

Ökobilanzierung von aufbereiteter Elektronik des Online-Marktplatzes der Refurbed Marketplace GmbH gemäß ISO 14040/44

für:

Refurbed Marketplace GmbH
Jakov-Lind-Straße 7
1020 Wien

Verfasst von:

Paul Rudorf
Jan Henjes

Fraunhofer Austria Research GmbH
Geschäftsbereich Fabrikplanung und Produktionsmanagement
Theresianumgasse 7
1040 Wien, Österreich

Wien, 19.03.2024

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes „Ermittlungsmethodik für ökologische Kennzahlen auf Produktebene für die Refurbed Marketplace GmbH“ wurde von Fraunhofer Austria eine umfangreiche Bilanzierung ökologischer Größen (CO₂-Emissionen, virtueller Wasserverbrauch und Elektroschrott) auf Produktebene für das Jahr 2022 durchgeführt.

Untersucht wurden drei Modelle unterschiedlicher Produktkategorien, welche auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertrieben werden. Dabei handelt es sich um ein Smartphone und Tablet sowie einem Laptop. Die Modelle wurden aufgrund ihres hohen Anteils am Verkaufsvolumen des Online-Marktplatzes von Refurbed ausgewählt und dienen als Referenzprodukte für eine Ermittlungsmethodik zur Bewertung von weiteren Modellen der jeweiligen Produktkategorien.

Ziel des Vorhabens war es, eine quantitative Aussage treffen zu können, inwiefern der Kauf eines aufbereiteten Elektronikgerätes gegenüber dem jeweiligen Neugerät ökologische Vorteile mit sich bringt. Hierfür wurde eine umfangreiche Datenerhebung bei Refurbed-Händlern durchgeführt sowie ein individuelles Rechenmodell erstellt, um alle anfallenden Emissionen auf Produktebene zuweisen zu können.

Die partielle Lebenszyklusanalyse der drei Modelle ist Gegenstand dieser Ausarbeitung. Die dabei gewonnenen Informationen stellen die Grundlage für eine Ermittlungsmethodik dar, welche es ermöglicht für weitere Produkte der jeweiligen Kategorien ebenfalls eine quantifizierte Aussage hinsichtlich ökologischer Kennzahlen tätigen zu können. Die Funktionsweise dieser Methodik ist nicht Gegenstand der vorliegenden Ausarbeitung, jedoch ebenfalls öffentlich zugänglich (Titel: Ermittlungsmethodik für ökologische Kennzahlen aufbereiteter Elektronik des Online-Marktplatzes der Refurbed Marketplace GmbH).

Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit des Dokumentes wird auf die Schreibweise CO₂-Äquivalente verzichtet und verallgemeinert CO₂ oder Treibhausgase (THG) verwendet.

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Refurbed Marketplace GmbH.....	5
3	Fraunhofer Austria Research GmbH.....	5
4	Begriffe und Abkürzungen.....	6
5	Berichtszeitraum.....	7
6	Grenzen der Ökobilanz.....	7
6.1	Untersuchungsgegenstand.....	7
6.2	Deklarierte Einheit.....	7
6.3	Referenzfluss.....	8
7	Systemgrenzen der deklarierten Einheit.....	10
7.1	Art der Inputs und Outputs des Systems.....	10
7.2	Entscheidungskriterien für Prozessmodule.....	12
8	Quantifizierung von Emissionsquellen.....	12
8.1	Datenquellen.....	13
8.2	Datenerfassung.....	13
9	Emissionsfaktoren.....	14
9.1	Betrachtete ökologische Größen.....	14
9.1.1	CO ₂ -Emissionen.....	14
9.1.2	Virtueller Wasserverbrauch.....	15
9.1.3	Elektroschrott.....	15
9.2	Quellen für Emissionsfaktoren.....	15
9.3	Vorgehensmodell bei der Wahl von Emissionsfaktoren.....	15
10	Unsicherheiten und Ausschlüsse.....	16
10.1	Unsicherheiten.....	16
10.2	Ausschlüsse.....	17
11	Allokationsverfahren.....	17
12	Emissionsquellen und -faktoren der Prozessmodule.....	18
12.1	Transport A-B (Einkauf).....	18
12.2	Refurbishment.....	19
12.2.1	Nicht direkt zuordenbare Emissionen.....	19
12.2.2	Direkt zuordenbare Emissionen.....	20
12.3	Vertrieb.....	21
12.4	Transport B-C (Verkauf).....	22

12.5	Nutzungsphase.....	23
13	Gegenüberstellung: Neugerät und Refurbed Produkt	25
13.1	Gegenüberstellung Smartphone.....	26
13.2	Gegenüberstellung Tablet.....	27
13.3	Gegenüberstellung Laptop.....	29
13.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	31
14	Interpretation der Ökobilanzierung	31
15	Werthaltung und zeitlicher Gültigkeitsbereich	32
16	Bericht zur Vermarktung der Ergebnisse.....	32
17	Verifizierung der Ökobilanzierung.....	32
18	Literaturverzeichnis	33

1 Einleitung

Bei der vorliegenden Ausarbeitung handelt es sich um die begleitende Dokumentation einer Ökobilanzierung gemäß ISO-Norm 14040/44. Untersucht wurden drei Elektronikgeräte der Kategorie Smartphone, Tablet und Laptop hinsichtlich der ökologischen Größen CO₂-Emissionen, virtueller Wasserverbrauch und Elektroschrott. Das Projekt wurde durch die Refurbed Marketplace GmbH initiiert und operativ von der Fraunhofer Austria Research GmbH durchgeführt.

2 Refurbed Marketplace GmbH

Die Refurbed Marketplace GmbH (in Folge kurz Refurbed) ist der am schnellsten wachsende Online-Marktplatz für refurbished Produkte in der gesamten DACH-Region. 2017 von Peter Windischhofer, Kilian Kaminski und Jürgen Riedl in Wien gegründet, beschäftigt Refurbed mittlerweile rund 300 Personen. Die Plattform bietet vollständig erneuerte elektronische Geräte bis zu 40 % günstiger und mit mindestens zwölf Monaten Garantie an. Durch das Refurbishment haben diese Produkte im Vergleich zum Kauf eines Neugerätes einen wesentlich geringeren negativen Einfluss auf die Umwelt. Weiters finanziert refurbed unterschiedliche Umweltschutzprojekte wie die Wiederherstellung von Ökosystemen in Äthiopien, das Recycling von Elektroschrott in Ghana sowie innovative Projekte zur Entfernung von CO₂ in Europa, um die Umweltauswirkungen der Produkte weiter zu verringern. Mittlerweile umfasst das Sortiment auf dem Marktplatz mehrere tausend Produkte – von Smartphones, Tablets und Laptops bis hin zu Haushaltsgeräten oder E-Bikes.

3 Fraunhofer Austria Research GmbH

Die Fraunhofer Austria Research GmbH (in Folge kurz FhA) ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die durch Forschungsaktivitäten wichtige gesellschaftspolitische Aufgaben löst. Das Unternehmen verfolgt keine eigennützigen Ziele und strebt keinen unternehmerischen Profit an. Das Ziel ist es, großen Nutzen für die österreichische Gesellschaft zu stiften:

- Durch aktiven Wissenstransfer unserer Forschungsergebnisse trägt FhA zur Informationsvielfalt und Bewusstseinsbildung in der österreichischen Gesellschaft, insbesondere im Kernthema Nachhaltigkeit in der Produktion und Logistik, bei.
- Durch aktiven Innovationstransfer setzt FhA Maßnahmen zur Förderung der Allgemeinheit auf geistigem Gebiet, insbesondere bei der Übersetzung von grundlagenorientiertem in anwendungsnahe Wissen für mehr Nachhaltigkeit in Produktion und Logistik.

Im Rahmen von Industrieprojekten arbeitet FhA als innovativer Partner mit Unternehmen unterschiedlichster Tätigkeitsfelder zusammen. Gemeinsam mit dem Kunden werden im Projektteam konkrete Aufgabestellungen rund um Produktion und Logistik gelöst. Das Thema ökologische Nachhaltigkeit hat dabei in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen und stellt einen festen Bestandteil der Ziele unserer Forschungspartner dar.

4 Begriffe und Abkürzungen

Refurbed	Online-Marktplatz für aufbereitete Elektronikgeräte.
DLGTB	D aten l öschen, G erät t esten und b ewerten (DLGTB): Prozess, welcher zum Ziel hat ein gebrauchtes Gerät auf die Werkseinstellungen zurückzusetzen, das Gerät auf Funktionsfähigkeit zu prüfen sowie dieses anhand von festgelegten optischen Kriterien zu bewerten und einem Produkt-Grading (A, B, C) zuzuordnen. Dieser Prozess muss von jedem Gerät, welches auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertrieben wird, durchlaufen werden.
Aufbereitung	Aufbereitungsprozess, welcher zum Ziel hat, defekte oder optisch verschlissene Komponenten zu ersetzen.
Refurbishment	Gesamter Prozess: DLGTB und Aufbereitung
Refurbed-Produkt	Produkt, welches auf dem Online-Marktplatz von Refurbed angeboten wird.
Refurbed-Händler	Unternehmen, welches das DLGTB sowie gegebenenfalls eine Aufbereitung durchführt und die Refurbed-Produkte auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertreibt.
Reseller	Refurbed-Händler, welcher lediglich den Prozess DLGTB durchführt und die Refurbed-Produkte auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertreibt.
Refurbisher	Refurbed-Händler, welcher alle notwendigen Prozessschritte für ein Refurbishment durchführt und die Refurbed-Produkte auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertreibt.
CCF	Corporate Carbon Footprint – Bilanzsumme aller CO ₂ -Emissionen, welche einer Einrichtung zuzuordnen sind.
PCF	Product Carbon Footprint – Bilanzsumme aller CO ₂ -Emissionen, welche entlang des Lebenszyklus eines definierten Produktes anfallen.
EQ	Emissionsquelle
EF	Emissionsfaktor
ua.	unter anderem
ggf.	gegebenenfalls

5 Berichtszeitraum

Der Untersuchungszeitraum für die vorliegende Ökobilanzierung ist das Geschäftsjahr 2022, welches dem Kalenderjahr 2022 entspricht. Zur fortlaufenden Bewertung der Emissionen wurde das Jahr 2021 als Basisjahr definiert und dient als firmeninternes Referenzjahr, um die Auswirkungen von Reduktionsprojekten zu bewerten.

6 Grenzen der Ökobilanz

Im Nachfolgenden wird der Untersuchungsgegenstand definiert und abgegrenzt. Dies gewährleistet die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit verwandten Produkten und sorgt für Transparenz gegenüber Interessenten.

