

# 05.18

Lizenziert für INTERSEROH Dienstleistungs GmbH.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.



# Müll und Abfall

Fachzeitschrift  
für Abfall-  
und  
Ressourcen-  
wirtschaft

50. Jahrgang  
Mai 2018  
Seite 217-280

[www.MUELLundABFALL.de](http://www.MUELLundABFALL.de)



## POP-Abfall- Überwachungs-Verordnung Praxiskommentar

Von Dr. jur. Olaf Kropp

2018, 192 Seiten, € (D) 36,-, ISBN 978-3-503-17697-7

Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 145

Online informieren und bestellen:

 [www.ESV.info/17697](http://www.ESV.info/17697)

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG

21001

# Treibhausgas- und Ressourcensparungen durch Wiederverwendung von Smartphones und Tablets

## Resources and greenhouse gas savings through reuse of smartphones and tablets

Dr. Daniel Maga, Dr. Markus Hiebel, Elisabeth Banken und Paola Viehoff

**Dr.-Ing. Daniel Maga**  
Gruppenleiter Nachhaltigkeitsbewertung bei Fraunhofer UMSICHT

**Dr.-Ing. Markus Hiebel**  
Abteilungsleiter Nachhaltigkeits- und Ressourcenmanagement bei Fraunhofer UMSICHT

**Elisabeth Banken**  
Abteilung Nachhaltigkeits- und Ressourcenmanagement bei Fraunhofer UMSICHT

**Paola Viehoff**  
Projektmanagerin Business Development ReDuce bei der INTERSEROH Dienstleistungs GmbH

### Zusammenfassung

Im Rahmen einer Studie für die INTERSEROH Dienstleistungs GmbH untersuchte Fraunhofer UMSICHT die Ressourcen- und Treibhausgaseinsparungen durch die Wiederaufbereitung (auch Refurbishment genannt) von Smartphones und Tablets.

Für die Bilanzierung des Ressourcenaufwands, welcher sowohl in der Produktion als auch beim Refurbishment anfällt, wurden die einzelnen Bestandteile (Materialien) der Smartphones und Tablets stoffstromspezifisch untersucht und bilanziert.

Für die Studie wurde angenommen, dass sich die Lebensdauer von Smartphones und Tablets durch die Wiederaufbereitung von 2 auf 4 Jahre verlängert. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Lebensdauerverlängerung mittels Wiederaufbereitung und Wiederverwendung pro Smartphone 14 kg Ressourcen und 58 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasemissionen eingespart werden. Pro Tablet werden 58 kg Ressourcen und 139 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasemissionen eingespart.

Außerdem konnten der Einsatz von Gold, Kupfer, Edelstahl und Aluminium als bedeutende Treiber des Ressourcenaufwands in der Produktion identifiziert werden, da diese allein für 94 % bei Smartphones und 88 % bei Tablets des gesamten Ressourcenaufwands verantwortlich sind. Zusätzlich zeigt die Studie, dass der Austausch von Displays und Akkus im Refurbishment zu 74 % der Treibhausgasemissionen bei Smartphones und zu 86 % bei Tablets beiträgt.

### Abstract

Fraunhofer UMSICHT conducted a study for INTERSEROH Dienstleistungs GmbH and investigated the resources and greenhouse gas savings through refurbishment of smartphones and tablets.

The individual weight and composition of various material components of smartphones and tablets was obtained to calculate the resource demand during the production stage as well as in the refurbishment stage.

It was assumed that the lifetime of smartphones and tablets will increase from 2 years to 4 years due to the re-

freshment. The study showed that the increased life time of each smartphone leads to savings of 14 kg of resources and 58 kg CO<sub>2</sub>-eq. greenhouse gases. The reuse of each tablet saves 58 kg of resources and 139 kg CO<sub>2</sub>-eq. greenhouse gases.

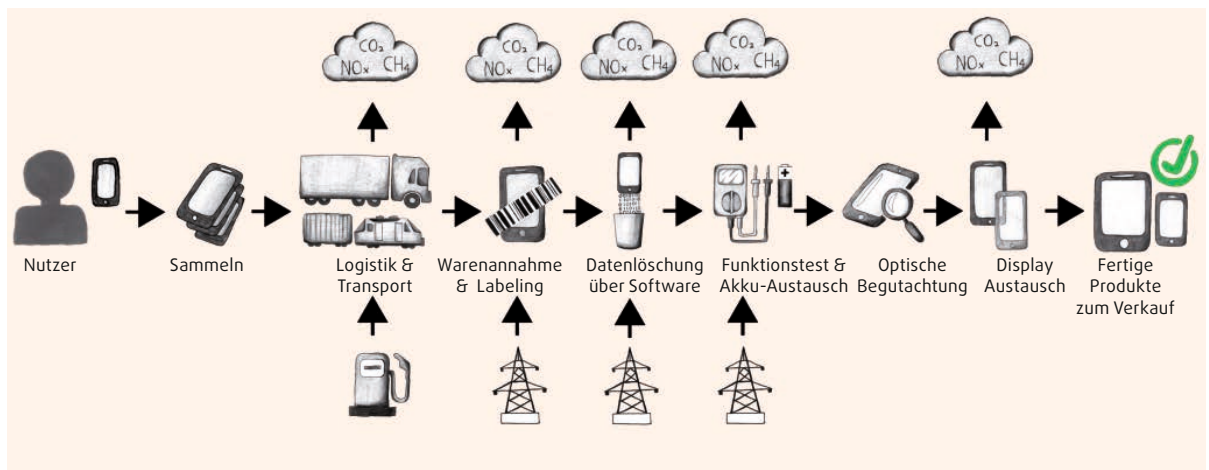
The main drivers for the resource demand in the production phase are the use of gold, copper, stainless steel and aluminum. They account for 94 % of the total resource demand for smartphones and 88 % for tablets. During the refurbishment, the exchange of displays and batteries contributes to 74 % of greenhouse gas emissions for smartphones and 86 % for tablets.

## 1. Hintergrund

Informations- und Kommunikationselektronik (IKT) gewinnt zunehmend an Bedeutung im täglichen Leben. Laut einer Studie von Prakash & Gröger [1] besitzt rund jede/r zweite in Deutschland ein Smartphone. Im Vergleich dazu nutzen lediglich ca. 11 % ein Tablet. Es bestehen große Unterschiede in der zeitlichen Nutzung von verschiedenen Elektronikgeräten wie Smartphones und Tablets. Beide Geräte werden vor allem zum Surfen im Internet benutzt. Die Einsatzzeit von Tablets beträgt ca. 1 Stunde pro Tag, während Smartphones oft mehrere Stunden pro Tag genutzt werden. Ein Grund dafür ist die Nutzung der Smartphones zum Telefonieren, Nachrichten schreiben und Fotografieren, welche neben dem Surfen im Internet die häufigsten Nutzungsarten darstellen [1].

