

# ABSCHLUSSBERICHT

## Berichtszeitraum Juli 2019 – Dezember 2022

Förderkennzeichen: 033R231A

Laufzeit: Juli 2019 – Dezember 2022

### Verbundkoordinator:

Marina Proske

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und  
Mikrointegration  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin

Telefon: +49 (0)30/46403-688

Telefax: +49 (0)30/46403-211

Marina.proske@izm.fraunhofer.de

### Weitere Partner:

SHIFT GmbH

TU Berlin, Fachgebiet Transdisziplinäre Nachhaltig-  
keitsforschung in der Elektronik

Leuphana Universität Lüneburg, Centre for  
Sustainability Management (CSM)

AfB gemeinnützige GmbH

### Assoziierte Partner

Institute for Integrated Quality Design (IQD), Johan-  
nes Kepler Universität Linz

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzfassung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Aufgabenstellung.....	4
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	5
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand .....	6
1.4.1	Literaturverzeichnis wissenschaftlich-technischer Stand .....	8
1.4.2	Fortschritt an anderen Stellen.....	9
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	10
1.6	Zahlennachweis .....	11
<b>2</b>	<b>Langfassung .....</b>	<b>12</b>
2.1	Projektergebnisse und Zielerreichung .....	12
2.1.1	AP1 Technikanalyse.....	12
2.1.2	AP2 Ökobilanz .....	46
2.1.3	AP3 Analyse von Nutzer:innenerwartungen und –praktiken .....	53
2.1.4	AP4 Geschäftsmodelle .....	60
2.1.5	AP5 Weiterentwicklung des Modulansatzes .....	65
2.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der Förderung.....	72
2.3	Nutzen und geplante Verwertung .....	81
2.3.1	Fraunhofer IZM .....	82
2.3.2	TU Berlin .....	82
2.3.3	CSM .....	83
2.3.4	SHIFT .....	84
2.3.5	AfB .....	85
2.4	Fortschritte seitens Dritter .....	86
2.4.1	Literaturverzeichnis wissenschaftlich-technischer Stand .....	86
2.4.2	Fortschritt an anderen Stellen.....	89
2.5	Veröffentlichungen des Projektes .....	90
<b>3</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>92</b>

# 1 Kurzfassung

## 1.1 Aufgabenstellung

Smartphones als kleine, mobile IKT-Produkte, sind weit verbreitet. Die bitkom (2023) prognostiziert für Deutschland 21,4 Millionen verkaufte Neugeräte im Jahr 2023. Die Geräte enthalten eine Vielzahl wertvoller Metalle, seltener Erden und sogenannter Konfliktrohstoffe. Der größte Teil der Umweltwirkung wird bei diesen Produkten durch die Herstellung verursacht (vergleiche Produktökobilanzen u.a. Apple 2023; Proske et al. 2016). Gute Recyclingpraxis kann helfen die Materialkreisläufe zu schließen, wiegt aber nicht die hohen Energieaufwendungen für die Produktion der elektronischen Komponenten auf.

Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones liegt je nach Studie bei etwa 2 Jahren. Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft/Circular Economy ist die Nutzungsdauerverlängerung daher ein wichtiger Ansatz um die Umweltbelastung, den Ressourceneinsatz und die Menge der produzierten Güter insgesamt zu verringern. Modulare Geräte können hierbei ein Hebel sein, die Bedürfnisse nach technischen Updates oder einer notwendigen Reparatur zu erfüllen ohne das gesamte Gerät zu ersetzen.

Gleichzeitig besteht bei einem modularen Aufbau auch das Risiko eines zusätzlichen Ressourceneinsatzes bzw. stärkeren Umweltbelastung (Schischke et al. 2016):

- Stärkerer Materialeinsatz durch Verbindungselemente
- Geringere Zuverlässigkeit durch zu öffnende Gehäuse
- Überausstattung mit Modulen
- Vorabproduktion von unnötigen Ersatzteilen/Modulen auf Halde

Die positiven Potentiale kommen zudem erst zur Entfaltung, wenn die Geräte im Markt Verbreitung finden und gemäß dem intendierten Design genutzt werden. Modulare Geräte haben das Potential, den technischen Fortschritt durch potentielle Upgrades abzubilden, besser den sich wandelnden Konsumbedürfnissen und den Wunsch nach langlebigen Geräten zu entsprechen. Sie setzen auf Nutzer:innen-Seite aber nicht nur Akzeptanz und Interesse, sondern auch spezifische Nutzungskompetenzen (wie sorgsamen Umgang und Pflegen, Wissen zur eigenen oder fremden Reparaturmöglichkeiten) voraus. Aus Herstellerperspektive ist ein engerer Kontakt zu Nutzer:innen über den Point-of-Sales hinaus eine notwendige Bedingung, um lebensdauerverlängernde Dienstleistungen wirtschaftlich anbieten zu können.

Um die positiven Potentiale einer Modulbauweise zu nutzen und die negativen Aspekte zu minimieren, wurden im Rahmen dieses Projektes die technischen, sozialen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für Modulkonzepte exploriert und Lösungsansätze für kreislauffähige und sozial-ökologisch sinnvolle modulare IKT gemeinsam mit der Praxis am Beispiel eines auf dem Markt seit kurzem verfügbaren modularen Smartphones entwickelt.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das transdisziplinäre Konsortium umfasste mit dem IZM, dem ZTG und dem CSM drei wissenschaftliche Partner, die alle über Expertise im Bereich der Kreislaufwirtschaft verfügen, sich dabei aber thematisch in den Bereichen Ökodesign und Umweltbewertung von Elektronik (IZM), Konsumentenforschung und Nutzungspraktiken (ZTG) sowie Geschäftsmodellentwicklung (CSM) hervorragend ergänzen. Die zwei Industriepartner decken mit ihrer Expertise in der Produktentwicklung (SHIFT) und Demontage/Reparatur/Aufarbeitung (AfB) sinnvoll die relevanten Bereiche ab, um langlebige Produkte zu entwickeln und diese in den Erst- und Zweitmarkt zu bringen. Das Konsortium konnte auf eine dreijährige Zusammenarbeit von CSM, SHIFT und AfB im Rahmen des INaS aufbauen und somit zügig in eine produktive Phase übergehen. Zusätzlich stand das Institut für Integrierte Qualitätsgestaltung (IQD) der Johannes-Kepler-Universität Linz mit Kompetenzen aus der Leitung des INaS und den daraus bestehenden Kontakten zu den relevanten Industriepartnern in beratender Funktion zur Verfügung.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Es wurde untersucht, welche Modularitätsansätze sich für welche Nutzergruppen, Servicemodelle und Marktsegmente am besten eignen und welche sozialen Voraussetzungen wichtig sind, damit modulare IKT-Geräte eine echte Alternative auf dem Konsummarkt werden. Es hat sich bestätigt, dass aufgrund der Diversität der Nutzeranforderungen und –wünsche nicht ein Design als alleinig sinnvoll erachtet wird, sondern unterschiedliche Konzepte in Nischenmärkten nebeneinander produktiv einsetzbar sind.

Schwierigkeiten in Reparatur, Geräteaufarbeitung und Ersatzteilgewinnung wurden identifiziert und die Implikationen für besseres Gerätedesign herausgearbeitet. Die modularen Konzepte wurden mittels Ökobilanz hinsichtlich Material- und Ressourceneffizienz bewertet und dabei Hotspots im Lebensweg, speziell des technischen Designs identifiziert und daraus Strategien für eine technische Weiterentwicklung der Geräte und des modularen Ansatzes abgeleitet.

Auf Grundlage der unterschiedlichen Modularisierungsstrategien wurden kooperative Geschäftsmodelle unter Einbindung der Lieferanten, zirkulärer Dienstleister und Nutzern entwickelt. Dafür wurden auch die finanziellen Chancen und Herausforderungen, die sich durch eine Verschiebung vom Produkt-fokussierten Vertrieb, hin zu einzelnen Modulen (Einkünfte durch Ersatzteile, Upgrades, etc.) und stärkerer Serviceausrichtung (Reparaturservices, Rücknahmeservices, etc.) ergeben, untersucht.

Abbildung 1 zeigt die Arbeitspakete und Meilensteine. Zwischen den Arbeitspaketen gab es viele Querverknüpfungen, so dass diese nicht zeitlich aufeinander aufbauten, sondern zu vielen Teilen zeitlich parallel und inhaltlich iterativ verliefen.

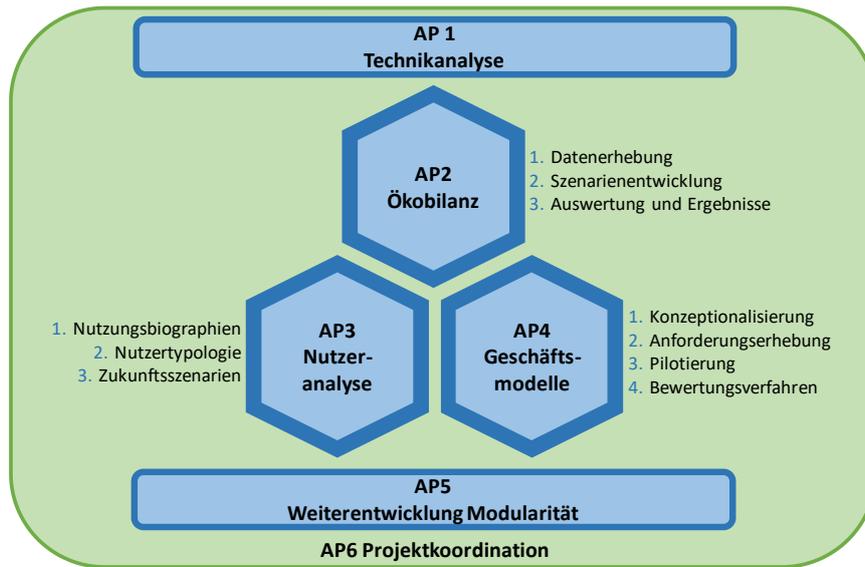


Abbildung 1: Zusammenarbeit der Arbeitspakete und Meilensteine

## 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf eine zusammenfassende Darstellung der aktuellen Smartphone Forschung im Kontext nachhaltiger Produktionsweisen und Konsumpraktiken und ist ein Auszug aus dem Ergebnisbericht zur Nutzer:innenforschung (AP3) des Projektpartners TU Berlin.

Das Smartphone ist aufgrund seiner weltweiten Verbreitung und seiner zunehmenden Bedeutung im Alltag der Menschen in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der Nachhaltigkeitsdiskussion gerückt. Aus Umweltsicht sind Smartphones von besonderer Relevanz, da sie eine Vielzahl seltener Elemente und Rohstoffe enthalten, die bisher nur sehr schwer oder gar nicht durch Recycling- und Verwertungsprozesse am Ende des Produktlebens zurückgewonnen werden können (Bookhagen et al. 2020). Im Vergleich zu deutlich größeren Elektronikprodukten wie Bildschirmen oder Haushaltsgeräten hat das Smartphone zwar ein relativ gutes Umweltprofil, dieses wird jedoch durch die kurze Nutzungsdauer in der Praxis schnell relativiert. Smartphones werden heute im Durchschnitt nur etwa 3,3 Jahre genutzt und danach in der Regel durch ein neues Gerät ersetzt (Poppe et al. 2022; Jaeger-Erben et al. 2021). Zu den Forschungsschwerpunkten gehören daher insbesondere Strategien zur Nutzungs- und Lebensdauererweiterung von Smartphones, die in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus von Studien gerückt sind. Hierzu zählen insbesondere die Arbeit von Tröger et al. (2017), eine umfangreiche Studie zu Fragen der geplanten Obsoleszenz im Auftrag des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2016 (Prakash et al. 2016), eine Verbraucherbefragung von Jaeger-Erben et al. (2017) und nicht zuletzt eine vorbereitende Studie zur Einführung einer EU-Ökodesign-Richtlinie für Smartphones von Schischke et al. (EC 2021), aus der bereits ein Richtlinienentwurf (EC 2022) hervorgegangen ist. In einem EU-weiten Forschungsprojekt werden derzeit auch die Ursachen für die vorzeitige Obsoleszenz von Produkten umfassend untersucht (Prompt 2022). In diesem Zusammenhang sind zwei umfangreiche Studien entstanden, die sich zum einen mit nutzer- und marktbezogenen Faktoren für vorzeitige Obsoleszenz (Van den Berge et al. 2022) und zum anderen mit gerätebezogenen Designaspekten (Dangal et al. 2022) beschäftigen. Ein Überblick über aktuelle Nutzungsdauern findet sich in einem statistischen Dossier von Poppe et al. (2022). Die wichtigsten Ergebnisse der oben genannten Studien sind u.a:

- Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones beträgt im Jahr 2021 ca. 3-3,3 Jahre (Duthoit 2022; Poppe et al. 2022; EC 2021).
- Die erwartete Soll-Haltbarkeit von Smartphones beträgt im Jahr 2021 durchschnittlich 4,4 Jahre (Poppe et al. 2022). Über 60% der Nutzer:innen erwarten eine Soll-Haltbarkeit unter 5 Jahren (Van den Berge et al. 2022:39);
- Insgesamt 30% der Nutzer:innen erwarten ihr Smartphone kürzer zu nutzen als die erwartete Soll-Haltbarkeit (Van den Berge et al. 2022:31);
- Die Austauschzyklen und Nutzungsdauern haben sich in den letzten 10 Jahre von ca. 2-2.5 Jahren in 2009-2012 (Prakash et al. 2016:120) zu 3,3 Jahren im Jahr 2021 (Duthoit 2022; Poppe et al. 2022; EC 2021) verlängert;
- Die Reparaturquote liegt derzeit bei ca. 52% im Fall eines technischen Defektes (Poppe et al. 2022, Van den Berge et al. 2022);
- Nur 40% der Geräte werden aufgrund eines technischen Defekts ausgetauscht. Vor allem der Wunsch nach einem neuen Gerät, mit besserer Leistung wird in der Praxis als häufiger Kaufgrund für ein neues Gerät genannt (Jaeger-Erben et al. 2021; Van den Berge et al. 2022, Poppe et al. 2022).

Als mögliche Strategien zur Nutzungs- und Lebensdauererlängerung wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von Ursachen und Maßnahmen aus Sicht der Produktion und der Verbraucher:innen aufgezeigt. Zu den produktionsbezogenen Aspekten zählen insbesondere Designaspekte, die eine möglichst hohe Haltbarkeit und Lebensdauer der Geräte versprechen. In diesem Zusammenhang wird insbesondere ein möglichst modularer Aufbau der Geräte genannt, der zum einen die einfache Reparatur und den Austausch defekter Komponenten, zum anderen in bestimmten Fällen auch die Aufrüstung einzelner Komponenten ermöglichen soll (Schischke et al. 2019; Amend et al. 2022; Schischke et al. 2017; Dungal et al. 2022). Modulare Designstrategien beschränken sich nicht nur auf Hardwarekomponenten, sondern beziehen sich auch auf Softwareaspekte. Studien zeigen, dass softwarebezogene Aspekte wie Aufrüstbarkeit, Interoperabilität und Kompatibilität eine immer wichtigere Rolle für die langfristige Nutzbarkeit von Smartphones spielen (Poppe et al. 2021; Poppe et al. 2022:18). Neben Designaspekten wird auch die Rolle der Modularität in der Wertschöpfungskette und in den Geschäftsmodellen der Hersteller diskutiert. Revellio et al. (2020) können eine Reihe von Zielkonflikten aufzeigen, die mit modularen Designstrategien einhergehen. Die Autor:innen unterscheiden dabei zwischen der Modularisierung innerhalb der Produktion und der Modularisierung von Produkten. Wie gezeigt wird, hat insbesondere die zunehmende Modularisierung der Fertigungs- und Produktionskette zu einer Reihe von Prozessinnovationen geführt, die wesentlich zum Wachstum und zur Kostensenkung im Markt beigetragen haben. Dazu gehört beispielsweise die Standardisierung von Schnittstellen und Komponenten, die eine effizientere und standardisierte Produktion ermöglicht. Die Modularisierung der Geräte selbst stagniert hingegen oder ist aufgrund der zunehmenden Integration von elektronischen Komponenten sogar rückläufig (Proske et al. 2020). Proske et al. (2020) und Schischke et al. (2022) konnten in Fallstudien zudem zeigen, dass die Realisierung von Umweltvorteilen durch eine stärkere Modularisierung von Produkten in den meisten Fällen eine ökologische Anfangsinvestition erfordert, die zu einem höheren Materialaufwand führt. Modulare Komponenten müssen z.B. durch robuste und zuverlässige Verbindungstechniken immer wieder miteinander verbunden werden können, damit spätere

Umweltvorteile (engl.: environmental payback) durch Reparaturen und längere Produktlebensdauern überhaupt realisiert werden können. Werden diese ökologischen Potenziale von den Nutzer:innen jedoch nicht genutzt und Geräte vorzeitig entsorgt. Aus Umweltsicht stellt sich deshalb die Frage, warum überhaupt und in welchem Maß modular gebaut werden soll, damit Nutzer:innen in der Praxis überhaupt Umweltvorteile erzielen können. Der Nutzer:innenforschung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil die ökologischen Potenziale der Modularität nur durch das richtige Nutzungsverhalten voll ausgeschöpft werden können. Der überwiegende Teil der Fachliteratur zu Modularität zielt jedoch häufig auf Design- und produktionsbezogene Maßnahmen (vgl. Bieser et al., 2022:3) und diskutiert verbraucherorientierte Interventionsstrategien bisher nur am Rande.

In der technikhistorischen Betrachtung wird deutlich, dass sich in den letzten Jahrzehnten immer stärker Smartphone Modelle auf dem Markt durchgesetzt haben, die sich durch eine hohe Integration der elektronischen Komponenten auszeichnen (Proske et al., 2020). Die Gründe hierfür sind vielfältig und können an dieser Stelle nicht eingehender betrachtet werden (ebd.). Zentral ist jedoch die Feststellung, dass der Wunsch nach mehr Modularität derzeit konträr zu den bisherigen Markttrends verläuft und auch die weitere Technikentwicklung nicht auf eine vollständige Modularisierung aller Hardwarekomponenten hoffen lässt, die durch Nutzer:innen einfach ausgetauscht werden können. Die bisherigen Forschungsarbeiten zeigen jedenfalls, dass die Nachhaltigkeitspotenziale von Modularität auf Produkt- und Nutzer:innenebene sehr viel differenzierter betrachtet werden müssen und auch die möglichen Vorteile von mehr Integration und weniger Modularität in der Praxis stärker gegenübergestellt werden müssen.

#### 1.4.1 Literaturverzeichnis wissenschaftlich-technischer Stand

Bieser, J. C. T., Blumer, Y., Burkhalter, L., Itten, R., Jobin, M., & Hilty, L. M. (2022). Consumer-oriented interventions to extend smartphones' service lifetime. *Cleaner and Responsible Consumption*, 7, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2022.100074>

Dangal, S., Balkenende, R., Faludi, J., Eisenriegler, S., Reichl, H., Haas, J., Neumerkel, A., Wild, J., Depypere, M., & Opsomer, T. (2022). Design for physical durability, diagnosis, maintenance, and repair. (Deliverable No. 4.3 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). <https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/PROMPT-D4.3-TEXT-APPENDIX.pdf>

Dao, T., Cooper, T., & Watkins, M. (2020). Exploratory insights into the "consumer repair journey" and opportunities for sustainable business innovation. *Electronics Goes Green 2020+ (EGG)*, 842.

Magnier, L. and R. Mugge (2022): Replaced too soon? An exploration of Western European consumers' replacement of electronic products, *Resources, Conservation and Recycling* 185, p. 106448. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106448.

Laitala, K., Klepp, I. G., Haugrønning, V., Throne-Holst, H., & Strandbakken, P. (2021). Increasing repair of household appliances, mobile phones and clothing: Experiences from consumers and the repair industry. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125349>

Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit: Lange Nutzungsdauern zwischen Anspruch und Wirklichkeit Erste Ergebnisse der Befragung 2019, online: <https://challengeobsolescence.info/befragung-2019/> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)

-----  
Kurzfassung  
-----

Proske, Marina; Sánchez, David; Clemm, Christian; Baur, Sarah-Jane (2020): Life Cycle Assessment of the Fairphone 3, Berlin

Proske, M.; Jaeger-Erben, M.: Decreasing obsolescence with modular smartphones? An interdisciplinary perspective on lifecycles, *Journal of Cleaner Production*, 223 (2019) 57-66, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.116>

Sánchez, David; Proske, Marina; Baur, Sarah-Jane (2022): Life Cycle Assessment of the Fairphone 4, Berlin

Schischke, K., Proske, M., Nissen, N. F., & Schneider-Ramelow, M. (2019). Impact of modularity as a circular design strategy on materials use for smart mobile devices. *MRS Energy & Sustainability*, 6, 1–16. <https://doi.org/10.1557/mre.2019.17>

Schischke, Karsten, Clemm, Christian; Berwald, Anton; Proske, Marina; Dimitrova, Gergana; Reinhold, Julia; Prewitz, Carolin; Durand, Antoine; Beckert, Bernd (2021): Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets. Tech. rep. European Commission

Van den Berge, R., Ramos, B., Magnier, L., & Thyssen, T. (2022). Premature replacement of well-functioning products and choice for replacement over repair (Deliverable No. 5.2 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). [https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2\\_TUD\\_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf](https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2_TUD_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf)

Wertgarantie (2020): Smartphone-Reparatur-Studie 2020, online: [https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020\\_de.pdf](https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020_de.pdf)

#### 1.4.2 Fortschritt an anderen Stellen

Mit der Verabschiedung des zweiten EU-Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft<sup>1</sup> wurden weitreichende Änderungen auf regulatorischer Ebene angestoßen, die neue und ambitioniertere Anforderungen an das Ökodesign von Produkten mit sich bringen. Die Umsetzung hiervon erfolgt über einzelne Verordnungen und Regulierungen, von denen ein Teil bereits auf den Weg gebracht wurde:

- Die EU-Kommission hat am 30. März 2022 einen Vorschlag für eine Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte vorgelegt. Die in Fachkreisen abgekürzte ERSR (engl., Ecodesign Requirements for Sustainable Products Regulation) zielt darauf ab, flächendeckend die negativen Umweltauswirkungen des Produktle-

---

<sup>1</sup> [EUR-Lex - 52020DC0098 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/lexuri/cs/l/uri.do?uri=CELEX:52020DC0098:EN:EUR-Lex)

benszyklus zu verringern und forciert ambitionierte Maßnahmen wie die Verbesserung der Reparaturfähigkeit und Einführung eines Digitalen Produktpasses.<sup>1</sup>

- Die EU-Kommission hat am 31. August 2022 einen Verordnungsentwurf für spezifische Ökodesign-Anforderungen für Mobiltelefone, schnurlose Telefone und Tablet-PCs veröffentlicht<sup>2</sup>.
- Am 22. März 2023 hat die Europäische Kommission einen Vorschlag für gemeinsame Regeln zur Förderung der Reparatur von Produkten vorgelegt.<sup>3</sup>

Als wichtige Grundlage für die weitere Standardisierung der Kreislaufwirtschaft wurde in einem breiten Beteiligungsprozess von über 550 internationalen Expert:innen aus verschiedenen Bereichen eine Normungsroadmap erarbeitet und im Januar 2023 veröffentlicht.<sup>4</sup>

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Ergebnisse der Technikanalyse (AP 1) wurden in die „Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets“ eingespeist (Schischke et. al. 2021). Öko-Designkriterien sind auf diesem Weg erfolgreich in die europäische regulatorische Ebene eingeflossen.

Es erfolgten weiterhin Austausch und Zusammenarbeiten mit diversen anderen Forschungsprojekten:

- UBA Sobo Studie: „Analyse der softwarebasierten Einflussnahme auf eine verkürzte Nutzungsdauer von Produkten“ (2022). Hier wurde eine großangelegte Nutzer:innenbefragung zur erwarteten Nutzungsdauer von IKT-Produkten durchgeführt, welche auch für das MoDeSt-Projekt relevant war. Für den Aufbau dieser Befragung wurden auch Erkenntnisse aus dem Forschungsrahmen des MoDeSt-Projektes genutzt.
- UBA PI 4.0 Studie

<sup>1</sup> European Commission (EC) (2022). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC (COM(2022) 142 final, (2022). [https://ec.europa.eu/environment/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://ec.europa.eu/environment/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation_en)

<sup>2</sup> European Commission (EC) (2022). Draft ecodesign requirements for mobile phones, cordless phones and slate tablets

<sup>3</sup> European Commission (EC) (March 22, 2023). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on common rules promoting the repair of goods and amending Regulation (EU) 2017/2394, Directives (EU) 2019/771 and (EU) 2020/1828. [https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM\\_2023\\_155\\_1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v6.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM_2023_155_1_EN_ACT_part1_v6.pdf)

<sup>4</sup> DIN e. V., Normungsroadmap Circular Economy. Wegweiser für die Normung und Standardisierung der Circular Economy (Januar 2023) <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normungsroadmap-circular-economy>

- Cirpass Projekt (EU) Digital Product Passport: eine gemeinschaftliche Initiative zur Vorbereitung der schrittweisen Einführung eines auf Standards basierenden digitalen Produktpasses (DPP), der mit den Anforderungen des Vorschlags für Ökodesign-Vorschriften für nachhaltige Produkte (ESPR) übereinstimmt, wobei der Schwerpunkt zunächst auf den Bereichen Elektronik, Batterien und Textilien liegt.
- Prompt (EU) – Projekt zur Entwicklung von Testprogrammen zur Bewertung der Lebensdauer von Konsumgütern. Erkenntnisse zur Reparierbarkeit und Lebensdauer von Konsumgütern wurden regelmäßig zwischen den Mitwirkenden der beiden Projekte ausgetauscht und besprochen.
- Nachwuchsgruppe OHA – Die Nachwuchsgruppe hatte zum Ziel, die Gründe für obsolet werdende Elektronikprodukte zu erforschen und Strategien für einen nachhaltigeren Produktkonsum auf technischer, sozialer, gesellschaftspolitischer und ökonomischer Ebene zu entwickeln und zu bewerten. Ein gegenseitiger Austausch zu Erkenntnissen zur Obsoleszenz von Smartphones fand zwischen den Mitgliedern der Nachwuchsgruppe und den Mitwirkenden des MoDeSt-Projektes regelmäßig statt.

## 1.6 Zahlennachweis

Durch die gemeinsame Abgabe des Schlussberichtes als Projektkonsortium liegen die Zahlennachweise noch nicht für alle vor. Die beteiligten Institutionen haben eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit beantragt, jedoch nicht mit identischem Zeitrahmen. Die Nachweise der Kosten werden gesondert eingereicht.

## 2 Langfassung

### 2.1 Projektergebnisse und Zielerreichung

#### 2.1.1 AP1 Technikanalyse

Die Langfassung findet sich im vollständigen AP-Bericht.

In dieser deskriptiven Bestandsaufnahme wird ein kurzer Einblick in aktuelle Bestands- und Verkaufszahlen von Smartphones gegeben, sowie Zahlen zur aktuellen Nutzungsdauer, Schäden und Reparaturen, sofern diese verfügbar sind (Kapitel 2.1.1.1). Die Historie der Smartphoneentwicklung wird auf Basis einer breiten Modellübersicht seit Ende der 1990er beschreiben (Kapitel 2.1.1.2), sowie existierende modulare Konzepte genannt.

##### 2.1.1.1 Daten zu Smartphones und deren Nutzung

Smartphones haben seit 2007, als das erste iPhone, welches mithin als erstes Smartphone gilt, auf den Markt kam, eine unvergleichlich schnelle Ausbreitung gefunden. Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die wesentlichen Daten zu Smartphones und deren Nutzung gegeben, um anschließend das Thema Nutzungsdauer und Potential modularer Geräte näher zu analysieren.

#### Marktdaten

Aktuell gibt es in Deutschland fast 1,5 Smartphones pro Haushalt, was in Summe ca. 62 Mio. privaten Smartphones entspricht (Destatis 2020, 2020b). Damit verbunden ist ein jährlicher Absatz von ca. 23 Mio. Geräten bei einem Umsatz von mehr als 11 Mrd.€ (Bitkom 2019, HEMIX 2018).

Die Umsatz-, Preis- und Absatzentwicklungen von Bitkom und CEMIX/HEMIX variieren zwar im Detail, zeigen aber die gleichen Trends: Bis 2015 stiegen Absatz und Umsatz von Smartphones kontinuierlich stark an. 2016 brach der Absatz an Geräten ein und hat sich mittlerweile bei etwa 23 Mio. Geräten pro Jahr stabilisiert. Der Umsatz wächst allerdings nach einem kurzfristigen Einbruch 2016 nun wieder kontinuierlich an und liegt aktuell bei über 11 Mrd. € jährlich (siehe Abbildung 2) (CEMIX/HEMIX 2009-2018, Bitkom 2015-2019). Dies ist durch die stetig steigenden Produktpreise bei den Smartphones bedingt, die aktuell durchschnittlich bei über 500€ pro Gerät liegen, wobei Flagshipgeräte noch deutlich höhere Preise erzielen und seit 2017 vierstellige Beträge für Flagshipgeräte nicht mehr unüblich sind (Eadicicco, 2019) (siehe Abbildung 3).

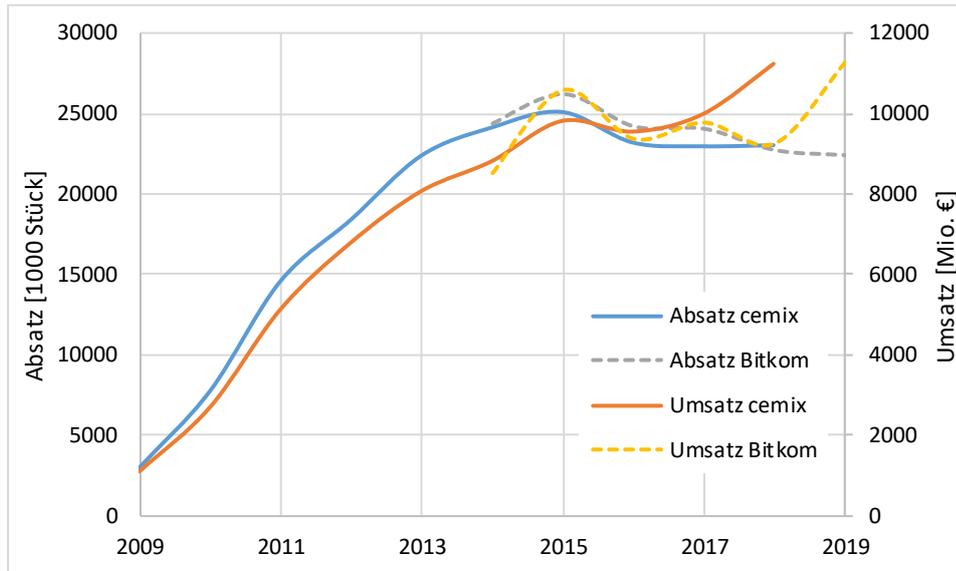


Abbildung 2: Absatz- und Umsatzentwicklung nach CEMIX/HEMIX (2009 – 2018) und Bitkom (2015 – 2019)

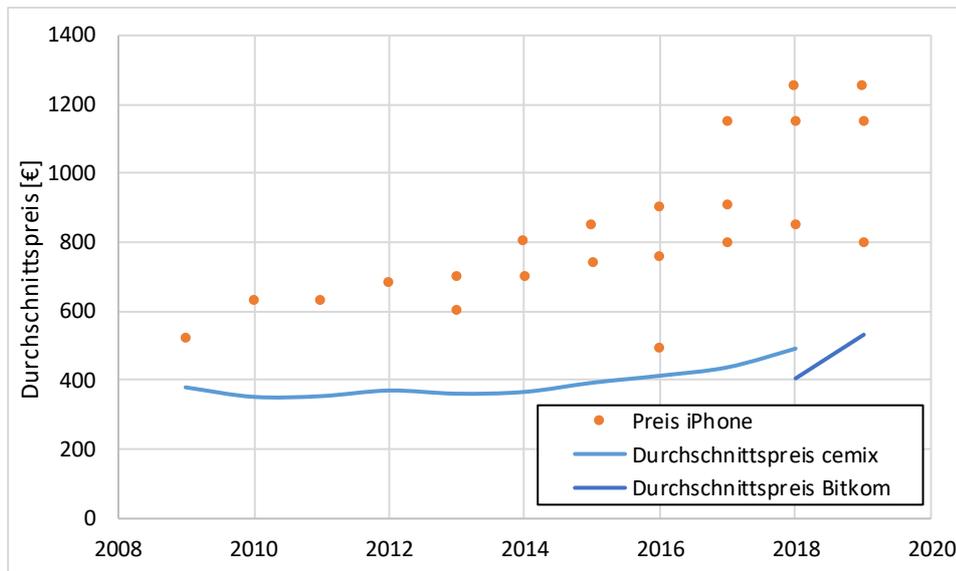


Abbildung 3: Preisentwicklung von Smartphones am Marktdurchschnitt (CEMIX/HEMIX 2009 – 2018, Bitkom 2018/2019) und iPhones bei Markteintritt in Deutschland (nach Wikipedia<sup>1</sup>)

Diese steigenden Preise widersprechen dem weltweiten Trend, nachdem die Durchschnittspreise fallen (Cordella et al. 2020). Für den deutschen Markt sieht es ganz anders aus. Der durchschnittliche Preis steigt stark, so dass trotz Rückgängen der verkauften Stückzahlen der Umsatz steigt. Allerdings ist der starke Preisanstieg erst ab 2015 zu beobachten (siehe Abbildung 3), Zahlen von Cordella et al. (2020) beziehen sich auf eine Entwicklung bis 2016, wobei weltweit auch bis 2018 ein weiterer Preisverfall prognostiziert wurde.

<sup>1</sup> Wikipedia: iPhone, <https://de.wikipedia.org/wiki/IPhone> (abgerufen: 12.02.2020)

Auch bei den Mobilfunkanschlüssen ist ein stetiger Anstieg zu verzeichnen. Im Jahr 2019 listete die Bundesnetzagentur mittels Daten der Netzbetreiber 142,9 Mio. Mobilfunkanschlüsse in Deutschland, also gut 172 Anschlüsse pro 100 Einwohner:innen. Seit 2002, dem Beginn der Erhebung, ist dieser Wert fast kontinuierlich angestiegen, seit 2009 um fast 40 Mio. (siehe Abbildung 4) (Bundesnetzagentur, 2020). Die Bundesnetzagentur scheint jedoch auch inaktive Sim-Karten aufzulisten. Eine Recherche-gruppe der ITU-T veröffentlicht dagegen seit 2010 dieselben Daten ohne inaktive Karten (siehe ebenfalls Abbildung 4). 2018 listeten sie so 107 Mio. Anschlüsse – die Bundesnetzagentur dagegen knapp 137 Mio. Obwohl die Zahlen der ITU-T deutlich niedriger sind, gab es auch hier 2018 pro 100 Einwohner:innen knapp 130 Mobilfunkanschlüsse und die Tendenz ist dieselbe wie bei der Bundesnetzagentur: stetig steigend (ITU-T, 2019).

DualSim-Geräte machten dabei laut DeviceAtlas (2019d) einen Anteil von 13,5% aus, wobei nicht bekannt ist zu welchem Anteil diese Funktion tatsächlich genutzt wird.

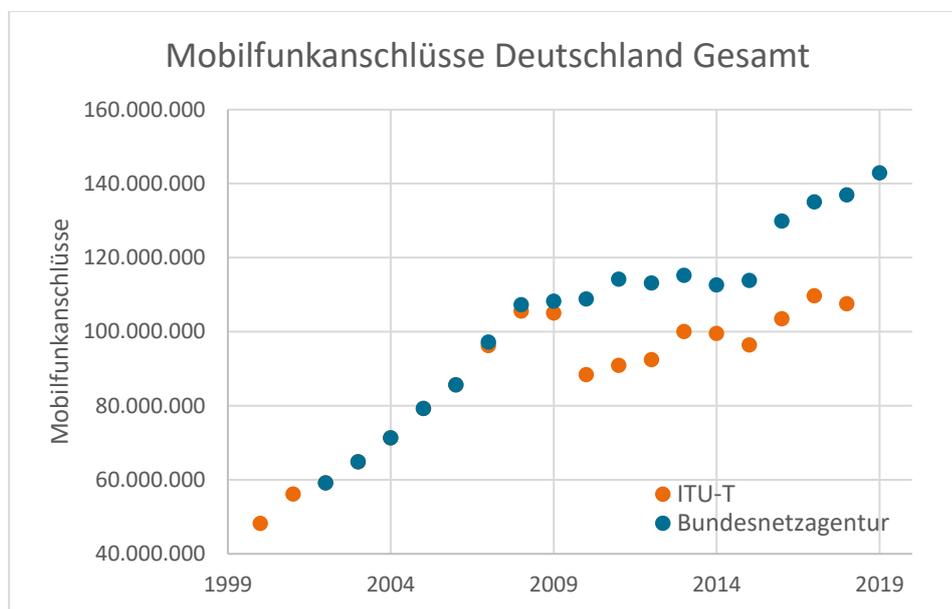


Abbildung 4: Entwicklung der Mobilfunkanschlüsse in Deutschland nach Bundesnetzagentur (2002-2019) und ITU-T (2000-2018)

## Nutzungsdauer

Es gibt wenige aktuelle Studien zur Nutzungsdauer von Smartphones. Überwiegend wird die Nutzungsdauer der Geräte mit etwa 2 Jahren angegeben (Manhart 2012, Träger 2015, Prakash 2016, Wilson 2017, Jaeger-Erben & Hipp 2017). Der Gebrauchtgerätemarkt ist dabei stark wachsend, aber noch klein. Laut mehrerer Meldungen und Schätzungen nimmt die Nutzungsdauer der Geräte zu (Kantar Worldpanel 2017, Haselton 2019, Ng 2019, Williams 2019), die Quellen hierzu jedoch sind noch sehr dünn und basieren auf sehr wenigen Umfragen.

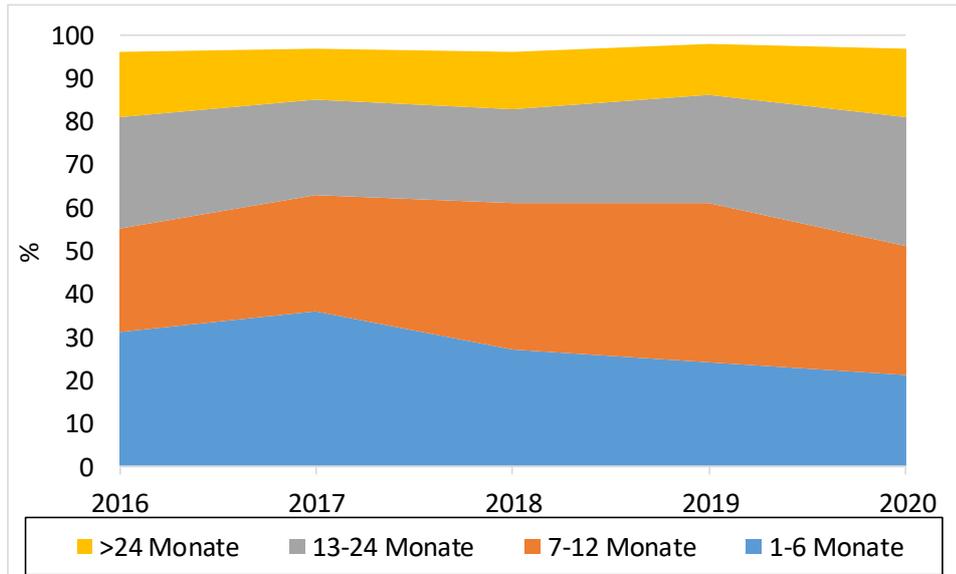


Abbildung 5: Produktkauf des aktuellen Gerätes nach Bitkom (Ametsreiter 2016, 2017, 2019, 2020, Haas 2018)

Ein Anhaltspunkt sind Zahlen der Bitkom (Ametsreiter 2016, 2017, 2019, 2020, Haas 2018), welche im Rahmen von „Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends“ seit 2016 fragt, wann das aktuelle selbstgekaufte Gerät gekauft wurde (siehe Abbildung 5). Auch wenn sich daraus nicht direkt eine durchschnittliche Nutzungsdauer ablesen lässt, zeigt sich, dass stets über 80% der Geräte innerhalb der letzten 2 Jahre gekauft wurden. Der Bereich der sehr jungen Geräte (< 1/2 Jahr) nimmt dabei leicht ab, gleichzeitig der Zeitraum > 2 Jahre nicht wirklich zu.

Kantar Worldpanel (2017) beschreibt ebenfalls einen Anstieg in Deutschland und Europa nach deren Daten die Nutzungsdauer bis 2016 in Europa sogar noch unter 2 Jahren lag (Abbildung 6).

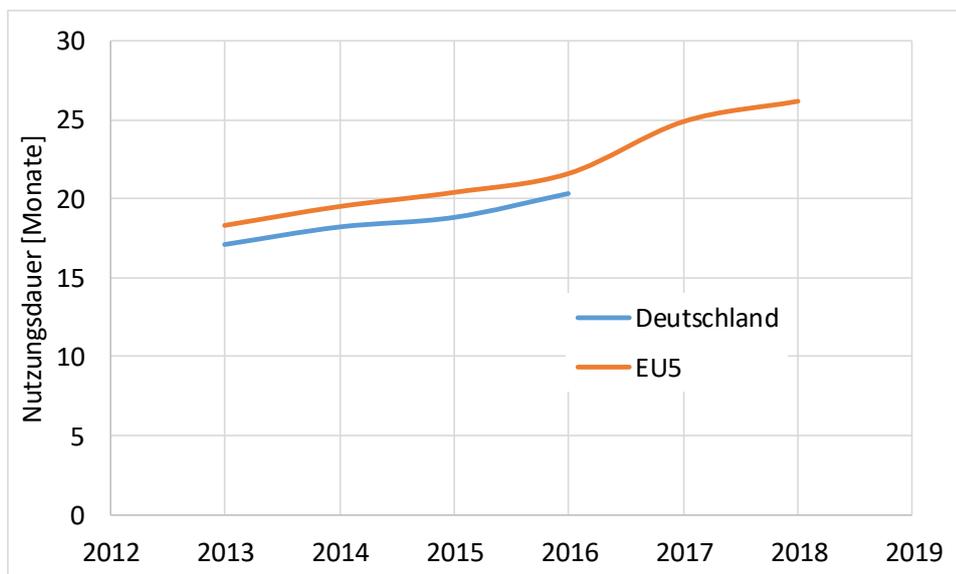
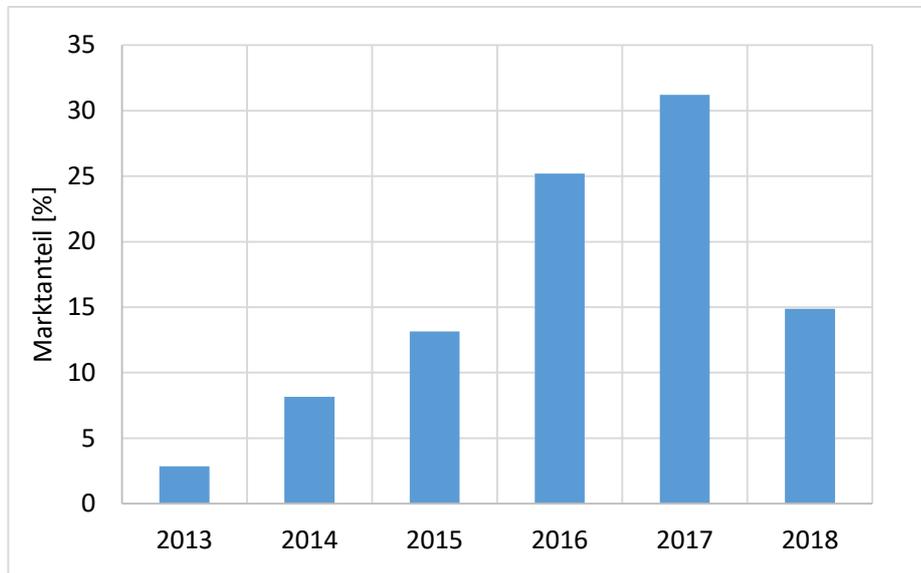


Abbildung 6: Nutzungsdauer von Smartphones in Monaten nach Kantar Worldpanel (2017) und A. Ng in einem Artikel bei CNBC (2019), welcher ebenfalls auf Daten von Kantar Worldpanel beruht

Auch über den verursachten Datenverkehr lässt sich das grobe Alter der Geräte abschätzen. So sind nach DeviceAtlas (2019c) die im 1. Quartal 2019 genutzten Geräte mehrheitlich aus den Jahren 2016 und 2017, allerdings auch noch ca. 11% der Geräte aus den Jahre 2013 und 2014 (siehe Abbildung 7). Allerdings bezieht sich das Jahr hier auf das Releasejahr des Modells. Die aktive Nutzung des Gerätes kann deutlich später begonnen haben.



**Abbildung 7: Releasejahr der im 1. Quartal 2019 genutzten Geräte in Deutschland nach DeviceAtlas (2019c)**

Das Unternehmen Strategy Analytics stellte in einer Umfrage unter US Smartphone-nutzer:innen sogar eine Nutzungsdauer von 2,8 Jahren fest. Nutzer:innen gaben hierbei vor allem den Mangel an Innovationen als Grund für eine länger werdende Smartphone-nutzung an. Viele gaben jedoch auch an, gerade länger als sonst mit dem Gerätewechsel zu warten; nämlich bis der Technologiewechsel auf 5G im Breitenmarkt angekommen ist (Williams 2019). Tendenzen hin zur längeren Smartphone-nutzung könnten hierdurch wieder verringert werden.

Auch zur technischen Lebensdauer von Smartphones gibt es wenige Zahlen. Zu den Smartphoneakkus gibt es Zahlen wie viele Ladezyklen unter Erhalt einer Mindestrestkapazität durchgeführt werden können. So gibt der Hersteller Apple an, dass die iPhone-Batterien mindestens 500 volle Ladezyklen aushalten und dann noch über eine Restkapazität von mindestens 80% verfügen<sup>1</sup>. Der Blaue Engel für Smartphones fordert sogar eine Restkapazität von 90% (Blauer Engel 2017). Dies sind jedoch Mindestzahlen und keine Lebensdauer als solches.

Geht man vom täglichen Laden aus, wäre die Mindesthaltbarkeit bereits nach weniger als 1 ½ Jahren erreicht. Untersuchungen von Clemm et al. (2016) zeigen jedoch, dass eher 230 Ladezyklen pro Jahr gängig sind. Auch damit liegt die Mindestlebensdauer der Akkus jedoch nur bei zwei Jahren. Bei festverbauten Akkus wird somit auch die Lebensdauer des Gesamtgerätes limitiert. Es ist sowohl vom Akku als auch stark von den Nutzer:innen abhängig, ob und wie schnell es dann tatsächlich zu Ersatz kommt. Fällt die Kapazität nach Erreichen der definierten 80% weiterhin langsam ab, ist die weitere

<sup>1</sup> Apple Support: <https://support.apple.com/de-de/HT208387> (abgerufen: 27.03.2020)

Nutzungsmöglichkeit deutlich länger, als wenn die Restkapazität dann sehr schnell rapide abfällt. Das Nutzungsverhalten, sowohl hinsichtlich der aktiven Smartphone-nutzung als auch den Ladegewohnheiten, wirkt sich zudem darauf aus, ob ein erster Abfall der Kapazität als stark störend wahrgenommen wird oder nicht.

Zu den eigentlichen Bauteilen des Smartphones gibt es quasi keine Zahlen zur technischen Lebensdauer. Es ist aber davon auszugehen, dass die aktuellen Nutzungsdauern deutlich unter diesen Zeiten liegen. Bekannte technische Ausfälle, die nicht auf Unfallschäden zurückgehen, sind vor allem Wackelkontakte bzw. Ausfälle der Stecker und Anschlüsse. Die reale Nutzungsdauer von Smartphones wird Studien und Befragungen zu Folge eher von folgenden Faktoren beeinflusst (u.a. Jaeger-Erben & Hipp 2017, Manhart 2012):

- Technischer Fortschritt und Häufigkeit neuer Modelle
- Dauer der Softwareunterstützung
- Dauer von Mobilfunkverträgen
- Batterielebensdauer
- Widerstandsfähigkeit der Geräte bzw. technische Ausfälle durch Unfälle (Stürze, Wasserschäden)

Die Vertragsdauer von Smartphones war noch vor einigen Jahren ein starker Faktor für die Produktnutzungsdauer (Prakash et al. 2016). In Deutschland waren dabei 2 Jahre Vertragsdauer weit verbreitet und neue Geräte umsonst oder stark vergünstigt ein häufiges Anreizmittel für einen neuen Vertragsabschluss bzw. Providerwechsel. Dies passierte im Wechselspiel damit, dass anfangs bestimmte Flagship-Geräte wie iPhones nur bei bestimmten Providern mit Vertragsabschluss zu bekommen waren (Bono 2010).

Sowohl die Abhängigkeit bestimmte Geräte nur bei einzelnen Providern zu bekommen, als auch die generelle Praxis Neugeräte bei Vertragsabschluss bzw. Vertragsverlängerung dazu zubekommen, ist deutlich weniger relevant geworden (Ottoni 2019). Das Verhältnis von Festverträgen versus Prepaidtarifen scheint dagegen zumindest seit 2016 relativ konstant zu sein (VuMa 2019).

## Schäden und Reparaturen

Mehre Nutzer:innenbefragungen zeigen, dass viel Nutzer:innen ihr Smartphone im Falle eines Schadens häufig nicht reparieren lassen bzw. eine Reparatur oft gar nicht in Betracht ziehen (Jaeger-Erben & Hipp 2017, OHA 2019). Nach einer Studie von click repair (2019) erleiden mehr als ein Drittel aller Smartphones im Laufe ihres Lebenszyklus einen Schaden, aber nur 15,4% der Nutzer:innen lassen ihr Gerät reparieren. Die Zahl der Nutzer:innen, die ihr Telefon reparieren lassen würden und derer, die es tatsächlich reparieren lassen schwankt dabei über die verschiedenen Marken stark und ist bei iPhones am höchsten, was darauf hindeuten könnte, dass hochpreisige Smartphones eher repariert werden. Die Mehrheit der Nutzer:innen gibt an, aus Kostengründen zu reparieren, aber zum Teil auch um das Gerät danach weiterzuverkaufen oder als Ersatzgerät zu nutzen (click repair 2019).

Das Display ist überproportional häufig von Schäden betroffen (~67%), gefolgt von Gehäuseschäden (~50%) (click repair 2019). Dass Displays mit Abstand den größten Teil von Reparaturen ausmachen, wird auch von etwas älteren Zahlen von Handyreparaturvergleich gestützt (handyreparaturvergleich.de 2014). Laut click repair (2016) sind sogenannte Edge-Displays, also Displays, welche keinen Rand an den Seiten haben, sondern dort gebogen sind, sowohl deutlich schadensanfälliger als auch teurer in der Reparatur. Da ein Schadensereignis mehrere Schäden verursachen kann, addieren sich

die Schäden zu deutlich über 100%. In Abbildung 8 ist zudem die Verteilung für die unterschiedlichen Schadensursachen (Sturz, technischer Defekt) dargestellt. Laut click repair (2016) machen Verschleiß (37%) und technische Probleme (34%) die häufigsten Ursachen aus, Sturzschäden sind bei einem Viertel die Ursache, 5% sind Wasserschäden. Es ist davon auszugehen, dass Sturzschäden dabei am ehesten zu Reparaturen führen, da sie im Gegensatz zu Verschleiß gleichverteilt bei neuen und alten Geräten auftauchen und gleichzeitig im Gegensatz zu technischen Problemen nicht grundsätzlich das Vertrauen in das Gerät in Frage stellen.

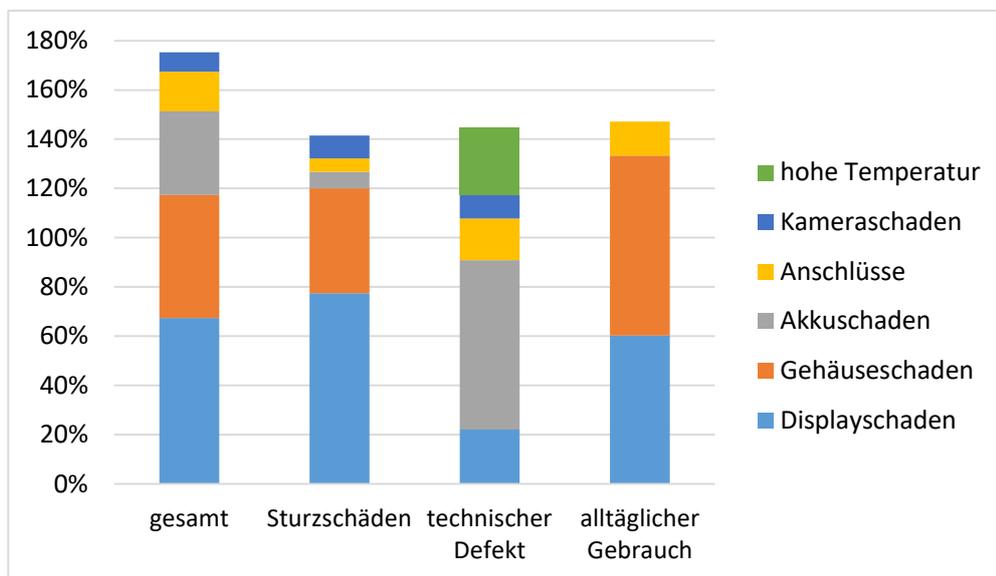


Abbildung 8: Defekte Komponenten nach Schadensart – Mehrfachnennung möglich, Zahlen basieren auf click repair (2019)

Aus der Studie geht hervor, dass bei Sturzschäden bei 77% aller Geräte insbesondere das Display, sowie in 9% aller Fälle die Kamera in Mitleidenschaft gezogen wird und ausgetauscht werden muss.

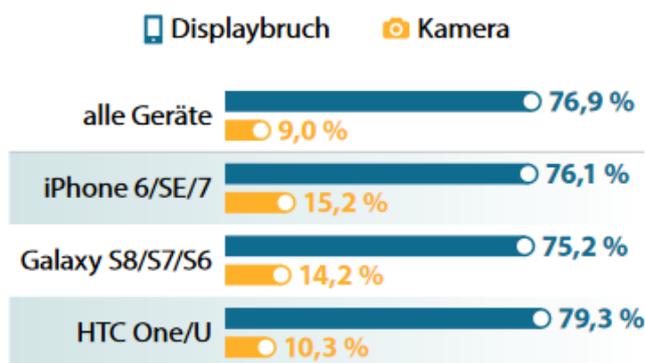


Abbildung 9: Sturzschäden Smartphone (click repair, 2017, S.5)

Neben Display und Kamera wird in der vorliegenden Studie der Akku als relevante Schwachstelle identifiziert, wobei nicht eindeutig ist, ob es hier um einen direkten Defekt (starke Wärmeentwicklung, Spontanausfall, Aufblähen, etc.) handelt oder um Abnahme der Kapazität als Verschleißerscheinung.

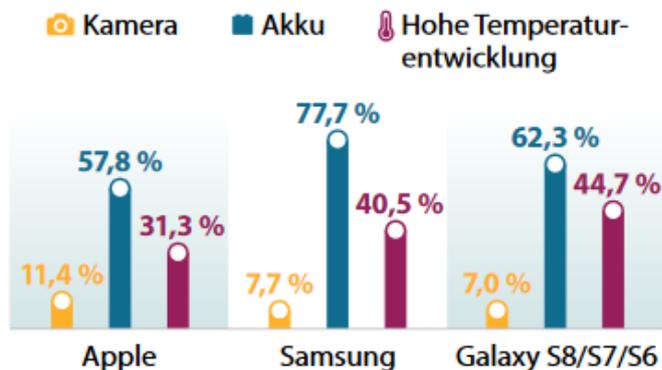


Abbildung 10: technische Schäden Smartphone (Click repair, 2017, S.5)

Die Daten von click repair zeigen ebenfalls, dass ca. 80% der Nutzer:innen eine Schutzhülle und grob die Hälfte eine Schutzfolie verwendet, mit recht großen Schwankungen zwischen den einzelnen Marken. Die Schutzausrüstung reduziert die Schadenshäufigkeit (click repair 2019). Teure Geräte werden dabei nicht häufiger mit Schutzausrüstung versehen als günstige Geräte (click repair 2016). Die Schadenshäufigkeit wird durch diese Schutzmaßnahmen signifikant reduziert (Abbildung 11).

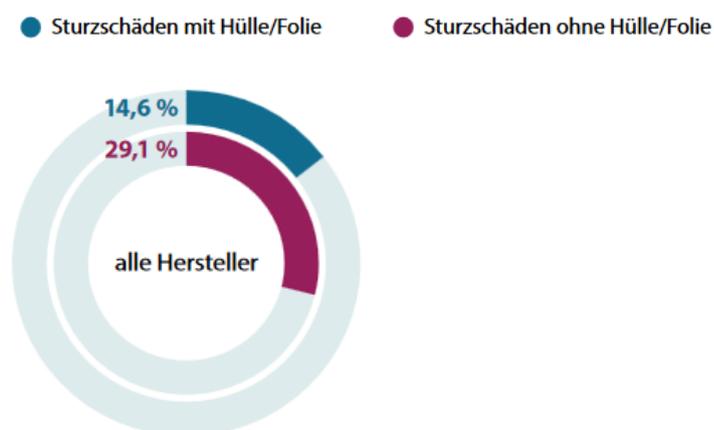


Abbildung 11: Sturzschäden mit/ohne Hülle/Folie (click repair, 2017, S.5)

## Erfahrungen aus den Demontagen und Reparaturen

Im Rahmen des Projektes wurden eigene Demontagen durch Fraunhofer IZM und AfB durchgeführt. Diese lassen zwar keine Rückschlüsse auf Schäden, aber auf Reparaturmöglichkeiten und –aufwände zu.

Der interne Aufbau eines Smartphones wurde über die letzten zwei Jahrzehnte diverse Male geändert. Es musste Platz für immer größer werdenden Akkus und neuer Funktionen geschaffen werden und gleichzeitig veränderten sich auch Außenmaße der Geräte. Trotzdem kann man einige typische Aufbauten benennen, die in den letzten Jahren häufig verbaut wurden.

Momentan gibt es zwei verbreitete innere Aufbauten für Smartphones. Zum einen die Kombination aus rechteckigem Akku und einer Hautplatine in L- oder leichter U-Form, die um den Akku herum platziert ist (siehe Abbildung 12).



**Abbildung 12: Samsung Galaxy S10 mit L-förmiger Hauptplatine (Fotoquelle: iFixit<sup>1</sup>)**

Zum anderen eine Kombination aus rechteckigem Akku, der am unteren Ende des Smartphones platziert ist und über dem sich eine rechteckige Hauptplatine befindet. Diese ist oftmals nicht flächig ausgefüllt, da hier aufgrund ihrer Position auch noch Platz für Kameras und andere technische Module sein muss (siehe Abbildung 13). Es ist dann oftmals nötig, diese komplett auszubauen, um Zugriff auf die Hauptplatine zu erhalten. Zusätzlich zum Akku befindet sich am unteren Ende des Smartphones dann meist noch eine zweite kleine Platine für zusätzliche Bauteile, wie die Ladebuchse. Auch bei L-förmigen Hauptplatinen müssen jedoch oft diverse Bauteile ausgebaut werden, bevor auf die Platine zugegriffen werden kann.

Auch die aktuellen modularen, reparierbaren Smartphones an, sind dort ebenfalls beide Varianten vertreten (Fairphone 3: L-förmig, SHIFT 6m: rechteckige Leiterplatte oben). Dies verdeutlicht, dass die generelle Reparierbarkeit nicht allein an der generellen Anordnung abgeschätzt werden kann.

<sup>1</sup> iFixit: <https://www.ifixit.com/Teardown/Samsung+Galaxy+S10+and+S10e+Teardown/120331> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)



**Abbildung 13: Samsung Galaxy S20 Ultra mit rechteckiger Hauptplatine (Fotoquelle: iFixit<sup>1</sup>)**

Schaut man sich die Neuerscheinungen der großen Hersteller in den letzten Jahren an, so sieht man, dass beide grundlegenden Aufbauten weit verbreitet sind, auch unter den „Flagshipgeräten“. Aufgrund der schnellen Taktung von Neuerscheinungen und technischer Veränderungen ist es außerdem schwierig, generelle Aussagen über die Verbreitung dieser Aufbauten, auch innerhalb der Hersteller, zu treffen. Hier sind oft keine leicht erkennbaren Muster vorhanden. So wechselte Samsung im letzten Jahr bei beiden teuren „Flagship“-Linien (der Note- und der Galaxy S-Linie) von L-förmigen Hauptplatinen zu rechteckigen, jedoch wurden diese rechteckigen Platinen in der günstigeren Galaxy A-Linie (und bis 2018 auch der J-Linie) schon vorher genutzt. Für die Galaxy S-Linie ist dies in den obigen Abbildungen dargestellt.

Es muss auch betont werden, dass diese Darstellung typischer Smartphone-Aufbauten nur eine Momentaufnahme ist und sich sicherlich in den nächsten Jahren weiter verändern wird. Es gibt immer wieder Versuche von Herstellern, das Innenleben der Smartphones weiter zu optimieren, die jedoch oft im nächsten Modell bereits nicht mehr vorhanden sind. So brachte Apple 2017 das iPhone X auf den Markt, welches eine zweilagige Hauptplatine hatte, deren Lagen aneinander gelötet wurden. Diese Technik ermöglichte es Apple, eine deutlich größere Hauptplatine auf weniger Platz unterzubringen (135% im Vergleich zum iPhone 8 Plus bei nur 70% der Fläche). Gleichzeitig wurden hier zum ersten Mal zwei Akkuzellen verbaut, die zusammen eine L-Form ergaben (siehe Abbildung 14) (iFixit 2017). Die zweilagige Hauptplatine war zwar noch im nachfolgenden iPhone XS vorhanden (dort dann tatsächlich mit einer L-förmigen Akkuzelle), jedoch nicht mehr im darauffolgenden iPhone 11 Pro. Die L-förmige Akkuzelle wurde beibehalten. Interessant hierbei ist jedoch, dass diese nur für die teureren iPhone-Versionen beibehalten wurde. Das iPhone XS und das 11 Pro haben beide L-förmige Zellen

<sup>1</sup> iFixit: <https://www.ifixit.com/Teardown/Samsung+Galaxy+S20+Ultra+Teardown/131607> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)

(iFixit 2019), die günstigeren Varianten nicht (siehe Abbildung 14 für die rechteckige Batterie im iPhone XR).

Langfassung



**Abbildung 14: iPhone X (links) und XR (rechts) (Fotoquelle: iFixit<sup>1</sup>)**

Auch sogenannte „Midframes“ sind weit verbreitet – ein Plastik- oder Metallrahmen, an dem die Komponenten befestigt werden. Diese sind zwar prinzipiell für eine leichtere Reparierbarkeit interessant, da hierdurch theoretisch ein leichtes Ablösen von Display und Rückseite ermöglicht werden könnte, während die Komponenten im Mid-frame befestigt sind. Hierdurch könnten sowohl Display- als auch Rückseitenreparaturen leicht durchgeführt werden und ein leichter Zugriff auf fast alle Komponenten wäre möglich. Dies ist in der Realität jedoch meist nicht der Fall. Die meisten Smartphones werden immer noch an der Rückseite geöffnet und nicht selten muss für einen Austausch des Displays (die häufigste Reparatur) eine große Anzahl Komponenten entfernt werden (wie z.B. beim iFixit reparability score gezeigt).

Diese Bandbreite an internen Aufbauten von Smartphones in Kombination mit ihrer Kompaktheit und eventuellen zusätzlichen Hindernissen, wie Verklebungen der Hülle oder Kabeln, die so positioniert sind, dass sie beim Öffnen des Smartphones leicht zerstört werden können, machen den Reparaturvorgang komplex und verringern die Reparierbarkeit der Smartphones.

Zu den klassischen Problemen, die auch z.B. bereits von iFixit benannt wurden (iFixit o.d.), gehören die Verwendung unterschiedlicher Schraubenköpfe und -längen innerhalb eines Gerätes. Die Verwendung unterschiedlicher Schraubenköpfe führt dabei ge-

<sup>1</sup> iFixit: <https://de.ifixit.com/Teardown/iPhone+X+Teardown/98975> + <https://de.ifixit.com/Teardown/iPhone+XR+Teardown/114123> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)

rade in kommerziellen Reparaturen bzw. Aufarbeitungen zu unnötigem Werkzeugwechsel. Unterschiedliche Schraubenlängen hingegen können beim Verwechseln zu Schäden am Gerät durch z.B. Punktieren von Boards oder Display führen.

Die mögliche Reihenfolge bei der Demontage der Smartphones ist ein weiterer Zeit- und Risikofaktor. So lassen sich einige Modelle nur in einer fixen Reihenfolge, unabhängig von der beschädigten Komponente, demontieren, andere Modelle erlauben eine deutliche flexiblere Demontage. Es fiel auf, dass bei einigen Geräten sehr schadensanfällige Displays und eine fixe Demontagerihenfolge zusammenfielen, so dass aus ökonomischer Sicht ein Akkutausch vermieden wird, da das Risiko eines Displaybruchs zu hoch ist. Die Wahrscheinlichkeit, durch die Demontage/einen Reparaturversuch einen weiteren Schaden wie Bruch des Displays oder der Glasrückseite zu verursachen schwankte stark zwischen den untersuchten Modellen.

Starke Verklebungen sind problematisch beim Demontieren der Geräte. Speziell bei der Batterie sollte ein Abhebeln vermieden werden, da dies nicht nur aufwendig ist, sondern auch ein Sicherheitsrisiko darstellt. Klebestreifen sind hier besser geeignet, doch ist ein Reißen bzw. die Anbringung direkt unter dem Akku nicht selten. Unklar ist, ob das Reißen der Klebestreifen durch die Nutzungsphase des Smartphones beeinflusst wird (z.B. durch starkes Erwärmen des Akkus, o.ä.). Auch beim Zusammenbau sind Klebestreifen, wenn möglich, vorteilhaft, da Aushärtungszeit für Flüssigkleber vermieden wird. Das Verkleben von Kabeln ist ebenfalls in einigen Modellen zu beobachten. Dies stellt zwar kein Sicherheitsrisiko wie beim Akku dar, ist aber beim Lösen sehr fehleranfällig und teilweise zeitaufwendig.

Hinsichtlich der Sicherheit bei der Akkudemontage zeigte sich auch, dass, obwohl es sich bei allen demontierten Akkus um ungehäute Pouchzellen handelte, diese zwischen den Modellen unterschiedlich stabil bzw. steif waren. Sehr weiche Akkus stellen dabei ein größeres Risiko dar, da ein Biegen der Akkus zu einer Explosion und/oder Stichflamme und dem Austreten giftiger Gase führen kann.

Der Unterschied zu Smartphones, die speziell als modular bzw. reparierbar designt sind, war in den Demontagen signifikant. Zum einen ist der Zeitaufwand für die Demontage deutlich geringer. Es wurde weder proprietäres Werkzeug noch spezielle Klebestreifen zum Wiederausammenbau benötigt. Die Gefahr weiterer Beschädigungen durch die Demontagen selbst war hier quasi nicht gegeben. Der Batteriewechsel war sicher für den Durchführenden. Zusätzlich fiel die „Offensichtlichkeit“ der Demontageschritte auf, teilweise waren Schrauben und Konnektoren sogar speziell markiert. Dadurch entfällt gerade für Reparateure und Aufbereiter, die ein Vielzahl unterschiedlicher Modelle bearbeiten, die notwendige Vorbereitungszeit um sich eine Anleitung, die meist nur über Dritte wie iFixit verfügbar ist, anzuschauen oder den bestmöglichen Weg durch mitunter riskantes Austesten herauszufinden. Hier zeigt sich auch, dass Herstellerreparaturen nicht nur bei der Verfügbarkeit von Ersatzteilen im Vorteil sind, sondern diese auch durch die geringere Anzahl unterschiedlicher Modelle geübter in den spezifischen Schritten sind.

Unabhängig von der Demontagefähigkeit der Geräte zeigen Erfahrungen von AfB, dass immer wieder für die Weiterverwendung zur Verfügung gestellte Geräte softwareseitig gesperrt sind. Dies schließt die Geräte unabhängig vom technischen Zustand von einer weiteren Nutzung aus.

Eine detaillierte Auswertung der Demontagen erfolgt in einem gesonderten Bericht.

## Erfahrungen mit der modularen Baureihe SHIFT 5me und SHIFT 6m hinsichtlich Reparaturen

-----  
Langfassung  
-----

Bei der Vielzahl der aktuellen Geräte sind Akkus nicht mehr austauschbar und insgesamt das Gehäuse nur sehr schwer zu öffnen. Ursächlich für diesen Trend waren zum einen entwicklungs-technische Restriktionen: schlanke Bauformen sowie die Integration von Materialien wie Glas als Designelement auf der Rückseite erforderten die Abkehr vom wechselbaren Akku. Zudem steigt die Bedeutung von wasser- und staubdichten Gehäusen immer mehr – ein Trend, der mit abnehmbaren Gehäuseteilen nicht vereinbar ist (Mühlroth, 2018), wenngleich es auch hier immer Ausnahmen und selbst ruggedized Geräte mit tauschbaren Akkus gibt (siehe auch Kapitel 2.1.1.2 Historie Smartphones und Kapitel 2.1.1.3 Zielkonflikte im Design) .

SHIFTPHONE hat entgegen der Marktentwicklung auf austauschbare Akkus und möglichst reparierbares Design entwickelt, wobei die älteren weniger modular gestaltet waren als die Baureihe SHIFT 5me und SHIFT 6m. Im Folgendem wird daher auf die Unterschiede in der Reparierbarkeit eingegangen und ein Abgleich mit real stattgefunderer Reparaturen auf Basis von beauftragten Reparaturen und eingekauften Ersatzteilen durchgeführt.

Bei der ersten Baureihe SHIFT 4 war das Display, wie bei der Mehrheit der Smartphones üblich, mit dem Rahmen verklebt. Bei einem Austausch des Displays führt dies zu einem erhöhten Reparaturaufwand. Ebenso wurde eine Micro-USB Ladebuchse verbaut, die fest mit der Hauptplatine verlötet ist. Der Austausch der USB-Buchse erforderte daher Lötkenntnisse und -equipment. Dies ist daher nur bedingt durch Nutzer:innen selbst durchführbar. Bei der Baureihen SHIFT6m und SHIFt5me-Serie wurde eine vollmodulare Bauweise realisiert und stärker auf Schraub- und Steckverbindungen zurückgegriffen. Dabei wurde speziell auf die Reparierbarkeit des Displays als (wie oben beschrieben) am stärksten von Unfallschäden betroffenes Bauteil gesetzt.

Durch das werkzeuglos durchführbare Abnehmen der Rückseite bekommen Kund:innen Zugang zu beiden Sim-Karten, der MicroSD-Karte sowie dem Akku. Das Display ist separat gelagert auf dem A-Rahmen angeordnet, und damit getrennt vom B-Rahmen, der wiederum alle anderen Komponenten inklusive der Hauptplatine trägt. Nur durch Schrauben und einen kleinen Stecker verbunden, lässt sich das Display somit mit Minimalaufwand wechseln.

Im gesamten Gehäuse wird auf dauerhafte Klebeverbindungen verzichtet. Stattdessen kommen Klickverbinder und Schrauben zum Einsatz. Alle zum Einsatz kommende Schrauben sind komplett identisch (Länge, Durchmesser, Gewinde, Antrieb) und durch den der Geräteverpackung beiliegenden Torx-T3-Schraubendreher einfach zu lösen (siehe Abbildung 15).



**Abbildung 15: Explosionszeichnung SHIFT6m (eigene Darstellung von SHIFT)**

Darüber hinaus wird jedes Gerät sowohl mit einem Schutzbumper (thermoplastisches Polyurethan), als auch mit einem mit dem Härtegrad 9H ausgestatteten kunststoffbeschichteten Panzerglas ausgerüstet, um die oben angeführte Schadenshäufigkeit zu minimieren (vgl. Abbildung 11). Die Zahlen von click repair zeigen, dass die Schutzhüllen/Bumper die Schadenshäufigkeit reduzieren und gleichzeitig deren Einsatz unabhängig vom Gerätepreis ungleich über die Marken verteilt ist. Hier könnte das direkte Beilegen von Bumpers wie von SHIFT und Fairphone das Nutzungsverhalten hinsichtlich Langlebigkeit verlängern.

Darüber hinaus wurde versucht, eine modellübergreifende Modularität zu erreichen die effizient in der Design- und Fertigungsphase genutzt werden kann. So ist die Platine der beiden Geräte SHIFT6m und SHIFT5me identisch, mit fast identischer Bestückung. Einzig Bauteile wie die Kamera, Fingerabdruckscanner und wenige weitere wurden beim höherwertigeren Gerät durch leistungsstärkere Komponenten ersetzt bzw. um diese erweitert.

Für das Jahr 2019 wurde von SHIFT eine Reparaturstatistik erstellt. Hierin erfasst sind sowohl alle Geräte, die zur Reparatur im SHIFT Repair SHOP eingesandt werden, als auch die verkauften Ersatzteile, mit Hilfe derer Kund:innen selbst Reparaturen durchführen können.

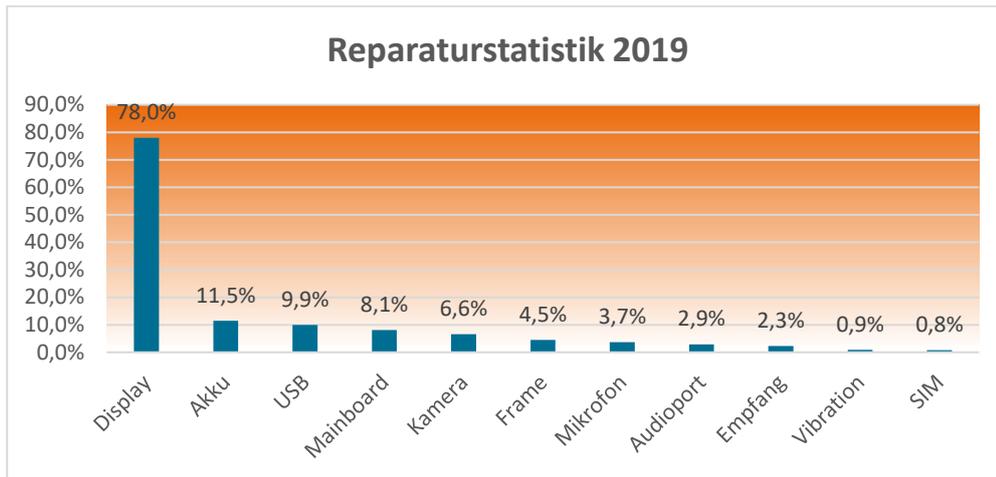


Abbildung 16: Reparaturstatistik 2019 SHIFT (eigene Zahlen von SHIFT)

Im Jahr 2019 entfielen 78% aller erfassten Fälle auf eine Displayreparatur. In etwa 11,5% der erfassten Fälle wurde ein Defekt am Akku diagnostiziert. Gefolgt wird dies von einem Austausch der USB-Buchse. Der Austausch der USB-Buchse bezieht sich nahezu zu 100% auf die erste Geräteserie des SHIFT4/SHIFT5 bzw. SHIFT7 mit klassischem Micro-USB-Anschluss. Die aktuelle SHIFT6m und SHIFT5me-Serie haben jedoch einen USB-C-Anschluss, der sich als deutlich robuster erweist, zumal der Stecker aufgrund der Punktsymmetrie richtungsunabhängig eingeführt werden kann.

In etwa 8% aller Fälle war ein Austausch des Mainboards erforderlich. In 6,6% wurde die Kamera repariert bzw. ausgetauscht. Eine einfache Reparatur der Kamera kann insbesondere dann realisiert werden, wenn der Autofokus nicht mehr funktionstüchtig ist und durch eine Gängigkeits-Prüfung wiederhergestellt werden kann.

Vergleicht man die SHIFT Reparaturstatistik mit der click repair-Studie, zeigen sich deutliche Parallelen insbesondere im Hinblick auf die Häufigkeit der Displayreparaturen. Ein Kameraaustausch und -reparatur wird minimal seltener durchgeführt als in der click repair-Studie vermerkt.

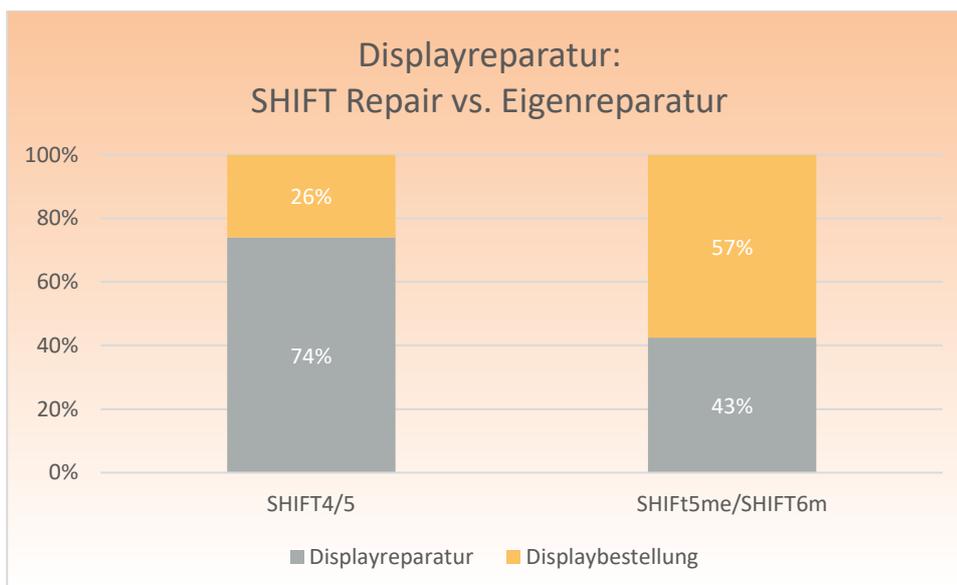


Abbildung 17: SHIFT Repair vs. Eigenreparatur (eigene Zahlen von SHIFT)

Ein großer Vorteil der Modularität liegt in der einfachen Reparierbarkeit der Smartphones. Eine Displayreparatur erfordert bei der ersten, nicht modularen SHIFTPHONE-Modellen eine Reparaturdauer von etwa 30 Minuten. Nahezu 75% der Nutzer:innen lieben die Reparatur daher auch von SHIFT Repair durchführen. Nur ca. 25% der Displayreparaturen fanden durch die Kund:innen selbst statt. Diese Zahl wurde über die separat bestellten Displays bestimmt (siehe Abbildung 17).

Dieses Verhältnis ändert sich bei der vollmodularen Baureihe SHIFT5me und SHIFT6m deutlich. Etwa 57% der Kund:innen, bei denen ein Defekt des Displays vorliegt, führen die in der Regel binnen 10 Minuten zu bewerkstelligende, Displayreparatur selbst durch. Geht man davon aus, dass kein Unterschied zwischen den SHIFT4/5 Kund:innen und den SHIFT5me/SHIFT6m Kund:innen vorliegt, führt eine vollmodulare Bauweise in der Realität dazu, dass die Häufigkeit der Eigenreparatur sich mehr als verdoppelt.

### 2.1.1.2 Historie Smartphones

#### Auswertung Modellübersicht

Der Mobiltelefon- und Smartphone Markt hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Häufig wird dabei die Einführung des ersten iPhones 2007 als Meilenstein genannt (Cecere et al. 2014), aber auch andere Geräte hatten auf dem Weg dorthin signifikanten Einfluss. So zum Beispiel das Blackberry, welches lange für das Businessgerät mit vielfältiger Funktionalität stand (Wheeler 2004 oder auch das erste Androidsmartphone HTC-Dream/T-Mobile G1 aus dem Jahr 2008 (Spinfeld o.d.).

Um einen Überblick über die Marktentwicklung zu geben, wurden Daten von GSM-arena ([www.gsmarena.com](http://www.gsmarena.com)) ausgewertet, welche Smartphone Modelle und deren Features listet. Der Datensatz umfasst 10.038 Geräte, davon 9.340 Mobiltelefone (Feature Phones) und Smartphones<sup>1</sup> aus den Jahren 1994 bis 2020. Die Auswertungen beziehen sich dabei auf die Anzahl von Modellen und nicht auf verkaufte Stückzahlen. Teilweise sind Modelle mit einer Spanne bei einzelnen Features (z.B. RAM) dargestellt. In diesen Fällen wird das untere Ende der Spanne in die Auswertung einbezogen. Da Nischenmodelle teilweise überrepräsentiert sind werden einzelne Auswertungen speziell auf die im Folgenden „Topbrands“<sup>2</sup> genannten Modelle folgender Firmen bezogen:

- Acer
- Apple
- Blackberry
- Ericsson
- Google
- HTC
- Huawei
- Lenovo
- LG
- Microsoft
- Motorola
- Nokia

<sup>1</sup> Smartwatches und Geräte > 7 Zoll sind von der detaillierten Analyse ausgeschlossen.

<sup>2</sup> Der Begriff ist hier als Bezeichnung für Geräte mit einer gewissen Marktrelevanz gemeint und trifft keine Aussage über Qualität, der damit ausgewählten (oder außen vorgelassenen) Geräte.

- OnePlus
- Samsung
- Sony
- T-Mobile
- Xiaomi

Diese entsprechen zwar heute nicht mehr alle dem aktuellen Markt, decken aber über den betrachteten Zeitverlauf eine gute Bandbreite des deutschen und europäischen Marktes ab.

Auswertungen für das Jahr 2020 sind nicht repräsentativ, da das Jahr noch nicht abgeschlossen ist und viele enthaltene Geräte sich auf Vorankündigungen beziehen.

Die Daten zeigen, dass die Anzahl der unterschiedlichen Modelle stark zugenommen hat (Abbildung 18). Für das Jahr 2014 ist das Maximum an Modellen mit 839 Modellen gelistet. Samsung, als ein Beispiel für einen Hersteller mit recht breitem Produktspektrum, ist von 1996 bis 2020 mit 1089 Modellen gelistet (teilweise das gleiche Modell mit unterschiedlichen Ausstattungsmerkmalen). Apple ist das gegenteilige Beispiel mit einem extrem schmalen Portfolio und mit 26 Geräten seit 2007 gelistet, was allen Smartphonemodellen von Apple (teilweise mit Ausstattungsvarianten) entspricht.

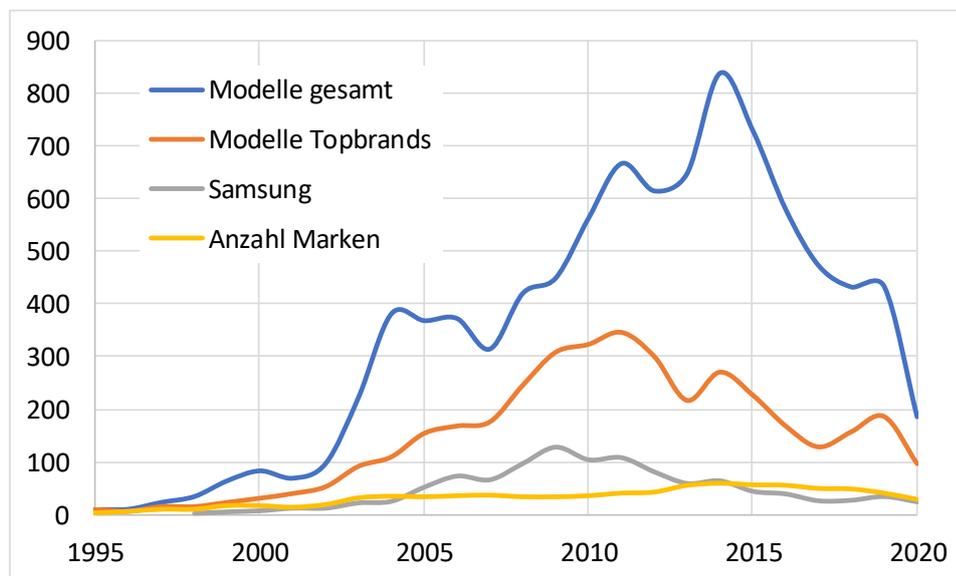


Abbildung 18: Modellzahlen pro Jahr (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Ebenso hat auch die Zahl der gelisteten Marken zugenommen von 1 im Jahr 1994 über 59 im Jahr 2014 und aktuell 40 im Jahr 2019. Während die meistverkauften Geräte von wenigen Herstellern dominiert sind, spreizt sich der Markt bei niedrigen Verkaufszahlen stark auf. Dies ist auch aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Distributionswege und Direktimporte möglich.

### Formfaktor, Größe und Gewicht

In den 90er Jahren gab es eine klare Konvergenz hin zu leichten, kompaktem Mobiltelefonen mit besserer technischer Performance. Es gab einen klaren Trend zur vertikalen Produkthomogenisierung (Koski & Kretschmer 2007).

Seit 2004 wurden die Geräte wieder größer bei nur moderater Gewichtszunahme (siehe Abbildung 19). Zum einen brachte der Wechsel von klassischen Mobiltelefonen zu Smartphones eine signifikante Größensteigerung (2007 – ca. 2012), zum anderen werden auch die Smartphones selbst deutlich größer (iPhone 1: 3,5 Zoll, iPhone 11 5,8 Zoll, Max 6,5 Zoll). Die Geräte werden zudem kontinuierlich dünner. Wobei scheinbar ein Einpendeln bei der Gerätedicke erreicht wird. Die dünnsten Geräte auf dem Markt sind knapp unter 5 mm (Smartphones von Oppo sowie auch das Smarttab Lenovo Yoga). iPhones sind in den letzten Produktgenerationen wieder minimal dicker geworden. Bemerkenswert hierbei ist, dass es keine direkte Abhängigkeit zur Gerätegröße gibt. Beim iPhone (welche den direkten Vergleich innerhalb einer Marke und Modellreihe erlauben) sind die Max-Varianten genauso dick wie die jeweils kleinere Ausgabe und auch die deutlich größeren iPads sind im Bereich unter 7 mm anzutreffen.

Die sehr dünnen Geräte zeigen aber auch, dass man hier den technischen Grenzen bereits nahe ist. Die Unterbringung der (immer besser und teilweise auch mehrzähligen) Rückseitenkameras ist teilweise nicht mehr in den dünnen Geräten möglich, so dass die Kameralinsen aus dem Gehäuse hervorstehen.

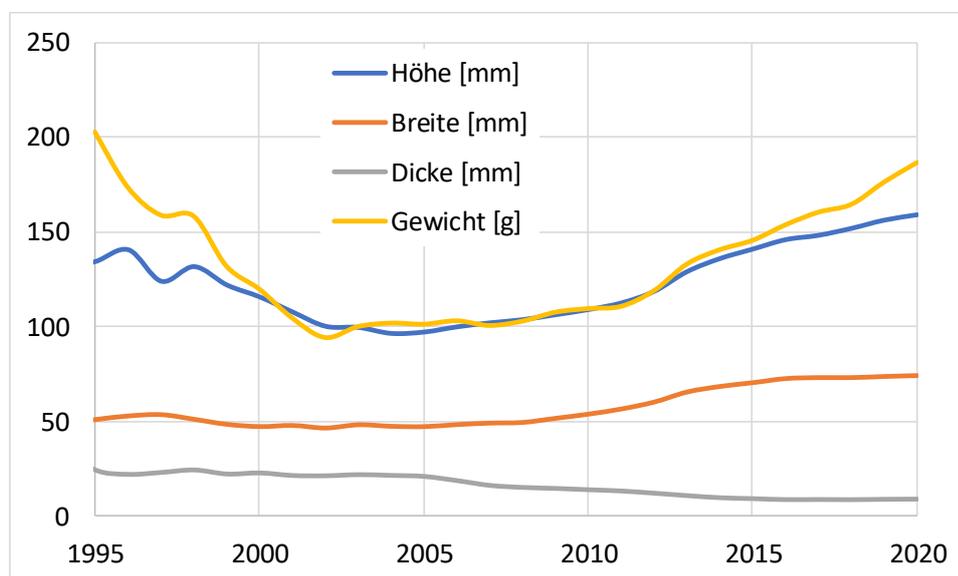
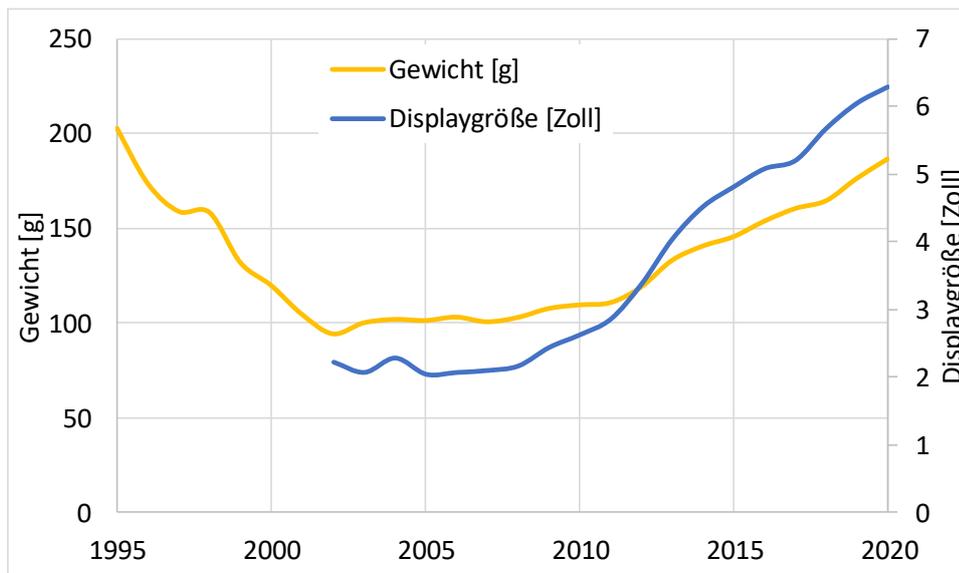


Abbildung 19: Außenmaße und Gewicht der Geräte (Auswertung von GSMarena-Zahlen)



-----  
Langfassung  
-----

Abbildung 20: Displaygröße zu Gewicht (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Die Verteilung der Displaygrößen zeigt, dass sich der Durchschnitt nicht aufgrund stärkerer Divergenz am Markt ändert, sondern es einen herstellerübergreifenden Trend hin zu größeren Geräten mit klarer Häufung am oberen Ende gibt (siehe Abbildung 21).

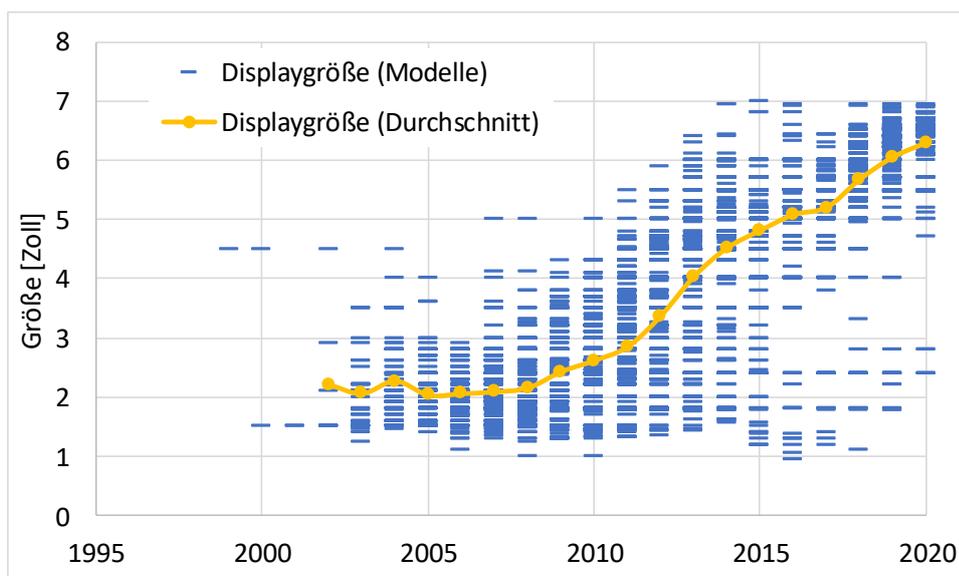


Abbildung 21: Verteilung der Displaygrößen – Hinweis Geräte > 7 Zoll ausgeschlossen (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Die Screen-to-Body Ratio steigt mit der Einführung der Smartphones stark an (Abbildung 22). Mit der Einführung des ersten iPhones ist Apple 2007 und den darauffolgenden Jahren stark führend, was vor allem an der generell unterschiedlichen Gestaltung zwischen Smartphones und Feature Phones liegt. Auch aktuell steigt die durchschnittliche Ausnutzung der Vorderseite mit Displayfläche noch an. Die Ränder werden immer schmäler und auch das Objektiv für die Frontkamera ist mittlerweile häufig in die Displayfläche hineinverlagert (sogenannter Notch).

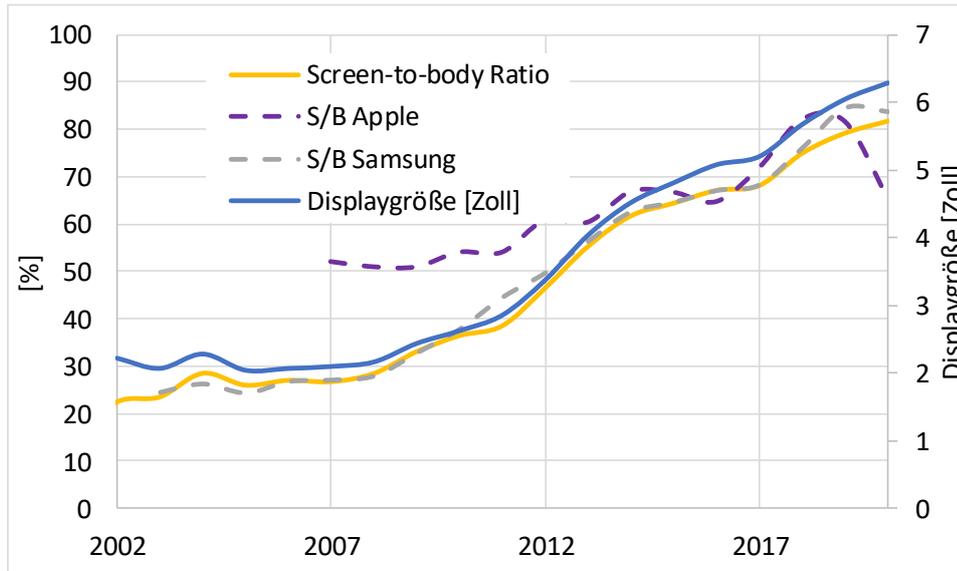


Abbildung 22: Screen-to-Body Ratio (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Bei der Größenauswertung ist anzumerken, dass eine Unterscheidung beim Datensatz zwischen Tablets und Smartphones nicht immer eindeutig möglich war. Hier wurden Geräte > 7 Zoll pauschal ausgeschlossen. Die JRC-Studie zur Materialeffizienz von Smartphones betrachtet dagegen Smartphones nur bei einer Größe von 4 bis 6,5 Zoll (Cordella et al. 2020). Geräte < 5 Zoll werden teilweise als „small-scale smartphone“ eingeordnet, was zeigt wie sehr der Markt sich gewandelt hat.

Wie oben gezeigt wurden die Smartphones seit Anfang der 2000er Jahre immer größer bei nur moderater Gewichtszunahme. Abbildung 23 verdeutlicht dies noch einmal und zeigt die Gewichtsentwicklung pro Displaygröße, welche im gleichen Zeitraum ebenfalls kontinuierlich abnahm und seit 2014 bei ca. 30 g/Zoll stagniert. Dieser Wert liegt damit etwas über dem von Cordella et al. (2020) genannten Wert von 27 g/Zoll.

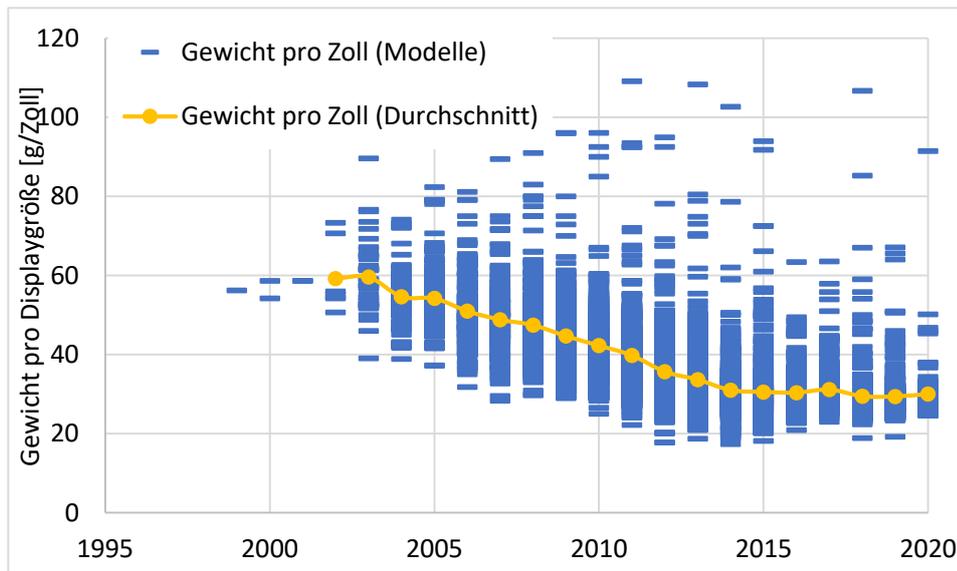
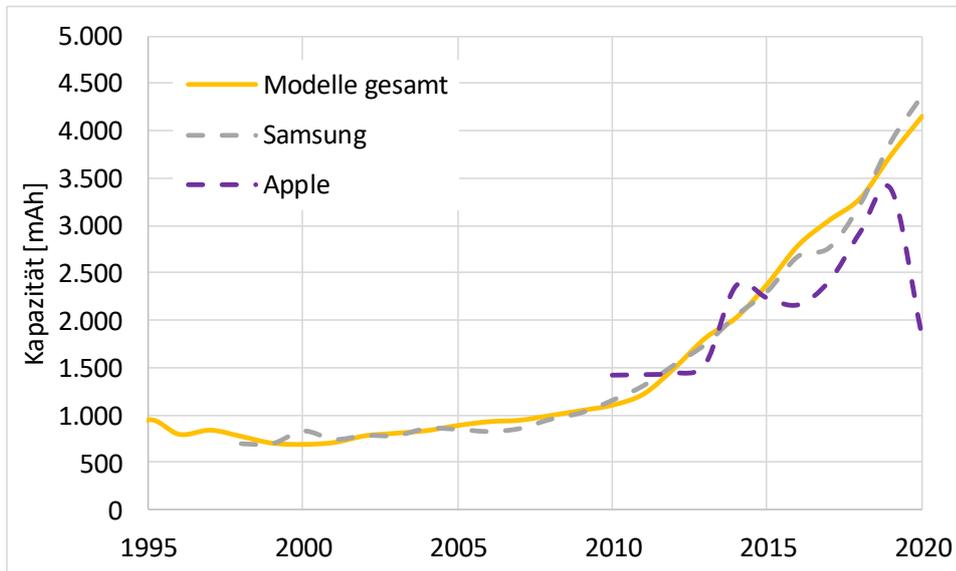


Abbildung 23: Gewichtsentwicklung bezogen auf die Displaygröße (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

**Batterie**

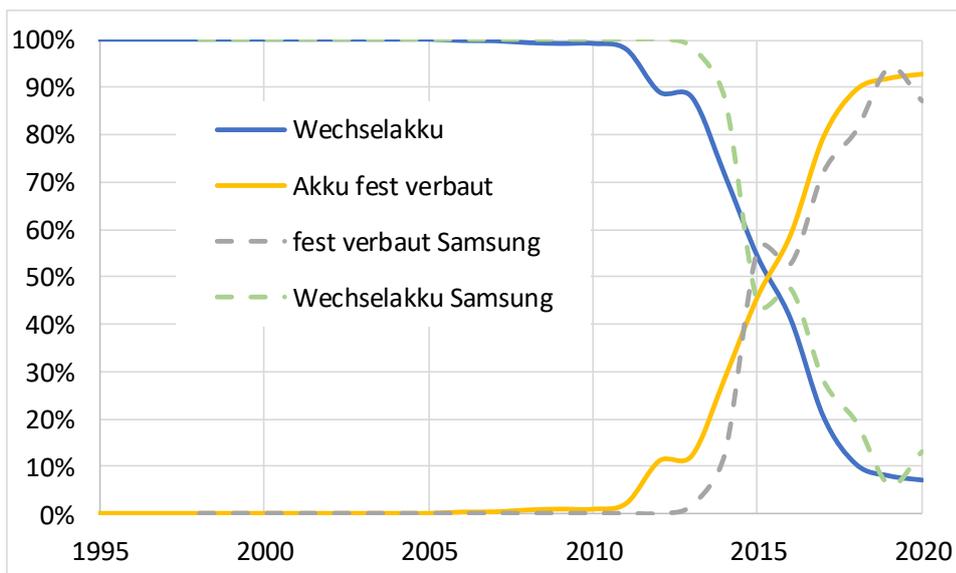
Langfassung

Neben der Größe stieg auch die Akkukapazität signifikant an (Abbildung 24), was sowohl vom steigenden Energiebedarf der immer größer werden Displays als auch von der Entwicklung der Batterietechnologie getrieben ist. Limitierend wirkt sich hierbei die abnehmende Gerätedicke (siehe Abbildung 19) aus.



**Abbildung 24: Entwicklung der Batteriekapazität (Auswertung von GSMarena-Zahlen)**

Bis 2011 waren Batterien standardmäßig austauschbar, danach gab es einen recht zügigen Wandel hin zu fest verbauten Akkus (Abbildung 25). Eine Ausnahme bildet Apple, deren Smartphones seit Start des iPhones 2007 fest verbaute Akkus haben. Aktuell verfügen weniger als 10% der Modelle am Markt über einen austauschbaren Akku, wobei festzuhalten ist, dass die meist verkauften Geräte im Mittelklassebereich und alle Flagshipgeräte über festverbaute Akkus verfügen.



**Abbildung 25: Anteil von Modellen mit wechselbaren und nicht wechselbaren Akkus (Auswertung von GSMarena-Zahlen)**

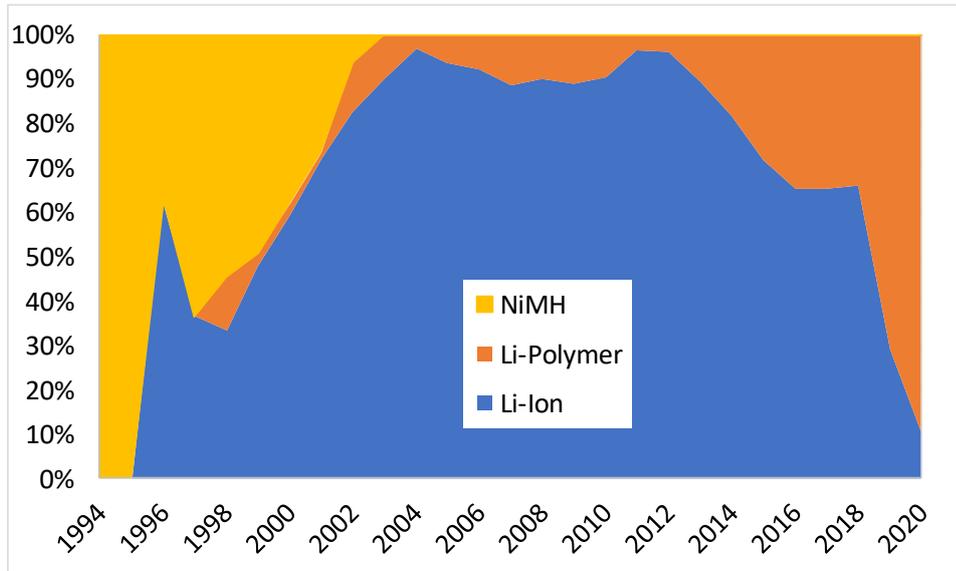


Abbildung 26: Akkutypen (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Bei den Akkutypen fand ein Wandel von Nickelmetallhydrid- über Lithium-Ionen- zu Lithium-Polymer-Akkus statt (siehe Abbildung 26).

## Display

Die Displayauflösung pro Displaygröße nimmt ebenfalls kontinuierlich zu, wobei die Spanne der am Markt befindlichen Auflösungen stark zugenommen hat (siehe Abbildung 27). Aktuell sind Sony-Geräte bei der Auflösung (absolut und in PPI) führend.

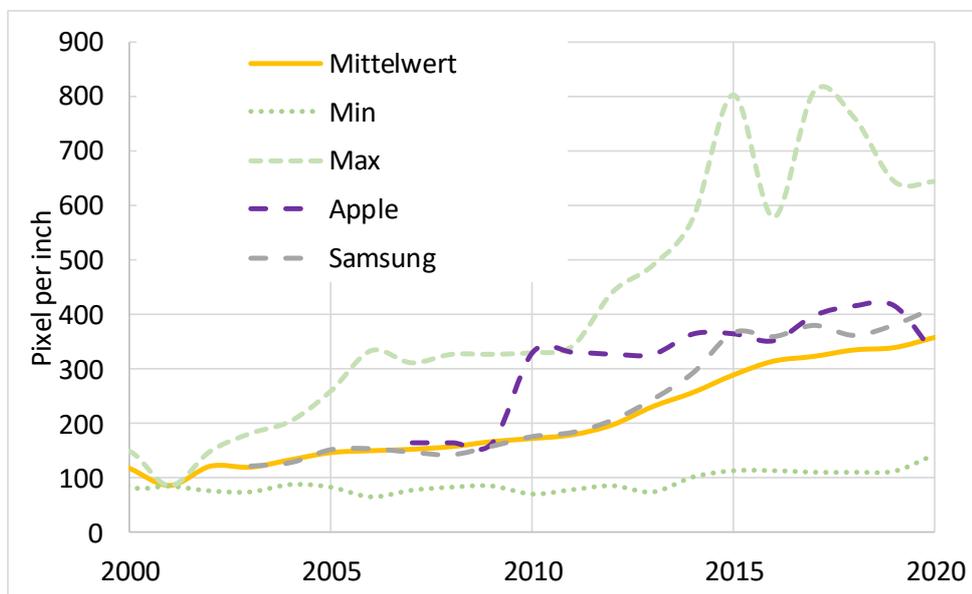


Abbildung 27: Displayauflösung in Pixel per inch (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Bei der absoluten Displayauflösung (Pixelzahl) sieht man ebenfalls den Trend hin zu HD oder höher (siehe Abbildung 28).

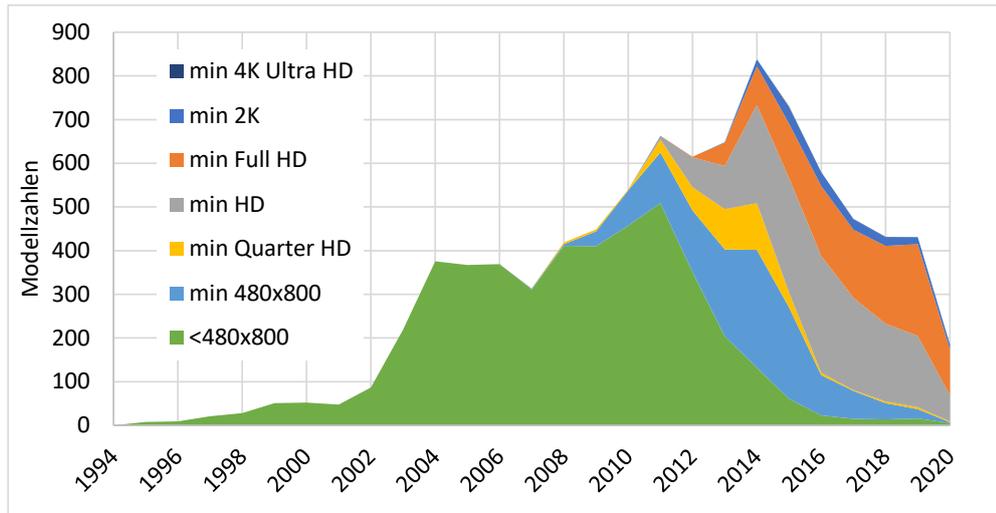


Abbildung 28: Displayauflösung (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Gestützt wird dieser Trend von Zahlen von DeviceAtlas (2019b) zu Marktanteilen nach Displayauflösung, welche 2K-Auflösung allerdings bereits bei >20% sieht (siehe Abbildung 29). StatCounter gibt deutlich niedrigere Displayauflösungen an, allerdings so niedrig, dass hier von einem Datenfehler ausgegangen wird (<480x800 Pixel mit einem Marktanteil von ~80%) (Stacounter o.d. -d).

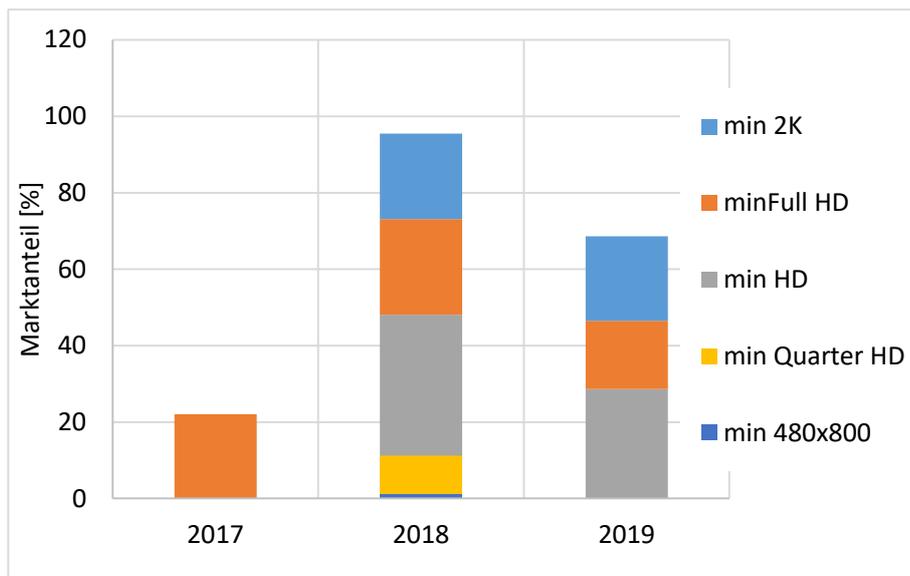
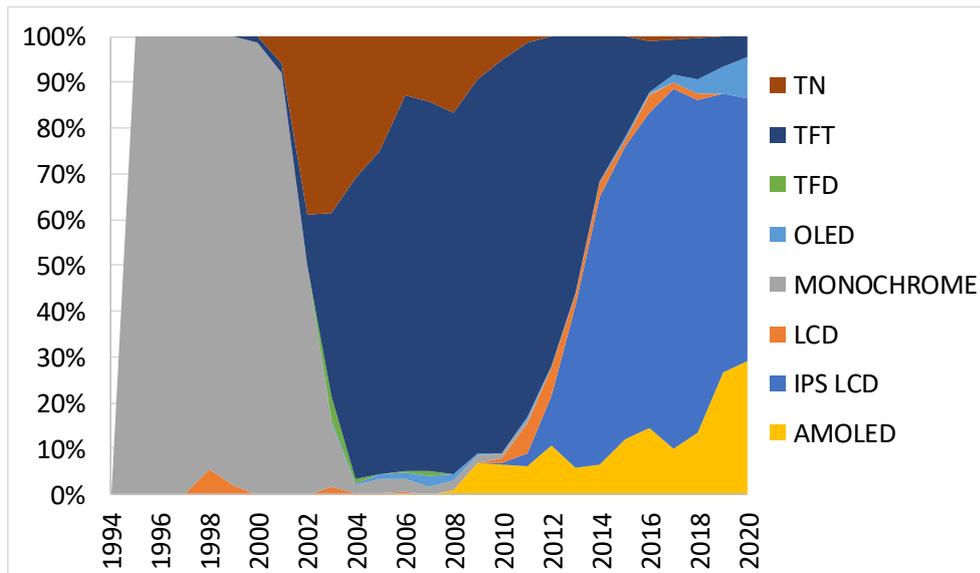


Abbildung 29: Marktanteil nach Displayauflösung nach DeviceAtlas (2017, 2018, 2019b)

Der Displaytyp änderte sich von Monochrome bei Mobiltelefonen zu heute überwiegend AMOLED und IPS LCD-Displays. Auch zu Zeiten klassischer Mobiltelefone gab es bereits Geräte mit (grayscale) LCD-Displays wie den Nokia Communicator (siehe Abbildung 30). Das erste Farbdisplay hat das Siemens S10 im Jahr 1998, Geräte von Ericsson und Motorola folgten Anfang der 2000er Jahre.



Langfassung

Abbildung 30: Displaytyp (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Einige Hersteller, darunter führend Samsung, brachten seit 2014 sogenannte Edge-Displays, also Displays ohne seitliche Einfassung auf den Markt (teilweise auch nur einseitig). Neben der sich daraus ergebenden höheren Screen-to-Body-Ratio, ermöglichten diese Displays erweiterte Funktionalitäten wie Statusanzeigen am Displayrand bei liegendem Smartphone (Schiesser 2015). Allerdings konnte sich dieser Trend nicht durchsetzen, was sich speziell an den eher abnehmenden statt zunehmenden (Software-) Funktionen ablesen lässt (Rayman 2018). Nachteilig wirken sich die höhere Schadensanfälligkeit des Displays und die hohen Kosten beim Displaytausch aus (click repair 2016).

Faltbare Displays kamen 2019 von Huawei und Samsung auf den Markt und wurden 2020 von Motorola ergänzt. Aktuell sind sechs solcher Geräte dieser drei Hersteller gelistet. Die Größe bzw. Faltrichtung variiert dabei nach Modell und Hersteller. Von Samsung und Huawei gibt es Modelle, die im geschlossenen Zustand eine „klassische“ Smartphonegröße haben und sich auf einen deutlich größeren Bildschirm öffnen lassen. Das größere Display liegt bei Huawei außen und bei Samsung innen. Von Samsung und Motorola gibt es zudem kleinere Modelle, die sich bei innen liegendem Display auf eine längliche Smartphonegröße öffnen lassen.

All diese Modelle sind preislich im Oberklassebereich deutlich über 1.000 € angeordnet, bei gleichzeitig unklarer Stabilität und Haltbarkeit des Displays (Költzsch 2020). Es ist davon auszugehen, dass eine Weiterentwicklung und Ausweitung solcher Displays stattfinden wird. Wie schnell dies geschieht und ob sich einer der Formfaktoren durchsetzen wird, bleibt abzuwarten.

## Materialien

Die Auswertung der Gehäusematerialien ist nur bedingt möglich, da diese Information nur für einen kleinen Teil der Modelle vorliegt.

Es zeigt sich, dass sowohl Kunststoff- als auch Glasrückseiten zugenommen haben, Aluminium als Rückseitenmaterial dagegen abgenommen hat (Abbildung 31). Festhalten lässt sich, dass durch die Einführung des kabellosen Ladens, Metallrückseiten abnehmen werden. Diese Funktionalität benötigt Glas- oder Kunststoffmaterialien über der Kupferinduktionsspule.

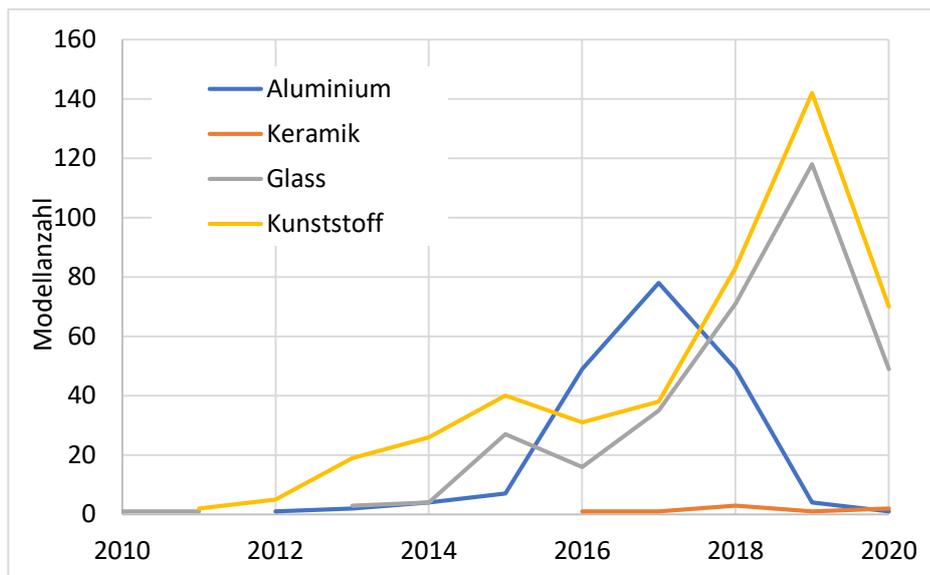


Abbildung 31: Materialien für die Gehäuserückseite (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Corning Gorilla Glass (in verschiedenen Ausführungen) ist die am häufigsten verwendete Variante zum Schutz des Displays, wird aber auch zunehmend für Rückseitenglas eingesetzt. Für den Rahmen werden überwiegend Aluminium und Kunststoff eingesetzt, nur selten Stahl (siehe Abbildung 32).

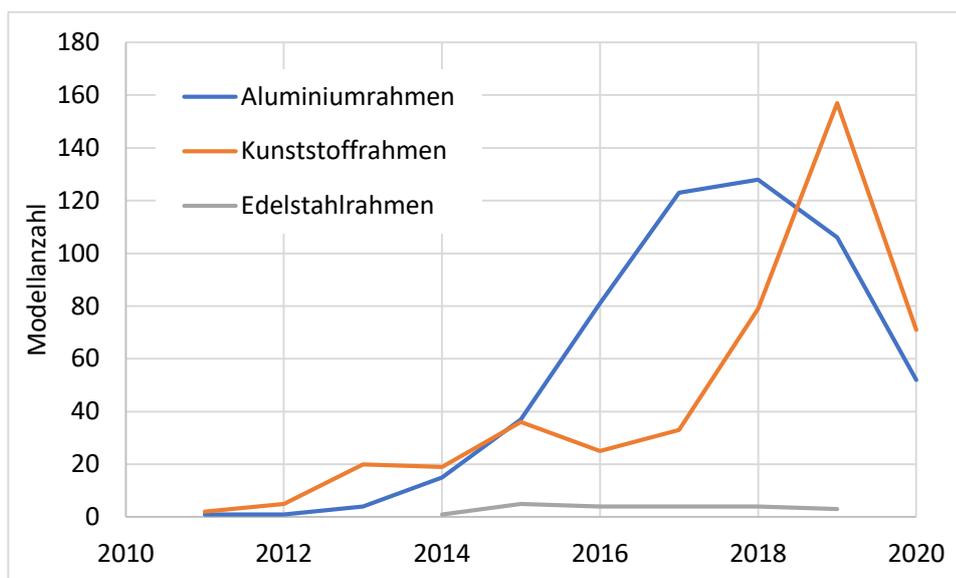


Abbildung 32: Material des Gehäuserahmens (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

## Betriebssystem

Die Auswertung der Modellzahlen zeigt, dass ab ca. 2010 die große Mehrzahl an Modellen über ein Android-Betriebssystem verfügt und andere Betriebssysteme nicht relevant sind (siehe Abbildung 33).

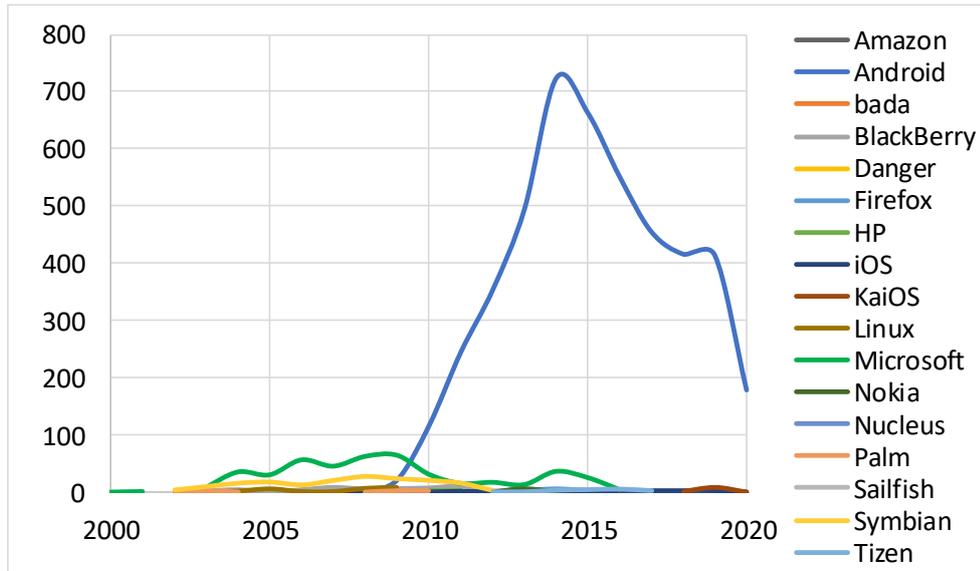


Abbildung 33: Betriebssysteme ab 2010 (Auswertung von GSMArena-Zahlen)

Das zeigt aber auch, dass diese Art der Auswertung den Markt schlecht widerspiegelt. Schaut man sich die aktuellen Marktanteile an, liegt Android bei ca. 70 - 80% und iOS bei etwa 20-30%, Windows ist weit abgeschlagen bei 0,1% (Statcounter o.d. -a, Kantar Worldpanel o.d. -a). Laut Kantar Worldpanel hatte Windows Mitte 2015 seinen größten Marktanteil in Deutschland bei Smartphones bei rund 10% und lag zu diesem Zeitpunkt fast gleichauf mit iOS (13.6%). Seitdem ist der Anteil von Windows stetig gefallen (Kantar Worldpanel o.d. -b).

Dies spiegelt auch etwa die Marktanteile bei Geräteverkäufen in Deutschland wider (Abbildung 34).

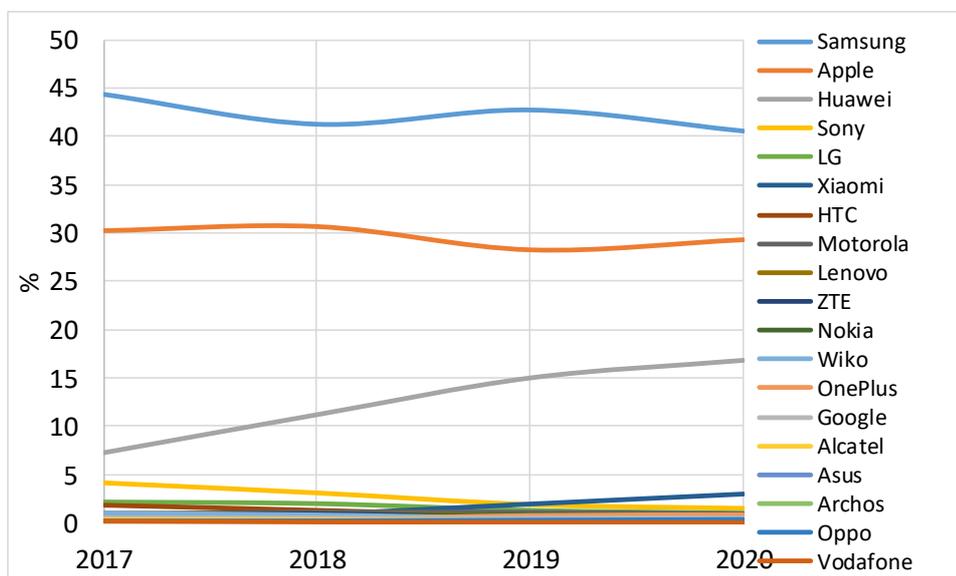


Abbildung 34: Marktanteil nach Hersteller in Deutschland, Zahlen basierend auf Statcounter (StatCounter, o.d. -b)

Der Verlauf der Androidversionen zeigt, dass jeweils bei Einführung einer neuen Androidversion (bezogen auf die Hauptversionen) auch Modelle auf den Markt kommen, es

aber auch jeweils einen Nachlauf von neuen Geräten mit etwas älteren Androidversionen gibt (Abbildung 35). Android 3 und 4 wurden im Jahr 2011 mit nur einem halben Jahr Abstand veröffentlicht. Dementsprechend wenig Geräte wurden mit Android 3 ausgeliefert. Gleichzeitig hatte Android 2 einen sehr langen Nachlauf und wurde mit Neugeräten länger ausgeliefert als Android 3.

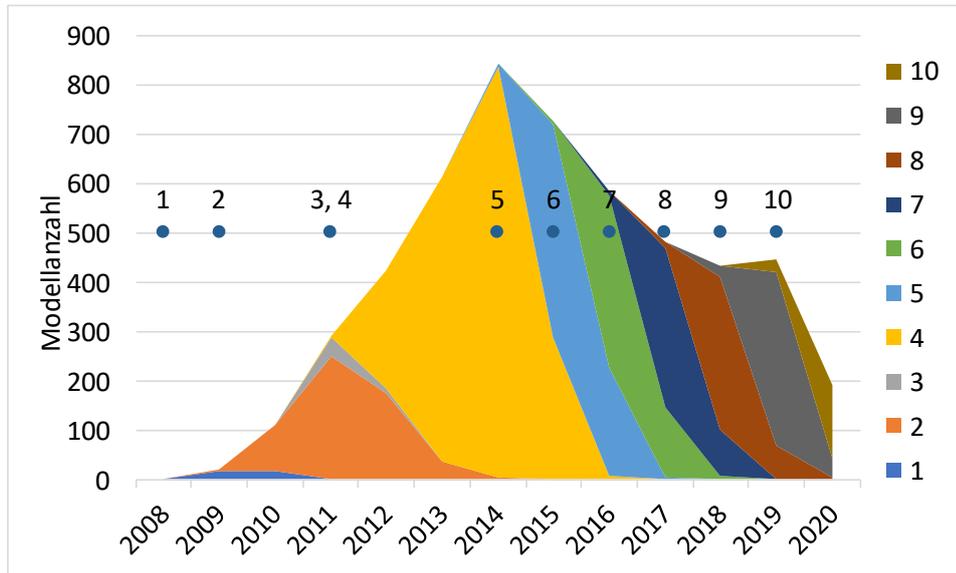


Abbildung 35: Androidversionen ab 2008 (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Demgegenüber zeigen Statistiken von z.B. AppBrain die Verteilung aktuell installierter Androidversionen (weltweit) bei denen Android 9 mit ca. 33% Marktanteil vertreten ist, aber auch Android 4 noch einen Anteil von ca. 4,5 % hat (siehe Abbildung 36). Statcounter sieht den Anteil von Android 9 am Markt speziell für Deutschland noch etwas höher bei ca. 40% (siehe Abbildung 37).

Most popular OS versions

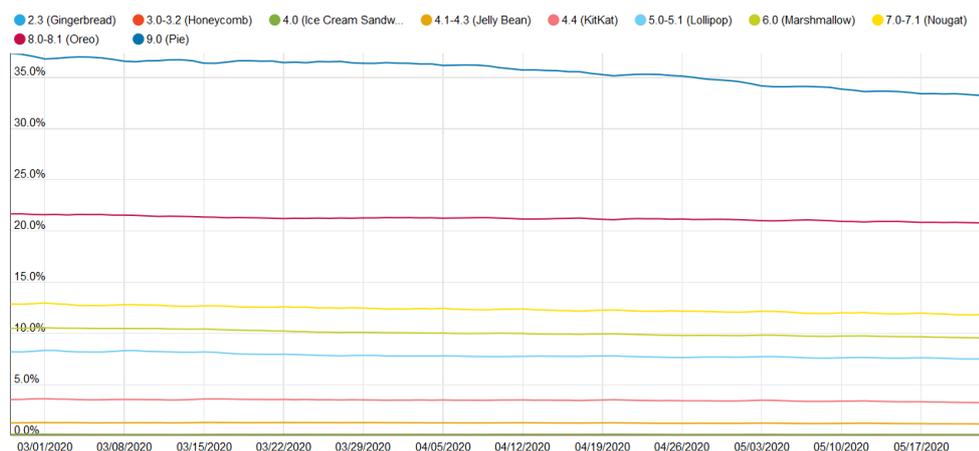


Abbildung 36: Aktuell auf mobilen Endgeräten installierte Androidversionen (weltweit) nach AppBrain (o.d. -a)

Nach AppBrain sind die zehn meistgenutzten Android-Smartphonemodelle allesamt Samsung Galaxy-Geräte mit einem gemeinsamen Marktanteil von 36,5% (AppBrain o.d. -b).

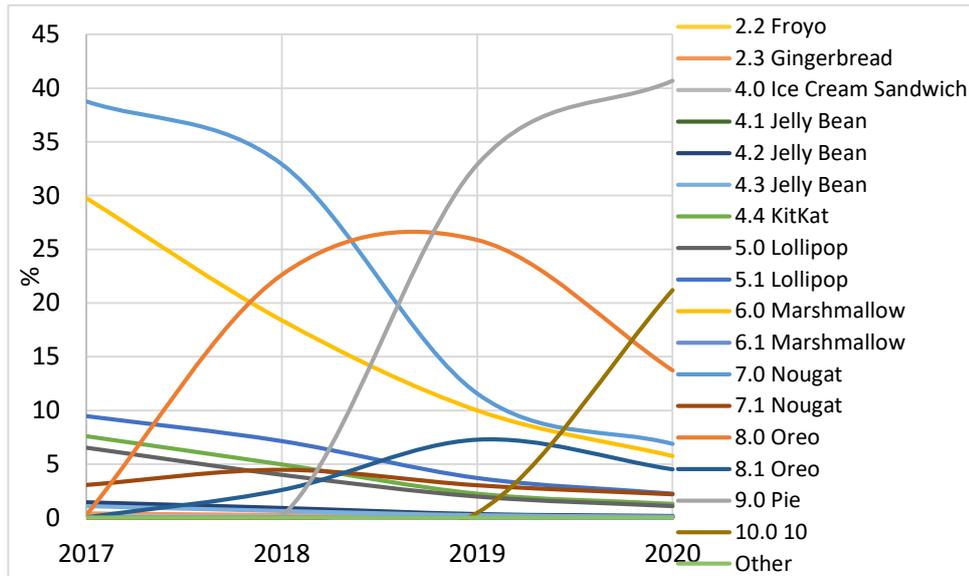


Abbildung 37: Marktanteil von Androidversionen in Deutschland nach Statcounter (o.d. -c)

### Technische Ausstattung

Die technische Ausstattung der Geräte verbesserte sich sukzessive. Die Ausstattung mit (Arbeits-)Speicher nahm stetig zu (siehe Abbildung 38). Aktuelle Topgeräte liegen bei 512 GB Storage und 8 GB RAM.

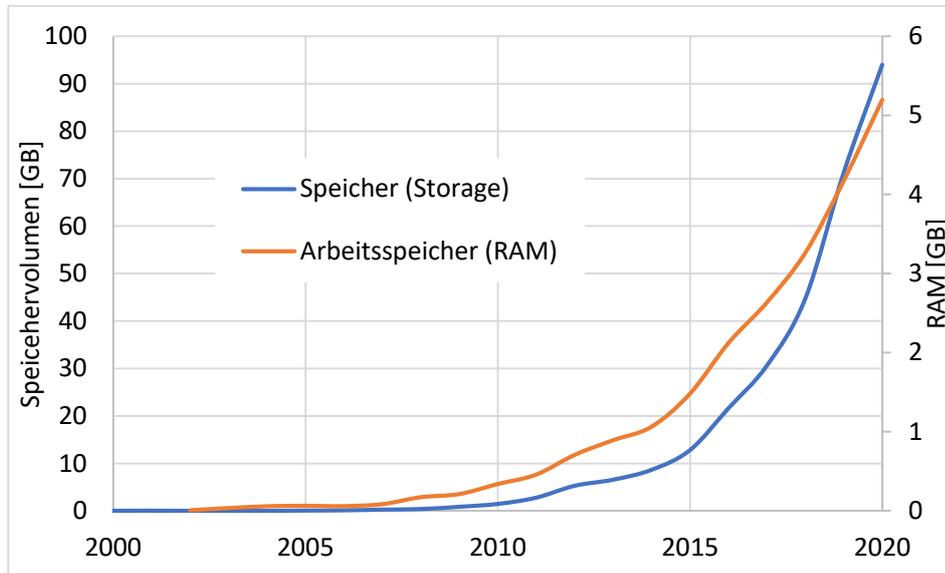
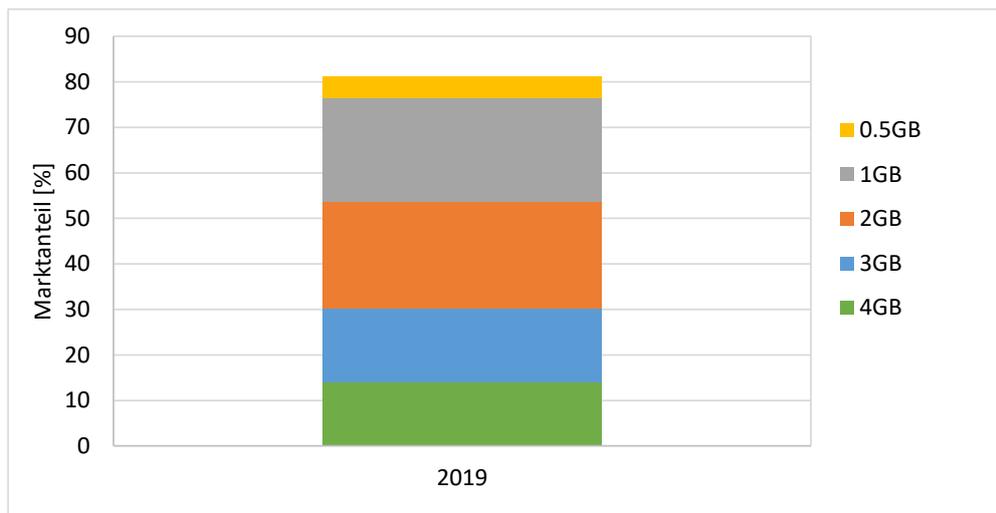


Abbildung 38: Speicherausstattung - bei Varianten ist stets die kleinere Ausstattung mit einbezogen (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

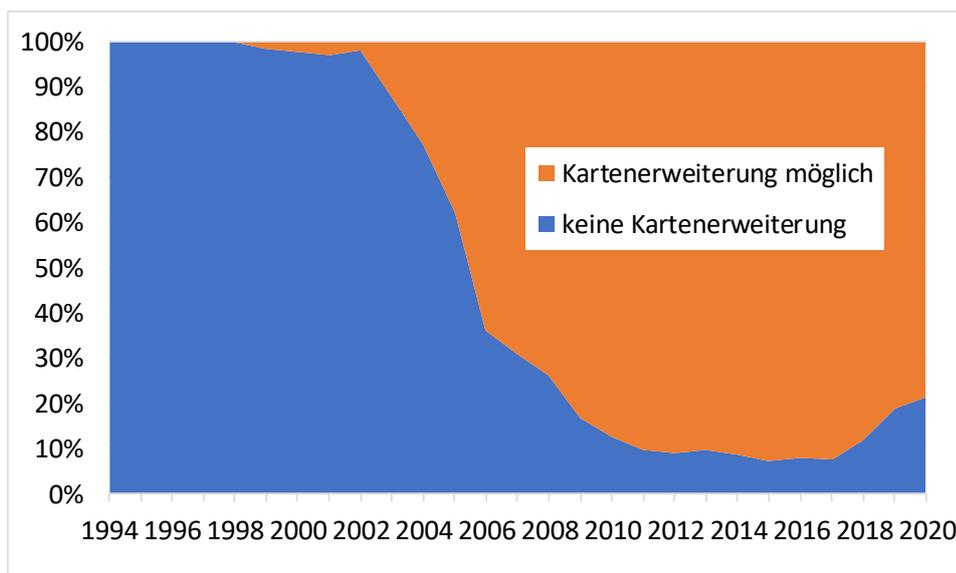
Die Marktverteilung für Arbeitsspeicher ist laut DeviceAtlas (2019a) allerdings noch im niedrigeren Bereich angesiedelt (siehe Abbildung 39).



-----  
Langfassung  
-----

**Abbildung 39: Marktanteil nach Arbeitsspeicherausstattung (RAM) nach DeviceAtlas (2019a)**

Die Möglichkeit den Speicher mittels Speicherkarte zu erweitern besteht ebenfalls bei einer Vielzahl von Geräten (siehe Abbildung 40).



**Abbildung 40: Möglichkeiten der Nutzung einer Speicherkarte (Auswertung von GSMarena-Zahlen)**

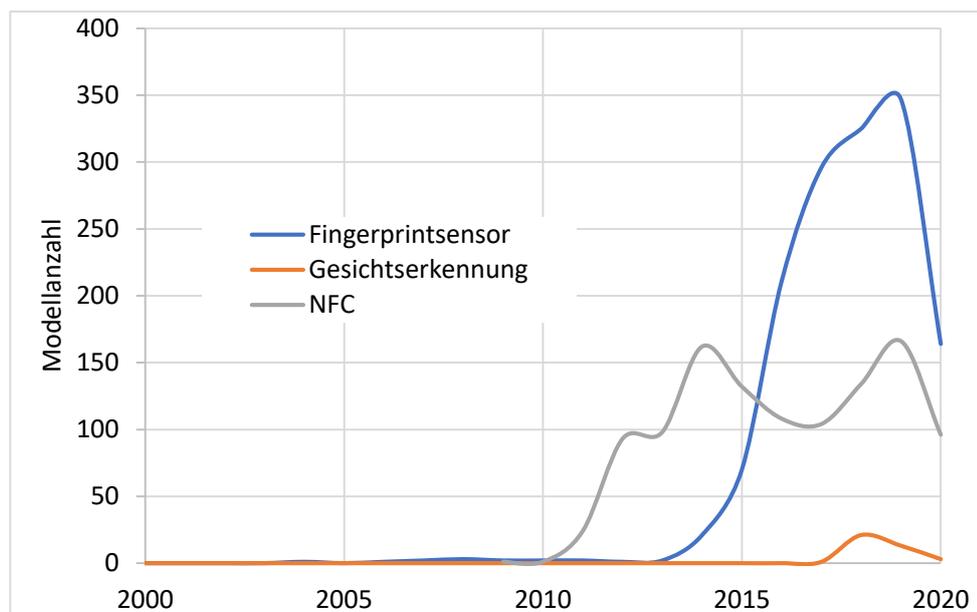
Die Mehrzahl der Geräte verfügt über einen USB-Anschluss, wobei aktuell ein Wechsel von Micro-USB zu USB-C stattfindet. Im März 2018 unterschrieben Apple, Google, Lenovo, LG Electronics, Motorola Mobility, Samsung und Sony Mobile ein „Memorandum of Understanding on the future common charging solution for smartphones“. Dieses legt USB-C als zukünftigen Standard des Ladekabels fest, allerdings erlaubt dies auch explizit, dass nur eine Seite des Kabels einen USB-C-Anschluss hat und die andere einen herstellerspezifischen Anschluss (Digitaleuropa 2018).

Bei Kameras nimmt sowohl die Pixelzahl stetig zu, als auch die Zahl der Kameras selbst, sodass aktuelle Geräte teilweise über drei Hauptkameras (rückseitig) und eine Frontkamera verfügen. Nutzer:innenbefragungen zeigten hier, dass Kameras stets ein relevantes Kaufkriterium und auch ein Ersatzgrund sind, was durch die schnelle Technikentwicklung getrieben ist (Bitkom 2017). Dabei ist die Pixelzahl nur bedingt als Qualitätsmerkmal geeignet. Eine höhere Pixelzahl ermöglicht mehr Details, gerade wenn nur

softwaretechnisches Zoomen durch den festen Fokus der Smartphonekameralinse möglich ist. Lichtstärke und Pixelgröße spielen für die Gesamtqualität ebenfalls eine große Rolle, wobei Hersteller unterschiedliche Prioritäten setzen (Schiesser 2014).

Langfassung

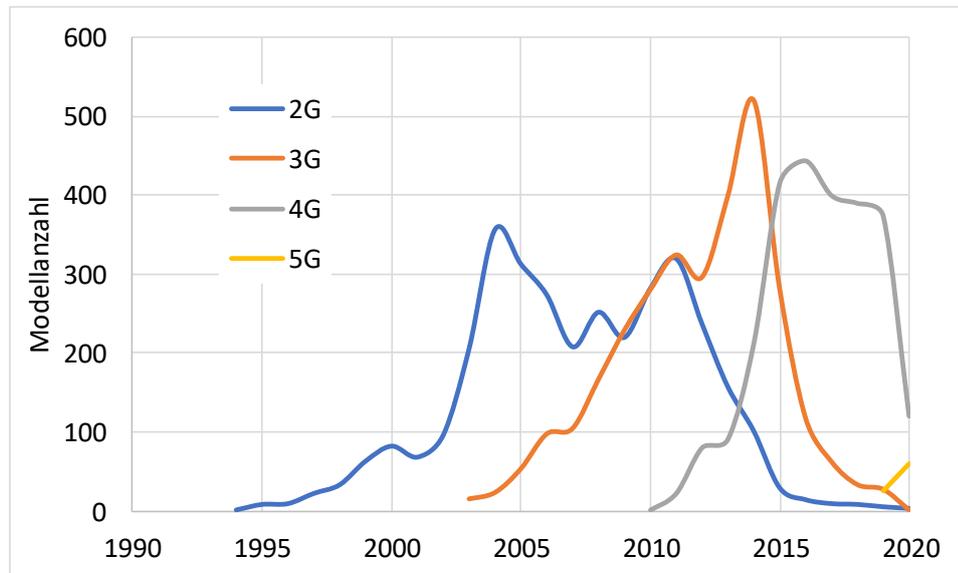
Gesichtserkennung ist seit 2017 (eingeführt mit FaceID beim iPhone X) gelistet. Fingerabdrucksensoren gab es vereinzelt seit 2004, mit der Einführung 2013 beim iPhone 5S verbreiteten sie sich auch insgesamt stärker am Markt (siehe Abbildung 41). Seit 2018 sind auch optische Fingerabdrucksensoren vertreten, die unter dem Display verbaut sind. NFC-Technologie ist vereinzelt ab 2007 verbaut, steigt in der Verbreitung aber erst seit 2011.



**Abbildung 41: Geräte mit Fingerabdrucksensor, Gesichtserkennung und NFC als ausgewiesene Features (Auswertung von GSMarena-Zahlen)**

Erste Geräte mit wireless charging finden sich bei GSMarena vereinzelt seit 2009. Das erste Smartphone mit dieser Technologie war das Mobiltelefon Palm Pre. Einen stärkeren Anstieg in der Verbreitung gab es ab 2014. Damit verbunden ist auch ein Wandel bei den Gehäusematerialien, da wireless charging Kunststoff- oder Glasabdeckung benötigt und nicht durch Metall funktioniert (Gibbs 2017). 2019 brachte Huawei, dicht gefolgt von Samsung, Geräte auf den Markt, welche nicht nur wireless geladen, sondern über den gleichen Standard selbst andere Geräte laden können, indem man sie auf die Geräterückseite legt (Lowe 2020).

Neben den Geräten wandelt sich auch das Mobilfunknetz. Neuere Generationen bieten höhere Übertragungsgeschwindigkeiten, sind jedoch nicht überall verfügbar und werden meist sukzessive ausgebaut. Die jeweilige Mobilfunkgeneration muss nicht nur seitens des Netzes zu Verfügung stehen, sondern auch vom Smartphone adressiert werden können. Seit 2003 finden sich in der Modellübersicht Geräte, die 3G-fähig (UMTS) sind, seit 2010 4G-fähige (LTE) Geräte. Die ersten 5G-fähigen Geräte kamen 2019 auf den Markt, sind jedoch noch nicht stark verbreitet (siehe Abbildung 42). Der Bedarf ist auch durch den stockenden Ausbau der Mobilfunknetze gerade in ländlichen Gegenden Deutschlands gering. So zeigen Auswertungen von Opensignal, dass in den meisten ländlichen Gegenden die 4G-Verfügbarkeit bei 70-75% gegenüber >80% in Städten liegt (Rizzato 2019 -a).



-----  
Langfassung  
-----

Abbildung 42: Mobilfunkgeneration (Auswertung von GSMarena-Zahlen)

Gleichzeitig zeigen ebenfalls Auswertungen von Opensignal, dass mehr als die Hälfte der aktiven SIM-Karten in Deutschland nur 3G ansprechen und das, obwohl ihr Gerät 4G-fähig ist und auch LTE-Netz (zumindest zeitweise) verfügbar ist. Der Grund liegt wahrscheinlich in den Mobilfunkverträgen der Nutzer, die keine LTE-Verbindungen beinhalten (Rizzato 2019 -b).

### 2.1.1.3 Zielkonflikte im Design

Hinsicht langlebiger Smartphones im Allgemeinen und modularer Geräte im Besonderen gibt es mehrere Zielkonflikte im Design der Produkte, die im Folgenden diskutiert werden. Dabei ist nicht immer zu klären, welches die bessere Alternative ist. Dies hängt nicht nur von den technischen Abhängigkeiten, sondern auch vom Verhalten und Einstellungen (z.B. ggü. Reparatur) der Nutzer:innen ab.

### Reparierbarkeit versus Zuverlässigkeit

Bei möglichen Zielkonflikten zwischen Reparierbarkeit und Zuverlässigkeit (hier technische Zuverlässigkeit und nicht Widerstandsfähigkeit) ist aus Nutzungsdauerperspektive recht eindeutig, dass ein technisch zuverlässiges Produkt oberste Priorität haben sollte, da ein Geräteausfall immer ein möglicher Anlasspunkt für einen Gerätersatz ist, auch wenn eine Reparatur möglich wäre (u.a. OHA 2019). Gleichzeitig geht Reparierbarkeit nicht automatisch mit einer geringen Zuverlässigkeit einher. Verschraubung sind gegenüber Verklebungen nicht automatisch im Nachteil. Der innere Aufbau aktueller konventioneller und modularer Smartphones zeigt, dass beide mit einer Vielzahl von Konnektoren zwischen Bauteilen und Leiterplatten arbeiten (Schischke et al. 2019). Bei der konkreten Ausgestaltung des Designs können sich jedoch Zuverlässigkeitsprobleme ergeben.

Ein Aspekt, bei dem die Entscheidungsfindung zwischen Langzeitzuverlässigkeit und Reparierbarkeit nicht so eindeutig ist, ist die Akkulebensdauer. Langfristig zuverlässige, sehr viele Ladezyklen aushaltende Akkukapazität ist wichtig für die Nutzungsdauer. Wie oben beschrieben, ist eine schwächer werdende Batterie ebenso wie andere Schadens- oder Verschleißfälle ein möglicher Anlass für Gerätersatz. Gleichzeitig ist die Akkulebensdauer nicht direkt davon abhängig, ob es sich um einen tauschbaren oder

nicht tauschbaren Akku handelt. Indirekt kann sich aber durch weniger Platz bei einem Wechselakku eine geringere verbaute Batteriekapazität ergeben, welche bei gleicher Nutzung zu mehr Ladezyklen und damit zu einem zeitlich schnelleren Verschleiß führt. Hier ist es stark vom Nutzungstyp abhängig, ob die Möglichkeit des Austauschs genutzt wird. Ein einfacher Tausch bei dafür vorgesehenen Wechselakkus wird von vielen Nutzer:innen nicht als Reparatur gesehen, die notwendigen Kenntnisse sind deutlich geringer und viele Nutzer:innen trauen sich dies zu. Limitierend kann sich jedoch die Verfügbarkeit auf dem Markt und schlechte Erfahrungen mit qualitativ minderwertigen Ersatzakkus auswirken (Watson et al. 2017, Wölbert 2015). Zu beachten ist, dass sich laut Haucke (2017) die Grundeinstellung der Nutzer:innen stärker auf die Nutzungsdauer auswirkt als die technischen Gegebenheiten. Dies könnte darauf hindeuten, dass Nutzer:innen, die beim aktuellen Markt mit eher wenig Wechselakkus auf dieses Feature achten, von diesem auch deutlich häufigeren Gebrauch machen.

### Wasserdichtigkeit versus zu öffnendes Gehäuse

Wasserdichtigkeit ist ein wichtiger Aspekt um initial Geräteschäden zu verhindern. So zeigen Reparaturstatistiken, dass Schäden durch Feuchtigkeit relevant, aber nicht führend für die Produktgruppe Smartphone sind (click repair 2016, 2017, 2019). Gleichzeitig kann ein nicht zu öffnendes Gehäuse die Lebensdauer des Gerätes reduzieren. Dies bezieht sich auf mehrere Ebenen

- Wechselbarer Akku
- Weitergehende Öffnung für Reparaturen

Ein wechselbarer Akku kann die Lebensdauer des Smartphones verlängern bzw. verhindert andersherum, dass die Batterielebensdauer die Lebensdauer des Gesamtproduktes reduziert. Wie die Modellanalyse (Abschnitt 0, Abbildung 25) zeigt, ist aktuell der überwiegende Teil der Smartphoneakkus nicht wechselbar. Dieser Trend wurde gerade von den weitverbreiteten Marken vorangetrieben. Gleichzeitig zeigen aber auch einzelne Modelle, dass sich Wasserdichtigkeit und Batteriewechsel nicht ausschließen müssen. Überraschenderweise verfügt gerade ein sogenanntes „ruggedized“ oder „Outdoor“-Gerät von Samsung über Wechselakkus (Samsung Xcover-Serie). Dies zeigt, dass diese Abhängigkeit nicht zwingend ist, aber meistens andere Einschränkungen mit sich bringt.

Wechselbare Akkus benötigen eine feste Kunststoffschicht, die die Akkus sicher handhabbar machen gegenüber weichen und flexiblen Pouchzellen. Zwar sind die Ausmaße gehäuseter Akkus nicht so stark wie dies noch 2013 von Digital Europe in seinem Positionspapier veranschlagt wurde (ACEA 2013), dafür sind die Geräte aktuell deutlich dünner, teilweise nur noch 6mm dick. Das Samsung XCover Pro ist noch unter einem Zentimeter dick (9,9 mm). Hier stellt sich die Frage, welche Werte aus Nutzer:innensicht ideal bzw. ausreichend sind und ob weiteres Abnehmen der Dicke zu einer höheren Zufriedenheit führt. Eine Auswertung von iPhones zeigt, dass diese seit 2014 und dem sogenannten „Bendgate“<sup>1</sup>, bei dem es zu Geräteausfällen durch verbiegen kann, wieder etwas dicker werden. So liegt das aktuelle iPhone 11 Pro bei 8,1 mm, während das

<sup>1</sup> Beispielhafter Pressebericht: <https://www.giga.de/smartphones/iphone-6/news/bendgate-beim-iphone-6-apple-kannte-das-problem-wollte-es-aber-nicht-zugeben/> (zuletzt angerufen: 18.05.2020)

iPhone 6 bei noch dünneren 6,9 mm lag<sup>1</sup>. Wenige Smartphone wie das Oppo R5 (4,9 mm) gehen bis auf 5 mm Dicke herunter, was aber häufig mit einer eher geringen Akkukapazität (mangels Platz) einhergeht.

Hinzu kommt, dass mit den Pouchzellen auch ein flexibleres Batteriedesign entstanden ist. Während feste Akkuzellen häufig auch mit Standardgrößen und Formfaktoren einhergehen, sind die Pouchzellen meist extrem auf das innere Design des Telefons angepasst (mal sehr schmal und lang, mal fast quadratisch). Beim iPhone XS sind sogar L-förmige Pouchzellen verbaut. Dies mag auch erklären, warum gerade „Budget-Phones“ vergleichsweise häufig über entnehmbare Akkus verfügen, da diese häufiger auf Standardbauteile am Markt zurückgreifen und somit nicht auf individuelles Design angepasste Formfaktoren verwenden.

Für modulare Geräte ist Wasserdichtigkeit deutlich schwieriger zu erreichen. Die Geräte dürfen zum leichten Öffnen nicht verklebt sein. Zwar ist laut Aussagen des Smartphoneherstellers SHIFT GmbH eine Wasserdichtigkeit durch eingelegte (nicht verklebte) Gummidichtungen prinzipiell möglich. Diese erfordern aber eine hohe Präzision bei der Montage. Das Wiederherstellen der Wasserdichtigkeit nach einer Demontage durch Nutzer:innen ist schwierig.

Andere Möglichkeiten über spezielle Hüllen (temporäre) Wasserdichtigkeit herzustellen gibt es ebenfalls. Diese werden aber eher situativ bei erwartetem Wasserkontakt genutzt und dienen nicht dazu die allgemeine Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Zum kabelgebundenen Laden müssen diese Hüllen in der Regel entfernt werden.

### Customisierung versus langfristigen Softwaresupport

Ein möglicher Zielkonflikt hinsichtlich einer langen Nutzungsdauer der Geräte mag sich aus der Fragestellung Customisierung – also individueller Ausstattung nach Kund:innenbedürfnissen – und langfristigem Softwaresupport ergeben. Ein gut auf die individuellen Nutzer:innenbedürfnisse und Nutzungsarten abgestimmtes Smartphone kann die Zufriedenheit und das Attachment zum Gerät und damit die Nutzungsdauer erhöhen. Gleichzeitig ist ein langfristiger Softwaresupport ebenfalls für eine lange Nutzungsdauer notwendig (Wieser & Träger 2018). Mit der Anzahl unterschiedlicher Konfigurationsvarianten steigt der Aufwand für Betriebssystemsupport, welcher jeweils auch auf die Firmware der elektronischen Komponenten angepasst werden muss.

Dieses Problem bezieht sich sowohl auf Customisierung beim Gerätekauf als auch über die Nutzungsdauer gesehene spätere Individualisierung und Veränderung der Ausstattung z.B. im Sinne von Upgrades.

### Standardbauteile versus Formfaktor

Wie bereits für die Batterie oben beschrieben ist der sehr schmale Formfaktor vieler Geräte durch viele Sonderkomponenten bzw. ein sehr abgestimmtes Design erreicht. Für Reparierbarkeit ist allerdings nicht nur das Demontieren der Produkte notwendig, son-

<sup>1</sup> Vergleich von Spezifikationen anhand der Herstellerwebsite: <https://www.apple.com/de/iphone/compare/?device1=iphone11pro&device2=iphone11promax&device3=iphone6> (zuletzt abgerufen am 18.05.2020)

dern auch die Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Diese ist aktuell – speziell für kleine, unabhängige Werkstätten und Endnutzer:innen – sehr schwierig (Watson et al 2017). Für kleine Hersteller ist zudem die Vorabproduktion von Ersatzteilen sehr aufwendig und auch schwierig zu planen (Fairphone 2017 -b). Ein Design möglichst mit Standardkomponenten umzusetzen, könnte das Problem der Verfügbarkeit lösen, aber zu Lasten des hohen Miniaturisierungsgrades gehen. Gleichzeitig ist durch die schnelle Weiterentwicklung der Modelle auch die Verfügbarkeit von Standardbauteilen gering. Standardisierung für einzelne Bauteile über Modelle und Hersteller hinweg könnte dieses Problem lösen, da schneller notwendige Mindestmengen für die Nachproduktion erreicht werden können.

## Upgrades versus Innovationsfähigkeit

Upgradefähige Geräte gibt es bisher nur bedingt auf dem Markt. Grundlegende, ständige wechselnde Module wie vom Projekt ARA angedacht gibt es bisher nicht und scheitern aktuell noch an vielen Hürden: technisch (z.B. Zusammenspiel des Energiebedarfs verschiedener Komponenten,) software-seitig (z.B. Einbindung und korrekte Adressierung jeweiliger Firmware) und organisatorisch (wie werden Updates bei unterschiedlichen Modulen koordiniert). Gleichzeitig gilt das Konzept als zukunftsweisend und zukunftssicher. Nicht vergessen sollte man jedoch, dass selbst bei der Austauschbarkeit aller Module viele Fixpunkte gesetzt werden müssen, die der Innovationsfähigkeit auf anderen Ebenen entgegenstehen können. Dies kann zum Beispiel der Formfaktor sein. So hatte das Projekt ARA drei Baugrößen in der Bauart klassischer Smartphones in den Größen 4,7, ~6 und ~7 Zoll angedacht (MDK 2015). Während dies aktuell noch in das Bild klassischer Smartphones passt, mag das Konzept mit der Weiterentwicklung faltbarer Displays trotz Upgradefähigkeit schnell veralten, da andere Formfaktoren aus Kund:innensicht relevant werden.

Ähnliche Limitierungen kann es bei der Festlegung von Schnittstellen und BUS-Systemen geben. Um das Zusammenspiel der Module aktuell und zukünftig sicherzustellen, muss sich ein System bei „Mix & Match“-Modularität (Schischke et al. 2016) auf diese festlegen. Weiterentwicklungen in diesem Bereich können schnellere Übertragungsgeschwindigkeiten, aber auch geringere Formfaktoren und weniger Energiebedarf für die interne Signalübertragung bedeuten. In einem bestehenden Skelett und vor allem bestehender Ausstattung sind die Schnittstellen nicht mehr änderbar. Module (und die Basis/Skelette) gleichzeitig abwärts und aufwärts kompatibel zu machen ist extrem aufwendig und quasi nicht planbar, wenn die nächste Technologiesgeneration noch nicht definiert ist.

## Modulare Geräte versus Geschäftsmodelle

Die Schwierigkeit für Hersteller besteht bei der Produktion von langlebige(re)n Produkten stets auch darin ausreichend Umsatz bzw. Gewinn bei weniger verkauften Produkten zu erwirtschaften. Im Rahmen von MoDeSt ist das Thema Geschäftsmodelle deswegen in einem separaten Arbeitspaket verankert, dessen Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht werden. Neue Geschäftsmodelle sollen darin entwickelt und erprobt werden. Hinsichtlich modularer Produkte soll in diesem Rahmen kurz auf eine gewisse „Schwellenproblematik“ eingegangen werden. Modulare Produktkonzepte ermöglichen es prinzipiell Umsätze nicht nur durch den Geräteverkauf, sondern auch durch den Verkauf der Module zu generieren. Ein breites Modulportfolio erfordert jedoch hohen Entwicklungsaufwand, so dass diese Geräte bei Veröffentlichung erst ein kleines Spektrum an zusätzlichen Erweiterungen haben. Dies war bei Moto mods ge-

nauso wie bei LG G5 mit LG Friends zu beobachten. Der Unique Selling Point des Gerätes selbst ergibt sich am stark umkämpften Smartphonemarkt jedoch vor allem durch das Potential der Erweiterung, welches zu Beginn des Verkaufs aber für die Nutzer:innen noch nicht umfangreich verfügbar ist. Hier ist entweder ein enormer Entwicklungs- und Kostenvorlauf seitens der Hersteller notwendig um bei Produktlaunch bereits ein breites Portfolio zu veröffentlichen oder ein Vertrauensvorschuss seitens der Nutzer:innen, die Produkte bereits aufgrund des Potentials zu kaufen. Diese Schwelle haben die bisherigen Add-on Smartphones nicht geschafft und die geringen Smartphoneverkäufe haben nicht dazu geführt, dass viele weitere Module entwickelt wurden.

## 2.1.2 AP2 Ökobilanz

Die Langfassung inkl. Annahmen und Modellierungshinweisen findet sich im vollständigen AP-Bericht.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Ökobilanz eines abstrahierten modularen Smartphones dargestellt. Das Modell basiert weitestgehend auf dem Smartphone SHIFT 6m und wurde mit Daten von Komponenten der Fairphones der Modellreihen 2, 3 und 4 (Proske et al. 2016, 2020, Sanchez 2022) gewonnen wurden, ergänzt. Die Lebenszyklusanalyse deckt die folgenden Bereiche ab:

- Beschaffung von Rohstoffen und Herstellung
- Nutzungsphase
- Transport
- Das Lebensende und ggf. Recycling

Die Rohstoffbeschaffung wird indirekt dadurch abgedeckt, dass für die Modellierung der Produktherstellung sogenannte „Cradle-to-Gate“-Datensätze verwendet werden, die bereits die Förderung und Produktion der Rohstoffe abdecken.

Für die Bewertung wurde die Ökobilanzsoftware GaBi mit ihrer Elektronik-Erweiterung genutzt. Daten von zusätzlichen Quellen sind speziell gekennzeichnet.

### 2.1.2.1 Ergebnisse Ökobilanz

Die Ergebnisse werden im Folgenden für die Wirkungskategorien Global Warming Potential (GWP) und Abiotic Depletion Potential elements (ADP) näher diskutiert. In den Graphiken werden indikativ auch Ergebnisse für andere Wirkungskategorien dargestellt und Besonderheiten kurz benannt. Da die Datenbasis hier aber nicht auf dem gleichen Level ist wie für die beiden ersten Wirkungskategorien, werden diese nicht im Detail diskutiert.

## Gesamtergebnisse Smartphone-Lebenszyklus

Über alle Wirkungskategorien hinweg hat die Produktionsphase des Smartphones den größten Einfluss. Nutzungsphase und Transporte haben einen geringen Einfluss und Recycling wirkt sich durch Materialgutschriften in den meisten Wirkungskategorien leicht positiv auf die Umweltwirkung aus (negativer Zahlenwert). Ausnahmen bilden hier Gewässerökotoxizität, bei der auch die Gutschriften des Recyclings die Aufwände nicht aufwiegen. Bei ADP elements wirkt sich das Recycling stark positiv aus, da gerade Edelmetalle in dieser Wirkungskategorie zu Buche schlagen und hier die Rückgewinnungsquote im Recycling sehr hoch ist.

Als Unsicherheit ist beim Recycling jedoch anzumerken, dass die Produktion in großen Teil mit generischen Datensätzen elektronischer Bauteile modelliert wurde und das Recycling auf Basis der Materialzusammensetzung typischer Smartphones. Die Summe der in der Produktion bilanzierten Metalle kann daher von der Materialmenge, die für das Recycling angenommen wurde, abweichen.

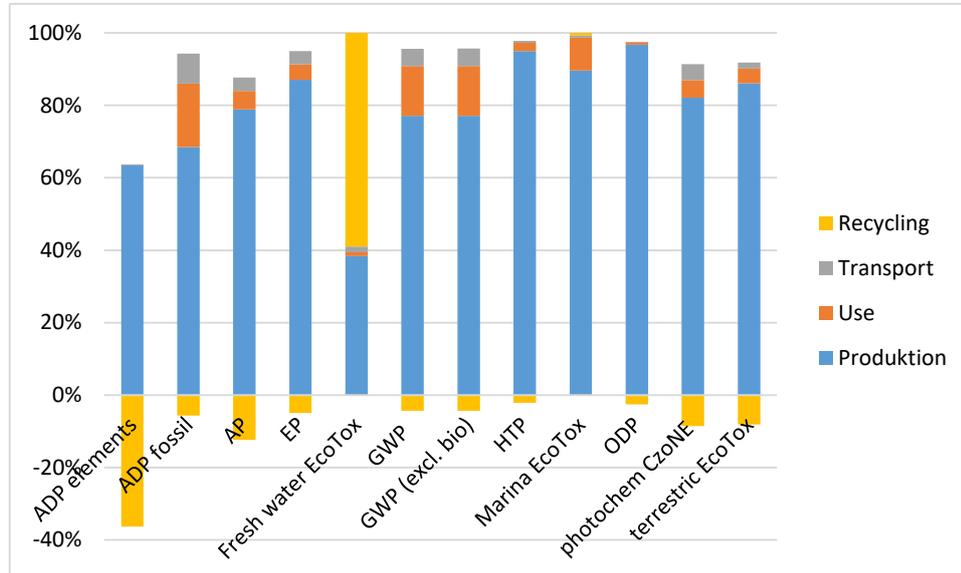


Abbildung 43: Verteilung des Beitrag der Lebenszyklusphasen Produktion, Nutzung, Transport und Recycling für die verschiedenen Wirkungskategorien

### Rohstoffgewinnung und Herstellung

Die Produktionsphase (inkl. Rohstoffgewinnung) verursacht den größten Teil der Umweltwirkung eines Smartphones. Dies ist für fast alle Wirkungskategorien getrieben durch die Herstellung des Mainboards und der sich darauf befindlichen Komponenten. Display, Kamera und z.T. der Aufwand für den Zusammenbau des Gerätes folgen.

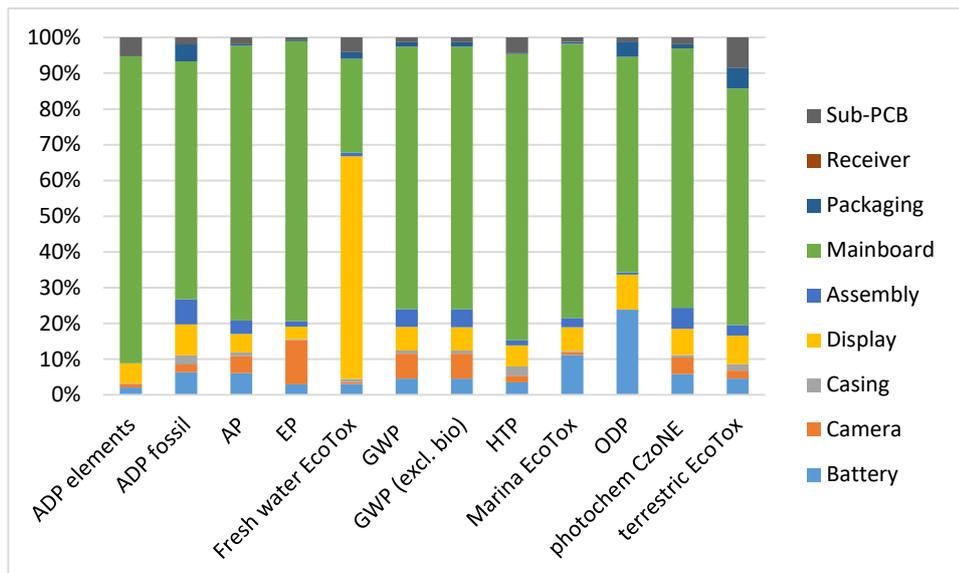


Abbildung 44: Verteilung des Beitrag des Herstellungsaufwandes der verschiedenen Baugruppen für die unterschiedlichen Wirkungskategorien

## Wasserdichte Hülle zum kabellosen Laden

Langfassung

Kabelloses Laden ermöglicht neben mehr Komfort auch häufig die Gestaltung eines wasserdichten Gerätes, welches Wasserschäden verhindern kann. Obwohl Wasserdichtigkeit, kabelloses Laden und Reparierbarkeit sich nicht per se ausschließen, sind sie in Kombination etwas schwieriger zu erreichen und werden daher häufig als Designkonflikt dargestellt (siehe Bericht zur Technikanalyse (Proske et al. 2020b)).

SHIFT entwickelte während des Projektes eine wasserdichte Hülle, die gleichzeitig die Funktion kabelloses Laden ermöglicht. Der Herstellungsaufwand und das weniger effiziente Laden werden hier dem Basisszenario gegenübergestellt (Tabelle ).

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei ausschließlichem kabellosem Laden der zusätzliche Aufwand für Herstellung und weniger effizientes Laden – mit Ausnahme der Süßwassertoxizität – nur zwischen 2 und 6% des Gesamtherstellungsaufwandes liegt. (Der höhere Aufwand bei der Freshwater Toxizität ist auf einen einzelnen ecoinvent-Datensatz zurückzuführen und kein reales Belastungspotential speziell durch die Hülle mit Induktionsschleufe zum Laden).

**Tabelle 1: Szenario induktives Laden**

Wirkungskategorie	Basis Nutzung	Induktives Laden	teilweise induktives Laden	Produktion Hülle	% der Basisherstellung
ADP elements	1,47E-06	1,60E-06	1,54E-06	1,25E-04	4,38%
ADP fossil	6,28E+01	6,85E+01	6,57E+01	8,03E+00	5,59%
AP	8,84E-03	9,64E-03	9,25E-03	1,55E-03	1,73%
EP	1,68E-03	1,83E-03	1,76E-03	2,22E-04	1,10%
Fresh water EcoTox	7,72E-03	8,42E-03	8,08E-03	5,16E-02	18,91%
GWP	6,19E+00	6,75E+00	6,47E+00	4,79E-01	3,00%
GWP (excl. bio)	6,19E+00	6,75E+00	6,47E+00	4,79E-01	3,00%
HTP	2,47E-01	2,70E-01	2,59E-01	1,25E-01	1,42%
Marina EcoTox	7,22E+02	7,87E+02	7,55E+02	2,55E+02	4,49%
ODP	1,98E-10	2,16E-10	2,07E-10	9,04E-10	3,06%
photochem CzoNE	5,94E-04	6,48E-04	6,21E-04	1,52E-04	2,02%
terrestrial EcoTox	2,55E-03	2,78E-03	2,67E-03	2,80E-03	5,51%

Dies würde sich rentieren, sobald sich die statische Nutzungsdauer um gut 2 Monate ändert bzw. sich Wasserschäden entsprechend reduzieren. Nur über die Reduzierung von Wasserschäden wird sich dies umweltseitig also nicht amortisieren, da Wasserschäden nur einen geringeren Teil der Schäden ausmachen (ca. 70% sind Displayschäden bei insgesamt ca. 40% Hardwaredefekten nach Wertgarantie (2020) und Poppe et al. (2022)).

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse des SHIFT 6mq liegen in der gleichen Größenordnung wie die Ökobilanzen anderer Smartphones (Apple 2022; Clément et al. 2020; Huawei 2022, Proske et al. 2016, 2020, Sanchez et al. 2022). Beim SHIFT 6mq ergeben sich anders als in der

ersten Version des modularen Fairphones (Fairphone 2, Proske et al. 2016) keine relevanten Unterschiede in der Ökobilanz durch die Modularität. Es sind keine generell anderen oder mehr Konnektoren verwendet worden. Die Module sind nicht zusätzlich gehäust. Die Modularität wird vor allem durch den Verzicht von festen Leber- oder Lötverbindungen zu Gunsten von Steck- und Schraubverbindungen erreicht, welche in der Umweltbilanz kaum relevant sind.

Durch diese Art der Modularität ergibt sich eine einfache Demontage, bei gleichzeitig hoher möglicher Demontagetiefe. Auf Reparaturen wirkt sich dies in zwei Richtungen aus: Die hohe mögliche Demontagetiefe erlaubt kleinteilige Reparaturen, ohne unnötig große (und ggf. teure) Module auszutauschen, wenn es entsprechend kleinteilige Ersatzteile zu kaufen gibt. Für den Hersteller würde dies aber eine hohe Bevorratung mit unterschiedlichen Ersatzteilen erfordern. Für eher weniger technik-affine Nutzer:innen kann der kleinteilige Aufbau des Smartphones abschreckend wirken. Befragungen im Rahmen des Projektes zeigten jedoch, dass gerade die Kommunikation der Reparierbarkeit sich positiv auf DIY-Reparaturen auswirkt (Amend et al. 2022b).

### 2.1.2.2 Nutzungsszenarien im Kontext Modularität

Im Projekt wurden von allen teilnehmenden Partnern gemeinsame fiktive Szenarien für zukünftige Smartphonennutzung entwickelt (siehe umfangreicheren AP-Bericht). Diese wurden an den (später im Projekt noch verfeinerten) Nutzungstypen gespiegelt und entsprechende Einflüsse auf Nutzung, Geschäftsmodelle und Geräte- und Modulanzahl entwickelt.

Diese Szenarien geben viele qualitative Hinweise auf mögliche Nutzungsarten. Es zeigte sich jedoch, dass sie für die quantitative Berechnung möglicher Umweltvor- oder -nachteile nicht sinnvoll zu quantifizieren sind bzw. bei einigen Szenarien die technische Umsetzung (noch) nicht erkennbar und daher nicht bewertbar ist. Zwei beispielhafte Nutzungskonzepte PaaS und Kaskadennutzung wurden für eine Umweltbewertung herangezogen. Als Produktbeispiel für den Herstellungsaufwand wird das SHIFT 6mq sowie dessen Module als Ersatzteile und Upgrades verwendet, unabhängig davon ob sie für das SHIFT 6mq real als einzeln verkäufliche Module verfügbar sind. Die genauen Angaben für die quantitative Ausgestaltung wird im jeweiligen Unterkapitel dargestellt.

Diese Berechnungen sind als beispielhafte Ausgestaltung und Potential zu betrachten und nicht als Nachweis dafür, dass entsprechende Servicemodelle per se nachhaltiger sind.

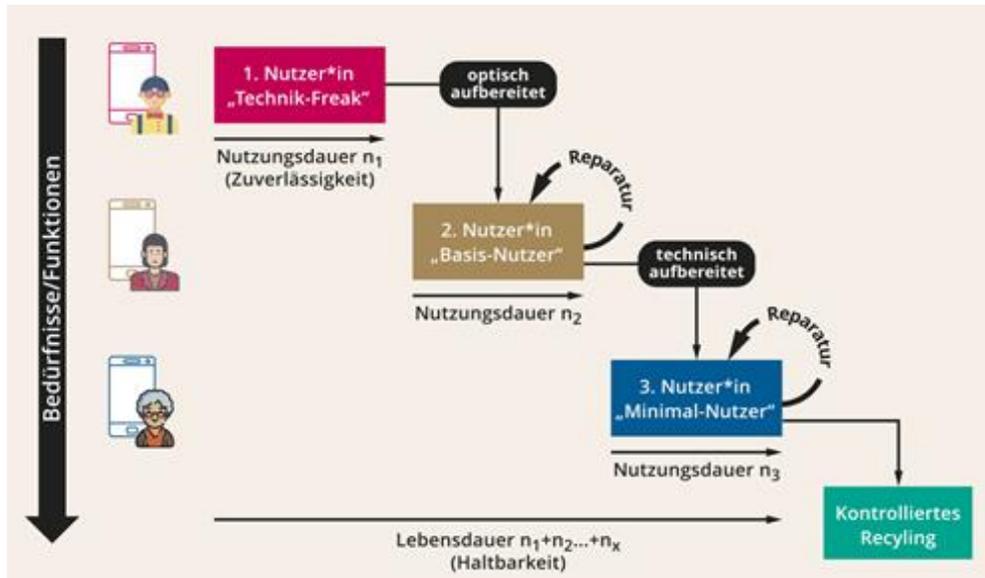
### Miete inkl Upgrade

Für das Mietmodell wird angenommen, dass durch definierte Mietdauer, Reparatur im Schadensfall, Batterieaustausch und die Möglichkeit des Teileupgrades eine Mietdauer von 5 Jahren erreicht wird. Eine Veränderung der Schadenshäufigkeit wird durch dieses Modell nicht angenommen. Eine Erhöhung der Reparaturquote über den Bestand wirkt sich positiv aus (Proske 2022). Hier wird jedoch die Betrachtung auf ein einzelnes Produkt gelegt.

### Kaskadennutzung

Die Kaskadennutzung zielt darauf ab, Nutzer:innen mit unterschiedlichen Bedürfnissen und Anforderungen zu verbinden und damit die Nutzungsdauer des Gerätes zu verlängern. Solche eine Kaskadennutzung findet sehr häufig bereits in familiären Kontexten

statt, wohingehend auf dem klassischen Secondhandmarkt vor allem sogenannte Flagshipgeräte eine Zweitnutzung finden und einfachere Modelle eher wenig gehandelt werden (CCS Insight 2021). Die professionalisierte Kaskadennutzung zielt darauf ab durch bessere Verknüpfung der Nutzungsgruppen, inkl. zügiger Rücknahme und, wenn nötig, professioneller Reparatur auf Aufarbeitung mehr Geräte in eine Zweit- und auch Drittnutzung zu bringen. Dargestellt ist dies in Abbildung 45 (siehe auch Amend et al. 2022).



**Abbildung 45: Lebensdauer und Nutzungsdauer von Smartphones im Kaskadenmodell ©Ferdinand Revellio (Böckel et al., 2022).**

Es wird sich bei der quantitativen Ausgestaltung an diesen dargestellten drei Nutzungsphasen orientiert, auch wenn prinzipiell eine weitere Verlängerung durch Einbringung eines ganz anderen Nutzungskontextes, wie für das Down-cycling Phone beschreiben, möglich wäre. In diesem Fall würde aber eine weitere Produktgruppe reduziert/ersetzt, was zu einer Erweiterung des Betrachtungsraumes führen würde. In diesem Bericht ist daher der Fokus auf die Nutzungsdauerverlängerung des Smartphones als Smartphone.

Als Unterscheidung Produktmiete wird hier angenommen, dass durch die Weiterreichung an Nutzer:innen mit geringeren Ansprüchen zwar eine technische Instandhaltung, aber kein Upgrade nötig ist

## Vergleich

Die beiden Szenarien Mietmodell (5 Jahre) und Kaskadennutzung (6 Jahre) werden hier verglichen mit der Standardnutzung von 3 Jahren und einer verlängerten Produktnutzung 5 Jahre durch Batterieaustausch. Die Ergebnisse zeigen, dass zwar die absoluten Werte in den Szenarien durch Austauschteile und zusätzliche Transporte und verlängerte Nutzung höher ausfallen (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47), sinkt jedoch wenn die Werte pro Nutzungsjahr normiert werden (siehe Abbildung 48 und Abbildung 49). Speziell beim ADP liegt die Hotspot so der Umweltbilanz so stark auf der Herstellung, dass auch Mietmodelle mit hohen zusätzlichen Transportwegen einen positiven Effekt haben, so lange die Nutzungsdauer verlängert wird.

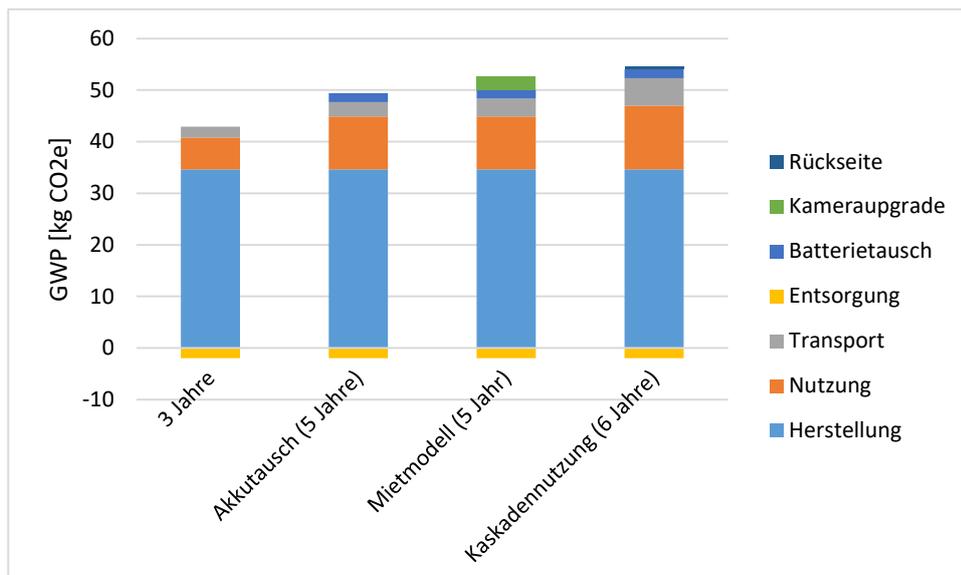


Abbildung 46: absolute Ergebnisse für Szenarienvergleich –GWP

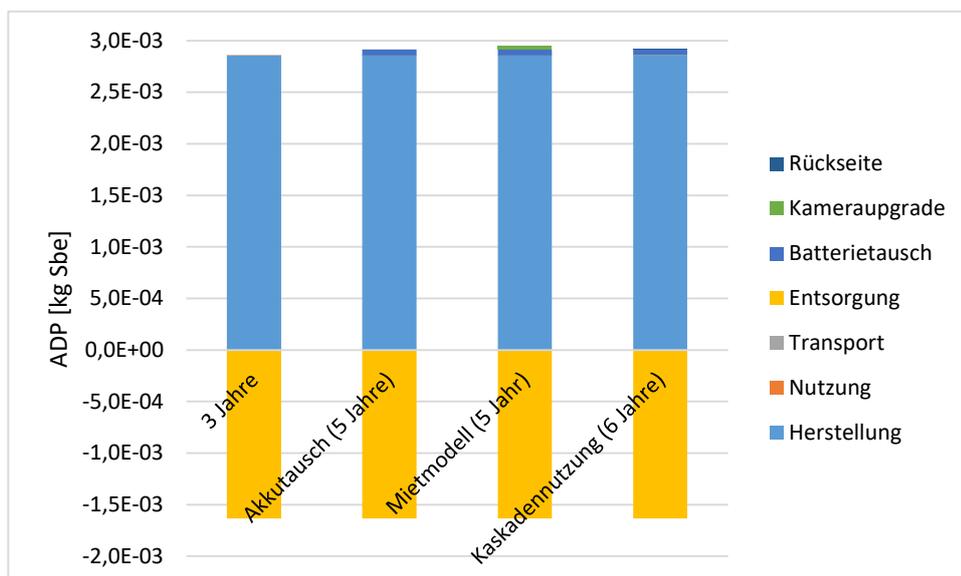


Abbildung 47: absolute Ergebnisse für Szenarienvergleich – ADP

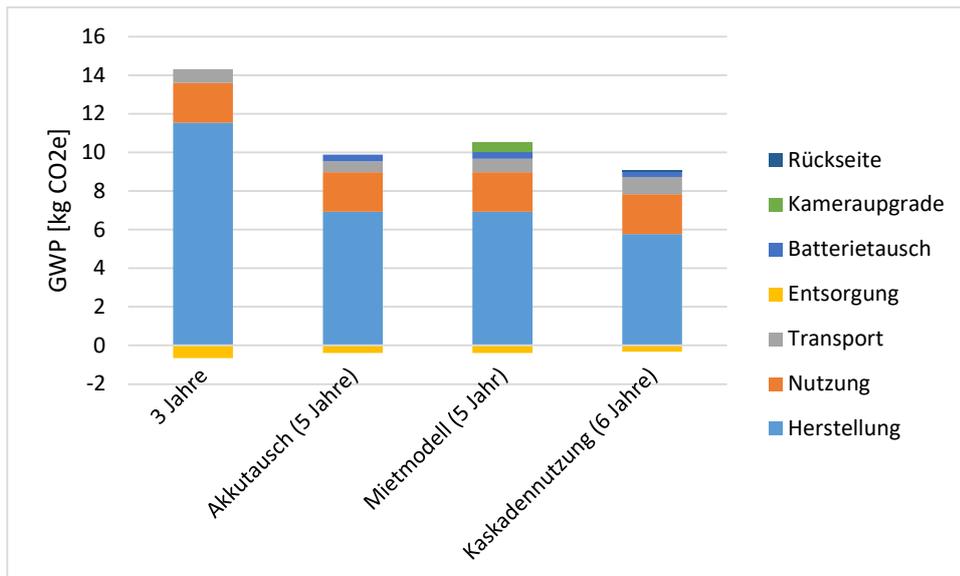


Abbildung 48: Ergebnisse pro Nutzungsjahr - GWP

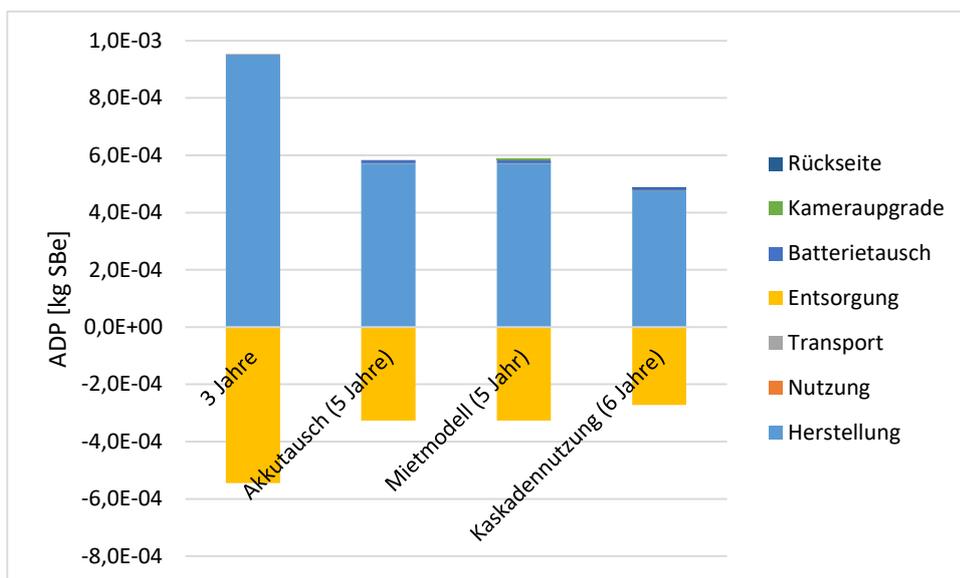


Abbildung 49: Ergebnisse pro Nutzungsjahr - ADP

Diese Ergebnisse decken sich mit denen für das ebenfalls modulare Fairphone (Proske et al. 2016, 2020, Sanchez et al. 2022), aber auch Untersuchungen für konventionelle Smartphones (Schischke et al. 2021, Cordella et al. 2021): Reparaturen und Upgrades rentieren sich aus Umweltsicht sehr zügig, wenn sie tatsächlich zu einer Nutzungsdauerverlängerung führen. Untersuchungen Schischke et al. (2021) und Proske (2022) zeigten auch, dass Reparaturen als Maßnahmen allein nur zu einer sehr geringen Nutzungsdauerverlängerung über den gesamten Bestand führen, da nur ein Teil der Geräte durch Schäden ersetzt wird (siehe auch die Erhebung innerhalb des MoDeSt-Projektes Poppe et al. 2022).

Zusätzlich Maßnahmen sind also nötig um zu einer Nutzungsdauerverlängerung zu kommen und hier setzten die Szenarien an, die über Mietmodelle Anreize und Serviceumgebungen schaffen, Geräte länger zu nutzen. Im Kontext der Unterschiedlichkeit

der Nutzertypen und der geringen intrinsischen Motivation einiger dieser Gruppen Geräte länger zu nutzen, verspricht vor allem die Kopplung verschiedener Nutzergruppen wie im Szenario Kasakadennutzung dargestellt ein hohes Potenzial.

-----  
Langfassung  
-----

Diese und andere Umweltbewertungen von Smartphones zeigen, dass eine längere Nutzung von Smartphones sich auch beim Einsatz von Ersatzteilen und erhöhten Transporten rentieren. Der Fokus muss daher auf Anreizsystemen liegen wie dies erreicht werden kann. Die Ergebnisse der Nutzungsanalysen zeigen, dass die Motivation der Nutzer:innen gering ist, Geräte lange in der Nutzung zu halten, gleichzeitig die Ansprüche an Geräte variieren gleichzeitig, so dass die Ergebnisse des Projektes darauf hindeuten, dass eine enge Verknüpfung von Nutzer:innen mit einer schnellen Weitergabe der Geräte erfolgsversprechender aussieht als hoher Aufwand für vollmodulare Geräte, die theoretisch das Potential haben den Wunsch nach Neuem zu erfüllen, aber gleichzeitig das Risiko für eine weitere Beschleunigung des Konsums bergen (Proske & Jaeger-Erben 2020).

Die Ergebnisse der Umweltbewertung zeigen, dass beim Schaffen dieser Anreizsysteme zur Produktweitergabe – sei es über Mietmodell, PSS, klassisches Second-Hand-Business – aufgrund der sehr schnellen umweltseitigen Amortisierung von Ersatzteilen relativ viel Freiheit besteht Geräte standardmäßig mit z.B. neuen Rückseiten (optische Aufarbeitung) und neuen Akkus oder sogar Upgrade-Kameras (technische Aufarbeitung) zu versehen. Dies erfordert zumindest eine Teilmodularisierung inkl. der Verfügbarkeit um diese Überarbeitung möglich zu machen. Auf europäischer Ebene soll diese jetzt im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie jetzt auch für Smartphones verpflichtend werden (EU 2022).

### 2.1.3 AP3 Analyse von Nutzer:innenerwartungen und –praktiken

Die Langfassung findet sich im vollständigen AP-Bericht.

Während der Projektlaufzeit konnten umfangreich neue Daten und Einsichten zu den Nutzungserwartungen und -praktiken von Smartphone-Nutzer:innen in Hinblick auf die Nachhaltigkeit und Rolle von Modularität gewonnen werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass modulare Designkonzepte (z.B. durch verbesserte Reparierbarkeit, Upgrades etc.) als produktionsbezogene Strategie nicht hinreichend zu langlebigeren Nutzungspraktiken führt, wenn diese nicht Zielgruppengerecht gesteuert wird. Über verschiedene Erhebungsinstrumente konnte das Forschungsteam aufzeigen, dass Modularität als Design-Feature bzw. Merkmale, die in engen Zusammenhang zu modularen Design-Konzepten stehen, wie z.B. Austauschbarkeit des Akkus, Reparierbarkeit, Langlebigkeit der Geräte) bisher eine untergeordnete Rolle bei der Kaufentscheidung und in der Nutzungspraxis von Smartphone-Nutzer:innen spielen. Die effiziente und suffiziente Nutzung von Modularität durch den Idealtypus eines einzigen „Modular User“ konnte empirisch zwar nicht festgestellt werden, über die Ermittlung von insgesamt 6 verschiedenen Nutzungstypen konnte das Projektteam jedoch ein differenziertes Bild über die Erwartungen und Anforderungen in Bezug auf langlebigeres Smartphone zeichnen, die für weitere Angebots- und Nachfrageorientierte Interventionsstrategien zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft hilfreich sind. Das Projektteam hat hierbei insbesondere untersucht, welche Rolle die funktionale und emotionale Produktbindung (engl., Smartphone-Attachment) für längere Produktnutzungsdauer spielen kann und hierfür eine Smartphone-Attachment Skala entwickelt (siehe Abschnitt 2.1.3.5).

Die im Rahmen des Projekts geplanten Forschungsmethoden konnten mit geringfügigen Änderungen im Zeitablauf alle umgesetzt werden.

### 2.1.3.1 Explorative Interviews zur Erstellung von Nutzungsbiografien

-----  
Langfassung  
-----

Es wurden explorative Interviews mit Smartphone Nutzer:innen durchgeführt, um deren Nutzungsbiografien und alltäglichen Nutzungspraktiken besser zu verstehen. Durch die qualitative Auswertung der Interviews, die Erstellung von differenzierenden Nutzungsmerkmalen, sowie den Vergleich der Interviewten und das Clustering der Daten, konnte eine vorläufige Nutzungstypologie von drei Idealtypen entwickelt werden. Eine ausführliche Beschreibung und Implikationen für Strategien zur Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsstrategien wurden als wissenschaftlicher Fachbeitrag veröffentlicht (Hielscher et al., 2021). Die verschiedenen Nutzungstypen wurden im weiteren Verlauf des Projekts weiterentwickelt und später mit Hilfe von zwei quantitativen Umfragen validiert.

### 2.1.3.2 Open Labs

Der Open Lab Ansatz des Forschungsprojektes sollte einen offenen Austausch über das Konzept der Modularität mit verschiedenen Nutzer:innengruppen ermöglichen. Es sollten Workshops abgehalten werden, in denen die Teilnehmer:innen Konzepte für Produkt-Service-Systeme entwickeln sollten, die die Attraktivität von modularen und nachhaltigen Smartphones erhöhen können. Aufgrund der Corona-Pandemie konnte nur ein geplanter Workshop durchgeführt werden. Von den Teilnehmer:innen wurde festgestellt, dass Modularität allein nicht hinreichend ist, um längere Nutzungszeiten zu erreichen. Demgegenüber wurde die Vermutung geäußert, dass womöglich eher die Stärke der persönlichen Bindung zum Produkt (engl. Product attachment) eine maßgebliche Rolle zur Ermöglichung längerer Produktnutzungsdauern spielen kann – eine zentrale Arbeitshypothese, die im Rahmen der weiteren Arbeiten genauer geprüft wurde. Mit Hilfe der quantitativen Befragung konnte die Hypothese nur zum Teil statistisch bestätigt werden. Es zeigt sich zwar, dass im Durchschnitt viele Nutzer:innen den eine hohe Abhängigkeit und Produktbindung zu ihrem Smartphone aufweisen, dies aber nicht zwingend mit einer längeren Produktnutzung einhergeht (siehe Abschnitt 2.1.3.5). Die Ergebnisse der Nutzungsbiografien und Befragungen zeigen, dass Nutzer:innen eine eher technisch-funktionale Beziehung zu ihrem Smartphone führen und sich häufig bereitwillig für ein neues Gerät entscheiden.

### 2.1.3.3 Cultural Probes

Stellvertretend für die Pandemie-bedingten Ausfälle der geplanten weiteren Open Labs wurde im Projekt auf die partizipative Methode der Cultural Probes zurückgegriffen, die weitere Einblicke in die Entwicklung von Alltagspraktiken/Smartphone-Designs/Produkt-Service-Systemen für modulare Smartphones ermöglichte. Es wurden mit Hilfe eines Erzählkoffers 10 verschiedene kreative Aufgaben entwickelt, die 14 Teilnehmer:innen eigenständig zu Hause bearbeiten sollten. Die Ergebnisse der Cultural Probes können im Detail dem Ergebnisbericht entnommen werden. Zusammenfassend zeigt sich jedoch auch hier ein eher technisch-funktionales Verhältnis der Nutzer:innen zu ihrem Smartphone – es soll funktionieren, den Nutzer:innen am besten keine Arbeit machen (z.B., durch Reparaturen oder Gerätepflege). Das Smartphone wird von den einigen Teilnehmer:innen als eine Art Freund mit Vorteilen beschrieben, von dem eine Trennung nicht so schwerfällt.

### 2.1.3.4 Design Probes

Das im Rahmen der Cultural Probes und weiteren qualitativen Erhebungen gesammelte Material zu Nutzererwartungen und -verhalten diente in einem weiteren Schritt als Ausgangspunkt zur Entwicklung von zwei prototypischen Smartphone Designkonzepten. Hierfür erfolgte die Zusammenarbeit mit zwei erfahrenen Industriedesignern des Fraun-

hofer IZM, die auf Basis der Nutzer:innenmaterials und Arbeitstreffen mit dem Forschungsteam durch einen kollaborativen Designprozess führten. Das gewonnen Material der qualitativen Analysen wurde in gemeinsamen Arbeitstreffen zu Design Probes weiter verdichtet. Design Probes sind eine Technik, die von Designern eingesetzt wird, um Einblicke in die Bedürfnisse, das Verhalten und die Wünsche der Nutzer:innen zu gewinnen. Der Zweck von Designtests besteht darin, reichhaltige, qualitative Daten zu sammeln, die in den Designprozess einfließen können. Indem sie ein tieferes Verständnis für die Erfahrungen und Verhaltensweisen der Nutzer gewinnen, können Designer Produkte und Dienstleistungen entwickeln, die relevanter und effektiver sind. Im Rahmen des Forschungsprojekts konnten mit dem Entwurf eines „Modest Arch“ und „Modest Cube“ zwei prototypische Designkonzepte erarbeitet und visualisiert werden, die sich durch zwei verschiedene Modularitätskonzepte und eine möglichst langlebige Nutzung auszeichnen (siehe Tabelle 2 und Abbildung 50). Eine ausführliche Dokumentation der Design Probes findet sich im Ergebnisbericht und ist als Präsentation verfügbar.

**Tabelle 2: Gegenüberstellung prototypischen Modularitätskonzepte**

	<b>MODEST ARCH</b>	<b>MODES CUBE</b>
Herausforderung	<p>Übliche Geräte groß und schwer, fallen oft hin, hohe Anfälligkeit für Risse und Kratzer</p> <p>Transportfähigkeit und Haptik nicht optimal</p> <p>Smartphone vor allem Display, alles andere ist Cloud-basiert, Designs bleiben aber gleich</p>	<p>Übliche Geräte zu stark integriert, zu wenig einfach austauschbare Module, die oftmals auch nicht sichtbar sind</p> <p>Smartphone oft geklebt, nicht geschraubt</p> <p>Verbesserung der Reparaturmodularität (Batterie, Kamera, Display)</p>
Designfokus	<p>Verteilte Benutzeroberfläche – Master &amp; Slave-Konzept zur Erweiterung der Funktionalitäten und Spiegelung von Daten auf mehrere Bildschirme und Geräte.</p> <p>Bedarfsgerechte Konfiguration, einfacher Austausch von Gerät zu Gerät</p> <p>Universelle Fernbedienung für intelligente IoT-Umgebungen</p> <p>Computer-Tischmaus und Touchpad für die Verwendung am Arbeitsplatz</p> <p>Luftmaus für AR und erweiterte Spielsteuerung</p> <p>Ultramobiles tragbares Cloud-Gerät</p>	<p>Verlängerte Lebensdauer. Aufrüstbarkeit durch Hardware . Design für die Ewigkeit</p> <p>Leicht zu zerlegende Module, die wiederverwendet, weiterverkauft oder recycelt werden können, Module sind für die Wiederverwendung konzipiert und Materialien werden zu neuen Produkten regeneriert</p> <p>Offene Plattform. Modularität zur Verbesserung der einfachen Anpassung von Hardware und Software. 3-Party-Erweiterung des Smartphones</p> <p>Einfache Reparatur durch den Endbenutzer durch Austausch fehlerhafter Module. Ersatzteile. Einfache De- und Remontage</p> <p>Kompatibilität mit Produktpass</p>




---

 Langfassung
 

---

**Abbildung 50: Modulare Designkonzepte, die im Rahmen der Cultural Probes entwickelt wurden**  
 (© Fraunhofer IZM Tapani Jokinen & Robin Hoske)

### 2.1.3.5 Quantitative Umfragen

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten insgesamt drei quantitative Umfragen im Zeitraum von 2019-2023 durchgeführt werden.

Umfrage im SHIFTER-Netzwerk (2019-2021): Die quantitative Untersuchung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner CSM und stützt sich auf eine Onlineerhebung, die im Zeitraum vom 28.08 bis zum 13.09.2019 über das Netzwerk des Projektpartners SHIFT durchgeführt wurde. Insgesamt beteiligten sich über 2.500 Teilnehmende an der Befragung der TU Berlin (N=2.755). Für die Erhebung konnte der Projektpartner TU Berlin einen eigenen zugeschnittenen Fragebogenteil beisteuern, der sich spezifisch auf die Ermittlung von Nutzer:innenerwartungen, -praktiken und -muster bezieht und eine erste statistische Prüfung der erstellten Typologie erlaubte. Da es sich bei den Befragten um Personen handelt, die aus dem SHIFTER-Netzwerk rekrutiert wurden, sind die Ergebnisse hinsichtlich der Repräsentativität der Nutzer:innentypen nur bedingt aussagekräftig, ermöglichten aber eine weitere Verbesserung des Fragebogen hinsichtlich stärker differenzierender Merkmale zur Typologisierung von Nutzer:innen.

Repräsentativbefragung zur Smartphone Nutzung (2021): Im Zeitraum November-Dezember 2021 wurde eine bevölkerungsrepräsentative Befragung von 1.000 Teilnehmer:innen in Deutschland zur Gerätepräferenz, Nutzungsgewohnheiten und Erwartungen im Umgang sowie Reparatur und Lebensdauer von Smartphones durchgeführt. Die deskriptiven Ergebnisse der Befragung wurden mit anderen Erhebungen abgeglichen und in einem eigenen Statistik-Dossier veröffentlicht, das für interessierte Kreise (z.B. Forschung, Politikberatung, Regulierung) wichtige Referenzdaten zur aktuellen Produktnutzungs- und Lebensdauer bietet (Poppe et al., 2021). Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass mit 32% der Wunsch nach einem Gerät mit besserer Leistung maßgeblich als Kaufgrund für ein neues Gerät genannt wird - eine Erkenntnis, die auch eine Untersuchung aus dem Jahr 2019 hervorgebracht hat (Jaeger-Erben et al., 2021). Technische Mängel und Defekte an der Hardware (27%) und Software (13%) können zwar weiterhin ein Grund für den Neukauf sein, erklären aber nicht vollständig, warum Nutzende sich von ihren alten Geräten trennen. Mehr als 60% der Geräte werden nicht

wegen einem technischen Defekt ersetzt, sondern wegen anderer Gründe, wozu insbesondere der Wunsch nach mehr Geräteleistung und Funktionalität zählt. Hinzu kommt, dass die Mehrheit der Nutzer:innen (ca. 70%) bisher keinen technischen Defekt bei Ihrem derzeitigen oder vorigen Smartphone erlebt haben und bei Defekten, nur etwa die Hälfte sich für eine Reparatur ihres Gerätes entscheidet. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphone liegt im Jahr 2021 laut Angaben des Kreditversicherers Euler Hermes bei ca. 3,3 Jahre (Duthoit 2022). Demgegenüber zeigen die Ergebnisse unserer Untersuchung, dass die Erwartungen an die Gesamtnutzungsdauer (4,1 Jahren) und der gewünschten Soll-Haltbarkeit (4,4 Jahre) weiterhin deutlich höher liegen – die Haltbarkeit demnach hinter den Erwartungen der Nutzer:innen liegt. Modulare Designkonzepte können hierbei eine wichtige Schlüsselrolle spielen, sofern Sie eine wirtschaftliche und schnelle Reparatur von Smartphone ermöglichen. Als zielführend hierfür kann sich auch die Zielgruppenorientierte Ausrichtung von Maßnahmen erweisen, die sich an den in der Untersuchung ermittelten Nutzer:innentypen orientieren kann. Wie gezeigt werden konnte, spielt die Reparaturfähigkeit und Modularität von Smartphones für die Mehrheit der Nutzer:innen bisher kein zentrales Kauf- und Nutzungskriterium. Maßnahmen zur Förderung längerer Nutzungsdauern von Smartphones, wie die von der EU-Kommission angestrebte Austauschbarkeit von Akkus und eine verpflichtende Ersatzteilverfügbarkeit (EC 2023), müssen daher sorgfältig durch verbraucherorientierte Maßnahmen wie beispielsweise eine stärkere Verbraucheraufklärung oder ökonomische Anreize (z.B. Gerätepfand, Reparaturbonus) flankiert werden, damit die möglichen Umweltvorteile modularer Bauweisen überhaupt realisiert werden können.

#### Ländervergleichende Repräsentativbefragung 2023:

Hierbei stellte die Frage nach der Rolle von Smartphone-Attachment, d.h. der Beziehung von Nutzenden zum Nutzungsobjekt einen besonderen Fokus dar. Im Rahmen der quantitativen Befragungen sowie einer das Thema vertiefenden Bachelor-Arbeit (Tillmann Prüfer (2020): Der Einfluss von Attachment und Kosten-Nutzen-Abwägungen auf die Bereitschaft zur Reparatur und Wiederverwendung von Smartphones; angefertigt im Bachelor-Studium Psychologie der Fernuni Hagen; Betreuung durch Melanie Jaeger-Erben) wurde eine Skala zur Messung von Smartphone Attachment entwickelt, die im Rahmen einer letzten Repräsentativ-Befragung anhand einer internationalen Stichprobe validiert wurde.

Die entwickelte Skala zum Smartphone-Attachment besteht aus vier Subskalen: Emotional attachment, Utility, Newism, Dependency, deren Wert über jeweils drei Fragen ermittelt wird (siehe folgender Kasten).

**Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?**

(1 = stimme überhaupt nicht zu, 2 = stimme eher nicht zu, 3 = unentschieden, 4 = stimme eher zu, 5 = stimme voll und ganz zu)

**Emotional Attachment:**

Ich hänge an dem Smartphone, das ich gerade besitze.  
 Mein aktuelles Smartphone liegt mir sehr am Herzen.  
 Mein aktuelles Smartphone hat keine besondere Bedeutung für mich. (-)

**Utility**

Für mich ist einzig wichtig, dass mein Smartphone die wenigen zentralen Funktionen erfüllt, die ich oft nutze.  
 Neue Features bei Smartphones sind für mich unerheblich, weil ich sie kaum nutze.  
 Ich mag bei Smartphones technische Spielereien, auch wenn Sie wenig praktischen Nutzen haben. (-)

**Newism**

Das Smartphone, das ich nutze, muss nicht auf dem neusten Stand der Technik sein. (-)  
 Das neueste Modell zu haben, bedeutet für mich Lebensqualität.  
 Es gibt mir ein tolles Gefühl, ein ganz neues Smartphone zu nutzen.

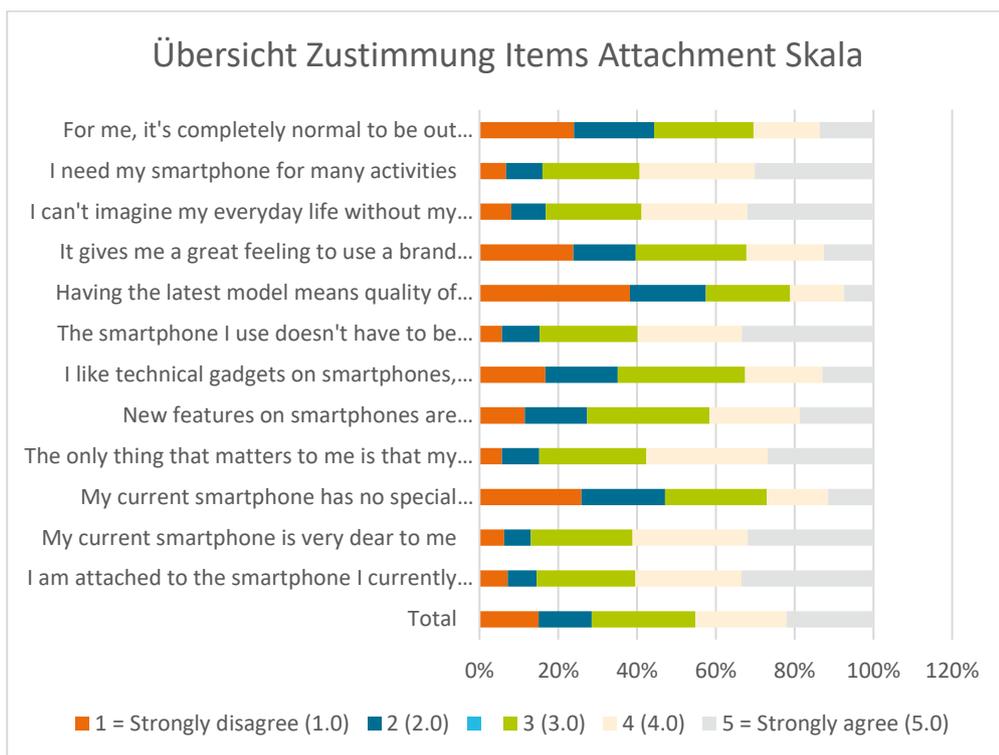
**Dependency**

Das Smartphone ist aus meinem Alltag nicht mehr wegzudenken.  
 Ich brauche mein Smartphone für viele Tätigkeiten.  
 Für mich ist es völlig normal, auch ohne mein Smartphone unterwegs zu sein.

-----  
 Langfassung  
 -----

Die Skala zum Smartphone-Attachment soll insbesondere die Vorhersage von Nutzungsdauer sowie Reparaturintentionen erlauben.

Die Umfrage mit einer internationalen Stichprobe von je 1.000 Personen in vier Ländern (Deutschland, Dänemark, Niederlande, Norwegen) hat im März 2023 stattgefunden. Im Folgenden werden einige deskriptive Ergebnisse dargestellt. Eine weitergehende statistische Auswertung der Skalen und ihrer Vorhersage-Potentiale finden sich im Ergebnisbericht.



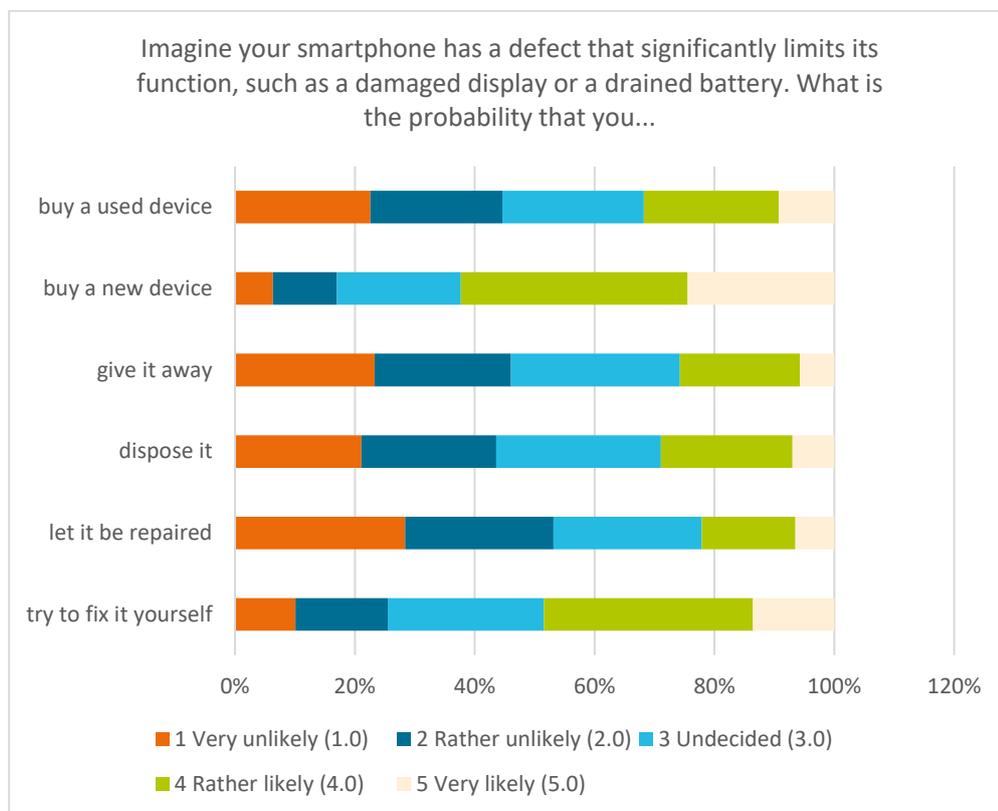
**Abbildung 51: Ergebnisse der internationalen Befragung zur Messung des Smartphone-Attachment (N=4.000)**

Die Übersicht zeigt, dass es insgesamt hohe Zustimmungswerte zu Fragen des emotionalen Attachments sowie des funktionalen Nutzwerts und der Abhängigkeit gibt, der Neuheitswert eines Smartphones jedoch eher von geringer Wichtigkeit ist. Folgende Tabelle stellt die Mittelwerte dar, grün markierte Mittelwerte haben eine eher hohe Zustimmung erreicht, rot markierte hingegen eine eher geringe Zustimmung.

**Tabelle 3: Gemessene Stärke des Smartphone-Attachments (N=4.000)**

Item	Mittelwert
I am attached to the smartphone I currently own	3,7
My current smartphone is very dear to me	3,7
My current smartphone has no special significance for me	2,7
The only thing that matters to me is that my smartphone fulfills the few central functions that I use often	3,6
New features on smartphones are irrelevant to me because I hardly ever use them	3,2
I like technical gadgets on smartphones, even if they have little practical use	2,9
The smartphone I use doesn't have to be state-of-the-art	3,7
Having the latest model means quality of life for me	2,3
It gives me a great feeling to use a brand new smartphone	2,8
I can't imagine my everyday life without my smartphone	3,7
I need my smartphone for many activities	3,7
For me, it's completely normal to be out and about without my smartphone	2,8

Die Fragen zum Umgang mit einem kaputten Smartphone wurden folgendermaßen beantwortet:



**Abbildung 52: Ergebnisse der internationalen Befragung zum Umgang mit defekten Smartphones (N=4.000)**

Die höchste Zustimmung erhielt die Option „ein neues Gerät kaufen“ (Mittelwert 3,6), am zweithöchsten wurde der Option „es selbst reparieren“ (3,3) zugestimmt. Den geringsten Wert erhielt die Option „es reparieren lassen“ (2,5).

Eine ausführliche Validierung der Skala zum Smartphone-Attachment und Analyse sowie Diskussion der Abhängigkeiten findet sich im Ergebnisbericht.

Zusammenfassend zeigen die Befragungen aber die ambivalente Haltung von Smartphone-Nutzer:innen, die sich im Durchschnitt in einem hohen Abhängigkeitsverhältnis zum Smartphone ausdrückt, gleichzeitig die Nutzungsdauern im Mittel relativ kurz sind und Reparaturversuche im Fall eines Gerätedefekts überwiegend unterbleiben.

#### 2.1.4 AP4 Geschäftsmodelle

Die Langfassung findet sich im vollständigen AP-Bericht.

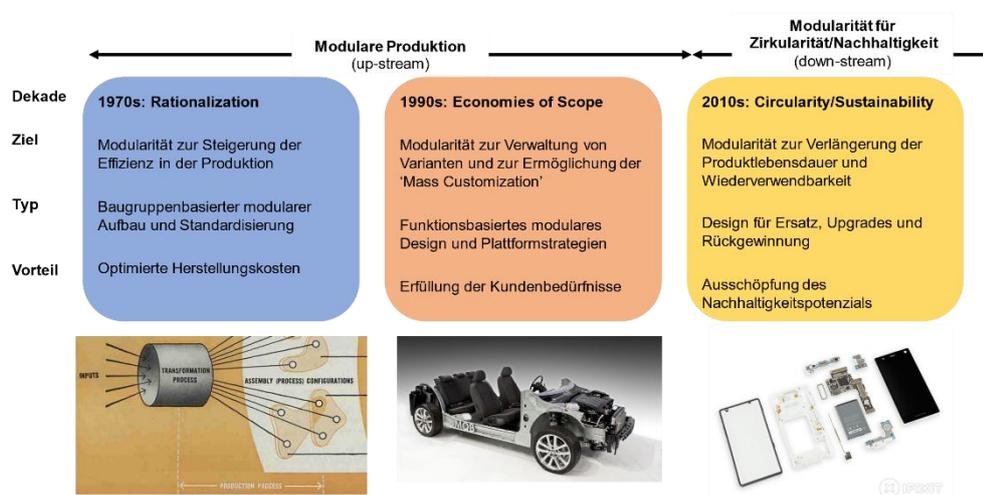
Dieses Arbeitspaket beleuchtet die Entwicklung zirkulärer/nachhaltiger Geschäftsmodelle auf Grundlage von modularem Produktdesign. Zuerst wird näher erläutert was nachhaltiges modulares Produktdesign (NMPD) bedeutet. Dann wird auf die Chancen und Herausforderungen von NMPD entlang der gesamten Produkt-Wertschöpfungskette eingegangen sowie spezifischer auf die Nutzungsphase und Erfahrungen mit Reparaturdienstleistungen. Zuletzt werden vier Geschäftsmodellideen präsentiert.

Die meisten Ziele wurden erreicht. Als optionales Ziel wurde in vorherigen Zwischenberichten die INaS Broschüre erwähnt, welche noch nicht fertig gestellt werden konnte. Diese soll aber in einem weiterführenden Projekt finalisiert werden.

-----  
Langfassung  
-----

### 2.1.4.1 Hintergrund nachhaltiges modulares Produktdesign

Modularität ist ein vielversprechender Ansatz zur Förderung der Zirkularität von Produkten und Materialien. **Abbildung 53** zeigt die Entwicklung von modularem Produktdesign. Starr (1965) führte das modulare Konzept ursprünglich als eine Möglichkeit ein, die Produktvielfalt bei relativ niedrigen Kosten zu erhöhen, indem eine maximale Kombination von Teilen ermöglicht wurde. Später entwickelte sich die Perspektive von einem Produktionsschwerpunkt zu einem stärker benutzerorientierten Schwerpunkt und beschleunigte die ‚Mass Customization‘ von Produkten (Sanchez, 1995). Heute wird Modularität als Designprinzip weiterentwickelt, um Verbesserungen der (unternehmerischen) Nachhaltigkeit während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu ermöglichen (Sonego et al., 2018). Der vorliegende Bericht baut auf der letztgenannten Perspektive auf, die als nachhaltiges modulares Produktdesign (NMPD) bezeichnet wird.



**Abbildung 53: Die Entwicklung von modularem Produktdesign (basierend auf Starr (1965), Sanchez (1995) und Sonego et al. (2018))**

In Anlehnung an Gershenson et al. (1999) beschreibt Modularität die Bündelung von voneinander abhängigen Komponenten zu unabhängigen Modulen. Die Module wiederum werden durch Schnittstellen zu einem reversiblen technischen System verbunden. Dies schafft Vorteile über den gesamten Lebenszyklus, indem es zirkuläre Dienstleistungen für Ersatz, Aufrüstung und Wiederherstellung ermöglicht (Das & Posinasetti, 2015; Hankammer et al., 2018). Dies unterscheidet NMPD von der konventionellen Modularität, da die Zirkularität von Produkten die negativen Umweltauswirkungen von Produkt- und Materialveralterung reduziert und dazu beiträgt, die Produktlebensdauer zu verlängern, was letztlich zu mehr Nachhaltigkeit führt (Agrawal & Ülkü, 2013; Kim & Moon, 2019).

Insbesondere vereinfacht NMPD die Wiederherstellung von Produkten, Modulen und Komponenten durch einfache De- und Wiedermontage sowie durch die Möglichkeit der Aufrüstung, was Prozesskosten der Reparatur einspart und einen Umweltvorteil im Vergleich zu herkömmlichen Produkten schafft (Agrawal & Ülkü, 2013; Mesa et al., 2018). Außerdem hat dies weitere Vorteile für eine Circular Economy (CE):

- Produkte können zu geringeren Kosten gewartet und repariert werden, da der Austausch defekter Module einfacher wird (Agrawal & Ülkü, 2013).
- Funktionierende Module eines beschädigten Produkts können in einem Produkt eines anderen Nutzers wiederverwendet werden (Gu et al., 1997).
- Produkte können durch die Wiederverwendung gut funktionierender Module aufgearbeitet oder wiederhergestellt werden und/oder Module können aufgerüstet werden, z. B. durch eine Aktualisierung der Software (Gu et al., 1997; Pialot et al., 2012).
- Wenn Module nicht mehr wiederverwendet oder repariert werden können, erhöht eine einfachere Materialtrennung die Recyclingfähigkeit und Recyclingeffizienz des Bauteils (Gu et al., 1997; Kim & Moon, 2015).

### 2.1.4.2 Chancen und Herausforderungen von NMPD entlang der Wertschöpfungskette

Um das Nachhaltigkeits-Potenzial von einer Produktmodularisierung zu erforschen, wurden die Chancen und Herausforderungen sowie Zielkonflikte von NMPD auf die gesamte Wertschöpfungskette näher untersucht. Dabei wird auf die Wertschöpfungsstufen Zulieferung, Herstellung, Vertrieb, Nutzung und Wiederherstellung eingegangen. Hinzuzufügen ist auch, dass die Analyse nicht ausschließlich auf die Smartphone-Industrie zutrifft. Eine beispielhafte Darstellung von Chancen und Herausforderungen ist in **Abbildung 54** zusammengefasst. Diese Analyse ist Teil einer Systematischen Literaturrecherche „Modular Product Design for Sustainability and Circularity – A Systematic Literature Review“ (basierend auf Amend et al., 2020).



**Abbildung 54: Beispielhafte Chancen und Herausforderungen von modularem Produktdesign entlang der Wertschöpfungskette (basierend auf Agrawal & Ülkü (2013), Gershenson et al. (1999), Gu et al. (1997), Hankammer et al. (2018), Schischke et al. (2019), Starr (Starr, 2010))**

Aus der Analyse der Chancen und Herausforderungen von modularem Produktdesign entlang der Wertschöpfungskette ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Modulares Produktdesign hat übergreifende Merkmale und Auswirkungen, die die Nachhaltigkeit ermöglichen können. Allerdings sind spezifische Nachhaltigkeitschancen und -herausforderungen fallabhängig.
2. Eine Herausforderung von Modularisierung in einer Wertschöpfungskettenstufe kann eine Chance in einer anderen Wertschöpfungskettenstufe

schaffen. Zielkonflikte ergeben sich vor allem aus der flexiblen Struktur von modularen Produkten.

-----  
Langfassung  
-----

3. Modularität allein reicht nicht aus. Nur durch ergänzende Servicemodelle und die Einbettung in zirkuläre Geschäftsmodelle unterstützt NMPD den wiederholten Kreislauf von Produkten und Materialien.
4. NMPD kann die Erfüllung politischer Anforderungen unterstützen. Entsprechende Strategien für die Reparierbarkeit und Wiederverwertbarkeit von Produkten sowie Rückkaufprogramme (auch durch den EU Green Deal) sollten eingeführt werden, um die wirtschaftlichen und ökologischen Chancen von einer Modularisierung zu unterstützen.

### 2.1.4.3 Modulare Smartphones und komplementäre Reparaturdienstleistungen

Aus der Wertschöpfungsketten-Analyse ergibt sich, dass NMPD allein nicht ausreicht, um die Nachhaltigkeit von Produkten zu fördern (den Hollander et al., 2017). Würde NMPD beispielsweise mit einem herkömmlichen ‚sell more, sell faster‘ Geschäftsmodell kombiniert werden, wäre das Produkt immer noch nicht nachhaltig. Ob NMPD sein Nachhaltigkeitspotenzial entfaltet, hängt von seiner Einbettung in ein zirkuläres Geschäftsmodell, wie zum Beispiel einem Produkt-Service-System, ab. Dies würde einfache Reparaturen, Modulaustausch, Aufrüstung usw. umfassen. Ergänzende Dienstleistungen sind daher entscheidend, um sicherzustellen, dass modulare Produkte tatsächlich zur Nachhaltigkeit beitragen.

Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

1. Hohe Relevanz von komplementären Produkt- und Prozessinnovationen: NMPD ermutigt die Nutzer modularer Produkte, aufgrund des reparaturfreundlichen Produktdesigns und der gut durchdachten Reparaturunterstützung, häufiger von Reparaturanleitungen Gebrauch zu machen – und führt zu positiveren Erfahrungen mit der Reparatur.
2. Kombination von SMPD und hoher wahrgenommener Selbstreparaturfähigkeit fördert das Selbstreparaturverhalten: Produkt-, Dienstleistungs- und Kommunikationsstrategien müssen entsprechend konzipiert und ausgerichtet werden, und die wahrgenommene Reparierbarkeit muss aktiv gesteuert werden, um die Reparaturaktivität zu fördern.
3. Hohe CE-Einstellung beeinflusst die Erfahrungen der Nutzer mit zirkulären Dienstleistungen, z.B. mit Reparaturanleitungen: Bei der Gestaltung von Reparaturanleitungen und Produkten sollten verschiedene Ebenen der CE-Einstellungen berücksichtigt werden. So könnten z. B. zirkuläre Dienstleistungen auf der Grundlage von Nutzereigenschaften angepasst werden, um zirkuläres Verhalten zu fördern.
4. Nicht nur die Reparatur, sondern auch der Austausch von Produkten muss aktiv gesteuert werden, um das Potenzial der CE und der Nachhaltigkeit zu nutzen: Insgesamt kann die Einführung eines Produkt-Service-Systems die Hindernisse für die CE beseitigen.

#### 2.1.4.4 Modulares Produktdesign und zirkuläre Geschäftsmodelle

-----  
Langfassung  
-----

Wie in den vorherigen Kapiteln erläutert wurde, sollten modulare Produkte durch komplementäre zirkuläre Dienstleistungen ergänzt werden sowie in zirkuläre Geschäftsmodelle eingebettet sein, um ihr Zirkularitäts- und Nachhaltigkeitspotenzial auszuschöpfen. Im ausführlichen AP-Bericht werden Produkt-Service-Systeme und Geschäftsmodellideen näher erläutert. Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

1. Zirkuläre Dienstleistungen erfordern eine enge Abstimmung mit der Produktarchitektur: Es gibt eine Vielzahl von modularen Produktarchitekturen (sichtbare und nicht sichtbare), die alle ihre eigenen Merkmale und Möglichkeiten zur Verlängerung der Produktlebensdauer haben. Während bestimmte Architekturen für Reparaturen und Upgrades durch den Nutzer optimiert sind, erleichtern andere speziell professionelle Reparaturen. Bei beiden sind die Umweltvorteile mit den Gebrauchs- und Wiederverwendungseigenschaften verbunden.
2. Geschäftsmodelle für die CE sind vorhanden, erfordern aber eine geschickte Ausarbeitung: Zirkuläre Geschäftsmodelle erfordern sorgfältig ausgearbeitete Pilotprojekte, da sie sich auf viele Facetten des konventionellen Geschäfts auswirken. Es scheint, dass die Skalierung aufgrund der fehlenden Infrastruktur schwierig sein kann. Make-or-buy (oder irgendetwas dazwischen) für diese zirkulären Aktivitäten ist eine strategische Frage für die meisten OEMs.
3. Der Übergang zur CE schafft eine starke Dynamik für Geschäftsmodelle: Jeder Akteur ist zunehmend gezwungen, seine Position in der Wertschöpfungskette und sein zirkuläres Angebot zu überdenken. Während diese Dynamik in der Wissenschaft seit vielen Jahren theoretisch diskutiert wird, sehen wir jetzt praktische Lösungen und deren Umsetzung.
4. Strategische Partnerschaften sind der Schlüssel, um die Vorteile einer CE aufzudecken und zu verinnerlichen: Der Prototyp der INaS GmbH veranschaulicht die Rolle eines zentralen Koordinators und einer Plattform für Nutzer, die zwischen Produkten und Lebenszyklusdienstleistungen wählen können.

#### 2.1.4.5 Schlussfolgerungen NMPD

Konventionelle Modularität ist ein etabliertes Designprinzip, das im Allgemeinen das Potenzial hat, durch seine technische Flexibilität Nachhaltigkeitsauswirkungen zu unterstützen. Unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitszielen kann modulares Produktdesign zirkuläre Produkt- und Materialflüsse durch einfache De- und Wiedermontage sowie Aufrüstbarkeit ermöglichen (z.B. Agrawal & Ülkü, 2013).

Aufgrund der flexiblen Produktstruktur führt eine Modularisierung zu Zielkonflikten. Einerseits können einzelne Prozesse effizienter und einfacher gestaltet werden. Auf der anderen Seite werden die Prozesse vielfältiger und komplexer. Besonders hervorstechend ist, dass eine Herausforderung in einer Lebenszyklusphase eine Chance in einer anderen Lebenszyklusphase schaffen kann. So können beispielsweise Akteure in der Wiederherstellungsphase neue Geschäftsmodelle entwickeln, um die relative Obsoleszenz (z.B. vorzeitiger Austausch des Smartphones) hinauszuzögern, die zu negativen Umweltauswirkungen führt.

Dies zeigt auch, dass eine Modularisierung allein nicht ausreichend ist – in Kombination mit einem konventionellen ‚sell more, sell faster‘-Geschäftsmodell trägt es möglicherweise nicht zur Nachhaltigkeit bei. Um einen Austausch aufgrund eines Defekts effektiv zu verhindern, müssen Unternehmen dementsprechend effiziente und einfach zugängliche Reparaturdienstleistungen bereitstellen. Durch verschiedene Dienstleistungen, wie Anleitungen für Selbstreparaturen und professionelle Reparaturservices, können verschiedene Nutzer Gruppen angesprochen werden. Außerdem sollten Rückkaufprogramme oder Pfandsysteme im Massenmarkt eingeführt werden, um das Ansammeln an Smartphones zuhause zu reduzieren.

Um den Herausforderungen von modularen Smartphones entgegenzuwirken und die Chancen zu maximieren, können neue Geschäftsmodelle wie Produkt-Service-Systeme eingeführt werden. Dies ermöglicht dem Unternehmen im Besitz der Geräte zu bleiben, um somit die Kontrolle über die Zirkularität zu behalten. Außerdem kann durch einen kaskadierenden Ansatz auf verschiedene Nutzungsbedürfnisse eingegangen werden.

Um die Umsetzung von Modularität und komplementären Geschäftsmodellen, vor allem im Massenmarkt zu unterstützen, sollten neue Regularien eingeführt werden. Ein erster Schritt zur Umsetzung ist der europäische Green Deal. Sein aktualisierter Circular Economy Actionplan ermutigt Unternehmen wiederverwendbare, langlebige und reparierbare Produkte anzubieten sowie nachhaltige und erschwingliche Produkt-Service-Systeme einzuführen (European Commission, 2019). NMPD kann die Erfüllung dieser politischen Anforderungen unterstützen.

### 2.1.5 AP5 Weiterentwicklung des Modulansatzes

Die Langfassung findet sich im vollständigen AP-Bericht.

Modulare IKT-Geräte sind immer noch ein extremer Nischenmarkt. Dennoch bieten sie gegenüber den mittlerweile primär geschlossenen/verklebten Smartphone-Architekturen das Potenzial, dass alte Bauteilkomponenten durch neue, leistungsstarke Komponenten getauscht werden können.

Die vollmodulare Baureihe des SHIFT6m, SHIFT5me sowie SHIFT6mq weisen eine Vielzahl von Bauteilen auf, die einfach modular getauscht werden können:

Mainboard	Dual-Sim Slot
Front & Backcamera	(Mikro-SD wechselbar)
Power/Volumebutton	Fingerprint Sensor
(Audio-Port auf Mainboard)	Speaker & Earphone
Display	USB-C (auf Sub-PCB)
Sub-PCB	GPS-Chip auf Mainboard
Akku	WLAN-Chip auf dem Mainboard

Zunächst wurden die angeführten Bauteile darauf geprüft, ob eine Verlängerung der Lebensdauer des Smartphones durch Bauteilmodifikation erzielt werden kann. Im Zuge der Analyse wurden geprüft, welche Bauteile besonders geeignet erscheinen und bei

welchen kaum Entwicklungspotenzial gesehen wird. Dabei wurden folgende Fragestellungen besonders in den Fokus gerückt:

-----  
Langfassung  
-----

- Welche Module sind für den Nutzer aus technischer Sicht so relevant, dass ein Austausch oder Hinzunahme der Komponente ihn dazu veranlassen könnte, lediglich das Modul zu kaufen, statt ein komplett neues Smartphone?
- Bei welchen Modulen ist ein großer technischer Fortschritt zu erwarten, bei dem innerhalb dieses Forschungsvorhabens ein Demonstrator aufgebaut werden könnte?
- Welches Modul ist aus ökobilanzieller Sicht von so großer Relevanz, dass der Austausch oder Upgrade dieses Elementes zu einer Verschlechterung des ökobilanziellen Fußabdrucks führt?

Resultierend aus den angeführten Überlegungen sind insbesondere folgende Module in den Fokus gerückt:

- Frontkamera
- Schutz des Mainboards und SubPCB vor eindringender Feuchte (Wasserdichtigkeit)
- Darüber hinaus wurde bei SHIFT die Überlegung einer systemübergreifenden Modularität angestellt
- Akku (Entwicklung und Realisierung bereits außerhalb des Vorhabens)

Während der Projektlaufzeit konnten mehrere Demonstratoren entwickelt werden, welche das Potenzial aufweisen, das anvisierte Ziel einer Lebensdauererlängerung zu erzielen: Neben einem Kamera-Upgrade-Demonstrator (das sowohl in einem Bestandsmodell, als auch in einem zukünftigen SHIFTPHONE zum Einsatz kommen soll), wurde eine wasserdichte Schutzhülle mit Wireless Charging als Demonstrator entwickelt. So wurde gezeigt, wie bei modularen Geräten Wasser- und Korrosionsschäden infolge von Feuchtigkeitseintrag minimiert werden können, ohne dabei die Modularität aufgeben zu müssen oder signifikante Einschränkungen in Kauf zu nehmen.

Schließlich wurde auch die Standardisierung des Akkus mit in das Vorhaben in die Ergebnisse mit aufgenommen, auch wenn die Realisierung bereits außerhalb dieses Vorhabens durchgeführt wurde.

Darüber hinaus wurden die Demonstratoren durch Erstellen mehrerer Kurzvideos visuell veranschaulicht.

## Ökodesign-Kriterien

Die Nutzer:innenbefragung in MoDeSt, aber auch in anderen Untersuchungen hat gezeigt, dass Produktnutzungsende nur zu einem Teil an Hardwaredefekten liegt. Ebenso relevant sind Aspekte (auslaufender) Softwaresupport, Performanceaspekte im Vergleich zu neuen Produkten oder auch nur der Wunsch nach Neuem (Hipp et al. 2021; Magnier and Mugge 2022; Watson et al. 2017; Wieser and Tröger 2018, Poppe et al. 2022).

Gleichzeitig wird Reparierbarkeit stark hervorgehoben, obwohl das Potential durch die Vielzahl der Ersatzgründe begrenzt ist. Weitergehende Modularität über Upgrades einzelner Bauteile hinaus ist sowohl technisch bisher nicht umsetzbar und birgt die Gefahr zusätzlicher Beschleunigung des Konsums (Proske & Jaeger-Erben 2019).

Ökodesign zielt darauf ab die Umweltlast, die durch die Herstellung, Nutzung und Recycling der Produkte ausgeht, durch angepasstes Design zu reduzieren. Die Bewertung des Fairphone 2 (Proske et al. 2016) hat gezeigt, dass modulares Design zu gewissen Overheads führen kann und sinnvolles, reduziertes Konnektordesign ist notwendig. Insgesamt lassen sich Ökodesignkriterien unterscheiden in Material- und Prozessierungsaspekte, die direkt den Herstellungsaufwand reduzieren (wie andere Materialauswahl und geringerer Materialaufwand bei gleicher Funktion), und indirekte Aspekte, die durch erhöhte Zuverlässigkeit, Haltbarkeit und auch Reparierbarkeit, die Lebens- und Nutzungsdauer reduzieren und somit die Umweltlast indirekt zu reduzieren.

Für Smartphones wurden im Rahmen der Ökodesignvorstudie Ökodesignvorschläge entwickelt (Schischke et al. 2021) und daraus abgeleitet Regulierungsmaßnahmen abgeleitet, die im August 2022 als Entwurf veröffentlicht wurden und mittlerweile (in leicht abgewandelter, aber unveröffentlichter Form) angenommen wurden (EU 2022). Diese Kriterien zielen in vielen Aspekten auf die Modularisierung der breiten Masse der Geräte durch erleichterte Reparierbarkeit ab: der Aufwand für die Demontage ist definiert, Batterie muss wechselbar, bestimmte Module austauschbar und Ersatzteile hierfür für eine definierte Zeit verfügbar und innerhalb einer gewissen Frist lieferbar sein.

Darüber hinaus werden Forderungen nach der Haltbarkeit im Sturzfall und Mindestlebensdauer der Batterie definiert und Softwareupdates für eine verpflichtende Dauer bereitgestellt werden, wobei der Fokus auf der Reduzierung von Schadensereignissen und Unzufriedenheit mit dem Smartphone zu reduzieren um die Anlässe für Produktersatz zu vermindern.

Die in der Technikanalyse (Proske et al. 2020) bereits beschriebenen Designkonflikte zwischen modularem Design und Haltbarkeit und Zuverlässigkeit spiegeln sich zum Teil bereits in den abgeleiteten Anforderungen wieder. So kann auf einen wechselbaren Akku verzichtet werden, wenn dieser im Gegenzug besonders langlebig.

Da diese Ökodesignkriterien und deren regulatorische Umsetzung die Laufzeit des Projektes „überholt“ haben, wird der Fokus im Folgenden speziell auf die Aspekte gelegt, in denen eine sinnvoll ausgestaltete Modularität wie sie aktuell technisch verfügbar über diese Aspekte hinausgehen kann und zusätzlich modulare Nutzungen und Geschäftsmodelle unterstützen kann. Dabei können Empfehlungen für unterschiedliche Nutzungstypen variieren.

Die Empfehlungen lassen sich auf folgende Bausteine zusammenfassen (Details zu finden im öffentlichen Entwurf EU 2022):

- Reparierbarkeit
  - Aufwand für die Demontage, gewisse Reparaturen müssen für Laien machbar sein
  - Verfügbarkeit von Ersatzteilen für 7 Jahre
  - Ersatzteile müssen als spezifische Teile und nicht übergeordnete, zusammengefasste Module vorliegen
  - Batterien müssen wechselbar oder bei wasserdichten Geräten deutlich länger haltbar sein

- Zuverlässigkeit
  - Mindestlebensdauer für Batterien bezüglich der möglichen Ladezyklen
  - Power Management-Funktionen, die die Batterie schonen
  - Softwareupdates für eine Mindestdauer von 3 (funktional) bzw. 5 Jahren (Sicherheit)
- Widerstandsfähigkeit
  - Displayschutzfolie für faltbare Displays muss als Ersatzteil verfügbar sein
  - IP67 bei nicht-wechselbaren Batterien, generell Spritzschutz
  - Mindesthaltbarkeit bei Stürzen
  - Widerstandsfähigkeit gegen Kratzer
- Wiedernutzung
  - Einfache Datenlöschung muss vorhanden sein
  - Informationen zur bisherigen Batterienutzung (Zyklen und verbleibende Kapazität) r müssen auslesbar sein
- Informationspflichten
  - Liste, Preis und Lieferzeiten für Ersatzteile
  - Reparaturinformationen für professionelle Dienstleister

Darüber hinaus ergeben sich aus der Labelling Directive (EU 2022a) weitergehende Informationspflichten. Im Zusammenhang mit Modularität und Lebensdauer sind dies die Folgenden:

- Reparaturklasse
- Widerstandsfähigkeit hinsichtlich Stürzen
- Batteriehaltbarkeit
- Wasserdichtigkeit (IP-Rating)

Während die direkten Produktanforderungen die Nutzbarkeit und Reparierbarkeit der Geräte beeinflussen, erlauben die zusätzlichen Informationspflichten die Einbeziehung von Reparierbarkeit von Reparatur und anderen Lebensdaueraspekten in die Kaufentscheidung. Der Spielraum, der sich aus den Anforderungen ergibt, wird von den Herstellern unterschiedlich genutzt und kann bei unterschiedlichen Nutzer:innen zu unterschiedlichen Effekten führen.

Modulare Geräte erlauben die Reparierbarkeit nicht nur durch professionellen Service, sondern in vielen Ausgestaltungen auch durch Laien. Dies ist besonders relevant, wenn Nutzer:innen folgende Kriterien erfüllen:

- Verfügbarkeit: Verfügbarkeit des Gerätes besonders wichtig. Wenige Tage ohne ein Smartphone sein, würde eher zu einem Ersatz führen, als zur Reparatur. Das Einschicken – und damit Nichtverfügbarkeit – wird als kritisch gesehen. DIY-Reparatur bei Geräten, die noch kurzfristig (wenn auch möglicherweise eingeschränkt) bis zur Reparatur weitergenutzt werden können

- Datensicherheit: die Abgabe eines möglicherweise nicht gelöschten Gerätes an einen Reparaturservice und/oder Postweg wird aufgrund der gespeicherten Daten als kritisch gesehen. DIY-Reparatur wäre hier vertrauenswürdiger.
- Technikaffinität: je nach Ausgestaltung der Modularität ist eine gewisse Technikaffinität für die Durchführung der Reparatur notwendig. Eine klare Kommunikation seitens der Hersteller zur einfachen Reparierbarkeit reduziert die Hemmschwelle bei Nutzer:innen Geräte selbst zu reparieren (Amend 2022).

Für andere Nutzer:innen kann die besondere Haltbarkeit und die Vermeidung von initialen Ersatzgründen stärker im Fokus stehen als die Reparierbarkeit im Schadensfall:

- Nutzungseinsatz erfordert Wasserdichtigkeit und erhöhte Sturzsicherheit
- Wenig Motivation für Wartung und Investition in schon vorhandene Geräte (keinen Anlass bieten für Neukauf): Lange Batterielebensdauer relevanter als Wechselakku

Aus Portfoliosicht ist ebenfalls ein wichtiger (Öko-)Designaspekt, dass Bauteile über verschiedene Modelle und ggf. auch Generationen verwendet werden, um Effizienzen in der Lieferkette zu erhöhen, aber auch die notwendige Menge und Varianz an vorzuhaltenden Ersatzteilen zu reduzieren und die Vorabproduktion möglicherweise nicht benötigter Ersatzteile zu reduzieren. Der Projektpartner Shift hat dies mit dem Ansatz des Universalakkus, der in mehreren Smartphone-Modellen genutzt wird bereits gestartet und auch bei anderen Herstellern findet man bereits aus unterschiedlichen Gründen dieses Vorgehen (Mokhtari 2023).

In der folgenden Tabelle 4 sind Fragen für Nutzer:innen zusammengefasst, die sie bei der Kaufentscheidung für ein passendes Gerät unterstützen können, wobei dies selbstverständlich immer Abwägungen sind).

**Tabelle 4: Selbsteinschätzung beim Produktkauf**

Frage	Darauf sollte beim Kauf und Nutzung geachtet werden
Wird realistisch eine Reparatur in Betracht gezogen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ja, selbstständig: auf modulares Gerät und Verkauf von Ersatzteilen an Endkunden achten</li> <li>- Ja, durch professionelle Anbieter: auf Reparaturscore für einfache (und damit günstigere Reparatur achten)</li> <li>- Nein: auf erhöhte Widerstandsfähigkeit (besonders lange Akkuehaltbarkeit, Sturzsicherheit und Wasserdichtigkeit achten)</li> </ul>
<p>Welche Funktion ist die wichtigste für mich?</p> <p>Welche Funktion benötige ich gar nicht? (NFC, Fingerabdruck, ...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überausstattung vermeiden</li> <li>- Gebrauchte Flagshipgeräte schneiden von der Umweltbilanz besser ab als neue Low-End-Geräte</li> </ul>

Frage	Darauf sollte beim Kauf und Nutzung geachtet werden	Langfassung
<p>Wie wichtig ist Performance – auch im Vergleich zu während der Nutzungsdauer veröffentlichten Geräten?</p> <p>Wie wahrscheinlich ist es, dass das Gerät vor technischem Lebensende aus Performancegründen ersetzt wird?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterausstattung vermeiden</li> <li>- Auf schnelle Weitergabe in die Zweitnutzung im Ersatzfall achten</li> <li>- Auf einfache Datenlöschung und ggf. Datenübertragung auf Neugerät achten, um Weitergabe in Zweitnutzung nicht zu verzögern</li> <li>- Ggf. von Anfang an auf Geräte mit guter Wiederverkaufbarkeit achten (bekannte Marken, Hauptmodellreihen), Personalisierung des Gerätes vermeiden</li> </ul>	
<p>Wie wichtig ist ständige Verfügbarkeit?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wechselakku ermöglicht Vorhalten eines zweiten Akkus auch in der Nutzung</li> <li>- Modulares Gerät ermöglicht einfach Reparatur zu Hause, ohne im Reparaturzeitraum auf das Gerät verzichten zu müssen</li> </ul>	
<p>Wie wichtig ist günstiger Preis beim Kauf?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebrauchtes Gerät anstelle von low-end Neugerät aus Umweltsicht zu bevorzugen</li> </ul>	
<p>Wie wichtig ist Preis bei der Reparatur?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Versuchen auf Geräte mit Serialization bei Ersatzteilen zu vermeiden, da Bindung an bestimmte Serviceanbieter</li> <li>- Auf Plattformmodularität (ggf normierte Ersatzteile, Standardakkus) achten – bisher kaum verfügbar</li> </ul>	
<p>Wie „rabiät“ ist der Umgang mit dem Gerät</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auf erhöhte Sturzfestigkeit und ggf. Wasserdichtigkeit achten</li> <li>- Ergänzende Schutzmaßnahmen (Hüllen und Displayschutzfolie) ergreifen</li> </ul>	
<p>Welche Peripherie (Ladekabel, Kopfhörer, etc.) wird real genutzt? Welche ist schon vorhanden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- „Bundles“ vermeiden, wenn Teile der Ausstattung schon vorhanden sind</li> <li>- Auf Kompatibilität und Weiternutzung der Peripherie nach Smartphone-nutzungsende achten</li> </ul>	

### Kontext Businessnutzung

Im Fokus des Projektes MoDeSt stand die private Produktnutzung. Darüber hinaus wurde jedoch in zwei Workshops mit Teilnehmern unterschiedlicher Unternehmen exploriert welche Produktaspekte von Smartphones im Kontext der Businessnutzung relevant sind und welche Barrieren für modulare Geräte bestehen.

In einer nicht repräsentativen Befragung wurde untersucht wie Geräte genutzt und beschafft werden. Es zeigte sich, dass Geräte in den befragten Unternehmen etwas länger im Einsatz sind als in der privaten Nutzung – ca. 3,4 versus knapp 3 Jahre privat (siehe Abbildung 55). Leasinggeräte werden dabei kürzer genutzt, machten aber nur 16% der Geräte aus. 20% der Unternehmen gaben an Geräte nur im Falle eines Defektes zu ersetzen.

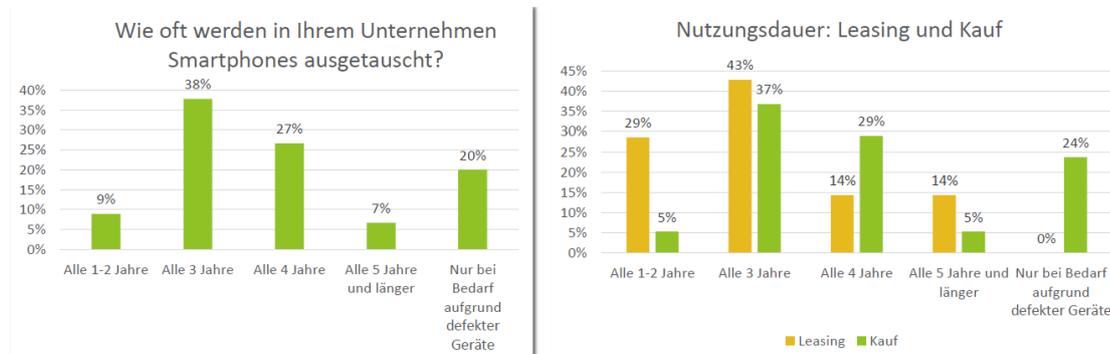


Abbildung 55: Nutzungsdauer von Smartphones in Unternehmen

57% der befragten Unternehmen haben nachhaltige Beschaffungsmaßnahmen, aber nur 9% von ihnen haben nachhaltige Strategien für die Beschaffung von Smartphones.

Datenschutz, technische Performance und Nutzerakzeptanz sind beim Einkauf von Business-Smartphones von besonderer Relevanz. Reparierbarkeit, eines der größten Vorteile modularer Smartphones, wurde von den Teilnehmenden als tendenziell wichtig, aber im Vergleich mit der geringsten Relevanz eingestuft (siehe Abbildung 56). Die Beschaffungskriterien unterscheiden sich zwischen den befragten Gruppen nur unwesentlich.

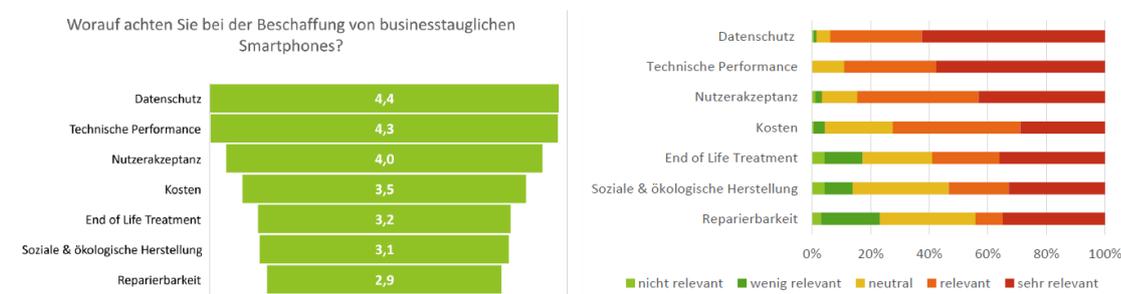


Abbildung 56: Beschaffungskriterien

Es gab einen kleinen Anteil an Unternehmen, die bereits modulare Smartphones angeschafft haben. Diese gaben vor allem das nachhaltige Image, die Reparierbarkeit und die Nachfrage durch die Mitarbeiter:innen an. Gründe gegen modulare Smartphones waren vor allem limitierte Verfügbarkeit der modularen Geräte, keine Verfügbarkeit eigener Reparaturangebote und die Bevorzugung bekannter Marken. Geschäftsführungen und Nachhaltigkeitsabteilungen (CSR) stufte dabei die zukünftige Beschaffung modularer Smartphones als deutlich wahrscheinlicher an als der Einkauf.

Im ersten Workshop wurde vor allem beleuchtet, ob und wann modulare Geräte für den Business-Einsatz („company-ready“) geeignet sind. Es zeigte sich, dass hier die Modularität an sich kaum eine Rolle spielte. „Company-ready“ bedeutet aus Sicht der Teilnehmenden (TN) vor allem ein effizientes Softwaremanagement, das heißt, unternehmensspezifische Apps, Company-Imaging, zeitnahe Softwareupdates, Mobile Device Fähigkeit, einfacher IT-Support durch eine Geräteart. Die Ablehnung modularer

Smartphones resultierte dabei kaum aus der Modularität an sich, sondern aus dem Fakt, dass diese aktuell fast ausschließlich von sehr kleinen Unternehmen bereitgestellt werden. Ganz speziell wurde das iPhone hervorgehoben, was zum Teil am hohen Ansehen der Marke und Qualität lag, zu größeren Teilen aber an der schmalen Produktpalette mit einheitlichen, leicht zu supportenden Betriebssystem lag. Für den zukünftigen Einsatz modularer Geräte im Businesskontext sahen die Teilnehmer den Fokus daher auch vor allem dem Hebel in der Software statt in der Hardware, sowie in der Bereitstellung durch Leasinganbieter.

Der zweite Workshop fokussierte vor allem auf Nutzungskonzepte und wie hierbei Nutzungsdauer und Produktanzahl reduziert werden kann. „Bring your own device“ ist eine Strategie, die die parallele Nutzung privater und dienstlicher Geräte reduzieren kann. Dies wird jedoch aus IT-Sicherheitsaspekten bisher fast nicht genutzt. Häufiger werden Dienstgeräte für die private Nutzung freigegeben. Auch hier spielt das Betriebssystem und mögliche Trennung dienstlicher und privater Profile wieder eine große Rolle. Geräte, die über zwei SIM-Karten-Slots verfügen, sind hier ebenfalls eine Möglichkeit Hardware durch die Ermöglichung gemeinsamer Nutzung zu reduzieren.

## Fazit

Die Ökodesignanforderungen die im Rahmen der EU Ökodesignrichtlinie für Smartphones verabschiedet wurden, sind ein guter Schritt Reparatur-Modularität in der Masse der Geräte im europäischen Markt (oft gefolgt in anderen weltweiten Märkten) zu verankern und mehr Nutzer:innen einfach – auch ohne bewusste Entscheidung für Modularität – zugänglich zu machen. Die Limitierung der Mindestanforderungen auf Reparaturen durch professionelle Serviceanbieter für viele der Reparaturen schöpft nicht das volle Potential aus, was modulare Geräte bisher zur DIY-Reparatur zeigten. Hier können und sollten Nutzer:innen abhängig von ihren spezifischen Anforderungen auf Geräte achten, die darüber hinaus gehen. Die zusätzlichen Informationspflichten durch die zeitgleich erarbeiteten Kriterien für die Labelling Directive ermöglichen Nutzer:innen nur deutlich einfacher und vergleichbarer Reparaturfähigkeit und andere Haltbarkeitsaspekte zu bewerten und in ihre Kaufentscheidung einfließen zu lassen.

Im Businesskontext scheint der Weg vor allem über die Softwarebedingungen und Leasinganbieter zu gehen. Da auch für Leasinganbieter eine zügige Reparatur und Aufarbeitung hilfreich ist, bleibt zu hoffen, dass auch hier zukünftig mehr Modulare Geräte in die Portfolios aufgenommen werden.

## 2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der Förderung

Im Projekt MoDeSt wurden über die beteiligten Partner verschiedene Kompetenzen für die geplanten Ziele zusammengebracht. Die Förderung ermöglichte gemeinsame umfassende Forschung für im Anschluss umsetzbare Strategien. Ohne die Zuwendung hätte das Gesamtsystem nicht wie im geplanten Umfang adressiert werden können und einzelne Akteure hätten das Systemwissen nicht entlang der Wertschöpfungskette verfügbar gehabt. Das Risiko einer fehlgeleiteten individuellen Forschung, die bei der Umsetzung von anderen Partnern in der Wertschöpfungskette scheitert, wäre sehr hoch gewesen.

Die Forschungsfrage war äußerst komplex und wurde durch die enge Verzahnung verschiedener Fachgebiete ermöglicht, die ohne Zuwendung nicht die Finanzmittel für eine Zusammenarbeit aufbringen konnten. So werden Nutzeranalysen meist eher in der

Marktforschung eingesetzt, hier ist der Fokus jedoch auf die Kreislaufwirtschaft ausgerichtet. Die Vorbildwirkung für die Öffentlichkeit ist dabei besonders hervorzuheben. Neue modulare Konzepte werden oftmals kritisch gesehen und können sich im Markt nur schwer durchsetzen. Die beschriebenen Forschungsarbeiten waren deshalb für die beteiligten Firmen mit hohem Risiko verbunden. Auf der anderen Seite birgt das hohe Engagement der beteiligten Projektpartner das Potential nachhaltig den Markt zu verändern hin zu einem ressourcenschonenderen Umgang bei elektronischen Geräten.

-----  
Langfassung  
-----

Eine Förderung auf EU-Ebene wurde geprüft. Die äußerst relevante sowie komplexe Forschungsfrage wird allerdings in keiner dem Konsortium bekannten Ausschreibung/Förderprogramm aktuell adressiert. Hinzu kommt, dass SHIFT (neben Fairphone B.V. der einzige Hersteller modularer Smartphones) als Praxispartner bisher vor allem den nationalen Markt adressiert und Erfahrungen mit den Kunden auf eben diesem Markt beruhen. Zudem unterscheiden sich die Smartphonennutzung und die Nutzungsdauer im europäischen Vergleich stark. Die Nutzungsanalyse und Entwicklung der Geschäftsmodelle konnte daher ebenfalls fokussierter erfolgen, da sie sich (zumindest im ersten Schritt) auf den deutschen Markt begrenzt.

Mit dem Projekt MoDeSt wurden somit mit den Fördermitteln neue Wege zu nachhaltigen Smartphones ermöglicht, wie dies von der Gesellschaft und der Industrie selbst zunehmend gefordert wird. In den folgenden Tabellen sind die umfangreichen Veranstaltungen aufgelistet, welche innerhalb der Projektlaufzeit die Zusammenarbeit im Konsortium sowie die Öffentlichkeitsarbeit belegen.

**Tabelle 5: Veranstaltungen, intern**

<b>Datum</b>	<b>Akteur</b>	<b>Name</b>
monatlich	alle	Jour Fixe
8.8.2019	Berlin	Kick-Off
15.1.2020	Berlin	Arbeitstreffen Modularität
16.07.2020	Alle	Arbeitstreffen, Kommunikation/Politikempfehlungen (alle Partner)
28.08.2020	AfB, CSM, IZM	Interview mit Reparaturtechniker von AfB
01.10.2020	Alle	Jährliches Projekttreffen, alle Partner, Schwerpunkt Szenarienbildung
02.10.2020	Alle	INaS Workshop 2 (alle Partner und Externe)
06.11.2020	Alle	Arbeitstreffen, Szenarienbildung (alle Partner)
29.01.2021	Alle	Arbeitstreffen, Szenarienbildung (alle Partner)
09.03.2021	CSM, TUB	Arbeitstreffen, SHIFT Umfrage
12.03.2021	alle	Arbeitstreffen, Szenarienbildung (alle Partner)
23.04.2021	Alle	INaS Workshop 3 (alle Partner und Externe)

Datum	Akteur	Name	Langfassung
28.09.2021	IZM, AfB	Vorbereitung Reziprok Filmdreh	
11.10.2021	IZM, AfB	Finale Abstimmung zur Landingpage „Smartphones länger nutzen“	
27.10.2021	AfB	AfB-intern Kommunikation zum Projekt	
05.11.2021	TUB, Shift, CSM	Auswertung Shift Umfrage	
12.11.2021	AfB, CSM	Austausch AfB und CSM	
19.11.2021	AfB, Shift, CSM	Austausch zu AP4/ 5 - Shifter-Netzwerk	
04.05.2022	IZM, AfB	Vorbereitung für gemeinsamen Aktionsstand bei den Special Olympics 2022	
28.-29.06.2022	alle	Projekttreffen (SHIFT)	
28.10.2022	SHIFT, IZM, AfB	Planung Workshop zum Thema „Relevanz von Software beim Smartphones“ für die Zielgruppe Hersteller und Beschaffer	

Tabelle 6: Veranstaltungen, extern

Datum	Akteur	Name
04.-09.09.2019	SHIFT, AfB	IFA – Stand von SHIFT, AfB eintägig vor Ort
09.-10.09.2019	SHIFT	Heldenmarkt Berlin: eigener Stand SHIFT
19.09.2019	Berlin	PLATE-Workshop „The Sustainable Smartphone of the Future“
10.12.2019	IZM, AfB	ReziProK Kick-Off Frankfurt an Main
11.12.2019	IZM	Clustergruppen und Lenkungskreis von ReziProK
30.01.2020	Lüneburg	Living-Lab INaS Workshop
07.03.2020	Mannheim	DigitalChangeMakersSummit (DCMS), Workshop mit TUB und AfB
01.04.2020	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle
03.04.2020	Webinar	Querschnittsgruppe Bewertungsfragen/LCA
21.04.2020	AfB	ReziProK: Web/Telefonkonferenz QF "Rechtliche Rahmenbedingungen"
06.05.2020	IZM	2. Clustergruppensitzung "Produktnutzung"
28.05.2020	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle

<b>Datum</b>	<b>Akteur</b>	<b>Name</b>	Langfassung
17.06.2020	TU Berlin	Querschnittsgruppe Akzeptanz	
27.08.2020	AfB	Vortrag + Diskussion: Circular Economy in der IT @ Gesellschaft für Informatik	
01.09.2020	IZM, TU Berlin	Vortrag und Konferenzpaper auf der EGG2020+	
22.09.2020	TU Berlin	Querschnittsgruppe Akzeptanz, Vortrag von Melanie Jaeger-Erben zum Thema Akzeptanzforschung	
23.09.2020	TU Berlin, BUND	Planung des Open Labs im Repair Café, BUND, Berlin	
0.10.2020	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodell	
27.10.2020	IZM	Querschnittsgruppe „Bewertung/LCA“	
29.10.2020	SHIFT	Querschnittsgruppe „Rechtliche Rahmenbedingungen“	
10.-11.11.2020	AfB	Arbeitskreis Rechtskonformes Umweltmanagement in der Elektronikindustrie 2020 (Veranstalter Fraunhofer IZM)	
16.11.2020	AfB	Vortrag & Diskussion an der HWR Berlin: Circular Economy in der IT	
23.11.2020	IZM	3. Clustergruppensitzung „Produktnutzung“	
30.11.2020	AfB	Erprobung der Methode „Lego Serious Play“ als Remote-Workshop-Methode	
11.12.2020	SHIFT	Querschnittsgruppe „Rechtliche Rahmenbedingungen“	
03.12.2020	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle	
12.12.2020	AfB	Vortrag an der HTW Berlin, Nachhaltigkeit & IT	
19.01.2021	IZM	Abstimmung mit Transfer-Projekt zur Abschlusspublikation der Querschnittsgruppe LCA	
26.01.2021	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle	
11.2.2021	TUB	Workshop Roadmapping for a Circular Economy; Herausforderungen zirkulärer Geschäftsmodelle	
22.-25.2.2021	TUB	Circular Society Forum	
23.03.2021	TU Berlin	Querschnittsgruppe Akzeptanz	

<b>Datum</b>	<b>Akteur</b>	<b>Name</b>	Langfassung
24.03.2021	AfB	Online-Vortrag im Rahmen der Digital Road to Mannheim	
25.03.2021	AfB	Digital Road to Mannheim - Nachhaltiger Konsum & Kreislaufwirtschaft	
23.04.2021	CSM, IQD, TUB, IZM, AfB, Shift,	INaS Workshop 3	
29.04.2021	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle	
06.05.2021	AfB, SHIFT GmbH	ReziProK: Web/Telefonkonferenz QF "Rechtliche Rahmenbedingungen"	
12.5.2021	TUB	Vortrag im Rahmen des Expert Talk des Bundes Deutscher Psycholog:innen zum Thema "Kreislaufgesellschaft"	
11.-12.05.2021	IZM	ReziProK-Statuskonferenz	
12.05.2021	IZM	ReziProK-Lenkungskreis	
27.05.2021	AfB	European Social Economy Summit: Make IT social and green	
26.-28.5.2021	TUB	Vortrag im Rahmen der PLATE Konferenz zum Thema "Modular Consumer"	
26.-28.05.2021	CSM, IQD	PLATE Konferenz + Vortrag Shift Umfrage	
31.5.2021	TUB	Vortrag im Rahmen des Kolloquiums de KIT/ Aachen zum Thema Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung	
08.07.2021	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle	
13.07.2021	IZM	Workshop „Daten“ im Rahmen von ReziProK	
17.08.2021	IZM	Leitung der 3. Querschnittsgruppe LCA	
17.8.2021		Reziprok Querschnittsfrage Akzeptanzforschung, Treffen der AG	
20.8.2021	TUB	Podiumsgast beim Panel "Circular Futures"	
16.09.2021	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle	
20.09.2021	AfB, IZM	Online-Workshop: Wie sieht die Zukunft der Beschaffung von Business-Smartphones aus?"	

<b>Datum</b>	<b>Akteur</b>	<b>Name</b>
21.9.2021	TUB	Reziprok Querschnittsfrage Akzeptanzforschung, Treffen der AG
23.09.2021	TUB, AfB	Workshop on Electronics Repair, Uni Regensburg, Podiumsdiskussion u.a. mit Melanie Jaeger-Erben und Christoph Teusch
29.09.2021	IZM	Leitung der 4. Querschnittsgruppe LCA
30.09.- 01.10.2021	CSM, IQD	NaMa Konferenz + Vortrag SLR
04.10.2021	AfB	Make IT circular!? Vorstellung MoDeSt-Projekt an der Uni Mannheim
07.10.2021	CSM, IQD	Circular Futures Festival + Vortrag INaS
04.11.2021	CSM	Halbjahres-Treffen Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle + Vortrag INaS
24.11.2021	IZM	Teilnahme ReziProK-Clustergruppe 2
06.12.2021	AfB, SHIFT GmbH	ReziProK: Web/Telefonkonferenz QF "Rechtliche Rahmenbedingungen"
30.12.2021	IZM	ReziProK-Lenkungskreis
20.01.2022	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle
10.03.2022	CSM	Statuscall Querschnittsgruppe Geschäftsmodelle
17.03.2022	AfB	Präsentation bei Hamburger Hochbahn über Circular Economy und MoDeSt-Projekt
23.03.2021	IZM	Leitung der 5. Querschnittsgruppe LCA
01.04.2022	IZM	ReziProK-Lenkungskreis
23.05.2022	AfB	ReziProK: Web/Telefonkonferenz QF "Rechtliche Rahmenbedingungen"
21.-22.06.2022	IZM, AfB	Special Olympics, zweitägiger Aktionsstand zur Klimawirkung von Smartphones/-komponenten
23.-24.06.2022	IZM	ReziProK Transferkonferenz
29.06.2022	IZM	ReziProK Lenkungskreis
23.-24.07.2022	CSM / SHIFT / IZM	ReziProK Abschlusskonferenz
15.09.2022	AfB	Podiumsdiskussion bei der nachhaltig.digital-Konferenz von B.A.U.M. e.V. und Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Langfassung

Datum	Akteur	Name
01.10.2022	IzM/TUB (AfB wegen Krankheit ausgefallen)	Bits&Bäume Berlin 2022, Konferenzbeitrag und Workshop „Modulare Designstrategien, Potentiale und Mythen“
23.11.2022	IzM	ReziProk Clustergruppe
05.12.2022	IzM	ReziProk Lenkungskreis
13.12.2022	IzM/SHIFT/AfB	Online-Workshop: Die Relevanz von Software für eine nachhaltige IT-Beschaffung

Langfassung

Tabelle 7: Öffentlichkeitsarbeit

Status	Akteur	Beschreibung
Veröffentlicht	TUB	Beitrag für die EASST 2020 (European Association for the Study of Science and Technology)
Veröffentlicht	TUB	Beitrag für die EGG 2020 (Electronic Goes Green)
Zurück gezogen	TUB	SCORAI Konferenz (stattdessen oben genannte Konferenzbeiträge, da sie inhaltlich besser zu den jetzigen Ergebnissen passen.
Abgeschlossen 03/20	TUB, AfB	Der Workshop #DigitalChangeMakersSummit (DCMS) wurde in Mannheim gemeinsam mit der AfB ausgerichtet, mit 50 Teilnehmenden. Die vom MoDeSt-Team betreute Kleingruppe hat mit ihren Ideen und Konzepten zur Modularität die Design Challenge gewonnen.
Abgeschlossen 04/19	CSM	FORUM Nachhaltiges Wirtschaften 04/2019: „Es geht auch anders“
Abgeschlossen 03/20	CSM	Sustainament Blog Website: <a href="http://www.sustainament.de/2020/03/ein-smartphone-an-sich-ist-nie-nachhaltig/">http://www.sustainament.de/2020/03/ein-smartphone-an-sich-ist-nie-nachhaltig/</a>
Abgeschlossen 09/19	CSM	Leuphana Website zum Projektstart: <a href="https://www.leuphana.de/newsexport/2019/09/23419-Langlebige_Handys__Mehr_Nachhaltigkeit_durch_Modularisierung.pdf">https://www.leuphana.de/newsexport/2019/09/23419-Langlebige_Handys__Mehr_Nachhaltigkeit_durch_Modularisierung.pdf</a>
Abgeschlossen 10/19	CSM	BILD Podcast „Bild Direkt“ No 122: „Wie weit sind umweltfreundliche Smartphones?“ <a href="https://soundcloud.com/bild-podcast/umweltfreundliche-smartphones">https://soundcloud.com/bild-podcast/umweltfreundliche-smartphones</a>
07.09.2019	AfB SHIFT	AfB zu Gast bei Shiftphone am Stand, Interview über Circular Economy, MoDeSt, nachhaltige Smartphones
21.- 22.09.2019	AfB	Talk auf dem Social Innovation Summit 2019, u. a. über Modest und Circular Economy

Status	Akteur	Beschreibung
09/19	IZM, AfB	Beitrag bei CSR News
18.11.2019	AfB	Facebook-Post zur Demontage des SHIFT 6m: <a href="https://www.facebook.com/261325744708/videos/522280965279053">https://www.facebook.com/261325744708/videos/522280965279053</a>
Abgeschlossen 01/20	IZM	Blogbeitrag bei Fraunhofer: <a href="https://blog.izm.fraunhofer.de/modular-electronics-a-sustainable-solution-for-the-smartphone-era/">https://blog.izm.fraunhofer.de/modular-electronics-a-sustainable-solution-for-the-smartphone-era/</a>
23.06.2020	AfB	Digitaler Stakeholder Dialog der AfB: <a href="https://www.afb-group.de/dialog2020/">https://www.afb-group.de/dialog2020/</a> Marina Proske nimmt u.a. teil. Aktueller Stand der Planung ist, dass sie das Projekt MoDeSt stellvertretend vorstellt.
Veröffentlicht	IZM	Beitrag für die EGG2020+
23.07.2020	AfB, IZM	AfB Forum
Veröffentlicht	TU Berlin	Beitrag für die PLATE Konferenz 2021
Eingereicht, vorgestellt	CSM	Beitrag für die IS4CE Konferenz 2020
Veröffentlicht	CSM	Beitrag für die PLATE Konferenz 2021
Veröffentlicht	CSM	Artikel für die Website <a href="http://100toparbeitgeber.de">100toparbeitgeber.de</a>
Vorgestellt	CSM	Beitrag für die EGG 2020
Veröffentlicht	CSM	Nennung des INaS im öffentlichen Diskurs: <a href="https://www.informationszentrum-mobilfunk.de/artikel/der-weg-zu-nachhaltigen-smartphones">https://www.informationszentrum-mobilfunk.de/artikel/der-weg-zu-nachhaltigen-smartphones</a> ; <a href="https://technikjournal.de/2020/08/18/bei-nachhaltigen-smartphones-fehlt-transparenz/">https://technikjournal.de/2020/08/18/bei-nachhaltigen-smartphones-fehlt-transparenz/</a>
Veröffentlicht	CSM	Beitrag zu SHIFT und AfB als DNP-Preisträger: <a href="http://www.sustainability.de/2020/12/wegbereiter-des-wandels-dnp-preistraeger-shift-und-afb-im-interview/">http://www.sustainability.de/2020/12/wegbereiter-des-wandels-dnp-preistraeger-shift-und-afb-im-interview/</a>
03.09.- 05.09.2020	SHIFT	IFA Berlin
29.09.2020	SHIFT, AfB	Vortrag + Diskussion: Accelerating a Circular Economy for E-Waste
25.03.2021	AfB + Partner	Bewerbung für einen 180 min MoDeSt Workshop beim European Social Economy Summit in Mannheim ( <a href="https://www.euses2020.eu">https://www.euses2020.eu</a> ) im Nov 2020, wobei die Lego Serious Play Methode zur Anwendung kommen sollte. Workshop-Titel „Create your story about the futurephone with LEGO®-SERIOUS-PLAY®“. Es wurden 1.500 Teilnehmende auf der gesamten Konferenz zu den Themen „Collaboration, Innovation, Digitalisation“ erwartet. → Aufgrund Corona ist das Event physisch ausgefallen. In

Langfassung

Status	Akteur	Beschreibung
		reduzierter Version wurde ein Workshop am 25.03.2021 digital durchgeführt.
Veröffentlicht 2021	TUB	Kapitel <i>Modular Smartphones and Circular Design Strategies: The Shape of Things to Come?</i> In dem Sammelband „A Handbook of Waste, Resources and the Circular Economy (herausgegeben von Terry Tudor und Cleber Dutra im Routledge Verlag).
06.10.2021 (präsentiert)	AfB, CSM, IQD	Nachhaltige Filmproduktion für Verbraucher:innen „Smartphones for Future <sup>1</sup> “, über 27.000 Views auf Youtube Präsentation zur Systematischen Literaturanalyse über modulares Produktdesign bei der NAMA 2021 (siehe Anhang)
30.07.2021 (eingereicht)	AfB, CSM, IQD	LinkedIn-Bertrag: Einladung zur Teilnahme an der Online-Umfrage „Business-Smartphones“. Abstract zur Systematischen Literaturanalyse über modulares Produktdesign bei der EMAN 2022
30.07.2021 (Major Revision)	AfB, CSM, IQD	Bewerbung der Umfrage „Business-Smartphones“ über das Netzwerk B.A.U.M. e.V., Full Paper „Circular Economy Living Labs (CELL): Facilitating Product, Service and Business Model Innovations.“, eingereicht beim <i>Journal of Cleaner Production</i>
11.10.2021	IZM, AfB	Live-Schaltung Landingpage „Smartphones länger nutzen <sup>2</sup> “
03.11.2022	IZM, AfB	Filmdreh bei AfB Berlin für Reziprok
16.02.2022	AfB	AfB unterstützt Kampagne „Runder Tisch Reparatur“ für verbesserte Reparaturbedingungen
Veröffentlicht	CSM, IQD	Präsentation und Veröffentlichung von Konferenzpapier zur Shift Umfrage bei der PLATE 2021
Präsentiert	CSM, IQD	Präsentation zur Systematischen Literaturanalyse über modulares Produktdesign bei der NAMA 2021
Veröffentlicht	CSM, IQD	Full Paper „The Success of Modular Product Designs on Repair Activities and User Experience – Evidence from the Smartphone Industry“, beim <i>Journal of Cleaner Production</i>
Präsentiert	CSM, IQD	Präsentation über INaS bei Circular Futures Festival, dabei Akquise von neuen Teilnehmenden
Eingereicht	CSM, IQD	Abstract zur Systematischen Literaturanalyse über modulares Produktdesign bei der EMAN 2022

<sup>1</sup> Siehe <https://www.youtube.com/watch?v=3Qgkvyp0wQs>

<sup>2</sup> Siehe [https://modest-projekt.de/?page\\_id=602](https://modest-projekt.de/?page_id=602)

Status	Akteur	Beschreibung
Interview	CSM	Mit fluter-Magazin
Veröffentlicht	CSM, IQD	Dokumentation des 3. INaS Workshop
Major Revision	CSM, IQD	Full Paper „Circular Economy Living Labs (CELL): Facilitating Product, Service and Business Model Innovations.“, eingereicht beim <i>Journal of Cleaner Production</i>
01.10.2022 (präsentiert)	IZM, TUB	Bits & Bäume Berlin 2022, Konferenzbeitrag zu „Modulare Designstrategien. Aufzeichnung online verfügbar <sup>1</sup>
16.09.2022	AfB	LinkedIn-Bertrag zur Podiumsdiskussion bei der nachhaltig.digital-Konferenz von B.A.U.M. e.V. und Deutsche Bundesstiftung Umwelt
21.11.2022	AfB	Einladung zum Online-Workshop “Die Relevanz von Software für eine nachhaltige IT-Beschaffung am Beispiel mobiler Endgeräte – Herausforderungen und Lösungsansätze” auf LinkedIn <sup>2</sup>
13.12.2022	IZM/AfB	Workshop Business Phones: Die Relevanz von Software für eine nachhaltige IT-Beschaffung am Beispiel mobiler Endgeräte – Herausforderungen und Lösungsansätze
Veröffentlicht	IQD	Industry Whitepaper „Successfully implementing a circular economy: The Role of innovation, quality standards & digitalisation“
Eingereicht	CSM	Beitrag im TI-Magazin
Präsentation	CSM	MBA Live, Leuphana Universität
Präsentation	SHIFT	Demonstrator wasserdichte Schutzhülle (Internetseite)
Präsentation	SHIFT	Demonstrator Frontkamera (Internetseite)
Präsentation	SHIFT	Demonstrator systemübergreifende Modularität (Internetseite)

Langfassung

## 2.3 Nutzen und geplante Verwertung

Die Ergebnisse des Projektes werden genutzt, um die Verbreitung modularer Geräte am Markt zu erhöhen. Die Ergebnisse hinsichtlich eines zuverlässigen technischen Designs werden in der Weiterentwicklung der Smartphone-Produktentwicklung genutzt, sowohl bei der Weiterentwicklung des Smartphones SHIFT 6m/6mq selbst als auch in der

<sup>1</sup> <https://fahrplan22.bits-und-baeume.org/bitsundbaeume/talk/MSKSMD/>

<sup>2</sup> [https://www.linkedin.com/posts/christoph-teusch-8942b5178\\_nachhaltige-it-beschaffung-relevanz-von-activity-7006569787665358849-gXB/](https://www.linkedin.com/posts/christoph-teusch-8942b5178_nachhaltige-it-beschaffung-relevanz-von-activity-7006569787665358849-gXB/)

Entwicklung einzelner (Upgrade)-Module. Die Ergebnisse der Geschäftsmodellgestaltung werden von SHIFT, Vertriebspartnern und auch zirkulären Dienstleistern wie AfB genutzt, um wirtschaftliche Potentiale der Modularisierungsstrategien umzusetzen und damit Impulse für eine längere Nutzungsdauer von Smartphones zu setzen. Dabei können die Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung als auch der Nutzertypisierung sowie der Entwicklung von Nutzungsszenarien auf andere Produktgruppen innerhalb der Kreislaufwirtschaft angepasst und übertragen werden. Die in AP3 angewandten Methoden können wichtige Impulse für die partizipative Markt- und Konsumentenforschung im Bereich Technologie/IKT geben und die Entwicklung integrativer kreislaufwirtschaftlicher Strategien befördern. Im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen in internationalen Fachzeitschriften werden die Ergebnisse für die Weiterentwicklung des Diskurses zu einem Übergang einer effektiven Kreislaufwirtschaft zur Verfügung gestellt.

### 2.3.1 Fraunhofer IZM

Es zeigte sich im Projekt, dass technische Potentiale keine Selbstläufer sind, Geschäftsmodelle gut orchestriert werden müssen um tatsächlich eine längere Nutzung zu erreichen. Viele solcher zirkulären Geschäftsmodelle wie Verleih und Refurbishment sind bereits am Markt vorhanden, aber deren reale Wirkung noch nicht nachgewiesen. Aufbauend auf den Arbeiten in MoDeSt bereitet das Fraunhofer IZM daher gerade mit Circularity e.V. und Systemiq einen Projektantrag zur Entwicklung einer Methodik vor, um den realen Einfluss solcher Geschäftsmodelle auf die Nutzungsdauer und die Umweltwirkung unter Einbeziehung realer Unternehmensdaten zu bewerten. Mehrere Unternehmen der Branche (z.B. reBuy, Telekom, Grover) haben ihre Unterstützung bereits zugesagt.

Eine wissenschaftliche Verwertung findet in der Einbringung der Erkenntnisse und Methodiken in neue Projektanträge, wissenschaftliche Veröffentlichungen und Projekte für Industriekunden zur Unterstützung nachhaltigerer Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung statt. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung, die bereits nach Projektende angestoßen wurde, ist ein Konferenzpaper zur CARE Electronics in Wien eingereicht und angenommen worden. Dies wird auf der Konferenz im Mai im Rahmen eines Vortrags vorgestellt, das dazugehörige Paper im Anschluss veröffentlicht: Proske, M.; Poppe, E.; Nissen, N.; Schneider-Ramelow, M.: Modular smartphones – Potentials and Limits, CARE Electronics, Wien, Mai 2022

### 2.3.2 TU Berlin

Die Untersuchungen der Studie haben gezeigt, dass hochintegrierte technologische Designs derzeit das vorherrschende Designkonzept von Smartphone sind und nicht austauschbare oder modulare Designs bisher eine geringe Relevanz im Gesamtmarkt haben (vgl. Proske et al. 2020, 2021, Hielscher et al., 2021), obwohl die im Projekt entwickelte Nutzer:innentypologie darauf hinweist, dass Nutzungsmuster sehr viel diverser sind als Nutzungsobjekte. Smartphones haben sich dahingehend entwickelt, dass sie immer mehr Funktionen von Alltagsgegenständen in einem Gerät integrieren und damit potenziell die Möglichkeiten bieten andere Geräte zu ersetzen. Trotz der gewonnenen Flexibilität von Nutzer:innen mit nur einem Gerät verschiedenen Anforderungen im Alltag gerecht zu werden, bleibt die Gesamtnutzungsdauer von Smartphones bisher gering. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass der überwiegende Teil der Geräte nicht aufgrund eines technischen Defekts gegen ein neues Smartphone ersetzt werden. Die geringe Nutzungsdauern und der vorzeitige Austausch von Smartphone ohne technischen Defekt zeigt, dass deshalb noch große Potentiale zur Verlängerung der Produktnutzungsdauern sowohl bei der Regulation der Neuerscheinungen

von vermeintlich innovativen Neugeräten liegt als auch bei der Unterstützung von Nutzer:innen beim Behalten ihres aktuellen Geräts. Die Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen zeigen, dass anreizorientierte Maßnahmen oder reine Informationsvermittlung nicht ausreichen, um Nutzer:innen zu einer nachhaltigeren Nutzung ihrer Smartphone zu bewegen. Insbesondere die qualitativen Erhebungen zeigen, dass sehr hohe Erwartungen an die Funktionalität und ständige Verfügbarkeit von Smartphones bestehen und deshalb auch leichtere Funktionseinschränkungen jenseits konkreter Defekte zum Anlass genommen werden können, um auf ein neues Gerät umzusteigen. Deshalb bestehen weiterhin hohe Anforderungen an das Ökodesign (z.B. Verfügbarkeit und Zugang zu Ersatzteilen, Verfügbarkeit von Softwareupdates, Anforderung an Funktionalität und Kompatibilität der Geräte). Die im Rahmen des Projekts durchgeführten technischen Analysen (Fraunhofer IZM) und Nutzer:innenbefragungen zeigen jedenfalls deutlich den weiteren politischen Handlungsbedarf auf technischer Ebene, um den forcierten Klima- und Kreislaufwirtschaftsziele gerecht zu werden.

Im Rahmen des Projekts konnten wichtige Referenzdaten zu den aktuellen Nutzungserwartungen und -praktiken von Smartphones generiert werden, die vielfältig in anderen Projekten und für andere Forschungszwecke weiterverwertet werden können. Hierzu zählen insbesondere laufende Forschungsprojekte im Kooperationsverbund der TU Berlin und Fraunhofer IZM zu den Ursachen, Wirkungen und Maßnahmen gegen vorzeitige Obsoleszenz von elektronischen Produkten und Maßnahmen zur Steigerung der Reparaturfähigkeit von Produkten.

Die TU Berlin und Fraunhofer IZM beforschen derzeit in zwei Projekten die Anforderungen und Einführung des vom Deutschen BMUV<sup>1</sup> und der Europäischen Kommission<sup>2</sup> angestrebten Digitalen Produktpasses für elektronische Geräte. In einem vom UBA finanzierten Forschungsvorhaben wird beispielweise untersucht, welche Produktinformationen für Verbraucher:innen besonders relevant für nachhaltige Konsumententscheidungen sind.<sup>3</sup> Im Rahmen des EU-Projektes Cirpass koordiniert das Fraunhofer IZM Akteure aus dem Bereich der Elektronik und kann die Erkenntnisse aus der Nutzer:innenforschung einfließen lassen.

Neben den laufenden Forschungsprojekten sind die Mitglieder des Forschungsteams in verschiedene Aktivitäten und Netzwerken zur Förderung der Reparaturfähigkeiten von Produkten involviert und können die Ergebnisse der Nutzer:innenforschung in die laufende Arbeit einfließen lassen.

### 2.3.3 CSM

Die Ergebnisse (siehe Ergebnisbericht) werden in zukünftigen Lehrveranstaltungen und Projekten sowie in zukünftiger Forschung integriert und weiterentwickelt.

Ab Sommer-Semester 2023 bietet das CSM ein neues Zertifikats-Programm, unter anderem zum zirkulären Wirtschaften, an. In diesem wird ein Modul zu Geschäftsmodell-

<sup>1</sup> <https://www.bmuv.de/faqs/qa-umweltpolitische-digitalagenda>

<sup>2</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_22\\_2013](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_2013)

<sup>3</sup> UBA Projekt: „Produktinformation 4.0“ Weiterentwicklung der Informationsanforderungen an Produkte und digitale Umsetzung am Beispiel energieverbrauchsrelevanter Produkte und Textilien (ReFoPlan FKZ 3720 36 301 0)

entwicklung durchgeführt. Ein Bestandteil der Lehre wird eine Case Study zur Smartphone Industrie und Smartphones sein, bei der auch die Ergebnisse aus dem MoDeSt Projekt verankert werden.

-----  
Langfassung  
-----

Außerdem wurde ein fortlaufender Projektantrag bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gemeinsam vom CSM und IQD gestellt, um den Innovationsverbund Nachhaltige Smartphones (INaS) weiterzuführen und neue Dienstleistungssysteme und Geschäftsmodelle für zirkuläre Smartphones zu entwickeln. Zudem soll der begonnene Bericht / die Broschüre zu allen Ergebnissen des INaS fertiggestellt werden. Dieser kann dann zur Verbreitung der Ergebnisse verwendet werden.

Bezüglich fortlaufender Forschung soll die systematische Literaturanalyse zu modularem Produktdesign (Amend et al. 2020) finalisiert und bei einem Journal eingereicht werden. Außerdem soll aus der Bevölkerungsumfrage ein weiterer Artikel zum Reparaturverhalten von Smartphones sowie der Einfluss von Modularisierung bzw. Reparierbarkeit anhand von iFixit Scores. Im Vergleich zu dem bereits veröffentlichten Artikel (siehe Amend et al., 2022) soll sich nicht nur auf einen Smartphonehersteller sondern auf alle bezogen werden.

Um die Barrieren zu wissenschaftlichen Erkenntnissen zu reduzieren, wurden in einem anderen Projekt an der Leuphana Universität zwei GIFs erstellt, die die Modularisierung von Smartphones visualisieren. Diese können über Webseiten wie auch soziale Medien geteilt werden.

### 2.3.4 SHIFT

Resultierend aus der in AP5 durchgeführten Demonstratorentwicklung zur Weiterentwicklung der Modularität soll für zukünftig zu entwickelnde SHIFTPHONES geprüft werden, in wie weit diese bei der Neuentwicklung mit in das Design integriert werden können.

Im Hinblick auf die Realisierung einer wasserdichten Schutzhülle in Verbindung mit Qi Ladefunktion wird geprüft, in wie weit diese sich auf Grundlage des SHIFT5me durchgeführten Demonstrators wirtschaftlich sinnvoll erscheint. Sollte dieser als reales Produkt umgesetzt werden, ist davon auszugehen, dass dieser aufgrund hoher Ladeverluste und damit einhergehenden Abwärme ohne Qi Ladestruktur vorgesehen wird, um einerseits möglichen Beeinträchtigungen des Smartphones (insbesondere Überhitzung des Akkus) bei warmen Umgebungsbedingungen sowie andererseits eine Vermeidung der hohen Ladeverluste zu vermeiden. Auf Grundlage der Demonstrator-Entwicklung einer nachgerüsteten IP-Schutzhülle sollen die daraus gewonnenen Erkenntnisse in die Entwicklung eines IP-Housings fließen. So kann ex ante ein Wasser- und/oder Staubeintrag in ein Neugerät vermieden werden und so mögliche Schädigungen minimiert werden.

Perspektivisch wird die reale Umsetzung der Frontkamera in ein neues Smartphone bei gleichzeitiger Upgrademöglichkeit in ein bestehendes Smartphone geprüft. Da die Realisierung eines neuen Smartphones frühestens in Q4 2023 geplant ist, realistischerweise Q1 2024, ist unklar, ob die im vorliegenden Projekt angedachte Frontkamera zum Einsatz kommen wird. Um eine möglichst lange Ersatzteilversorgung zu gewährleisten, ist von entscheidender Bedeutung, auf ein hochwertiges möglichst aktuelles Modell zuzugreifen, bei dem eine möglichst lange Ersatzteilversorgung gesichert ist.

Bei der Entwicklung neuer Smartphone-Projekte soll zukünftig geprüft werden, ob neben Frontkamera und Akku auch andere Bauteile standardisiert werden können, um so

zu einer weiteren Verschlankung der Lieferkette der SHIFT GmbH über alle SHIFT-Produkte hinweg beizutragen.

-----  
Langfassung  
-----

Die Ergebnisse zur Entwicklung einer systemübergreifenden Modularität zeigen zum einen auf, dass dieses Modell zu einer Verminderung redundanter teurer Chiptechnologie beitragen kann und so nicht nur im Consumer-Bereich, sondern auch im Bereich öffentlicher Einrichtungen sowie als Business-IKT mit dem Bedarf hoher Mobilität sich als vorteilhaft herausstellen kann.

Andererseits wird aber gleichermaßen deutlich, dass hierfür insbesondere im Bereich Chipentwicklung sowie Realisierung latenzarmer drahtloser Kommunikation noch Entwicklungsbedarf besteht. Vor diesem Hintergrund werden zurzeit weitere Kooperationen für Forschungsprojekte angestoßen, um diese Lücke zu schließen.

### 2.3.5 AfB

Die Untersuchungen im Rahmen des Projektes zeigen, dass die Gesamtnutzungsdauer von Smartphones aus einer Vielzahl von Gründen zu gering ist. Deshalb bestehen nach wie vor große Potentiale hinsichtlich der Erweiterung der Produktnutzungsdauern u.a. in dem Nutzungsverhalten, Nachnutzungskonzepten, im Produktdesign, Geschäftsmodellen sowie in der Regulatorik. AfB konnte z.B. im Rahmen der Technikanalyse in AP1 Potenziale und Schwachstellen von linearen und modularen Smartphones erheben. In Workshops mit verantwortlichen IT-Einkäufer:innen wurde zudem eruiert, welche Relevanz Modularität bei Smartphones als auch Software neben den Anforderungen an die Hardware hat.

Perspektivisch wird AfB die Ergebnisse des Projektes u.a. in seinen verschiedenen Aktivitäten und Netzwerken (z.B. JARO e.V., Runder Tisch Reparatur, nachhaltig.digital) einbringen, um die Thematik einer breiteren Zielgruppe zugänglich zu machen um die Nutzungsdauer zu maximieren. AfB ist bspw. Mitglied des Verbands „European Refurbishment Association“ (kurz: EUREFAS), die sich auf europäischer Ebene für das Recht auf Reparatur sowie kreislaufwirtschaftsfähige Modelle im IT- und Smartphone-Segment einsetzen.

Auf deutscher Ebene hat AfB für das Projekt MoDeSt an den DIN ONE Normungsaktivitäten zur Circular Economy mitgewirkt und Projektergebnisse einfließen lassen. Die entsprechende Normungsroadmap „Wegweiser für die Normung und Standardisierung der Circular Economy“ wurde Anfang 2023 veröffentlicht.

Die Ergebnisverwertung fand und findet auch innerhalb der AfB statt: Es wurde eine neugeschaffene zentralisierte Smartphone-Aufbereitung für eine verbesserte Nutzungs- und Lebensdauererlängerung aufgebaut und Impulse aus dem Projekt transferiert. Zudem wurde durch das Projekt angeregt, ob neben refurbished Smartphones zukünftig auch modulare Smartphones im Verkauf & Service angeboten werden sollten.

AfB wird sich weiterhin aktiv im INaS-Netzwerk einbringen und bleibt mit den anderen Forschungspartnern über das Projektende hinaus in intensivem Austausch, bspw. durch die Netzwerke Circularity oder in einem gemeinsamen Folgeprojekt mit dem Fraunhofer IZM namens „scope3transparent - Reduzierung von Treibhausgasemissionen in vorgelagerten Lieferketten und durch geändertes Kauf- und Konsumverhalten in Wirtschaft und Gesellschaft.“ mit Fokussierung auf die Elektro- und IT-Branche.

## 2.4 Fortschritte seitens Dritter

### 2.4.1 Literaturverzeichnis wissenschaftlich-technischer Stand

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf eine zusammenfassende Darstellung der aktuellen Smartphone Forschung im Kontext nachhaltiger Produktionsweisen und Konsumpraktiken und ist ein Auszug aus dem Ergebnisbericht zur Nutzer:innenforschung (AP3) des Projektpartners TU Berlin.

Das Smartphone ist aufgrund seiner weltweiten Verbreitung und seiner zunehmenden Bedeutung im Alltag der Menschen in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der Nachhaltigkeitsdiskussion gerückt. Aus Umweltsicht sind Smartphones von besonderer Relevanz, da sie eine Vielzahl seltener Elemente und Rohstoffe enthalten, die bisher nur sehr schwer oder gar nicht durch Recycling- und Verwertungsprozesse am Ende des Produktlebens zurückgewonnen werden können (Bookhagen et al. 2020). Im Vergleich zu deutlich größeren Elektronikprodukten wie Bildschirmen oder Haushaltsgeräten hat das Smartphone zwar ein relativ gutes Umweltprofil, dieses wird jedoch durch die kurze Nutzungsdauer in der Praxis schnell relativiert. Smartphones werden heute im Durchschnitt nur etwa 3,3 Jahre genutzt und danach in der Regel durch ein neues Gerät ersetzt (Poppe et al. 2022; Jaeger-Erben et al. 2021). Zu den Forschungsschwerpunkten gehören daher insbesondere Strategien zur Nutzungs- und Lebensdauererweiterung von Smartphones, die in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus von Studien gerückt sind. Hierzu zählen insbesondere die Arbeit von Tröger et al. (2017), eine umfangreiche Studie zu Fragen der geplanten Obsoleszenz im Auftrag des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2016 (Prakash et al. 2016), eine Verbraucherbefragung von Jaeger-Erben et al. (2017) und nicht zuletzt eine vorbereitende Studie zur Einführung einer EU-Ökodesign-Richtlinie für Smartphones von Schischke et al. (EC 2021), aus der bereits ein Richtlinienentwurf (EC 2022) hervorgegangen ist. In einem EU-weiten Forschungsprojekt werden derzeit auch die Ursachen für die vorzeitige Obsoleszenz von Produkten umfassend untersucht (Prompt 2022). In diesem Zusammenhang sind zwei umfangreiche Studien entstanden, die sich zum einen mit nutzer- und marktbezogenen Faktoren für vorzeitige Obsoleszenz (Van den Berge et al. 2022) und zum anderen mit gerätebezogenen Designaspekten (Dangal et al. 2022) beschäftigen. Ein Überblick über aktuelle Nutzungsdauern findet sich in einem statistischen Dossier von Poppe et al. (2022). Die wichtigsten Ergebnisse der oben genannten Studien sind u.a:

- Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones beträgt im Jahr 2021 ca. 3-3,3 Jahre (Duthoit 2022; Poppe et al. 2022; EC 2021).
- Die erwartete Soll-Haltbarkeit von Smartphones beträgt im Jahr 2021 durchschnittlich 4,4 Jahre (Poppe et al. 2022). Über 60% der Nutzer:innen erwarten eine Soll-Haltbarkeit unter 5 Jahren (Van den Berge et al. 2022:39);
- Insgesamt 30% der Nutzer:innen erwarten ihr Smartphone kürzer zu nutzen als die erwartete Soll-Haltbarkeit (Van den Berge et al. 2022:31);
- Die Austauschzyklen und Nutzungsdauern haben sich in den letzten 10 Jahre von ca. 2-2.5 Jahren in 2009-2012 (Prakash et al. 2016:120) zu 3,3 Jahren im Jahr 2021 (Duthoit 2022; Poppe et al. 2022; EC 2021) verlängert;
- Die Reparaturquote liegt derzeit bei ca. 52% im Fall eines technischen Defektes (Poppe et al. 2022, Van den Berge et al. 2022);
- Nur 40% der Geräte werden aufgrund eines technischen Defekts ausgetauscht. Vor allen der Wunsch nach einem neuen Gerät, mit besserer Leistung wird in

der Praxis als häufiger Kaufgrund für ein neues Gerät genannt (Jaeger-Erben et al. 2021; Van den Berge et al. 2022, Poppe et al. 2022).

-----  
Langfassung  
-----

Als mögliche Strategien zur Nutzungs- und Lebensdauererlängerung wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von Ursachen und Maßnahmen aus Sicht der Produktion und der Verbraucher:innen aufgezeigt. Zu den produktionsbezogenen Aspekten zählen insbesondere Designaspekte, die eine möglichst hohe Haltbarkeit und Lebensdauer der Geräte versprechen. In diesem Zusammenhang wird insbesondere ein möglichst modularer Aufbau der Geräte genannt, der zum einen die einfache Reparatur und den Austausch defekter Komponenten, zum anderen in bestimmten Fällen auch die Aufrüstung einzelner Komponenten ermöglichen soll (Schischke et al. 2019; Amend et al. 2022; Schischke et al. 2017; Dangal et al. 2022). Modulare Designstrategien beschränken sich nicht nur auf Hardwarekomponenten, sondern beziehen sich auch auf Softwareaspekte. Studien zeigen, dass softwarebezogene Aspekte wie Aufrüstbarkeit, Interoperabilität und Kompatibilität eine immer wichtigere Rolle für die langfristige Nutzbarkeit von Smartphones spielen (Poppe et al. 2021; Poppe et al. 2022:18). Neben Designaspekten wird auch die Rolle der Modularität in der Wertschöpfungskette und in den Geschäftsmodellen der Hersteller diskutiert. Revellio et al. (2020) können eine Reihe von Zielkonflikten aufzeigen, die mit modularen Designstrategien einhergehen. Die Autor:innen unterscheiden dabei zwischen der Modularisierung innerhalb der Produktion und der Modularisierung von Produkten. Wie gezeigt wird, hat insbesondere die zunehmende Modularisierung der Fertigungs- und Produktionskette zu einer Reihe von Prozessinnovationen geführt, die wesentlich zum Wachstum und zur Kostensenkung im Markt beigetragen haben. Dazu gehört beispielsweise die Standardisierung von Schnittstellen und Komponenten, die eine effizientere und standardisierte Produktion ermöglicht. Die Modularisierung der Geräte selbst stagniert hingegen oder ist aufgrund der zunehmenden Integration von elektronischen Komponenten sogar rückläufig (Proske et al. 2020). Proske et al. (2020) und Schischke et al. (2022) konnten in Fallstudien zudem zeigen, dass die Realisierung von Umweltvorteilen durch eine stärkere Modularisierung von Produkten in den meisten Fällen eine ökologische Anfangsinvestition erfordert, die zu einem höheren Materialaufwand führt. Modulare Komponenten müssen z.B. durch robuste und zuverlässige Verbindungstechniken immer wieder miteinander verbunden werden können, damit spätere Umweltvorteile (engl.: environmental payback) durch Reparaturen und längere Produktlebensdauern überhaupt realisiert werden können. Werden diese ökologischen Potenziale von den Nutzer:innen jedoch nicht genutzt und Geräte vorzeitig entsorgt. Aus Umweltsicht stellt sich deshalb die Frage, warum überhaupt und in welchem Maß modular gebaut werden soll, damit Nutzer:innen in der Praxis überhaupt Umweltvorteile erzielen können. Der Nutzer:innenforschung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil die ökologischen Potenziale der Modularität nur durch das richtige Nutzungsverhalten voll ausgeschöpft werden können. Der überwiegende Teil der Fachliteratur zu Modularität zielt jedoch häufig auf Design- und produktionsbezogene Maßnahmen (vgl. Bieser et al., 2022:3) und diskutiert verbraucherorientierte Interventionsstrategien bisher nur am Rande.

In der technikhistorischen Betrachtung wird deutlich, dass sich in den letzten Jahrzehnten immer stärker Smartphone Modelle auf dem Markt durchgesetzt haben, die sich durch eine hohe Integration der elektronischen Komponenten auszeichnen (Proske et al., 2020). Die Gründe hierfür sind vielfältig und können an dieser Stelle nicht eingehender

betrachtet werden (ebd.). Zentral ist jedoch die Feststellung, dass der Wunsch nach mehr Modularität derzeit konträr zu den bisherigen Markttrends verläuft und auch die weitere Technikentwicklung nicht auf eine vollständige Modularisierung aller Hardwarekomponenten hoffen lässt, die durch Nutzer:innen einfach ausgetauscht werden können. Die bisherigen Forschungsarbeiten zeigen jedenfalls, dass die Nachhaltigkeitspotenziale von Modularität auf Produkt- und Nutzer:innenebene sehr viel differenzierter betrachtet werden müssen und auch die möglichen Vorteile von mehr Integration und weniger Modularität in der Praxis stärker gegenübergestellt werden müssen.

## Literatur

- Bieser, J. C. T., Blumer, Y., Burkhalter, L., Itten, R., Jobin, M., & Hilty, L. M. (2022). Consumer-oriented interventions to extend smartphones' service lifetime. *Cleaner and Responsible Consumption*, 7, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2022.100074>
- Dangal, S., Balkenende, R., Faludi, J., Eisenriegler, S., Reichl, H., Haas, J., Neumerkel, A., Wild, J., Depypere, M., & Opsomer, T. (2022). Design for physical durability, diagnosis, maintenance, and repair. (Deliverable No. 4.3 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). <https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/PROMPT-D4.3-TEXT-APPENDIX.pdf>
- Dao, T., Cooper, T., & Watkins, M. (2020). Exploratory insights into the "consumer repair journey" and opportunities for sustainable business innovation. *Electronics Goes Green 2020+ (EGG)*, 842.
- Magnier, L. and R. Mugge (2022): Replaced too soon? An exploration of Western European consumers' replacement of electronic products, *Resources, Conservation and Recycling* 185, p. 106448. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106448.
- Laitala, K., Klepp, I. G., Haugrønning, V., Throne-Holst, H., & Strandbakken, P. (2021). Increasing repair of household appliances, mobile phones and clothing: Experiences from consumers and the repair industry. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125349>
- Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit: Lange Nutzungsdauern zwischen Anspruch und Wirklichkeit Erste Ergebnisse der Befragung 2019, online: <https://challengesobsolescence.info/befragung-2019/> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Proske, Marina; Sánchez, David; Clemm, Christian; Baur, Sarah-Jane (2020): Life Cycle Assessment of the Fairphone 3, Berlin
- Proske, M.; Jaeger-Erben, M.: Decreasing obsolescence with modular smartphones? An interdisciplinary perspective on lifecycles, *Journal of Cleaner Production*, 223 (2019) 57-66, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.116>
- Sánchez, David; Proske, Marina; Baur, Sarah-Jane (2022): Life Cycle Assessment of the Fairphone 4, Berlin
- Schischke, K., Proske, M., Nissen, N. F., & Schneider-Ramelow, M. (2019). Impact of modularity as a circular design strategy on materials use for smart mobile devices. *MRS Energy & Sustainability*, 6, 1–16. <https://doi.org/10.1557/mre.2019.17>

Schischke, Karsten, Clemm, Christian; Berwald, Anton; Proske, Marina; Dimitrova, Ger-gana; Reinhold, Julia; Prewitz, Carolin; Durand, Antoine; Beckert, Bernd (2021): Ecode-sign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets. Tech. rep. Euro-pean Commission

-----  
Langfassung  
-----

Van den Berge, R., Ramos, B., Magnier, L., & Thyssen, T. (2022). Premature replacement of well-functioning products and choice for replacement over repair (Deliverable No. 5.2 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). [https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2\\_TUD\\_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf](https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2_TUD_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf)

Wertgarantie (2020): Smartphone-Reparatur-Studie 2020, online: [https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020\\_de.pdf](https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020_de.pdf)

## 2.4.2 Fortschritt an anderen Stellen

Im Laufe der Forschung haben sich Änderungen auf regulatorischer und gesetzgeberischer Ebene ergeben, die insbesondere im Zusammenhang mit der Verabschiedung des zweiten Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft stehen und einen Einfluss auf künftige Anforderungen an das Ökodesign von Produkten haben.

Der Zweite EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft - für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa wurde von der Europäischen Kommission im März 2020 als Teil des Europäischen Grünen Deals angenommen.<sup>1</sup> Es soll weit über Anforderungen an die Abfallwirtschaft hinausgehen und am Anfang der Produktionskette, beim Produktdesign, ansetzen. Dies soll Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Aufrüstbarkeit und letztlich auch die Wiederverwertung von Rohstoffen ermöglichen, was bei heutigen Produkten oft nicht möglich ist. Anforderungen an Energieeffizienz und Schadstofffreiheit werden verstärkt.

Im Zuge dessen, hat die Europäische Kommission am 30. März 2022 einen Vorschlag für eine Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte vorgelegt. Die in Fachkreisen abgekürzte ERSR (engl., Ecodesign Requirements for Sustainable Products Regulation) zielt darauf ab, die negativen Umweltauswirkungen des Produktlebenszyklus zu verringern und das Funktionieren des Binnenmarkts zu verbessern.<sup>2</sup> Der Vorschlag erweitert den Anwendungsbereich der Ökodesign-Richtlinie auf eine breite Palette von Produkten und ermöglicht die Festlegung einer Reihe von Anforderungen,, die sich auf Aspekte wie die Langlebigkeit, die Reparierbarkeit, die Wiederverwendbarkeit, die Recyclingfähigkeit und den Einsatz von recycelten Materialien beziehen. Hierzu zählt auch die geplante Einführung eines

<sup>1</sup> [EUR-Lex - 52020DC0098 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

<sup>2</sup> European Commission (EC) (2022). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC (COM(2022) 142 final, (2022)). [https://ec.europa.eu/environment/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://ec.europa.eu/environment/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation_en)

Digitalen Produktpasses, der alle wichtigen lebenszyklusbezogenen Informationen eines Produktes enthält (z.B. Materialzusammensetzung, Lebensdauer, Reparaturhistorie etc.).

-----  
Langfassung  
-----

Die Europäische Kommission hat auch einen Verordnungsentwurf veröffentlicht, der spezifische Ökodesign-Anforderungen für Mobiltelefone, schnurlose Telefone und Tablet-PCs festlegt. Diese Anforderungen beziehen sich auf das Design für Zuverlässigkeit, einschließlich der Widerstandsfähigkeit gegen versehentliches Fallenlassen, Kratzfestigkeit, Schutz vor Feuchtigkeit und Staub sowie Schutz vor Überhitzung. Sie betreffen auch die Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Reparaturdiensten sowie die Bereitstellung von Informationen über die Reparierbarkeit und den Batteriewechsel. Darüber hinaus werden Anforderungen an den Energieverbrauch im Standby-Modus und im Netzausfall sowie an die Wiederverwertbarkeit der Materialien gestellt.<sup>1</sup>

Am 22. März 2023 hat die Europäische Kommission einen Vorschlag für gemeinsame Regeln zur Förderung der Reparatur von Produkten vorgelegt.<sup>2</sup> Ziel des Vorschlags ist es, die Reparatur und Wiederverwendung von Waren innerhalb und außerhalb der gesetzlichen Gewährleistungsfrist zu fördern. Zu diesem Zweck werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, u. a. der Vorrang der Reparatur bei der Beseitigung von Sachmängeln, die Verpflichtung der Hersteller zur Reparatur von Waren außerhalb der gesetzlichen Gewährleistung, Informationen über die Reparierbarkeit und Haltbarkeit von Waren, eine Online-Plattform für Reparaturdienste und ein europäischer Standard für Reparaturdienste.

Als wichtige Grundlage für die weitere Standardisierung der Kreislaufwirtschaft wurde in einem breiten Beteiligungsprozess von über 550 internationalen Expert:innen aus verschiedenen Bereichen eine Normungsroadmap erarbeitet und im Januar 2023 veröffentlicht.<sup>3</sup> Die Normungsroadmap Circular Economy ist ein gemeinsames Projekt von DIN, DKE und VDI, das einen Überblick über den Status Quo der Normung und Standardisierung im Bereich der zirkulären Wirtschaft gibt. Die Roadmap beschreibt die Anforderungen und Herausforderungen für sieben Schwerpunktthemen, die sich am Circular Economy Action Plan der EU-Kommission orientieren, und formuliert konkrete Handlungsbedarfe für zukünftige Normen und Standards. Die Roadmap soll den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft beschleunigen und damit zur Erreichung der Klimaziele beitragen.

## 2.5 Veröffentlichungen des Projektes

Amend, C., Revellio, F., Schaltegger, S., & Hansen, E. G. (2020). Modularity, Design, and Circularity. A Review. Proceedings of the IS4CE2020 Conference of the International Society for the Circular Economy, July.

<sup>1</sup> European Commission (EC) (2022). Draft ecodesign requirements for mobile phones, cordless phones and slate tablets

<sup>2</sup> European Commission (EC) (March 22, 2023). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on common rules promoting the repair of goods and amending Regulation (EU) 2017/2394, Directives (EU) 2019/771 and (EU) 2020/1828. [https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM\\_2023\\_155\\_1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v6.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM_2023_155_1_EN_ACT_part1_v6.pdf)

<sup>3</sup> DIN e. V., Normungsroadmap Circular Economy. Wegweiser für die Normung und Standardisierung der Circular Economy (Januar 2023) <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normungsroadmap-circular-economy>

Amend, C.; Revellio, F.; Tenner, I.; Schaltegger, S. (2022). The potential of modular product design on repair behavior and user experience – Evidence from the smartphone industry. *Journal of Cleaner Production*. 367. 132770. 10.1016/j.jclepro.2022.132770.

Hagenbeck, J.; Norris, S.; Schaltegger, S.; Revellio, F.; Hansen, E. (2020). Business model patterns of sustainability pioneers - Analyzing cases across the smartphone life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 244. 118651. 10.1016/j.jclepro.2019.118651.

Hielscher, S., Jaeger-Erben, M., & Poppe, E. (2020). Modular smartphones and circular design strategies. The shape of things to come? In T. Tudor & C. J.C. Dutra (Hrsg.), *The Routledge Handbook of Waste, Resources and the Circular Economy* (1. Aufl., S. 337–349). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429346347-37>

Hielscher, S., Jaeger-Erben, M., & Poppe, E. (2021): Smartphones within a circular society - investigating potential modular smartphone users. University of Limerick. Conference contribution. <https://hdl.handle.net/10344/10179>

Hipp, T.; Jaeger-Erben, M.; Frick, V. (2021). Nutzungsdauern elektronischer Geräte zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Ergebnisse einer Repräsentativerhebung zu lebensdauerrelevanten sozialen Praktiken von Nutzer:innen in Deutschland.

Jaeger-Erben, M., Frick, V., & Hipp, T. (2021). Why do users (not) repair their devices? A study of the predictors of repair practices. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125382, (10-11). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125382>

Jaeger-Erben, M; Hipp, T.; Frick, V. (2020). How long do we care? The role of consumer practices for sustainable electronics. Konferenz-Paper für die EGG 2020+, Berlin.

Poppe, E.; Jaeger-Erben, M.; Schaefer, A.; Amend, C. (2022). Modest Smartphone Befragung 2021, Statistik Dossier zur Smartphone Nutzung und Reparatur in Deutschland. Technische Universität Berlin. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35908.30080/1>

Proske, Marina (2022): How to address obsolescence in LCA studies – Perspectives on product use-time for a smartphone case study, *Journal of Cleaner Production* 376. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134283.

Proske, M.; Poppe, E.; Jaeger-Erben, M. (2020). The smartphone evolution - an analysis of the design evolution and environmental impact of smartphones, Konferenz-Paper für die EGG 2020+, Berlin.

Revellio, F.; Amend, C.; Hansen, E.; Schaltegger, S. (2020). Business Opportunities for Sustainable Modular Product Designs: Briefing Paper of the 'Innovation Network aiming at Sustainable Smartphones' (INaS).

Revellio, F.; Shi, L.; Hansen, E.; Chertow, M. (2020). Sustainability paradoxes for product modularity: the case of smartphones. Konferenz-Paper für die EGG 2020+, Berlin.

### 3 Literatur

-----  
Literatur  
-----

- Acatech 2021 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (acatech), Circular Economy Initiative Deutschland (CEID), & SYSTEMIQ. (2021). Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials: Report of the Working Group on Circular Business Models, Circular Economy Initiative Deutschland. Final Report. Munich, Germany. Retrieved from <https://en.acatech.de/publication/circular-business-models-overcoming-barriers-unleashing-potentials/> (accessed: 15.9.2021).
- ACEA 2013 ACEA, DIGITALEUROPE, European Portable Battery Association (EP-BA), EPTA, The Federation of the Swiss Watch Industry FH, The Japan Business Council in Europe, LightingEurope, RECHARGE aisbl, TechAmerica Europe: Joint Industry Position Paper on the Interpretation of "Readily Removable" Batteries, Februar 2013, online: [http://www.digitaleurope.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core\\_Download&EntryId=513&PortalId=0&TabId=353](http://www.digitaleurope.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=513&PortalId=0&TabId=353) (abgerufen: 27.11.2015)
- Agrawal 2013 Agrawal, V. V., & Ülkü, S. (2013). The role of modular upgradability as a green design strategy. *Manufacturing and Service Operations Management*, 15(4), 640–648. <https://doi.org/10.1287/msom.1120.0396>
- Amend 2020 Amend, C., Revellio, F., Schaltegger, S., & Hansen, E. G. (2020). Modularity, Design, and Circularity. A Review. *Proceedings of the IS4CE2020 Conference of the International Society for the Circular Economy*, July.
- Amend 2022-a Amend, C., Revellio, F., Tenner, I., & Schaltegger, S. (2022). The potential of modular product design on repair behavior and user experience – Evidence from the smartphone industry. *Journal of Cleaner Production*, 132770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132770>
- Amend 2022-b Amend, Clara; Schaltegger, Stefan; Hansen, Erik; Revellio, Ferdinand (2022): Geschäftsmodelle für die Circular Economy durch Modularisierung von Smartphones, MoDeSt-Bericht
- Ametsreiter 2016 Ametsreiter, Hannes: Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends, Bitkom, 2016
- Ametsreiter 2017 Ametsreiter, Hannes: Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends, Bitkom, 2017
- Ametsreiter 2019 Ametsreiter, Hannes: Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends, Bitkom, 2019
- Ametsreiter 2020 Ametsreiter, Hannes: Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends, Bitkom, 2020
- App brain o.d. -b AppBrain: Popular Android phones and tablets in Germany. online: <https://www.appbrain.com/stats/top-android-phones-tablets-by-country?country=DE> (abgerufen: 25.05.2020)
- AppBrain o.d. -a AppBrain: Top Android OS versions nach AppBrain: <https://www.appbrain.com/stats/top-android-sdk-versions> (abgerufen: 25.05.2020)
- Apple 2020 Apple Support: iPhone – Batterie und Leistung, online: <https://support.apple.com/de-de/HT208387> (abgerufen: 27.03.2020)

- Apple 2022 Apple (2020). Product Environmental Report, Several Reports on Individual iPhones. url: <https://www.apple.com/environment/>.
- Apple 2023 Apple (2023) Environmental Product Reports, online: <http://www.apple.com/environment/reports/>.
- AUO (2021): Innovating Life, Corporate Social Responsibility Report.
- Bayer 2018 Martin Bayer: Taugt das Smartphone als Desktop-Ersatz?, Computerwoche, 05.06.2018, online: <https://www.computerwoche.de/a/taugt-das-smartphone-als-desktop-ersatz,3545080> (abgerufen: 10.06.2020)
- Bieser 2022 Bieser, J. C. T., Blumer, Y., Burkhalter, L., Itten, R., Jobin, M., & Hilty, L. M. (2022). Consumer-oriented interventions to extend smartphones' service lifetime. *Cleaner and Responsible Consumption*, 7, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2022.100074>
- Bitkom 2023 Bitkom (2023): Presseinformation „Mehr als 38 Milliarden Euro Umsatz rund um Smart-phones“ vom 21. Februar 2023, Berlin: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Smartphone-Markt-Konjunktur-Trends-2023>
- Bitkom 2015 Bitkom 2015: Zukunft der Consumer Electronics – 2015, Bitkom, Deloitte
- Bitkom 2016 Bitkom 2016: Zukunft der Consumer Technology – 2016, Bitkom, Deloitte
- Bitkom 2017 Bitkom 2017: Zukunft der Consumer Technology – 2017, Bitkom, Deloitte
- Bitkom 2018 Bitkom 2018: Zukunft der Consumer Technology – 2018, Bitkom, Deloitte
- Bitkom 2019 Bitkom 2019: Zukunft der Consumer Technology – 2019, Bitkom, Deloitte
- Blauer Engel 2017 BLAUER ENGEL – Das Umweltzeichen: Mobiltelefone, DE-UZ 106, Vergabekriterien, Ausgabe Juli 2017, Version 2
- Blauer Engel o.d. BLAUER ENGEL: Rücknahmesysteme für Mobiltelefone. online: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/gewerbe-kommune/ruecknahmesysteme-fuer-mobiltelefone/ruecknahmesysteme-fuer-mobiltelefone> (abgerufen: 03.06.2020)
- Böckel 2022 Böckel, A., Quaing, J., Weissbrod, I., & Böhm, J. (2022). Mythen der Circular Economy. INDEED Bertelsmann Stiftung.
- Bono 2010 Bono01: Das Ende einer Geißel – Die Telekom und der Verlust des iPhone Exklusivvertriebs. In: MacTechNews, 26.10.10, online: <https://www.mactechnews.de/journals/entry/Das-Ende-einer-Geissel-Die-Telekom-und-der-Verlust-des-iPhone-Exklusivvertriebs-566.html> (abgerufen: 03.06.2020)
- Bonvoisin 2016 Bonvoisin, J., Halstenberg, F., Buchert, T., & Stark, R. (2016). A systematic literature review on modular product design. *Journal of Engineering Design*, 27(7), 488–514. <https://doi.org/10.1080/09544828.2016.1166482>
- Bookhagen 2020 Bookhagen, B., Bastian, D., Buchholz, P., Faulstich, M., Opper, C., Irrgeher, J., Prohaska, T., & Koeberl, C. (2020). Metallic resources in smartphones. *Resources Policy*, 68, 101750. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101750>
- Bundesnetzagentur 2020 Bundesnetzagentur: Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk, online: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer_node.html) (abgerufen: 20.05.2020)

- CCS Insight 2021: Circular Economy for Used Smartphones Worth \$13.3 Billion in 2021, Imogen Tait, <https://www.ccsinsight.com/company-news/circular-economy-for-used-smartphones-worth-13-3-billion-in-2021/> (abgerufen: 31.03.2023)
- Cecere et al. 2014 Cecere, G. & Corrocher, N. & Battaglia, R.: Innovation and competition in the smartphone industry: Is there a dominant design? Telecommunications Policy 2014. 39. 10.1016/j.telpol.2014.07.002.
- CEMIX 2005 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2005, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2006 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2006, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2007 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2007, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2008 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2008, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2009 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2009, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2010 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2010, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2011 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2011, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2012 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2012, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2013 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2013, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2014 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2014, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2015 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2015, gfu, BVT, GfK
- CEMIX 2016 CEMIX: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX) – Januar 2016 – Dezember 2016, gfu, BVT, GfK
- Chouinard, U., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C., Baron, L., & Achiche, S. (2019). Potential of circular economy implementation in the mechatronics industry: An exploratory research. Journal of Cleaner Production, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118014>
- Clement 2020 Clément, Louis-Philippe P.-V.P., Jacquemotte, Quentin E.S.; Hilty, Lorenz (2020): Sources of variation in life cycle assessments of smartphones and tablet computers, Environmental Impact Assessment Review 84, p. 106416. doi: 10.1016/j.eiar.2020.106416.
- Clemm et al. 2016 Clemm, Christian; Sinai, Christoph; Ferkinghoff, Christian; Dethlefs, Nils; Nissen, Nils F.; Lang, Klaus-Dieter: Durability and Cycle Frequency of Smartphone and Tablet Lithium-ion Batteries in the Field. Piscataway, NJ, 2016
- Click repair 2016 click repair: Mehr Transparenz im Handymarkt, 2016
- Click repair 2017 click repair: Smartphone-Studie 2017, online: <https://www.clickrepair.de/imagines/presse/downloads/pdf/clickrepair-smartphone-studie-2017.pdf> (abgerufen: 03.06.2020)

- Click repair 2019 Click repair: Smartphone-Reparatur-Studie 2019, online: <https://www.clickrepair.de/images/presse/downloads/pdf/clickrepair-smartphone-reparatur-studie-2019.pdf> (abgerufen: 20.05.2020)
- Cordella et al. 2020 Mauro Cordella, Felice Alfieri, Javier Sanfelix: Guidance for the Assessment of Material Efficiency: Application to Smartphones, JRC, 2020
- Cordella, Mauro, Alfieri, Felics; Sanfelix, Javier (2021): Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones, Journal of Industrial Ecology 25.2, pp. 448–464. doi: 10.1111/jiec.13119
- Dangal 2022 Dangal, S., Balkenende, R., Faludi, J., Eisenriegler, S., Reichl, H., Haas, J., Neumerkel, A., Wild, J., Depypere, M., & Opsomer, T. (2022). Design for physical durability, diagnosis, maintenance, and repair. (Deliverable No. 4.3 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). <https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/PROMPT-D4.3-TEXT-APPENDIX.pdf>
- Dao 2020 Dao, T., Cooper, T., & Watkins, M. (2020). Exploratory insights into the “consumer repair journey” and opportunities for sustainable business innovation. Electronics Goes Green 2020+ (EGG), 842.
- Das 2015 Das, K., & Posinasetti, N. R. (2015). Addressing environmental concerns in closed loop supply chain design and planning. International Journal of Production Economics, 163, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.012>
- Den Hollander 2017 den Hollander, M. C., Bakker, C., & Hultink, E. J. (2017). Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 517–525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
- Destatis 2019 Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch – Deutschland und Internationales 2019
- Destatis 2019b Statistisches Bundesamt: Ausstattung mit Gebrauchsgütern – Daten aus den Laufenden Wirtschaftsrechnungen (LWR) zur Ausstattung privater Haushalte mit Informationstechnik, 2019 online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabelle/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html> (abgerufen: 12.02.2020)
- Destatis 2020 Statistisches Bundesamt: Preise – Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Jahresbericht 2019, Artikelnummer: 561110419700, 2020, online: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/Publikationen/Downloads-Verbraucherpreise/verbraucherpreisindex-jahresbericht-pdf-5611104.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/Publikationen/Downloads-Verbraucherpreise/verbraucherpreisindex-jahresbericht-pdf-5611104.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt abgerufen am: 10.06.2020)
- DeviceAtlas 2017 DeviceAtlas: The most used smartphone screen resolutions in 2017, online: <https://deviceatlas.com/blog/most-used-smartphone-screen-resolutions-2017> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- DeviceAtlas 2018 DeviceAtlas: 5 facts about the mobile market in Germany, online: <https://deviceatlas.com/blog/5-facts-about-mobile-market-germany> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- DeviceAtlas 2019 DeviceAtlas: Dual SIM smartphone usage – 2019, online: <https://deviceatlas.com/blog/dual-sim-smartphone-usage> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- DeviceAtlas 2019a DeviceAtlas: Most common smartphone RAM by country, 2019, online: <https://deviceatlas.com/blog/most-common-smartphone-ram-by-country#germany> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)

- DeviceAtlas 2019b DeviceAtlas: Most used smartphone screen resolutions in 2019, 2019, online: <https://deviceatlas.com/blog/most-used-smartphone-screen-resolutions#germany> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- DeviceAtlas 2019c DeviceAtlas: How regularly do people upgrade their smartphones?, 2019, online: <https://deviceatlas.com/blog/how-regularly-do-people-upgrade-their-smartphones> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Dewberry 2017 Dewberry, E. L., Sheldrick, L., Sinclair, M., Moreno, M., & Makatsoris, C. (2017). Developing scenarios for product longevity and sufficiency. PLATE (Product Lifetimes And The Environment) Conference Proceedings, 108–113. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-820-4-108>
- Digitaleurope, 2018 Digitaleurope: Memorandum of Understanding on the future common charging solution for smartphones. online: <https://www.digitaleurope.org/re-sources/memorandum-of-understanding-on-the-future-common-charging-solution-for-smartphones/>
- Duthoit 2022 Duthoit, A. (2022). Can 5G Reignite the Smartphone Industry? Euler Hermes, Allianz Research. [https://www.allianz-trade.com/content/dam/onemarketing/aztrade/allianztrade.com/en\\_gl/erd/publications/the-watch/2022\\_02\\_035G.pdf](https://www.allianz-trade.com/content/dam/onemarketing/aztrade/allianztrade.com/en_gl/erd/publications/the-watch/2022_02_035G.pdf)
- Eadicicco 2019 Eadicicco, L.: Evidence is mounting that people are fed up with the sky-high cost of smartphones, and it's sparking a massive change in the industry. In: Business Insider, 12.12.2019. Online: <https://www.businessinsider.com/smartphone-cost-expensive-1000-apple-samsung-google-5g-change-2019-12?r=DE&IR=T> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Ercan et al. 2016 Ercan, M.; Malmodin, J.; Bergmark, P.; Kimfalk, E.; Nilsson, E: Life Cycle Assessment of a Smartphone, ICT4S, Amsterdam, 2016
- EU Commission 2022 EU Commission (Aug. 31, 2022). Draft – COMMISSION REGULATION (EU) .../...of XXX laying down ecodesign requirements for mobile phones, cordless phones and slate tablets pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and amending. Ref. Ares(2022)6031498 - 31/08/2022. Draft. Brussels.
- EU Commission 2023 European Commission (EC) (March 22, 2023). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on common rules promoting the repair of goods and amending Regulation (EU) 2017/2394, Directives (EU) 2019/771 and (EU) 2020/1828. [https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM\\_2023\\_155\\_1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v6.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2023-03/COM_2023_155_1_EN_ACT_part1_v6.pdf)
- EU Commission 2021 European Commission (EC), Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Schischke, K., Clemm, C., Berwald, A. (2021). Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets: final report, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/175802>
- EU Commission 2019 European Commission. (2019). Communication on 'The European Green Deal.' [https://ec.europa.eu/info/files/communication-european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/files/communication-european-green-deal_en)
- Fairphone 2017 -a Fairphone: New camera modules make the Fairphone 2 upgradeable. In: Business Insider, 20.07.2017. Online: <https://www.fairphone.com/de/2017/09/20/new-camera-modules-make-the-fairphone-2-upgradeable/> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)

- Fairphone 2017 -b Fairphone: Why we had to stop supporting the Fairphone 1, 20.07.2017. Online: <https://www.fairphone.com/de/2017/07/20/why-we-had-to-stop-supporting-the-fairphone-1/> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Fairphone o.d. Fairphone: What are the technical specifications of the Fairphone 2? Online: <https://support.fairphone.com/hc/en-us/articles/203478389-What-are-the-technical-specifications-of-the-Fairphone-2-> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Gershenson 1999 Gershenson, J. K., Prasad, G. J., & Allamneni, S. (1999). Modular product design: A life-cycle view. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 3(4), 13–26.
- Gibbs 2017 Gibbs, S.: What is wireless charging and do I need it? In: *The Guardian*, 13.09.2017. Online: <https://www.theguardian.com/technology/2017/sep/13/apple-iphone-8-iphone-x-what-is-wireless-charging-do-i-need-it> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Gu 1997 Gu, P., Hashemian, M., & Sosale, S. (1997). An integrated modular design methodology for life-cycle engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46(1), 71–74. [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60778-1](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60778-1)
- Haas 2018 Haas, Markus: *Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends*, Bitkom, 2018
- Handyreparatur123.de o.d. Handyreparatur123.de: Unterschied zwischen Touchscreen und LCD Reparatur, online: <https://handyreparatur123.de/unterschied-zwischen-touchscreen-und-lcd-reparatur/> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Handyreparaturvergleich.de 2014 handyreparaturvergleich.de: Report über Schadenhäufigkeiten der meistgesuchtesten Smartphone Modelle. 1. Quartal 2014. Online: <https://www.handyreparaturvergleich.de/smartphone-schadenhaeufigkeit-reparaturen-top-modelle.html>
- Hankammer 2018 Hankammer, S., Jiang, R., Kleer, R., & Schymanietz, M. (2018). Are modular and customizable smartphones the future, or doomed to fail? A case study on the introduction of sustainable consumer electronics. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 23, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.11.001>
- Hansen 2020 Hansen, E. G., & Revellio, F. (2020). Circular Value Creation Architectures : Make , ally , buy , or laissez-faire Make , ally , buy , or laissez-faire. June. <https://doi.org/10.1111/jiec.13016>
- Hansen 2009 Hansen, E. G., Grosse-Dunker, F., & Reichwald, R. (2009). Sustainability innovation cube - A framework to evaluate sustainability-oriented innovations. *International Journal of Innovation Management*, 13(4), 683–713. <https://doi.org/10.1142/S1363919609002479>
- Haselton 2019 Haselton, T.: People are holding on to their iPhones for a lot longer, spelling trouble for Apple, says analyst. In: *CNBC*, 08.02.2019. Online: <https://www.cnbc.com/2019/02/08/apple-iphone-replacement-cycle-slowng-toni-sacco-naghi-says.html> (zuletzt abgerufen: 26.05.2020)
- Haucke 2017 Haucke, Franziska Verena: Smartphone-enabled social change: Evidence from the Fairphone case? *Journal of Cleaner Production*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.014>
- HEMIX 2017 HEMIX: Home Electronics Markt Index Deutschland (HEMIX) – Januar 2017 – Dezember 2017, gfu, BVT, GfK
- HEMIX 2018 HEMIX: Home Electronics Markt Index Deutschland (HEMIX) – Januar 2018 – Dezember 2018, gfu, BVT, GfK

- Hipp 2021 Hipp, Tamina, Melanie Jaeger-Erben, and Vivian Frick (2021). Nutzungsdauern elektronischer Geräte zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Ergebnisse einer Repräsentativerhebung zu lebensdauerrelevanten sozialen Praktiken von Nutzer\*innen in Deutschland. Tech. rep. Nachwuchsgruppe Obsoleszenz, OHA-Papers1/2021.
- Huawei 2022 Huawei (2022). Product Environmental Information, Individual Reports on Smartphones. url: <https://consumer.huawei.com/en/support/product-environmental-information/>
- iFixit 2017 iFixit: iPhone X Teardown, 2017, online: <https://de.ifixit.com/Teardown/iPhone+X+Teardown/98975> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- iFixit 2019 iFixit: iPhone 11 Pro Max Teardown, 2019, online: <https://de.ifixit.com/Teardown/iPhone+11+Pro+Max+Teardown/126000> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- iFixit o.d. iFixit: Smartphone Reparierbarkeits-Index, online: <https://de.ifixit.com/smartphone-repairability> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- ITU-T 2019 ITU-T: Mobile cellular data telephone subscriptions worldwide 2000-2018, online: [https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2019/Mobile\\_cellular\\_2000-2018\\_Dec2019.xls](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2019/Mobile_cellular_2000-2018_Dec2019.xls) (zuletzt abgerufen: 20.05.2020)
- Jaeger-Erben & Hipp 2017 Melanie Jaeger-Erben, Tamina Hipp: Letzter Schrei oder langer Atem? Erwartungen und Erfahrungen im Kontext von Langlebigkeit bei Elektronikgeräten, Deskriptive Auswertung einer repräsentativen Online-Befragung in Deutschland in 2017, OHA-Texte 1/2017.
- Jaeger-Erben 2021 Jaeger-Erben, M., Frick, V., & Hipp, T. (2021). Why do users (not) repair their devices? A study of the predictors of repair practices. Journal of Cleaner Production, 286, 125382, (10-11). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125382>
- Kantar Worldpanel 2017 Kantar Worldpanel: AN INCREDIBLE DECADE FOR THE SMARTPHONE: WHAT'S NEXT? The Future of Mobile is in Combining Devices, Content, and Services. 2017
- Kantar Worldpanel o.d. -a Kantar Worldpanel: Android vs iOS (Germany), online: <https://www.kantarworldpanel.com/global/smartphone-os-market-share/> (zuletzt abgerufen: 02.06.2020)
- Kantar Worldpanel o.d. -b Kantar Worldpane: Andoid vs iOS (Germany), online: <https://www.kantarworldpanel.com/global/smartphone-os-market-share/> (zuletzt abgerufen: 02.06.2020)
- Kim 2015 Kim, S., & Moon, S. K. (2015). Assessing and generating modules for product recovery. Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, 2B-2015, 1-9. <https://doi.org/10.1115/DETC201547130>
- Kim 2019 Kim, S., & Moon, S. K. (2019). Eco-modular product architecture identification and assessment for product recovery. Journal of Intelligent Manufacturing, 30(1), 383-403. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1253-7>
- Költzsch 2020 Tobias Költzsch: Faltbare Smartphones: Das klappt noch nicht, golem, 3. Januar 2020, online: <https://www.golem.de/news/faltbare-smartphones-das-klappt-noch-nicht-2001-145673.html> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Koski 2007 Koski & Kretschmer 2007 Koski, H.; Kretschmer, T.: Innovation and Dominant Design in Mobile Telephony, Industry and Innovation, 14:3, 305-324, 2007, DOI: 10.1080/13662710701369262
- Kristianto 2014 Kristianto, Y., & Helo, P. (2014). Product architecture modularity implications for operations economy of green supply chains. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 70(1), 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.06.019>

- Laitala 2021 Laitala, K., Klepp, I. G., Haugrønning, V., Throne-Holst, H., & Strandbakken, P. (2021). Increasing repair of household appliances, mobile phones and clothing: Experiences from consumers and the repair industry. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125349>
- Lowe 2020 Lowe, M.: What is reverse wireless charging and which phones have it? In: Pocket-lint, 11.02.2020. Online: <https://www.pocket-lint.com/phones/news/146874-reverse-wireless-charging-explained-which-phones> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- LTEanbieter o.d. LTEanbieter.info: LTE Anbieter – Übersicht & Informationen zu den 4G-Providern, online: <https://www.lte-anbieter.info/lte-provider/lte-anbieter-uebersicht.php> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Magnier 2022 Magnier, L. and R. Mugge (2022): Replaced too soon? An exploration of Western European consumers' replacement of electronic products, *Resources, Conservation and Recycling* 185, p. 106448. doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106448.
- Manhart 2012 Andreas Manhart, Thomas Riewe, Eva Brommer: PROSA Smartphones – Entwicklung der Vergabekriterien für ein Klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, Study within the project „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“, 2012
- MDK 2015 Project Ara, Module Developers Kit (MDK), Release 0.21 (Alpha), Incl. Reference Materials, March 3, vol. 2015.
- Mesa 2018 Mesa, J. A., Esparragoza, I., & Maury, H. (2018). Development of a metric to assess the complexity of assembly/disassembly tasks in open architecture products. *International Journal of Production Research*, 56(24), 7201–7219. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1398431>
- Mokhtari 2023 Mokhtari, Shahram (2023): Tearing Down the 2023 14" MacBook Pro M2...with Apple's Help, <https://www.ifixit.com/News/71442/tearing-down-the-14-macbook-pro-with-apples-help>
- Motorola Support o.d. Motorola Support: Moto Mods General Information. Online: <https://support.motorola.com/anz/en/solution/ms111541> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Mühlroth 2018 Mühlroth, A.: Diese Smartphones haben noch austauschbare Akkus, 05.01.2018 in: Techbook, online: <https://www.techbook.de/mobile/android/smartphones-austauschbar-akku> (zuletzt abgerufen: 03.06.2020)
- Ng 2019 Ng, A.: Smartphone users are waiting longer before upgrading — here's why. In: CNBC, 16.05.2019. Online: <https://www.cnbc.com/2019/05/17/smartphone-users-are-waiting-longer-before-upgrading-heres-why.html> (zuletzt abgerufen: 26.05.2020)
- Prakash 2016 Prakash, S.; Dehoust, G.; Gsell, M.; Schleicher, T.: Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. Umweltbundesamt, ISSN 1862-4804. Dessau-Roßlau 2016.
- OHA 2019 Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit: Lange Nutzungsdauern zwischen Anspruch und Wirklichkeit – Erste Ergebnisse der Befragung 2019, online: <https://challengeobsolescence.info/befragung-2019/> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Otoni 2019 Christine Otoni: How often should you upgrade your phone? Our upgrade cycle infographic, tingblog, 2019, online: <https://ting.com/blog/phone-upgrade-cycle-survey-results/> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Parry 2013 Parry, G., & Roehrich, J. (2013). Automotive enterprise transformation: Build to order as a sustainable and innovative strategy for the automotive industry? *Journal of*

Enterprise Transformation, 3(1), 33–52.  
<https://doi.org/10.1080/19488289.2013.784223>

-----  
 Literatur  
 -----

- Pialot 2012      Pialot, O., Millet, D., & Tchertchian, N. (2012). How to explore scenarios of multiple upgrade cycles for sustainable product innovation: The “upgrade Cycle Explorer” tool. *Journal of Cleaner Production*, 22(1), 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.001>
- Poppe 2021-a      Poppe, E., Jaeger-Erben, M., Schaefer, A., Amend, C. (2021). Modest Smartphone Befragung 2021, Statistik Dossier zur Smartphone Nutzung und Reparatur in Deutschland. Technische Universität Berlin.  
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35908.30080/1>
- Poppe 2021-b      Poppe, E., Wagner, E., Jaeger-Erben, M., Druschke, J., & Köhn, M. (2021). Is it a bug or a feature? The concept of software obsolescence. 4th Plate 2021 Virtual Conference. <https://doi.org/10.31880/10344/10242>
- Prakash 2016      Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., & Stamminger, D. R. (2016). Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. UBA (=Texte 11/2016), S. 315). Umweltbundesamt, S.130-131.
- PROMPT 2022      Prompt. (2022). Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Programme. <https://prompt-project.eu/>
- Proske & Jaeger-Erben 2019      Proske, M.; Jaeger-Erben, M.: Decreasing obsolescence with modular smartphones? An interdisciplinary perspective on lifecycles, *Journal of Cleaner Production*, 223 (2019) 57-66, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.116>
- Proske 2016 -a      Proske, M.; Winzer, J.; Marwede, M.; Nissen, N.F.; Lang, K.-D. (2016-a). Obsolescence of Electronics - the Example of Smartphones, *Electronics Goes Green*, Berlin, 2016
- Proske 2018      Proske, M.; Schischke, K.; Nissen, N.F.; Lang, K.-D.: *Modular Electronics – Accessories as Bridging Technology?* CARE 2018, Wien
- Proske 2016-b      Proske, M.; Clemm, C; Richter, N. (2016-b): *Life Cycle Assessment of the Fairphone 2*
- Proske 2022      Proske, Marina (2022): How to address obsolescence in LCA studies – Perspectives on product use-time for a smartphone case study, *Journal of Cleaner Production* 376. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134283.
- Proske 2020-a      Proske, Marina; Sánchez, David; Clemm, Christian; Baur, Sarah-Jane (2020-a): *Life Cycle Assessment of the Fairphone 3*, Berlin
- Proske 2020-b      Proske, Marina; Baur, Sarah-Jane; Rückschloss, Jana; Teusch, Christoph; Krause, Thomas; Poppe, Erik (2020b): *BESTANDSAUFNAHME SMARTPHONES – Übersicht Modellhistorie und modulare Konzepte*, AP-Bericht des Projektes MoDeSt)
- Proske 2019      Proske, Marina; Jaeger-Erben, Melanie (2019): Decreasing obsolescence with modular smartphones? – An interdisciplinary perspective on lifecycles, *Journal of Cleaner Production* 223, pp. 57–66. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.116
- Rayman 2018      Rayman, F.: Edge Screen: Was bringt die runde Smartphone-Kante?, in: *bluewin*, 08.11.2018, online: <https://www.bluewin.ch/de/digital/edge-screen-was-bringt-die-runde-smartphone-kante-143052.html> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)

- Revellio 2020 Revellio, F., Shi, L., Hansen, E. G., and Chertow, M. R. (2020). Sustainability Paradoxes for Product Modularity: the case of smartphones. Electronics Goes Green 2020+, Berlin.
- Rizzato 2019 -a Rizzato, F: Parts of rural Germany see less than 50% 4G Availability. Opensignal, 17.07.2019, online: <https://www.opensignal.com/2019/07/17/parts-of-rural-germany-see-less-than-50-4g-availability> (abgerufen: 04.06.2020)
- Rizzato 2019 -b Rizzato, F: Understanding why so many German smartphone users are still 3G-only. Opensignal, 07.11.2019, online: <https://www.opensignal.com/2019/11/07/understanding-why-so-many-german-smartphone-users-are-still-3g-only> (abgerufen: 04.06.2020)
- Sanchez 2022 Sánchez, David; Proske, Marina; Baur, Sarah-Jane (2022): Life Cycle Assessment of the Fairphone 4, Berlin
- Sanchez 1995 Sanchez, R. (1995). Strategic flexibility in product competition. Strategic Management Journal, 16(1 S), 135–159. <https://doi.org/10.1002/smj.4250160921>
- Schiesser 2014 Schiesser, T.: Know Your Smartphone: A Guide to Camera Hardware, 2014, online: <https://www.techspot.com/guides/850-smartphone-camera-hardware/page2.html> (zuletzt abgerufen: 04.06.2020)
- Schiesser 2015 Schiesser, T.: Samsung Galaxy Note Edge Review, in: Techspot, 08.01.2015, online: <https://www.techspot.com/review/938-samsung-galaxy-note-edge/page2.html> (zuletzt abgerufen: 09.06.2020)
- Schischke et al. 2016 Schischke, K.; Proske, M.; Nissen, N.F.; Lang, K-D: Modular Products: Smartphone Design from a Circular Economy Perspective, EGG2016+, Berlin 2019
- Schischke 2017 Schischke, K., Proske, M., Nissen, N. F., & Lang, K.-D. (2017). Modular products: Smartphone design from a circular economy perspective. Electronics Goes Green 2016+, 1–8. <https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829810>
- Schischke 2019 Schischke, K., Proske, M., Nissen, N. F., & Schneider-Ramelow, M. (2019). Impact of modularity as a circular design strategy on materials use for smart mobile devices. MRS Energy & Sustainability, 6, 1–16. <https://doi.org/10.1557/mre.2019.17>
- Schische 2021 Schischke, Karsten, Clemm, Christian; Berwald, Anton; Proske, Marina; Dimitrova, Gergana; Reinhold, Julia; Prewitz, Carolin; Durand, Antoine; Beckert, Bernd (2021): Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets. Tech. rep. European Commission
- Sonego, M., Echeveste, M. E. S., & Galvan Debarba, H. (2018). The role of modularity in sustainable design: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 176, 196–209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.106>
- Spinfeld o.d. Spinfeld: History of first android phone, online <https://www.spinfeld.com/first-android-phone/> (zuletzt abgerufen: 03.06.2020)
- Starr, M. K. (1965). Modular Production - A New Concept. Harvard Business Review, 43(6), 131–142. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=3866438&site=ehost-live>
- Starr, M. K. (2010). Modular production - a 45-year-old concept. International Journal of Operations and Production Management, 30(1), 7–19. <https://doi.org/10.1108/01443571011012352>

- Statcounter o.d. -a StatCounter global stats: Zahlen für Deutschland, online: <https://gs.statcounter.com/screen-resolution-stats/mobile/germany/#yearly-2017-2020> (zuletzt abgerufen: 25.05.2020)
- Statcounter o.d. -b Statcounter: Mobile Vendor Market Share Germany 2017 – 2020, online: <https://gs.statcounter.com/vendor-market-share/mobile/germany/#yearly-2017-2020> (zuletzt abgerufen 25.05.2020)
- Statcounter o.d. -c Statcounter: Mobile Android Version Market Share Germany 2017 – 2020, online: <https://gs.statcounter.com/android-version-market-share/mobile/germany/#yearly-2017-2020> (zuletzt abgerufen: 25.05.2020)
- Statcounter o.d. -d Statcounter: Mobile Screen Resolution Stats Germany 2009-2020, online: <https://gs.statcounter.com/screen-resolution-stats/mobile/germany/#yearly-2009-2020> (zuletzt abgerufen: 12.06.2020)
- Statista 2017 Statista: Anzahl der Personen in Deutschland, die in ihrem Haushalt ein Mobiltelefon besitzen, nach hauptsächlicher Nutzung von Privat- oder Firmen-Handy/-Smartphone, von 2013 bis 2017, 2017, online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/181056/umfrage/mobiltelefon-nutzung-eines-firmen-handys/> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- TCO o.d. TCO: TCO Certified Edge, E-Waste Compensated, reduziert Elektroschrott. online: <https://tco certified.de/tco-certified-edge-e-waste-compensated/> (abgerufen: 04.06.2020)
- Tröger 2017 Tröger, N., Wieser, H., & Hübner, R. (2017). Smartphones werden häufiger ersetzt als T-Shirts: die Nutzungsmuster und Ersatzgründe von KonsumentInnen bei Gebrauchsgütern. In C. Bala, & W. Schuldzinski (Hrsg.), Pack ein, schmeiß' weg?: Wegwerfkultur und Wertschätzung von Konsumgütern (S. 79-102). Düsseldorf: Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V. [https://doi.org/10.15501/978-3-86336-914-9\\_5](https://doi.org/10.15501/978-3-86336-914-9_5)
- Tröger 2017 Tröger, N., Wieser, H., & Hübner, R. (2017). Smartphones werden häufiger ersetzt als T-Shirts: die Nutzungsmuster und Ersatzgründe von KonsumentInnen bei Gebrauchsgütern. In C. Bala, & W. Schuldzinski (Hrsg.), Pack ein, schmeiß' weg?: Wegwerfkultur und Wertschätzung von Konsumgütern (S. 79-102). Düsseldorf: Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V. [https://doi.org/10.15501/978-3-86336-914-9\\_5](https://doi.org/10.15501/978-3-86336-914-9_5)
- Ülkü 2017 Ülkü, M. A., & Hsuan, J. (2017). Towards sustainable consumption and production: Competitive pricing of modular products for green consumers. *Journal of Cleaner Production*, 142(November), 4230–4242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.050>
- Van der Bergen 2022 Van den Berge, R., Ramos, B., Magnier, L., & Thysen, T. (2022). Premature replacement of well-functioning products and choice for replacement over repair (Deliverable No. 5.2 Nr. 1; Premature Obsolescence Multi-Stakeholder Product Testing Program). [https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2\\_TUD\\_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf](https://prompt-project.eu/wp-content/uploads/2022/05/D5.2_TUD_Premature-replacement-of-well-functioning-products.pdf)
- VuMa 2019 VuMa Touchpoints Umfrage in Deutschland zum Anteil von Prepaid- und Vertragskunden im Mobilfunk 2019, online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152925/umfrage/verteilung-von-prepaid-handys-und-vertragshandys/> (abgerufen: 03.06.2020)
- Wagner 2020 David Wagner: LG G8X ThinQ mit Dual Screen im Test: Kein Ersatz fürs Foldables, 29.01.2020, online: <https://www.aremobil.de/G8X-ThinQ-Handy-275485/Tests/LG-G8X-ThinQ-mit-Dual-Screen-im-Test-Kein-Ersatz-fuers-Foldable-1342166/> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)
- Watson 2017 David Watson, Anja Charlotte Gylling, Naoko Tojo, Harald Throne-Holst, Bjørn Bauer and Leonidas Milios: Circular Business Models in the Mobile Phone Industry, 2017, <http://dx.doi.org/10.6027/TN2017-560>

- Wertgarantie 2020 Wertgarantie (2020): Smartphone-Reparatur-Studie 2020, online: [https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020\\_de.pdf](https://www.wertgarantie.de/sites/default/files/2021-03/wertgarantie-smartphone-reparatur-studie-2020_de.pdf)
- Wheeler 2004 Wheeler, W.R.: Integrating Wireless Technology in the Enterprise. PDAs, Blackberries and Mobile Devices. Elsevier, 2004.
- Wieser 2018 Wieser, H.; Tröger, N. (2018): Exploring the inner loops of the circular economy: Replacement, repair, and reuse of mobile phones in Austria, Journal of Cleaner Production 172, pp. 3042–3055. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.106
- Williams 2019 Williams, R.: Study: Lack of innovation stretches phone replacement cycle to 33 months. In: Mobile Marketer, 23.08.2019. Online: <https://www.mobilemarketer.com/news/study-lack-of-innovation-stretches-phone-replacement-cycle-to-33-months/561549/> (zuletzt abgerufen: 26.05.2020)
- Wilson 2017 Wilson, G. T.; Smalley, G.; Suckling, J.R.; Lilley, D.; Lee, J.; Mawle, R.: The hibernating mobile phone: Dead storage as a barrier to efficient electronic waste recovery. Waste management, Vol. 60, p. 521-533. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.023>
- Wölbart 2015 Christian Wölbart: Alles nur gefälscht - Amazon verkauft nachgebaute Akkus als Originalware, c't, 2015, online: <https://www.heise.de/ct/ausgabe/2015-10-Amazon-verkauft-nachgebaute-Akkus-als-Originalware-2604617.html> (zuletzt abgerufen: 10.06.2020)

-----  
Literatur  
-----