6.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind Elektronikgeräte, welche auf dem Online-Marktplatz von Refurbed vertrieben werden. Dabei handelt es sich um Geräte, welche bereits von einem/einer Endkonsument:in genutzt wurden. Der hier betrachtete Prozess unterscheidet sich vom klassischen Recycling maßgeblich. Es wird nicht das Abfallprodukt Elektronikgerät verwertet, sondern das noch funktionsfähige Produkt wird für eine weitere Nutzung aufbereitet. Hierfür wird das Gerät nach der ersten Nutzungsphase von dessen Lebenszyklus entkoppelt und nach Abschluss der zweiten Nutzungsphase, wenn eine weitere Aufbereitung aus ökonomischer Sicht nicht mehr sinnvoll ist, diesem wieder zugeführt. Ziel von diesem Prozess ist es, die Lebensdauer eines Elektronikgerätes signifikant zu verlängern und so wertvolle Ressourcen einzusparen, indem das Gerät möglichst lange in Verwendung bleibt.

Um eine Bilanzierung ökologischer Größen gemäß den bestehenden Standards umzusetzen und die Vergleichbarkeit gegenüber dem jeweiligen Neugerät zu wahren, ist eine klare Definition des Untersuchungsgegenstandes notwendig. Die Wahl der deklarierten Einheit und des Referenzflusses wurde daher, wie im Nachfolgenden beschrieben, definiert.

6.2 Deklarierte Einheit

Die vorliegende Ausarbeitung behandelt einen partiellen Produkt Fußabdruck. Betrachtet wird ein zweiter Lebenszyklus, welcher nicht an einen vorangegangenen Lebenszyklus anschließt, sondern parallel zu diesem verläuft. Abbildung 1 zeigt diesen Vorgang anschaulich.

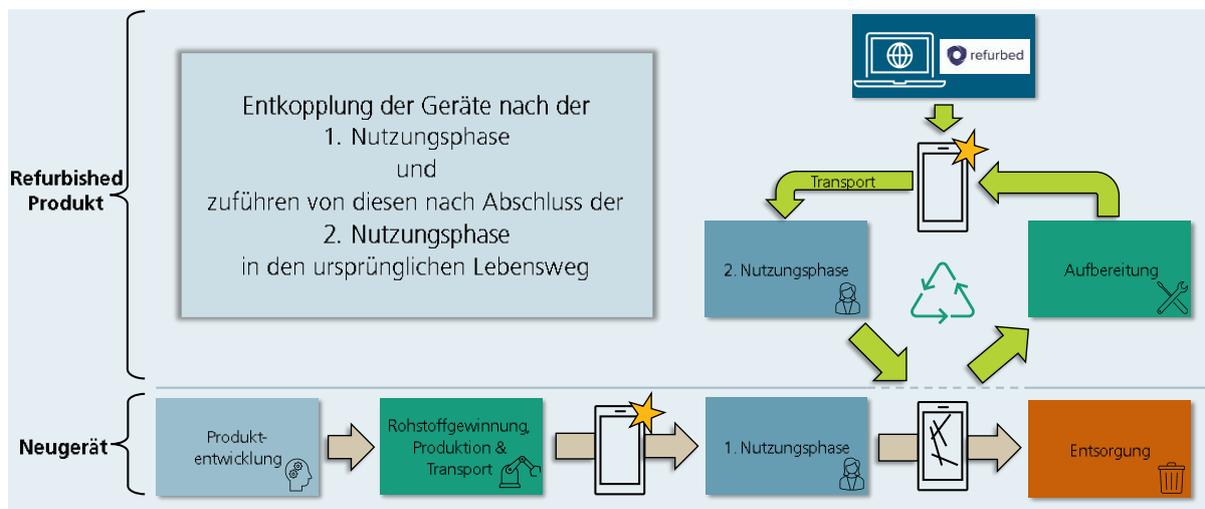


ABBILDUNG 1: LEBENSZYKLUS NEUGERÄT VS. REFURBED-PRODUKT

Ziel des Aufbereitungsprozesses ist es, dem Konsumenten ein Elektronikgerät anbieten zu können, welches weitestgehend dieselben Kriterien erfüllt wie ein Neugerät. Ist der/die Käufer:in bereit, auf die „neueste“ Technologie zu verzichten, so kann er ein optisch einwandfreies und technisch voll funktionsfähiges Gerät erwerben. Dieses hat durch den reduzierten Einsatz von Ressourcen einen weit weniger negativen Einfluss auf die Umwelt im Vergleich zu dem jeweiligen Neugerät.

Die deklarierte Einheit wird daher als „**Kauf eines Elektronikgerätes**“ definiert.

Alle Emissionen aus dem ersten Lebenszyklus werden dem/der Erstbesitzer:in zugeschrieben. Jene Emissionen, welche durch das Refurbishment verursacht werden, werden dem/der Zweitbesitzer:in zugeschrieben.

Tabelle 1 zeigt die analysierten Geräte. Es handelt sich dabei um Produkte des Herstellers Apple. Die Modelle wurden aufgrund ihres hohen Anteils am Verkaufsvolumen des Online-Marktplatzes von Refurbed ausgewählt.

TABELLE 1: ÜBERSICHT UNTERSUCHTE GERÄTE

Kategorie	Hersteller	Modell	Variante	Einführung
Smartphone	Apple	iPhone 12	64 GB	2020
Tablet	Apple	iPad 6	9,7", 32 GB	2018
Laptop	Apple	MacBook Air	13,3", 1,8 GHz, 8 GB	2017

6.3 Referenzfluss

Der jeweilige Referenzfluss inkludiert sämtliche Prozesse, welche notwendig sind, um das Elektronikgerät der Kundschaft anbieten zu können (deklarierte Einheit). Ebenso sind Prozessschritte wie Verpackung und Versand, aber auch das Entsorgen des Endgerätes oder einzelner Komponenten mitberücksichtigt. Die im Folgenden aufgeführten Prozessmodule können auf Basis von Primär- oder Sekundärdaten bewertet werden. Eine Ausnahme stellt das Prozessmodul Nutzungsphase dar, da keine Angaben bezüglich der tatsächlichen Nutzungsdauer

bestehen. Es wird jedoch seitens der Hersteller eine voraussichtliche Nutzungsdauer angegeben, welche die in der Realität tatsächlich vorherrschende Dauer übersteigt (Rainer Pamminger, 2021). Um die Vergleichbarkeit gegenüber bestehenden Aussagen hinsichtlich Gesamtemissionen zu wahren, wurde für diese Untersuchung ebenfalls die von dem Hersteller angegebene Nutzungsdauer verwendet. Tabelle 2 zeigt den Referenzfluss für ein Neugerät.

TABELLE 2: REFERENZFLUSS: LEBENSZYKLUS NEUGERÄT

	Prozessmodul	Bedeutung	Verantwortung
Referenzfluss: Lebensphase Neugerät	Produktentwicklung	Tätigkeiten, welche durch die Entwicklung des Produktes entstehen	Produkthersteller
	Rohstoffgewinnung und Verarbeitung	Abbau sowie Weiterverarbeitung der benötigten Rohstoffe zu funktionsfähigen Einzelkomponenten	Komponentenhersteller
	Transport	Transport: Einzelkomponenten → Produktion	Komponentenhersteller
	Produktion	Zusammenbau der Einzelkomponenten zu einem Fertigprodukt	Produkthersteller
	Transport	Transport: Fertigprodukt → Vertriebsstelle	Produkthersteller
	Vertrieb	Direktvertrieb der Geräte mittels Onlinestore oder durch einen autorisierten Fachhändler	Vertriebsstelle
	Nutzungsphase	Emissionen, welche durch die Nutzung entstehen	1. Besitzer:in
	Transport	Transport: 1. Besitzer:in → Entsorgung	Produkthersteller
	Entsorgung	Emissionen, welche durch die Entsorgung des nicht mehr benötigten Geräts entstehen	Produkthersteller

Tabelle 3 zeigt den Referenzfluss für ein Refurbed-Produkt. Der Prozessschritt „Aufbereitung“ inkludiert alle Tätigkeiten und Ressourcen, welche notwendig sind, um das Gerät in den gewünschten Zustand zu versetzen. Benötigte Ersatzteile wie z. B. Display, Batterie oder Ladekabel werden mit ihrem vollständigen Lebenszyklus (Cradle-to-Grave) in die Bilanzierung aufgenommen.

TABELLE 3: REFERENZFLUSS: REFURBED-PRODUKT

	Prozessmodul	Bedeutung	Verantwortung
Referenzfluss: Lebensphase Refurbed-Produkt	Transport A-B (Einkauf)	Transport: Gebrauchtgeräte → Refurbed-Händler	Refurbed-Händler
	Refurbishment	DLGTB und ggf. Aufbereitung von gebrauchten Geräten; Ersatzteile, welche für die Aufbereitung der Geräte notwendig sind	Refurbed-Händler
	Vertrieb	Vertrieb der Geräte auf einem Online-Marktplatz	Refurbed
	Transport B-C (Verkauf)	Transport: Refurbed-Produkt → Kundschaft	Refurbed-Händler
	Nutzungsphase	Emissionen, welche durch die Nutzung entstehen	2. Besitzer:in

7 Systemgrenzen der deklarierten Einheit

Die Wahl der Systemgrenzen ist an zwei Entscheidungsprozesse gebunden. Zum einen sollten möglichst wenig Emissionsquellen außerhalb der Systemgrenzen liegen, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Wichtige Faktoren hierbei sind die Verfügbarkeit von Daten und wie umfangreich eine Auswertung dieser ist. Zum anderen muss die Vergleichbarkeit gegenüber dem jeweiligen Referenzprodukt gegeben sein. Es ist daher notwendig, gegebenenfalls Positionen, welche nicht zwingend von der ISO-Norm 14040/44 gefordert werden, zu inkludieren oder Emissionsquellen für eine Gegenüberstellung temporär auszuklammern.

7.1 Art der Inputs und Outputs des Systems

Gemäß ISO 14040/44 sind für die Bilanzierung eines Lebenswegs folgende Phasen zu berücksichtigen:

1. Rohstoffgewinnung
2. Konstruktion (Produktentwicklung)
3. Produktion
4. Transport/Auslieferung
5. Anwendung (Nutzungsphase)
6. Behandlung am Ende des Lebenswegs (Entsorgung)

Für die vorliegende Untersuchung wurden, wie in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt, alle Phasen/Prozessmodule berücksichtigt. Die Norm sieht vor, dass sämtliche Positionen in einer Phase erfasst werden, welche direkt mit dem Produkt in Verbindung stehen.

Um die Vergleichbarkeit gegenüber dem jeweiligen Neugerät zu wahren und dem Ansatz der konservativen Wahl von Systemgrenzen gerecht zu werden, wurden die nachfolgenden Positionen angepasst.

- **Pendelverhalten**

Das Pendelverhalten der Mitarbeiter:innen muss bei der Bilanzierung eines Refurbed-Händlers gemäß Norm nicht zwingend inkludiert werden, da diese Aktivität nicht direkt dem Aufbereitungsprozess zuzuordnen ist. Der CO₂-Fußabdruck von Neugeräten berücksichtigt diese Emissionsquelle jedoch, weshalb aus Gründen der Vergleichbarkeit diese Aktivität bei Refurbed-Produkten ebenfalls berücksichtigt wurde.

