

Wissen. Wandel. Berlin. | Report Nr. 8

Produkte länger nutzen: Mit zirkulären Ansätzen die Umwelt entlasten

Potenziale der Circular City Berlin

Jens Gröger, Ran Liu

mit Unterstützung von Clara Löw



Impressum

Herausgeber:

Öko-Institut e. V.
Borkumstraße 2, 13189 Berlin
+49 30 405085-0
info@oeko.de
www.oeko.de

Autor*innen:

Jens Gröger (Öko-Institut)
Ran Liu (Öko-Institut)

mit Unterstützung von
Clara Löw (Öko-Institut)

Stand: Juli 2021

Zitiervorschlag:

Gröger, J., Liu, R, mit Unterstützung von Löw, C. (2021). *Produkte länger nutzen: Mit zirkulären Ansätzen die Umwelt entlasten – Potenziale der Circular City Berlin* (Wissen. Wandel. Berlin. Report Nr. 8). Berlin: Öko-Institut, Forschungsverbund Ecornet Berlin

Bildnachweis Titelbild:

@ JFL Photography | stock.adobe.com

Über das Projekt:

Diese Veröffentlichung ist entstanden im Vorhaben „Circular City Berlin – Wege vom Potenzial zur Umsetzung (CiBER1)“ innerhalb des Projektes „Wissen. Wandel. Berlin. – Transdisziplinäre Forschung für eine soziale und ökologische Metropole“ des Forschungsverbunds Ecornet Berlin.

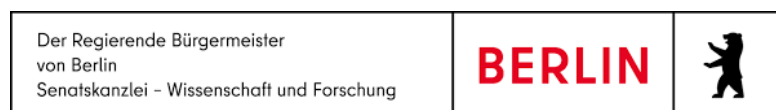
Über den Forschungsverbund Ecornet Berlin:

Fünf Berliner Institute der transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung forschen gemeinsam für den Wandel Berlins hin zu einer sozialen und ökologischen Metropole. Die Einrichtungen sind Teil des Ecological Research Network (Ecornet), einem Netzwerk unabhängiger Institute der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung in Deutschland. Mitglied in Ecornet Berlin sind: Ecologic Institut, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Öko-Institut und Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU).

www.ecornet.berlin

Förderung:

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung des Regierenden Bürgermeisters, Senatskanzlei – Wissenschaft und Forschung Berlin durchgeführt.



Zusammenfassung

Die vorliegende Studie ist Teil des Vorhabens „Circular City Berlin – Wege vom Potenzial zur Umsetzung“, das die Potenziale einer Kreislaufwirtschaft in Berlin und ihre sozialen und ökologischen Auswirkungen untersucht, mögliche Wege zu einer Umsetzung erkundet und eine Diffusion möglicher Geschäftsmodelle unterstützt.

Dieser Bericht ergänzt drei Studien (Wissen. Wandel. Berlin. Reports Nr. 5, 6 und 7), die die Potenziale zirkulärer Innovationen in den Bereichen Textilien, Bauen und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in Berlin aufzeigen. Für jeden dieser Sektoren berechnen die Autor*innen die Umweltentlastungspotenziale der Kreislaufwirtschaft, die sich für die vier zirkulären Praktiken Life Cycle Designing, Nutzungsdauerverlängerung, Nutzungsintensivierung und Materialneunutzung ergeben. Diese stehen beispielhaft für eine Vielzahl an konkreten Optionen, durch Kreislaufwirtschaft die Umwelt zu entlasten. Die Rechnungen zeigen neben den vermiedenen Mengen Abfall auch das Potenzial der Kreislaufwirtschaft, durch eine Reduktion des Gesamtmaterials zur Bewältigung der Klimakrise beizutragen: Mit den untersuchten zirkulären Praktiken kann Berlin dazu beitragen, jährlich 476.003 Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂e) bei Textilien, 244.606 Tonnen CO₂e bei Bauen und 217.505 Tonnen CO₂e bei IKT zu vermeiden und somit insgesamt knapp eine Million Tonnen Treibhausgasemissionen in CO₂e pro Jahr einzusparen. Dies entspricht den Treibhausgasemissionen der Nutzung von rund 470.000 Pkw.

Summary

This study is part of the project “Circular City Berlin - Pathways from Potential to Implementation”, which investigates the potential of a circular economy in Berlin and its social and environmental impacts, explores possible pathways to implementation and supports a diffusion of possible business models.

This report complements three studies (Wissen. Wandel. Berlin. Reports No. 5, 6 and 7) that highlight the potential of circular innovations in the textile, construction and information and communications technology (ICT) sectors in Berlin. For each of these sectors, the authors calculate the environmental relief potentials of the circular economy that result for the four circular practices of Life Cycle Design, service life extension, use intensification and material reuse. These are examples of a wide range of concrete options for reducing the burden on the environment through circular economy. In addition to the amounts of waste avoided, the calculations also show the potential of the circular economy to help address the climate crisis by reducing the total amount of material: with the circular practices studied, Berlin can help avoid 476,003 metric tons of CO₂ equivalents (CO₂e) in textiles, 244,606 metric tons of CO₂e in construction, and 217,505 metric tons of CO₂e in ICT each year, saving a total of nearly one million metric tons of greenhouse gas emissions in CO₂e per year. This is equivalent to the greenhouse gas emissions from the use of around 470,000 cars.

Danksagung

Das Projektteam dankt Siddharth Prakash und Tobias Schleicher, Öko-Institut, für die hilfreiche fachliche Beratung zur Methodik sowie zur Modellierung für die Informations- und Kommunikationstechnologien und den Bausektor.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
2	Methode.....	10
3	Überblick über zirkuläre Praktiken zur Lebensdauererlängerung ..	11
4	Umweltentlastungspotenziale anhand von Beispielen im Land Berlin.....	12
	4.1 Textilien	12
	4.1.1 Life Cycle Designing – Kleidung „designed-for-reuse & designed-for-recycling“	13
	4.1.2 Nutzungsdauererlängerung – Reparatur	15
	4.1.3 Nutzungsintensivierung – Zusammensetzung des Kleiderschranks wird zirkulär	16
	4.1.4 Materialneunutzung—Upcycling.....	18
	4.2 Baumaterialien	19
	4.2.1 Life Cycle Designing – Modulares, zirkuläres Bauen in Holzbauweise .	20
	4.2.2 Nutzungsdauererlängerung – Fenster.....	22
	4.2.3 Nutzungsintensivierung – Reduktion der Neubaupläche	25
	4.2.4 Materialneunutzung	26
	4.3 Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).....	29
	4.3.1 Life Cycle Designing – Fairphone.....	29
	4.3.2 Nutzungsdauererlängerung – Smartphone, Laptop, Fernsehgerät....	30
	4.3.3 Nutzungsintensivierung – Tablet teilen.....	34
	4.3.4 Materialneunutzung – Materialrückgewinnung aus zuhause gelagerten Handys	36
5	Zusammenfassung	39
	5.1 Textilien	39
	5.2 Baumaterialien	40
	5.3 Informations- und Kommunikationstechnik	41
6	Branchenübergreifendes Fazit.....	42
7	Quellenverzeichnis.....	43
8	Anhang	48
	8.1 Hinweise zur Berechnung der Umweltentlastungspotenziale durch zirkuläre Maßnahmen in der Textilbranche.....	48

8.2 Details zur Berechnung der Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsverlängerung bei IKT	50
8.2.1 Smartphones	50
8.2.2 Laptops.....	51
8.2.3 Fernseher.....	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Abfallwege heute und in einem D4RR Szenario....	14
Abbildung 2: Zusammensetzung eines „zirkulären Kleiderschranks“ mit 95 Kleidungsstücken	17
Abbildung 3: Bau- und Abbruchabfälle im Kontext des Gesamtabfallaufkommens in Deutschland (1996 – 2017).....	19
Abbildung 4: Modularer Schulbau unter Berücksichtigung der Holzbauweise als Beispiel Zirkulären Bauens (oben) vs. Plattenbauweise (unten)	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Altkleideraufkommen und Abfallwege.....	15
Tabelle 2: Abfallaufkommen und Umweltauswirkungen durch den Abriss eines konventionellen Schulhauses (Plattenbauweise, Typ P2)	21
Tabelle 3: Jährlich eingesparte Bauabfälle sowie CO ₂ e Emissionen durch Anwendung der zirkulären Holzbauweise in Rahmen der Schulbauoffensive	21
Tabelle 4: Materialzusammensetzung eines typischen Holz-Alu-Isolierglasfensters mit 1,5 m ² Fensterfläche und 75 kg Gewicht	23
Tabelle 5: Verringerung des Abfallaufkommens durch die Verlängerung der Nutzungsdauer von Holz-Alu-Fenstern in Schul- und Bürogebäuden durch Instandhaltung und Zweitnutzung.....	24
Tabelle 6: CO ₂ e Einsparung pro Jahr durch die Verlängerung der Nutzungsdauer eines Fensters in Schul-/Bürogebäuden von 36 auf 60 Jahre.....	25
Tabelle 7: Einsparungen Abfallaufkommen (in t/a) sowie t CO ₂ e Einsparungen bei 32.317 Bürogebäuden sowie 407,1 Mio. Fenstern.....	25
Tabelle 8: Materialneunutzung in Tonnen durch die Schulbauoffensive Berlin..	27
Tabelle 9: Abschätzung der CO ₂ -Einsparungen durch den Einsatz von Bauschutt in Recyclingbeton anstelle von Kies	28
Tabelle 10: Indikative Hochrechnung der eingesparten CO ₂ e auf Basis der Ökobilanz von Fairphone 3.....	30
Tabelle 11: Anzahl Tablets in Berliner Haushalten	35

Tabelle 12: Hochrechnung des Einsparpotenzials durch die Nutzungsintensivierung	35
Tabelle 13: Hochrechnung der Anzahl der Mobiltelefone in Berlin, die von dem Zuhause zur Materialrückgewinnung bringen könnten	37
Tabelle 14: Indikative Ermittlung der eingesparten betrachteten 6 Rohstoffe der Smartphones	37
Tabelle 15: Indikative Ermittlung der eingesparten CO ₂ e-Menge der betrachteten 6 Rohstoffe von 3,08 Mio. gelagerten Mobiltelefonen in Berlin	38
Tabelle 16: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsmaximierung im Textilsektor für Berlin	39
Tabelle 17: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft im Bereich Baumaterialien in Berlin	40
Tabelle 18: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsmaximierung im IKT-sektor für Berlin	41
Tabelle 19: Allgemeine Annahmen bzw. Werte	48
Tabelle 20: Berechnung der vermiedenen Emissionen	48
Tabelle 21: Auswirkungen einer Jeans auf den Klimawandel (Kg CO ₂ Äquivalente) aus fünf verschiedenen Quellen.....	49
Tabelle 22: Hochrechnung der GWP-Werte eines Smartphones über einen Betrachtungszeitraum von 6 Jahren	50
Tabelle 23: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbundenen GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Smartphones mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 1,5 % für neue Geräte.....	50
Tabelle 24: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO ₂ e der Smartphones in Berliner Haushalten.....	51
Tabelle 25: Hochrechnung der GWP-Werte eines Laptops über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren	51
Tabelle 26: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbundenen GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Laptops mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 1,5 % für neue Geräte.....	52
Tabelle 27: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO ₂ e-Menge der Laptops in Berliner Haushalten	53
Tabelle 28: Hochrechnung der GWP-Werte eines Fernsehgerätes über einen Betrachtungszeitraum von 12 Jahren	53
Tabelle 29: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbundenen GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Fernsehgerätes mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 3 % für neue Geräte	54
Tabelle 30: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO ₂ e-Menge der Fernsehgeräte in Berliner Haushalten	55

Abkürzungen

bzw.	beziehungsweise
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂e	CO ₂ -Äquivalent
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
ggfs.	gegebenenfalls
ha	Hektar
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
kg	Kilogramm
max.	maximal
Mio.	Mio.
sog.	sogenannte
t	Tonne
t/a	Tonne pro Jahr
z.B.	Zum Beispiel

1 Einführung

Die Kreislaufwirtschaft – auch im Deutschen wird alternativ der englische Begriff „Circular Economy“ verwendet – ist aktuell in aller Munde. Zirkuläre Geschäftsmodelle stellen den Gegensatz zu linearen Geschäftsmodellen dar: Anstatt das Leben von Produkten vom Design bis zum Nutzungsende als lineare Abfolge zu beschreiben, sollen Produkte und Materialien so lang wie möglich im Kreislauf bleiben, beispielsweise durch die Verlängerung der Produktnutzungsdauer, Wiederverwendung und effiziente Rückgewinnung von Rohstoffen. Aus ihnen wird neuer Wert geschöpft und sie werden nicht zu Abfall. Eine effektive Kreislaufwirtschaft führt dazu, dass immer weniger primäre Rohstoffe ab- und angebaut werden. Sie ist eine Säule des European Green Deal¹, aber auch international ein als vielversprechend gehandelter Ansatz. Die Kreislaufwirtschaft hat das Ziel, den Materialbedarf, z.B. durch verlängerte Nutzung von Produkten, so zu verringern, dass Konsum und Produktion von Gütern die planetaren Grenzen einhalten. Es sollen die Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus von Produkten reduziert werden. So kann die Kreislaufwirtschaft einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen der Klima- und weiterer Umweltschutzziele leisten.

Die Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft wird als Chance gesehen, in einigen Sektoren mehr Produktion zurück in die EU zu verlagern, um Arbeitsplätze zu schaffen, während gleichzeitig die Umwelt- und Klimaauswirkungen dieser Produktion wesentlich verringert werden.

Wie lassen sich diese abstrakten Ziele in einer deutschen Großstadt – Berlin – umsetzen? Die Potenziale einer Kreislaufwirtschaft in Berlin und ihre sozialen und ökologischen Auswirkungen zu untersuchen, mögliche Wege zu deren Umsetzung zu erkunden und eine Diffusion möglicher Geschäftsmodelle zu unterstützen, sind Gegenstand des Projekts, in dessen Rahmen die vorliegende Studie veröffentlicht wird. Das Projekt *Circular City Berlin* (CiBER 1) ist ein Teilprojekt des Verbundprojekts *Wissen. Wandel. Berlin. – Transdisziplinäre Forschung für eine soziale und ökologische Metropole* des Forschungsverbunds Ecornet Berlin (www.ecornet.berlin/projekt/circular-city-berlin-wege-vom-potenzial-zur-umsetzung).

An dieser Stelle analysieren die Autor*innen die Umweltentlastungspotenziale einiger Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft in den drei Sektoren Textilien, Baumaterialien und Informations- und Kommunikationstechnologien im Land Berlin. Die Umweltentlastungspotenziale zeigen quantitativ den Zusammenhang zwischen zirkulären Maßnahmen und dem Beitrag, den diese durch eingesparte Treibhausgase leisten. So kann das Potenzial zirkulärer Maßnahmen besser greifbar gemacht und kommuniziert werden. Diese Sektoren wurden in einem projektinternen Auswahlprozess als wichtige Innovationsfelder der Kreislaufwirtschaft identifiziert. Kriterien für die Auswahl waren die jeweiligen Mengen-/Massenströme, das Innovationspotenzial sowie problematische Konsum- und Nutzungsmuster. Die Grundlage für die vorliegende Arbeit sind die drei Fallstudien – je eine pro Sektor – die jeweils die

¹ Circular Economy Action Plan (Europäische Kommission, März 2020)

Relevanz für und die Stoffströme in Berlin, die Akteurslandschaft, politische Rahmenbedingungen und Entwicklungsperspektiven darstellen (Ecornet 2021a; 2021b; 2021c).

Die folgenden Kapitel umfassen die Methodik, die den sogenannten Umweltentlastungspotenzialen der einzelnen zirkulären Maßnahmen zu Grunde liegt (Kapitel 2), einen Überblick über die vier Cluster von zirkulären Praktiken (Kapitel 3) sowie die Darstellung der Berechnungen für die drei genannten Sektoren (Kapitel 4) und ein Fazit (Kapitel 6).

2 Methode

Das Kernstück der vorliegenden Arbeit sind die Ermittlung der Umweltentlastungspotenziale einzelner zirkulärer Maßnahmenbeispiele. In diesem Fall wurde ein **Klimaentlastungspotenzial** durch die vermiedenen Tonnen an CO₂-Äquivalenten pro Jahr (t CO_{2e} pro Jahr) sowie die **Größenordnung der Abfallvermeidung**, die implizite Entlastungen der Umwelt bedeutet, berechnet.

Für die Bestimmungen des Umweltentlastungspotenzial einer einzelnen Maßnahme wurde folgendermaßen vorgegangen:

Aus den drei Beschreibungen der Innovationsfelder bzw. Sektoren (Ecornet 2021a; 2021b; 2021c) wurden aus den Aktivitäten der Akteure in Berlin jeweils aus den vier Kategorien Life Cycle Thinking, Nutzungsdauerverlängerung, -intensivierung und Materialneunutzung (siehe Kapitel 3) mögliche Maßnahmenbeispiele ausgewählt. Für das ausgewählte Beispiel wurden die in der Beschreibung des Innovationsfelds vorhandenen Zahlen sowie der Datenbedarf für das Rechnen des Umweltentlastungspotenzials bestimmt. Die unbekanntenen Zahlen wurden gezielt recherchiert, für nicht vorhandenen Daten trafen die Autor*innen fachlich-fundierte Annahmen. Je Maßnahmenbeispiel wird die Berechnung im jeweiligen Unterkapitel erklärt. In einem letzten Schritt wurden die Maßnahmen im Bericht beschrieben, Annahmen und Ergebnisse verschriftlicht und in Einzelfällen erklärt, warum bestimmte Beispiele nicht ausgewählt wurden, auch wenn sie offensichtlich schienen. Gründe dafür sind Maßnahmen mit zu vielen Nebeneffekten, die aus zeitlichen und finanziellen Restriktionen nicht berücksichtigt werden konnten, oder weil Maßnahmen, z.B. das Textile-to-textile-Recycling, in der Praxis nicht etabliert sind.

Im Textilsektor wurden die modellierten Maßnahmen, die zu Umweltentlastungen führen könnten, in solche, bei denen die Umsetzung von individuellen Entscheidungen von Verbraucher*innen abhängt, oder solche, bei denen ein systemischer durch politische oder unternehmerische Entscheidungen ausgelöster Wandel zugrunde gelegt wird, z.B. das Potenzial höherer Textile-to-Textile-Recyclinganteile, unterschieden.

Die ermittelten Zahlenwerte stellen nur eine erste Orientierung dar. Die berechneten Einsparpotenziale müssten daher in weiteren vertiefenden Studien genauer ermittelt werden. Die Autor*innen dieser Studie möchten auf folgende Unsicherheiten der Methodik und Verkürzungen aufmerksam machen:

- Die bei der Definition des Umweltentlastungspotenzial angesprochenen Auswirkungen der zirkulären Maßnahme, die die lineare ersetzt, wurden

- aus Vereinfachungsgründen hier nicht mitgerechnet. Weiterhin werden keine Rebound-Effekte berücksichtigt.
- Dieser Studie ging keine Priorisierung bzw. kein konkreter Auswahlprozess der Maßnahmenbeispiele voraus.
 - Die Bilanzierung im Textilsektor wurde unabhängig von Material- und Fasertyp durchgeführt, obwohl sie verschiedene Umweltentlastungspotenziale haben. Dieses Detaillevel ist in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt und die Berechnungen sind stark vereinfacht, da der Fokus nur auf der allgemeinen Vermeidung liegt.
 - Zur Abschätzung der Abfallvermeidung im Bausektor wurde meist auf die Vermeidung von zukünftig entstehenden Bauabfällen (v.a. Bauschutt, teilweise aber auch Ziegel) abgezielt.
 - Umweltentlastungspotenziale gemessen an CO₂e-Einsparungen beziehen sich in der Regel auf Emissionen, die auf den späteren Abbruch von Gebäuden zurückzuführen sind.
 - Bei IKT wurden nur wenige ausgewählte Produktgruppen betrachtet. Die Berechnungen basieren auf vorhandene Studien ohne Berücksichtigung der technologischen Entwicklungen.