Auch am Markt ist der zunehmende Bedarf nach IKT ersichtlich. Der globale Umsatz, der durch den Verkauf von Mobilgeräten erwirtschaftet wird, steigt jährlich um 3,1 % [2]. Der europäische Marktumsatz von IKT betrug in 2017 ca. 62.700 Millionen US\$, von denen Deutschland einen Anteil von ungefähr 26 % (16,027 Million US\$) erwirtschaftete [3, 4]. Die rapide ansteigende Nachfrage nach neuen Geräten ist durch verschiedene Gründe motiviert, wie zum Beispiel veraltete Software, der Wunsch nach einem neuen Ge-

Abbildung 1  
Prozessschritte der  
Wiederaufbereitung  
(Zeichnung Christien  
Hoffmann, Fraunhofer  
UMSICHT)



rät oder mangelndem Leistungspotential der Bestand- und Einzelteile [5]. Daher werden Smartphones und Tablets oftmals nach einer kurzen Nutzungsphase von 2 Jahren [6] durch neuere IKT-Geräte ausgetauscht. Gebrauchte Geräte werden häufig nicht ordnungsgemäß entsorgt und in den normalen Haushaltsmüll gegeben, verschenkt, weiterverkauft oder ungenutzt zuhause aufbewahrt. Nur wenige der Smartphone-Besitzer führen ihr altes Gerät dem Recycling zu [7].

Der hohe Verbrauch von IKT-Geräten führt zu jährlich ca. 720.000 t Elektroschrottabfällen in Deutschland [8]. Um die Erzeugung von Elektroschrott und elektronischem Müll zu verringern, verabschiedete die Europäische Union 2012 die WEEE-Richtlinie (Waste electrical and electronic equipment) über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Diese Richtlinie beschreibt sowohl die Vermeidung von Abfällen als auch den Umgang mit gebrauchten Geräten, welche durch Refurbishment, Recycling oder ähnliche Verwertungsmaßnahmen zur Reduzierung von Müll beitragen können [9]. Um eine stärkere Zuführung von Smartphones und Tablets zu einem Verwertungsprozess zu erreichen, ist eine komplexe und kapitalintensive Infrastruktur notwendig, welche eine wirtschaftliche Ausrichtung erfordert [10].

Prozesse wie Wiederverwendung, Refurbishment, Recycling oder andere Verwertungsmaßnahmen erweisen sich als ökonomisch sinnvoll. Gartner Inc., eines der weltweit führenden Forschungs- und Beratungsunternehmen, prognostizierte, dass 2017 durch Refurbishing 120 Millionen Smartphones dem Markt zugeführt werden [11].

Besonders die Wiederaufbereitung von gebrauchten Geräten durch kontrolliertes und sorgfältiges Refurbishment zeigt großes Potential als Verwertungsmaßnahme von Smartphones und Tablets. Nachdem die Geräte den Refurbishment-Prozess durchlaufen haben, können sie wieder in die Marktkette eingebunden werden. Durch Wiederverwendung kann so die Nutzungszeit oftmals verdoppelt werden.

Die Studien von Zink et al. [6], Geyer und Bass [12] und der GSM Association [13] zeigen, dass Recycling, ReUse und Refurbishment neben der Generierung eines ökonomischen Profits auch zur Reduzierung von Umweltwirkungen wie zur Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen können.

Diese Studie adressiert erstmalig die Forschungsfrage, wie viele Treibhausgasemissionen vermieden und Ressourcen durch die Verlängerung der Lebensdauer von IKT-Geräten geschont werden können. Neben der Bilanzierung der Treibhausgase wurde eine Bilanzierung des Ressourcenaufwands des Refurbishment-Prozesses und der Neuproduktion von IKT-Geräten durchgeführt. Damit wird neben der etablierten Wirkungskategorie des Treibhausgaspotenzials der Blick auf den Anfang der Wertschöpfungskette gerichtet und zwar auf den Abbau von Metallerzen (z. B. für Aluminium- und Stahlbestandteile oder Kupfer), auf die Gewinnung von Kunststoffen (Rohöl als Basis) und die Gewinnung von Edelmetallen (z. B. Silber und Gold). Bei allen Rohstoffen ist in Zukunft von höheren Aufwendungen aufgrund von abnehmenden Erzkonzentrationen und schwierigeren Lagerstätten auszugehen. Für Kupfer wurde dies bereits untersucht [14].

## 2. Wiederaufbereitung und ReUse von Smartphones und Tablets

Die Prozesskette der Wiederaufbereitung von Smartphones und Tablets beinhaltet nach der Sammlung 6 Prozessschritte, bis die gebrauchten Geräte dem Markt erneut zugeführt werden können. Die Prozesskette ist in Abbildung 1 dargestellt.

Zunächst werden die gebrauchten Geräte gesammelt und zu den Anlagen der INTERSEROH Dienstleistungs GmbH transportiert, was mit einem Treibstoffbedarf und einem Treibhausgasausstoß einhergeht. In den Anlagen werden die gebrauchten Geräte gekennzeichnet und einer Datenlöschung unterzogen. Darauf folgen ein Funktions- und Batterietest sowie der potentielle Austausch von defekten Akkus. Diese Schritte benötigen die Zufuhr von Strom, welcher vom lokalen Netz bezogen wird und ebenfalls zu einem Ressourcenaufwand und zu Treibhausgasemissionen beiträgt. Nachdem die Funktionsfähigkeit der Geräte gesichert ist, wird eine optische Begutachtung durchgeführt. Hierbei kommt es weder zu Strom- oder Treibstoffbedarf noch zu Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre. Auf die optische Begutachtung hin werden im nächsten Schritt bei Bedarf Displays ausgetauscht. Dieser Schritt erfordert die Produktion von IKT-Komponenten und verursacht einen weiteren Res-

sourcenaufwand sowie weitere Treibhausgasemissionen. Nach einer finalen Prüfung sind die Geräte wieder verkaufstauglich und werden am Markt angeboten.