- **Transport/Auslieferung**

Nachstehend sind jeweils die Transportbeziehungen auf Einrichtungsebene eines Neugeräts und eines Refurbed-Produktes aufgeführt (Tabelle 4).

TABELLE 4: ÜBERSICHT TRANSPORTAKTIVITÄTEN

Transporttätigkeiten bei Neugerät			
Quelle		Senke	nicht / inkludiert
Einzelkomponenten	→	Produktion Neugerät	inkludiert
Produktion Neugeräte	→	Großhandel	inkludiert
Großhandel	→	Zwischenhandel	inkludiert
Großhandel	→	Fachgeschäft	inkludiert
Zwischenhandel	→	Endkund:in	(nicht) inkludiert
Fachgeschäft	→	Endkund:in	(nicht) inkludiert
Endkund:in	→	Entsorgung	inkludiert
Transporttätigkeiten bei Refurbed-Produkt			
Quelle		Senke	nicht / inkludiert
Gebrauchtgeräte	→	Refurbed-Händler	inkludiert
Refurbed-Händler	→	Endkund:in	inkludiert

Aus der Dokumentation des Herstellers ist nicht klar ersichtlich, ob die gesamte Transportkette bei der Bilanzierung der ökologischen Größen berücksichtigt wurde. Konkret besteht die Möglichkeit, dass der letzte Transportschritt hin zum/zur Endkund:in bei Neugeräten ausgeklammert wurde. Es handelt sich dabei um die Abholung der Neugeräte von einem/einer Endkund:in bei einem Fachhändler und um das Versenden von Neugeräten von einem Zwischenhändler zum/zur Endkund:in (Apple_Environmental_Progress_Report, 2023). Grund hierfür ist die unzureichende Datenlage sowie die Vielzahl an Möglichkeiten, welche die Kundschaft hat, ein Produkt zu erwerben. Dazu zählen Online-Vertrieb (analog zu Refurbed), das Abholen in einem Fachgeschäft (Retail Store) oder auch im Elektronikgroßhandel. Die Anreise zu den Geschäften kann mit einem Kraftfahrzeug auf fossiler Basis sein, aber auch emissionsarm mit dem Fahrrad geschehen. Auf Basis der vielfältigen Möglichkeiten stellt die Bilanzierung von diesem Schritt eine große Herausforderung dar. Refurbed-Produkte besitzen hingegen keine derart vielschichtige Transportkette, da die Produkte ausschließlich online verkauft werden und in der Regel keine weiteren Zwischenhändler in der Prozesskette inkludiert sind. Dies führt dazu, dass der Transport transparent, nachvollziehbar und mit genügend Daten belegt werden kann, sodass bei der

vorliegenden Bilanz von Refurbed der Transport zu den Endkund:innen explizit mitaufgenommen wird. Der konservative Ansatz gewährleistet, dass ein Vergleich und die Kommunikation der Ergebnisse nach außen uneingeschränkt möglich ist. Darüber hinaus ist zu beachten, dass bei Neugeräten die Emissionen aus dem Prozessmodul Transport lediglich einen Anteil zwischen 2-4 % an den Gesamtemissionen haben (Apple iPhone 12, 2020), (Apple MacBook Air 13,3", 2017), (Apple iPad (6. Generation), 2018). Ein Inkludieren des letzten Transportschrittes hin zum/zur Endkund:in würde diesen Anteil voraussichtlich um 10 % erhöhen. Demnach würde der ökologische Fußabdruck eines Neugeräts um ca. 0,5 % ansteigen, was keine signifikante Änderung der Gesamtemissionen zur Folge hat. Eine Anpassung wäre jedoch damit verbunden, dass der öffentlich verfügbare Emissionswert bei der Herstellerfirma nicht mit dem im Bericht verwendeten übereinstimmt. Aus diesem Grund wird auf eine Anpassung der Emissionsquelle für Neugeräte verzichtet und eine mögliche Überschätzung der Emissionen eines Refurbed-Produktes, verglichen mit dem jeweiligen Neugerät in Kauf genommen.

- **Nutzungsdauer**

Die Nutzungsdauer von Neugeräten wird laut Hersteller mit drei Jahren für Smartphones und Tablets sowie mit vier Jahren für Laptops angegeben (Apple iPhone 12, 2020). Software-Updates sind hingegen deutlich länger verfügbar, womit die softwareseitige Sicherheit weit über die 1. Nutzungsphase hinaus gewährleistet ist (Apple Sicherheitsupdates, 2023). Die tatsächlich mögliche Nutzungsdauer von Elektronikgeräten weicht daher von den Herstellerangaben ab. Ein Berücksichtigen der jeweils tatsächlichen Zeitspanne bedarf einer umfangreichen Analyse, welche nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung ist. Die Nutzungsdauer wurde daher für die jeweiligen Produkte, wie in Tabelle 5 dargestellt, festgelegt. Für Refurbed-Produkte wurde die Differenz zwischen der 1. Nutzungsphase und der durchschnittlichen Softwareverfügbarkeit gewählt.

TABELLE 5: NUTZUNGSDAUER (ANGABEN IN JAHRE)

Modell	Neugerät [Jahre]	Softwareunterstützung [Jahre]	Refurbed-Produkt [Jahre]
Apple iPhone 12	3	6	3
Apple iPad 6	3	6	3
Apple MacBook Air	4	8	4

7.2 Entscheidungskriterien für Prozessmodule

Die vorliegende Untersuchung stellt den Lebenszyklus eines Neugerätes dem eines Refurbed-Produktes gegenüber. Wie in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt, unterscheiden sich die jeweiligen Referenzflüsse und somit die Prozessmodule. Auch wenn sich diese Module nicht decken, wurden alle Positionen, welche für einen Vergleich der deklarierten Einheit notwendig sind, berücksichtigt.

8 Quantifizierung von Emissionsquellen

Als Emissionsquelle werden sämtliche Aktivitäten bezeichnet, welche eine ökologische Wirkung sowohl positiv als auch negativ zur Folge haben. Im Nachfolgenden wird der Prozess der Identifikation dieser Quellen beschrieben.

8.1 Datenquellen

Im Rahmen des Projektes wurden Daten bei den zwei Hauptakteuren zur Bereitstellung eines Refurbed-Produktes erhoben. Refurbed als Online-Marktplatz und einem Refurbed-Händler, welche das Refurbishment der Elektronikgeräte durchführen. Weitere Beteiligte wie z. B. Ersatzteilhersteller, Transportunternehmen oder Recyclingunternehmen wurden nicht in den individuellen Datenerfassungsprozess mit aufgenommen, da hierzu in Öko-Datenbanken (z. B. Ecoinvent) ausreichend Informationen zur Verfügung stehen.

8.2 Datenerfassung

Die zur Bilanzierung der ökologischen Größen notwendigen Daten wurden im Rahmen einer vor Ort Analyse durch FhA erhoben sowie mittels Fragebogen ergänzt. Analysiert wurden zwei Referenzhändler sowie der Online-Marktplatz Refurbed. Die Wahl der Referenzhändler wurde auf Basis der Übereinstimmung mit den definierten Referenzprodukten gewählt mit dem Ziel, dass diese Händler eine repräsentative Menge der Produkte im Untersuchungszeitraum bearbeitet haben. In der Branche ist es üblich, dass sich Händler auf Produktgruppen und Hersteller spezialisieren, um den Aufbereitungsprozess möglichst effizient zu gestalten. Im nachfolgenden sind die analysierten Referenzhändler aufgeführt.

Händler A:

- Name: Remarketed
- Standort: Groningen (Niederlande)
- Referenzprodukte: Smartphone und Tablet

Händler B:

- Name: Okamac
- Standort: Angers (Frankreich)
- Referenzprodukte: Laptop

Im Rahmen der vor Ort Analyse konnten sämtliche Prozessschritte, welche für die Aufbereitung von Elektronikgeräten notwendig sind, aufgenommen werden. Diese sind im Wesentlichen:

1. Einkauf der gebrauchten Geräte
2. Löschen sämtlicher Daten, welche sich auf dem Gerät befinden
3. Funktionale und optische Prüfung der Geräte
4. Instandsetzen von funktionalen und optischen Mängeln
5. Reinigen des Geräts
6. Bewertung der Geräte gemäß der von Refurbed gesetzten Kriterien
7. Lagerung der Geräte
8. Verpackung und Versand an Endkonsument:innen

Mittels Fragebogen wurden Daten zu den zuvor identifizierten Emissionsquellen erhoben. Diese umfangreiche Datenerhebung teilt sich in drei Kategorien auf, welche nachfolgend beschrieben sind:

- **Ökologischer Fußabdruck – Unternehmensebene**
 - Inhalt: Vorgefertigte Bilanz i. A. an die ISO-Norm 14064-1, welche bereits mit den wesentlichen Emissionsquellen befüllt wurde (Scope 1 bis 3).
 - Ziel: Quantifizierung aller wesentlichen Emissionsquellen der Referenzhändler sowie des Online Marktplatzes Refubred.
 - Aufgabe: Befüllen der vorgefertigten Positionen mit den im Unternehmen angefallenen Mengen sowie ergänzen von weiteren wesentlichen Quellen (Jahr: 2022).
- **Allgemeine Informationen**
 - Inhalt: Unternehmensspezifische Fragen zu den definierten Referenzprodukten sowie zum Aufbereitungsprozess im Allgemeinen (z. B. Prozesszeiten von Bearbeitungsschritten).
 - Ziel: Adäquate Verteilung der nicht direkt zuordenbaren Emissionen (aus dem ökologischen Fußabdruck auf Unternehmensebene) auf die Referenzprodukte.
 - Aufgabe: Beantworten der definierten Fragen.
- **Pendelverhalten**
 - Inhalt: Mitarbeiter:innen-Befragung zum Pendelverhalten in Form einer Online-Umfrage.
 - Ziel: Erfassen der zurückgelegten Kilometer je definiertem Transportmittel durch das Pendeln der Mitarbeiter:innen zum Arbeitsplatz.
 - Aufgabe: Beantworten der definierten Fragen von möglichst vielen Mitarbeiter:innen.

9 Emissionsfaktoren

Jede Emissionsquelle besitzt idealerweise einen eigenen Emissionsfaktor, welcher den ökologischen Einfluss bezogen auf die Grundmenge beinhaltet. Das Produkt aus Emissionsquelle und -faktor stellt die im Betrachtungszeitraum zu verantwortende Gesamtmenge der jeweiligen Emissionen dar.

9.1 Betrachtete ökologische Größen

Jede ökologische Größe besitzt eine definierte Einheit ihres Emissionsfaktors. Im Rahmen des Projektes wurden drei ökologische Größen analysiert, welche als besonders relevant für den Untersuchungsgegenstand identifiziert wurden. Im Nachfolgenden sind diese aufgeführt und beschrieben.

9.1.1 CO₂-Emissionen

Für eine normkonforme Bilanzierung und Berichterstattung gemäß ISO 14040/44 müssen laut Kyoto-Protokoll (Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen) sieben Arten von Treibhausgasen bilanziert werden. Diese werden gesammelt und gewichtet unter dem Namen CO₂-Äquivalent geführt.