3 Überblick über zirkuläre Praktiken zur Lebensdauererlängerung

Der Kompass in der Kreislaufwirtschaft ist die fünfstufige Abfallhierarchie²: Je weiter oben man sich befindet, desto besser. Der Primärrohstoffverbrauch soll reduziert („reduce“), die Lebensdauer von Produkten verlängert und das Produkt gegebenenfalls von mehreren Nutzer*innen verwendet werden („reuse“) – Stichwörter hier sind Leihen, Teilen, 2nd-Hand. Waren sollen, soweit möglich, repariert („repair/refurbish“) und recycelt und neue Produkte dann mit recyceltem Material produziert werden („recycle“). Die zirkulären Praktiken, Geschäftsmodelle und Maßnahmen, die Akteure in Berlin schon heute um- und einsetzen, um die genannten Ziele zu erreichen, stellen die in der Einleitung erwähnten Fallstudien vor.

Die zirkulären Geschäftsmodelle und Ansätze werden im Projekt in vier grundlegende Kategorien unterteilt, die im Folgenden erläutert werden. Die Einteilung spielt für die in Kapitel 4 gewählten Maßnahmenbeispiele, für die jeweils das Umweltentlastungspotenzial im Land Berlin berechnet wurde, eine Rolle: Pro Sektor wurden aus den vier genannten Kategorien je eine zirkuläre Maßnahme ausgewählt und analysiert.

Das **Life Cycle Designing** von Produkten zielt auf das Re-Design von Produkten ab, sodass die Nutzungs- und Lebensdauer verlängert wird oder sie besser recyclingfähig sind. Die Fallstudien (Ecor-net 2021a; 2021b; 2021c) beschreiben dies so: „Unter Re-Design wird die Überarbeitung bzw. Neugestaltung eines Produktdesigns mit Blick auf Kreislauffähigkeit in Verbindung mit Ressourcenschonung und Klimaschutz verstanden. Ziel ist es, durch das Re-Design einen möglichst großen Nutzen

² Abfall reduzieren, für die Wiederverwendung vorbereiten, werkstofflich verwerten, energetisch verwerten, entsorgen – in absteigender Reihenfolge.

entlang des Lebenszyklus bzw. der Wertschöpfungskette bei minimaler Umweltbelastung zu erreichen. Dies erfordert eine veränderte Sichtweise auf Produkte, Systeme, Infrastrukturen und Dienstleistungen und ihre Funktionen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Aspekte sind beispielsweise Multifunktionalität, Modularität, Recyclingfähigkeit und Upgradebarkeit oder der Entwurf von Systemen nach einem Open Source-Prinzip.“ Auch haltbarere oder robustere Materialien zu verwenden, gehört zu dieser Strategie dazu.

Zu den Maßnahmen, die der **Verlängerung der Nutzungsdauer** von Produkten dienen, zählen Praktiken und Geschäftsmodelle im Bereich Re-Use, Repair und Re-Commerce, einschließlich Refurbishing. Unabhängig von der Anzahl der Nutzer*innen geht es hier darum, dass ein Produkt dafür designt wurde, lange genutzt zu werden und für einen langen Zeitraum nicht kaputt zu gehen bzw. in einem solchen Fall reparierbar zu sein.

Die **Intensivierung der Nutzung** von Produkten meint die Maßnahmen, Geschäftsmodelle und Praktiken, die verschiedenen Formen des Teilens von Produkten und Konzepte der Kategorie „Product-as-a-Service“, also Leasing, anregen. Im Laufe seiner Lebenszeit wird ein Produkt häufiger, zum Teil durch mehrere Nutzer*innen verwendet. Die Formen der Nutzungsintensivierung sind für die verschiedenen Sektoren sehr unterschiedlich. Teilen funktioniert besser, z.B. für zu seltenen Anlässen getragene Kleidung, als für ein täglich-genutztes Smartphone. Jedoch ist Leasing für manche Informations- und Kommunikationsgeräte, wie z.B. Drucker und Multifunktionsgeräte – insbesondere am Arbeitsplatz – schon heute üblich.

Zuletzt die vierte Kategorie der zirkulären Strategien: Die **Materialneunutzung**. Sie verhindert, dass neue, sogenannte primäre Rohstoffe verwendet werden müssen und zielt auf die Nutzung von Abfallstoffen zur Herstellung neuer Produkte, d.h. Upcycling, oder Retro-Logistik, die Rückführung von Komponenten und Materialien, ab. Außerdem sollen Materialien durch Recycling- bzw. Aufbereitungsprozesse nach ihrer ursprünglichen Nutzung als sogenannte Sekundärrohstoffe bzw. Sekundärrohstoffquellen wieder in den Materialnutzungskreislauf eingebracht werden.

4 Umweltentlastungspotenziale anhand von Beispielen im Land Berlin

In den drei ausgewählten Sektoren – Textilien, Baumaterialien und Informations- und Kommunikationstechnologien – wurde für je vier Maßnahmenbeispiele das Umweltentlastungspotenzial im Land Berlin berechnet. Einführend wird jeweils die Dringlichkeit für ein Umdenken und zirkuläre Maßnahmen und Geschäftsmodelle für den jeweiligen Sektor dargelegt.

4.1 Textilien

Hoher Ressourcen- und Wasserverbrauch, Konkurrenz um landwirtschaftliche Nutzfläche, Chemikalieneinsatz, relevante Treibhausgasemissionen, lange Lieferketten mit hohen sozialen Belastungen und die großen Mengen an Alt Kleidern sind die

großen Probleme der Textilindustrie (u.a. EEA 2019). Und die Tendenz des Konsums von Kleidung ist steigend: In den vergangenen 15 Jahren hat sich die Bekleidungsproduktion ungefähr verdoppelt und für die nächsten 20 Jahre wird prognostiziert, dass die Nachfrage nach Textilfasern um weitere 84 % steigen wird (EMF 2017). Dass dieser Sektor in den Fokus von zirkulären und umweltentlastenden Maßnahmen rückt, wird vor diesem Hintergrund nur zu gut deutlich. Das Abfallaufkommen aus dem Textilsektor steigt: Eine Analyse des Verbands bvse (Forbig et al. 2020) geht von einem jährlichen Pro-Kopf-Altkleideraufkommen von 15,3 kg (Daten aus 2018) in Deutschland aus. Die Autor*innen von IFEU (2016) nahmen für Berechnungen in der Stoffstrom-, Klimagas- und Umweltbilanz für das Land Berlin zwei Jahre vorher noch 9,2 kg pro Person und Jahr an. Gleichzeitig führt „Kostendruck bei den Herstellern, steigende Marktanteile von Fast Fashion und steigende private Warenzirkulation, Schad- und Störstoffanteile sowie ein sich verdoppelter Beseitigungsanteil [...] für eine rapide Abnahme der Qualitäten“ (Forbig et al. 2020).

Die Beschreibung der Stoffströme, die Relevanz und Akteurslandschaft in Berlin sowie Governance- und Entwicklungsansätze beschreibt die Fallstudie zum Innovationsfeld Textilien (Ecornet 2021c).

Es folgen die Einzelfallberechnungen. Der Modellierung wird für die Hochrechnung auf Berlin die Annahme zugrunde gelegt, dass 30 % der Berliner*innen eine Maßnahme umsetzen, falls es sich um eine individuelle Entscheidung von Verbraucher*innen handelt. Bei der Berechnung von systemischen Maßnahmen gehen Annahmen wie die Anzahl bestimmter Unternehmen in Berlin ein. Eine Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Einzelfallbeispiele erfolgen in Kapitel 5.1, einige Hinweise zur Berechnung finden sich im Anhang 8.1.

4.1.1 Life Cycle Designing – Kleidung „designed-for-reuse & designed-for-recycling“

Eine große Menge an Kleidungsstücken ist nicht nur aus einem einzigen Fasermaterial, sondern aus Mischfasern hergestellt: „Die modischen Textilien heute sind häufig Gemische bzw. Gemenge aus einer großen Zahl von Materialien, die schwer zu trennen sind.“, so zitiert die Fallstudie zum Innovationsfeld Textilien Friege et al. (2020). Der Life-Cycle-Design-Ansatz zielt darauf ab, die Kleidungsstücke so zu entwerfen, dass sie lange getragen werden, auf dem 2nd-Hand Markt noch attraktiv und in einem hochwertigen Textile-to-textile-Recycling verwertbar sind. Schon heute (siehe Abbildung 1) wird wiederverwendet, zu großen Teilen jedoch außerhalb Deutschlands und sogar außerhalb der EU und recycelt, wobei aus dem Rezyklat keine Kleidung, sondern Decken und Dämmmaterial gemacht wird, was man Downcycling nennt.

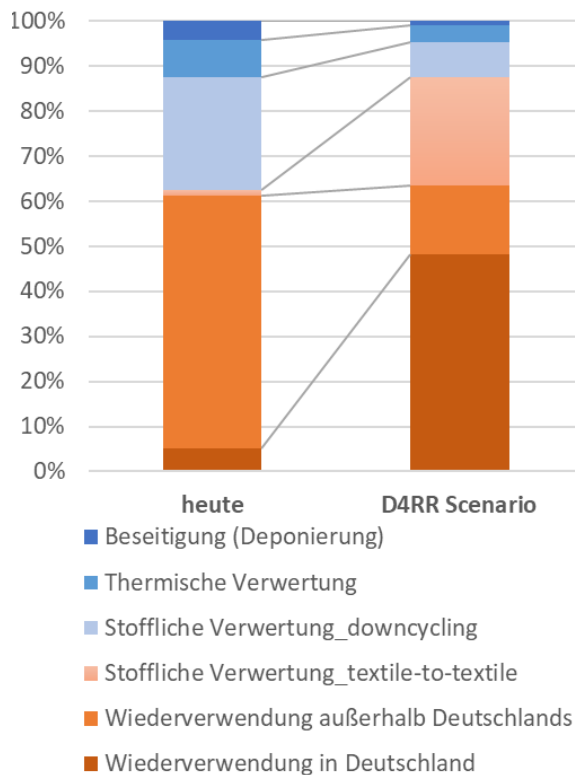
Exemplarisch wird das Umweltentlastungspotenzial eines Design-for-reuse and Design-for-recycling Szenarios (D4RR) berechnet. Die Modellierung bezieht sich auf Zweierlei: Die Erhöhung des in Deutschland wiederverwendeten Teils an Altkleidern von aktuell 5 % auf 50 % sowie eine Erhöhung des Textile-to-textile-Recycling von < 1 % auf 25 %. Es handelt sich dabei um eine systemische Maßnahme, die sich nur mithilfe von politischem Handeln, weiterer Forschung und dem Umsetzen von bestimmten Design-Prinzipien erreichen lassen würde. Drei Design-Prinzipien sind ausschlaggebend:

- Mono-Faser-Textilien verwenden,

- Gut abtrennbare Applikationen (Label, Knöpfe, Reißverschlüsse etc.),
- Ein zeitloses Design.

Die folgende Tabelle (Tabelle 1) stellt die Verteilung der Abfallmengen auf die unterschiedlichen Arten des Abfallmanagements heute und in dem oben beschriebenen Szenario dar. Wenn man die Abfallwege „Wiederverwendung“ und „Textile-to-textile-Recycling“ als die zu bevorzugenden Formen der Kreislaufschließung im Textilsektor annimmt, fallen heute 63 % des Altkleideraufkommens darunter. Im D4RR-Szenario würde sich der Anteil von Wiederverwendung und Textile-to-textile-Recycling zusammen auf 91 % steigern. Zusätzliche 28 % der Altkleider könnten als Kleider weitergegeben und -genutzt und wieder zu Kleidern verarbeitet werden. Zur Vereinfachung wird keine Reduktion der Gesamttextilmenge an sich angenommen.

Abbildung 1: Verteilung der Abfallwege heute und in einem D4RR Szenario



Quelle: eigene Darstellung nach Quellen aus nachfolgender Tabelle 1

Tabelle 1: Altkleideraufkommen und Abfallwege

	Kg pro Person und Jahr	Heute %	D4RR Scenario %
Sammelaufkommen Altkleider	15,3 ^a	/	/
Wiederverwendung³ in Deutschland	0,5 ^a	5 ^b	50 ^e
Wiederverwendung außerhalb Deutschlands	9,0 ^b	57 ^b	16 ^e
Stoffliche Verwertung (Textile-to-textile)	0,2 ^d	1 ^c	25 ^e
Stoffliche Verwertung (Downcycling)	3,9 ^b	25 ^b	8 ^e
Thermische Verwertung	1,2 ^b	8 ^a	4 ^e
Beseitigung (Deponierung)	0,6 ^b	4 ^a	1 ^e

Quelle: (a) Direktdaten aus Forbig et al. 2020 (Zahlen in Deutschland im Jahr 2018); (b) Errechnet nach Forbig et al. 2020; (c) EMF 2017; (d) Errechnet nach EMF 2017; (e) Annahmen in dieser Studie

Das Abfallaufkommen an Altkleidern von 15,3 kg pro Person und Jahr zugrunde legend (Forbig et al. 2020), reduziert sich die Abfallmenge, die über Downcycling, in der thermischen Verwertung oder der Deponierung entsorgt werden muss, im D4RR Szenario um 4,2 kg bzw. um 7 Kleidungsstücke pro Person und Jahr.

Für Berlin ergeben sich vermiedene Mengen von Neuwaren von 27,7 Mio. Kleidungsstücke oder 16 600 t pro Jahr und vermiedene Mengen an Emissionen von 226 100 t CO₂-Äquivalenten (CO₂e) pro Jahr. Weitere Einsparungen von Emissionen sind die Einsparungen der Transporte von 2nd-Hand-Ware: Wenn die innerdeutsche Zweitnutzung gesteigert wird, entfallen die weiten Transportstrecken in die EU sowie das Nicht-EU-Ausland. Wie sich die CO₂-Emissionen des Textile-to-textile-Recycling im Vergleich zu den Emissionen aus dem Downcycling auswirken würden, ist an dieser Stelle nicht abzusehen.

Dieser Berechnung wurde die Einwohner*innenzahl von 4 Mio. zugrunde gelegt, da es sich um eine systemische Änderung und keine individuelle Entscheidung handelt. Der Anhang (Kapitel 8.1, Seite 48) liefert die Erklärung zur Umrechnung der vermiedenen Neuware in vermiedene Mengen an Emissionen.

4.1.2 Nutzungsdauerverlängerung – Reparatur

Insbesondere für zeitlose Kleidungsstücke, die nicht aus modischen Gründen aussortiert werden und die robust sind, empfiehlt sich zur Nutzungsdauerverlängerung die Reparatur. Ein gutes Beispiel sind Hosen, insbesondere Jeans. Die häufigsten Gründe für Reparatur einer Jeans sind Löcher, Risse in der Hose oder in Innentaschen, oder kaputte Knöpfe, Nieten oder Reißverschlüsse. Auch werden von Reparaturdienstleistern die Jeans gekürzt oder vom Laufen und Radfahren innen zerschlissene Hosenbeine verstärkt. Die Reparatur ist in vielen Änderungsschneidereien und über Internetanbieter, z.T. sogar beim Hersteller direkt möglich (Jeans

³ „Dies ist jedoch als eine Folge der ökonomisch diktierten, möglichst großen Wertschöpfung durch steigende Spezialisierung und erhöhten händischen Sortieraufwand zu betrachten, wobei letzterer nach wie vor nicht wettbewerbsfähig durch Technik substituierbar ist.“ Forbig et al. (2020).

Doctor 2021; Jeans-reparieren.de 2021; Nudiejeans 2021). Beispielhaft wird das Umweltentlastungspotenzial für die Nutzungsdauerverlängerung einer Jeans durch Reparatur und das explizite Längertragen berechnet.

In einem Basisszenario wird eine Jeans zwei Jahre lang genutzt. Das Reparieren und explizite Längertragen könnte die Nutzungsdauer auf fünf Jahre verlängern. In 10 Jahren bräuchte eine Person fünf Jeanshosen, wenn sie nur zwei Jahre genutzt werden, bzw. zwei Hosen, wenn sie fünf Jahre genutzt werden. Die Nutzungsdauerverlängerung führt zu einer Reduktion von drei Hosen (Differenz zwischen fünf und zwei) innerhalb von 10 Jahren, die nicht gekauft, also vermieden werden.

Die Einsparung von drei Jeans innerhalb von 10 Jahren bewirkt eine Reduktion der jährlichen Abfallmenge von 180 Gramm pro Jahr unter der Annahme, dass eine durchschnittliche Jeans 600 Gramm wiegt (purity.designuspro.com 2020).

$$(3 \text{ vermiedene Jeans}) / (10 \text{ Jahre}) \cdot 600 \text{g/Jeans} = (180 \text{g}) / \text{Jahr}$$

Eine Umfrage von Greenpeace ergab, dass 37 % der Befragten 6 bis 10 Hosen und 34 % der Befragten 11 bis 20 Hosen besitzen (Greenpeace 2015). Daraus leiten wir ab, dass der Durchschnitt der Bevölkerung zehn Hosen besitzt. Wenn Reparieren und langes Tragen das neue „Normal“ und für alle Hosen die Lebensdauer von 2 auf 5 Jahre verlängert werden würde, könnten gemäß der oberen Rechnung 1,8 kg Abfall durch Hosen pro Person pro Jahr gespart werden (180g*10 Hosen). Dies ist eine beachtliche Menge vor dem Hintergrund, dass Forbig et al. (2020) jährliche Abfallmengen von 15,3 kg/Person berichten. Wenn 30 % der 4 Mio. Einwohner*innen Berlins diese Maßnahme umsetzten, könnte das Land jährlich 2 200 Tonnen Altkleider sparen.

Zur Berechnung der CO₂-Äquivalente (CO₂e) wird der durchschnittliche CO₂-Fußabdruck einer Jeans von 14,3 kg CO₂e verwendet.⁴ Die Einsparung von drei Jeans innerhalb von 10 Jahren beträgt 4,3 kg CO₂e pro Jahr.

$$(3 \text{ vermiedene Jeans}) / (10 \text{ Jahre}) \cdot (14,3 \text{ kg CO}_2\text{e}) / \text{Jeans} = (4,3 \text{ kg CO}_2\text{e}) / \text{Jahr}$$

Unter Berücksichtigung der eben hergeleiteten Annahme von 10 Hosen pro Person ergibt sich für 30 % der Berliner Bevölkerung⁵ die Summe von 51 500 Tonne vermiedener CO₂e.

$$(4,3 \text{ kg CO}_2\text{e}) / \text{Jahr} \cdot (10 \text{ Jeans}) / \text{Person} \cdot 30 \% \cdot 4 \text{ Mio. Personen} = 51 500 \text{ t CO}_2\text{e} / \text{Jahr}$$

4.1.3 Nutzungsintensivierung – Zusammensetzung des Kleiderschranks wird zirkulär

Eine besonders wichtige Maßnahme für zirkuläre Mode ist das Leihen – unabhängig davon, ob mit oder ohne Leihgebühr, privat oder bei Verleihunternehmen. Das Leihen bedeutet eine Netto-Reduktion und Nutzungsintensivierung von Kleidungsstücken. Weitere Reduktionen bewirkt das Aussortieren seines Kleiderschranks, wenn man wenig getragene Kleidung auf dem Verleih-, Tausch- und 2nd-Handmarkt zur Verfügung stellt. Welches Umweltentlastungspotenzial bewirkt eine intensivere Nutzung der Kleidung von Privatpersonen, wenn sich ein Kleiderschrank in Zukunft aus vielen „zirkulären Kleidungsstücken“ zusammensetzt?

