äquivalenten berechnet [Song – 2013]. Diese werden im Rahmen dieser Studie sowohl für den neuen als auch den alten Desktop-PC verwendet.

Tabelle 4-9: Annahmen zur End-of-Life Phase von ICT-Geräten

ICT-Gerät	CO ₂ e/Gerät	CO ₂ e/funktionelle Einheit	Quelle
Desktop-PC	3,28	1,97	[Song – 2013]
Notebook	-1,00	-0,60	[Prakash – 2012]
Alter Desktop-PC	3,28	3,28	[Song – 2013]
Altes Notebook	-1,00	-1,00	[Prakash – 2012]

Die in der Literatur berichteten Treibhausgasemissionen der End-of-Life Phase liegen zwischen -20,5 kg CO₂-Äquivalenten [Herrmann – 2008] und 8,8 kg CO₂-Äquivalenten [Apple Inc – 2014d]. Für das untersuchte Notebook »HP Omnibook 500 12,1«, ecoinvent 2.2, 2010« [Prakash – 2012] wurden -1 kg CO₂-Äquivalente berichtet. Dieser Wert wird für die Bilanzierung des neuen als auch des alten Notebooks herangezogen.

5 Berechnung Carbon Footprint

5.1 Ergebnisse Szenarien eins bis vier

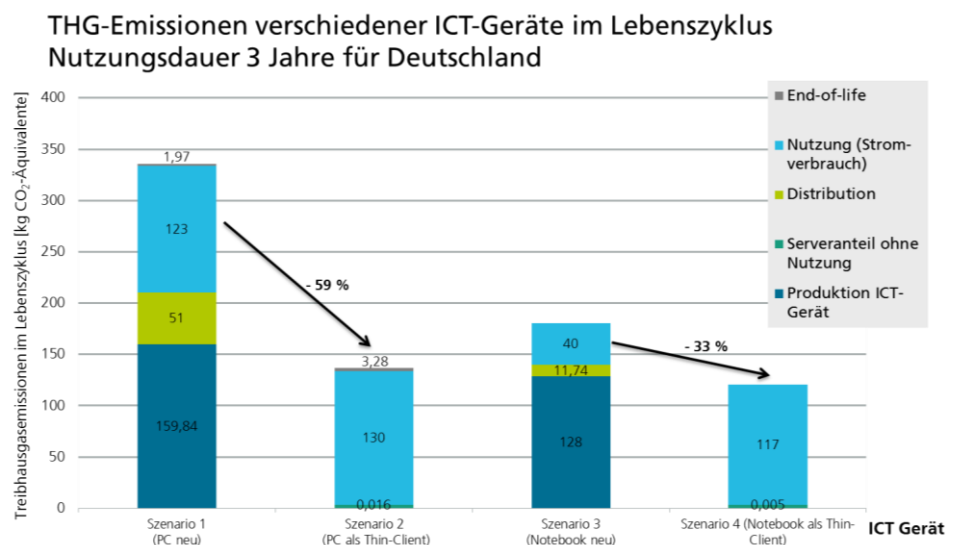
Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der vorab beschriebenen Szenarien im deutschen Strommix. Die höchsten Treibhausgasemissionen verursachen die Szenarien 1 und 3 mit den Neuanschaffungen mit ca. 336 kg bzw. 180 kg CO₂-Äquivalenten. Danach folgen die Thin-Client-Lösungen (Szenario 2 und 4). Der Abstand zwischen Szenario 1 und 2 entspricht ungefähr einer Einsparung von **59 %**; der Abstand zwischen den Szenarien 3 und 4 entspricht ungefähr einer Einsparung von **33 %**.

Tabelle 5-1: Ergebnisse Treibhausgasemissionen aller Szenarien (deutscher Strommix)

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Strom- verbrauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ - Äquiv.]		[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop- PC & Windows	159,84		51	123	1,97	335,7	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC als Thin- Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	130	3,28	136,9	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 3 (Notebook neu)	Neues Notebook & Windows 7	128		11,74	40	-0,6	179,5	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]
Szenario 4 (Notebook als Thin-Client)	Notebook als Thin-Client		3,26	0,005	117	-1	119,5	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]

Die folgende Grafik visualisiert die Ergebnisse, wobei die End-of-Life-Phase bei den Notebooks so klein ist, dass sie grafisch nur in den Szenarien 1 und 2 erkennbar ist.

Bild 5-1: Treibhausgas (THG)-Emissionen der Szenarien mit deutschem Strommix



5.2 Sensitivitätsanalysen der Produktionsphase

5.2.1 Sensitivitätsanalyse: geringe Emissionen

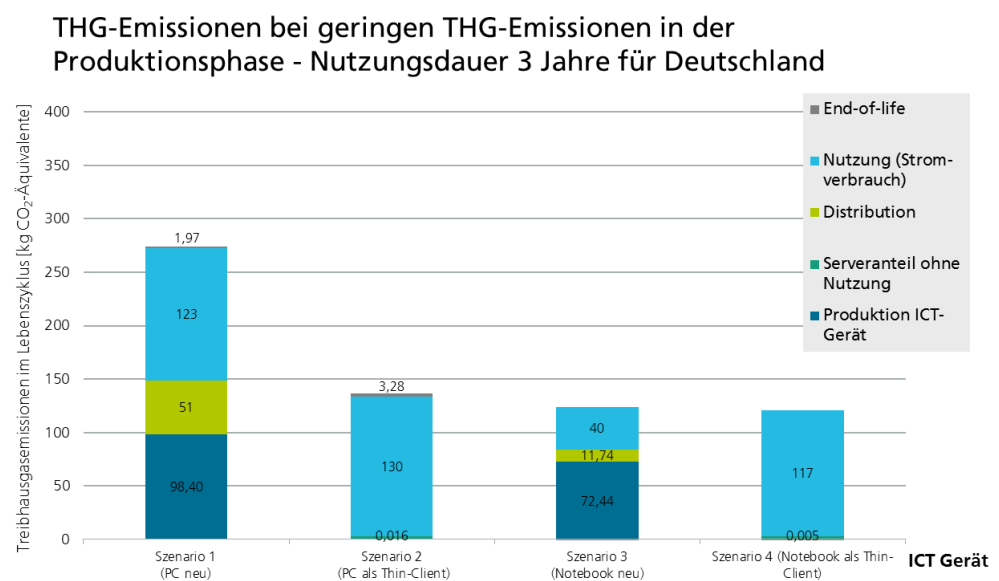
Die Treibhausgasemissionen der Produktion der Desktop-PCs und der Notebooks unterscheiden sich, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, deutlich. In diesem Kapitel wurden Geräte angenommen, deren Produktion mit geringen Treibhausgasemissionen verbunden ist. Dazu wurde der Wert des 1. Quartils für die Produktion (siehe Kapitel 4.2.1 und 4.2.2) gewählt.

Tabelle 5-2: Ergebnisse bei Annahme geringer Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Strom- verbrauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ - Äquiv.]		[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop- PC & Windows	98,40		51	123	1,97	274,2	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC als Thin- Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	130	3,28	136,9	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 3 (Notebook neu)	Neues Notebook & Windows 7	72,44		11,74	40	-0,6	123,6	HP Omnibook 500 12,1* [Prakash-2013]
Szenario 4 (Notebook als Thin-Client)	Notebook als Thin-Client		3,26	0,005	117	-1	119,5	HP Omnibook 500 12,1* [Prakash-2013]

Auch in dieser Sensitivitätsbetrachtung zeigt sich beim Desktop-PC aus Treibhausgassicht weiterhin die Vorteilhaftigkeit des Betriebs als Thin-Client, während bei der Notebookvariante (aufgrund des geringeren Einflusses der Produktionsphase) beide Szenarien fast gleichauf liegen (124 zu 120 kg CO₂-Äquivalente).

Bild 5-2: Geringe Treibhausgas (THG)-Emissionen in der Produktionsphase



5.2.2 Sensitivitätsanalyse: hohe Emissionen

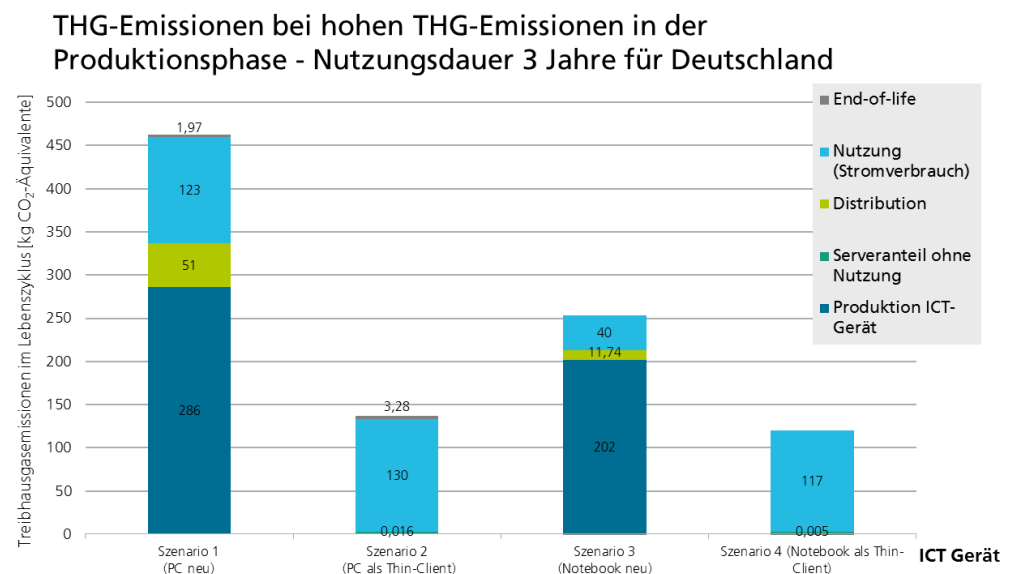
In diesem Kapitel wurden Geräte angenommen, deren Produktion mit hohen Treibhausgasemissionen verbunden sind. Dazu wurde das 3. Quartil für die Produktionsphase (siehe Kapitel 4.2.1 und 4.2.2) gewählt.