Dabei handelt es sich um die nachfolgenden Gase:

- Kohlendioxid (CO₂)
- Methan (CH₄),
- Distickstoffoxid (N₂O)
- Fluorkohlenwasserstoffe (HFC)
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC)
- Schwefelhexafluorid (SF₆)
- Stickstofftrifluorid (NF₃)

Als Berechnungsmethode für die CO₂-Emissionen wird der IPPC 2021 – GWP100a verwendet. Die Gesamtbruttoemissionen werden in Kilogramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalente [kg CO₂] angegeben.

9.1.2 Virtueller Wasserverbrauch

Als Berechnungsmethode für die Bilanzierung des virtuellen Wasserverbrauchs wird die Kategorie „Wassernutzung“ des Developer Environmental Footprint Version 3.1 (EF v3.1) verwendet. Es handelt sich dabei um eine Bewertung mittels des „Available Water REmaining“-Modell (AWARE-Modell), welches den Wasserverbrauch gewichtet nach Mangel bewertet.

Die Methode basiert auf der Quantifizierung des relativen verfügbaren Wassers, das pro Gebiet verbleibt, sobald der Bedarf der Menschen und der aquatischen Ökosysteme gedeckt ist (Boulay, et al., 2017). Sie inkludiert Charakterisierungsfaktoren, welche abhängig vom Gebiet zwischen 0,1 und 100 liegen kann.

Bei der in Liter [l] angegebene Menge handelt es sich demnach nicht um die tatsächlich benötigte Menge an Wasser, sondern um einen virtuellen Wert, welcher die Gegebenheiten am Ort der Wassernutzung mitberücksichtigt.

Als Beispiel: 1 Liter Trinkwasser hat in Europa (Faktor: 0,5-10) einen anderen Stellenwert wie in einem Abbaugbiet für Lithium (Rohstoff für Li-Ion-Akkumulatoren), welches sich z. B. in Chile (Faktor 60-100) befindet (Boulay, et al., 2017).

9.1.3 Elektroschrott

Die Einheit Elektroschrott beziffert die Menge an Elektronikkomponenten, welche aufgrund von optischen oder funktionalen Mängeln im Zuge des Aufbereitungsprozesses ausgetauscht werden. Die Gesamtbruttoemissionen werden in Gramm [g] angegeben.

9.2 Quellen für Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren wurden soweit möglich aus der Datenbank Ecoinvent entnommen, um höchste Qualität und Vergleichbarkeit der Werte sicherzustellen. Konnten keine passenden Faktoren gefunden werden, wurde auf wissenschaftliche Veröffentlichungen (Umweltbundesamt und Studien anerkannter Einrichtungen) zurückgegriffen.

9.3 Vorgehensmodell bei der Wahl von Emissionsfaktoren

Die Wahl der Emissionsfaktoren (EF) wurde anhand eines von FhA entwickelten Vorgehensmodells durchgeführt, welches in Anlehnung an die Anforderungen der ISO 14064-1 erstellt wurde. Abbildung 2 zeigt die fünf Stufen, welche von oben nach unten vom Anwender durchlaufen

werden. Das Vorgehensmodell gewährleistet, das stets der am besten passende Emissionsfaktor für eine Emissionsquelle (EQ) verwendet wird, unabhängig von der bearbeitenden Person.

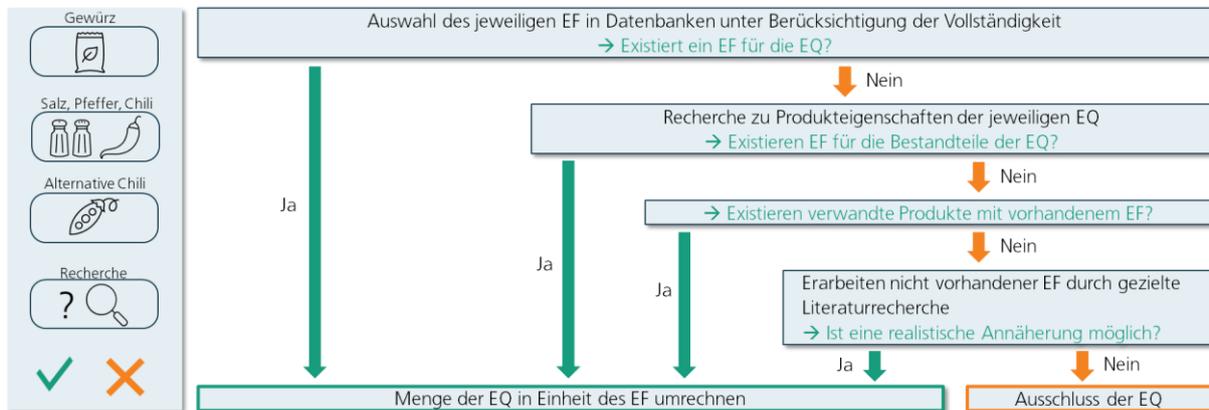


ABBILDUNG 2: VORGEHENSMODELL EF-RECHERCHE

10 Unsicherheiten und Ausschlüsse

Das Erheben und Auswerten von Daten, ist stets mit Ungenauigkeiten verbunden. Im Nachfolgenden ist beschrieben, wie dieser Faktor bei der vorliegenden Ausarbeitung berücksichtigt wurde.

10.1 Unsicherheiten

Die Verwendung sekundärer Daten während der Datenerhebung und Auswertung ist die Hauptursache für Unsicherheiten der Ergebnisse. Um einen zu geringen und damit nicht realen ökologischen Fußabdruck eines Produktes auszuschließen, wurde jeder Wert, welcher für die Berechnung der THG-Emissionen notwendig war, mit einem Sicherheitsfaktor ergänzt. Nachstehend ist der verwendete Leitfaden zur Identifikation eines passenden Sicherheitsfaktors aufgeführt.

- **Emissionsquellen**
 - Primärdaten: 90 - 99 %
 - Sekundärdaten: 80 - 89 %
- **Emissionsfaktoren**
 - Hohe Übereinstimmung: 95 - 99 %
 - Der EF konnte in einer Datenbank wie Ecoinvent oder Umweltbundesamt gefunden werden oder wurde in einschlägiger Literatur behandelt.
 - Mittlere Übereinstimmung: 90 - 94 %
 - Der EF konnte größtenteils aus Teilprodukten zu dem benötigten Produkt zusammengesetzt werden.
 - Geringe Übereinstimmung: 80 - 89 %
 - Der EF konnte nicht recherchiert werden und es wurde auf den EF eines verwandten Produktes zurückgegriffen.

10.2 Ausschlüsse

Abhängig von der verfügbaren Datenlage für den Untersuchungsgegenstand kann es notwendig sein, dass getätigte Ausschlüsse innerhalb der Systemgrenze zusätzlich bewertet werden müssen und die Gesamtmenge an Emissionen um einen Faktor erhöht. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass 100 % der verursachten Treibhausgasemissionen abgedeckt sind. Es handelt sich dabei um Emissionen, welche entweder aus Unwissenheit nicht inkludiert wurden oder aufgrund unzureichender Daten nicht bewertet werden konnten.

Der Untersuchungsgegenstand konnte in der vorliegenden Studie sehr detailliert abgebildet werden, womit das Anwenden eines Sicherheitsaufschlags nicht notwendig war.

11 Allokationsverfahren

Mittels der Datenerhebung (Kapitel 8.2) konnten alle wesentlichen mit den Referenzprodukten in Verbindung stehenden Emissionen erfasst werden. Dabei handelt es sich um direkt und nicht direkt zuordenbare Emissionen. Ersteres inkludiert die für das Refurbishment benötigten Ersatzteile. Die Menge dieser wurde separat für jedes Referenzprodukt erhoben und durchschnittlich dem jeweiligen Gerät angerechnet. Emissionen durch den Energiebedarf am jeweiligen Standort oder jene durch benötigte Hilfsmittel/-stoffe für den Aufbereitungsprozess können nicht ohne Weiteres anhand von Durchschnittswerten den Produkten zugeordnet werden. Der Grund hierfür sind die teils sehr stark voneinander abweichenden Bearbeitungsprozesse und -zeiten je Produktkategorie aufgrund der unterschiedlichen Komplexität eines Geräts. Es wurde daher eine adäquate Allokation der nicht direkt zuordenbaren Emissionen anhand der Bearbeitungszeit der Geräte durchgeführt. Hierfür wurde ein Excel-basiertes Rechenmodell erstellt, welches transparent und nachvollziehbar sämtliche Parameter berücksichtigt und alle Emissionen, welche entlang des Aufbereitungsprozesses entstehen, dem jeweiligen Gerät in angemessener Höhe zuordnet. Abbildung 3 zeigt anschaulich, wie das Rechenmodell aufgebaut ist und welche Information darin verarbeitet werden.

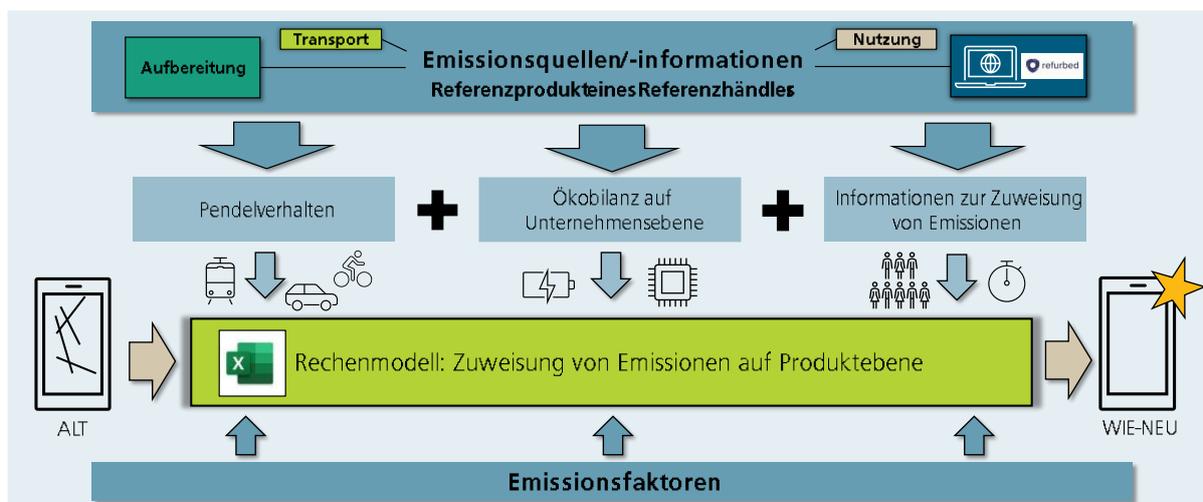


ABBILDUNG 3: RECHENMODELL ZUR ALLOKATION VON EMISSIONEN AUF PRODUKTEBENE

12 Emissionsquellen und -faktoren der Prozessmodule

Im Nachfolgenden werden die in Tabelle 3 dargestellten Prozessmodule im Detail beschrieben, sowie die treibenden Emissionsquellen und die dazugehörigen Emissionsfaktoren aufgeführt. Die aufgeführten Werte wurden wie folgt gerundet: CO₂-Emissionen eine Nachkommastelle, virtueller Wasserverbrauch und Elektroschrott ganze Zahlen.