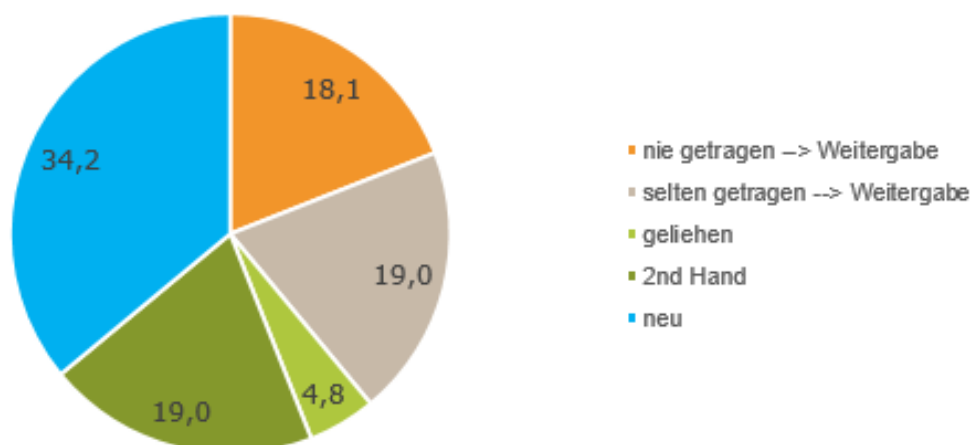
⁴ Mittelwert von vier Einzelwerten nach Aslund Hedman (2018) und ADEME (2007), konkrete Werte siehe Anhang (Tabelle 21).

⁵ Es handelt sich um eine Maßnahme, die Verbraucher*innen individuell entscheiden, daher – wie im Kapitel zur Methodik erklärt – die Berechnung für 30 % der Berliner*innen.

Eine erwachsene Person besitzt 95 Kleidungsstücke⁶, von denen laut einer Umfrage von Greenpeace (2015) 19 % nie (18 Kleidungsstücke) und weitere 20 % selten (19 Kleidungsstücke) getragen werden. Dann gibt es in Kleiderschränken diejenigen Kleidungsstücke für spezielle Anlässe und eine gewisse Anzahl an Teilen, die für Variabilität und Auswahl sorgen. Sie sind prädestiniert für das kommerzielle oder privat Tauschen bzw. Leihen. Es wird angenommen, dies wären weitere 5 %, das entspricht 5 von 95 Kleidungsstücken. Nach dem Ausmisten dieser drei Fraktionen verblieben 53 Teile. Würde die betreffende Person nun 20 % ihrer Kleidung 2nd-Hand oder in Upcycling-Läden kaufen (19 Teile), blieben 34 Kleidungsstücke (36 %) „übrig“, die Verbraucher*innen neu kauften. Abbildung 2 stellt die Verteilung dar (die Angaben entsprechen der Anzahl von Kleidungsstücken).

Durch ein solches Umkrempeln des Kleiderschranks könnte vermieden werden, dass Personen 61 neue Teile erwerben (95 minus 34 Teile). Der 2nd-Hand-Bedarf würde sich über die Weitergabe der nie und selten getragenen Kleidungsstücke aus anderen Kleiderschränken decken. Die folgende Abbildung stellt den zirkulären Kleiderschrank graphisch dar.

Abbildung 2: Zusammensetzung eines „zirkulären Kleiderschranks“ mit 95 Kleidungsstücken



Hinweis: Die Angaben im Diagramm meinen die Anzahl an Kleidungsstücken, keine Prozentwerte.
Quelle: Greenpeace 2015 & eigene Annahmen für „geliehen“ (5 %) und 2nd-Hand (knapp 20 %)

61 vermiedene, neue Klamotten pro Person entsprechen 36,5 kg pro Person unter der Annahme des durchschnittlichen Gewichts eines Kleidungsstücks von 600g.⁷ Mit der im Anhang (Kapitel 8.1, Seite 48) gelieferten Erklärung zur Umrechnung der vermiedenen Neuware in vermiedene Mengen an Emissionen ergibt das 495 kg CO_{2e} pro Person, die ihren Kleiderschrank umstellt.

⁶ Gemeint sind lang- und kurzärmelige Oberteile, Mäntel, Jacken, Hosen, Rütche, Kleider und Paar Schuhe, ohne Unterwäsche und Socken/ Strümpfe/ Strumpfhosen.

⁷ Mittelwert der Angaben zum Gewicht verschiedener Kleidungsstücke nach purity.designuspro.com (2020)

Die Umstellung des eigenen Kleiderschranks wird nicht bei allen Verbraucher*innen gleichzeitig „von heute auf morgen“ erfolgen; vielmehr wird angenommen, dass je 10 % der Bürger*innen Berlins in drei aufeinanderfolgenden Jahren ihren Kleidungsbestand zirkulär umstellen. Wie in der Methode dieser Studie dargelegt, werden Maßnahmen, die durch individuelle Verbraucher*innen-Entscheidung umgesetzt werden müssen, für insgesamt 30 % der Berliner Bevölkerung modelliert. Stellten also in einem Jahr 10 % der Berliner Bürger*innen ihren Kleiderschrank in der genannten Weise um, müssten pro Jahr 14 600 t Neuware nicht produziert werden, was einer Ersparnis von knapp 200 000 t CO_{2e} entspräche.

4.1.4 Materialneunutzung—Upcycling

Dieses Beispiel stellt insofern einen Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Beispielen dar, als dass hier das Umweltentlastungspotenzial eines Geschäftsmodells berechnet wird. Die Verbraucher*innen spielen in diesem Zusammenhang nur indirekt eine Rolle, wenn sie das entsprechende Geschäftsmodell unterstützen und in Upcycling-Läden einkaufen.

Upcycling ist eine Form der Materialneunutzung, rund zwei Dutzend Upcycling-Ateliers gibt es in Berlin, so die Recherche (Ecornet 2021c). Welches Umweltentlastungspotenzial haben diese Ateliers schon heute? Es wurde angenommen, dass jedes Atelier 10 Kleidungsstücke pro Woche an Kund*innen verkauft, die aufgrund dieses Kaufs die Kleidungsstücke nicht neu und auch keine zusätzlichen neuen Kleidungsstücke kaufen. Wichtig ist, dass diese Läden eine Alternative zum linearen Modemarkt darstellen. Mit dieser Annahme werden in Berlin pro Jahr ca. 12 500 Kleidungsstücke des linearen Markts durch Kleidungsstücke aus Upcycling-Ateliers vermieden. So konnten knapp 7,5 t Neuproduktion vermieden werden, unter der Annahme des durchschnittlichen Gewichts eines Kleidungsstücks von 600g.⁸ Zum Vergleich: Im Jahr 2016 wurden in Berlin 33 250 t Altkleider gesammelt im Jahr 2018 waren es rund 47.800 t (Vogt und Fehrenbach 2016; Vogt und Ludmann 2019). Überschlagen zufolge entspricht dies 102 000 kg CO_{2e} pro Jahr. Der Anhang (Kapitel 8.1, Seite 48) liefert die Erklärung zur Umrechnung der vermiedenen Neuware in vermiedene Mengen an Emissionen. In diese Berechnung geht der Parameter für die Skalierung auf Berlin mit der gesamten Einwohner*innenzahl von 4 Mio. ein.

Welches Umweltentlastungspotenzial ergäbe sich durch eine Steigerung ihres Beitrags zu einem Circular Berlin im Textilbereich? Eine Verdopplung der Kleidungsstücke, die Kund*innen in Upcycling Ateliers alternativ zu Neuware kaufen, also 20 statt 10 Teile pro Laden, ergäbe eine Verdopplung der vermiedenen Mengen an Neuwaren und CO_{2e} pro Jahr, d.h. 15 t Neuware und 203 000 kg CO_{2e} pro Jahr.⁹

Auch Recycling ist eine Form der Materialneunutzung. Das Umweltentlastungspotenzial durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen wird jedoch in diesem Kapitel nicht berechnet, da zu Beginn des Jahres 2021 kein Closed Loop-Recycling für Altkleider besteht. Aktuelle Recyclingfasern für die Textilproduktion stammen, wie beschrieben, entweder aus PET-Getränkeflaschen oder Nylon-Fischernetzen. Aus Kreislaufwirtschaftsperspektive ist die Verwendung dieser Sekundärrohstoffquellen

⁸ Mittelwert der Angaben zum Gewicht verschiedener Kleidungsstücke nach purity.designuspro.com (2020)

⁹ Aufgrund von Rundungen ergibt sich hier nicht ganz der verdoppelte Wert vermiedener CO_{2e} pro Jahr.

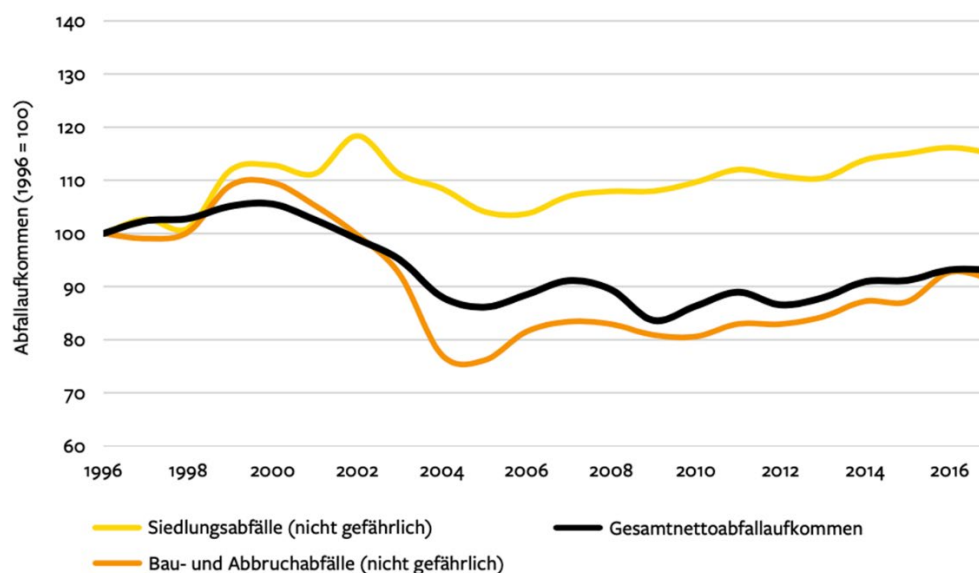
in Textilien eine sogenannte Kaskadennutzung bzw. ein Open Loop- oder Downcycling. Würde das PET-Rezyklat aus Flaschen in neuen Flaschen verwendet, könnte es wieder recycelt und wieder in Flaschen verwendet werden. Für Textilien besteht jedoch aktuell kein stoffliches Recycling auf großtechnischer Ebene, sodass die Rezyklatfasern in Kleidung nach dem ersten Kreislauf mit dem Textil in der Verbrennung endeten. Das Closed Loop-Recycling ist dem Open Loop-Recycling vorzuziehen, es wird daher an dieser Stelle kein Umweltentlastungspotenzial für das Open Loop-Recycling von Textilien berechnet.

Diese Bilanzierung wurde unabhängig von Material- & Fasertyp durchgeführt, obwohl sie verschiedene Umweltentlastungspotenziale haben. Dieses Detaillevel ist in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt und die Berechnungen sind stark vereinfacht, da der Fokus nur auf der allgemeinen Vermeidung liegt. Die verschiedenen Vorteile für die Umwelt, die eine Vermeidung verschiedener Faser- und Materialtypen bewirken würde, modellierten Schmidt et al. (2016) in *Gaining benefits from discarded textiles – LCA of different treatment pathways*.

4.2 Baumaterialien

Ein Blick auf das Gesamtnettoabfallaufkommen Deutschlands zeigt, dass nicht nur die Gesamtmenge der Siedlungsabfälle, sondern ebenfalls die der Bau- und Abbruchabfälle seit der Jahrtausendwende wieder kontinuierlich ansteigt (siehe Abbildung 3). Dies ist vor allem auf den kontinuierlichen Boom der Baubranche in Deutschland zurückzuführen.

Abbildung 3: Bau- und Abbruchabfälle im Kontext des Gesamtabfallaufkommens in Deutschland (1996 – 2017)



Quelle: SRU 2020

In Bezug auf das Land Berlin weist die Stoffstrombilanz des Jahres 2018 eine Gesamtmenge von 806.604 t Bauschutt aus, die zu 53 % der Deponie, 26 % der Altablagerung, zu 13 % dem Straßenbau sowie zu 8 % der Verfüllung zugeführt werden (Vogt und Ludmann 2019).

4.2.1 Life Cycle Designing – Modulares, zirkuläres Bauen in Holzbauweise

Um diesem Trend der steigenden Bauabfälle entgegenzuwirken, sind in Berlin zahlreiche Initiativen aktiv, die sich auf das Prinzip des **Zirkulären Bauens** fokussieren (siehe Ecor-net 2021a, Arbeitspaket 1). Zirkuläres Bauen hat zum Ziel, Kreislaufwirtschaftsgedanken bereits in der *Planungsphase* von Bauprojekten aktiv mitzudenken.

Ein typisches Beispiel für diesen Ansatz besteht im **Modularen Schulbau** unter Berücksichtigung von Methoden der **Holzbauweise** (siehe Abbildung 4).

Holzbauweise im Kontext des zirkulären Bauens bedeutet, dass sämtliche eingesetzten Baustoffe so angelegt werden, dass sie sich zum Ende der Nutzungsphase wieder sortenrein zurückbauen lassen. Des Weiteren soll dabei komplett auf Leime, die Schadstoffe enthalten, verzichtet werden. Natürliche Baustoffe wie Holz erlauben dabei eine effiziente Montage sowie einen besonders einfachen Rückbau.

Abbildung 4: Modularer Schulbau unter Berücksichtigung der Holzbauweise als Beispiel Zirkulären Bauens (oben) vs. Plattenbauweise (unten)



Quelle: (Blumer Lehmann 2021), © Frank Vacik (re)

Zu den Konzepten des modularen, zirkulären Bauens für Schulen zählt auch die Möglichkeit, dass die Module eines Schulbaus nach der Nutzung von 10-15 Jahren an anderer Stelle wiederverwendet werden können („**Re-use**“). Im Gegensatz zu den entstehenden Bau- und Abbruchabfällen, die durch den Abriss von konventionell gebauten Schulgebäuden entstehen, werden so sowohl Deponieabfälle sowie weitere andere Recyclingmaterialien (z.B. RC-1 Material) eingespart. Demgegenüber führt der Abriss eines typischen Schulhauses in Plattenbauweise zu erheblichen Umweltauswirkungen. Tabelle 2 schlüsselt das Abfallaufkommen beim Abruch eines konventionellen Schulgebäudes nach Entsorgungsart auf. Insgesamt

fallen 2183 t Abfall und CO₂e von 10,3 t (10.292,88kg). Der Abbruch des in Abbildung 4 dargestellten beispielhaften Plattenbaus, erfolgt selektiv.¹⁰

Tabelle 2: Abfallaufkommen und Umweltauswirkungen durch den Abriss eines konventionellen Schulhauses (Plattenbauweise, Typ P2)

	t	in %
RC-1 Material	1 531,21	70,14
Deponie	292,51	13,40
Recyclingmaterial	359,37	16,46
Gesamt	2 183,09	
CO₂e	10,3	

Quelle: Weimann et al. 2013

Nach Angaben der Senatsverwaltung Berlin sollten im Rahmen der Schulbauoffensive Berlin **60 neue Schulen** in den Jahren 2018-21 im gesamten Stadtgebiet gebaut werden (Senatsverwaltung Berlin 2021). Eine modulare, zirkuläre Holzbauweise der 60 neuen Schulen, die eine Wiederverwendung der Module (inkl. aller Materialien) erlauben würde, würde zu einer Vermeidung jenes Abfallaufkommens führen, das durch den Abriss der Gebäude entstünde. Wenn man des Weiteren davon ausgeht, dass durch die modulare, zirkuläre Bauweise durch die Wiederverwendung gar kein Abfall entsteht, könnten so Abfallmengen durch den Abriss der konventionellen Gebäude in der Zukunft in geschätzter Höhe von **130.985,4 t** eingespart werden. Damit verbunden sind CO₂-Einsparungen in **617,6 t CO₂e** aus (siehe Tabelle 3).¹¹

Tabelle 3: Jährlich eingesparte Bauabfälle sowie CO₂e Emissionen durch Anwendung der zirkulären Holzbauweise in Rahmen der Schulbauoffensive

	t/a	t CO ₂ e /a
Jährliche Reduktion (Annahme: Lebensdauer des konventionellen Gebäudes 60 Jahre)	2 183,09	10,3

Quelle: Eigene Berechnungen nach Weimann et al. 2013

Erläuterung: Die oben dargestellten Berechnungen gehen davon aus, dass alle Module sowie Materialien im Rahmen der zirkulären Holzbauweise wiederverwendet werden können. Des Weiteren wird von einer vollkommenen CO₂-Neutralität der Bauweise ausgegangen. Aus diesem

¹⁰ Das heißt nach Weimann et al. (2013), dass der Abbruch des Gebäudes mit einem Hydraulikbagger mit Anbauteilen ausgeführt wird. Die Gipsbauwände werden dabei jedoch separat abgegriffen bzw. händisch zurückgebaut. Der Verbundestrich wird mit Pressluftschlämmern abgestemmt. Das getrennt abgebrochene gipshaltige Material wird deponiert. Der Bauschutt wird in einer stationären Anlage aufbereitet. Das Gebäude ist teilentkernt, folgende Arbeitsschritte sind schon erfolgt und werden in diesem Modell nicht berücksichtigt: Demontage der Heizungsanlage, der Sanitärkeramiken (Waschbecken, WC und Wanne), der Stromleitungen, der Fenster und Rahmen, Türen und Türzargen sowie Treppengeländer. Eventuell vorhandene Schadstoffe sind beseitigt.

¹¹ CO₂-Emissionen, die bei der Aufstellung bzw. durch Um- & Neunutzung von Modulen entstehen, (z.B. Abgase durch Krannutzung, Transport, Renovierung etc.) werden an dieser Stelle vernachlässigt

Grund werden die gesamten zu erwartenden Bauabfälle sowie CO₂e -Emissionen, die mit einem konventionellen Gebäude im Vergleich einhergehen, eingespart.

Insgesamt liegt das gewerbliche Bauflächenpotenzial Berlins gemäß Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030 bei rund 4450 ha, wovon 2/3 auf den produktionsgeprägten Bereich entfallen (Senatsverwaltung Berlin 2020). Unter der Annahme, dass die restlichen 33 % davon auf Büroflächen (oder ähnliche gewerbliche Anwendungen) entfallen, ergeben sich für die gesamte Stadt Berlin eine Einsparung von rund **70,5 Mio. t Bauabfälle** in der Zukunft sowie eine damit verbundenen CO₂-Einsparung durch den vermiedenen Abriss von **332.631 t CO₂e**.¹²

Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die zirkuläre Holzbauweise keine Bauabfälle sowie keine CO₂-Emissionen anfallen.¹³ Deshalb werden die gesamten Abfälle sowie die gesamten CO₂-Emissionen eines konventionellen Gebäudes eingespart. Bezogen auf die Nutzungsdauer eines konventionellen Gebäudes von 60 Jahren ergibt sich eine Einsparung an Bauabfällen von **1.175.835 t** sowie an CO₂-Emissionen von **5.544 t CO₂e** pro Jahr.