### 3. Bewertungsmethode

#### 3.1 Bilanzierungsraum

Der Bilanzierungsraum umfasst die Herstellung und die Nutzungsphase von Smartphones und Tablets. Laut den Apple-Umweltberichten der einzelnen Produkte (iPhones, iPads) trägt die Herstellung von Smartphones und Tablets im Durchschnitt rund 80–82% und die Nutzungsphase 13–16% zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei. Der Vertrieb und das Recycling sind durchschnittlich lediglich für 3–4% bzw. 1% der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Diese Werte sind mit denen in einer Studie von Benton et al. [15] angegebenen Zahlen vergleichbar. Aufgrund des geringen Anteils wurden die Emissionen und die Ressourcenaufwendung im Vertrieb und in der End-of-Life-Phase für den ökobilanziellen Vergleich nicht berücksichtigt. Prinzipiell führt die Verlängerung der Lebensdauer zu geringeren Abfallmengen, die entsorgt werden müssen, so dass diese Annahme zu tendenziell geringeren Einsparungen durch Lebensdauererlängerungen beiträgt. Emissionen und aufgewendete Ressourcen im End-of-Life der ausgetauschten IKT-Komponenten im Refurbishment wurden im Rahmen der Studie ebenfalls vernachlässigt. Als Vergleichsgröße (funktionelle Einheit) wurde die Nutzung von Smartphones und Tablets über eine Zeitspanne von vier Jahren definiert.

Im Referenzszenario wurde definiert, dass Smartphones und Tablets nach ihrer ersten Nutzungsphase durch neue Geräte ersetzt werden. Werden die Geräte jedoch nach einer zweijährigen Nutzungsdauer einem Refurbishment unterzogen, ergibt sich das Reuse-Szenario (Wiederverwendung). Abbildung 2 veranschaulicht das Referenz- und das Reuse-Szenario.

#### 3.2 Methodik zur Bewertung der ökologischen Wirkung der Lebensdauererlängerung von Smartphones und Tablets

In einem ersten Schritt wurde geprüft, welche Gerätetypen bei Interseroh refurbisht werden und somit für die Bilanzierung repräsentativ sind. Laut einer Umfrage der International Data Corporation werden Geräte der Marke Apple und Samsung mit Abstand am häufigsten einem Refurbishment-Prozess unterzogen [16], was von Interseroh bestätigt wurde. Außerdem werden Geräte dieser Marken häufig wiederaufbereitet, da deren Neuprodukte im Geschäftskundensegment mit durchschnittlich 15% bei Apple und 22% bei Samsung einen hohen globalen Marktanteil besitzen [17]. Die Analyse dieser Studie konzentriert sich jedoch überwiegend auf Daten von Produkten der Marke Apple, da zu Samsung-Geräten keine Angaben öffentlich zugänglich sind. Apple hingegen publiziert zu jedem seiner Geräte einen Umweltbericht, der eine Abschätzung der lebenszyklusweiten Treibhausgasemission und deren Anteile in Herstellung, Nutzung, Recycling und End-of-Life Phase enthält und auch eine Aufzählung der wichtigsten verbauten Komponenten und Materialien angibt. Außerdem wurde

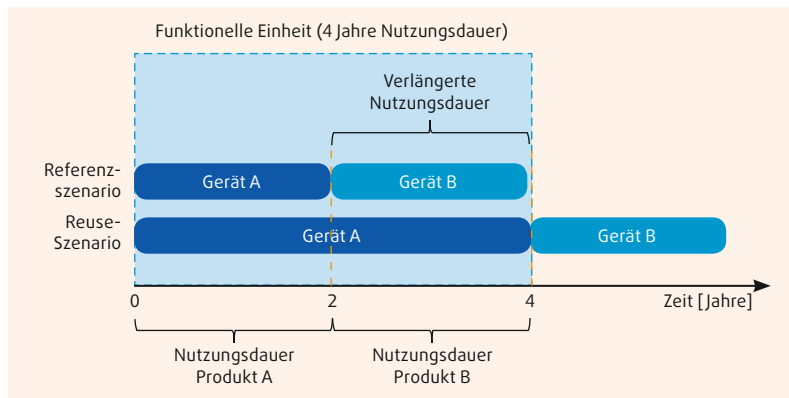


Abbildung 2  
Referenz- und Reuse-Szenarien im Vergleich

die Annahme getroffen, dass Geräte der beiden Marken zum Großteil vergleichbar sind, da diese sich in der Verbauung ihrer Materialien ähneln und die Produzenten oftmals mit denselben Zulieferern zusammenarbeiten [18].

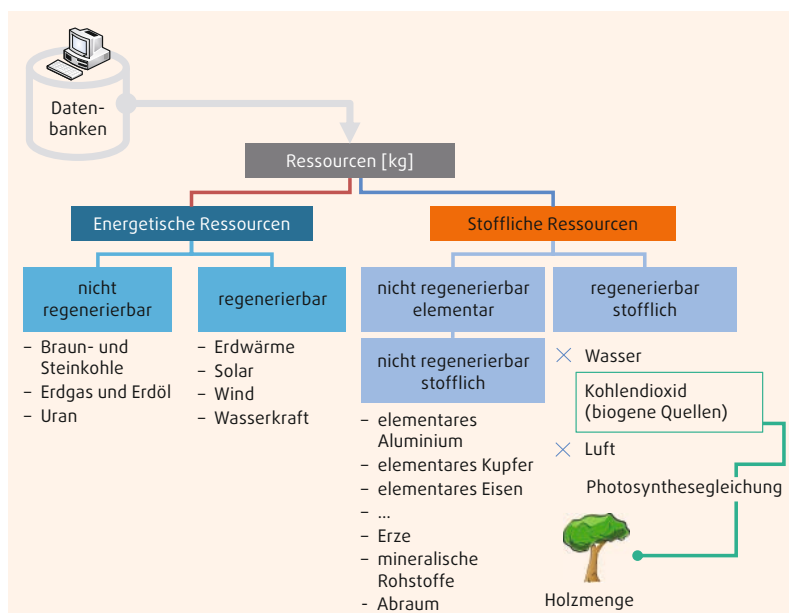
Als Referenzgeräte wurden für die Bilanzierung des Ressourcenaufwands das iPhone 6 und das iPad Pro (12,9-inch) 1<sup>st</sup> Generation ausgewählt, da diese auf dem Markt besonders häufig wiederaufbereitet werden. Das iPhone 6 ist im Vergleich zu den Nachfolgermodellen ein verhältnismäßig leichtes Gerät mit 129 g, wohingegen das iPad Pro mit 723 g tendenziell schwerer als seine Nachfolger ist.

#### Bilanzierung Ressourcenaufwand

Für die Bilanzierung des Ressourcenaufwands werden in einem ersten Schritt die durchschnittliche Materialzusammensetzung von Smartphones und Tablets auf Basis der Apple-Umweltberichte sowie weiterführender Literatur ermittelt. Der Verarbeitungsaufwand und Materialverluste im Herstellungsprozess werden für die Berechnung des Ressourcenaufwands nicht berücksichtigt, was zu einer tendenziellen Unterschätzung des Ressourcenaufwands führt. In einem weiteren Schritt werden die Ressourcenaufwendungen der Materialien ermittelt.