12.1 Transport A-B (Einkauf)

Gemäß Abbildung 1 startet der Lebenszyklus von aufbereiteten Elektronikgeräten nach Beendigung der ersten Nutzungsphase. Das Gerät befindet sich zu diesem Zeitpunkt bei dem/der Erstbesitzer:in. Diese/Dieser muss das Gerät einer Sammelstelle zuführen, welche beispielsweise eine lokale Vertriebsstelle von Neuprodukten sein kann. Im nächsten Schritt verkauft dieser die noch funktionsfähigen/geeigneten Produkte an Großhändler, welche die Geräte sammeln und anschließend in zumeist großen Mengen an Refurbishment-Betriebe verkaufen. Die dabei entstehenden Emissionen finden sich im Wesentlichen im Transport der Geräte wieder. Im Falle des Referenzhändlers A, welcher Smartphones und Tablets aufbereitet, werden durchschnittlich rund 1100 km mit einem LKW und rund 8250 km mit einem Transportflugzeug zurückgelegt. Tabelle 6 zeigt die durchschnittlich anfallenden Emissionen je Wirkbereich für ein Smartphone und Tabelle 7 für ein Tablet.

TABELLE 6: TRANSPORT A-B: SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	1,2	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	21	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 7: TRANSPORT A-B: TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	3,6	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	64	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Für das untersuchte Referenzprodukt der Kategorie Laptop, welches dem Referenzhändler B zuzuordnen ist, wurden im Durchschnitt rund 1180 km mit dem LKW und rund 1240 km mit einem Transportflugzeug zurückgelegt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse.

TABELLE 8: TRANSPORT A-B: LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	2,6	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	43	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Emissionsfaktoren:

Die verwendeten Emissionsfaktoren für dieses Prozessmodul stammen zu 100 % aus der Ökodatenbank Ecoinvent.

12.2 Refurbishment

Der Prozess der Aufbereitung von Elektronikgeräten (Refurbishment) besteht im wesentliche aus 4-5 standardisierten Arbeitsschritten. Diese werden im nachfolgenden beschrieben. Während die bei einer Reparatur entstehenden Emissionen direkt dem Referenzprodukt zugeordnet werden können, handelt es sich bei den übrigen Positionen um allgemeine Emissionen, welche mit dem in Kapitel 11 beschriebenen Allokationsverfahren auf Produktebene zugewiesen wurden. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Menge der nicht direkt zuordenbaren Emission abhängig davon, ob eine Reparatur durchgeführt werden muss oder nicht voneinander unterscheiden.

12.2.1 Nicht direkt zuordenbare Emissionen

Nach Eingang der Ware werden die Geräte optische auf Defekte geprüft und mittels Software werden sämtliche Daten auf den Geräten restlos gelöscht. Im Anschluss wird mittels Analyse Software das Gerät auf Funktionalität geprüft und ggf. defekte Komponenten identifiziert. Beispiele hierfür sind die nicht korrekte Funktion von Lautsprecher, Display und Kamera aber auch eine von Refurbed geforderte Restkapazität (Batteriegelundheit) des verbauten Akkus wird in diesem Zuge überprüft.

Sollten Defekte festgestellt werden, werden die nicht korrekt funktionierenden Komponenten ausgetauscht (weitere Details unter Kapitel 12.2.2).

Befindet sich das Gerät bereits in dem geforderten Zustand oder wurde in diesen versetzt, wird das Gerät im Anschluss optisch aufbereitet und hygienisch gereinigt.

Im letzten Schritt wird eine Bewertung des Geräts vorgenommen. Abhängig von dem optischen Zustand oder der Batteriegelundheit bekommt das Gerät eine A, B oder C Bewertung, mit welcher der/die Käufer:in Informationen über den Zustand des Geräts erhält sowie die Preisfindung vorgenommen wird.

Die bei diesem Prozess entstehenden Emissionen finden sich in der Infrastruktur des Gebäudes (Gebäude, Energie, Anlagen und Maschinen), zugekauften Waren wie Hilfsstoffen sowie im Pendelverhalten der mitarbeitenden Personen wieder. Einige Beispiele, welche einen wesentlichen Anteil an diesem Prozessmodul haben, sind im Folgenden aufgeführt:

- Gebäude und Gebäudeausstattung
- Energiebedarf (Strom und Heizung für Gebäude)
- Geräte und Maschinen (Poliermaschinen, Verpackungsautomaten, Kompressor)
- Hilfsstoffe (Reinigungsmittel und Politur)
- Abfall
- Dienstreisen
- Pendelverhalten der Mitarbeitenden

Untenstehende Tabelle 9 zeigt die Emissionen, welche nicht direkt einem Gerät zugeordnet werden können.

TABELLE 9: ALLGEMEINE EMISSIONEN SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	0,3	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	81	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Die Ergebnisse für das Referenzprodukt Tablet und für Laptop können der Tabelle 10 und Tabelle 11 entnommen werden.

TABELLE 10: ALLGEMEINE EMISSIONEN TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	0,2	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	49	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 11: ALLGEMEINE EMISSIONEN LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	5,7	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	920	l/Gerät
Elektroschrott	2	g/Gerät

Emissionsfaktoren:

Der Großteil der Emissionsfaktoren stammt aus der Ökodatenbank Ecoinvent. Weiter Quellen sind: Umweltbundesamt (Deutschland und Österreich), IG Lebenszyklus Bau und Electricity Maps

12.2.2 Direkt zuordenbare Emissionen

Das Prozessmodul „Reparatur“ ist optional und nur bei Bedarf relevant. Die dabei entstehenden Emissionen sind im Wesentlichen den Ersatzteilen zuzuordnen. Weitere direkt zuordenbare Emissionen entstehen durch das für den Versand benötigte Verpackungsmaterial. Im Detail handelt es sich um die nachfolgenden Komponenten:

Smartphone:

- Displayglas
- Vollständiges Display (LCD) inkl. Displayglas
- Batterie
- Allgemeine Elektronikkomponenten
- Ladekabel
- Versandmaterial

Tablet:

- Batterie
- Ladekabel
- Versandmaterial

Laptop:

- Vollständiges Display (LCD)
- Batterie
- Allgemeine Elektronikkomponenten
- Ladekabel und Netzteil
- Versandmaterial

Um eine Aussage über das durchschnittlich Referenzprodukt zu erhalten, wurde die im Untersuchungszeitraum benötigte Menge an Ersatzteilen für das Referenzprodukt durch die bearbeitete Menge geteilt. Die Ergebnisse für die jeweiligen Produkte sind in Tabelle 12 bis Tabelle 14 aufgeführt. Die berechneten Mengen enthalten ebenso jene Emissionen, welche bei der Entsorgung der nicht mehr funktionsfähigen Komponenten anfallen.

TABELLE 12: DIREKT ZUORDENBARE EMISSIONEN DURCH REPARATUR: SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	1,1	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	599	l/Gerät
Elektroschrott	32	g/Gerät

TABELLE 13: DIREKT ZUORDENBARE EMISSIONEN DURCH REPARATUR: TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	1,2	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	524	l/Gerät
Elektroschrott	22	g/Gerät

TABELLE 14: DIREKT ZUORDENBARE EMISSIONEN DURCH REPARATUR: LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	3,4	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	3412	l/Gerät
Elektroschrott	230	g/Gerät

Emissionsfaktoren:

Der Großteil der Emissionsfaktoren für diese Kategorie stammen aus der Ökodatenbank Ecoinvent. Weitere Quellen sind: GOV.GB und Resources of the Future

12.3 Vertrieb

Die aufbereiteten Geräte können nach Abschluss des Refurbishments auf dem Online-Marktplatz von Refurbed angeboten werden. Der Betrieb dieser Plattform verursacht Emissionen, welche primär durch die Verwendung eines Bürogebäudes entstehen. Die wesentlichen Emissionsquellen sind im nachfolgenden detailliert aufgeführt:

- Gebäude und Gebäudeausstattung
- Energiebedarf (Strom und Heizung für Gebäude)
- Dienstreisen
- Pendelverhalten der Mitarbeitenden

Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 abgebildet.

TABELLE 15: EMISSIONEN DURCH DEN ONLINE-MARKTPLATZ VON REFURBED

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	0,2	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	18	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Emissionsfaktoren:

Der Großteil der Emissionsfaktoren stammt aus der Ökodatenbank Ecoinvent. Weiter Quellen sind: Umweltbundesamt (Deutschland und Österreich), IG Lebenszyklus Bau und Electricity Maps

12.4 Transport B-C (Verkauf)

Da Refurbed lediglich als Online-Marktplatz tätig ist, werden sämtliche Produkte direkt vom Händler an den Endkonsumenten versandt. Die durchschnittliche Transportdistanz liegt für Smartphones und Tablets bei 650 km und für Laptops bei 725 km (Transport mit LKW 3,5 - 7,5 t). Tabelle 16 bis Tabelle 18 zeigt die durchschnittlich anfallenden Emissionen je Produktkategorie.

TABELLE 16: TRANSPORTDISTANZ HÄNDLER ZU KUND:IN: SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	0,1	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	0	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 17: TRANSPORTDISTANZ HÄNDLER ZU KUND:IN: TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	0,3	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	0	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 18: TRANSPORTDISTANZ HÄNDLER ZU KUND:IN: LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	1,0	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	0	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Emissionsfaktoren:

Die verwendeten Emissionsfaktoren für dieses Prozessmodul stammen zu 100 % aus der Ökodatenbank Ecoinvent.

12.5 Nutzungsphase

Das letzte Prozessmodul im Lebenszyklus aufbereiteter Elektronik ist die Nutzungsphase des/der Zweitbesitzer:in. Wie unter Kapitel 7.1 beschrieben, existieren, stand heute keine genauen Informationen, wie lange ein Neugerät oder ein Refurbished Produkt genutzt wird. Es wurden die Werte in Tabelle 5 verwendet. Die dadurch entstehenden Emissionen sind folglich in absoluter Menge identisch zu jenen der Neugeräte und können für die jeweilige Produktgruppe der Tabelle Tabelle 19 bis Tabelle 21 entnommen werden.

TABELLE 19: EMISSIONEN DURCH DIE NUTZUNG DER GERÄTE: SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	9,8	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	2089	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 20: EMISSIONEN DURCH DIE NUTZUNG DER GERÄTE: TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	12,7	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	2716	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

TABELLE 21: EMISSIONEN DURCH DIE NUTZUNG DER GERÄTE: LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	44,1	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	9396	l/Gerät
Elektroschrott	0	g/Gerät

Der Lebenszyklus eines Refurbished Produktes endet nach der zweiten Nutzungsphase. Das Gerät wird im Anschluss dem konventionellen Lebensweg wieder zugeführt und erfährt dem Modell aus Abbildung 1 entsprechend ein vollständiges Recycling, wie es vom Hersteller vorgesehen ist.