Diese Berechnung spiegelt nur die eingesparten CO₂-Emissionen durch den Abriss konventioneller Gebäude wider. Eingesparte CO₂-Emissionen durch die Zementherstellung (ca. 1 t CO₂ pro t Zement) werden aus Gründen der vereinfachten Abschätzung vernachlässigt. Aus diesem Grund ist das Potenzial eher als konservativ einzuschätzen (Europäische Kommission 2021).

4.2.2 Nutzungsdauerverlängerung – Fenster

Nach Ecornet (2021a) zielen „Maßnahmen der Nutzungsdauerverlängerung darauf ab, die *Nutzungsdauer von Produkten und Strukturen, oder deren Komponenten, durch Weiter- oder Wiederverwendung zu verlängern* und damit die Nutzungsphase im Lebenszyklus auszuweiten“. Dies führt zu Einsparungen bezüglich des Bedarfs an Neuprodukten und deren Rohstoffen. Typische Beispiele aus dem Bereich Bauen sind Renovierungen von Gebäuden oder auch die Wiederverwendung von Bauteilen wie z.B. Türen oder Fenster.

Maßgeblich für eine möglichst lange Nutzungsdauer von Bauteilen für Gebäude sind zum einen **materielle Einflussfaktoren** (z.B. das materialeigene Alterungsverhalten, Baujahr, Bauteilqualität, Planungsqualität, Ausführungsqualität, eine gegenseitige Beeinflussung von Bauteilen, Temperatureinwirkungen, Strahlung, Feuchtigkeit, Luftverschmutzung, Wind u.v.m.). Darüber hinaus gibt es nach Bahr und Lennerts (2010) aber auch eine Reihe weiterer immaterieller Einflussfaktoren wie die funktionale Obsoleszenz (das Bauteil erfüllt seine Funktion nicht mehr), modische Obsoleszenz, baurechtliche Obsoleszenz, ökologische und ökonomische Obsoleszenz.

Wie (Bahr und Lennerts 2010) zeigen, spielen vor allem auch Instandhaltungsarbeiten eine zentrale Rolle für die Lebensdauer von Bauteilen. Im Folgenden soll beispielhaft das ökologische Einsparpotenzial ausgedrückt in reduzierten Abfallströmen sowie CO₂-Einsparungen durch eine verlängerte Nutzungsdauer des Bauteils

¹² Dabei wird für die konventionellen Gebäude von einer Grundfläche von 459 m² sowie einer daraus resultierenden Anzahl an Gebäuden von 32.317 ausgegangen.

¹³ Hintergrund ist die schlechte, ökobilanzielle Datenlage in Bezug auf die zirkuläre Holzbauweise. Das errechnete Potenzial ist diesbezüglich also als optimistisches Szenario einzuschätzen.

Fenster abgeschätzt werden. Zahlreiche in Berlin aktive Initiativen bieten Fenster zur Wiederverwendung an, wie z.B. die sog. Material Mafia (2021).

Nach Bahr und Lennerts (2010) liegt die Nutzungsdauer eines typischen Fensterflügels für Wohngebäude aus Aluminium-Holzkomposit bei:

- Minimale Lebensdauer: 40 Jahre
- Mittlere Lebensdauer: 50 Jahre
- Maximale Lebensdauer: 60 Jahre

Unter Berücksichtigung der von (Bahr und Lennerts 2010) genannten Haupteinflussfaktoren (H) wie Bauteilqualität, Bauausführung und sonstige interne Einflüsse sowie weitere Nebeneinflussfaktoren (N) wie Nutzungsart, Nutzung nach Bestimmung und Instandhaltungsqualität, kommen die Autoren auf eine typische errechnete Bauteillebensdauer von 36 Jahren.

Unter der Annahme, dass ein solches Fenster nach seiner Erstnutzung in einem Gebäude nach 36 Jahren noch einmal weitere 24 Jahre genutzt werden könnte (maximale Lebensdauer), könnte die Lebensdauer theoretisch um weitere 67 % verlängert werden.

Ein Holz-Alu-Fenster, wie es oben dargestellt ist, hat nach Popp und Waltenberger (2015) die folgende Materialzusammensetzung.

Tabelle 4: Materialzusammensetzung eines typischen Holz-Alu-Isolierglasfensters mit 1,5 m² Fensterfläche und 75 kg Gewicht

Verbaute Materialien eines typischen Holz-Alu-Isolierglasfensters	Anteil in %	Anteil in kg	Abfallaufkommen pro Jahr (LD 36 Jahre) in kg	Abfallaufkommen pro Jahr (LD 60 Jahre) in kg	Einsparungen pro Fenster und Jahr in kg
Holz	29,6	22,2	0,62	0,37	0,25
Aluminium	6,2	4,65	0,13	0,08	0,05
Silikondichtung	1,7	1,275	0,04	0,02	0,01
Lack	1,6	1,2	0,03	0,02	0,01
Beschlag	3,8	2,85	0,08	0,05	0,03
EPDM	1,8	1,35	0,04	0,02	0,02
Isolierglasverbund					
	55,3	41,47	1,15	0,69	0,46
Gesamt	100,0	75,00	2,08	1,25	0,83

Quelle: Popp und Waltenberger 2015

Unter der Annahme, dass die Lebensdauer eines Fensters von 36 Jahren um 67 % auf 60 Jahre verlängert werden kann, indem das Fenster an einer anderen Stelle ein zweites Mal verwendet wird, würde sich der jährliche Abfalleintrag pro Fenster von 2,08 kg auf 1,25 kg reduzieren.

Unter der rechtlichen Vorgabe, dass das Verhältnis von lichtdurchlässigen Fensterflächen in Bezug auf die Raumgrundfläche eines Klassenzimmers größer als 1:10 sein muss, wird im Folgenden mit einem Verhältnis von 1,5:10 gerechnet. Daraus ergibt sich für eine typische Gesamtschule eine Anzahl von etwa 210 Fenstern.¹⁴

Für 60 neue Schulen à 210 Fenster (12 600 Fenster), die das Land Berlin im Rahmen seiner Schulbauoffensive (Senatsverwaltung Berlin 2021) plant, ergeben sich folgende Einsparungen bezüglich des jährlichen Abfallaufkommens, wenn die Nutzungsdauer der Fenster von 36 Jahre auf 60 Jahre verlängert werden kann.

Tabelle 5: Verringerung des Abfallaufkommens durch die Verlängerung der Nutzungsdauer von Holz-Alu-Fenstern in Schul- und Bürogebäuden durch Instandhaltung und Zweitnutzung

	Jährliches Abfallaufkommen durch Fenster von 60 Schulen bei 210 Fenstern (über 36 Jahre) in t	Jährliches Abfallaufkommen durch Fenster von 60 Schulen bei 210 Fenstern (über 60 Jahre) in t	Einsparungen pro Jahr in t
Holz	7,8	4,7	3,1
Aluminium	1,6	1,0	0,7
Silikondichtung	0,4	0,3	0,2
Lack	0,4	0,3	0,2
Beschlag	1	0,6	0,4
EPDM	0,5	0,3	0,2
Isolierglasverbund	14,5	8,7	5,8
Gesamt	26,3	15,8	10,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Nach Popp und Waltenberger (2015) beträgt das Treibhausgaspotenzial eines Holz-Aluminiumfensters pro Quadratmeter über die gesamte Lebensdauer etwa 34 kg CO₂e. Unter der Annahme, dass das Referenzfenster eine Fläche von 1,5 m² aufweist, ergibt sich für 12 600 Fenster die unten dargestellte CO₂e Einsparung pro Jahr in t, die sich durch die Verlängerung der Nutzungsdauer der Fenster von 36 auf 60 Jahre ergibt.

¹⁴ Annahmen: Fensterfläche pro Grundfläche=0,15; Fläche pro Klassenzimmer= 85 m²; Fensterfläche pro Klassenzimmer 12,75 m², Anzahl Klassenzimmer = 20; Grundfläche aller Klassenzimmer= 1700 m²; Sonstige Flächen=400 m², gesamte Fensterfläche = 315 m², Anzahl Fenster à 1,5 m² pro Schule =210.

Tabelle 6: CO₂e Einsparung pro Jahr durch die Verlängerung der Nutzungsdauer eines Fensters in Schul-/Bürogebäuden von 36 auf 60 Jahre

t CO ₂ e pro Jahr (ND: 36 Jahre)	t CO ₂ e pro Jahr (ND: 60 Jahre)	Einsparung in t CO ₂ e pro Jahr
18	11	7

Quelle: Eigene Berechnungen

In Bezug auf das gesamte Büroflächenpotenzial Berlins (1483 ha) sowie unter der Annahme einer vergleichbaren Fensterfläche in gewerblichen Gebäuden (außer Produktionsgebäuden) ergibt sich durch die Nutzungsdauerverlängerung der Fenster eine Einsparung des Abfallaufkommens von insgesamt **339.325 t/a**. Das entspricht einer jährlichen CO₂e -Einsparung von **423.741 t/a**.

Tabelle 7: Einsparungen Abfallaufkommen (in t/a) sowie t CO₂e Einsparungen bei 32.317 Bürogebäuden sowie 407,1 Mio. Fenstern

t CO ₂ e pro Jahr (ND: 36 Jahre)	t CO ₂ e pro Jahr (ND: 60 Jahre)	Einsparung in t CO ₂ e pro Jahr
576.852	346.111	423.741

Quelle: Eigene Abschätzungen

4.2.3 Nutzungsintensivierung – Reduktion der Neubauf Flächen

Die sogenannte „Nutzungsintensivierung“ von Gebäuden und Komponenten zielt darauf ab, diese so *intensiver* zu nutzen, dass Rohstoffe bzw. auch Flächen eingespart werden können (vgl. Ecornet 2021a). Typische Beispiele sind sog. „Sharing-Ansätze“ (Nutzer*innen sind nicht zwangsläufig Eigentümer*innen mit dem Ziel eines intensiveren Nutzungsmodus) oder Produkt-Service-Systeme (z.B. Miet- oder Leasingmodelle, die das Recht zur Nutzung beinhalten). Nach Ecornet (2021a) sind beide Modelle im Gebäude- sowie Raumnutzungsbereich stark überlappend und schwer eindeutig voneinander zu trennen.

Tatsächlich stehen im Alltag (nicht zuletzt auch aufgrund der globalen Covid-19-Pandemie) zahlreiche Büroflächen leer. In Pandemiezeiten weichen sehr viele Beschäftigte auf das sog. „Home-Office“ (d.h. Arbeit von zu Hause) aus, zuvor befanden sich zahlreiche Beschäftigte regelmäßig auf Dienstreise. Ein typisches Modell der Nutzungsintensivierung zur Reduktion der Umweltauswirkungen durch (Büro-) Gebäude sind sog. „Co-Working Spaces“. Sie erlauben, dass verschiedene Nutzer*innen die gleichen Büroräume bzw. Arbeitsplätze (ggfs. zeitlich befristet) flexibel mieten, wodurch diese im Vergleich zu einem individuellen Arbeitsplatz deutlich intensiver genutzt werden. Diese Arbeitsplätze sind also deshalb besonders nachhaltig, weil sämtliche Ressourcen (z.B. Rohstoffe für das Gebäude, Bürogeräte wie Drucker, Energieaufwand für Heizung, Licht, WLAN etc.) geteilt werden („Sharing-Modell“). Ein zusätzlicher, besonderer Umweltvorteil von Co-Working Spaces in ländlichen Gebieten oder am Stadtrand (z.B. in Stadtteilen und Dörfern rund um Berlin) ist die Reduktion des Pendler*innenverkehrs und des damit verbundenen CO₂-Ausstoßes (Bähr et al. 2020). Darüber hinaus können an zentraler Stelle umweltbezogene „Standards“ gesetzt werden wie Mülltrennung, Hinweise zur Geräternutzung/Voreinstellungen, Fahrgemeinschaften, Sammelbestellungen usw. (COWORKINGMAG 2021).

Hinsichtlich der Vermeidung von zukünftigem Bauschutt durch ein reduziertes Neubauvolumen in der Stadt Berlin kann ein theoretisches Abfallvermeidungspotenzial ermittelt werden. In Abschnitt 4.2.1 wurde ein gesamtes theoretisches Neubaupotenzial von 32 317 Bürogebäuden (mit einer angenommenen Grundfläche von 459 m²) ermittelt. Unter der Annahme, dass Bürogebäude in Zukunft nur zu 50 % ausgelastet sind, könnte eine effizientere Auslastung von 100 % zu einer entsprechenden Reduktion des Neubauvolumens führen, was wiederum zu einer Einsparung von jährlich **587 918 t** Bauschutt und den damit verbundenen **2 772 t CO_{2e}** führen könnte (unter der Annahme einer konventionellen Bauweise, vgl. Abschnitt 4.2.1).

4.2.4 Materialneunutzung

Nach Ecornet (2021a) dienen „Praktiken im Bereich Materialneunutzung dazu, *„nicht mehr benötigte bzw. als Abfall anfallende Produkte, Komponenten und Materialien durch Recycling- bzw. Aufbereitungsprozesse nach ihrer ursprünglichen Nutzung als sogenannte Sekundärrohstoffe bzw. Sekundärrohstoffquellen wieder in den Materialnutzungskreislauf zu bringen“*. Die Neunutzung der Sekundärrohstoffe dient dabei jedoch einem anderen als dem ursprünglichen Zweck (im Gegensatz zur Nutzungsdauerverlängerung, wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben). Des Weiteren wird generell zwischen „Upcycling“ (hochwertige Nachnutzung) und „Downcycling“ (geringerwertige Nachnutzung) unterschieden. In jedem Fall, so Ecornet (2021a), können beide Varianten helfen, den Bedarf an Primärmaterialien zu reduzieren.

Da die Weiter- bzw. in diesem Kontext die Umnutzung von Fenstern bereits in Kapitel 4.2.2 untersucht wurden, sollen im Folgenden die Umweltentlastungspotenziale von Downcycling betrachtet werden.

Downcycling

Ähnlich wie in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 sollen auch an dieser Stelle die Vorgaben im Kontext der Berliner Schulbauoffensive untersucht werden. Diese beinhaltet nach Ecornet (2021a):

- den Einsatz von gütegesicherten Sekundärrohstoffen beim Einsatz von Dachsubstraten (z.B. Ziegelsubstrate) zur Begrünung von Gebäudedächern (Bornholdt et al. o.J.), sowie
- den Einsatz von gütegesicherten Sekundärrohstoffen bei der Befestigung von Flächen (z.B. für Tragschichten aus Recyclingbeton, R-Beton mit maximaler Körnung von 16 mm) (Deutsches Architektenblatt 2020; Stürmer und Kulle 2017).

Nach Bornholdt et al. (o.J.) eignen sich sekundäre Ziegelsubstrate aus Bauschutt für die extensive, direkte Begrünung von Flachdächern mit einer Neigung von max. 5°. Das max. Gewicht der Substrate sollte dabei (wassergesättigt) zwischen 190 und 680 kg/m² Dachfläche liegen (aufgrund der Wassersättigung wird mit dem unteren Wert von 190 kg/m² gerechnet). Daraus ergeben sich bezüglich dem Sekundärrohstoff Ziegel die in Tabelle 8 dargestellten Entlastungspotenziale von Primärziegeln durch die Wiederverwendung und Aufbereitung von Altziegeln.

Bezüglich des Einsatzes von Recyclingbeton zur Befestigung von baulichen Flächen und Tragschichten gibt es zahlreiche gute Beispiele, die zeigen, dass bis zu 30 % Bauschutt so aufbereitet werden können, dass hochqualitativer Sichtbeton entsteht

(vgl. Modellschule in Kirchheim-Teck, Baden-Württemberg (Deutsches Architektenblatt 2020)).

Für beide Optionen der Materialneunutzung in neuen Schulgebäuden ergeben sich folgende Umweltentlastungspotenziale (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Materialneunutzung in Tonnen durch die Schulbauoffensive Berlin

		Entlastungspotenzial durch eine Schule (t)	Gesamtentlastungspotenzial „Schulbauoffensive“ (t)	Gesamtentlastungspotenzial „Schulbauoffensive“ pro Jahr (t/a)	Relative Entlastung pro Jahr (%)
Substrat aus rezyklierten Ziegeln zur Dachbegrünung	190 kg/m ²	23.940	23.940	798	1,1
Bauschutt für Recyclingbeton (R-Beton) pro Schule	1800 m ³ /t	1.980	118.800	3.960	0,5

Quelle: eigene Berechnungen

Annahmen: 1 m³ = 1,1 t Bauschutt, Anzahl neuer Schulen nach der Schuloffensive Berlin: 60; Grundfläche einer Schule: 2100 m², Lebensdauer eines Schulgebäudes: 30 Jahre.

Bezogen auf die Gesamtmenge an Abfallziegeln von 74.444 t, die derzeit in Berlin pro Jahr anfallen (siehe Stoffstrombilanz, IFEU 2018), entspricht die Vorgabe der Dachbegrünung durch rezyklierten Ziegeln einem Entlastungspotenzial von 1,1 %.

Gemessen an der jährlichen Gesamtmenge an Bauschutt der Stadt Berlin (806.604 t, Vogt und Ludmann 2019) ergibt sich durch die Umsetzung der Vorgabe der Schulbauoffensive durch die Verwendung von Recyclingbeton eine Entlastung von 0,5 %.

Unter der Annahme, dass für ganz Berlin ein Baupotenzial für eine Anzahl von 32.317 typischen neuen gewerblichen Gebäuden (außer Produktionsgebäuden) besteht (siehe Abschnitt 4.2.1), ergibt sich daraus ein *jährliches* Wiederverwertungspotenzial von **429.811 t** Ziegeln für Dachsubstrate sowie rund **2,13 Mio. t** Recyclingbeton. Damit könnte potenziell deutlich mehr als die gesamte jährlich anfallende Menge an Altziegeln in Berlin (74 444 t/a in 2018) sowie ebenfalls die gesamte Menge an Bauschutt (806 604 t in 2016) für Dachbegrünungen oder Recyclingbeton verwendet werden (Vogt und Ludmann 2019).

Im konventionellen Fall wird typischerweise anstelle von Recyclingziegeln Kies zur Dachbegrünung verwendet. Eine vereinfachte Abschätzung einer vergleichbaren Menge von 429 811 t an Kies ist mit einer jährlichen CO₂-Emission von **3.335,3 t** CO_{2e} verbunden (Annahmen: 0,00766 CO_{2e}/kg Kies, siehe (Umweltbundesamt 2021), Nutzungsdauer des Gebäudes: 30 Jahre), die somit eingespart werden kann.

Parallel ergeben sich aus der Hochrechnung des potenziell eingesetzten Bauschutts (anstelle von Kies) in RC-Beton für ganz Berlin, eine Gesamtmenge von **63,99 Mio. t**. Bezogen auf ein Jahr ergibt sich so eine Einsparung von **2,13 Mio. t** Kies zu Gunsten von Bauschutt für die Verwendung in Recyclingbeton.