Tabelle 5-3: Ergebnisse bei Annahme hoher Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Stromverbrauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ -Äquiv.]		[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop-PC & Windows	286		51	123	1,97	462,0	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC als Thin-Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	130	3,28	136,9	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 3 (Notebook neu)	Neues Notebook & Windows 7	202		11,74	40	-0,6	252,7	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]
Szenario 4 (Notebook als Thin-Client)	Notebook als Thin-Client		3,26	0,005	117	-1	119,5	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]

In dieser Sensitivität zeigen sich in allen Varianten durch den höheren Einfluss der Produktionsphase deutliche Vorteile der Thin-Client-Varianten mit 137 zu 462 kg CO₂-Äquivalenten) bei den Szenarien 2 und 1 und mit 120 kg zu 253 kg CO₂-Äquivalenten in den Szenarien 4 und 3.

Bild 5-3: Hohe Treibhausgas (THG)-Emissionen in der Produktionsphase



5.3 Sensitivitätsanalyse der Distributionsphase

In allen Rechnungen wurde, analog zu den meisten Vergleichsstudien aus der Literatur, angenommen, dass der Transport der ICT-Geräte per Flugzeug von Shanghai nach Warschau erfolgt (siehe Kapitel 4.3). Vielfach werden diese Transporte aber, gerade wenn sie nicht zeitkritisch sind, energieeffizient per

Hochseeschiff in Containern durchgeführt. Daher wurde in dieser Sensitivitätsrechnung der Lufttransport durch einen Seetransport ersetzt (Container-Hochseeschiff von Shanghai nach Rotterdam mit ca. 20 000 Kilometern). Die anderen Parameter »Transport zum Flughafen in China« und »Feinverteilung vom Flughafen zum Verkaufsladen« bleiben unverändert. Bei der Annahme von sehr hohen Treibhausgasemissionen von 0,038 kg CO₂e/t*km beim Hochseeschiff sinken die Emissionen der Distributionsphase für den Desktop-PC (Szenario 1) und das Notebook (Szenario 3) auf 10,8 kg CO₂e für den Desktop-PC und auf 2,6 kg CO₂e für das Notebook. Dieser Transportvariante ist daher aus Treibhausgassicht der Vorzug zu geben. Sie bildet vermutlich auch den realistischen Transportweg besser ab.

Die IGEL Technology GmbH hat an Versuchen teilgenommen, die Geräte per Bahn über China und Russland nach Europa zu transportieren. Logistisch ist das eine Herausforderung, da sich die Spurweiten der Gleise ändern. Ökologisch zeigt sich im Vergleich zum Flugtransport eine deutliche Einsparung an Treibhausgasen.

Die Emissionen der Distribution in den Szenarien des Weiterbetriebs als Thin-Client (Szenarien 2 und 4) beziehen sich nur auf den Serveranteil und sind nachrangig.

5.4 Sensitivitätsanalysen der Betriebsphase

5.4.1 Älterer PC mit hoher Leistungsaufnahme

Der drei Jahre alte PC, welcher in Kapitel 4.4.1 exemplarisch für die Energiemessungen genutzt wurde, war bei seiner Markteinführung bereits ein besonders umweltfreundliches Modell mit niedrigem Energieverbrauch. Ältere Desktop-PCs nehmen teils deutlich mehr Leistung auf als dieses System oder neuere Modelle. So basierten die Berechnungsmodelle einer früheren Studie zum Einsatz von Thin-Clients [Fraunhofer UMSICHT – 2008] sowie des EuP-Reports auf Durchschnittswerten von **78,2 W im »Idle«-Zustand** bzw. **2,7 W im Standby** (vgl. [IVF – 2007] S.140ff). Diese Werte beziehen sich auf das Basis-Jahr 2005. Da beim Betrieb als logischer Thin-Client die Leistungsanforderungen auf Client-Seite allerdings eher gering sind, könnte grundsätzlich auch solch ein altes System noch als Thin-Client Verwendung finden.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird daher untersucht, wie sich eine deutlich höhere Leistungsaufnahme des Clients auf die Ökobilanz auswirkt. Es ergibt sich für den als logischer Thin-Client betriebenen älteren PC der folgende Energiebedarf pro Jahr:

$$\begin{aligned} \text{PC (»Thin-Client«)} & 220 \text{ Tage} \times (9 \text{ h} \times 78,2 \text{ W} + 15 \text{ h} \times 2,7 \text{ W}) \\ & + 145 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} \times 2,7 \text{ W} = \mathbf{173,14 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Wird zusätzlich auch der für den Betrieb des Clients notwendige Terminal Server berücksichtigt, ergibt sich der folgende Gesamtbedarf an Energie pro Jahr:

PC (»Thin-Client«)	173,14 kWh
+ Server-Anteil	3.282,77 kWh / 100 = 205,97 kWh

Unter Berücksichtigung dieses Verbrauchs von 206 kWh zeigt sich, dass es aus Treibhausgassicht günstiger wäre, einen neuen Desktop-PC anzuschaffen, da die hohen Emissionen der Nutzungsphase die Einsparung durch den vermiedenen PC-Kauf übersteigen. Die Differenz liegt bei ca. 50 kg CO₂-Äquivalenten und ist damit deutlich erkennbar.

Tabelle 5-4: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für Desktop-Rechner mit hohem Stromverbrauch

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Stromver- brauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ - Äquiv.]		[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop- PC & Windows	159,84		51	123	1,97	335,7	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC alt als Thin- Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	380	3,28	386,1	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]

Es zeigt sich, dass der Betrieb eines alten Desktop-PCs als Software-Thin-Client aus Treibhausgassicht nur sinnvoll ist, solange das Gerät unter **178 kWh** Gesamtbedarf an Energie **pro Jahr** hat. Dieses Kriterium würde ein PC erfüllen, der etwa im **Leerlauf 66 W** oder weniger und im **Standby 2 W** oder weniger verbraucht, was für die meisten ca. drei bis fünf Jahre alten Desktop-PCs für den üblichen Bürobedarf zutreffen dürfte. Nur für sehr alte Geräte empfiehlt sich der Weiterbetrieb als Software-Thin-Client nicht.

5.4.2 Ländervergleiche USA und UK

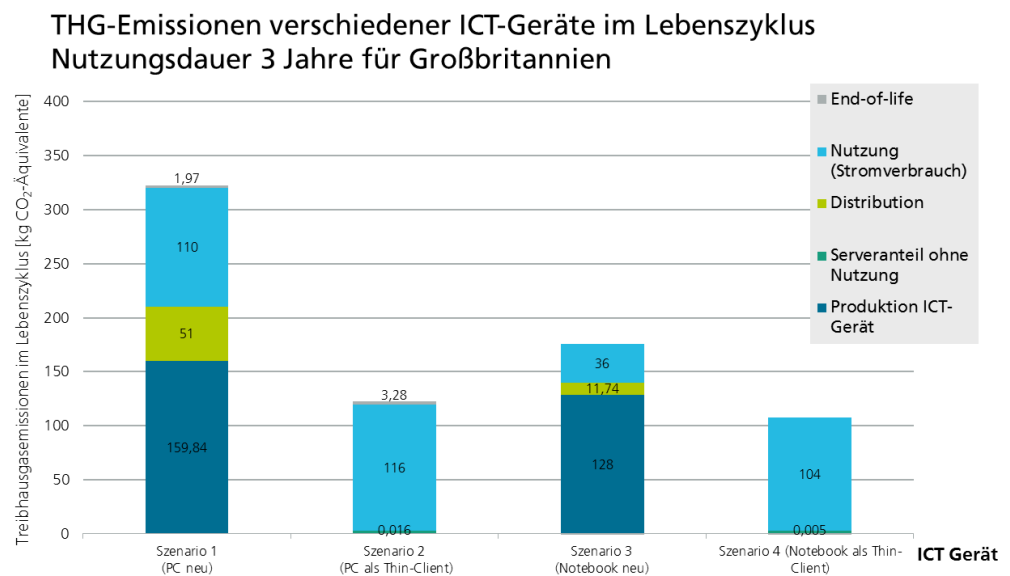
Die Treibhausgasemissionen bei Betrieb der ICT-Geräte in Großbritannien liegen aufgrund leicht geringerer Emissionen im dortigen Strommix etwas niedriger als in Deutschland (ca. 14 kg Differenz in den Szenarien 1 und 2 und ca. 13 kg in Szenario 4 und ca. 4 kg in Szenario 3).

Tabelle 5-5: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für englischen Strommix (Großbritannien)

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Stromver- brauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ - Äquiv.]		[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	[kg CO ₂ - Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop- PC & Windows	159,84		51	110	1,97	322,1	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC als Thin- Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	116	3,28	122,6	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 3 (Notebook neu)	Neues Notebook & Windows 7	128		11,74	36	-0,6	175,1	HP Omnibook 500 12,1" * [Prakash-2013]
Szenario 4 (Notebook als Thin-Client)	Notebook als Thin-Client		3,26	0,005	104	-1	106,6	HP Omnibook 500 12,1" * [Prakash-2013]

Die folgende Grafik visualisiert die Ergebnisse.

Bild 5-4: Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener ICT-Geräte mit englischem Strommix (Großbritannien)

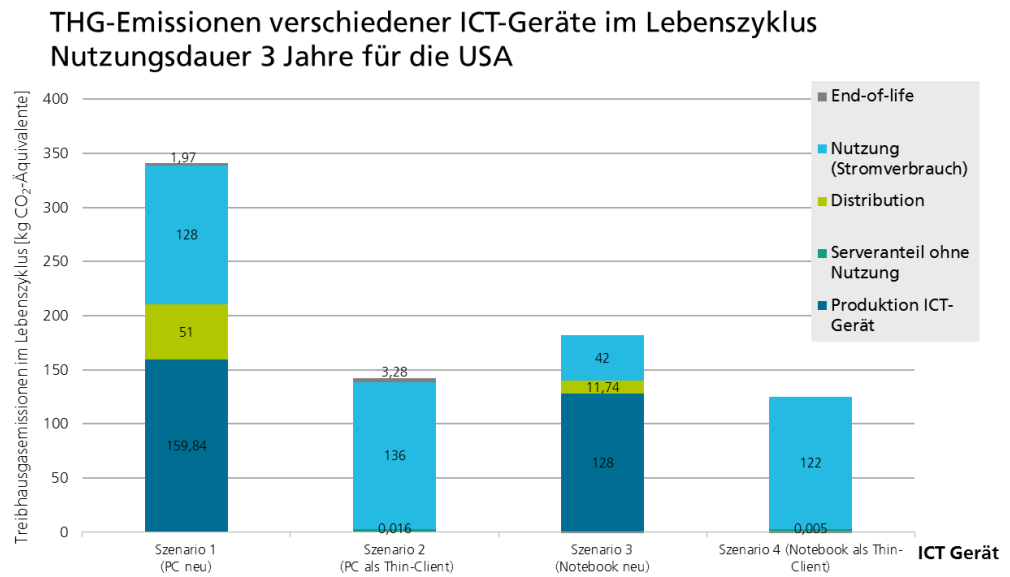


Die Treibhausgasemissionen bei Betrieb der ICT-Geräte in den USA liegen aufgrund leicht höherer Emissionen im dortigen Strommix etwas höher als in Deutschland (ca. 5 kg Differenz in den Szenarien 1 und 2 und ca. 5 kg in Szenario 4 und ca. 2 kg in Szenario 3).

Tabelle 5-6: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für US-Strommix (USA)

Szenario	ICT-Gerät	Produktion ICT-Gerät	Serveranteil ohne Nutzung	Distribution	Nutzung (Stromverbrauch)	End-of-life	Summe	Quelle
		[kg CO ₂ -Äquiv.]		[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	[kg CO ₂ -Äquiv.]	
Szenario 1 (PC neu)	Neuer Desktop-PC & Windows	159,84		51	128	1,97	340,6	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 2 (PC als Thin-Client)	Desktop-PC als Thin-Client		3,26	0,016	136	3,28	142,1	Dell aus Macau 2007-2010; [Song et al.-2013]
Szenario 3 (Notebook neu)	Neues Notebook & Windows 7	128		11,74	42	-0,6	181,1	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]
Szenario 4 (Notebook als Thin-Client)	Notebook als Thin-Client		3,26	0,005	122	-1	124,1	HP Omnibook 500 12,1" [Prakash-2013]

Bild 5-5: Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener ICT-Geräte mit US-Strommix (Vereinigte Staaten)



Der Einfluss des Stromverbrauchs ändert sich bei Nutzung der ICT-Geräte in den beiden gewählten Ländern (Vereinigten Staaten und Großbritannien) kaum, da die Treibhausgasintensität der Stromproduktion ähnlich ist. Die Auswertung zeigt leicht geringere Emissionen in Großbritannien und leicht höhere Emissionen in den USA.

6 Interpretation der Ergebnisse

6.1 Annahmen, Konsistenz und Datenqualität

Bei der Interpretation und Kommunikation der Ergebnisse muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den in der Betriebsphase gemessenen Desktop-PCs und Notebooks um einzelne konkrete Modelle handelt, die exemplarisch ausgewählt wurden, während die umfangreiche Literaturanalyse zur Produktion Durchschnittswerte über verschiedene Modelle lieferte. Für die Berechnungen zur Produktionsphase wurden entsprechend diese Durchschnittswerte genutzt und es bestehen statistische Bandbreiten, die im Kapitel 4.2.1 und 4.2.2, erläutert werden.

Das Notebook hat im Gegensatz zum Desktop-PC einen eingebauten Monitor und kann durch seinen Akku mobil eingesetzt werden. Da keine belastbare Datenbasis zur Auswirkung von Lade- und Entladezyklen des Akkus vorliegen, bleibt dieser Fall unberücksichtigt. Grundsätzlich ist in diesem Fall jedoch von einem höheren Energiebedarf auszugehen, der sich u. a. auch darin begründet, dass das Notebook unterwegs mit seinem integrierten Bildschirm betrieben wird.

Bei der Produktion des Servers wurden Annahmen getroffen, um deren Hauptspeicher zu vergrößern. Hier bestehen Unsicherheiten, die aber nicht genau beziffert werden konnten (siehe Kapitel 4.2.3).

Zur Produktionsphase wurden Sensitivitäten gerechnet mit niedrigen und hohen Treibhausgasemissionen in dieser Phase. Hier zeigt sich, dass das Notebook als logischer Thin-Client bei niedrigen Emissionen in der Produktionsphase aus Sicht der Treibhausgase nur noch geringe Vorteile aufweist (siehe Kapitel 5.2.1 und 5.2.2).

Interessant wäre es, die Thin-Clients selbst genauer zu analysieren, um Hinweise auf treibhausgasintensive Bauteile zu bekommen. Hierzu sind Informationen zu den Bauteilgruppen und deren Gewichten nötig. Die Ergebnisse könnten dann in das Produktdesign einfließen und IGEL Wettbewerbsvorteile sichern.

Für die Distributionsphase wurde eine Sensitivität mit einem Schiffs- statt eines Flugtransports berechnet (siehe Kapitel 5.3). Tendenziell erscheinen die in der Literatur verwendeten Emissionswerte für diese Phase recht hoch. Die IGEL Technology GmbH hat an Versuchen teilgenommen, die Geräte per Bahn über China und Russland nach Europa zu transportieren. Logistisch ist das eine Herausforderung, da sich die Spurweiten der Gleise ändern. Ökologisch zeigt sich im Vergleich zum Flugtransport eine deutliche Einsparung an Treibhausgasen.

Bei der Verwendung von Desktop-PCs mit hohen Energieverbräuchen kann die Neuanschaffung aus Treibhausgassicht günstiger sein als der Weiterbetrieb als

Thin-Client. Dazu muss der alte Desktop-PC, der in einen logischen Thin-Client konvertiert wird, weniger als 178 kWh Strom pro Jahr verbrauchen (siehe Kapitel 5.4.1).

Die Entsorgungsphase ist nur sehr schwierig zu bewerten. Hier bestehen hohe Unsicherheiten und die Gutschriften sind sehr klein.

Die Datenqualität der eigenen Messungen an den Geräten ist als sehr hoch einzustufen.

7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Neben den Umweltauswirkungen, welche sich aus dem kompletten Lebenszyklus der Endgeräte ergeben, sind für Unternehmen, die deren Einsatz erwägen, natürlich insbesondere auch ökonomische Aspekte relevant. Eine positive Ökobilanz alleine wird vielen Entscheidern und IT-Einkäufern nicht als Kriterium ausreichen. Der Einsatz eines Software-Thin-Clients als Managed Workplace muss auch wirtschaftlich sinnvoll sein.

7.1 Lebenszyklus im Unternehmenseinsatz

Wirtschaftliche Aspekte verschiedener Betriebsmodelle und Typen von Arbeitsplatzcomputern waren bereits Gegenstand früherer Untersuchungen und werden auch im Folgenden für die zuvor beschriebenen Anwendungsfälle betrachtet. Hierbei steht der Ausschnitt aus dem Lebenszyklus der Geräte im Fokus, welcher sich auf den Einsatz der Computer in einem Unternehmen bezieht. Dieser Teil des Lebenszyklus untergliedert sich in die folgenden drei Phasen:

7.1.1 Beschaffung und Erstinstallation

Bei der Beschaffung und Inbetriebnahme eines Arbeitsplatzcomputers ist nicht nur der Einstandspreis der Hardware zu berücksichtigen. Hinzu kommen Lizenzkosten für das Betriebssystem und/oder für Zugriffslizenzen auf Server-Ressourcen. Auch Kosten für Hard- und Software auf Seiten der Server sind abhängig vom Betriebsmodell zu berücksichtigen und anteilig auf die Clients umzulegen.

Weiterhin sind sämtliche Arbeitsaufwände über alle beteiligten Mitarbeitergruppen zu berücksichtigen. Solche entstehen bereits im Vorlauf einer Beschaffung durch die Spezifikation des konkreten Bedarfs eines Endanwenders. Hier ist neben dem Anwender selbst ein Systemtechniker beteiligt, der die grundlegende Frage abklärt, ob für den Anwender ein Desktop-PC, Notebook oder Thin-Client geeignet ist, um seine Arbeitsaufgaben zu erledigen.

Dem Bedarf entsprechend sind Angebote einzuholen. Anschließend wird der Beschaffungsvorgang eingeleitet, der zunächst vom Vorgesetzten des Anwenders als verantwortlichem Entscheider zu genehmigen ist und dann von kaufmännischen Angestellten bearbeitet wird.

Die Lieferung der bestellten Komponenten wird daraufhin von Systemtechnikern angenommen, in einem System für das Assetmanagement inventarisiert, auf Funktion geprüft und installiert. Zu guter Letzt wird das Endgerät an den Benutzer ausgeliefert, wobei wiederum Aufwände für einen Systemtechniker anfallen, jedoch auch für den Endanwender selbst, da dieser durch den Tausch seines Client-Computers in seinem Arbeitsfluss unterbrochen wird. Der Anwender muss sich anschließend erst mit seinem neuen Arbeitsgerät vertraut

machen und die Arbeitsumgebung zumindest in Teilen wieder neu nach seinen individuellen Wünschen konfigurieren, was kurzfristig zu Produktivitätsverlusten führt.

7.1.2 Betrieb

Die Betriebsphase, welche im Folgenden analog zur Ökobilanzierung in den vorangegangenen Kapiteln für eine Nutzungsdauer von drei Jahren kalkuliert wird, umfasst sämtliche Aufwände, die mit der kontinuierlichen Nutzung der Arbeitsplatzcomputer verbunden sind. Dies beinhaltet kontinuierliche Arbeiten, wie die Installation von Applikations- und Sicherheitsupdates oder die Pflege von Antivirus-Definitionen.

Hinzu kommen auf expliziten Wunsch des Anwenders initiierte Vorgänge wie die Installation neuer, zusätzlicher Anwendungsprogramme. In allen Fällen entstehen Aufwände auf Seiten der Systemtechniker, die die Software paketieren, installieren, testen und anschließend den Rollout überwachen. Auch auf Seiten der Anwender sind Aufwände aufgrund von Arbeitsausfällen zu berücksichtigen, wenn etwa ein Arbeitsplatzcomputer einen Neustart anfordert, um die Installation von Anwendungen und Updates zu vervollständigen.

Weiterhin wird in der Kalkulation berücksichtigt, dass ein Anwender mit seinem Endgerät während dessen Lebensdauer mindestens einmal in ein anderes Büro, Gebäude bzw. an einen anderen Standort umzieht, wozu Unterstützung seitens der Systemtechniker notwendig ist. Die Systemtechniker helfen nicht nur je nach Bedarf bei Transport und Ab-/Aufbau des Arbeitsplatzes, sondern müssen Netzwerkports konfigurieren oder auch das Assetmanagement pflegen.

7.1.3 Deinstallation und Entsorgung

Der Unternehmenseinsatz eines Arbeitsplatzcomputers endet mit seiner Außerbetriebnahme. Das Gerät wird von Systemtechnikern beim Endanwender abgeholt und ist anschließend zu formatieren bzw. nach regionalen Vorgaben bzgl. der IT-Sicherheit zu löschen³. Im Assetmanagement sind die Einträge für die Hardware- und Software-Lizenzen zu pflegen. Abschließend wird das Gerät je nach Beschaffungsweg an den Leasinggeber zurückgegeben, einem Zweitverwerter überlassen oder aber kostenpflichtig recycelt.

7.2 Lebenszyklus je Anwendungsfall

Die zuvor erläuterten Phasen im Lebenszyklus der Client-Computer während ihres Einsatzes im Unternehmen werden im Folgenden je Anwendungsfall differenziert betrachtet und es werden die zu berücksichtigenden Aspekte beschrieben.

³ In Deutschland finden sich hierzu Empfehlungen in den IT-Grundschutz-Katalogen des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI):
https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ITGrundschutz/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/_content/baust/b01/b01015.html

7.2.1 Neuer Desktop-PC

Bei einem Desktop-PC sind neben dem Anschaffungspreis der Hardware (ca. 750,00 €⁴ für einen typischen Büro-PC eines Marken-Herstellers) mehrere Lizenzen zu berücksichtigen. Über das eigentliche Windows-Betriebssystem hinaus ist eine Zugriffslizenz auf die grundlegenden Dienste von Windows-Servern, die sog. Client Access License (CAL) erforderlich. Hinzu kommt die Lizenz für das System zur automatischen Verteilung von Betriebssystem, Applikationen und Updates. Diese Lizenzen fließen mit ca. 210,00 € in die Betrachtung ein.

Für die automatische Verteilung der Software ist weiterhin mindestens ein Serversystem mit ausreichend Festplattenplatz vorzusehen. Ein solcher Server wird im Berechnungsmodell mit ca. 3 800,00 € für die Hardware berücksichtigt. Hinzu kommt eine Lizenz für das grundlegende Windows-Server-Betriebssystem. Die Lizenz fließt mit ca. 583,00 € in die Betrachtung ein. Die Kosten für den Server, seine Inbetriebnahme und den Betrieb werden anteilig auf alle Clients umgelegt.

Im Hinblick auf die Inbetriebnahme wird angenommen, dass entsprechende Kenntnisse bzgl. der Handhabung zentraler Softwareverteilung (Installation der Server-Komponenten, Verteilung von Betriebssystemen und Treibern, Skriptierung und Paketierung von Anwendungen etc.) bereits im Unternehmen vorhanden sind und diesbezügliches Wissen nicht erst komplett neu aufgebaut werden muss.

Der Arbeitsaufwand für die Installation eines einzelnen Rechners ist somit gegenüber einer komplett manuellen Installation gering. Nichtsdestotrotz erfordert jeder PC noch manuelle Bearbeitung. Jeder Client muss ausgepackt, angeschlossen und gestartet werden. Die eigentliche Installation erfolgt anschließend zwar unbeaufsichtigt, muss jedoch manuell auf Fehler kontrolliert werden. Auch sind ggf. bei einem Modellwechsel Installationsprozesse anzupassen und neue Treiber, Systemsoftware oder Applikationen zu paketieren und zu testen, was aber wiederum zentral erfolgt und als Server-seitiger Aufwand auf die Clients umgelegt wird.

Ist die Installation abgeschlossen, wird das Gerät an den Endanwender ausgeliefert. Bei diesem Prozess entstehen Arbeitsaufwände für den bearbeitenden Systemtechniker und den Anwender. Zunächst ist ein Termin für die Lieferung zu koordinieren. Weiterhin sind Wegezeiten für den Transport zu berücksichtigen – innerhalb eines Gebäudes, zwischen mehreren Gebäuden eines Standorts oder gar über mehrere Standorte hinweg. Im Büro des Endanwenders baut der Techniker das Altgerät ab und den neuen Computer auf. Evtl. sind dabei vom Altgerät noch Daten oder individuelle Einstellungen zu sichern und auf den neuen Computer zu transferieren. Durch diesen Vorgang wird der Anwen-

⁴ Es handelt sich bei diesem Preis um einen bereits verhandelten Einkaufspreis, wie er für ein kleines bis mittelgroßes Unternehmen angenommen werden kann. Es handelt sich um einen Midi-Tower-PC mit Intel Core i5-Prozessor, 8 GB RAM und 250 GB SSD-Festplatte. Der Preis beinhaltet eine Garantieverlängerung für drei Jahre Vor-Ort-Service.

der von seinen regulären Tätigkeiten abgehalten, was als Arbeitsausfall zu berücksichtigen ist.

Innerhalb der Betriebsphase entstehen beim Einsatz zentraler Softwareverteilung kaum Aufwände direkt am Client. Die Paketierung neuer Software und Updates erfolgt zentral und wird anteilig auf alle Clients umgelegt. Direkt am Client sind nur Aufwände auf Seiten des Endanwenders zu berücksichtigen, die sich etwa ergeben, wenn der Computer zur Vervollständigung von Installationen neu gestartet werden muss oder wenn Störungen auftreten, die in direktem Zusammenhang mit dem Client stehen.

Von weiterer Relevanz für die Kosten in der Betriebsphase ist die Leistungsaufnahme, welche detailliert in Kapitel 4.3 erläutert wird. Für die Kalkulation der daraus resultierenden Kosten wird zunächst ein Preis von 0,28 €/kWh zum Ansatz gebracht. Es handelt sich dabei um einen Durchschnittspreis, wie er für Haushalte und kleine bis mittelgroße Unternehmen angenommen werden kann. Erst ab einer Mindestabnahmemenge von 1 GWh profitieren Unternehmen von deutlich günstigeren Preisen. Bei der Hochrechnung in Kapitel 7.4 wird entsprechend ein Strompreis von 0,12 €/kWh verwendet.

Abschließend wird der Arbeitsplatzcomputer dann am Ende seines Lebenszyklus im Unternehmen außer Betrieb gesetzt. Der Aufwand für die Abholung beim Endanwender wurde bereits bei der Auslieferung berücksichtigt, da in der Regel die Abholung eines Altgeräts in einem Arbeitsschritt mit der Lieferung eines neuen Systems erfolgt. Entsprechend sind nur noch die darauf folgenden Tätigkeiten zu berücksichtigen. Diese umfassen das sichere Löschen der Festplatte nach den jeweils regional zutreffenden Vorgaben und das Entfernen des Computers aus allen Verwaltungssystemen inkl. Assetmanagement. Schlussendlich wird das Gerät entsorgt oder einem anderen Unternehmen zur Zweitnutzung überlassen.

7.2.2 Neues Notebook

Für ein zentral verwaltetes Notebook als Alternative zu einem stationären Desktop-PC gelten im Hinblick auf Kosten für Lizenzen und Arbeitsaufwände weitestgehend sämtliche Überlegungen aus dem vorangegangenen Kapitel. In der Beschaffungsphase unterscheidet sich das Notebook maßgeblich durch den Anschaffungspreis der Hardware. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird für das Notebook ein Anschaffungspreis von ca. 1 185,00 € (Business-Notebook⁵ eines Markenherstellers) kalkuliert.

Dieser Preis beinhaltet über das Notebook hinaus eine Dockingstation. Hintergrund ist, dass ein Notebook ohne Peripherie (externe Tastatur und Maus) und einen externen Monitor nicht der »Verordnung über Sicherheit und Gesund-

⁵ Es handelt sich bei diesem Preis um einen bereits verhandelten Einkaufspreis, wie er für ein kleines bis mittelgroßes Unternehmen angenommen werden kann. Es handelt sich um ein Notebook mit 14-Zoll-Display, Intel Core i5-Prozessor, 8 GB RAM und 250 GB SSD-Festplatte. Der Preis beinhaltet eine Garantieverlängerung für drei Jahre Vor-Ort-Service.

heitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung [BildscharbV])« entspricht und somit in Deutschland alleine nicht dauerhaft als Büroarbeitsplatz genutzt werden darf.

Dem höheren Anschaffungspreis steht ein ebenso höherer Nutzwert in der Betriebsphase gegenüber, da das Notebook in der Regel auch mobil genutzt wird. Dieser Anwendungsfall ist allerdings bereits in der Ökobilanz unberücksichtigt geblieben, da keine belastbare Datenbasis zur Auswirkung von Lade- und Entladezyklen des Akkus vorliegt. Grundsätzlich ist in diesem Fall jedoch von einem höheren Energiebedarf auszugehen, der sich u. a. auch darin begründet, dass das Notebook unterwegs in der Regel mit seinem integrierten Bildschirm betrieben wird. Dieser Fall ist mit den weiteren betrachteten Endgeräten jedoch nicht abbildbar und es werden nur die Aspekte des Betriebs betrachtet, welche auch mit Thin-Clients möglich sind.

Aufgrund des internen Monitors und des Akkus verursacht ein Notebook am Ende seines Lebenszyklus in der Entsorgung höhere Kosten als ein PC. Im Hinblick auf die damit verbundenen Arbeitsaufwände gelten die gleichen Überlegungen wie im vorangegangenen Kapitel.

7.2.3 Alter Desktop-PC als Software-Thin-Client

Wird eine alte Hardware, die bereits im Unternehmen vorhanden ist, in einen logischen Thin-Client konvertiert, so entfallen die Anschaffungskosten für die Client-Hardware. Sowohl für Hardware- als auch für Software-Thin-Clients sind jedoch Lizenzkosten zu berücksichtigen. So wird neben einer Client Access License (CAL) für die Nutzung grundsätzlicher Dienste von Windows-Servern zusätzlich eine weitere CAL für die Nutzung der Remotedesktopdienste eines Terminal Servers, die sog. RDS-CAL, benötigt. Bei Verwendung der Erweiterung Citrix XenApp auf Seiten des Servers ist weiterhin eine Lizenz hierfür notwendig. Die Lizenzen fließen mit ca. 305,00 € in das Kostenmodell ein. Der Software-Thin-Client-IGEL Universal Desktop Converter (UDC2) wird zusätzlich mit seinem Listenpreis in Höhe von 59,00 € berücksichtigt.

Wenngleich in diesem Anwendungsfall keine physische Hardware an den Endanwender auszuliefern ist, fallen doch ähnliche Aufwände wie beim Wechsel auf einen neuen Arbeitsplatz-PC an, da ein Systemtechniker den Endanwender dabei unterstützen muss, ggf. vorhandene Daten oder individuelle Einstellungen vom Altgerät zu sichern. Anschließend erfolgt eine Neuinstallation mit dem Thin-Client-Betriebssystem, die wie in Kapitel 3.6 beschrieben bei größeren Stückzahlen sinnvollerweise per zentraler Softwareverteilung erfolgt. Der Systemtechniker muss lediglich die Installation überwachen und auf Fehler überprüfen sowie anschließend den Client in das zentrale Management aufnehmen und den Endanwender bei der Inbetriebnahme unterstützen.

Wenn zahlreiche Clients in logische Thin-Clients umgewandelt werden, müssen auf Seiten der Terminal Server zusätzliche Ressourcen aufgebaut werden. D. h. es sind ein oder mehrere Server zu beschaffen und in Betrieb zu nehmen. Die

Kosten hierfür werden anteilig auf die Clients umgelegt. Eine passende Server-Hardware fließt mit ca. 6 160,00 € in das Berechnungsmodell ein. Hierbei wird wie in früheren Betrachtungen angenommen, dass Virtualisierungstechnologien zum Einsatz kommen. Auf einer physischen Server-Hardware werden also mehrere Terminal Server als virtuelle Maschinen ausgeführt, wobei diese mittels Techniken zur automatischen Bereitstellung – z. B. Citrix Provisioning Services – aus einem einheitlichen Image erzeugt werden können, um den Aufwand zu minimieren.

Für den Betrieb des Servers wird die Beschaffung einer Lizenz der Windows-Server Datacenter Edition angenommen, die die Ausführung beliebig vieler virtueller Windows Maschinen erlaubt. Wird alternativ zu Microsoft Hyper-V ein Hypervisor eines anderen Herstellers, wie VMware ESX oder der Citrix XenServer, verwendet, sind hierfür weitere Lizenzkosten zu veranschlagen, so dass ca. 6 260,00 € für Software hinzukommen.

Wie bei den Techniken zur zentralen Softwareverteilung im Kapitel 7.2.1 wird angenommen, dass diese Technologien im Unternehmen bereits grundsätzlich bekannt und beherrscht sind und das nötige Wissen hierzu nicht komplett neu aufgebaut werden muss. Die Tätigkeiten zur Inbetriebnahme des Servers umfassen die Annahme und Inventarisierung des physischen Systems und seine Montage im Rechenzentrum, gefolgt von der Installation des Hypervisors und dessen Einbindung in ein zentrales Management. Die Inbetriebnahme der eigentlichen Terminal Server beschränkt sich anschließend auf die Bereitstellung der notwendigen Images und die Provisionierung der virtuellen Maschinen, so dass der Aufwand gegenüber der früheren – zumindest in Teilen – manuellen Installation der Windows-Server wesentlich reduziert werden kann. Hinzu kommen ggf. Aufwände zur Einrichtung der Software zur zentralen Verwaltung der Thin-Clients, welche keine eigene physische Hardware erfordert, sondern in einer separaten VM ausgeführt wird.

Die mit dem physischen Server und den VMs verbundenen Aufwände werden anteilig auf alle Clients verrechnet, wobei angenommen wird, dass ein Server beim Anwendungsprofil typischer Büroarbeiten bis zu 100 Clients versorgen kann.

Im Betrieb fallen Client-seitige Aufwände für Updates der Thin-Client-Software an, die jedoch sehr gering ausfallen, da diese Updates zentral verteilt werden. Weiterhin sind Server-seitig die Images zu pflegen, was an einer zentralen Stelle erfolgt und daher anteilig pro Client nur geringe Auswirkungen hat. Hinzu kommt der in Kapitel 4.3 dargelegte Stromverbrauch von Client und Server.

Bei der Außerbetriebnahme sind wiederum Aufwände für die Pflege des Inventars, das Löschen von Festplatten und die Demontage des Servers zu berücksichtigen, ebenso Entsorgungskosten für Clients und Server.

7.2.4 Altes Notebook als Software-Thin-Client

Die im vorherigen Kapitel angestellten Überlegungen gelten in gleicher Weise für ein Notebook, welches in einen logischen Thin-Client umgewandelt wird. Auch hier ist als Hinweis zu beachten, dass über das Notebook hinaus eine Dockingstation vorhanden sein muss, da das Notebook ohne Peripherie und einen externen Monitor nicht der »Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung [BildscharbV])« entspricht und somit in Deutschland alleine nicht dauerhaft als Büroarbeitsplatz genutzt werden darf.

Dies wird jedoch im Rahmen der bisherigen Nutzung des Geräts als gegeben angenommen, so dass auch in diesem Fall keine Beschaffungskosten für die Hardware anfallen.

Gegenüber dem Betrieb eines Desktop-PCs unterscheidet sich der Anwendungsfall des Notebooks als Thin-Client lediglich durch den veränderten Stromverbrauch in der Betriebsphase sowie eine etwas höhere Entsorgungspauschale, da das Notebook den externen Monitor und einen Akku enthält.

7.2.5 Neuer Hardware-Thin-Client

Der Fall, dass ein neuer Thin-Client als Hardware beschafft wird, war im Rahmen dieses Dokuments nicht Bestandteil der Ökobilanzierung in den vorhergehenden Kapiteln, soll hier jedoch im Hinblick auf die Bewertung der Wirtschaftlichkeit kurz erwähnt werden. Hintergrund ist eine längerfristige strategische Betrachtung, denn wenn die alten, als logische Thin-Clients genutzten Desktop-PCs und Notebooks das Ende ihres Lebenszyklus erreichen, ist die Entscheidung über eine Ersatzbeschaffung zu treffen.

Es könnten entsprechend beliebige Mini-PCs beschafft werden, die die Lizenz des Software-Thin-Clients weiternutzen. Solche Geräte sind als Komplettrechner bereits zu Preisen ab 190,00 € aufwärts erhältlich [Hirsch – 2015]. Alternativ ist auch die Verwendung eines Hardware-Thin-Clients möglich. Dieser Fall wird hiermit betrachtet. Es gelten dabei weitestgehend die Überlegungen, die in den vorherigen Kapiteln zu den Software-Thin-Clients erläutert wurden. Es wird in der Beschaffungsphase lediglich anstelle der Lizenz für den Software-Thin-Client der Kaufpreis für eine Hardware von Typ IGEL UD3 LX mit einem Einstandspreis von ca. 335,00 € angenommen.

7.3 Gegenüberstellung

Nachfolgend werden die gesamten Kosten über den Lebenszyklus (Total Cost of Ownership [TCO]) für einen per automatischer Softwareverteilung verwalteten Desktop-PC und ein Notebook den Software-Thin-Clients und einem Hardware-Thin-Client gegenüber gestellt. Die Kalkulation basiert auf einer Anzahl von 100 zu unterstützenden Arbeitsplätzen in einem kleinen Unternehmen über einen Zeitraum von drei Jahren.

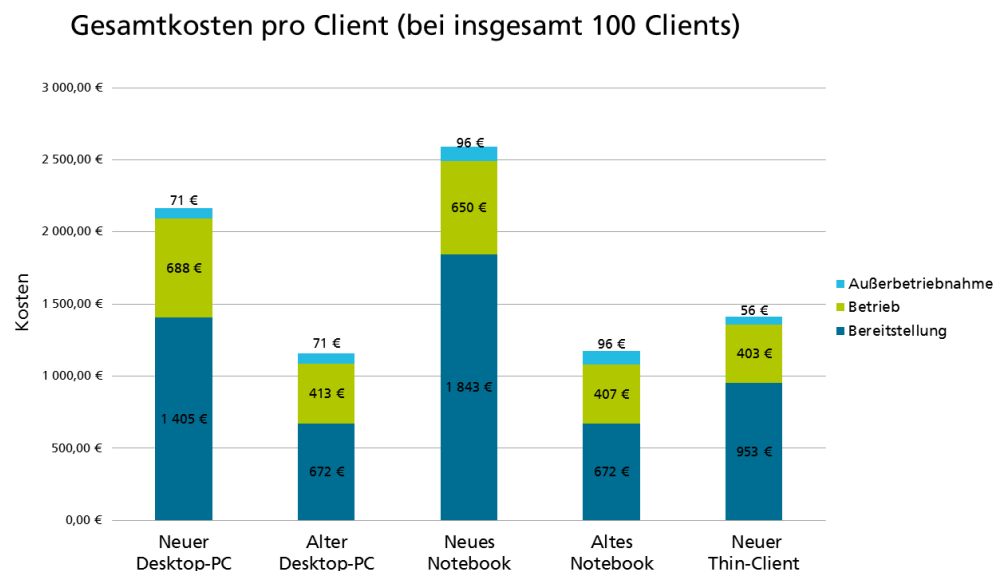
Für dieses Szenario ergeben sich für den Desktop-PC über den Lebenszyklus von drei Jahren insgesamt Kosten von ca. **2 165 €** sowie ca. **2 590 €** für das Notebook. Demgegenüber sind für einen älteren Desktop-PC im Betrieb als logischer Thin-Client ca. **1 157 €** zu veranschlagen, für ein Notebook als logischer Thin-Client ca. **1 176 €** und für den Hardware-Thin-Client **1 413 €**.

Natürlich bietet ein Notebook mit der Möglichkeit, offline und mobil zu arbeiten, mit seinem hohen Preis auch einen funktionalen Vorteil, den die anderen Anwendungsfälle nicht ermöglichen. Doch selbst für den im praktischen Einsatz durchaus vergleichbaren und nutzenäquivalenten Einsatz eines neuen PCs und eines alten PCs als Software-Thin-Client ergibt sich eine **Einsparung von 47 %** bzw. 1 008 € beim Einsatz des Software-Thin-Clients. In einem idealtypischen Szenario, bei dem konsequent alle vorhandenen Altgeräte in logische Thin-Clients konvertiert und keine neuen Geräte gekauft werden, könnte das Unternehmen somit über 100 800 € einsparen.

Wird ein PC stattdessen durch einen Hardware-Thin-Client ersetzt, liegt die Einsparung immerhin noch bei 35 % bzw. 752 € pro Client. Beim konsequenten Einsatz von Hardware-Thin-Clients ließen sich folglich Einsparungen von über 75 200 € realisieren.

Im Hinblick auf die Beschaffungsphase ergeben sich die höheren Kosten hauptsächlich aus den höheren Anschaffungspreisen von Desktop-PC und Notebook bzw. aus der Tatsache, dass in den Fällen der Software-Thin-Clients keine Kosten für die Beschaffung von Client-Hardware entstehen.

Bild 7-1:
Gesamtkosten pro Client bei 100 zu unterstützenden Arbeitsplätzen



In der Betriebsphase folgen die niedrigeren Kosten der Thin-Clients aus dem zentralen Ansatz des Server Based Computings, bei dem fast die komplette Pflege der Software auf den Terminal Servern im Rechenzentrum stattfindet. Die Client-Computer sind dabei weniger wartungsintensiv. Die im Vergleich zu

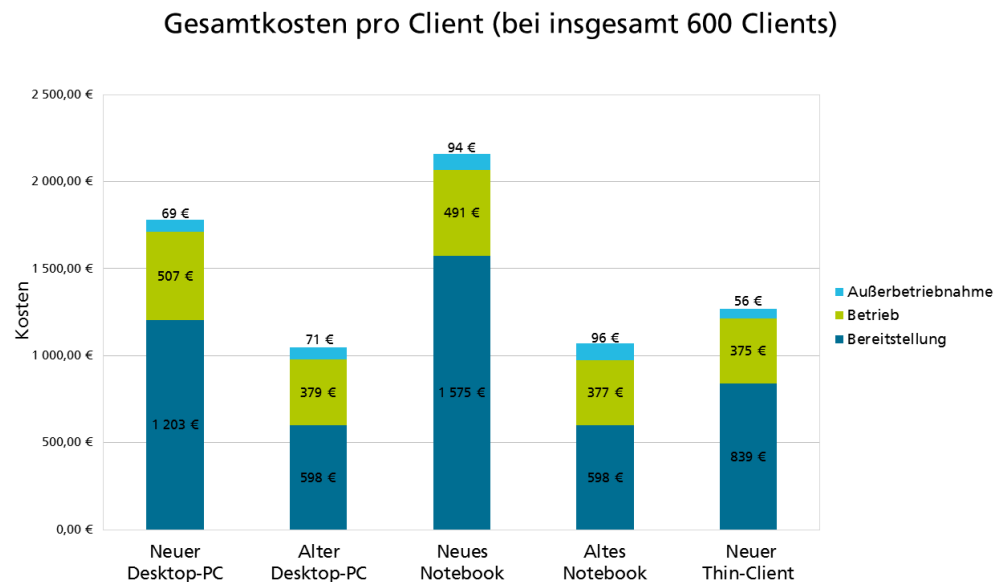
den Desktop-PCs etwas niedrigeren Betriebskosten der Notebooks ergeben sich primär aus dem geringeren Energieverbrauch. Bei den Außerbetriebnahmen sind die Kosten der Notebooks im Vergleich zu den PCs dagegen höher, da aufgrund von integriertem Monitor und Akku höhere Entsorgungskosten angenommen werden.

7.4 Hochrechnung

Bei der Hochrechnung der Gesamtkosten pro Client für größere Unternehmen wird im ersten Schritt ein kleines bis mittelgroßes Unternehmen mit 600 Computerarbeitsplätzen angenommen. Für dieses Szenario wird weiterhin angenommen, dass dieses Unternehmen mehr als die Mindestabnahmemenge von 1 GWh Strom pro Jahr benötigt und daher von deutlich günstigeren Preisen profitiert. In diesem Fall sinkt der Strompreis auf 0,12 €/kWh.

In die Berechnung fließt außerdem ein angenommener Rabatt von 15 % auf den Kaufpreis von Hard- und Software mit ein. Für die Client-seitigen Arbeitsaufwände wird angenommen, dass sich keine signifikanten Änderungen gegenüber dem vorherigen Beispiel mit 100 Clients ergeben. Auch auf Seiten des Servers ändern sich die Aufwände nicht, verteilen sich jedoch auf eine größere Anzahl von Clients. Es wird angenommen, dass weiterhin nur ein Server notwendig ist, um die 600 Clients mit Software und Updates zu versorgen.

Bild 7-2:
Gesamtkosten pro Client bei 600 zu unterstützenden Arbeitsplätzen



In diesem Szenario ergeben sich für den Desktop-PC reduzierte Kosten von ca. **1 780 €** sowie ca. **2 161 €** für das Notebook. Dem gegenüber sind für einen älteren Desktop-PC im Betrieb als logischer Thin-Client ca. **1 049 €** zu veranschlagen, für ein Notebook als logischer Thin-Client ca. **1 072 €** und für den Hardware-Thin-Client **1 270 €**.

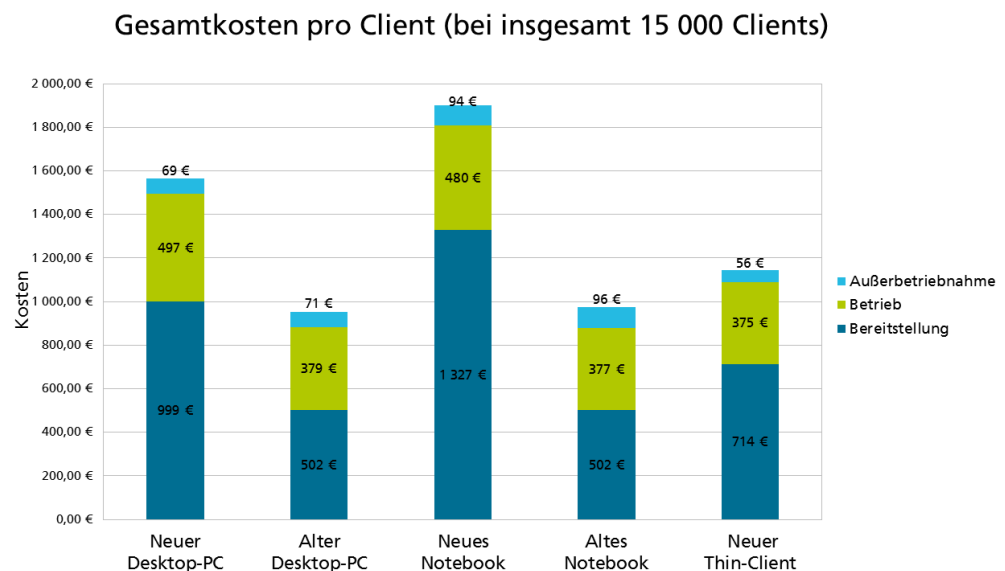
Die Kosten sinken also über alle betrachteten Anwendungsfälle, wobei im direkten Vergleich eines neuen Desktop-PCs mit einem älteren PC, der in einen logischen Thin-Client verwandelt wird, eine **Einsparung von 41 %** bzw. 730 € pro Arbeitsplatz möglich ist. Bei einer idealtypischen Annahme, dass alle Arbeitsplätze in logische Thin-Clients umgewandelt werden und keine neuen Geräte nötig sind, könnte dieses Unternehmen folglich durch den Einsatz von Software-Thin-Clients über 438 000 € einsparen.

Wird der PC stattdessen durch einen Hardware-Thin-Client ersetzt, liegt die Einsparung bei 29 % oder 509 € pro Arbeitsplatz. Hochgerechnet auf alle Endgeräte ließen sich in diesem Fall 305 400 € einsparen.

Im dritten betrachteten Szenario werden die Kosten für ein großes Unternehmen mit 15 000 Mitarbeitern an mehreren Standorten bestimmt. Auch in diesem Fall greift der reduzierte Strompreis von 0,12 €/kWh.

In die Berechnung fließt außerdem ein angenommener Rabatt von 25 % auf den Kaufpreis der Hardware ein. Im Falle der Software-Lizenzen wird angenommen, dass das Unternehmen, beispielsweise durch ein Rahmenabkommen mit Microsoft (Enterprise Agreement, Select oder Campus Vertrag) signifikante Einsparungen erzielen kann. Für die Arbeitsaufwände werden weitere Skaleneffekte zugrunde gelegt. So wird angenommen, dass zwar aufgrund mehrerer Standorte mehrere Server für die automatische Softwareverteilung notwendig sind, dass aber jeweils ein Server ausreicht, um 1 000 Clients zu versorgen.

Bild 7-3:
Gesamtkosten pro Client bei 15 000 zu unterstützenden Arbeitsplätzen



Vor einem solchen Hintergrund ergeben sich für den Desktop-PC weiter sinkende Kosten von ca. **1 565 €** sowie ca. **1 902 €** für das Notebook. Demgegenüber sind für einen älteren Desktop-PC im Betrieb als logischer Thin-Client ca. **952 €** zu veranschlagen, für ein Notebook als logischer Thin-Client ca. **975 €** und für den Hardware-Thin-Client **1 146 €**.

Die Kosten sinken also wiederum über alle betrachteten Anwendungsfälle, wobei im direkten Vergleich eines neuen Desktop-PCs mit einem älteren PC, der in einen logischen Thin-Client verwandelt wird, eine **Einsparung von 39 %** bzw. 612 € pro Arbeitsplatz möglich ist. Unter der idealtypischen Annahme, dass alle Arbeitsplätze in Software-Thin-Clients umgewandelt werden, könnten in diesem Beispielszenario über 9 180 000 € eingespart werden.

Wird der PC stattdessen durch einen Hardware-Thin-Client ersetzt, liegt die Einsparung bei 27 % oder 419 € pro Arbeitsplatz. Die Gesamtersparnis beim konsequenten Einsatz von Hardware-Thin-Clients gegenüber Desktop-PCs läge somit bei über 6 285 000 €.

Diese Überlegungen sind in ihrer Konsequenz natürlich theoretischer Natur, da in der Praxis gute Gründe für den fallweisen Einsatz von Desktop-PCs und auch den Einsatz von Notebooks im mobilen Betrieb existieren. Dennoch zeigen die exemplarischen Berechnungen deutlich das ökonomische Potenzial des Einsatzes von Hardware- und Software-Thin-Clients auf.

8 Fazit und Empfehlungen

Die Untersuchungen und ihre Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Hardware- und Software-Thin-Clients sowohl aus Sicht der Treibhausgasemissionen als auch aus ökonomischer Sicht Vorteile gegenüber herkömmlichen Desktop-PCs bietet. Ebenso ist die Verwendung entsprechender Arbeitsplatzkonzepte sinnvoller als der Einsatz von Notebooks, soweit dies den stationären Einsatz im Büro betrifft.

Unbestritten bieten Notebooks mit der Möglichkeit des mobilen Arbeitens für viele Mitarbeiter unverzichtbare Vorteile. Doch sollte durch die Ergebnisse dieser Studie deutlich geworden sein, dass ein Notebook im Hinblick auf monetäre Kosten und die Umweltauswirkungen die teuerste Variante darstellt, einen IT-Arbeitsplatz bereitzustellen und zu betreiben. **Für Entscheider und IT-Einkäufer** in den Unternehmen lässt sich daraus die Empfehlung ableiten, zielgerichtet anhand des konkreten Bedarfs eines jeden Endanwenders abzuwägen, welches Endgerät mit welchem Betriebsmodell geeignet ist, diesen Bedarf zu decken.

Software-Thin-Clients ermöglichen in diesem Zusammenhang einen idealen Einstieg in die strategische Anwendung von Server Based Computing. Da die Altgeräte, die in einen logischen Thin-Client konvertiert werden, bereits im Unternehmen vorhanden sind, entfällt die Investition in Hardware und es entstehen lediglich moderate Kosten durch Anschaffung und Inbetriebnahme der Thin-Client-Software sowie ggf. den Aufbau von weiteren Terminal Servern zur Unterstützung dieser Clients.

Software-Thin-Clients als Managed Workplace bieten somit einen ökonomisch sinnvollen Weg für eine sanfte Migration hin zu einem strategischen Thin-Client-Konzept. Der logische nächste Schritt auf diesem Weg ist die Ablösung der Altgeräte durch Hardware-Thin-Clients, wenn diese Altgeräte das Ende ihres erweiterten Lebenszyklus erreicht haben.

Auch der Einsatz eines Hardware-Thin-Clients als Managed Workplace bietet gegenüber dem Neukauf eines Desktop-PCs aus Sicht der Treibhausgasemissionen und aus ökonomischer Sicht Vorteile, so dass neben den monetären Einsparungen auch der Umwelt geholfen ist: Im ersten Schritt wird die Produktion und Distribution eines neuen Desktop-PCs komplett vermieden, im zweiten Schritt durch die mit deutlich geringeren Treibhausgasemissionen behaftete Produktion und Distribution eines Hardware-Thin-Clients substituiert.

Für die Forschung und ebenfalls für die Hersteller von Thin-Clients lässt sich weiterhin die Empfehlung formulieren, weitere Untersuchungen im Hinblick auf die verschiedenen Arbeitsplatzkonzepte durchzuführen und insbesondere die Bemühungen im Hinblick auf die Produktionsphase zu intensivieren. Die Erhebungen im Rahmen dieser Studie zeigen, dass die Datenbasis bzgl. der

Umweltauswirkungen der Produktion Raum für Verbesserungen bietet. So weisen die verfügbaren Ergebnisse eine sehr hohe Spannbreite auf und sind aufgrund abweichender methodischer Ansätze oft nicht direkt vergleichbar. Die Produktion von Desktop-PCs und besonders Server-Systemen sollte entsprechend Gegenstand weiterer Forschung sein, ebenso die Umweltauswirkungen der mobilen Nutzung von Notebooks unter Berücksichtigung der Akku-Nutzung. Eine weitere Betrachtung der Produktion aktueller Hardware-Thin-Clients sollte die Forschungsvorhaben abrunden, um einen genaueren Vergleich mit den anderweitigen Betriebsmodellen auf Basis aktueller Daten zu ermöglichen.

9 Literaturverzeichnis

Apple Inc (2014a): 11-inch MacBook Air. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2014b): 13-inch MacBook Air. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2014c): 13-inch MacBook Pro with Retina Display. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2014d): 15-inch MacBook Pro with Retina Display. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015.

Apple Inc (2014e): 21.5-inch iMac. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2013a): 27-inch iMac. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2014f): 27-inch iMac with Retina 5K display. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2014i): Mac mini. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2013e): Mac Pro. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Apple Inc (2012): 13-inch MacBook Pro. Environmental Report. Zuletzt geprüft am: 03.02.2015. <https://www.apple.com/environment/reports/>.

Choi, Byung-Chul; Shin, Hang-Sik; Lee, Su-Yol et al. (2006): Life Cycle Assessment of a Personal Computer and its Effective Recycling Rate (7 pp). In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 11(2), S. 122–128.

Ciroth, Andreas; Franze, Juliane (2011): LCA of an Ecolabeled Notebook. Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle. Berlin.

Deng, Liqiu; Babbitt, Callie W.; Williams, Eric D. (2011): Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer. In: Journal of Cleaner Production, 19(11), S. 1198–1206.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (November 2009): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006), 13.020.10(14040). Berlin: Beuth Verlag GmbH (13.020.10).

Ekener-Petersen, Elisabeth; Finnveden, Göran (2013): Potential hotspots identified by social LCA—part 1: a case study of a laptop computer. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(1), S. 127–143.

Fraunhofer UMSICHT (2008): Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client.

Fraunhofer UMSICHT (2011): Thin Clients 2011 – Ökologische und ökonomische Aspekte virtueller Desktops.

GAP (2007): An Inefficient Truth - Report. Zuletzt geprüft am: 13.03.2015. <http://www.it-energy.co.uk/pdf/GAP%20An%20Inefficient%20Truth%20Dec%202007.pdf>.

Goedkoop, Mark; Heijungs, Reinout; Huijbregts, Mark; an de Schryver; Struijs, J.; van Zelm, Rosalie (2013): ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (revised). Report I: Characterisation. Amersfoort, Leiden, Nijmegen, Bilthoven.

Herrmann, Constantin (2008): Environmental footprint of ICT equipment in manufacture, use and end of life.

Hirsch, Christian (2015): Die 1-Liter-PCs. Kaufberatung für kompakte Desktop-Rechner. In: c't, (3), S. 72–74.

Hischier, Roland (2007): Life Cycle Inventory of Electric and Eletronic Equipment: Production, Use and Disposal Part V: Disposal of Electric and Electronic Equipment (e-Waste). ecoinvent data v2.0. ecoinvent report No. 18 - V. Dübendorf, Switzerland.

Hischier, Roland; Classen, Mischa; Lehmann, Martin; Scharnhorst, Wolfram (2007a): Life Cycle Inventory of Electric and Eletronic Equipment: Production, Use and Disposal. ecoinvent data v2.0. ecoinvent report No. 18 - I. St. Gallen, Dübendorf.

Hischier, Roland; Classen, Mischa; Lehmann, Martin; Scharnhorst, Wolfram (2007b): Life Cycle Inventory of Electric and Eletronic Equipment: Production, Use and Disposal Part II: Modules. ecoinvent data v2.0. ecoinvent report No. 18 - II. Dübendorf, Switzerland.

IPCC (2007): Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York ((Keine Angabe)). http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm.

IVF (2007): Lot 3 Personal Computers (desktops and laptops) and computer monitors—final report (task 1–8). Mölndal, Sweden.

Kemna, René (2011): Methodology for Ecodesign of Energy-related Products. MEErP 2011, Methodology Report Part 1: Methods. Brussels/Delft.

Knerrmann, Christian (2014): Zweiter Frühling für PCs – Vergleichstest: Software-Thin Clients. München (12).

Lehmann, Martin (2007): Life Cycle Inventory of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal Part IV: Use. ecoinvent data v2.0. ecoinvent report No. 18 - IV. Dübendorf, Switzerland.

Lehmann, Martin; Hirschler, Roland (2007): Life Cycle Inventory of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal Part III: Electronic Devices. ecoinvent data v2.0. ecoinvent report No. 18 - III. Dübendorf, Switzerland.

Lu, Li-Teh; Wernick, Iddo K.; Hsiao, Teng-Yuan et al. (2006): Balancing the life cycle impacts of notebook computers: Taiwan's experience. In: Resources, Conservation and Recycling, 48(1), S. 13–25.

Lüke, Detlef (2007): Energie effizient nutzen - Zentrales Power-Management für Client-Bestände (LANline Sonderveröffentlichung "Green IT"). Leinfelden-Echterdingen. Zuletzt geprüft am: 13.03.2015.

<http://www.lanline.de/fachartikel/energie-effizient-nutzen.html?page=1>.

Manhart, Andreas; Griebhammer, Rainer (2006): Social impacts of the production of notebook PCs. Contribution to the development of a Product Sustainability Assessment (PROSA).

O'Connell, Scott; Stutz, Markus (2010): Product carbon footprint (PCF) assessment of Dell laptop - Results and recommendations. In: : 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST), S. 1–6.

Prakash, Siddharth; Liu, Ran; Schischke, Karsten; Stobbe, Lutz (2012): Zeitlich optimierter Ersatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten. Dessau-Roßlau.

Prakash, Siddharth; Liu, Ran; Schischke, Karsten; Stobbe, Lutz; Gensch, Carl-Otto (2013): Schaffung einer Datenbasis zur Ermittlung ökologischer Wirkungen der Produkte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Teilvorhaben C des Gesamtvorhabens Ressourcenschonung im Aktionsfeld Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Dessau-Roßlau.

Scheumann, René; Finkbeiner, Matthias (2013): Carbon Footprint & ökobilanzielle Bewertung der Aufbereitung und Vermarktung gebrauchter IT-Hardware. Projektbericht im Auftrag der AfB. Berlin.

Song, Qingbin; Wang, Zhishi; Li, Jinhui et al. (2013): Life cycle assessment of desktop PCs in Macau. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(3), S. 553–566.

Stutz, Markus; O'Connell, Scott; Pflueger, John (2012): Carbon Footprint of a Dell Rack Server. Frankfurt, Austin.

Teehan, Paul (2013): Integrative approaches to environmental life cycle assessment of consumer electronics and connected media. PhD thesis. Vancouver.

Teehan, Paul; Kandlikar, Milind (2013a): Comparing Embodied Greenhouse Gas Emissions of Modern Computing and Electronics Products. In: Environmental Science & Technology, 47(9), S. 3997–4003.

Teehan, Paul; Kandlikar, Milind (2013b): Supporting Information: Comparing embodied greenhouse gas emissions of modern computing and electronics products. Vancouver.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Deskriptive Statistik zu Treibhausgasemissionen und Gewicht von Desktop-PCs	16
Tabelle 4-2: Deskriptive Statistik zu Treibhausgasemissionen und Gewicht von Notebooks	20
Tabelle 4-3: Datensätze zur Modellierung der Distribution und Feinverteilung [Prakash – 2012]	22
Tabelle 4-4: Masse und Treibhausgasemissionen verschiedener Bauteile des Dell PowerEdge rack server, model EMU 3710P71, hergestellt im Jahr 2005 [Teehan, Kandlikar – 2013b]	24
Tabelle 4-5: Sachbilanz eines RAM-Bausteins [Teehan, Kandlikar – 2013b]	26
Tabelle 4-6: Annahmen zur Distribution von Neugeräten	26
Tabelle 4-7: Annahmen zur Distribution von Altgeräten	27
Tabelle 4-8: Annahmen zur Distribution von Altgeräten	27
Tabelle 4-9: Annahmen zur End-of-Life Phase von ICT-Geräten	33
Tabelle 5-1: Ergebnisse Treibhausgasemissionen aller Szenarien (deutscher Strommix)	34
Tabelle 5-2: Ergebnisse bei Annahme geringer Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase	35
Tabelle 5-3: Ergebnisse bei Annahme hoher Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase	36
Tabelle 5-4: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für Desktop-Rechner mit hohem Stromverbrauch	38
Tabelle 5-5: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für englischen Strommix (Großbritannien)	38
Tabelle 5-6: Ergebnisse Treibhausgasemissionen für US-Strommix (USA)	39

11 Bildverzeichnis

Bild 1-1:	Treibhausgas (THG)-Emissionen der Szenarien mit deutschem Strommix	2
Bild 1-2:	Gesamtkosten pro Client bei 100 zu unterstützenden Arbeitsplätzen	3
Bild 3-1:	Lebenszyklusansatz zur Bilanzierung von ICT-Geräten	8
Bild 3-2:	Szenario 1: Arbeiten mit einem neuen Desktop-PC	10
Bild 3-3:	Szenario 2: Arbeiten mit einem gebrauchten Desktop-PC als Thin-Client	10
Bild 3-4:	Szenario 3: Arbeiten mit neuem Notebook	10
Bild 3-5:	Szenario 4: Arbeiten mit gebrauchten Notebook als Thin-Client	11
Bild 4-1:	Treibhausgasemissionen in der Produktion von Desktop-PCs und deren Gewichte (14 Werte, einer ist ausgeblendet, grüne Punkte repräsentieren den Durchschnitt)	15
Bild 4-2:	Scatterplot der Treibhausgasemissionen in der Produktion von Desktop-PCs (13 Studien)	16
Bild 4-3:	Daten und Gewichtsangaben zur Modellierung des Dell Optiplex 580 in [Scheumann – 2013].	17
Bild 4-4:	Daten und Gewichtsangaben zu Modellierung des Dell OptiPlex 780 Mini Tower in [Teehan, Kandlikar – 2013b].	18
Bild 4-5:	Daten und Gewichtsangaben zu Modellierung des Desktop-PCs in [Song – 2013]	18
Bild 4-6:	Treibhausgasemissionen in der Produktion von Notebooks und deren Gewichte (22 Werte)	19
Bild 4-7:	Scatterplot der Treibhausgasemissionen in der Produktion von Notebooks (22 Werte)	20
Bild 4-8:	Daten und Gewichtsangaben zu Modellierung des Notebooks ASUS UL50 aus [Ciroth – 2011] in [Scheumann – 2013]	21
Bild 4-9:	Treibhausgasemissionen eines HP Omnibook 500 12,1", ecoinvent 2.2 mit Daten aus [Prakash – 2013], Quelle: [Prakash – 2012]	22
Bild 4-10:	Daten und Gewichtsangaben zu Modellierung eines generischen Notebooks [Deng – 2011]	23
Bild 4-11:	Carbon Footprint eines Dell PowerEdge R710 2U rack servers [Stutz – 2012]	24
Bild 4-12:	Mittelwerte Treibhausgasemissionen der ICT-Geräteproduktion, Unsicherheitsbalken geben	

Standardabweichung an; Quelle: [Teehan, Kandlikar – 2013a]	25
Bild 5-1: Treibhausgas (THG)-Emissionen der Szenarien mit deutschem Strommix	34
Bild 5-2: Geringe Treibhausgas (THG)-Emissionen in der Produktionsphase	35
Bild 5-3: Hohe Treibhausgas (THG)-Emissionen in der Produktionsphase	36
Bild 5-4: Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener ICT-Geräte mit englischen Strommix (Großbritannien)	39
Bild 5-5: Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener ICT-Geräte mit US-Strommix (Vereinigte Staaten)	40
Bild 7-1: Gesamtkosten pro Client bei 100 zu unterstützenden Arbeitsplätzen	50
Bild 7-2: Gesamtkosten pro Client bei 600 zu unterstützenden Arbeitsplätzen	51
Bild 7-3: Gesamtkosten pro Client bei 15 000 zu unterstützenden Arbeitsplätzen	52