Emissionsfaktoren:

Für die Emissionen des Wirkbereichs CO₂ wurden die produktspezifische Herstellerangabe von Apple verwendet. Der virtuelle Wasserverbrauch wurde auf Basis des elektrischen Energiebedarfs berechnet, welcher für das Laden der Geräte benötigt wird. Der Faktor für den virtuellen Wasserverbrauch wurde aus Ecoinvent bezogen.

Hinweis:

Die Emissionen durch die Nutzungsphase der Geräte inkludieren lediglich den elektrischen Energiebedarf für das Laden der Geräte. Neben dieser Emissionsquellen existieren jedoch weitere,

welche beispielsweise durch den Datentransfer (bspw. Streaming von Filmen) oder das in Anspruch nehmen von Cloud-Speicher-Diensten entstehen. Diese Emissionen wurden zur Wahrung der Vergleichbarkeit ggü. den Herstellerangaben für Neugeräte nicht inkludiert. Es wird im Folgenden jedoch mittels grober Abschätzung darauf eingegangen, wie hoch die dabei entstehenden Emissionen in der Nutzungsphase eines Smartphones sind. Eine beispielhafte Berechnung ist in Tabelle 22 dargestellt.

TABELLE 22: BEISPIELRECHNUNG: WEITERE EMISSIONEN WÄHREN DER NUTZUNGSPHASE

Bezeichnung	Wert	Einheit	Notiz/Quelle
Streaming von Videos			
Streaming Dauer pro Tag	1	Stunden/Tag	(Media Measurement GfK Austria, 2023)
Anzahl Tage pro Jahr	365	Tage/Jahr	
Streaming Qualität	6,84	GB/Stunde (am besten)	Prime Video
Emissionsfaktor Datentransfer	12,8	kg CO ₂ /TB	Berechnung basierend auf Studie des Umweltbundesamtes (Gröger, Liu, Stobbe, Druschke, & Richter, 2021)
Emissionen Streaming Video	31,9	kg CO₂/Jahr	
Nutzung von Cloudspeicher			
Cloudspeicher	5	GB	Kostenloses Speichervolumen bei Apple
Emissionsfaktor Cloudspeicher	209	kg CO ₂ /TB	(Gröger, Liu, Stobbe, Druschke, & Richter, 2021)
Emissionen Cloudspeicher	1,0	kg CO₂/Jahr	
Gesamt: Streaming + Cloudspeicher			
Emissionen pro Jahr	32,9	kg CO ₂ /Jahr	
Nutzungsphase	3	Jahre/Nutzungsphase	
Emissionen Nutzungsphase	98,7	kg CO₂/Nutzungsphase	

Wie in Tabelle 19 dargestellt, betragen die CO₂-Emissionen durch den Energieeinsatz für das Referenzgerät (Smartphone) rund 9,8 kg CO₂/Nutzungsphase. Die Emissionen durch die in Tabelle 22 aufgeführten Aktivitäten sind um den Faktor 10 höher. Zusätzlich zu den aufgeführten gibt es noch zahlreiche weitere Aktivitäten, welche ebenfalls Emissionen verursachen. Das Rechenbeispiel zeigt jedoch anschaulich, dass das Exkludieren dieser Emissionsquellen zu einer signifikanten Unterschätzung der entstehenden CO₂-Emissionen während der Nutzungsphase von Elektronikgeräten zur Folge hat. Ein möglicher Stellhebel zur Reduktion dieser Emissionen ist die Reduktion der Videoqualität. So kann hier der Endkonsument beispielsweise beim Streaming Anbieter „Amazon Prime Video“ die Qualität von „am besten“ (6,8 GB/Stunde) auf „besser“ (1,4 GB/Stunde) reduzieren und so die dabei entstehenden Emissionen durch den Datentransfer um den Faktor 4,8 reduzieren. Vor allem, wenn Videos auf Endgeräten konsumiert werden,

welche einen kleinen Bildschirm besitzen, wirkt sich die Reduktion der Datenrate nur minimal auf die Wahrnehmung aus, hat jedoch einen nennenswerten Einfluss auf die Umwelt.

13 Gegenüberstellung: Neugerät und Refurbed Produkt

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Ökobilanzierung aufgeführt sowie eine Bewertung und ein Vergleich dieser mit den Emissionen von Neugeräten durchgeführt. Tabelle 23 bis Tabelle 25 zeigt die Gesamtemissionen je Wirkungsbereich für die einzelnen Referenzprodukte, welche bei dem Refurbishment durch den jeweils analysierten Referenzhändler durchschnittlich angefallen sind.

TABELLE 23: GEGENÜBERSTELLUNG GESAMTEMISSIONEN: SMARTPHONE

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	12,8	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	2808	l/Gerät
Elektroschrott	32	g/Gerät

TABELLE 24: GEGENÜBERSTELLUNG GESAMTEMISSIONEN: TABLET

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	18,3	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	3371	l/Gerät
Elektroschrott	22	g/Gerät

TABELLE 25: GEGENÜBERSTELLUNG GESAMTEMISSIONEN: LAPTOP

Wirkbereich	Menge	Einheit
CO ₂ -Emissionen	57,0	kg CO ₂ /Gerät
Virtueller Wasserverbrauch	13789	l/Gerät
Elektroschrott	231	g/Gerät

Die Ergebnisse zeigen, dass wie auch bei Neugeräten, die Emissionen mit zunehmender Größe und Komplexität ansteigen. Eine Ausnahme ist der anfallende Elektroschrott bei der durchschnittlichen Aufbereitung eines Tablets. Dies liegt an dem zumeist sehr guten Zustand dieser Geräte auch nach mehreren Jahren Verwendung. Defekte Bildschirme oder verkratzte Oberflächen sind eine Seltenheit, da die Geräte in Verbindung mit Schutzhüllen oder lediglich zuhause verwendet werden.

Im nächsten Abschnitt wird eine grafische Gegenüberstellung der Referenzprodukte mit dem jeweiligen Neugerät vorgenommen. Die Aufteilung der Emissionen in Ihre

13.1 Gegenüberstellung Smartphone

Abbildung 4 zeigt auf der linken Seite die Einsparungen eines aufbereiteten Smartphones gegenüber dem gleichen Neugerät für den Wirkbereich CO₂. Rund 82 % können gegenüber dem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist dargestellt, in welchen Bereichen und mit welchem Anteil CO₂-Emissionen im Gesamtprozess auftreten.

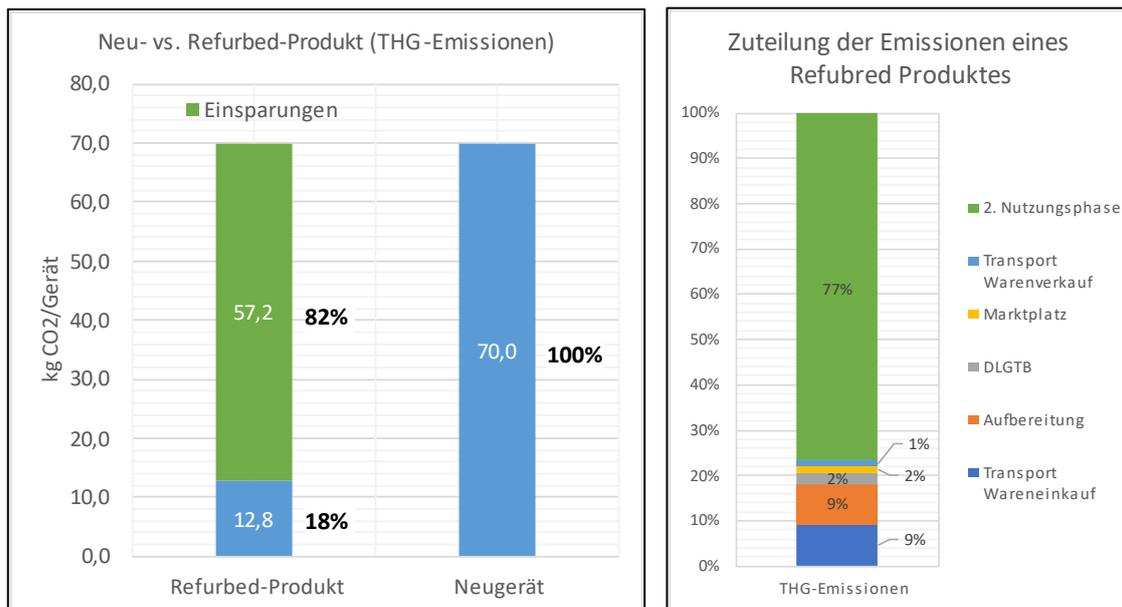


ABBILDUNG 4: GEGENÜBERSTELLUNG SMARTPHONE – CO₂-EMISSIONEN

Abbildung 5 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkbereich Wasser. Hier können rund 89 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist die Aufteilung der Emissionen dargestellt.

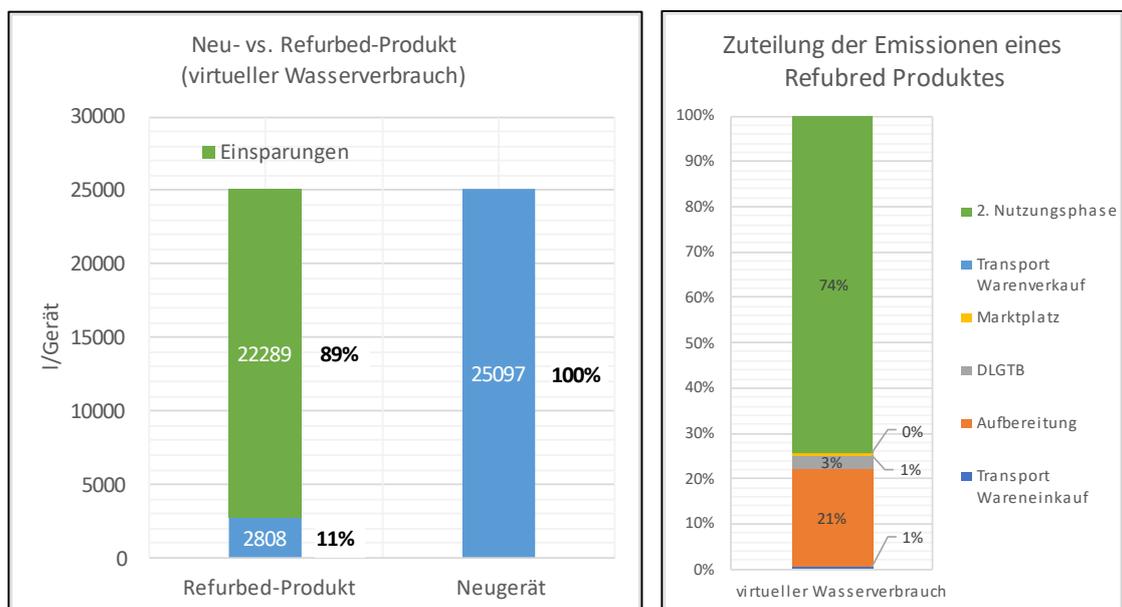


ABBILDUNG 5: GEGENÜBERSTELLUNG SMARTPHONE - VIRTUELLER WASSERVERBRAUCH

Abbildung 6 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkungsbereich Elektroschrott. Hier können rund 83 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Rund 99 % der Emissionen entstehen durch den Einsatz neuer Elektronikkomponenten und können daher der Aufbereitung zugeordnet werden.

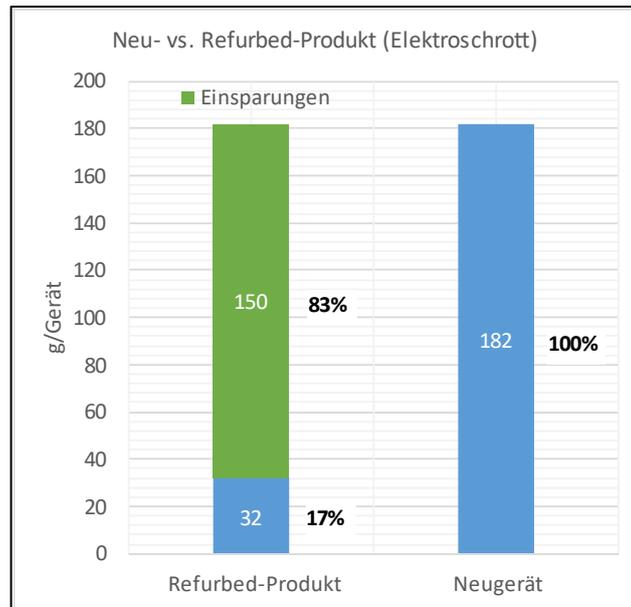


ABBILDUNG 6: GEGENÜBERSTELLUNG SMARTPHONE - ELEKTROSCHROTT

13.2 Gegenüberstellung Tablet

Abbildung 7 zeigt auf der linken Seite die Einsparungen eines aufbereiteten Tablets gegenüber dem gleichen Neugerät für den Wirkungsbereich CO₂. Rund 81 % können gegenüber dem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist dargestellt, in welchen Bereichen und mit welchem Anteil CO₂-Emissionen im Gesamtprozess auftreten.

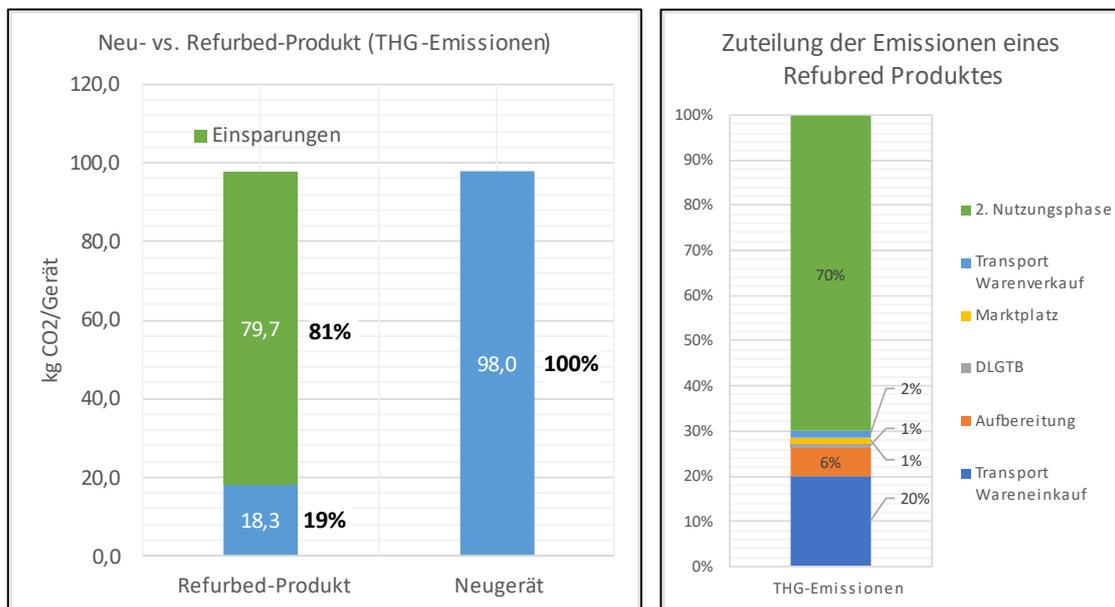


ABBILDUNG 7: GEGENÜBERSTELLUNG TABLET – CO₂-EMISSIONEN

Abbildung 8 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkbereich Wasser. Hier können rund 92 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist die Aufteilung der Emissionen dargestellt.

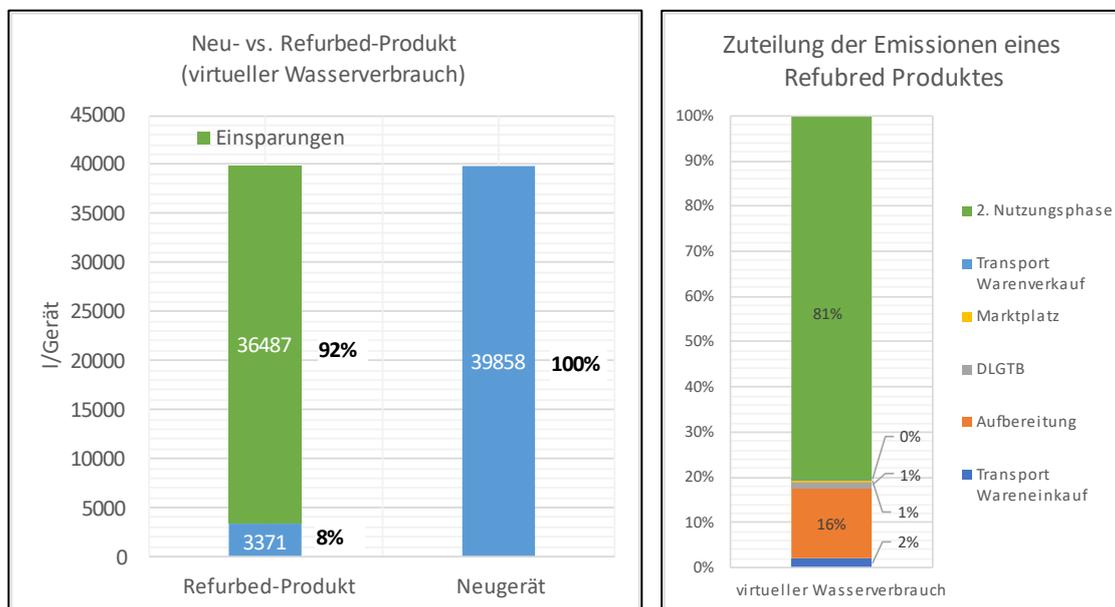


ABBILDUNG 8: GEGENÜBERSTELLUNG TABLET - VIRTUELLER WASSERVERBRAUCH

Abbildung 9 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkbereich Elektroschrott. Hier können rund 95 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Rund 99 % der Emissionen entstehen durch den Einsatz neuer Elektronikkomponenten und können daher der Aufbereitung zugeordnet werden.

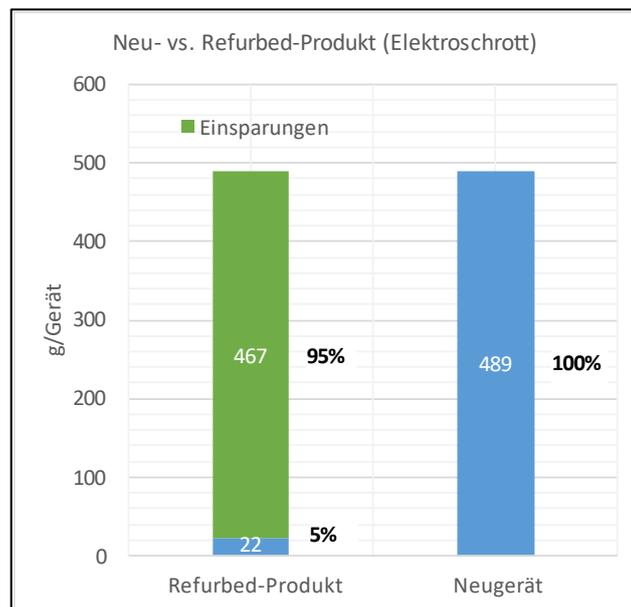


ABBILDUNG 9: GEGENÜBERSTELLUNG TABLET - ELEKTROSCHROTT

13.3 Gegenüberstellung Laptop

Abbildung 10 zeigt auf der linken Seite die Einsparungen eines aufbereiteten Laptops gegenüber dem gleichen Neugerät für den Wirkungsbereich CO₂. Rund 83 % können gegenüber dem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist dargestellt, in welchen Bereichen und mit welchem Anteil CO₂-Emissionen im Gesamtprozess auftreten.

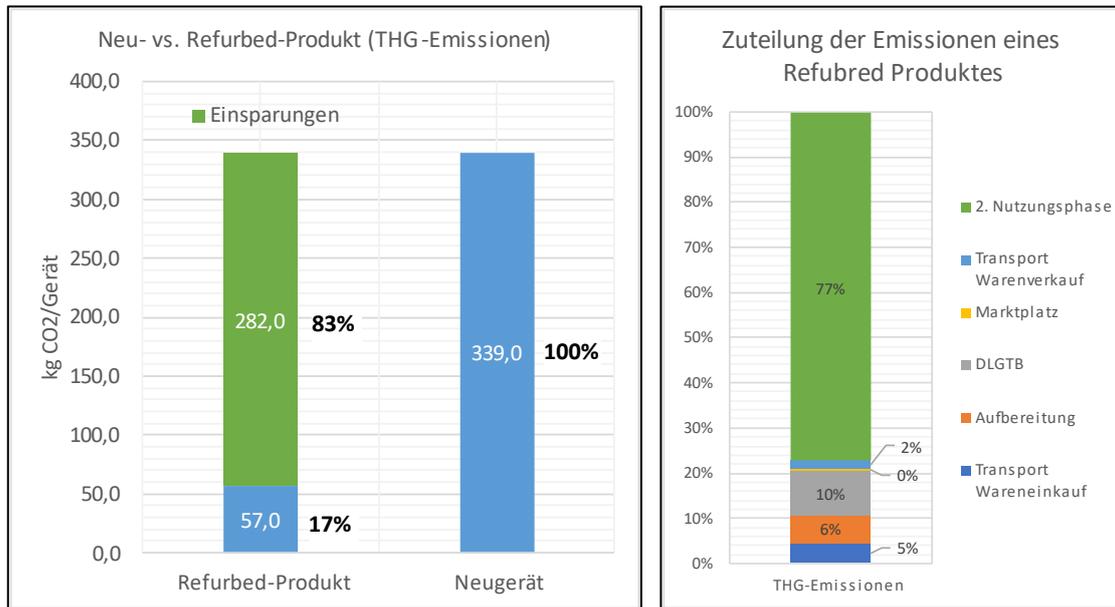


ABBILDUNG 10: GEGENÜBERSTELLUNG LAPTOP – CO₂-EMISSIONEN

Abbildung 11 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkbereich Wasser. Hier können rund 84 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Auf der rechten Seite ist die Aufteilung der Emissionen dargestellt.

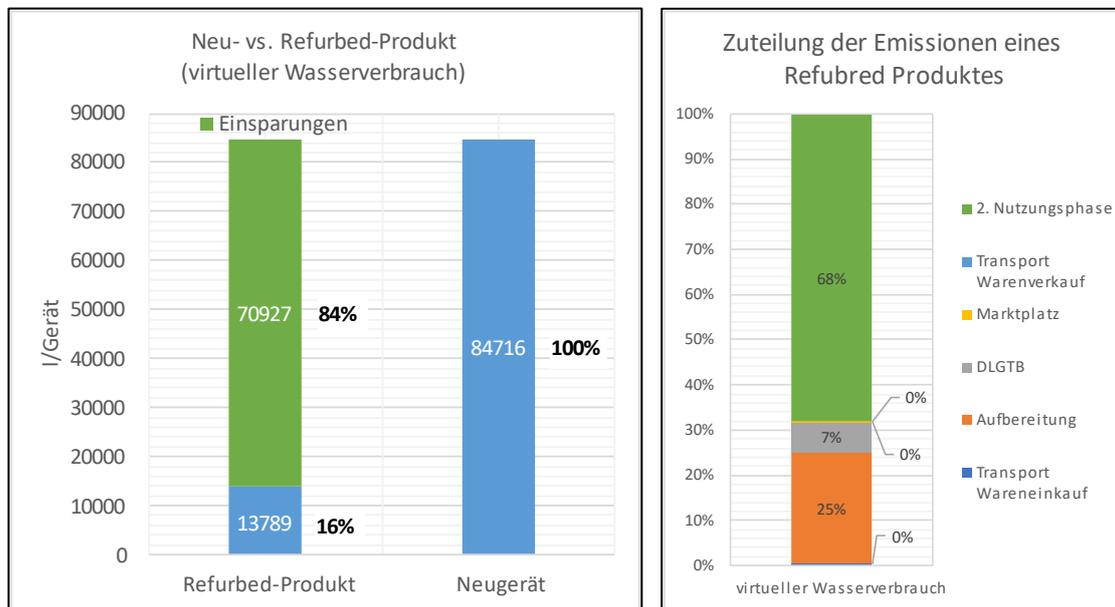


ABBILDUNG 11: GEGENÜBERSTELLUNG LAPTOP - VIRTUELLER WASSERVERBRAUCH

Abbildung 12 zeigt die Gegenüberstellung für den Wirkbereich Elektroschrott. Hier können rund 86 % gegenüber einem Neugerät eingespart werden. Rund 99 % der Emissionen entstehen durch den Einsatz neuer Elektronikkomponenten und können daher der Aufbereitung zugeordnet werden.

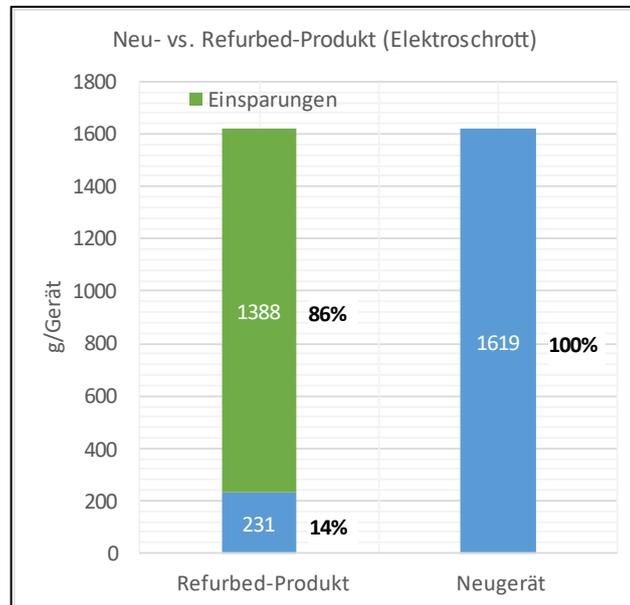


ABBILDUNG 12: GEGENÜBERSTELLUNG LAPTOP - ELEKTROSCHROTT

13.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei den untersuchten Geräten stets über 80 % der analysierten ökologischen Größen gegenüber einem Neugerät eingespart werden können. Für die Wirkbereiche CO₂-Emissionen und virtueller Wasserverbrauch gilt, dass rund 75 % der Emissionen auf die Nutzungsphase eines Refurbished Produktes entfallen. Die weiteren Emissionen entfallen primär auf den Aufbereitungsprozess und auf den Zukauf der Geräte. Der Online-Marktplatz sowie der Transport zum Endkonsumenten hingegen haben jeweils einen Anteil kleiner 2 % am Gesamtvolumen. Elektroschrott hingegen fällt fast ausschließlich bei der Aufbereitung der Geräte durch den Austausch defekter Komponenten an.

14 Interpretation der Ökobilanzierung

Im Rahmen der Untersuchung konnte aufgrund der direkten Zusammenarbeit mit den wesentlichen Stakeholdern eines Refurbishment-Prozesses eine sehr exakte Bilanzierung der ökologischen Größen durchgeführt werden. Alle identifizierten Emissionsquellen sowie die dazugehörigen Emissionsfaktoren wurden mit einem Sicherheitsfaktor (Kapitel 10) bewertet. Von der Bilanz wurden keine Emissionen ausgeschlossen, kritische Entscheidungen hinsichtlich Systemgrenzen wurden stets mit einem konservativen Ansatz bewertet. Dennoch zeigt eine detaillierte Analyse stets weiteren Forschungsbedarf, welcher in den nachfolgenden Punkten beschrieben ist.

- Vorgelagerte Lieferkette: Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Händler keine genauen Informationen darüber haben, woher die von ihnen zugekauften Geräte tatsächlich stammen. Der Grund hierfür ist, dass die Geräte bei Großhändlern gekauft werden, welche die Geräte wiederum bei weiteren Händlern erwerben. So kann ein Gerät,

welches bspw. von einem in Deutschland ansässigen Händler erworben wurde, ursprünglich aus einem Nachbarland stammen. Folglich hat das Gerät im Zuge des Transports einen höheren negativen Einfluss auf die Umwelt, als wenn es lokal bezogen wird. In der vorliegenden Untersuchung wurde dieses Verhalten berücksichtigt. Erlangen Einkäufer flächendeckend Kenntnis darüber kann dies bei der Beschaffung von Geräten in Zukunft berücksichtigt und es können folglich gezielt Emissionen eingespart werden.

- Emissionsfaktoren: Es existieren nur verhältnismäßig alte Emissionsfaktoren für Elektronikkomponenten, welche als Ersatzteil im Zuge der Aufbereitung benötigt werden. Ein Aktualisieren dieser Werte hat nicht nur Einfluss auf die Gesamtemissionen, sondern gibt auch Aufschluss über die Entwicklung der Elektronikindustrie hinsichtlich ihrer ökologischen Nachhaltigkeit.
- Ersatzteile: Teilweise werden von den Händlern keine neuen, sondern gebrauchte Ersatzteile verbaut. Dies reduziert den ökologischen Fußabdruck der aufbereiteten Geräte weiter. Unzureichende Transparenz in der Beschaffung von Ersatzteilen macht ein Berücksichtigen dieses Faktors jedoch stand heute nicht möglich.
- Nutzungsphase: Wie in Kapitel 12.5 beschrieben, muss davon ausgegangen werden, dass eine signifikante Unterschätzung der durch die Nutzungsphase entstehenden Emissionen stattfindet. Valide Kennzahlen über die ökologischen Folgen durch die Nutzung von Cloud-Diensten oder das Streamen von Videos müssen noch erhoben und in nächster Folge neuen wie gebrauchten Geräten hinzugerechnet werden.

15 Werthaltung und zeitlicher Gültigkeitsbereich

Beim Treffen von Entscheidungen während der Untersuchung wurde naturwissenschaftlichen Erkenntnissen (z. B. Physik, Chemie, Biologie) der Vorzug gegeben. Wenn dies nicht möglich war, wurden andere wissenschaftliche Ansätze (z. B. aus Sozial- und Wirtschaftswissenschaften) oder Ansätze aus internationalen Übereinkommen, die innerhalb des geografischen Untersuchungsrahmens zutreffend und gültig sind, angewendet.

Der zeitliche Gültigkeitsbereich der Daten ist der Zeitrahmen, für den die quantifizierten Werte repräsentativ sind. Aufgrund des sehr jungen und sich schnell wandelnden Geschäftsfeldes ist von einer kontinuierlichen und hohen Optimierung der Arbeitsabläufe sowie Weiterentwicklungen von Anlagen auszugehen. Aus diesem Grund wird ein Überarbeiten der Ökobilanz nach zwei Jahren empfohlen.

16 Bericht zur Vermarktung der Ergebnisse

Um Interessierten Personen, die in der Ökobilanz gewonnenen Ergebnisse auf das wesentliche reduziert zur Verfügung zu stellen, wurde ein Kurzbericht durch die Refurbed Marketplace GmbH erstellt. Dieser ist auf der Homepage des Unternehmens zu finden.

17 Verifizierung der Ökobilanzierung

Der vorliegende Ökobilanz wurde gemäß der ISO-Norm 14040/44 erstellt und durch einen unabhängigen Dritten geprüft. Die Zertifizierung wurde von GUTcert durchgeführt.

18 Literaturverzeichnis

- Apple iPad (6. Generation). (27. 03 2018). *Environmental Report*. Von https://www.apple.com/environment/pdf/products/ipad/iPad_PER_June2019.pdf abgerufen
- Apple iPhone 12. (13. 10 2020). *Environmental Report*. Von https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_12_PER_Oct2020.pdf abgerufen
- Apple MacBook Air 13,3". (05. 06 2017). *Environmental Report*. Von https://www.apple.com/environment/pdf/products/notebooks/13-inch_MacBookAir_PER_June2019.pdf abgerufen
- Apple Sicherheitsupdates. (23. 2 2023). *support.apple.com*. Von <https://support.apple.com/de-at/HT201222> abgerufen
- Apple Environmental Progress Report. (23. 2 2023). *www.apple.com*. Von https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2022.pdf abgerufen
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., . . . Pfister, S. (2017). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 369-378.
- Gröger, J., Liu, R., Stobbe, L., Druschke, J., & Richter, N. (2021). *Green Cloud Computing*. Umweltbundesamt.
- Rainer Pamminger, S. G. (2021). Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 477 ff.
- Statista. (Mai 2023). *Wie viele Minuten haben Sie gestern Online-Videos angesehen?* Von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/913831/umfrage/taegliche-nutzungsdauer-von-online-videoplattformen-in-oesterreich-nach-alter/> abgerufen