Die CO₂-Einsparungen durch Recyclingbeton hängen vom Beimischungsgrad des Bauschutts anstelle von Kies ab, sowie von der Art des damit realisierten Neubaus. Die CO₂-Einsparung durch Recyclingbeton im Vergleich zu konventionellem Beton wird von einigen Quellen 10-20 % geschätzt (PNB Potsdam 2021; Mettke und Heyn 2021), vgl. Tabelle 10. Die wesentliche Größe jedoch, welche die CO₂-Emissionen von allen Betonsorten determiniert geht auf die Zementherstellung zurück. Bis zu 98% der CO₂-Emissionen von Beton (jeder Art) gehen auf Zement zurück, das bei jeder Sorte benötigt wird.

Tabelle 9: Abschätzung der CO₂-Einsparungen durch den Einsatz von Bauschutt in Recyclingbeton anstelle von Kies

	Einheit	Wert
CO₂e pro t Kies	kg CO ₂ e/t	7,7600
CO₂e pro t Bauschutt für RC-Beton	kg CO ₂ e/t	6,7221
CO₂e -Einsparung pro kg eingesetztem Bauschutt (kg CO₂e/kg)	kg CO ₂ e/t	1,0379

Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage von Weimann et al. 2013; Mettke und Heyn 2021

Aus den in Tabelle 9 ermittelten spezifischen CO₂e-Einsparungen ergeben sich für das Gesamtneubaupotenzial an gewerblichen Gebäuden in der Stadt Berlin (32.317 neue Bürogebäude) somit eine gesamte CO₂-Einsparung von 66.415 t CO₂e sowie eine jährliche Einsparung von **2.214 t CO₂e/a**.

4.3 Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)

Die Produktion und Nutzung von IKT-Geräten wirken sich auf unterschiedliche Weise auf die Umwelt aus. Eine bekannte Umweltauswirkung von IKT als „Fast-Moving Consumer Goods“ (Rizos et al. 2019) sind die Treibhausgasemissionen (ausgedrückt durch GWP), die aus dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase resultieren. Ein ebenso bedeutender Anteil der Treibhausgasemissionen entsteht durch der Rohstoff- und Energieverbrauch in der Produktionsphase. Über den Treibhauseffekt hinaus verursachen die IKT-Produkte weitere direkte Umweltauswirkungen, die ebenfalls relevant sind. Insbesondere der Ressourcenverbrauch (abiotisch und biotisch), der Wasserverbrauch und die toxischen Wirkungen der Chemikalien in der Produktionsphase sind hierbei relevant. Wegen der zunehmenden Digitalisierung wird ein weiterer Anstieg des globalen Ressourcenbedarfs erwartet. Dieser ist auf die Herstellung dieser IKT- und Infrastrukturgeräte und des Energieverbrauchs für deren zurückzuführen. Weiterhin bewirkt die zunehmende Digitalisierung zeitversetzt einem Anstieg der Menge des Elektroschrotts („e-waste“). Elektroschrott enthält wertvolle Materialien und auch gefährliche Stoffe. Ein Großteil des Elektroschrotts wird in Entwicklungsländern, vor allem in Afrika und Asien, informell demontiert. Dies hat bereits zu erheblicher Wasser- und Luftverschmutzung, Bodenkontamination und gesundheitlichen Beeinträchtigungen für Arbeiter*innen und die lokale Bevölkerung geführt. Obwohl 66 % der Weltbevölkerung der WEEE-Gesetzgebung unterliegen, und obwohl die im E-waste enthaltenen wertvollen Materialien einen geschätzten Wert von 55 Milliarden Euro haben, werden nur 15 % - 20 % ordnungsgemäß recycelt (Cook und Jardim 2017).

Die folgende exemplarische Hochrechnung ist vor allem auf das GWP fokussiert. Die ausgewählten IKT-Produkte orientieren sich an der Verfügbarkeit der Datengrundlage und an den gängigen verwendeten IKT-Produkten in Berliner Haushalten.

4.3.1 Life Cycle Designing – Fairphone

Viele Klimabilanzen bzw. Ökobilanzen von Smartphones (Manhart et al. 2016; Proske et al. 2020) haben gezeigt, dass die Produktion das GWP-Ergebnis des gesamten Lebensweges dominiert hat. Fairphone Generation 3 ist ein gutes Beispiel für Produkt-Redesign. Das Fairphone 3 verfügt über 9 Module, die ersetzt werden können, um die weitere Funktionsfähigkeit zu ermöglichen. Das Konzept der „Modularität“ verbindet einfachere Reparierbarkeit mit Möglichkeiten zum Upgrade und besserem Recycling.

Die ökologischen Vorteile, die aus der Modularität und Reparierbarkeit entstehen, wurden anhand einer Ökobilanz von Fairphone 3 durch Fraunhofer IZM analysiert (Proske et al. 2020). Die Hochrechnung der Umweltentlastungspotenziale dieses Berichtes fußt auf den Ergebnissen der Fairphone 3-Ökobilanz.

Die Anzahl der in Deutschland verkauften Smartphones belief sich im Jahr 2020 auf 22,1 Mio. Stück.¹⁵ Die Einschätzung der Verkaufszahl der Smartphones pro Jahr in Berlin basiert auf dem Verhältnis des Anteils der Bevölkerung in Berlin an ganz Deutschland. Die gesamte Anzahl der Bevölkerung in Deutschland beträgt 83,1 Mio.

¹⁵ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77637/umfrage/absatzmenge-fuer-smartphones-in-deutschland-seit-2008/>

(83 190 556).¹⁶ In Berlin gibt es 3 769 962¹⁷ Einwohner. Das heißt, der Anteil der Bevölkerung in Berlin liegt bei ca. 4,53 % Deutschlands. Somit ergibt diese Schätzung eine Million verkaufte Smartphones in Berlin pro Jahr.

Tabelle 10 beschreibt den Rechenweg für die eingesparte CO₂e-Menge unter dem Redesign-Konzept „Modularität“. Das Einsparpotential des Szenarios *i* ergibt wie folgt:

$$\text{Einsparpotential}(\text{Szenario}_i) = (\text{Ökobilanz}_{ref} - \text{Ökobilanz}_i) \cdot \text{Anzahl Geräte},$$

wobei *ref* das Referenzszenario mit einer Nutzungsdauer von drei Jahren bezeichnet.

Tabelle 10: Indikative Hochrechnung der eingesparten CO₂e auf Basis der Ökobilanz von Fairphone 3

Lebenszyklusbetrachtung	kg CO ₂ e/Gerät bezogen auf 1 Jahr Nutzungsdauer (Proske et al. 2020)	Hochrechnung: Eingesparte CO ₂ e in t/a für 1 Million Smartphones in Berlin im Vergleich zum 3-Jahre-Szenario
Referenz-Szenario: Nutzungszeit von 3 Jahren	13,17	-
5-Jahre-Szenario: Nutzungszeit von 5 Jahren, einmaliger Austausch der Batterie	9,35	3.824
7-Jahre-Szenario: Nutzungszeit von 7 Jahren, zweimaliger Austausch der Batterie	7,64	5.538
Repair-Szenario A: Nutzungszeit von 5 Jahren, einmaliger Austausch der Batterie; Prozentualer Austausch bestimmter Module	9,81	3.357
Repair-Szenario B: Wie Szenario A. Zusätzlich wurde angenommen, dass nicht alle Ersatzteile neue Bauteile sind, sondern ein Teil aus reparierten, gebrauchten Teilen besteht.	9,75	3.417

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Proske et al. (2020)

Zwei Designstrategien, die eine Verlängerung der funktionalen Lebensdauer von Smartphones fördern, sind nach Cordella et al. (2021):

1. Verbesserung der Zuverlässigkeit des Geräts
2. Verbesserung der Reparierbarkeit des Geräts

4.3.2 Nutzungsdauerverlängerung – Smartphone, Laptop, Fernsehgerät

Langlebigkeit und Reparierbarkeit sind wichtig im Hinblick auf Energie- und Ressourcenverbrauch bei IKT-Produkten sowie die Vermeidung von „E-Waste“. Eine

¹⁶ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html

¹⁷ <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/pms/2021/21-02-10.pdf>

kurze Lebensdauer führt einerseits zu einem erhöhten Ressourcen- und Energiebedarf für die Herstellung der neuen Produkte. Andererseits erhöht sie das Aufkommen an Elektronikschrott und die damit verbundenen ökologischen, sozialen und ökonomischen Probleme.

Neue Geräte sind häufig energieeffizienter in der Nutzungsphase als alte Geräte. Es könnte einen Trade-off zwischen der verlängerten Lebensdauer und der Energieeffizienz geben, besonders bei den IKT-Geräten, die in der Nutzungsphase hohe Energie verbrauchen, z.B. Server in Rechenzentren. Bezüglich der IKT-Geräte in Haushalten/Büros hat die UBA-Studie bereits 2012 (Prakash et al. 2012) anhand eines Notebooks untersucht, wann sich die Treibhausgasemissionen von Herstellung, Distribution und Entsorgung eines energieeffizienten Neugeräts amortisieren. Die Ergebnisse der UBA-Studie zeigen, dass bei einer 10%igen Energieeffizienzsteigerung des neuen Notebooks im Vergleich zum alten die Amortisationszeiten zwischen 33 und 89 Jahren liegen. Wenn das neue Gerät in der Nutzungsphase 70 % energieeffizienter ist, liegt die Amortisationszeit eines Notebooks zwischen 6 und 13 Jahren. Auch wenn diese Studie schon relativ alt ist, zeigt der Nachweis, dass eine deutliche Verlängerung der Nutzungszeiten von Notebooks auf mindestens 6 Jahre gefordert werden sollte.

Für die folgende Berechnung der Umweltentlastungspotenziale werden Smartphones, Laptops und Fernsehgeräte als Beispiele zugrunde gelegt. Smartphones sind vergleichsweise kurzlebige Geräte der Informationstechnik, die schneller technischer Veraltung unterliegen und außerdem aus Lifestyle-Gründen vorzeitig ausgetauscht werden. Rüdener und Prakash (2020) legen in ihrer Untersuchung eine Lebensdauer für Smartphones von 2,5 Jahren zugrunde. Die Kantar Worldpanel-Studie (Guenveur 2017) gibt an, dass die Nutzungsdauer eines Smartphones in Deutschland im Jahr 2016 bei 20,3 Monaten ($\approx 1,7$ Jahren) lag. Allerdings weist die Kantar-Studie darauf hin, dass der Austauschzyklus eines Smartphones sich in den letzten Jahren deutlich verlangsamt hat und die Verbraucher ihre Smartphones länger behalten als je zuvor. Für das Jahr 2018 wurde die Lebensdauer auf 26,2 Monate ($\approx 2,2$ Jahre) geschätzt.¹⁸ Die aktuelle veröffentlichte Ecodesign-Vorstudie für Handys, Smartphones und Tablets ("Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets") (Schischke et al. 2021) hat die Nutzungsdauer des Smartphones aus verschiedenen Quellen diskutiert, z.B. hat ein iPhone statistisch gesehen eine durchschnittliche Lebensdauer von 4,1 Jahren. Die Ecodesign Vorstudie legt eine Lebensdauer von 3 Jahren für ihre Berechnung fest. Eine Berlin-spezifische Nutzungsdauer für Smartphones ist nicht zu finden. Für die Hochrechnung wird im Ausgangsszenario eine Lebensdauer von 3 Jahren angenommen.

Die Gründe für das Austauschen eines Smartphones nach Cordella et al. (2021) sind:

- Wunsch nach neuestem Telefonmodell: 47 %
- nicht mehr funktionsfähig: 40 %
- Wunsch nach aktueller Software: 13 %.

Anzumerken ist, dass „nicht mehr funktionsfähig“ nicht unbedingt einem technischen Defekt gleichzusetzen ist. Es kann sein, dass z.B. die Speicherkapazität für

¹⁸ <https://www.cnbc.com/2019/05/17/smartphone-users-are-waiting-longer-before-upgrading-heres-why.html>

individuelle Nutzer*Innen nicht mehr ausreichend ist, oder die Geschwindigkeit beim Internet-Surfen nicht mehr zufriedenstellend ist.

Die Ecodesign Vorstudie (Schischke et al. 2021) dokumentiert ein Umfrageergebnis über häufige defekte Komponenten eines Smartphones in Deutschland. Das Ergebnis zeigt, dass mehr als zwei Drittel (67,4 %) der Defekte Displayschäden betrafen, gefolgt von Gehäuse- (50 %) und Akku-Problemen (33,9 %).

Hochrechnung: Smartphones als Beispiel

Der GWP-Wert für die Herstellung von Smartphones hängt sowohl von der verschiedenen technischen Ausstattung als auch von den bilanzierenden Rahmenbedingungen, getroffenen Annahmen, methodischen Ansätzen und verwendeten Datengrundlagen ab. Für die Hochrechnung des Herstellungsaufwandes wird von Treibhausgasemissionen für die Herstellung von 60 kg CO₂e ausgegangen (Rüdenauer und Prakash 2020). Die Lebensdauer für das Ausgangsszenario wurde mit 3 Jahren angenommen. Die Nutzungsphase kann jedoch um weitere drei Jahre verlängert werden. In diesem Szenario der verlängerten Lebensdauer (Szenario vL) gehen wir davon aus, dass der Akkus einmalig nach drei Jahren und das Display einmal innerhalb der drei Jahre Nutzungsdauer ausgetauscht werden muss. Letztere Annahme überschätzt den Reparaturbedarf an Displays in Szenario vL leicht, da in der Realität nicht alle Smartphones in dieser Zeit einen Displayschaden aufweisen. Dafür werden andere Reparaturen vernachlässigt. Die GWP-Werte aus der Herstellungsphase und den Reparaturmaßnahmen eines Smartphones bezogen auf sechs Jahre sind 124,2 kg CO₂ im Ausgangsszenario und 71,5 kg CO₂ mit verlängerter Lebensdauer. Siehe hierfür Tabelle 22 im Anhang 8.2. Der Stromverbrauch eines Smartphones beträgt 10 kWh/a im Jahr 2021 und nimmt jedes Jahr 1,5 % ab, der Emissionsfaktor des deutschen Strommixes reduziert sich ebenfalls (siehe Tabelle 23) Der Stromverbrauch in der Nutzungsphase stammt aus Rüdenauer und Prakash (2020). Der damit verbundene GWP-Wert über den Betrachtungsraum von 6 Jahren beträgt 29,06 (29,70) kg CO₂ für das Referenzszenario (Vergleichsszenario).

In Summe entsteht ein GWP pro Gerät und Jahr von 25,5 (16,9) kg CO₂. Da es in Berlin 2.033.700 Haushalte gibt (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020) und der Ausstattungsbestand in % (Anzahl der Güter je 100 Haushalte) bei 145 % liegt (Statistisches Bundesamt¹⁹), liegt die Anzahl aller Smartphones in Berlin ungefähr bei 2,9 Mio. Geräten. Insgesamt liegt das Einsparpotenzial durch Nutzungsverlängerung bei Smartphones in Berlin bei ungefähr 25.587 t CO₂e.

Hochrechnung: Laptops als Beispiel

Rüdenauer und Prakash (2020) haben das Einsparpotenzial aus der Nutzungsverlängerung im Auftrag der Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) für 5 Produkte untersucht. Ihre Daten für Laptops liegen der weiteren Hochrechnung zugrunde. Es werde die gleiche Methode und der gleiche Rechenweg wie im vorherigen Beispiel verwendet. Tabelle 25 gibt einen Überblick über die beiden Szenarien. Tabelle 26 stellt den Stromverbrauch und den damit verbundenen GWP-Wert über den Betrachtungsraum von 6 Jahren dar. Tabelle 27 demonstriert den Rechenweg

¹⁹ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html>

für das eingesparte CO₂e aus der verlängerten Lebensdauer im Vergleich zum Ausgangsszenario. Es ergibt sich ein Einsparpotential von 42.096 t CO₂e.

Hochrechnung: Fernsehgeräte als Beispiel

Die GWP-Werte eines Fernsehgerätes in der Herstellungsphase hängen stark von Größe des Displays, Technologie sowie der zugrunde gelegten Datengrundlage ab. Unserer Recherche zufolge ist keine aktuelle, verallgemeinerbare Ökobilanz für Fernseher vorhanden. Huulgaard et al. (2013) hatten eine Ökobilanz für ein 32-Zoll- (wiegt 10,81 kg) und ein 46 Zoll LED LCD TV (wiegt 52,5 kg) entlang des Lebenszyklus untersucht. Anzumerken ist, dass der betrachtete 46-Zoll-Fehseher im Vergleich zum jetzigen Stand ziemlich schwer ist. Ein 46-Zoll-Fernseher wiegt heutzutage ca. 15-24 kg.²⁰ Der GWP-Wert für den 32-Zoll-Fernseher beträgt 239 kg CO₂e in den Lebensphasen: Produktion, Transport und End-of-life²¹; 920 kg CO₂e für den 46-Zoll-Fernseher (Huulgaard et al. 2013).

Eine Klimabilanz für einen 40-Zoll LCD Fernseher ergeben ca. 600 kg CO₂e in der Herstellungsphase (Thomas et al. 2012). Laut Climatop (2012) ergeben sich ca.330 kg CO₂e für ein 47-Zoll LED LCD TV. Eine in Andrae und Andersen (2010) zitierte Studie zeigt einen GWP-Wert von 308 kg CO₂e eines LCD-Fernsehers in der Herstellungsphase.

Idealo²² beschreibt, dass sich der Nachfrageanteil nach TV-Geräten mit einer Bild-diagonale von 65 Zoll von 0,03 % im Jahr 2010 auf 25 % im Jahr 2019 steigerte. TV-Geräte mit einer Bilddiagonale von 55 Zoll machten im Jahr 2019 etwas mehr als 30 % der Nachfrage aus. 75-Zoll-Fernseher gewannen in den letzten Jahren an Bedeutung; im Jahr 2019 machte ihr Nachfrageanteil 5 % aus.

Für die Hochrechnung wurde ein 46-Zoll-Fernseher mit einem Gewicht von 20 kg angenommen. Der GWP-Wert von 500 kg CO₂e wurde vereinfacht für den Aufwand in der Herstellung für weitere Berechnungen verwendet.

Für Geräte mit einer verlängerten Nutzungsdauer wurde angenommen, dass diese noch repariert wurden. Da keine Daten zu den GWP-Werten nach Komponenten verfügbar waren, mussten folgende Vereinfachungen und Annahmen getroffen werden:

- Die häufig defekte Komponente ist das Netzteil, überwiegend durch defekte Elektrolytkondensatoren (Prakash et al. 2016b). Die Lebensdauer von Elektrolyt-Kondensatoren ist insbesondere von der Betriebstemperatur abhängig. Andere Ursachen für den Ausfall der Komponenten sind Arbeitsfehler bei der Montage, Lötfehler, Kabel, Software-Fehler, Festplatten.
- Auf Basis der Daten von EuP Lot 5 (Stobbe 2007) wurde angenommen, dass sämtliche Leiterplatten in einem Fernseher ca. 6 % des Gewichts ausmachen. Somit wiegen die Leiterplatten in einem 20 kg schweren Fernseher (46 Zoll) ca. 1,2 kg.

²⁰ 46"-Samsung Fernseher wiegen ca. 15- 24 kg (<http://www.webdatenblatt.de/cds/de/?pid=6d32df852189059>); <http://cdn.billiger.com/dynimg/8AwIRG-kKcX8IM4I4taINK7t4H9rycHjeBa9LTdXG2DASasojIqTDX5qWW18MtUSWFazJEhFgjXi-CGLaRI8WcAQ/SAMSUNG-UE46ES6100-Technische-Details-8db990.pdf>

²¹ Der GWP-Wert aus der Nutzungsphase wurde ausgeschlossen.