Zur Berechnung des ökologischen Rucksacks von Materialien gibt es das bestehende MIPS-Konzept des

Abbildung 3  
Begrifflichkeiten und Aufbau der Ressourcendatenbank in GaBi



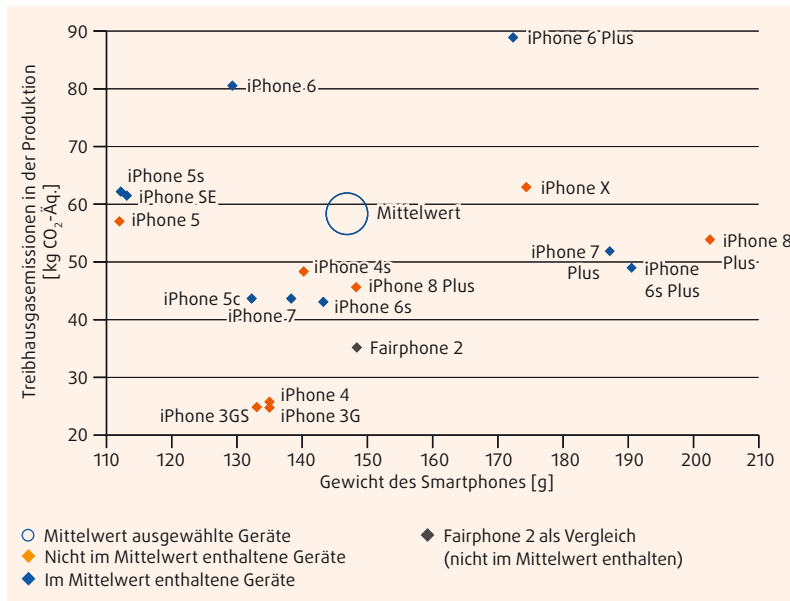


Abbildung 4  
Gewicht und Treibhausgasemissionen in der Produktion von Smartphones

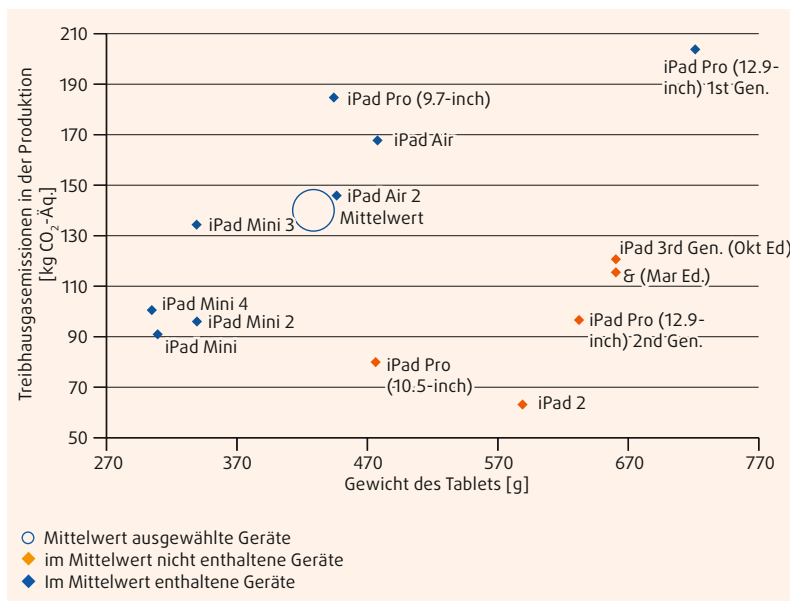


Abbildung 5  
Gewicht und Treibhausgasemissionen in der Produktion von iPads

Betrachtet werden als erste Kategorie die Ressourcen, die genutzt werden, um Energie zu erzeugen (Strom, Wärme, Dampf). Haupttreiber der Mengenzugabe sind in diesem Fall nicht regenerierbare energetische Ressourcen wie Kohle. Die zweite Kategorie schließt stoffliche Ressourcen ein, hierzu gehören z. B. Erze. Der zu bewegende Abraum wird mitbilanziert; dies ist vor allem bei Edelmetallen wie Gold oder Silber hoch relevant. Um ein kg Gold zu gewinnen, müssen gemäß dem entwickelten Indikator 570.000 kg Ressourcen bewegt werden, was deutliche Auswirkungen für die Umwelt nach sich zieht. Ein Grund dafür sind die geringen Goldkonzentrationen und die damit zusammenhängenden großen Mengen an Abraum. Die Wasser- sowie Luftmengen werden in der Bilanzierung nicht ausgewiesen, da sie die Anteile der Ergebnisse mengenmäßig zu stark dominieren würden und die eigentliche Rohstoffeinsparung eines Prozesses nicht mehr sichtbar werden würde. Alle Ergebnisse sind im Ökobilanztool GaBi parametergestützt hinterlegt. Hier ist es möglich, Prozessdaten zu aktualisieren und das System neu zu berechnen.

Für die Bilanzierung der Nutzungsphase wurde für Smartphones ein Stromverbrauch von 4 kWh/Jahr berücksichtigt [1] sowie für Tablets bei einer Nutzungsdauer von ca. 1 Stunde pro Tag [1] von 8 kWh/Jahr [1].

#### Bilanzierung Treibhausgasreduktion

Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen in der Produktion wurde der Mittelwert aus den Treibhausgasemissionswerten der iPhone-Geräte, die zwischen 2013 und 2016 erschienen sind, ermittelt. Dies entspricht den Geräten iPhone 5c bis iPhone SE bzw. den Tablets iPad Air bis iPad Pro (9.7-inch) 1st Gen. Die Treibhausgasemissionen der jeweiligen berücksichtigten Geräte und deren Gewicht sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 durch blaue Punkte dargestellt. Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen durch den Refurbishing-Prozess wurde auf Basis der bei der INTERSEROH Dienstleistungs GmbH erhobenen Primärdaten ein Ökobilanz-Modell in der Software GaBi 8.2 erstellt. Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase wurde der deutsche Strommix der GaBi-Datenbank (Service Pack 34) verwendet.