²² <https://www.ideal.de/magazin/technik/ifa-2019-tv-groessen-wandel?cmpReload=true>

- Der GWP-Wert für den Herstellungsaufwand der 1,2 kg schweren Leiterplatte wurde auf 50 kg CO_{2e} auf Grundlage der Leiterplatten in einem Netzteil des Servers anhand des Gewichtverhältnis' grob eingeschätzt.
- Der Reparaturaufwand der ersten 6 Jahre (Ausgangsszenario) wurde nicht berücksichtigt, da der Aufwand für beide Szenarien in diesem Zeitraum gleich hoch ist und somit für die Ermittlung der eingesparten CO_{2e}-Menge irrelevant (Tabelle 28).
- Es wurde angenommen, dass zur Verlängerung der Lebensdauer auf 12 Jahre eine zweimalige Reparatur erforderlich ist, bei der als zusätzlicher Umweltaufwand jeweils eine Leiterplatte ausgetauscht werden muss.

Auf die Stadt Berlin hochgerechnet ergeben sich Einsparungen durch die verlängerte Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Fernsehgeräten von über 136 492 t CO_{2e} pro Jahr. Es ist anzumerken, dass die Hochrechnung nur als Orientierung dient und auf sehr einfachen Annahmen basierte.

4.3.3 Nutzungsintensivierung – Tablet teilen

Nutzungsintensivierung umfasst das Konzept „Produkte nutzen statt sie zu besitzen“. Die Studie im Rahmen des Vorhabens „Circular City Berlin – Wege vom Potenzial zur Umsetzung (CiBER1)“ (Zwiers et al. 2021) hat die Geschäftsmodelle und Initiativen in Berlin hinsichtlich der Nutzungsintensivierung (Sharing und Product-as-a-Service) untersucht. In Berlin sind verschiedene Anbieter ansässig, wie z.B. Grover²³ für IKT-Produkte und auch weiße Ware, Baumärkte für elektrische Werkzeuge, das Mietmodell als „Phone-as-a-Service“ des Unternehmens „Everphone“ und das Leasing-Modell für Kühlschränke, Waschmaschinen und Trockner der BSH Hausgeräte GmbH.

Die Geräte, die man untereinander teilen oder mieten kann, sollten keine persönlichen Geräte sein. Smartphones werden im Bereich der Privatnutzung zum Beispiel nicht unter verschiedenen Benutzern geteilt, da sie mit sehr privaten Informationen verbunden sind.

Für die Hochrechnung der Umweltentlastung hinsichtlich der GWP-Werte werden Tablets als Beispiel genommen. Tablets können innerhalb von Familien, in der Schule, in Bibliotheken und im Büro als mobile Geräte geteilt bzw. genutzt werden. Im Gegensatz zum Smartphone bietet das große Display die Möglichkeit zum Lesen und Arbeiten. Gleichzeitig eignen sich Tablets weniger für mobile Bezahl- und Navigationsanwendungen, die besonders viele persönliche Daten in Smartphones speichern. Die Bandbreite der Klimabilanz bzw. Ökobilanz der Tablets ist wegen der unterschiedlichen technischen Ausstattung, den hinterlegten Rahmenbedingungen und den Annahmen der Modellierung sehr groß. Die in Manhart et al. (2016) ausgewerteten 5 Apple Tablet-Produkte weisen eine Spanne der Umweltwirkung von Produktion, Distribution und End-of-life zwischen 100 und 214 kg CO_{2e} auf. Die Produktion dominiert das CO_{2e}-Ergebnis. Die in Gröger (2020) ausgewerteten „Eco Profiles“-Produkte von Microsoft haben eine Bandbreite zwischen 67 und 99 kg CO_{2e}. Aus der Ecodesign-Vorstudie ergeben sich 36,5 kg CO_{2e} für Produktion, Distribution und End-of-life eines durchschnittlichen Tablets (Schischke et al. 2021).

²³ Berliner Start-up entwickelte B2B- sowie B2C-Plattform Grover, über die die neuesten Technikprodukte flexibel gemietet werden können (Zwiers et. al 2021).

Für die weitere Hochrechnung wird vereinfacht mit einem Wert von 100 kg CO_{2e} pro Tablet-Computer gerechnet.

Tabelle 11 zeigt die geschätzte Anzahl der Tablets in Berliner Haushalten. Es gibt etwa 1,2 Mio. Tablets in Berliner Haushalten (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020)(Statistisches Bundesamt²⁴). Bei der Nutzungsintensivierung wurde angenommen, dass die Nutzer die Tablets teilen. Die Nutzung der Tablets bleibt gleich. Die Nutzungsintensivierung bewirkt also geringe Gesamtzahl der Geräte und somit eine reduzierte Umweltwirkung in der Herstellungsphase der Tablets. Es wurde angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit von Schäden bei mehreren Nutzern hoch ist. Daher findet ein Austausch des Akkus und Displays jeweils ein Mal innerhalb einer Nutzungsphase von 5 Jahren statt. Falls 2 Personen das Tablet teilen, würde die Hälfte der Produktion der Geräte eingespart, somit ergibt sich eine CO_{2e}-Entlastung von 9 915 t CO_{2e} pro Jahr in Berliner Haushalten (s. Tabelle 12).

Tabelle 11: Anzahl Tablets in Berliner Haushalten

	Menge	Quelle
Anzahl der Haushalte in Berlin	(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020)	2 033 700
Ausstattungsbestand in % (Anzahl der Güter je 100 Haushalte im Gebiet: Neue Länder und Berlin)	Statistisches Bundesamt ²⁵	60,3
Eingeschätzte Anzahl Tablets in Berliner Haushalten	Eigene Berechnung	$2.033.700 \times 60,3\% = 1.226.321$

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 12: Hochrechnung des Einsparpotenzials durch die Nutzungsintensivierung

GWP	Ausgangsszenario	Szenario: Nutzungsintensivierung
Nutzungsdauer eines Tablets (Schischke et al. 2021)	5 Jahre	5 Jahre
GWP (kg CO _{2e} / Stück) (Herstellung, Distribution und EoL)	100	100
GWP wegen des Austauschs in der Nutzungsphase (eigene Annahme)	-	1 Mal Akku: $100 \times 5,2 \% = 5,2$ 1 Mal Display: $100 \times 14 \% = 14$
Summe: kg CO _{2e} / Stück / a	$\frac{100}{5} = 20$	$\frac{100 + 5,2 + 14}{5} = 23,83$
Anzahl der Nutzer pro Gerät	1	2

²⁴ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html>

²⁵ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html>

GWP	Ausgangsszenario	Szenario: Nutzungsintensivierung
Eingesparte CO ₂ e aller Geräte pro Jahr		$1.226.321 \times \left(20 - \frac{23,83}{2}\right) / 1000 = 9,915 \text{ Tonne CO}_2\text{e/a}$

Quelle: Eigene Darstellung

*Es wurde der gleiche prozentuale Anteil des Beitrags von Akku und Display am GWP angenommen wie für Smartphones und Rüdener und Prakash (2020) entnommen

4.3.4 Materialneunutzung – Materialrückgewinnung aus zuhause gelagerten Handys

Die Materialneunutzung bezieht sich auf die (Wieder-)Verwendung von Abfallstoffen und Komponenten für die Herstellung neuwertiger Produkte. IKT-Produkte wie z.B. Smartphones, Tablets und Computer enthalten eine Vielzahl wertvoller Materialien, darunter viele Stoffe, die weithin als kritische Rohstoffe angesehen werden.

Nach aktuellen Schätzungen von Rizos et al. (2019) werden nur zwischen 12 % und 15 % der Mobiltelefone ordnungsgemäß recycelt. Darüber hinaus schätzen die Autoren, dass sich der Bestand an ungenutzten, sogenannten gelagerten (auf Englisch als „hibernating“ bezeichneten) Geräten in den EU-Haushalten derzeit auf fast 700 Mio. Geräte in Europa beläuft. Könnten diese Geräte gesammelt und recycelt werden, ließen sich ca. 14 920 t Gold, Silber, Kupfer, Palladium, Kobalt und Lithium im Wert von über 1 Mrd. € zurückgewinnen. Diese 6 Rohmaterialien wurden untersucht, da sie teilweise als kritische Materialien von der Europäischen Kommission identifiziert und ausgewiesen wurden und hohe Umweltauswirkungen bei der Primärgewinnung haben. Darüber hinaus sind sie in den meisten IKT-Geräten enthalten.

Auf Basis der Datengrundlage von Rizos et al. (2019) wurde eine Hochrechnung für die oben genannten 6 Rohmaterialien und die damit verbundenen eingesparten CO₂e-Mengen anhand der „gelagerten“ Smartphones für Berliner Haushalte durchgeführt.

Folgende Daten liegen der Hochrechnung zugrunde:

- Laut einer Berechnung des Digitalverbands Bitkom bewahren die Bundesbürger derzeit rund 206 Mio. Handys und Smartphones zu Hause auf. Einer Bitkom-Pressemitteilung vom 31. März 2021 zufolge basiert diese Berechnung auf einer repräsentativen Befragung von 1 005 Menschen ab 16 Jahren in Deutschland.²⁶
- Die Gesamtbevölkerung in Deutschland beträgt 83,1 Mio. Menschen (83 190 556).²⁷ In der Stadt Berlin leben 3 769 962²⁸ Einwohner. Der Anteil der Einwohner Berlins macht somit ca. 4,53 % der Gesamtbevölkerung Deutschlands aus. Daraus ergeben sich ca. 9,34 Mio. Handys, die zurzeit in Berliner Haushalten gelagert werden.

²⁶ <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mehr-als-200-Mio.-Alt-Handys-lagern-in-deutschen-Wohnungen>

²⁷ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html

²⁸ <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/pms/2021/21-02-10.pdf>

- Es wurde angenommen, dass ein Drittel der aufbewahrten Mobiltelefone ihr Lebensende erreicht haben und zur Materialrückgewinnung verwendet werden sollten.
- Somit existieren ca. 3,08 Mio. Mobiltelefone in Berlin (s. Tabelle 13), die zur Materialneunutzung aus dem Recycling beitragen könnten.

Tabelle 13: Hochrechnung der Anzahl der Mobiltelefone in Berlin, die von dem Zuhause zur Materialrückgewinnung bringen könnten

	Menge	Quelle
Anzahl der zuhause gelagerte Mobiltelefone in Deutschland	206 Mio.	Bitkom 2021
Anteil der Bevölkerung in Berlin	4,53 %	Berechnet nach Anzahl der Bevölkerung
Anzahl der zuhause gelagerte Mobiltelefone in Berlin	9,34 Mio.	206 Mio. × 4,53% = 9,34 Millionen
Anteil der Mobiltelefone, die End-of-Life erreicht haben und zur Materialrückgewinnung verwendet werden sollten	Ein Dritte (33 %)	Eigene Annahme
Anzahl der Mobiltelefone in Berlin zur Materialrückgewinnung	3,08 Mio.	9,34 Mio. × 33% = 3,08 Millionen

Tabelle 14 enthält eine Auflistung der betrachteten Rohstoffe, die aus den gelagerten („hibernating“) Mobiltelefonen gewonnen werden könnten:

Tabelle 14: Indikative Ermittlung der eingesparten betrachteten 6 Rohstoffe der Smartphones

	Gewicht pro Mobilete- fone (g / Ge- rät)	Gewicht (t) von 3,08 Mio. in Berlin (s. Tabelle 13)	Gewicht (T) der Recyclingmate- rialien von 3,08 Mio. in Berlin
Quelle	(Rizos et al. 2019)	Eigene Berechnung	Eigene Berechnung auf Basis von Rückgewinnungsrate mit 95 %* (Proske et al. 2020)
Gold	0,03	0,09	0,09
Silber	0,21	0,65	0,61
Kupfer	14,26	43,93	41,73
Kobalt	8,35	25,72	24,44
Lithium	0,93	2,87	2,72
Palladium	0,01	0,03	0,03
Summe	23,79	73,29	69,62

Quelle: Eigene Darstellung. *Die Rückgewinnungsquoten für andere Metalle mit Ausnahme von Lithium sind in professionellen Anlagen bereits sehr hoch (Buchert 2018; Proske et al. 2020). Für Lithium besteht noch ein Optimierungsbedarf hinsichtlich der Recyclingsysteme (Buchert 2018). Die Rückgewinnung von Lithium ist/wird mit der zunehmenden Produktion von Elektrofahrzeugen

sowie dem Preisanstieg immer attraktiver. Für die vorliegende Berechnung von Lithium wurde vereinfacht ebenfalls von einer Rückgewinnungsquote von 95 % ausgegangen.

Tabelle 15 zeigt die eingesparten CO₂e-Mengen aus der Materialneunutzung für die 6 betrachteten Rohstoffe aus den gelagerten („hibernating“) Mobiltelefonen in Berlin. Die Verfügbarkeit der Emissionsfaktoren für die Primär- und Sekundärgewinnung der unterschiedlichen Metalle ist heterogen. Der GWP-Wert für Primärgold liegt je nach Quelle der Studien z.B. zwischen 11.500 und 55.000 kg CO₂e/kg Gold (Proske et al. 2020). Die Datenbasis zur Sekundärgewinnung der Metalle ist vergleichsweise dünn. Für die Recherche der Emissionsfaktoren für die Hochrechnung orientieren wir uns an den aktuellen Studien. Es kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb einer Quelle die hinterlegte Datenbank und die Annahmen konsistent sind. Deshalb werden die Emissionsfaktoren für die Primärgewinnung und die Sekundärgewinnung eines bestimmten Metalls, soweit möglich, jeweils aus derselben Quelle herangezogen.

Tabelle 15: Indikative Ermittlung der eingesparten CO₂e-Menge der betrachteten 6 Rohstoffe von 3,08 Mio. gelagerten Mobiltelefonen in Berlin

	Gewicht (t) der Recyclingmaterialien von 3,08 Mio. in Berlin (s. Tabelle 14)	Emissionsfaktor der Primärgewinnung: kg CO ₂ e/ kg Metall	Emissionsfaktor der Sekundärgewinnung: kg CO ₂ e/ kg Metall	Eingesparte CO ₂ e in t durch Vermeidung der Primärgewinnung (Eigene Berechnung)
Gold	0,09	16.300	53 ²⁹	$(16.300 - 53) \times 0,09 = 1.426$
Silber	0,61	439,2	14,7	$(439,2 - 14,7) \times 0,61 = 261$
Kupfer	41,73	3,42	0,316	$(3,42 - 0,316) \times 41,73 = 129$
Kobalt	24,44	11,73	3,15	$(11,73 - 3,15) \times 24,44 = 210$
Lithium	2,72	15,69	2,61	$(15,69 - 2,61) \times 2,72 = 36$
Palladium	0,03	9729,4	756,8	$(9729,4 - 756,8) \times 0,03 = 263$
Summe	69,62			Σ2.325

Quelle: Eigene Darstellung. *Der GWP-Wert bezieht sich auf die Lithiumkarbonate aus Spodumen; Emissionsfaktoren der Primär- und Sekundärgewinnung sind aus folgenden Studien herangezogen worden: Gold - Ökobilanz von der Hochschule Pforzheim 2021²⁹; Silber - (Oswald 2013); Kupfer - (Chen et al. 2019); Kobalt Primärgewinnung - (Farjana et al. 2019); Kobalt Sekundärgewinnung - (Buchert und Sutter 2016b; 2016a); Lithium Primärgewinnung (Jiang et al. 2020); Lithium Sekundärgewinnung (Buchert und Sutter 2016b; 2016a); Palladium - (Oswald 2013)

Die Ecodesign-Vorstudie (Schischke et al. 2021) weist darauf hin, dass in Deutschland die Sammelquote von Altgeräten bei Handys und Smartphones in einem vernachlässigbaren Bereich bei fast 0 % liegt. Für die Kreislaufwirtschaft ist es aber unumgänglich, diese in deutschen Haushalten gelagerten Alt-Handys wieder in den

²⁹ Die Studie ist derzeit noch nicht veröffentlicht. Die Emissionsfaktoren stammen aus der Pressemitteilung <https://www.oekogold.ch/de/articles/recycling-gold-mit-guter-oekobilanz>

Kreislauf zurückzuführen, z.B. durch Wiederverwendung, Wiederverwertung oder fachgerechtes Recycling bzw. Entsorgung.

5 Zusammenfassung

5.1 Textilien

Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der berechneten vermiedenen Neuwaren bzw. Abfallmengen sowie damit verbundene CO₂-Einsparungen für die vier Maßnahmenbeispiele.

Tabelle 16: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsmaximierung im Textilsektor für Berlin

Nutzungsmaximierung durch	Beispiel	Neuwaren- bzw. Abfallvermeidung (t/a)	Vermiedene Treibhausgasemissionen (t CO ₂ e/a)
Life Cycle Designing	Design-for-reuse and -recycling (D4RR) Szenario ^a	16.600	226.100
Nutzungsdauerverlängerung	Verlängerung der Nutzungsdauer einer Jeans von 2 auf 5 Jahre ^b	2.200	51.500
Nutzungsintensivierung	Umstellung des Kleiderschranks ^c	14.600	198.200
Materialneunutzung	Verdopplung der Nutzung von Kleidungsstücken aus Berliner Upcycling-Ateliers pro Jahr (alternativ zu Neuware)	15	203
Gesamtsumme		33.415	476.003

Fußnoten: (a) Erhöhung des in Deutschland wiederverwendeten Anteils an Altkleidern von aktuell 5 % auf 50 % sowie eine Erhöhung des Textile-to-textile-Recyclings von < 1 % auf 25 %; (b) Den Rechnungen zu Nutzungsdauerverlängerung & -intensivierung liegt die Annahme zugrunde, dass die Maßnahme von 30 % der Berliner Bevölkerung umgesetzt würde; (c) Es wird angenommen, dass in einem Jahr 10 % der Berliner Bevölkerung ihren Kleiderschrank umstellen.

Hinweis: Im Jahr 2018 betrug das Abfallaufkommen durch Altkleider in Berlin 47.800 t (Vogt und Ludmann 2019)

Quelle: Berechnungen dieser Studie

Von den vorgestellten Beispielmaßnahmen haben das D4RR-Szenario sowie eine Umstellung des Kleiderschranks mit 10 % pro Jahr den größten Effekt hinsichtlich der eingesparten Abfall- und CO₂e-Mengen.

Der Vergleich der verschiedenen Strategien zur Nutzungsmaximierung ist schwierig, weil die Beispiele sich in ihrem Umfang und Ausmaß unterscheiden: Die Verdopplung der Nutzung von Kleidungsstücken aus Berliner Upcycling-Ateliers ist weniger weitreichend als das D4RR-Szenario, das heißt die Erhöhung des in Deutschland wiederverwendeten Teils an Altkleidern sowie eine Erhöhung des Textile-to-

textile-Recycling. Aus verschiedenen Maßnahmen resultiert damit bereits per definitionem unterschiedliche Umweltentlastungspotenziale. Der Aufwand für die Umsetzung der Beispielsmaßnahmen unterscheidet sich ebenfalls erheblich.

5.2 Baumaterialien

Ein Überblick über verschiedene ausgewählte Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft im Bereich Baumaterialien zeigt, dass vor allem die Materialneunutzung von Bruchziegeln für Dachbegrünungen sowie die Verwendung von Recyclingbeton für neue Schul- sowie Bürogebäude ein erhebliches Vermeidungspotenzial aufweisen. An zweiter Stelle stehen Maßnahmen des Life Cycle Design, insbesondere Vermeidungspotenziale von 1,175 Mio. t Bauschutt durch die Verwendung einer modularen Holzbauweise für Schul- und Bürogebäude in Berlin. Die höchsten identifizierten CO₂e-Entlastungspotenziale von 230 741 t CO₂e/a ergeben sich aus der Nutzungsdauerverlängerung von Fenstern von 36 auf 60 Jahre durch eine konsequente Wartung und Pflege oder eine Zweitnutzung.

Tabelle 17: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft im Bereich Baumaterialien in Berlin

Nutzungsmaximierung durch	Beispiel	Abfallvermeidung (Bauschutt) (t/a)	Vermiedene Treibhausgasemissionen (t CO ₂ e/a)
Life Cycle Designing	Modulare Holzbauweise für Schul- und Bürogebäude	1,175 Mio.	5.544
Nutzungsdauerverlängerung	Nutzungsdauerverlängerung von Fenstern von 36 auf 60 Jahre	339.325	230.741
Nutzungsintensivierung	Reduktion der Neubaupläche durch Verdopplung der Nutzungsintensität von 50 % auf 100 %	587.918	2.772
Materialneunutzung	<i>gesamt</i>	2,56 Mio.	5.549
	davon Substrate zur Dachbegrünung aus Ziegeln	429.811 Ziegel	3.335
	davon Bauschutt für Recyclingbeton (RC-Beton)	2,13 Mio. Bauschutt	2.214
Gesamtsumme		7,2 Mio.	244.606

5.3 Informations- und Kommunikationstechnik

Ein Überblick über verschiedenen ausgewählten Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft im Bereich IKT zeigt, dass vor allem die Nutzungsdauerverlängerung ein erhebliches Vermeidungspotenzial aufweist. Anzumerken ist, dass die indikative Hochrechnung auf ausgewählte Beispielprodukte beschränkt ist. Würden mehr Produkte berücksichtigt, könnte das Einsparungspotenzial noch höher liegen. Zu betonen ist, dass die vier genannten Maßnahmen auf unterschiedliche Akteure fokussieren, die Einfluss auf die Nutzungsmaximierung haben.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die 4 genannten Maßnahmen sich untereinander beeinflussen. Life Cycle Designing, z.B. durch „Modularität“, ist kein Selbstzweck. Es ist sehr eng mit bessere Reparierbarkeit und verlängerter der Nutzungsdauer verknüpft.

Tabelle 18: Überblick über die Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsmaximierung im IKT-sektor für Berlin

Nutzungsmaximierung durch	Beispiel	Zugrunde gelegte Anzahl der Geräte	Vermiedene Treibhausgasemissionen (t CO ₂ e/a)
Life Cycle Designing	Fairphone 3: Re-Design mit der Modularität, Verlängerung der Nutzungsdauer von 3 auf 5 Jahre mit Repair-Szenario	1 Mio. Stück verkaufte Smartphones	3.417
	Verlängerung der Nutzungsdauer eines Smartphones von 3 auf 6 Jahre in Berlin	2,95 Mio. Stück Smartphones	25.587
Nutzungsdauerverlängerung	Verlängerung der Nutzungsdauer eines Laptops von 5 auf 10 Jahre in Berliner Haushalten	2 Mio. Stück Laptops	42.096
	Verlängerung der Nutzungsdauer eines Fernsehgerätes von 6 auf 12 Jahre in Berliner Haushalten	2 Mio. Stück Fernseher	136.492
Nutzungsin-tensivierung	Tablets teilen durch 2 Personen	1,2 Mio. Stück Tablets	9.915
Gesamtsumme			217.505³⁰

Quelle: Eigene Darstellung

³⁰ Die eingesparten Treibhausgasemissionen durch die Materialneunutzung sind bei der Gesamtsumme nicht berücksichtigt. Denn die Einsparungen durch die Rückgewinnung der 6 Sekundärmaterialien (Gold, Silber, Kupfer, Kobalt, Lithium, Palladium) sind auf die zuhause gelagerten Althandys bezogen. Das Ergebnis bezieht sich damit auf das Gesamteinsparpotenzial für die 6 recycelten Metalle und kann daher nicht auf ein Jahr umgerechnet werden.

6 Branchenübergreifendes Fazit

Die Berechnung der vier zirkulären Strategien Life Cycle Designing, Nutzungsdauerverlängerung, Nutzungsintensivierung und Materialneunutzung aus den Sektoren Textilien, Bauen und IKT zeigt exemplarisch die Umweltentlastungspotenziale, die mithilfe dieser Strategien realisiert werden könnten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Umweltentlastungspotenziale der zirkulären Strategien deutlich höher liegen würden, wenn weitere Produkte und Sektoren, wie Kunststoffe, Verpackungen oder Haushaltsgeräte, betrachtet werden.

Die Maßnahmenbeispiele sind aufgrund von großen Unterschieden, etwa systemische oder individuelle Veränderungen als Grundlage, nicht direkt vergleichbar. Sie zeigen dennoch eindrücklich die vermiedenen Mengen an Abfall. Auch das Potenzial, das die Kreislaufwirtschaft und dadurch hervorgerufene Gesamtmaterialreduktionen für die Bewältigung der Klimakrise haben, wird deutlich. Damit unterstützen die Berechnungen des vorliegenden Berichts das Projekt „Circular City Berlin“ in den Bemühungen, die Umsetzung von zirkulären Geschäftspraktiken und Maßnahmen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in Berlin voranzutreiben.

Da es sich in dieser Studie aufgrund von vielen Vereinfachungen, Annahmen und zeitlichen wie finanziellen Restriktionen um orientierende Berechnungen handelt, empfehlen die Autor*innen, weitere vertiefte Analysen durchzuführen, um eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse zu erreichen.

7 Quellenverzeichnis

- ADEME (Hg.) (2007): An Environmental Product Declaration of Jeans, What to do to reduce the environmental impacts of one's pair of jeans., 2007. Online verfügbar unter http://www.avnir.org/documentation/bdd/ademe/EPD_en_jeans_v2.pdf, zuletzt geprüft am 24.03.2021.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hg.) (2020): Statistischer Bericht, A I 11 – j / 19. Ergebnisse des Mikrozensus im Land Berlin 2019 - Haushalte, Familien und Lebensformen, 2020. Online verfügbar unter https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2020/SB_A01-11-00_2019j01_BE.pdf, zuletzt geprüft am 26.05.2021.
- Andrae, A. S. G.; Andersen, O. (2010): Life cycle assessments of consumer electronics – are they consistent? In: Int J Life Cycle Assessment (15), S. 827–836. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11367-010-0206-1.pdf>, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Aslund Hedman, E. (2018): Comparative Life Cycle Assessment of Jeans, A case study performed at Nudie Jeans, betreut von Björklund, A.; Finnveden, G., Department of Sustainable Development, Environmental Science and Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2018. Online verfügbar unter <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1221104/FULLTEXT01.pdf>, zuletzt geprüft am 24.03.2021.
- Bahr, C.; Lennerts, K. (2010): Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen - Endbericht. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) & Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hg.), 2010. Online verfügbar unter <https://www.irbnet.de/daten/baufo/20108035025/Endbericht.pdf>.
- Bähr, U.; Biemann, J.; Lietzau, J.; Hentschel, P. (2020): Coworking im ländlichen Raum, Menschen, Modelle, Trends. CoWorkLand. Bertelsmann-Stiftung (Hg.), 2020. Online verfügbar unter https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Coworking_im_laendlichen_Raum.pdf, zuletzt geprüft am 07.06.2021.
- Blumer Lehmann (2021): Holzpavillons als Stadtschulhäuser, Blumer Lehmann Holzbau Engineering. Online verfügbar unter <https://www.lehmann-gruppe.ch/holzbau/referenz/pavillons-zm10.html>.
- Bornholdt, H.; Hensel, R.; Krauß, S.; Niemann, N. B. (o.J.): Dachbegrünung - Leitfaden zur Planung. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE), Neuenfelder Straße 19, 21109 Hamburg, V. i. S. d. P.: Jan Dube. (Hg.), o.J. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/10603292/c6eb1f159c491cfd8c7188f77b0dd277-/data/d-leitfaden-dachbegruenung.pdf>.
- Buchert, M. (2018): Recycling von Kobalt und Lithium für die Energiewende. Veranstalter: HIF ResourceTalk. Freiburg, 13.02.2018. Online verfügbar unter <https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=55709>, zuletzt geprüft am 27.05.2021.
- Buchert, M.; Sutter, J. (2016a): Aktualisierte Ökobilanzen zum Recyclingverfahren EcoBatRec für Lithium-Ionen-Batterien (Stand 09/2016), 2016. Online verfügbar unter <https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2017-01/EcoBatRec-LCA-Update%202016.pdf>, zuletzt geprüft am 27.05.2021.
- Buchert, M.; Sutter, J. (2016b): Aktualisierte Ökobilanzen zum Recyclingverfahren LithoRec II für Lithium-Ionen-Batterien (Stand 09/2016), 2016. Online verfügbar unter <https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2017-01/LithoRec%20II-LCA-Update%202016.pdf>, zuletzt geprüft am 27.05.2021.

- Chen, J.; Wang, Z.; Wu, Y.; Li, L.; Li, B.; Pan, D.; Zuo, T. (2019): Environmental benefits of secondary copper from primary copper based on life cycle assessment in China. In: Resources, Conservation & Recycling (146), S. 35–44.
- Climatop (2012): Fact Sheet: LED LCD TV, 2012. Online verfügbar unter https://www.myclimate.org/fileadmin/user_upload/myclimate_-_home/02_Take-action/01_Corporate_clients/15_Climatop_label/Products/LG_Electronics_Inc/Produkte/LGE_LCD_TV__47LM760S-ZA_/Factsheet_e_LGE_LCD_TV.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Cook, G.; Jardim, E. (2017): Guide to Greener Electronics. Greenpeace (Hg.), 2017. Online verfügbar unter <https://www.greenpeace.org/usa/research/guide-to-greener-electronics-2017/>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Cordella, M.; Alfieri, F.; Clemm, C.; Berwald, A. (2021): Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and repairability aspects. In: Journal of Cleaner Production (286). Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620354342>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- COWORKINGMAG (2021): Nachhaltigkeit in Coworking-Spaces. Bundesverbandes Coworking Spaces Deutschland (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.coworking.jetzt/coworking/nachhaltigkeit-in-coworking-spaces/>, zuletzt aktualisiert am 07.06.2021.
- Deutsches Architektenblatt (2020): Recycling-Beton als Sichtbeton für Schule. Deutsches Architektenblatt (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.dabonline.de/2020/03/17/recycling-beton-als-sichtbeton-fuer-schule-bauschutt-rbeton/>, zuletzt geprüft am 07.06.2021.
- Ecornet (Hg.) (2021a): Zirkuläre Innovationen im Bereich Bauen in Berlin, Potenziale und Governance-Ansätze. Unter Mitarbeit von Hirschnitz-Garbers, M. und Hinzmann, M. (Wissen. Wandel. Berlin.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.ecornet.berlin/ergebnis/zirkulaere-innovationen-im-bereich-bauen-berlin>, zuletzt geprüft am 28.05.2021.
- Ecornet (Hg.) (2021b): Zirkuläre Innovationen im Bereich Elektro- und Elektronikprodukte in Berlin, Potenziale und Governance Ansätze. Unter Mitarbeit von Zwiers, J.; Behrendt, S. und Henseling, C. (Wissen. Wandel. Berlin.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.ecornet.berlin/ergebnis/zirkulaere-innovationen-im-bereich-elektro-und-elektronikprodukte-berlin>, zuletzt geprüft am 28.05.2021.
- Ecornet (Hg.) (2021c): Zirkuläre Innovationen im Bereich Textilien in Berlin, Potenziale und Governance Ansätze. Unter Mitarbeit von Henseling, C.; Behrendt, S. und Zwiers, J. (Wissen. Wandel. Berlin.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.ecornet.berlin/ergebnis/zirkulaere-innovationen-im-bereich-textilien-berlin>, zuletzt geprüft am 28.05.2021.
- EEA (Hg.) (2019): Textiles and the environment in a circular economy, Eionet Report - ETC/WMGE 2019/6. European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy. European Environment Agency, 2019.
- EMF (Hg.) (2017): A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future, 2017. Online verfügbar unter <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future>, zuletzt geprüft am 24.03.2021.
- Europäische Kommission (2021): COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/447 of 12 March 2021 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025 pursuant to Article 10a(2) of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0447&qid=1615814254440-&from=en>, zuletzt geprüft am 23.06.2021.
- Farjana, S. H.; Huda, N.; Mahmud, M. P. (2019): Life cycle assessment of cobalt extraction process. In: Journal of Sustainable Mining (18), S. 150–161, zuletzt geprüft am 25.05.2021.

- Forbig, S.; Fischer, T.; Heinz, B. (2020): Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, Textilstudie 2020. bvse (Hg.), 2020. Online verfügbar unter https://www.bvse.de/dateien2020/1-Bilder/03-Themen_Ereignisse/06-Textil/2020/studie2020/bvse%20Alttextilstudie%202020.pdf, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- Friege, H. (2020): Leitfaden zur Wiederverwendung und Verwertung von Alttextilien, 2020. Online verfügbar unter https://www.bavweb.de/media/custom/2886_1406_1.PDF?158-7474053, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- Greenpeace (Hg.) (2015): Wegwerfware Kleidung, Repräsentative Greenpeace-Umfrage zu Kaufverhalten, Tragedauer und der Entsorgung von Mode, 2015. Online verfügbar unter https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20151123_greenpeace_modekonsum_flyer.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2021.
- Gröger, J. (2020): Digitaler CO2-Fußabdruck, Datensammlung zur Abschätzung von Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (Hg.), 2020. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Digitaler-CO2-Fussabdruck.pdf>, zuletzt geprüft am 26.05.2021.
- Guenveur, L. (2017): An incredible decade for the smartphoe: What's next?, The Future of Mobile is in Combining Devices, Content, and Services. Kantar (Hg.), 2017. Online verfügbar unter https://www.kantarworldpanel.com/dwl.php?sn=news_downloads&id=1361, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Huulgaard, R. D.; Dalgaard, R.; Merciai, S. (2013): Ecodesign requirements for televisions—energy consumption in the use phase the only relevant requirement? In: Int J Life Cycle Assessment (18), S. 1098–1105, zuletzt geprüft am 08.06.2021.
- Jeans Doctor (2021). Jeans Doctor (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.jeans-doktor.de/ihr-jeansdokter/preise/>, zuletzt geprüft am 23.03.2021.
- Jeans-reparieren.de (2021). Jeans-reparieren.de (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.jeans-reparieren.de/Unsere-Leistungen/>, zuletzt geprüft am 23.03.2021.
- Jiang, S.; Zhang, L.; Li, F.; Hua, H.; Liu, X.; Yuan, Z.; Wu, H. (2020): Environmental impacts of lithium production showing the importance of primary data of upstream process in life-cycle assessment. In: Journal of Environmental Management (262).
- Manhart, A.; Blepp, M.; Fischer, C.; Graulich, K.; Prakash, S.; Priess, R.; Schleicher, T.; Tür, M. (2016): Resource Efficiency in the ICT Sector. Greenpeace (Hg.), 2016. Online verfügbar unter https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20161109_oeko_resource_efficiency_final_full-report.pdf, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Material Mafia (2021): Offizielle Internetseite der „Material Mafia“. Online verfügbar unter <http://www.material-mafia.net/>.
- Mettke, A.; Heyn, S. (2021): Einsatz von Recycling-Material aus mineralischen Baustoffen Zuschlag in der Betonherstellung, Ökologische Prozessbetrachtungen - RC-Beton (Stofffluss, Energieaufwand, Emissionen). TU Cottbus, 2021. Online verfügbar unter http://www.rc-beton.de/vortraege_pdfs/Stofffluss-Energieaufwand-RC-Beton101102.pdf, zuletzt geprüft am 23.06.2021.
- Mistra Future Fashion (Hg.) (2015): Environmental assessment of Swedish fashion consumption, Five garments – sustainable futures, 2015. Online verfügbar unter <http://mistrafuture-fashion.com/wp-content/uploads/2015/06/Environmental-assessment-of-Swedish-fashion-consumption-LCA.pdf>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- Nudiejeans (2021): Lebenslange Reparatur. Nudiejeans (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.nudiejeans.com/de/help-center/what-does-lifetime-repair-mean/>, zuletzt geprüft am 23.03.2021.

- Oswald, I. (2013): Environmental metrics for WEEE collection and recycling programs, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg, 2013. Online verfügbar unter <https://core.ac.uk/download/pdf/35097513.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- PNB Potsdam (2021): Recyclingbeton aus Berlin-Brandenburg. Online verfügbar unter <https://www.bnb-potsdam.de/beton-fertigteile/rc-beton-recyclingbeton-aus-berlin-brandenburg/>.
- Popp, I.; Waltenberger, L. (2015): Fensterwerkstoffe im Vergleich: Lebenszykluskosten und Ökobilanz im Wohnbau. Aluminium-Fenster-Institut in Kooperation mit: Arbeitsgemeinschaft der Hersteller von Metall-Fenster/Türen/Tore/Fassade. Wien, 2015. Online verfügbar unter <http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2015/06/Studie-fensterwerkstoffe-im-vergleich-2015-BauXund-und-Moocon.pdf>, zuletzt geprüft am 07.06.2021.
- Prakash, S.; Antony, F.; Köhler, A. R.; Liu, R.; Schlösser, A. (2016a): Ökologische und ökonomische Aspekte beim Vergleich von Arbeitsplatzcomputern für den Einsatz in Behörden unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens (Öko-APC). Umweltbundesamt (Hg.), 2016, zuletzt geprüft am 26.05.2021.
- Prakash, S.; Dehoust, G.; Gsell, M.; Schleicher, T.; Stamminger, R. Prof. Dr. (2016b): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“, 2016. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Prakash, S.; Liu, R.; Schischke, K.; Stobbe, L. (2012): Zeitlich optimierter Ersatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten. Umweltbundesamt (Hg.), 2012. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4316.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Proske, M.; Sánchez, D.; Clemm, C.; Baur, S.-J. (2020): Life cycle assessment of the Fairphone 3, 2020.
- purity.designuspro.com (2020): Wie bestimme ich das maximale Gewicht der Wäsche zum Laden der Waschmaschine? purity.designuspro.com (Hg.). Online verfügbar unter <https://purity.designuspro.com/de/texnika/stiralki/ves-belya.html>, zuletzt geprüft am 24.03.2021.
- Rizos, V.; Bryhn, J.; Alessi, M.; Campmas, A.; Zarra, A. (2019): Identifying the impact of the circular economy on the Fast-Moving Consumer Goods Industry - Opportunities and challenges for business, workers and consumers – mobile phones as an example. The European Economic and Social Committee (Hg.), 2019. Online verfügbar unter <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/files/qe-03-19-510-en-n.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Rüdenauer, I.; Prakash, S. (2020): Ökonomische und ökologische Auswirkungen einer Verlängerung der Nutzungsdauer von elektrischen und elektronischen Geräten. Verbraucherzentrale Bundesverband (Hg.), 2020. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oeko-doc/vzbv-Verlaengerung-Nutzungsdauer.pdf>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.
- Schischke, K.; Clemm, C.; Berwald, A.; Proske, M.; Dimitrova, G.; Reinhold, J.; Prewitz, C.; Durand, A.; Beckert, B. (2021): Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets, Final Report. European Union (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a7784be4-853d-11eb-af5d-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 25.05.2021.