### 4. Materialzusammensetzung von Smartphones und Tablets

Auf der Basis einer umfassenden Literaturrecherche konnten die Material- und Rohstoffzusammensetzungen von Smartphones und Tablets ermittelt werden. Als Ausgangsbasis wurden die in den Apple-Umweltberichten angegebenen prozentualen Anteile der folgenden Materialien und Komponenten als Grundlage der Recherche genutzt: Batterie, Aluminium, Edelstahl, Glas, Leiterplatte, Display, Kunststoff und andere [20], [21]. Unter der Annahme, dass die Komponentenzusammensetzung in Smartphones und Tablets identisch ist, wurden einzelne Komponenten, wie zum Beispiel Batterie und Leiterplatte, mithilfe von Angaben anderer Studien zur Zusammensetzung der Komponenten ergänzt.

Wuppertal-Instituts (Material-Intensität pro Serviceeinheit, MIPS), welches Rückschlüsse für bestimmte Leistungen und Materialien ausweist [19, S. 130]. Aufgrund der spezifischen Zusammensetzung und dem Anspruch, möglichst alle Materialien abzubilden, hat Fraunhofer UMSICHT einen eigenen Ressourcenindikator entwickelt, der sich aus den verwendeten Datensätzen der Ökobilanzdatenbanken (GaBi und ecoinvent) ableiten lässt.

Die in der Ökobilanzsoftware GaBi hinterlegte Systematik der Rohstoffe ist in Abbildung 3 dargestellt und mit Beispielen für die verschiedenen Kategorien hinterlegt. Eine Besonderheit stellt dabei die Ausweisung der regenerierbaren stofflichen Ressourcen dar, in der die biotischen Rohstoffe enthalten sind. Diese werden für die Studie allerdings nicht betrachtet.

### Batterie

Auf Grundlage der Informationen der Apple-Umweltberichte wurde die Verwendung von Lithium-Ionen-Batterien in Smartphones und Tablets als Annahme getroffen. Boyden et al. [22] untersuchten die Umwelteinflüsse des Recyclings dieser Batterien und stellte die folgende Zusammensetzung fest: 28 % Lithium-Kobaltoxid, 20 % Stahl, 16 % Graphit, 14 % Polymere, 9 % Kupfer, 5,5 % Aluminium, 4 % Nickel und 3,5 % Elektrolyt. Diese wurde für Berechnungen in dieser Studie übernommen.

### Glas

Das in IKT-Geräten verbaute Glas besteht zum Großteil aus Gorilla-Glas. Dieses ist ein Aluminiumsilikat-Glas und besteht zu 60 % aus Siliziumdioxid, zu 25 % aus Aluminiumoxid und zu 15 % aus Erdalkalinoxiden wie Calcium- und Magnesiumoxid oder Calcium- und Bariumoxid [23].

### Leiterplatte

Auf der Basis von Canal Marquez et al. [24] wurde die Zusammensetzung der Leiterplatte zunächst in die Stoffgruppen Kunststoff (30 %), Keramik (30 %) und Metalle (40 %) eingeteilt. Daraufhin wurden die Stoffgruppen Kunststoff und Metalle in ihre einzelnen Materialien unterteilt. Die Stoffgruppe Kunststoff besteht laut Sum [25] größtenteils aus Polyethylen, Polypropylen, Polyester und Polycarbonat, wobei für deren prozentualen Anteile Annahmen getroffen werden mussten. Für die Bilanzierung wurde der Anteil von Polyester und Polycarbonat auf jeweils 33 % und von Polyethylen und Polypropylen auf jeweils 17 % festgelegt.

Für die Rohstoffzusammensetzung der Metalle wurde eine Studie von He et al. [26] genutzt und in die folgenden Metalle nach der Größe ihres Anteils unterteilt: Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Nickel, Zink, Silber, Gold und Palladium. Der von He et al. beschriebene Rest von 2,7 % wurde zum Anteil des Kupfergehalts addiert, da dies den größten Anteil von 20 % des gesamten Metallgehalts ausmacht. Außerdem sind mit der Produktion und Nutzung von Kupfer hohe Emissionen und Ressourcenaufwendung verbunden. Dadurch wurde eine Annahme getroffen, welche die Auswirkungen der ursprünglich im Rest enthaltenen Stoffe ausreichend abdeckt.

### Display

IKT-Displays bestehen laut Ueberschaar et al. [27] aus Polarisationsfolie und einem Glas-Substrat mit einer Indium-Zinn-Oxid Beschichtung. Diese Studie differenziert die Anteile der Materialien in Smartphones und Tablets. Smartphones enthalten demnach ca. 18 % Polarisationsfolie und ca. 82 % Glas-Substrat während die Anteile bei Tablets bei 34 % Polarisationsfolie und 76 % Glas-Substrat liegen. Dadurch liegt der Glas-Substrat-Anteil von Smartphones und Tablets bei 10 g bzw. 143 g und die Polarisationsfolie bei 2 g bzw. 44 g. Diese Angaben unterstützen die Aussage von Apple, dass weder Quecksilber noch Arsen im Display vorhanden sind [28]. Für die Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen der Produktion von Displays für das Refurbishing wurden Daten von Proske [29] für das Smartphone und Daten von Teehan [30] für das Tablet verwendet.

### Kunststoff

Zusätzliches enthaltener Kunststoff in IKT-Geräten von 5 g in Smartphones und 33 g in Tablets wurde von Hischer et al. [31] als ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) und PUR (Polyurethane) identifiziert. Beide liegen mit einem Anteil von jeweils ca. 50 % vor. Für die Verarbeitung des Kunststoffs wurde ein zusätzlicher Strombedarf von 0,7 kWh/kg Kunststoff berücksichtigt. Obwohl Apple angibt, dass Komponenten teilweise aus recyceltem Kunststoff bestehen, wurde für diese Studie mit dem Einsatz von primärem Kunststoff gerechnet, um eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Geräten zu schaffen [28].

### Andere

Den Apple-Umweltberichten zufolge beinhalten Smartphones 3 g andere Materialien und Tablets 30 g andere Metalle. Für Tablets beschreiben Schischke et al. [32] einen zusätzlichen Anteil von 3,1 % von Magnesium, was eine Menge von ca. 22 g ausmacht. Die verbliebenen 8 g Metalle sowie die 3 g der anderen Materialien in Smartphones wurden im Rahmen der Studie aufgrund von fehlenden Informationen nicht berücksichtigt.

Die Materialzusammensetzung der bilanzierten Smartphones und Tablets ist in Tabelle 1 dargestellt. Mit Hilfe des von Fraunhofer UMSICHT entwickelten Ressourceninkators konnte der Ressourcenaufwand für jedes Material bestimmt und zu einer gesamten Ressourcennutzung für Smartphones und Tablets addiert werden. Zudem wurde der Ressourcenaufwand des Wiederaufbereitungsprozesses und der Nutzungsphase mit Hilfe der entwickelten GaBi-Modelle ermittelt.

## 5. Ressourcen- und Treibhausgaseinsparungen

### 5.1 Smartphones

Bei der Produktion eines Smartphones werden ca. 58 kg CO<sub>2</sub>-Äq. ausgestoßen, während die Emissionen innerhalb der Nutzungsphase lediglich bei 4,9 kg CO<sub>2</sub>-Äq. liegen. Dieses Bild dreht sich bei Betrachtung der Ressourcenaufwendung: Hier weist die Nutzungsphase auf als die Produktion eines Smartphones, in der es zu 14 kg Ressourcenaufwendung kommt. Die Treibhausgasemissionen über den gesamten Zeitraum des Lebenszyklus eines Smartphones (2 Jahre) belaufen sich auf ca. 63 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Gleichzeitig werden ca. 46 kg Rohstoffe aufgewendet. Nach der ersten Nutzungsphase wird das gebrauchte Gerät oftmals durch ein neues Modell ersetzt (Referenzszenario). Innerhalb von 4 Jahren werden somit eine Gesamtmenge von ca. 127 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasen ausgestoßen und ca. 93 kg Ressourcen aufgewendet.

Durch das Refurbishment als Alternative zum Neukauf von Smartphones (ReUse-Szenario) entstehen Treibhausgasemissionen von lediglich ca. 0,18 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Einen Großteil des Ausstoßes dieser Treibhausgase (74 %) macht allein der etwaige Austausch der Displays und der Akkus aus. Allerdings müssen im Durchschnitt nur wenige der Displays und Akkus aus-

Tabelle 1  
Übersicht der Materialien in Smartphones und Tablets

Materialtyp		Gewicht [g] in 1 kg Smartphones	Anteil [%]	Gewicht [g] in 1 kg Tablets	Anteil [%]
<b>Kunststoffe</b>					
LDPE	Polyethylen	35,12	3,60	37,39	3,63
PP	Polypropylen	5,81	0,60	4,08	0,40
PET	Polyethylenterephthalat	11,63	1,19	8,16	0,79
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	19,38	1,98	22,82	2,21
PC	Polycarbonat	11,63	1,19	8,16	0,79
PUR	Polyurethan	19,38	1,98	22,82	2,21
<b>Metalle</b>					
Fe	Eisen	51,58	5,28	75,33	7,31
Al	Aluminium	213,06	21,81	195,66	18,98
Cu	Kupfer	45,23	4,63	60,68	5,89
Ag	Silber	0,23	0,02	0,16	0,02
Au	Gold	0,12	0,01	0,08	0,01
Pd	Palladium	0,01	0,00	0,0041	0,00
Pb	Blei	2,33	0,24	1,63	0,16
Ni	Nickel	11,33	1,16	11,86	1,15
Mg	Magnesium	0,0	0,00	31,00	3,01
Sn	Zinn	4,67	0,48	3,58	0,35
Zn	Zink	1,16	0,12	0,82	0,08
In	Indium	0,0040	0,00	0,04	0,00
C	Graphit	33,49	3,43	38,06	3,69
	Edelstahl	193,80	19,84	0	0,00
<b>Keramik</b>					
SiO <sub>2</sub>	Siliciumdioxid	74,42	7,62	91,29	8,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminiumoxid	31,01	3,17	38,04	3,69
	Sonstiges Keramik	34,88	3,57	24,48	2,37
<b>Sonstiges</b>					
LiCoO <sub>2</sub>	Lithium-Cobalt(III)-oxid	57,56	5,89	65,42	6,35
	Glas	75,98	7,78	197,25	19,13
	Erdalkalioxide	18,60	1,90	22,82	2,21
	Elektrolyt	7,33	0,75	8,33	0,81
	Cellulose Acetate	17,02	1,74	61,04	5,92

getauscht werden. Die Ressourcenaufwendung durch das Refurbishment wurde auf 0,14 kg berechnet. Wenn gebrauchte Geräte nach ihrem ersten Lebenszyklus einem Refurbishment-Prozess zugeführt werden, verlängert sich ihre potentielle Nutzungsphase um weitere 2 Jahre. Somit ergeben sich mit der Produktion und Nutzung des ersten Lebenszyklus und dem Refurbishment und der Nutzung während des zweiten Lebenszyklus insgesamt Treibhausgasemissionen von ca. 68 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und Ressourcenaufwendungen von ca. 79 kg über einen Zeitraum von 4 Jahren. Abbildung 6 zeigt die Treibhausgasemissionen und Ressourcenaufwendung der beiden Szenarien.

Aus dem Vergleich von Referenz- und Reuse-Szenarios wird deutlich, dass durch Refurbishment eines Smartphones ca. 14 kg Ressourcen und 58 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgase eingespart werden können.

## 5.2 Tablets

Die Anteile der Treibhausgasemissionen und Ressourcenaufwendung in verschiedenen Lebenszyklusphasen von Tablets verhalten sich ähnlich wie bei Smart-

phones. Während in der Produktion ca. 141 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgase ausgestoßen werden, liegen die Emissionen in der Nutzungsphase bei lediglich 10 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Dadurch ergeben sich Treibhausgasemissionen von insgesamt 151 kg CO<sub>2</sub>-Äq. über den Zeitraum der ersten Nutzungsphase. Auch bei Tablets beträgt der Lebenszyklus im Durchschnitt 2 Jahre. Die Ressourcenaufwendungen innerhalb dieser Zeit betragen 123 kg, wobei in der Produktion 58 kg und in der Nutzungsphase ca. 65 kg aufgewendet werden. Die Produktion und Nutzung von zwei neuen Tablets über einen Zeitraum von 4 Jahren (Referenzszenario) geht einher mit Treibhausgasemissionen von ca. 301 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und einem Ressourcenaufwand von 246 kg Ressourcen.

Durch das Refurbishment von Tablets entstehen Treibhausgasemissionen von ca. 1,5 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und ein Ressourcenaufwand von 0,4 kg. Auch hier macht der Austausch der Displays und Akkus mit 1,41 kg CO<sub>2</sub>-Äq. einen Großteil (86 %) der Treibhausgasemissionen aus. Insgesamt werden im Refurbishment-Prozess wie bei Smartphones ebenfalls nur wenige der Displays und Akkus ausgetauscht.

Wenn Tablets nach ihrer ersten Nutzungsphase einem Refurbishment-Prozess zugeführt werden und dadurch eine Wiederverwendung ermöglicht wird (Reuse-Szenario) verdoppelt sich ihre Lebensdauer ebenfalls auf insgesamt 4 Jahre. Dies bedeutet, im Ganzen betragen die Treibhausgasemissionen 162 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und die Ressourcenaufwendung 188 kg über einen Zeitraum von 4 Jahren. Abbildung 6 zeigt die Treibhausgasemissionen und Ressourcenaufwendungen der beiden Szenarien.

Nach Ablauf der ersten Nutzungsphase können durch Wiederaufwertung und Wiederverwendung eines Tablets im Vergleich zum Referenzszenario ca. 58 kg Ressourcen und 139 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Treibhausgasemissionen eingespart werden.

### 5.3 Diskussion

Einsparungen von Ressourcen und Treibhausgasen von Tablets und Smartphones im Vergleich zeigen ein höheres Einsparpotenzial für Tablets. Durch das Refurbishment von Tablets werden 4-mal so viele Ressourcen und fast 2,5-mal so viele Treibhausgasemissionen eingespart als bei Smartphones. Ursache dafür ist die größere Masse an Materialien, die in Tablets verbaut ist und somit durch die Wiederverwendung eingespart werden kann.

Die Ergebnisse dieser Studie stellen die Minimaleinsparungen von Treibhausgasen und Ressourcen durch Wiederverwendung dar. Verluste von Material, Verarbeitungsenergie, Transporte und Lagerung während der Beschaffung und Herstellung von Rohstoffen sowie der Fertigung von Smartphones wurden in der Life-Cycle-Analyse vernachlässigt. Ausschließlich die Transporte der gebrauchten Geräte zur Refurbishment-Anlage wurden berücksichtigt.

Einen signifikanten Einfluss auf die Ressourceneinsparung haben die (Edel-)Metalle Gold, Kupfer, Edelstahl und Aluminium. Der Einsatz von Gold allein in den IKT-Geräten macht 61 % (Smartphones) bzw. 58 % (Tablets) des gesamten Ressourcenaufwands aus. Abgesehen von den benannten Metallen machen die

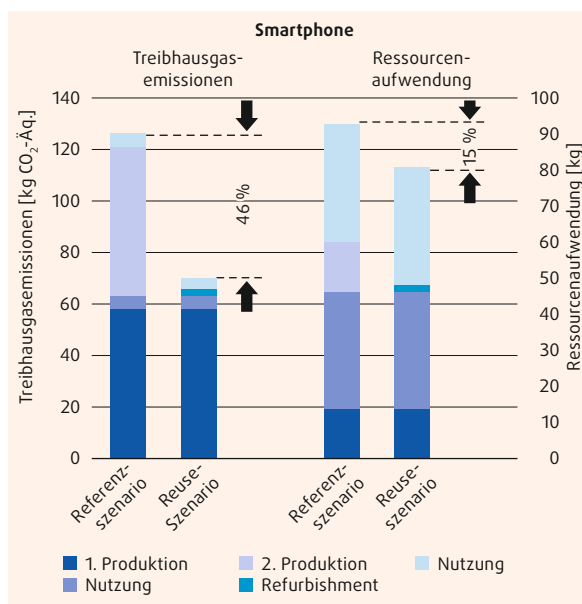


Abbildung 6  
Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen durch Reuse von Smartphones

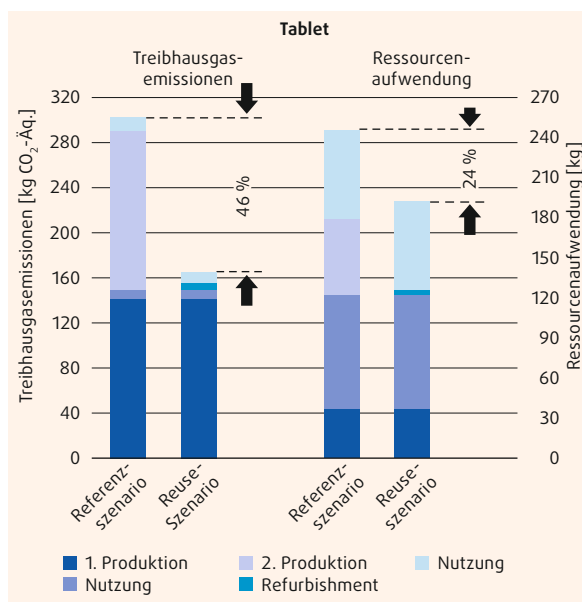


Abbildung 7  
Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen durch Reuse von Tablets



restlichen verbauten Materialien lediglich 6 % (Smartphones) bzw. 12 % (Tablets) der Ressourcenaufwendung aus. Da durch die Wiederverwendung der Geräte insbesondere Gold, Kupfer, Edelstahl und Aluminium eingespart werden, hat das Refurbishment hohe Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen zur Folge.

Für Akkus und Displays wurden in der Analyse teilweise Annahmen im Bereich der Hintergrunddaten getroffen, da keine repräsentativen Ökobilanz-Datensätze verfügbar sind. Es ist aber davon auszugehen, dass die getroffenen Aussagen belastbar sind.

## 6. Fazit

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass durch das Refurbishment und dadurch möglicher Wiederverwendung (Reuse) von Smartphones und Tablets erhebliche Treibhausgasemissionen und Ressourcenaufwendungen eingespart werden können. Des Weiteren liefert die Studie eine konventionelle Abschätzung, so dass das Potenzial der realen Einsparungen vermutlich höher liegt.

## 7. Acknowledgment

Diese Studie wurde im Auftrag der INTERSEROH Dienstleistungs GmbH durchgeführt. Die INTERSEROH Dienstleistungs GmbH ist ein Unternehmen der ALBA Group, einem weltweit tätigen Recycling- und Umweltdienstleister und Rohstoffversorger. Fraunhofer UMSICHT bilanziert jährlich die Treibhausgas- und Ressourceneinsparung durch das Recycling von ausgewählte Stoffströmen für die ALBA Group. Regelmäßig erscheint dazu die Studie „resourcesAVED by recycling“ [33].

Mit der INTERSEROH Dienstleistungs GmbH erstellte Fraunhofer UMSICHT bereits 2016/2017 eine verwandte Studie zum Thema „Treibhausgas- und Rohstoffeinsparungen durch ReUse von IT-Geräten“, welche Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen und Ressourcen durch Refurbishment von Laptops und Desktop-PCs untersuchte [34].

### Literaturangaben

- [1] **Prakash, S., Gröger, J.:** Ermittlung und Erschließung des Energie- und Ressourceneffizienzpotenzials von Geräten der Unterhaltungselektronik (2017)
- [2] **GSM Association:** The Mobile Economy, 2015. [https://www.gsma.com/mobileeconomy/archive/GSMA\\_ME\\_2015.pdf](https://www.gsma.com/mobileeconomy/archive/GSMA_ME_2015.pdf), abgerufen am: 21.02.2018
- [3] **Statista:** Consumer Electronics – Europe, 2018. <https://www.statista.com/outlook/251/102/consumer-electronics/europe#>, abgerufen am: 28.02.2018
- [4] **Statista:** Consumer Electronics – Germany, 2018. <https://www.statista.com/outlook/251/137/consumer-electronics/germany#>, abgerufen am: 28.02.2018
- [5] **Strategien gegen Obsoleszenz.** Sicherung einer Produktmindestlebensdauer sowie Verbesserung der Produktnutzungsdauer und der Verbraucherinformation, Oehme, I. u. Jacob, A., 2017
- [6] **Zink, T., Maker, F., Geyer, R., Amirtharajah, R. u. Akella, V.:** Comparative life cycle assessment of smartphone reuse. Repurposing vs. refurbishment. The International Journal of Life Cycle Assessment 19 (2014) 5, S. 1099-1109
- [7] **Statista:** Verwertung von alten Handys Statistik. Erhebungszeitraum 2008, 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169131/umfrage/verwertung-von-alten-handys/>, abgerufen am: 24.01.2018
- [8] **BMUB:** Waste electrical and electronic equipment, 2015. [www.bmub.bund.de/P1822-1/](http://www.bmub.bund.de/P1822-1/), abgerufen am: 28.02.2018

- [9] **Europäische Union:** Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (2012)
- [10] **Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T. u. Stamminger, R.:** Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“ (2016), S. 131
- [11] **Gartner Inc.:** Gartner Says Worldwide Market for Refurbished Smartphones to Reach 120 Million Units by 2017, 2015. <https://www.gartner.com/newsroom/id/2986617>, abgerufen am: 28.02.2018
- [12] **Geyer, R. u. Doctori Blass, V.:** The economics of cell phone reuse and recycling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 47 (2010) 5-8, S. 515-525
- [13] **GSM Association:** Mobile Phone Lifecycles, 2006. <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2012/03/envirobmobilelifecycles.pdf>, abgerufen am: 02.03.2018
- [14] **Nühlen, J., Hiebel, M., Maga, D. u. Pflaum, H.:** Ressourcen- und Klimaschutz durch Kupferrecycling. Eine Analyse der Rohstoffbasis. Müll und Abfall (2016) 2, S. 64-71
- [15] **A circular economy for smart devices.** Opportunities in the US, UK and India, Benton, D., Coats, E. u. Hazell, J., 2015
- [16] **Just like New:** Understanding the Secondary Smartphone Market, Stofega, W. u. Scarsella, A., 2017
- [17] **Statista:** Smartphone-Hersteller – Marktanteile am Absatz weltweit, 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173056/umfrage/weltweite-marktanteile-der-smartphone-hersteller-seit-4-quartal-2009/>, abgerufen am: 02.03.2018
- [18] **Apple Inc.:** Supplier List (2017)
- [19] **MIT-Wertetabelle.** Materialintensität von Materialien, Energieträgern, Transportleistungen und Lebensmitteln, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2014
- [20] **Apple Inc.:** iPhone 6 Environmental Report, 2014. [https://images.apple.com/environment/pdf/products/archive/2014/iPhone6\\_PER\\_sept2014.pdf](https://images.apple.com/environment/pdf/products/archive/2014/iPhone6_PER_sept2014.pdf), abgerufen am: 18.09.2017
- [21] **Apple Inc.:** iPad Pro Environmental Report, 2015. [https://images.apple.com/environment/pdf/products/archive/2015/iPadPro\\_PER\\_sept2015.pdf](https://images.apple.com/environment/pdf/products/archive/2015/iPadPro_PER_sept2015.pdf), abgerufen am: 27.10.2017
- [22] **Boyden, A., Soo, V. K. u. Doolan, M.:** The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries. Procedia CIRP 48 (2016), S. 188-193
- [23] **Technical Glasses.** Physical and Technical Properties, SCHOTT North America Inc., 2014
- [24] **Canal Marques, A., Cabrera, J.-M. u. Malfatti, C. d. F.:** Printed circuit boards. A review on the perspective of sustainability. Journal of environmental management 131 (2013), S. 298-306
- [25] **Sum, E. Y. L.:** The recovery of metals from electronic scrap. JOM 43 (1991) 4, S. 53-61
- [26] **He, W., Li, G., Ma, X., Wang, H., Huang, J., Xu, M. u. Huang, C.:** WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. Journal of hazardous materials 136 (2006) 3, S. 502-512
- [27] **Uberschaar, M., Schlummer, M., Jalalpoor, D., Kaup, N. u. Rotter, V.:** Potential and Recycling Strategies for LCD Panels from WEEE. Recycling 2 (2017) 1, S. 7
- [28] **Apple Inc.:** iPhone 6s. iPhone und der Umweltschutz, 2018. <https://www.apple.com/de/iphone-6s/specs/>, abgerufen am: 28.02.2018
- [29] **Proske, M., Clemm, C. u. Richter, N.:** Life Cycle Assessment of the Fairphone 2. 2016
- [30] **Teehan, P.:** Integrative approaches to environmental life cycle assessment of consumer electronics and connected media, University of British Columbia PhD. Vancouver 2014
- [31] **Hischier, R., Achachlouei, M. A. u. Hilty, L. M.:** Evaluating the Sustainability of Electronic Media. Strategies for life cycle inventory data collection and their implications for LCA results. Environmental Modelling & Software 56 (2014), S. 27-36
- [32] **Schischke, K., Nissen, N. F., Stobbe, L., Oerter, M., Scheiber, S., Schlösser, A., Dimitrova, G., Genz, P. u. Lang, K. D.:** Ansätze zur stofflichen Verwertung von Tablets aus Sicht des Produktdesigns. In: Recycling und Rohstoffe, K. J. Thomé-Kozmiensky & D. Goldmann, S. 217-230
- [33] **ALBA Group:** Ressourcenschonung durch Recycling, 2018. <https://www.resources-saved.com/home/>, abgerufen am: 28.02.2018
- [34] **Maga, D. u. Hiebel, M.:** Wiederverwendung von IT- und Kommunikationsgeräten schont Klima und Ressourcen, Oberhausen 2017. <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/2017/reuse.html>, abgerufen am: 05.03.2018

### Anschrift der Autoren

**Daniel Maga, Markus Hiebel, Elisabeth Banken**

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen

**Paola Viehoff**

INTERSEROH Dienstleistungs GmbH  
Stollwerkstraße 9a, 51149 Köln