- Schmidt, A.; Watson, D.; Roos, S.; Askham, C.; Brunn Poulsen, P. (2016): Gaining benefits from discarded textiles – LCA of different treatment pathways. Norden (Hg.), 2016. Online verfügbar unter <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:957517/FULLTEXT02.pdf>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- Senatsverwaltung Berlin (2020): Stadtentwicklungsplan Wirtschaft 2030, Entwicklungspotenziale für Gewerbe und Industrie. Senatsverwaltung Berlin für Stadtentwicklung und Wohnen Kommunikation und Bürgerbeteiligung (Hg.). Berlin, 2020. Online verfügbar unter https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/wirtschaft/StEP_Wirtschaft_2030_Online.pdf, zuletzt geprüft am 07.06.2021.
- Senatsverwaltung Berlin (2021): Die Schulbauoffensive des Berliner Senats. Senatsverwaltung für Finanzen (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.berlin.de/sen/finanzen/haushalt/schulbauoffensive/artikel.613867.php>, zuletzt aktualisiert am 07.06.2021.
- SRU (2020): Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa, Kapitel 3 - Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis. Sachverständigenrat für Umweltfragen. Berlin, 2020. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/Shared-Docs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.html.
- Stobbe, L. (2007): EuP Preparatory Studies "Televisions" (Lot 5), 2007, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Stürmer, S.; Kulle, C. (2017): Untersuchung von Mauerwerksabbruch (verputztes Mauerwerk aus realen Abbruchgebäuden) und Ableitung von Kriterien für die Anwendung in Betonen mit rezyklierter Gesteinskörnung (RC-Beton mit Typ 2 Körnung) für den ressourcenschonenden Hochbau. Unter Mitarbeit von IAB Weimar und ifeu Heidelberg. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hg.), 2017. Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2017-10-17-Abschlussbericht-RC-Beton.pdf>, zuletzt geprüft am 07.06.2021.
- Thomas, N. J.; Chang, N.-B.; Qi, C. (2012): Preliminary assessment for global warming potential of leading contributory gases from a 40-in. LCD flat-screen television. In: Int J Life Cycle Assessment (17), S. 96–104, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Umweltbundesamt (2021): ProBas Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. Online verfügbar unter <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>, zuletzt geprüft am 10.06.2021.
- Vogt, R.; Fehrenbach, S. (2016): Stoffstrom-, Klimagas- und Umweltbilanz für das Jahr 2016 für das Land Berlin, SKU Bilanz. IFEU (Hg.), 2016. Online verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Abschlussbericht-SKU-2016_05_01_18.pdf, zuletzt geprüft am 24.03.2021.
- Vogt, R.; Ludmann, S. (2019): Stoffstrom-, Klimagas- und Umweltbilanz (SKU-Bilanz) Berlin 2018. IFEU (Hg.), 2019, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- Weimann, K.; Matyschik, J.; Adam, C.; Schulz, T.; Linß, E.; Müller, A. (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung (TEXTE, 5/2013). Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung & Bauhaus-Universität Weimar. Umweltbundesamt (Hg.), 2013. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4430.pdf>.
- Zwiers, J.; Behrendt, S.; Henseling, C. (2021): Zirkuläre Innovationen im Bereich Elektro- und Elektronikprodukte in Berlin, Potenziale und Governance-Ansätze. IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Forschungsverbund Ecornet Berlin (Hg.), 2021, zuletzt geprüft am 25.05.2021.

8 Anhang

8.1 Hinweise zur Berechnung der Umweltentlastungspotenziale durch zirkuläre Maßnahmen in der Textilbranche

Tabelle 19: Allgemeine Annahmen bzw. Werte

Beschreibung	Wert	Begründung und Quelle
Umrechnungsfaktor Kleidungsstück auf Gewicht	Ø 600 g/Kleidungsstück	Mittelwert der Angaben zum Gewicht verschiedener Kleidungsstücke nach purity.designuspro.com 2020
Jährliches Abfallaufkommen in Berlin	33 225 t (2015) 47 800 t (2018)	Vogt und Fehrenbach 2016 Vogt und Ludmann 2019
Einwohnerzahl Berlin	4 Mio.	

Quelle: Siehe letzte Tabellenspalte

In den Modellierungen zum Life Cycle Designing (Kapitel 4.1.1), der Nutzungsintensivierung (Kapitel 4.1.3) und der Materialneunutzung (Kapitel 4.1.4) von Textilien werden jeweils ausgehend von einer vermiedenen Anzahl an Kleidungsstücken pro Jahr die vermiedenen Emissionen berechnet. Dazu wurden die durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro Kleidungsstück (Tabelle 20, 1. Spalte) mit dem Gewichtungsfaktor des Kleidungsstücks (2. Spalte) und der Anzahl vermiedener Kleidungsstücke der Maßnahme multipliziert und die Emissionen vermiedener T-Shirts, Jeans, Kleider und Jacken aufsummiert (letzte Zeile).

Tabelle 20: Berechnung der vermiedenen Emissionen

	Kg CO ₂ e (gerundet) ^a	Gewichtungsfaktor ^b	Kg CO ₂ e für 27,7 Mio. vermiedene Kleidungsstücke durch Life Cycle Design pro Jahr in Berlin	Kg CO ₂ e für 59 vermiedene Kleidungsstücke durch Nutzungsintensivierung <u>pro Person pro Jahr</u> in Berlin	Kg CO ₂ e für 12 500 vermiedene Kleidungsstücke durch Materialneunutzung pro Jahr in Berlin
T-Shirt	2	0,5	27.744.000	60	12.500
Jeans	10,5	0,2	58.262.400	125	26.200
Kleid	16,5	0,1	45.777.600	98	20.600
Jacke	17	0,2	94.329.600	202	42.400
Σ			226.113.600	484	101.700

Quelle: (a) Abbildung 6 in Mistra Future Fashion 2015; (b) Schätzung basierend auf Greenpeace 2015, S. 2

Dieser Art zu Rechnen liegen mehrere vereinfachende Annahmen zu Grunde:

- Die CO₂-Emissionen pro Kleidungsstück beziehen sich auf die Gesamtlebensdauer und sind gerundet. Die Systemgrenzen der Berechnung der Ökobilanz der Kleidungsstücke sind der Studie von Mistra Future Fashion (2015) zu entnehmen.
- Natürlich besteht ein Sortiment nicht nur aus den Kleidungsstücken „Jeans“, „T-Shirt“, „Kleid“ & „Jacke“, es musste jedoch vereinfacht werden. Vorteilhaft an dieser Stelle ist, dass für die vier Typen an Kleidungsstücken die Systemgrenzen der Ökobilanzierung vergleichbar sind, weil alle vier Kleidungsstücke Teil der Studie von Mistra Future Fashion waren. Ergebnisse unterschiedlicher Ökobilanzen zu nutzen, erfordert einen hohen Aufwand, um auszuschließen nicht am Ende Äpfeln mit Birnen zu vergleichen.
- Die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kleidungsstück-Typen im „Sortiment“ basieren auf einer Schätzung nach der Umfrage von Greenpeace (2015) zur Kleiderschrankzusammensetzung.

Ein Vergleich der drei letzten Spalten aus Tabelle 20 ist aus dem Grunde nicht direkt möglich, da sich die Life Cycle Design-Maßnahme und die Materialneunutzungsmaßnahme auf ganz Berlin beziehen, die Nutzungsintensivierung ist jedoch pro Person berechnet und angegeben.

Tabelle 21: Auswirkungen einer Jeans auf den Klimawandel (Kg CO₂ Äquivalente) aus fünf verschiedenen Quellen

Jeans 1	Jeans 2	Jeans 3	Jeans 4	Durchschnitt
16,65	12,5	12,0	16,1	14,3
Nudie Jeans	Nudie Jeans	Nudie Jeans	ADEME	

Quelle: Nudiejeans 2021; ADEME 2007

Für alle berechneten Maßnahmen gilt, dass die angegebenen Mengen an CO₂-Emissionen sich nur auf die Einsparungen beziehen, die sich durch die Vermeidung ergeben. Welche CO₂-Emissionen sich durch die Umsetzung der Maßnahme, z.B. das Organisieren des Tauschens über Internetplattformen gefolgt vom Verschicken von Kleidung usw., ergeben, wurde nicht berücksichtigt.

8.2 Details zur Berechnung der Umweltentlastungspotenziale durch Nutzungsverlängerung bei IKT

8.2.1 Smartphones

Tabelle 22: Hochrechnung der GWP-Werte eines Smartphones über einen Betrachtungszeitraum von 6 Jahren

GWP	Ausgangs-szenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/ Nutzungsdauer
Lebensdauer (eigene Annahme)	3	6
Anzahl Smartphones über 6 Jahre	2	1
Herstellung		
GWP (kg CO ₂ e / Stück) (Gröger 2020; Rüdener und Prakash 2020)	60	60
GWP (kg CO ₂ e über 6 Jahre)	120	60
Austausch über 6 Jahre		
Akku: kg CO ₂ e (Rüdener und Prakash 2020)	-	3,1 (1-mal Austausch)
Display: kg CO ₂ e (Rüdener und Prakash 2020)	4,2 (1-mal Austausch)	8,4 (2-mal Austausch)
Summe (kg CO₂e über 6 Jahre)	124,2	71,5

Quelle: (Prakash et al. 2016a; Rüdener und Prakash 2020; Gröger 2020); Austauschkomponenten basieren auf eigene Annahme

Tabelle 23: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbunden GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Smartphones mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 1,5 % für neue Geräte

Nutzung - Strom	Emissionsfaktor für die Strombereitstellung	Stromverbrauch in kWh p.a.	
Jahr	kg CO ₂ e / kWh	Ausgangs-szenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
2020	0,53	-	-
2021	0,52	10,00	10,0
2022	0,51	10,00	10,0
2023	0,50	10,00	10,0
2024	0,49	9,56	10,0
2025	0,48	9,56	10,0
2026	0,47	9,56	10,0

Summe: Stromverbrauch in kWh über 6 Jahre	58,7	60,0
Summe: GWP in der Nutzungsphase aus dem Stromverbrauch (kg CO ₂ e über 6 Jahre)	29,06	29,70

Quelle: Rüdener und Prakash 2020

Tabelle 24 demonstriert den Rechenweg für die eingesparten CO₂e aus der verlängerten Lebensdauer im Vergleich zum Ausgangsszenario.

Tabelle 24: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO₂e der Smartphones in Berliner Haushalten

GWP	Quelle	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
Herstellung + Austausch (kg CO ₂ e über 6 Jahre)	s. Tabelle 22	124,2	71,5
Nutzung (kg CO ₂ e über 6 Jahre)	s. Tabelle 23	29,06	29,70
Summe (kg CO ₂ e über 6 Jahre)		153,3	101,2
Summe (kg CO ₂ e pro Jahr)		25,5	16,9
Anzahl der Haushalte in Berlin	(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020)	2.033.700	
Ausstattungsbestand in % (Anzahl der Güter je 100 Haushalte im Gebiet: Neue Länder und Berlin)	Statistisches Bundesamt ³¹	145,0 %	
Eingeschätzte Anzahl Smartphones in Berlin	Eigene Berechnung	$2.033.700 \times 145\% = 2.948.865$	
Einsparpotenzial pro Jahr der Smartphones in Berlin	Eigene Berechnung	$(25,5 - 16,9) \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{Stück*a}} \times 2.948.865 = 25.587 \text{ Tonne CO}_2\text{e}$	

Quelle: Eigene Darstellung

8.2.2 Laptops

Tabelle 25: Hochrechnung der GWP-Werte eines Laptops über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren

GWP	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
Lebensdauer	5	10
Anzahl Notebooks über 10 Jahre	2	1

³¹ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html>

GWP	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
Herstellung		
GWP (kg CO ₂ e / Stück) (Prakash et al. 2016a)	287	287
GWP (kg CO ₂ e über 10 Jahre)	574	287
Austausch über 10 Jahre		
Akku: kg CO ₂ e	6 (1-mal Austausch)	11 (2-mal Austausch)
SSD: kg CO ₂ e	-	66 (1-mal Austausch)
Summe (kg CO₂e über 10 Jahre)	579	363

Quelle: Prakash et al. 2016a; Rüdener und Prakash 2020; Austauschkomponenten basieren auf eigene Annahme

Tabelle 26: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbunden GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Laptops mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 1,5 % für neue Geräte

Nutzung Strom	Emissionsfaktor für die Strombereitstellung	Stromverbrauch in kWh p.a.	
Jahr	kg CO ₂ e / kWh	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
2020	0,53	-	-
2021	0,52	30,0	30,0
2022	0,51	30,0	30,0
2023	0,50	30,0	30,0
2024	0,49	30,0	30,0
2025	0,48	30,0	30,0
2026	0,47	27,8	30,0
2027	0,46	27,8	30,0
2028	0,45	27,8	30,0
2029	0,44	27,8	30,0
2030	0,43	27,8	30,0
Summe: Stromverbrauch in kWh über 10 Jahre		289,1	300,0
Summe: GWP in der Nutzungsphase aus dem Stromverbrauch (kg CO ₂ e über 10 Jahre)		138	143

Quelle: Rüdener und Prakash 2020

Tabelle 27: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO₂e-Menge der Laptops in Berliner Haushalten

GWP	Quelle	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens- / Nutzungsdauer
Herstellung + Austausch (kg CO ₂ e über 10 Jahre)	s. Tabelle 25	579	363
Nutzung (kg CO ₂ e über 10 Jahre)	s. Tabelle 26	138	143
Summe (kg CO ₂ e über 10 Jahre)		717	506
Summe (kg CO ₂ e pro Jahr)		71,7	50,6
Anzahl der Haushalte in Berlin	(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020)	2.033.700	
Ausstattungsbestand in % (Anzahl der Güter je 100 Haushalte in Gebiet: Neue Länder und Berlin)	Statistisches Bundesamt ³²	98,2	
Eingeschätzte Anzahl Laptops in Berliner Haushalten	Eigene Berechnung	$2.033.700 \times 98,2\% = 1.997.093$	
Einsparpotenzial pro Jahr der Laptops in Berliner Haushalten	Eigene Berechnung	$(71,7 - 50,6) \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{Stück} \times \text{a}} \times 1.997.093 = 42.096 \text{ Tonne CO}_2\text{e}$	

Quelle: Eigene Darstellung

8.2.3 Fernseher

Tabelle 28: Hochrechnung der GWP-Werte eines Fernsehgerätes über einen Betrachtungszeitraum von 12 Jahren

GWP	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens- / Nutzungsdauer
Lebensdauer	6	12
Anzahl Fernsehgeräte über 13 Jahre	2	1
Herstellung; Transport und End-of-life		
GWP (kg CO ₂ e / Stück)	500	500
GWP (kg CO ₂ e über 12 Jahre)	1000	500
Zusätzlicher Reparaturaufwand über 12 Jahre		

³² <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html>

GWP	Ausgangs- szenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/ Nutzungsdauer
Leiterplatte: kg CO ₂ e	-	100 (2-mal Austausch)
Summe (kg CO₂e über 12 Jahre)	1500	600

Quelle: (Prakash et al. 2016a; Rüdener und Prakash 2020; Gröger 2020); Austauschkomponenten basieren auf eigene Annahme

Tabelle 29: Hochrechnung des Stromverbrauchs und der damit verbunden GWP-Werte in der Nutzungsphase eines Fernsehgerätes mit Berücksichtigung der jährlichen Energieeffizienzsteigerung von 3 % für neue Geräte

Nutzung - Strom	Emissionsfaktor für die Strombereitstellung	Stromverbrauch in kWh p.a.	
Jahr	kg CO ₂ e / kWh	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/ Nutzungsdauer
2020	0,53	-	-
2021	0,52	90,0	90,0
2022	0,51	90,0	90,0
2023	0,50	90,0	90,0
2024	0,49	90,0	90,0
2025	0,48	90,0	90,0
2026	0,47	90,0	90,0
2027	0,46	75,0	90,0
2028	0,45	75,0	90,0
2029	0,44	75,0	90,0
2030	0,43	75,0	90,0
2031	0,43	75,0	90,0
2032	0,42	75,0	90,0
Summe: Stromverbrauch in kWh über 12 Jahre		990	1080
Summe: GWP in der Nutzungsphase aus dem Stromverbrauch (kg CO₂e über 12 Jahre)		465	504

Quelle: Rüdener und Prakash 2020

Tabelle 30: Indikative Hochrechnung der jährlich eingesparten CO₂e-Menge der Fernsehgeräte in Berliner Haushalten

GWP	Quelle	Ausgangsszenario	Szenario: Verlängerte Lebens-/Nutzungsdauer
Herstellung + Austausch (kg CO ₂ e über 12 Jahre)	s. Tabelle 28	1500	600
Nutzung (kg CO ₂ e über 12 Jahre)	s. Tabelle 14	465	504
Summe (kg CO ₂ e über 12 Jahre)		1.965	1.104
Summe (kg CO ₂ e pro Jahr)		164	92
Anzahl der Haushalte in Berlin	(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020)	2.033.700	
Ausstattungsbestand in % (Anzahl der Flachbildfernseher je 100 Haushalte im Gebiet: Neue Länder und Berlin)	Statistisches Bundesamt ³³	93,6 %	
Eingeschätzte Anzahl Fernsehgeräte in Berlin	Eigene Berechnung	$2.033.700 \times 93,6\% = 1.903.543$	
Einsparpotenzial pro Jahr der Fernsehgeräte in Berlin	Eigene Berechnung	$(164 - 92) \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{Stück*a}} \times 1.903.543 = 136.492 \text{ Tonne CO}_2\text{e}$	

Quelle: Eigene Darstellung

³³ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-unterhaltungselekt-gebietsstaende-lwr.html>

Über den Forschungsverbund Ecornet Berlin

Fünf Institute forschen transdisziplinär für eine soziale und ökologische Metropole

Ecornet Berlin ist ein Forschungsverbund aus fünf Berliner Instituten der transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung. Der in dieser Form einzigartige Zusammenschluss setzt Impulse für den Wandel Berlins hin zu einer sozialen und ökologischen Metropole. In den Themenfeldern Klimawende sozial, Nachhaltiges Wirtschaften und Digitalisierung bündeln die Institute ihre Forschungskompetenzen mit dem Ziel, Berlins Vorreiterrolle bei der Entwicklung innovativer Ansätze für eine lebenswerte, solidarische, klimaneutrale und ressourcenleichte Stadtgesellschaft auf innovative Weise auszubauen. Gemeinsam mit Akteuren der Stadtgesellschaft wollen die Forschungspartner die nachhaltige Stadtentwicklung Berlins mit Fokus auf sozial-ökologische Transformationen und damit verbundene Beteiligungs-, Verteilungs- und Gerechtigkeitsfragen voranbringen.

Mitglied des Forschungsverbunds Ecornet Berlin sind: Ecologic Institut, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Öko-Institut und Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU). Der Verbund entstand aus langjähriger Kooperation der fünf Forschungseinrichtungen im namensgebenden Ecological Research Network (Ecornet), einem Netzwerk unabhängiger, gemeinnütziger Institute der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung in Deutschland, das die Mission verfolgt, den gesellschaftlichen Wandel in Richtung Nachhaltigkeit mitzugestalten und wissenschaftlich zu fundieren.

Im Projekt „Wissen. Wandel. Berlin.“ verfolgt der Forschungsverbund Ecornet Berlin das Ziel, Berlins Vorreiterrolle bei innovativen Ansätzen für eine lebenswerte, klimaneutrale und ressourcenleichte Stadt auszubauen.

Das Projekt wird mit finanzieller Unterstützung des Regierenden Bürgermeisters, Senatskanzlei – Wissenschaft und Forschung Berlin durchgeführt.

Weitere Informationen: www.ecornet.berlin

Wissen. Wandel. Berlin.

Transdisziplinäre Forschung für eine
soziale und ökologische Metropole



www.ecornet.berlin



Mitglieder im Forschungsverbund Ecornet Berlin:

