

Masterarbeit

Bewertung des Einflusses der Modularisierung von
Smartphones auf die Nachhaltigkeit

2018



FAKULTÄT FÜR
INFORMATIK

Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Arbeitsgruppe Managementinformationssysteme

Erstgutachten

Prof. Dr. rer. pol. habil. Hans-Knud Arndt

Zweitgutachten

Prof. Dr. rer. nat. habil. Klaus Turowski

Betreuung

Stefanie Lehmann

Gerrit Winsczyk
Studiengang Wirtschaftsinformatik

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keinem anderen Prüfungsamt vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Das niederländische Unternehmen Fairphone, welches die Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt ihrer Firmenpolitik stellt, veröffentlicht Ende 2015 das erste modulare Smartphone. Gemeinhin wird der Smartphone-Markt jedoch von integriert gestalteten Geräten dominiert und Smartphones in Modulbauweise sind vergleichsweise wenig erfolgreich. Zudem wurden bereits mehrere modulare Smartphone-Projekte eingestellt, bevor das jeweilige Gerät bis zur Marktreife entwickelt werden konnte. Dies wirft die Frage auf, ob das Konzept eines modularen Smartphones tatsächlich umsetzbar und nachhaltig ist. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der Modularisierung auf die Nachhaltigkeit im Kontext von Smartphones zu analysieren und zu bewerten. Zu diesem Zweck wird ein Nachhaltigkeitsvergleich zwischen Vertretern des etablierten integrierten Smartphone-Konzepts und des modularen Designansatzes durchgeführt. Konkret werden das Apple iPhone 6s und das Fairphone 2 untersucht. Die Evaluierung erfolgt auf Basis von herausgearbeiteten Bewertungskriterien, die auf den Prinzipien nachhaltigen Designs aufbauen. Das Fairphone 2 erzielt im Vergleich das knapp bessere Ergebnis und kann somit als das nachhaltigere Smartphone eingeschätzt werden. Infolge des modularen Aufbaus sind besonders Vorzüge in den Themenbereichen der Wartungsfreundlichkeit und Aufrüstbarkeit ersichtlich, was in einer grundsätzlich längeren Lebensdauer resultiert. Schlussfolgerungen aus den Bewertungsergebnissen der Smartphone-Vertreter auf die zugrunde liegenden Smartphone-Konzepte zeigen, dass Smartphones mit modularem Design prinzipiell ein höheres Nachhaltigkeitspotenzial besitzen als integriert aufgebaute Geräte. Allerdings besteht eine Vielzahl von Herausforderungen, welche die Realisierung eines modularen Smartphones erschweren. Speziell die technische Umsetzung von hochgradig modularen Geräten und die Sicherstellung der ökonomischen Nachhaltigkeit bei der Herstellung erweisen sich als problematisch. Die Modularisierung von Smartphones kann daher nicht als klares Indiz für Nachhaltigkeit angesehen werden. Dennoch ist eine modulare Gestaltung von Smartphones ein möglicher und sinnvoller Lösungsansatz zur Steigerung der Nachhaltigkeit. Das Fairphone 2, welches auf einem Konzept moderater Modularisierung basiert, erweist sich nach aktuell technischen Möglichkeiten als gut gewählter Kompromiss in Bezug auf die Nachhaltigkeit. Aufgrund seines robusten Designs und der intuitiven Inbetriebnahme und Nutzung umgeht das Fairphone typische Problematiken modularer Smartphones und profitiert dennoch von den fundamentalen Vorteilen des modularen Designs bezüglich der Nachhaltigkeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Hintergrund und Motivation	1
1.2	Zielstellung und Thesen.....	4
1.3	Struktur.....	5
2	Nachhaltige Smartphones	6
2.1	Definition der Nachhaltigkeit	6
2.2	Nachhaltiges Produktdesign.....	10
2.3	Nachhaltiges Smartphonedesign.....	20
2.4	Marktanalyse.....	32
3	Modulare Smartphones.....	38
3.1	Modulares Produktdesign	38
3.2	Modulares Smartphonedesign	41
3.3	Modulare Smartphone-Konzepte.....	43
3.4	Modularisierung in der IT	52
4	Nachhaltigkeitsvergleich der Smartphone-Konzepte.....	56
4.1	Vertreter der Smartphone-Konzepte	56
4.2	Bewertungskriterien.....	63
4.3	Analyse	66
4.4	Ergebnisse.....	73
4.5	Auswertung	75
5	Herausforderungen für modulare Smartphones.....	81
6	Diskussion.....	88
6.1	Thesendiskussion.....	88
6.2	Ist die Modularisierung von Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit?.....	94
7	Zusammenfassung und Ausblick	96
	Literaturverzeichnis.....	99
	Anhang	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nachhaltigkeitsdreieck (in Anlehnung an [Kle09] S. 79)	8
Abbildung 2: Design im Produktlebenszyklus (eigene Darstellung)	10
Abbildung 3: Nachhaltige Designprinzipien (eigene Darstellung)	12
Abbildung 4: Arten der Produktmodularisierung (in Anlehnung an [Pil06] S. 229)	40
Abbildung 5: Modell des Phonebloks-Konzepts [Pho183]	44
Abbildung 6: Prototyp des Project Ara Smartphones [Ste15]	46
Abbildung 7: Module des PuzzlePhones [Puz18]	48
Abbildung 8: Komponenten des SHIFT6m [SHI181]	51
Abbildung 9: Aufbau vom Pangea Sun [Pfe13]	54
Abbildung 10: Module des Fairphone 2 [Fai181]	59
Abbildung 11: Apple iPhone 6s [App183]	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs.....	73
Anhang Tabelle 1: Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitsvergleichs	112
Anhang Tabelle 2: Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs nach Bewertungskriterien.....	113

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Das Thema Nachhaltigkeit gewinnt seit Jahren kontinuierlich an Stellenwert in der Gesellschaft. Mittlerweile hat sich der Begriff Nachhaltigkeit zu einem Modewort entwickelt und Nachhaltigkeitsbestrebungen sind in Unternehmen aller Branchen eine grundlegende Voraussetzung, um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Wie auch das Umweltbundesamt bestätigt, geht der Trend beim Konsumenten zu nachhaltigeren bzw. umweltbewussteren Produkten. Die wahrgenommene Bedeutung von Umwelt- und Klimaschutz steigt seit Jahren stetig an. Eine Befragung des Umweltbundesamts ergab, dass die Mehrheit der Umfrageteilnehmer einen „hinreichenden Umwelt- und Klimaschutz als grundlegende Bedingung dafür sieht, dass andere Zukunftsaufgaben wie die Globalisierung bewältigt sowie Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit gesichert werden können“. ¹ Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2017 legen lediglich 31 % der Konsumenten beim Kauf eines Produkts keinen Wert auf seine Nachhaltigkeit. Während für jeden zehnten Umfrageteilnehmer die Nachhaltigkeit der bestimmende Faktor bei Kaufentscheidungen ist, sind die Beweggründe für den Konsum bei dem Großteil der Befragten abhängig von der jeweiligen Produktkategorie. ²

Unternehmen sollten ihre Prozesse, Produkte und Dienstleistungen jedoch nicht nur nachhaltiger gestalten, damit ihnen ein nachhaltiges Image zu einem größeren Verkaufserfolg verhilft. Stattdessen liegt die eigentliche Notwendigkeit zu mehr Nachhaltigkeit in der wachsenden Ressourcen- und Energieknappheit begründet. Abzulesen ist die zunehmende Ressourcenknappheit unter anderem daran, dass die Entnahme von Rohstoffen bzw. Bodenschätzen innerhalb des 20. Jahrhunderts um den Faktor 34 angestiegen ist. Insgesamt verbrauchte die Menschheit im Jahr 2010 rund 60 Milliarden Tonnen an natürlichen Ressourcen, was sich laut Prognosen bis 2020 auf mehr als 80 Milliarden Tonnen steigern wird. Die Ressourcen setzen sich aus Baustoffen, Erzen und Industriemineralen, fossilen Brennstoffen sowie Biomasse zusammen und bestehen demnach hauptsächlich aus nicht regenerativen Rohstoffen. ³ Der steigende Ressourcenverbrauch erweist sich als problematisch, da die fossilen Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas nur endlich verfügbar sind. Zum Beispiel dauert es nach eine Analyse der Rohstoffvorkommen des Jahres 2014 bei gleichbleibendem Bedingungen hinsichtlich Verbrauch, Rohstoff-Funden und Fördertechnologien schätzungsweise noch 50,6 Jahre bis die Erdöl-Reserven komplett aufgebraucht sind ⁴. Allerdings kann von einer Zunahme des Bedarfs an Ressourcen ausgegangen werden, sodass die Verfügbarkeit dieses fossilen Brennstoffs vermutlich zu einem früheren Zeitpunkt endet.

1 [Umw17]

2 [Ser17]

3 [Uni11] S. 10-12

4 [Bri15] S. 6-19

Die Ursachen für den steigenden Energie- und Ressourcenverbrauch sind vielfältig. Zum einen zieht die Befriedigung der Grundbedürfnisse einer beständig wachsenden Weltbevölkerung eine Steigerung des Energie- und Ressourcenverbrauchs nach sich. Des Weiteren ist der technische Fortschritt ein Grund für den erhöhten Ressourceneinsatz, da moderne Technologien mehr Energie und Rohstoffe benötigen. Nicht zuletzt beschleunigen auch der Wirtschafts- und Konsumwachstum sowie die Globalisierung den Verbrauch von Ressourcen und Energie. Die Intensivierung von Handelsströmen zwischen unterschiedlichen Ländern ist mit einer Steigerung des Ressourcenverbrauchs, etwa durch verlängerte Transportwege, verbunden.⁵ Für ein zukunftsfähiges Ressourcenkonzept ist in der Konsequenz eine Veränderung der Produktions- und Konsumstile aller Marktteilnehmer in Richtung Nachhaltigkeit erforderlich.

Gleichermaßen steigt neben generellen Nachhaltigkeitsbewusstsein auch die Bedeutung von Nachhaltigkeit in der Informationstechnologie. Dies ist insbesondere daran erkennbar, dass IT-Produkte üblicherweise einen hohen Ressourcenverbrauch in der Herstellungs- und Nutzungsphase sowie schwer recyclebaren Elektronikschrott mit sich bringen. Die Produktion von IT-Geräten verursacht zudem einen hohen CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch. Der größte Teil der Smartphone-Herstellung und der Montageprozesse der Smartphone-Komponenten findet in Asien statt. Die meisten Smartphone-Exporte stammen aus China, wo vorrangig kohlebasierte Energieträger zur Stromproduktion verwendet werden. Unter anderem dadurch ist die hohe CO₂-Bilanz von Elektronikgeräten zu erklären, die zusätzlich zur globalen Erwärmung beitragen. Insgesamt wurden im Zeitraum von 2007 bis 2017 ca. 968 TWh bei der Produktion von Smartphones aufgewandt, was ungefähr dem Energieverbrauch Indiens innerhalb eines ganzen Jahres entspricht.⁶ Überdies werden für die Herstellung von Smartphones, Notebooks, Computern und ähnlichen IT-Geräten viele wertvolle Ressourcen für elektrische Bauelemente genutzt. Weltweit umfasst dieser Produktionsbereich etwa 15 % der jährlichen Kobalt-Produktion, 13 % des gewonnenen Palladiums und 3 % des jährlichen Gold- und Silberabbaus⁷. Die Förderung von Edelmetallen ist mit besonders hohen Umweltauswirkungen verbunden, da sie nur in geringer Konzentration in Erzen enthalten sind und häufig aus großer Tiefe gefördert werden müssen. Außerdem erfolgt der Abbau der Rohstoffe teilweise mithilfe gesundheitsschädigender Chemikalien. Eine zusätzliche Problematik ist die Knappheit einiger Metalle wie etwa Indium, das zur Produktion von Displays notwendig ist.

Weitere Gründe dafür, dass Nachhaltigkeit für die IT-Branche an Stellenwert gewinnt, sind die vermehrte Nutzung und die zunehmende Leistungsfähigkeit der Geräte. Aufgrund ihrer umfassenderen Ausstattung wie beispielsweise einem großen Display und einer hochauflösenden Kamera weitet sich der Ressourcenverbrauch aus. Durch den gesteigerten Konsum von Smartphones, Notebooks und an-

5 [Wup13] S. 3-4

6 [Jar17] S. 7

7 [Sch09] S. 7

deren IT-Geräten steigen der Energieverbrauch und damit parallel die Umweltbelastung ebenfalls weiter an. Der Elektronikschrott ist 2016 bis auf etwa 44,7 Millionen Tonnen angewachsen, was einer Steigerung von 8 % seit 2014 entspricht⁸.

Der zunehmende Elektronikmüll kann unter anderem durch die kurze Lebensdauer einiger IT-Produkte erklärt werden. Speziell die Nutzungsdauer von Smartphones ist mit durchschnittlichen zwei bis drei Jahren⁹ aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung verhältnismäßig kurz. Aber auch die Strategie diverser Hersteller und Mobilfunkanbieter fördern eine geringe Lebensdauer der Mobiltelefone. Regelmäßig werden Nachfolgemodelle veröffentlicht, die durch entsprechende Angebote jährlich ausgetauscht werden können. Dadurch existieren auf der einen Seite mehr „Alt-Smartphones“, die fachgerecht entsorgt werden müssen und andererseits müssen auch mehr Neugeräte produziert werden, welche seltene Rohstoffe benötigen.

Ein Unternehmen, das laut eigenen Angaben versucht, dieser Entwicklung entgegenzuwirken, ist der Smartphone-Hersteller Fairphone. Fairphone, ein vergleichsweise kleines und junges Unternehmen in der Smartphone-Branche mit Sitz in Amsterdam, hat sich zum Ziel gesetzt, möglichst nachhaltig Smartphones zu produzieren. Das Unternehmen strebt für diesen Zweck die Produktion eines Smartphones an, welches unter fairen Arbeitsbedingungen hergestellt wird, eine lange Lebensdauer zur Müllreduzierung besitzt, auf konfliktfreien Rohstoffen basiert und aus Materialien besteht, die nur aus Gebieten gewonnen werden, in denen kein Bürgerkrieg herrscht¹⁰.

Aufgebaut ist das Fairphone modular, was den Austausch defekter Bauteile und die Aufrüstung des Geräts mit leistungsfähigeren Komponenten ermöglicht. Infolgedessen soll die Langlebigkeit des Smartphones erhöht werden, was wiederum den Ressourcenverbrauch und Elektronikschrott reduziert. Auf den ersten Blick sollte sich dadurch auch die Nachhaltigkeit erhöhen.

Allerdings ist Fairphone das einzige Unternehmen am Markt, das ein derartiges modulares Smartphone herstellt. Sämtliche Marktführer im Smartphone-Segment vertrauen dagegen auf ein integriertes bzw. monolithisches Aufbau, deren Geräte als Einheit gestaltet sind. Hinzu kommt, dass Forschungsprojekte von etablierten Unternehmen wie Google¹¹ zu modularen Smartphones ohne Veröffentlichungen eingestellt wurden und mittlerweile nicht mehr fortgeführt werden. Das wirft die Frage auf, ob das Konzept eines modularen Smartphones tatsächlich umsetzbar und nachhaltig ist.

8 [Beh17]

9 [Suc15] S. 5

10 [Fai18]

11 [Wak16]

1.2 Zielstellung und Thesen

Das Untersuchungsziel dieser Arbeit ist, eine Aussage darüber zu treffen, ob die Modularisierung in Bezug auf Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit ist. Es gilt zu analysieren, ob das Konzept eines modularen Smartphones tatsächlich nachhaltiger ist bzw. das Potenzial besitzt nachhaltiger zu sein als das etablierte Konzept der integrierten Smartphones. Zur Verifizierung und Evaluierung des Einflusses der Modularisierung auf die Nachhaltigkeit im Smartphone-Kontext werden im Folgenden vier Thesen hergeleitet.

Eine Grundvoraussetzung dafür, dass die Modularisierung bezüglich Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit sein kann, ist, dass modulare Smartphone überhaupt nachhaltig sind. Zur Untersuchung, ob Modularität einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit besitzt, muss darüber hinaus bestätigt werden, dass modular aufgebaute Smartphones nachhaltiger sind als die etablierten integrierten Geräte. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit die folgende These aufgestellt:

These 1: Smartphones mit modularem Aufbau weisen einen höheren Grad an Nachhaltigkeit auf als integrierte Smartphone-Konzepte.

Damit die Modularisierung als Hinweis für Nachhaltigkeit im Smartphone-Kontext angesehen werden kann, muss zudem die Annahme erfüllt sein, dass das modular gestaltete Fairphone ein besonders nachhaltiges Smartphone ist. Wenn eine Steigerung der Nachhaltigkeit durch einen modularen Aufbau realisiert werden kann, so spricht dies dafür, dass die Modularisierung ein Hinweis für die Nachhaltigkeit ist. Überdies wäre es ein starker Anhaltspunkt, dass modulare Smartphones einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben, wenn das Fairphone im Nachhaltigkeitsvergleich besser abschneidet als ein Smartphone mit integriertem Aufbau. Daher wird diese These postuliert:

These 2: Das Fairphone 2 ist – besonders aufgrund seines modularen Aufbaus – ein Vorreiter für nachhaltige Smartphones.

Aktuell wird der Smartphone-Wettbewerb ausschließlich von Geräten mit integriertem Aufbau beherrscht. Dies wirft die Fragen auf, welche Herausforderungen die Unternehmen bei der Herstellung modularer Smartphones sehen und ob diese einen Nachhaltigkeitsbezug besitzen. Es wird nun die Annahme getroffen, dass die marktführenden Smartphone-Hersteller keine modularen Geräte produzieren bzw. ihre dahingehenden Forschungen abbrechen, da sich dies für die Unternehmen als wirtschaftlich nicht nachhaltig herausgestellt hat. Wenn es ökonomisch nachhaltiger ist, integrierte Smartphones herzustellen, würde dies Rückschlüsse darauf erlauben, dass die Modularisierung kein Indiz für die Nachhaltigkeit bezüglich Smartphones ist. Die folgende These fokussiert sich auf die Betrachtung der ökonomischen Gesichtspunkte des geringeren Markterfolgs modularer Smartphones, da der Aspekt der Wirtschaftlichkeit für die Hersteller von besonderer Relevanz ist.

These 3: Marktführende Smartphone-Hersteller produzieren keine modularen Geräte, da dies ökonomisch nicht nachhaltig ist.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Modularisierung ein Indiz für Nachhaltigkeit ist. Im Rahmen des Untersuchungsziels dieser Arbeit werden speziell Smartphones betrachtet und analysiert, um

zu überprüfen, ob diese Annahme auch für den Smartphone-Markt gilt. Es gilt die Frage zu klären, ob möglicherweise nur im Kontext von Smartphones die Modularisierung keinen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit hat. Wenn das Smartphone als IT-Gerät bzw. der Smartphone-Markt bestimmte Gegebenheiten mit sich bringen würden, die dies schlussfolgern lassen, würde dies dafür sprechen, dass die Modularisierung bezüglich Smartphones kein Anzeichen für Nachhaltigkeit ist. Um diese Annahme zu überprüfen wird die nachfolgende These formuliert:

These 4: Die absatztechnischen Probleme modularer Smartphones sind den Anforderungen des Smartphone-Markts geschuldet.

1.3 Struktur

Im anschließenden Kapitel *Nachhaltige Smartphones* werden zuerst die Grundlagen zum Nachhaltigkeitsbegriff und zu nachhaltigem Produktdesign erörtert. Darauf aufbauend wird der Betrachtungsgegenstand Smartphone mit dem Nachhaltigkeitsdesign in Beziehung gesetzt und die kennzeichnenden Merkmale nachhaltiger Smartphones werden vorgestellt. Des Weiteren wird ein Überblick über bisherige und gegenwärtige Entwicklungen nachhaltiger IT-Geräte am Markt gegeben.

Daran anknüpfend werden im Abschnitt *Modulare Smartphones* zuerst allgemein und darauffolgend smartphonespeziell die charakteristischen Eigenschaften von modularem Design dargelegt. Dabei werden auch zurückliegende sowie aktuelle modulare Smartphone-Projekte und IT-Konzepte beleuchtet. Zudem erfolgt eine Abgrenzung zwischen Smartphones mit modularem und integriertem Aufbau.

Basierend auf den vorherigen Ausarbeitungen wird ein *Nachhaltigkeitsvergleich der Smartphone-Konzepte* angestellt. Als Vertreter der modularen Smartphones wird das Fairphone vorgestellt, während das iPhone stellvertretend für das integrierte Smartphone-Konzept steht. Aufbauend auf den definierten Designprinzipien für nachhaltige Smartphones werden Bewertungskriterien für den Vergleich abgeleitet. Die Kriterien dienen einer Nachhaltigkeitsanalyse der beiden dargestellten Smartphones. Daran anschließend werden die Ergebnisse des Vergleichs zusammengefasst und die Bedeutung der Resultate für die Nachhaltigkeit der Smartphone-Konzepte ausgewertet.

Im nachfolgenden Abschnitt wird der Frage nachgegangen, welche *Herausforderungen für modulare Smartphones* existieren, die einen Markterfolg des modularen Konzepts bislang verhindert haben. Es werden Schlussfolgerungen angestellt, warum eine Vielzahl an Smartphone-Projekten mit modularem Ansatz nicht bis zur Marktreife entwickelt werden konnte und welche Schwierigkeiten bei der Fertigung modularer Smartphones auch zukünftig gemeistert werden müssen. Die Herausforderungen werden auch im Kontext der Nachhaltigkeit untersucht und Lösungsansätze für ausgewählte Probleme aufgezeigt.

Im Zentrum der *Diskussion* steht danach die Auseinandersetzung mit der Frage, ob Modularisierung im Smartphone-Kontext ein Indiz für Nachhaltigkeit ist. Basierend auf den Ergebnissen aus den vorangegangenen Kapitel, werden zunächst die aufgestellten Thesen diskutiert und beurteilt. Auf Grundlage der Auswertung der einzelnen Thesen wird ein Fazit bezüglich der Zielerreichung gezogen.

Zum Abschluss erfolgt die *Zusammenfassung* und Ausblick der Ergebnisse der Arbeit und ein Ausblick auf verwandte und im Verlauf der Arbeit hervorgetretene Forschungsfragen wird gegeben.

2 Nachhaltige Smartphones

Innerhalb dieses Kapitels wird festgelegt, was Nachhaltigkeit von Smartphones im Rahmen dieser Arbeit bedeutet. Dabei wird ausgeführt, was ein nachhaltig designtes Smartphone ausmacht und kennzeichnet. Hierzu werden an erster Stelle der Begriff der Nachhaltigkeit und die Nachhaltigkeitsdimensionen erläutert und abgegrenzt. Im Anschluss daran wird nachhaltiges Produktdesign beschrieben und dargelegt, durch welche Designprinzipien dies umgesetzt werden kann. Aufbauend auf den Nachhaltigkeitsprinzipien werden die charakteristischen Merkmale von nachhaltigen Smartphones dargelegt und eingeordnet. Schließlich wird die momentane Situation am IT-Markt im Allgemeinen und am Smartphone-Markt im Speziellen hinsichtlich der Nachhaltigkeit betrachtet.

2.1 Definition der Nachhaltigkeit

In Deutschland gewann der Begriff der Nachhaltigkeit Anfang des 18. Jahrhunderts eine prägende Bedeutung. Der industrielle Holzbedarf war zu dieser Zeit sehr hoch und dies führte zur regionalen Übernutzung von Wäldern. Es wurde festgestellt, dass das unüberlegte Abholzen von Waldflächen langfristig zur Eliminierung der eigenen Existenzgrundlage führt. Durch ein Aufforsten entsprechend großer Gebiete, sollte die Verfügbarkeit von Holz auch für spätere Generationen gewährleistet werden¹². Dieses ressourcenökonomische Prinzip dient damit als Vorbild für die weitere Nachhaltigkeitsforschung. Die, spezifisch auf die Forstwirtschaft ausgerichtete Bedeutung, kann auf Systeme sowie andere Ressourcen übertragen und verallgemeinert werden.

Im Jahr 1987 wurde von der World Commission on Environment and Development (WCED) im Brundtland-Bericht, der noch heute gängige Begriff der nachhaltigen Entwicklung, welche den Grundgedanken der Nachhaltigkeit aufgreift, wie folgt definiert: "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."¹³. Ins Deutsche übersetzt, bedeutet dies: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“. Diese Definition, welche die intergenerative ökologische Gerechtigkeit beschreibt, war Bestandteil von allen seitdem veranstalteten internationalen Umweltabkommen.

Vom Deutschen Bundestag wurde Nachhaltigkeit im Jahr 2002 beschrieben als „[...] Nutzung eines regenerierbaren Systems in einer Weise, dass dieses System in seinen wesentlichen Eigenschaften erhalten bleibt und sein Bestand auf natürliche Weise regeneriert werden kann“¹⁴. Um diesen, hier eher abstrakt beschriebenen Begriff, mit Inhalten zu füllen, können die drei von der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ definierten Säulen einer nachhaltigen Entwicklung genutzt

12 [Spi11] S. 1-3

13 [Bru87] S. 41

14 [Deu02]

werden. Hier wird zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten unterschieden. Eine langfristige Verringerung von Armut, die Steigerung der Wirtschaftsleistung sowie der Klimaschutz stellen beispielsweise gleichermaßen wichtige Nachhaltigkeitsziele dar.¹⁵

Kleine baut auf diesen Säulen auf und beschreibt das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung als die Erhaltung ökologischen, ökonomischen und sozialen Kapitals für zukünftige Generationen. Das ökologische Kapital umfasst dabei Ressourcen, Land und ökologische Faktoren wie Nahrungskreisläufe oder Klimasysteme, während das ökonomische Kapital Sach-, Wissen- und Humankapital umfasst. Dadurch kann diese Kapitalart am ehesten quantifiziert werden, zum Beispiel in Geldeinheiten. Das Sozialkapital ist schwieriger abzugrenzen. Es umfasst Ziele wie Gerechtigkeit, Chancengleichheit und die Achtung der Menschenwürde.¹⁶

Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte der Nachhaltigkeit auf Grundlage des Nachhaltigkeitsdreiecks, das in Abbildung 1 visualisiert ist, näher beschrieben.

Im Fokus der ökologischen Dimension steht der zukunftsfähige Umgang mit der Umwelt. Hierzu zählen alle Maßnahmen von Organisationen, die gegen die Ausbeutung, Verschmutzung und Verunreinigung der Umwelt unternommen werden, um so negative Auswirkungen langfristig zu bekämpfen. Beispiele hierfür sind organisationsspezifische Tätigkeiten, die sich mit einer fachgerechten Entsorgung von IT-Komponenten oder deren optimalen Einsatzmöglichkeiten zur Reduzierung von CO₂-Bilanzierungen befassen.¹⁷

Der zukunftsfähige Umgang mit dem Menschen und der Gesellschaft wird innerhalb der sozialen Dimension betrachtet. Dieser Dimension werden Maßnahmen zugeordnet, die sich positiv auf verschiedene Anspruchsgruppen auswirken. Das können neben einzelnen Mitarbeitern, Privatpersonen und mit der Organisation in Verbindung stehende Personen auch Teile der breiten Bevölkerung sein. Ein Ziel von Unternehmen soll es beispielsweise sein, den Lärm und die schädlichen Emissionen bei der Produktion so gering wie möglich zu halten.¹⁸

Die ökologische Dimension befasst sich mit dem zukunftsfähigen Wirtschaften. Es beinhaltet Maßnahmen, welche sich primär auf die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit sowie die Platzierung von Unternehmen am Markt fokussieren und folglich einen Mehrwert schaffen. Zum Beispiel können Lohnerhöhungen für Mitarbeiter oder auch Investitionen in neue Technologien solche Maßnahmen der ökonomischen Dimension sein. Es wird deutlich, dass die Säulen auch untereinander in einer gewissen Beziehung stehen, da beispielsweise Lohnerhöhungen ebenfalls der sozialen Dimension zuzuordnen sind.¹⁹

15 [Deu02] S. 1-2

16 [Kle09] S. 10-12

17 [Zar13] S. 10

18 [Zar13] S. 11

19 [Zar13] S. 11

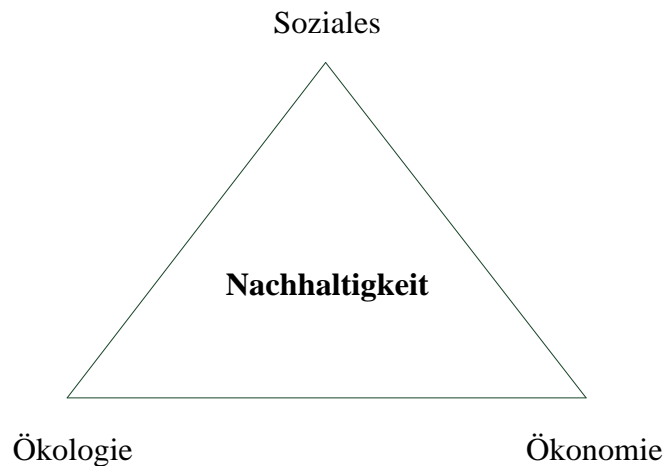


Abbildung 1: Nachhaltigkeitsdreieck (in Anlehnung an [Kle09] S. 79)

Die einzelnen Säulen der Nachhaltigkeit können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da sie miteinander in Wechselwirkung stehen. Ökonomische, soziale und ökologische Gesichtspunkte beeinflussen sich gegenseitig und müssen daher integrativ untersucht werden. Wird wirtschaftliches Wachstum erheblich auf Kosten ökologischer und sozialer Aspekte erreicht²⁰, muss dies festgestellt werden und in die Nachhaltigkeitsbetrachtung einfließen.

Nachhaltigkeitsbegriff in der IT

Aufgrund der Tatsache, dass die Betrachtungsgegenstände diese Arbeit Smartphones sind, wird nun speziell auf den Nachhaltigkeitsbegriff innerhalb der Informationstechnologie eingegangen. In der wissenschaftlichen Literatur zur Nachhaltigkeit im IT-Bereich existiert eine Vielzahl von Begrifflichkeiten. Für Nachforschungen werden die Begriffe Green IS (Grüne Informationssysteme), Green IT (Grüne Informationstechnologie), Sustainable IS (Nachhaltige Informationssysteme), Sustainable IT (Nachhaltige Informationstechnologie) oder Green IKT (Grüne Informations- und Kommunikationstechnologie) diskutiert, welche nicht immer exakt voneinander abgegrenzt werden können²¹. Zarnekow und Kolbe konzentrieren sich auf die Termini Green IS und Green IT und beschreiben Green IS als „Green durch IT“. Relevanter für die Problemstellung dieser Arbeit ist die Definition von Green IT. Nach Zarnekow und Kolbe liegt „der Fokus von Green IT (...) bei der Reduzierung von notwendigen Ressourcen wie Energie und Materialien sowie der Verringerung von Abfall und Emissionen der IT selbst“. Dies umfasst „alle Aktivitäten von Unternehmen, die Technologien entwickeln, produzieren oder nutzen, welche den ökologisch negativen Einfluss von IT durch Ressourcenverbrauch oder Emissionen reduzieren“.²² Folglich ist das Ziel von Green IT, die Nutzung von Informationstechnologie über alle Phasen des Lebenszyklus hinweg umwelt- und ressourcenschonend zu gestalten. Dies umfasst die Optimierung des

20 Zum Beispiel billige Arbeitskräfte und schlechte Arbeitsbedingungen in Schwellenländern sowie schadstoffreiche Produktionsverfahren.

21 [Zar13] S. 13

22 [Zar13] S. 15-16

Ressourcenverbrauchs während der Herstellung, der Nutzungsphase und der Entsorgung der IT-Geräte. Beispielhaft für die Lösungsansätze von Green IT sind die Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs in der Herstellung, die nachhaltige Gestaltung der Produkte und die Herstellung möglichst langlebiger Hardware sowie die Verringerung des Energieverbrauchs während der Nutzung.

Eine Weiterentwicklung des medienwirksamen Begriffs Green IT ist der Terminus *Nachhaltige IT*, der die vorrangig ökologischen Aspekte um soziale Faktoren erweitert. Zur Erläuterung wird nachfolgend die Begriffsumschreibung durch TCO, einer internationalen Nachhaltigkeitszertifizierungsstelle für IT-Produkte, vorgestellt. Neben ökologischen Maßnahmen wie der Reduzierung der Umweltauswirkungen von IT-Produkten und IT-Infrastrukturen werden in dieser Beschreibung auch Themen wie die sozialverantwortliche Herstellung von IT-Produkten integriert. TCO nennt drei Schlüsselanforderungen, um eine nachhaltige Strategie für die Informationstechnologie zu entwickeln.²³

Schaffung einer nachhaltigen IT-Umgebung

Organisationen können davon profitieren, ihre IT-Systeme nachhaltiger zu gestalten. Die Senkung des Energieverbrauchs, Recycling oder Umnutzung von IT-Geräten am Ende der Lebensdauer sowie die Gewährleistung der Benutzerfreundlichkeit innerhalb des Systems sind nur einige der möglichen Vorteile für Unternehmen.

Informationstechnologie als Mittel zur Erhöhung der Nachhaltigkeit

IT-Systeme können auch genutzt werden, um die Nachhaltigkeitsleistung anderer Bereiche zu verbessern. Routenoptimierungen für Verkehrsmittel und Online-Konferenzen sind beispielhafte Themengebiete, in denen eine nachhaltige IT-Strategie helfen kann, Kosten zu senken und die Umweltbelastung zu reduzieren.

Nachhaltiges Design und nachhaltige Herstellung von IT-Produkten

Die Gestaltung von IT-Geräten und die entsprechende Herstellung ist ein entscheidender Faktor um die Nachhaltigkeit des IT-Produkts zu optimieren zu können. Die Kriterien sozialverantwortlicher Herstellung, ergonomisches Design und reduzierte Umweltbelastung werden von TCO in diesem Aspekt besonders hervorgehoben, um ökologische und soziale Risiken während des gesamten Lebenszyklus zu minimieren.

Primär ist die Thematik *Nachhaltiges Design und nachhaltige Herstellung von IT-Produkten* im Rahmen dieser Arbeit beachtenswert und wird in den folgenden Abschnitten ausführlicher betrachtet.

2.2 Nachhaltiges Produktdesign

Das Design eines Produkts und seines Lebenszyklus spielen für die Produktnachhaltigkeit eine bedeutsame Rolle. Unter Design eines Produkts wird im Rahmen dieser Arbeit die formgerechte und funktionale Gestaltung verstanden. Die Formgebung erfolgt beim Entwurf bzw. der Konzeption des Produkts, indem die Struktur determiniert wird. Die erzielte Form eines Gebrauchsgegenstandes, welche das Resultat des Designprozesses ist, kann auch als Aufbau bezeichnet werden. Als Synonyme von Design werden daher nachfolgend die Begriffe Aufbau und Gestaltung genutzt.

Designentscheidungen wirken sich auf alle anderen Phasen des Produktlebenszyklus aus, wie in Abbildung 2 dargestellt. Durch die Produktgestaltung werden nicht nur Nachhaltigkeitsaspekte determiniert, die im unmittelbaren Einflussbereich des Produktherstellers liegen, sondern auch deren vor- und nachgelagerte Stufen wie zum Beispiel Rohstoffgewinnung, Recycling und Entsorgung²⁴. Laut Hopfenbeck²⁵ werden 80 % der Umweltauswirkungen und Kosten eines Produktes durch das Design bestimmt. Beispielsweise hat das energiesparende Design von Produkten einen positiven Effekt auf die Nachhaltigkeit in der Nutzungsphase. Eine weitere beispielhafte Option ist, das Produkt so zu konzipieren, dass es einfach zerlegbar ist und aus recyclebaren Materialien besteht. Somit hätte das Design einen Einfluss auf die Wiederverwendbarkeit der Produkte und damit auf ihre Nachhaltigkeit. Das Design spielt folglich eine wichtige Rolle dabei, Lösungen für Ressourcenknappheit zu finden und nachhaltige Produkte zu entwickeln, die einen geringeren Ressourcenverbrauch gewährleisten.

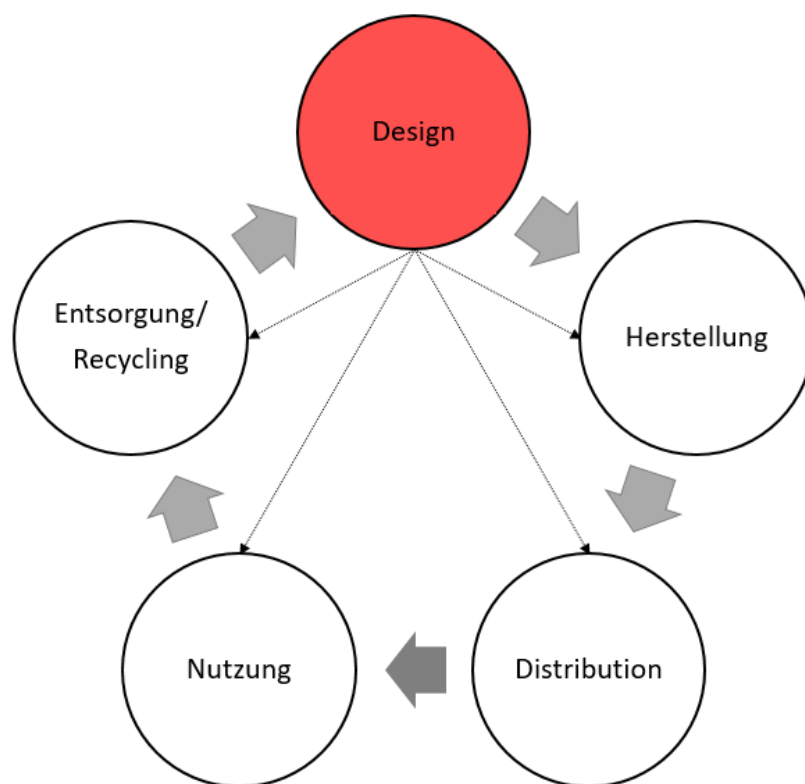


Abbildung 2: Design im Produktlebenszyklus (eigene Darstellung)

24 [Bur03] S. 292

25 [Hop95] S. 128

McLennan definiert nachhaltiges Produktdesign als „Philosophie, physische Objekte, die gebaute Umwelt und Dienstleistungen so zu gestalten, dass sie den Prinzipien der sozialen, ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit entsprechen“²⁶. Nachhaltiges Produktdesign orientiert sich folglich an den oben beschriebenen Grundregeln der Nachhaltigkeit. Es wird darauf abgezielt, mit einem intelligenten Einsatz der vorhandenen Ressourcen einen größtmöglichen Nutzen für alle beteiligten Akteure bei möglichst geringer Umweltbelastung und unter sozial fairen Bedingungen zu erreichen. Diese Herangehensweise verpflichtet Produktentwickler dazu, Produkte im Sinne der Nachhaltigkeit zu gestalten. Bereits bei der Gestaltung der Produkte muss sich mit möglichen Umweltbelastungen und anderen Aspekten der Nachhaltigkeit auseinandergesetzt werden. Beim Design muss unter anderem die Wiederverwertung, aber auch ein material- und energiesparende Herstellungsverfahren mitbedacht werden, damit der Kreislauf ressourcenschonender Herstellung, Verwendung und Wiederverwertung von materiellen Gütern und Produkten funktioniert²⁷.

Zur Umsetzung eines nachhaltigen Designs wurden Designprinzipien festgelegt, die ein nachhaltiges Produkt schaffen sollen. Nach Burschel kann das nachhaltige Produktdesign in neun Designziele unterteilt werden: Design von materialeffizienten, materialgerechten, energieeffizienten, schadstoffarmen, abfallvermeidenden, langlebigen, recyclinggerechten, entsorgungsgerechten und logistikgerechten Produkten²⁸.

Nachfolgend werden die Prinzipien für ein nachhaltiges Produktdesign zusammengefasst vorgestellt. Die Zusammenstellung ist abhängig von den Bewertungskriterien, die im späteren Verlauf für den Vergleich der modularen und integrierten Smartphones relevant sind, gewählt. In Abbildung 3 wird die Übersicht der Zuordnungen dargestellt. An erster Stelle wird das Design langlebiger Produkte betrachtet. Hierzu zählen unter anderem die Reparierbarkeit, die Erweiterbarkeit und die Zuverlässigkeit eines Produkts. Ferner wird das *Design recyclebarer und wiederverwendbarer Produkte* erläutert, welches das recyclinggerechte, entsorgungsgerechte und abfallvermeidende Design beinhaltet. Das *Design energieeffizienter Produkte* wird im Anschluss daran vorgestellt. Im Abschnitt zum *Design umweltfreundlicher Produkte* werden die Prinzipien von materialeffizienten, materialgerechten, schadstoffarmen und logistikgerechten Produkten zusammengefasst. Zusätzlich wird das *Design sozial fairer Produkte* erläutert, um die soziale Dimension der Nachhaltigkeit innerhalb der Designprinzipien ebenfalls abzudecken.

26 Originale Definition: „Sustainable design is the philosophy of designing physical objects, the built environment, and services to comply with the principles of social, economic, and ecological sustainability.“
[McL04]

27 [Wup131] S. 5

28 [Bur03] S. 292-293

Nachhaltige Designprinzipien nach Burschel

Nachhaltige Designprinzipien

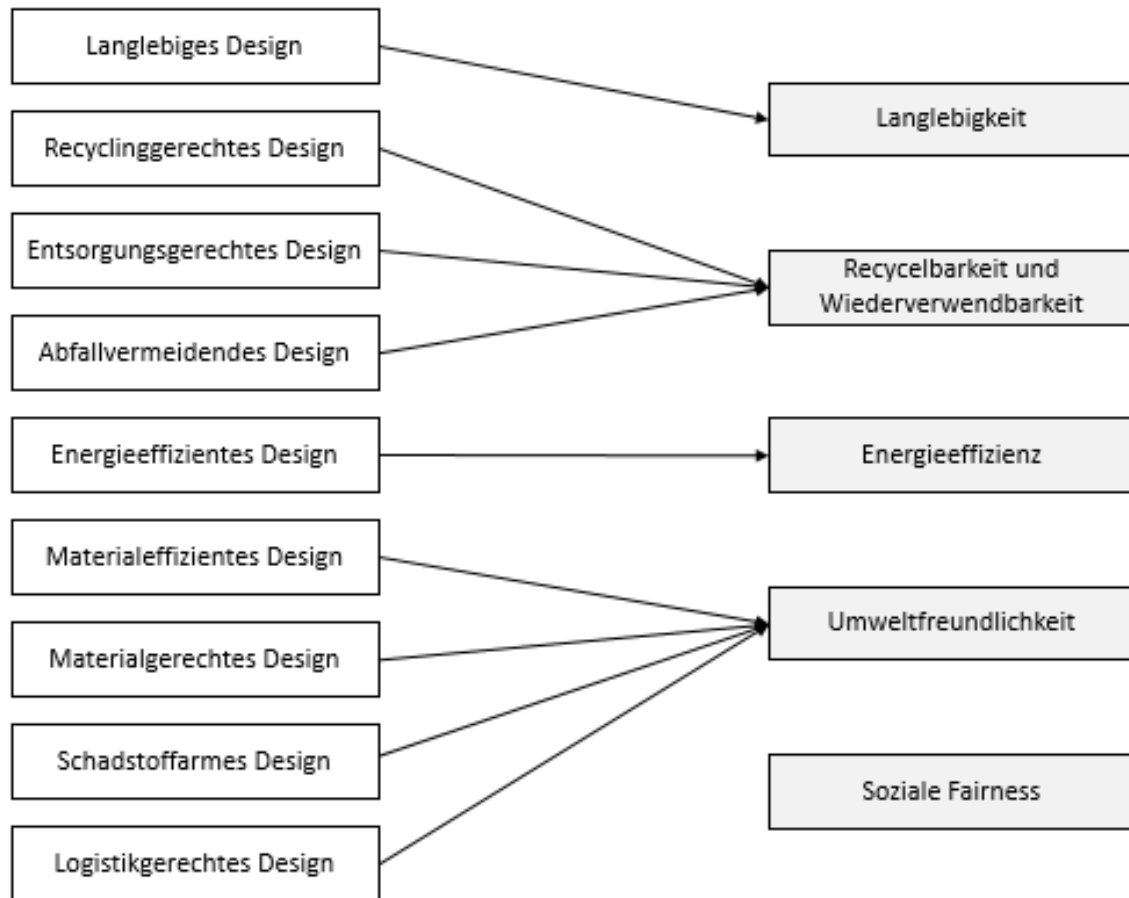


Abbildung 3: Nachhaltige Designprinzipien (eigene Darstellung)

2.2.1 Design langlebiger Produkte

Die Verlängerung der Nutzungsdauer ist ein entscheidender Punkt der Nachhaltigkeitsbetrachtung. Je länger ein Produkt genutzt wird, desto weniger Ressourcen müssen für die Rohstoffgewinnung und Produktion neuer Produkte aufgewendet werden und desto weniger Umweltbelastung entsteht durch die Entsorgung bzw. das Recycling des Produkts. Daher ist es essenziell, Güter mit einer hohen Nutzungsdauer zu entwerfen.

Um ein möglichst langlebiges Produkt zu designen, muss die Alterung des Produkts, die sogenannte Obsoleszenz, vermieden oder zumindest verringert werden. Die werkstoffliche Obsoleszenz liegt in der mangelnden Leistungsfähigkeit von Materialien und Komponenten begründet. Die Produkalterung zeigt sich etwa in dem zu schnellen Verschlechtern der Festigkeitseigenschaften durch milieubedingte Korrosion, Fließ-, Ab- und Umbauprozesse. Funktionale Obsoleszenz wird durch sich rasch verändernde technische und funktionale Anforderungen an ein Produkt verursacht, beispielsweise die Interoperabilität von Software und Hardware verschiedener elektronischer Geräte. Die dritte Art der

Obsoleszenz, die psychologische Obsoleszenz, umfasst die vorzeitige Alterung von Produkten aufgrund von Moden, neuen technischen Trends und Konsummustern.²⁹

Man spricht von geplanter Obsoleszenz, wenn die Obsoleszenz eines Produkts vom Hersteller beabsichtigt oder konzeptionell vorgesehen ist.³⁰ Dies ist der Fall, wenn aus Gründen der Profitmaximierung bewusst Schwachstellen in das Produkt integriert werden. Beispiele hierfür sind Produkte mit kurzer Haltbarkeit, der Einsatz von minderwertigen Rohstoffen oder die Einstellung der Ersatzteilproduktion. Somit wird der Nutzer dazu motiviert oder gar gezwungen, nach einer bestimmten Zeit das entsprechende Produkt bzw. das Nachfolgeprodukt erneut zu erwerben.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Motivation des Konsumenten sein Produkt durch ein neues Produkt zu ersetzen und dem Produktdesign. Wenn das Produkt besser gestaltet ist, hat der Konsument erst später die Motivation dieses durch ein neues zu ersetzen, was eine Verlängerung der Lebensdauer zur Folge hat. Diese „bessere Gestaltung“ beschreibt Burschel in seinem Designprinzip zur Langlebigkeit durch die Vermeidung von Wegwerf- und Einmalprodukten, die Verwendung hochwertiger und reparaturfähiger Materialien, stabile Konstruktionsprinzipien, die Nutzung von zeitbeständigem Design sowie hohen Bedienungs- und Nutzungskomforts des Produkts³¹.

Van Nes & Cramer unterscheiden fünf Designstrategien, die zu einer längeren Nutzungsphase des Produktes beitragen sollen³². Diese überschneiden sich partiell mit den Designprinzipien von Burschel, weichen in gewissen Aspekten allerdings auch von ihnen ab. Innerhalb der folgenden Übersicht der Designstrategien von van Nes & Cramer werden die Eigenschaften des Designprinzips zur Langlebigkeit entsprechend zugeordnet.

Zuverlässiges und robustes Design

Design für Zuverlässigkeit und Robustheit garantiert, dass das Produkt nicht schnell beschädigt oder funktionsunfähig wird³³. Die Verwendung von Materialien von hoher Qualität ist ein wichtiger Aspekt dieser Designstrategie. Dadurch können die einzelnen Bestandteile des Produkts hochwertig und langlebig gestaltet werden, was sich implizit auch positiv auf Langlebigkeit des gesamten Produkts auswirkt. Außerdem tragen auch die Fehleranfälligkeit und Widerstandsfähigkeit eines Produkts zu zuverlässigem und robustem Design bei. Je zuverlässiger und robuster ein Produkt gestaltet ist, desto langlebiger ist es. Zuverlässiges und robustes Design wird ebenfalls bei den Designprinzipien Burschels aufgeführt. In den Punkten *Verwendung hochwertiger Materialien* und *stabile Konstruktionsprinzipien* spiegelt sich das Design für Zuverlässigkeit und Robustheit wider.

29 [Ber14] S. 1-2

30 [Ber14] S. 2

31 [Bur03] S. 293

32 [van05] S. 295-296

33 [van05] S. 295

Wartungsfreundliches Design

Ein Produkt, welches einfach und günstig zu warten bzw. zu reparieren ist, ermöglicht eine längere Nutzungsdauer, da das Gesamtprodukt bei einem Defekt weiterverwendet werden kann und nur die betroffene Komponente ausgetauscht und repariert werden muss. Van Nes & Cramer postulieren, dass die Reparatur möglichst so einfach gehalten werden soll, dass der Nutzer selbstständig das Produkt reparieren und warten kann. Dazu sollen optimalerweise keinerlei Kenntnisse notwendig sein³⁴. So können Wartungen zu niedrigen Kosten realisiert werden, da es keine professionelle Reparatur durch teure Fachleute erfordert. Sind die Reparaturkosten sehr hoch, so lohnt sich für den Konsumenten meist bereits ein Neukauf des Produkts, was die Nutzungsdauer und damit auch die Nachhaltigkeit jedoch negativ beeinflusst. Auch diese Designstrategie wird von Burschel innerhalb des Aspekts *Verwendung reparaturfähiger Materialien* in den Prinzipien langlebigen Designs aufgelistet.

Aufrüstbares Design

Durch die Möglichkeit des Aufrüstens kann das Produkt länger auf dem technisch aktuellsten Stand gehalten werden. Somit muss nicht regelmäßig ein neues Produkt erworben werden, welches leicht verbesserte Eigenschaften aufweist, sondern lediglich eine Komponente ausgetauscht oder ergänzt werden. Nach van Nes & Cramer muss die Erweiterbarkeit idealerweise ebenfalls sehr leicht und vom Nutzer selbst durchführbar sein³⁵. Dabei kann die Aufrüstbarkeit eine breite Palette von Produktattributen wie die äußere Gestaltung oder diverse technologische Eigenschaften, betreffen. Durch aufrüstbares Design können im Optimalfall auch zukünftige Nutzerbedürfnisse bereits bei der Produktgestaltung berücksichtigt werden. Erweiterbarkeit ist demnach grundlegend für ein *zeitbeständiges Design*, wie es von Burschel als Designziel ausgegeben wurde.

Produktbindung

Die Designstrategie, eine Produktbindung zum Konsumenten entstehen zu lassen, ist ein schwer zu fassender, aber wichtiger Faktor für die Langlebigkeit eines Produkts. Van Nes & Cramer gehen davon aus, dass durch die Bindung, die ein Kunde zum Produkt aufbaut, die Entsorgung des Produkts erschwert wird³⁶. Zu emotionalen Bindungen an das Produkt führen beispielsweise Erinnerungen, die der Nutzer mit dem Produkt in Verbindung bringt oder auch persönliche Elemente, die im Produkt eingearbeitet sind. Individualisierungen können etwa die Produktbindung erhöhen, indem sie das Produkt einzigartig machen. Ein ebenfalls gewichtiges Element der Bindung an ein Produkt ist ein hoher Bedienungs- und Nutzungskomfort. Dazu zählt besonders die Usability eines Produkts. Usability bezeichnet nach DIN EN ISO 9241-11 „das Ausmaß, in dem ein Produkt, System oder ein Dienst durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Anwendungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“³⁷. Damit ein Produkt effektiv, effizient und zufriedenstellend genutzt werden kann, sind unter anderem eine intuitive Nutzung und Inbetriebnahme des

34 [van05] S. 295

35 [van05] S. 295-296

36 [van05] S. 296

37 [DIN17]

Produkts, eine hohe Leistung sowie eine geringe Fehleranfälligkeit notwendig. Umso höher die Zufriedenheit mit einem Produkt ist, desto stärker bindet sich der Anwender emotional an das Produkt und desto länger wird der Konsument das Produkt nutzen. Als Synonym von Usability wird im weiteren Verlauf der Arbeit der Begriff Gebrauchstauglichkeit verwendet.

Variables Design

Diese Strategie langlebigen Designs ermöglicht es dem Nutzer sein Produkt nach Belieben zu variieren, ohne dass dazu zusätzliche Komponenten benötigt werden. Die Individualisierung erfolgt meist physisch durch Anpassung der äußeren Gestalt, kann aber bei bestimmten Produkten wie IT-Produkten auch virtuell erfolgen. Variables Design zielt nach Aussagen von van Nes & Cramer auf ein nachhaltigeres Interesse an dem Produkt ab³⁸. Hierzu existiert kein Äquivalent in den Designprinzipien zur Langlebigkeit von Burschel.

2.2.2 Design recyclebarer und wiederverwendbarer Produkte

Während das Designprinzip zur Gestaltung langlebiger Produkte die Strategie der Verlängerung der Nutzungsdauer verfolgt, entspricht das Design recyclebarer und wiederverwendbarer Produkte dem Versuch der Produktlebenserweiterung nach der originären Nutzungsphase. Die Steigerung der Gesamtlebenszeit der Komponenten eines Produkts erhöht auch implizit die Nachhaltigkeit des Produkts. Hinzu kommt, dass durch Recycling Primärressourcen eingespart werden können. Dies schont Ressourcen und führt außerdem zu einer Verringerung des Energiebedarfs und der Schadstoffemissionen im Vergleich zur Neuproduktion³⁹.

Gemäß Anastas und Zimmerman sollen Produkte, Prozesse und Systeme so konzipiert sein, dass sie in einem kommerziellen Nachleben funktionieren⁴⁰. Dafür müssen Weiter-, Wiedernutzungs- und Recyclinglösungen bereits beim Entwurf des Produkts vorgedacht werden.

Das Design recyclebarer und wiederverwendbarer Produkte fasst die Designziele von recyclinggerechter und entsorgungsgerechter Gestaltung nach Burschel⁴¹ zusammen. Bei entsorgungsgerechtem Design ist auf die Vermeidung von Materialien zu achten, deren Entsorgung mit umweltbelastenden Emissionen verbunden ist. Weiterhin muss bei der Produktgestaltung der Einsatz biologisch abbaubarer Werkstoffe berücksichtigt werden und Schadstoffe müssen gegebenenfalls gekennzeichnet und leicht separierbar sein. Im Fokus des Designs recyclinggerechter Produkte stehen eine recyclinggerechte Materialauswahl, also die Nutzung recyclebarer Rohstoffe und Materialien, und die demontagefreundliche Gestaltung, damit die Komponenten des Produkts nach seinem Gebrauch optimal recycelt werden können. Das Produkt soll so designt sein, dass es sich einfach zerlegen lässt. Dadurch können zusätzliche Arbeitsschritte eingespart werden, die negative Effekte auf die Umwelt und die Nachhaltigkeit haben könnten. Zu diesem Zweck werden auch die Verringerung der Materialvielfalt und die Vermeidung

38 [van05] S. 296

39 [Wup132] S. 2

40 [Ana13]

41 [Bur03] S. 293

von Verbundwerkstoffen empfohlen, damit die Produkte komfortabler zerlegbar sind. Ebenfalls muss beim Recyclingprozess der Ausstoß von Schadstoffen in die Umwelt minimiert werden.

2.2.3 Design energieeffizienter Produkte

Ein energieeffizientes Produkt soll so design sein, dass über sämtliche Phasen des Lebenszyklus hinweg ein möglichst geringer Energieverbrauch notwendig ist⁴². Sinken die genutzten Energieressourcen, ohne Änderungen von weiteren Nachhaltigkeitsaspekten, so steigt automatisch die Nachhaltigkeit des Produkts an.

Energieeffizientere Produkte könnten hergestellt werden, indem die genutzten Herstellungsverfahren und –prozesse dementsprechend gestaltet werden, dass sie weniger Energie benötigen. Die Produkte selbst müssen ebenfalls so entworfen werden, dass sie möglichst energiesparend in ihrer Nutzungsphase sind. Dies ist besonders bei elektronischen Produkten äußerst relevant. Beim Design der Produkte ist allerdings auch darauf acht zu geben, dass das Produkt möglichst energieeffizient herzustellen und auch zu recyceln bzw. zu entsorgen ist. Daran schließt sich an, dass die Recycling- und Entsorgungsmethoden gleichfalls möglichst wenig Energie verbrauchen. Überdies wird die Nachhaltigkeit auch über die Art der genutzten Energie beeinflusst. Es ist grundsätzlich nachhaltiger, regenerative⁴³ anstatt endlicher⁴⁴ Energiequellen für Fertigungs- oder Recyclingprozesse zu nutzen.

Zusätzlich kann die Energieeffizienz auch durch multifunktionale Produkte gesteigert werden. Sobald ein Produkt als Substitut für ein oder mehrere andere Produkte verwendet werden kann, wirkt sich dies energiesparend aus. Einerseits ist weniger Energie für die Herstellung und später für die Entsorgung des substituierten Produkts notwendig. Auf der anderen Seite wird innerhalb der Nutzungsphase, insbesondere bei Elektro- und IT-Geräten, durch den Verzicht auf die überzähligen Produkte weniger Energie benötigt.

2.2.4 Design umweltfreundlicher Produkte

Das *Design umweltfreundlicher Produkte* setzt sich aus den Prinzipien von materialgerechten, schadstoffarmen, materialeffizienten und logistikgerechten Produkten nach Burschel⁴⁵ zusammen.

Die Zielvorgabe, den Umwelteinfluss aller verarbeiteten Materialien eines Produkts zu verringern, wird im materialgerechten Designprinzip abgebildet. Idealerweise wird das Produkt derartig konzipiert, dass ein maßgeblicher Anteil der Rohstoffe aus recycelten Materialien genutzt werden kann. Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen können Ressourcen bei der Herstellung eingespart werden und abhängig vom Produkt entfallen möglicherweise umweltschädigende Produktionsprozesse.

42 [Bur03] S. 292

43 Beispiele für regenerative Energiequellen sind Wasserkraft, Windenergie und Photovoltaik

44 Beispiele für endliche bzw. fossile Energiequellen sind Erdöl, Erdgas und Kohle

45 [Bur03] S. 292-293

Neben dem Einsatz recycelter Materialien ist es empfehlenswert, recyclebare Materialien zu verwenden. Die Gestaltung des Produkts mit erneuerbaren Materialien hat einen direkten Bezug zum Designprinzip recyclinggerechter Produkte. Des Weiteren soll bei der Materialauswahl speziell auf die Verwendung lokaler bzw. regionaler Materialien und Rohstoffe geachtet werden. Durch kurze Transportwege sind regional abgebaute Rohstoffe in der Regel umweltschonender und damit auch nachhaltiger. Außerdem wird aus Gründen der Nachhaltigkeit bei einem materialgerechten Design eines Produkts auf Materialien aus bestandsgefährdeten Tier- und Pflanzenarten verzichtet.

Das schadstoffarme Design von Produkten ist ein weiteres Prinzip von Burschel. Während des kompletten Produktlebenszyklus gilt es, den Schadstoffausstoß, den ein Produkt verursacht, zu reduzieren. Durch die Minimierung der schädlichen Emissionen kann zugleich die Umweltbeeinträchtigung gesenkt werden.

Beim Design des Produkts ist es erforderlich, auf eine Auswahl schadstoffarmer Materialien zu achten. Folglich sollen Schwermetalle und schadstoffhaltige Hilfs- oder Betriebsstoffe nach Möglichkeit vermieden werden. Des Weiteren muss beim Abbau der Rohstoffe berücksichtigt werden, dass keine Emissionen bei der Gewinnung der Materialien entstehen, die zur Verschmutzung der Umwelt beitragen könnten. Das gilt ebenso für die folgenden Produktions- und mögliche Recyclingprozesse des Produkts. Insbesondere die Reduzierung der Treibhausgasemissionen, aber auch die Eliminierung der Entstehung giftiger Stoffe in Fertigung und Entsorgung stellen Ziele des nachhaltigen Produktdesigns dar.

Produkte mit materialeffizientem Design zeichnen sich durch die Optimierung des Materialeinsatzes aus. Wenn das Produkt so gestaltet werden kann, dass weniger Rohstoffe und Materialien benötigt werden, so erhöht dies die Nachhaltigkeit. Die Optimierung kann durch die Umsetzung der nachfolgenden Nachhaltigkeitsansätze realisiert werden.

Zu diesem Designprinzip ist ebenso die Verwendung des Produkts als Substitut für ähnliche Produkte zu nennen, da weniger Rohstoffe und Materialien für die Herstellung der substituierten Güter nötig sind. Dies darf aber nicht zu einem zu starken Materialverbrauch am Produkt selbst führen. Demgegenüber steht die Simplifizierung als möglicher Lösungsansatz zum materialeffizienten Design. Die Beschränkung auf die wesentlichen Funktionen eines Produkts ermöglicht ebenfalls einen verringerten Materialeinsatz, da auf optionale Ausstattung verzichtet werden könnte.

Darüber hinaus sind materialeffizientere Produkte auch durch Dematerialisierung realisierbar. Möglichkeiten der Dematerialisierung sind die Miniaturisierung und der Leichtbau. Mithilfe dieser Konzepte können kleinere bzw. leichtere und damit materialsparendere Produkte hergestellt werden. Einen Schritt weiter geht die Transmaterialisierung, bei der ein Produkt in einen (digitalen) Service umgewandelt wird, sodass für das Produkt an sich keine Materialien erforderlich sind. Exemplarisch für eine Transmaterialisierung ist der Download eines Musikstücks, welcher den Kauf einer CD ersetzt. Der Konsument besitzt nach dem Erwerb kein materielles, sondern ein virtuelles bzw. digitales Produkt.

Die Optimierung des Materialeinsatzes ist ebenso durch Werkstoffsubstitution umsetzbar. Durch die Verwendung von Ersatzwerkstoffen und Ersatzrohstoffen können kritische Materialien substituiert werden. Damit sind unter anderem besonders seltene Rohstoffe, aber auch toxische und umweltschädigende Stoffe gemeint. Effizienzsteigerungen des Produkts durch neue Werkstoffe und gesamtheitlich weniger Materialeinsatz werden durch eine Werkstoffsubstitution gleichfalls ermöglicht.

Zur Steigerung der Nachhaltigkeit können überdies Produkte mit logistiggerechtem Design beitragen. Darunter fallen Maßnahmen, die dem Umwelteinfluss der Produktverpackung und der Transporte und Lagerung des Produkts zuträglich sind. Hierzu ist eine logistiggerechte Formgebung der Güter hilfreich. Dies kann beispielsweise bedeuten, dass die Produkte aufgrund ihrer Form platzsparend transportiert und gelagert werden können. Eine Reduzierung des Produkt- und des Verpackungsvolumens bzw. der -größe kann zu Platzeinsparungen und damit zu weniger Ressourcenverbrauch führen. Eine weitere Möglichkeit für ein logistiggerechtes Design ist, Produkte bzw. Verpackungen zu entwerfen, die für die Lagerung und beim Transport nur wenige Anforderungen, beispielsweise an Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Schutz vor Beschädigungen, stellen.

Darüber hinaus muss festgehalten werden, dass für die Verpackung des Produkts dieselben Designprinzipien, wie für das Produkt selbst verfolgt werden sollen. Die Verpackung ist ebenfalls schadstoffarm, materialeffizient und materialgerecht zu gestalten, um einen höchstmöglichen Grad an Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit zu erreichen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Betrachtung umweltschonender Produkte ist eine transparente Lieferkette des Produkts. Nur wenn die Produktionskette der Zulieferer bekannt und nachprüfbar ist, können belegbare Aussagen über die Umweltfreundlichkeit und die Nachhaltigkeit des Produkts getroffen werden. Der Hersteller muss also direkt bei der Konzeption seines Produkts auf die Auswahl seiner Lieferanten achten.

2.2.5 Design sozial fairer Produkte

Das Design sozial fairer Produkte spiegelt die soziale Dimension des nachhaltigen Produktdesigns wider. Aus Gründen der Vollständigkeit wird das Designprinzip zusätzlich in diesem Abschnitt vorgestellt, obwohl es kein Bestandteil der Designprinzipien nach Burschel ist. Ziel ist es, Güter so zu gestalten, dass sie sozial gerecht für alle handelnden Akteure sind. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen besonders der Rohstoffabbau und die Produktion der Produkte.

Beim Design des Produkts müssen in erster Linie die Arbeitsbedingungen der Arbeiter bedacht werden und zum Beispiel in die Auswahl der Lieferanten und in die Preisgestaltung einfließen. Durch die fortschreitende Globalisierung und der natürlich gegebenen Rohstoffverteilung auf der Erde erfolgt ein Großteil des Rohstoffabbaus und auch der Produktion in Schwellen- und Entwicklungsländern⁴⁶. Es gibt mehrere Berichte⁴⁷, nach denen besonders in diesen Ländern die Einhaltung der Arbeitsbedingungen und Menschenrechte nicht beachtet wird. Eine angemessene Entlohnung der Arbeiter, die zumindest ein zum Leben ausreichendes Gehalt beziehen sollen, ist ein bedeutsamer Faktor für die soziale Fairness des Produkts. Dies ist mithilfe formell registrierter Arbeitsverhältnisse möglich. Außerdem ist keine Zwangs-, Sklaven- oder Kinderarbeit sowie Diskriminierung jeglicher Art zu dulden. Die Arbeitswoche soll maximal 48 Stunden betragen und Überstunden bezahlt werden. Zusätzlich haben Arbeiter

46 siehe [Str14]

47 siehe [Kol16]

das Recht, einer Gewerkschaft beizutreten sowie einen sicheren und hygienischen Arbeitsplatz vorzufinden. Die Hersteller können beispielhaft in Initiativen zur Verbesserung der Arbeitnehmerbedingungen aktiv werden oder Verhaltenskodexe für ihre Zulieferer aufstellen und kontrollieren⁴⁸.

Um ein sozial faires Produkt zu gestalten, muss zudem die Nutzung von Konfliktrohstoffen kritisch betrachtet werden. Für die Gewinnung von Bodenschätzen, Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen, die in Konflikt- oder Hochrisikogebieten angebaut oder gefördert werden, werden zum Teil systematische Menschenrechts- und Völkerrechtsverletzungen in Kauf genommen. Die Herstellung bzw. der Abbau dieser Materialien findet oft illegal und außerhalb staatlicher Kontrolle statt, etwa durch Rebellen oder Milizen.

Daher ist der Verzicht bezüglich der Verwendung von Konfliktrohstoffen überlegenswert, um ein sozial faires Produkt entwerfen zu können. Eine zusätzliche Schwierigkeit von Konfliktrohstoffen ist es, eine Balance zu finden, die den vergleichsweise armen Menschen in den Konfliktgebieten durch den Boykott der Rohstoffe nicht die Existenzgrundlage entzieht.

48 siehe [Fai14]

2.3 Nachhaltiges Smartphonedesign

Die vorgestellten Prinzipien nachhaltigen Produktdesigns werden nun betreffend Smartphones spezifiziert. Im Verlauf des Kapitels werden die charakteristischen Eigenschaften, die ein nachhaltiges Smartphone auszeichnen, herausgearbeitet. Die Gliederung der Merkmale erfolgt anhand der nachhaltigen Designprinzipien. Zuerst werden die langlebigen Designstrategien im smartphonerelevanten Kontext beschrieben. Daran anschließend wird dargelegt, was beachtet werden muss, um Smartphones recyclebar und wiederverwendbar zu gestalten. Danach wird der Einfluss der Bereiche Energieeffizienz und Umweltfreundlichkeit auf die Nachhaltigkeit herausgearbeitet. Abschließend wird das Design sozial fairer Smartphones betrachtet.

Der Fokus wird auf die Designprinzipien gelegt, die für die Erarbeitung der Bewertungskriterien, relevant sind. Das sind jene Prinzipien, auf die der (modulare oder integrierte) Aufbau des Smartphones einen Einfluss nimmt. Die übrigen Nachhaltigkeitsaspekte werden nachfolgend nur genannt, aber nicht detailliert ausgeführt, da dies den Umfang der Arbeit übersteigen würde. Darunter fallen die Strategien zum umweltfreundlichen und sozial fairen Smartphonedesign.

2.3.1 Design langlebiger Smartphones

Ein Ansatz zum Design nachhaltiger Smartphones ist die Verlängerung ihrer Lebensdauer. Dieser Aspekt ist in der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Smartphones besonders relevant. Die Herstellung der Geräte ist laut verschiedenen Lebenszyklusanalysen die ressourcenintensivste und schadstoffreichste Phase eines Smartphones. Sie macht ca. 75 % der gesamten CO₂-Emissionen des Smartphone-Lebenszyklus aus.⁴⁹ Aus diesem Grund ist es bedeutsam, Smartphones möglichst langlebig zu gestalten. Je länger das Gerät verwendet wird, desto seltener müssen die aufwendigen Herstellungsprozesse zur Produktion neuer Smartphones angewendet werden.

Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Smartphones beträgt zwischen zwei und drei Jahren⁵⁰. Die Gründe für den Wechsel des Smartphones sind vielfältig. Zum Teil werden Smartphones vom Benutzer ausgetauscht, da das Telefon oder eines seiner Komponenten defekt ist. Jedoch erfolgt der Austausch der Geräte oft, obwohl diese noch funktionstüchtig sind. Dies geschieht meist aufgrund des technischen Fortschritts oder des schnellen Modewechsels. Eine Umfrage⁵¹ hat ergeben, dass fast jeder zweite Nutzer (44 %) sein Smartphone ersetzt, weil es ein neues Modell auf dem Markt gibt.

Oftmals wird das Smartphone folglich nur gewechselt, weil es nicht mehr dem neuesten Stand entspricht. Durch den permanenten technischen Fortschritt werden stetig performancelastigere Anwendungen entwickelt, sodass Smartphones nach wenigen Jahren an ihre Leistungsgrenzen stoßen, wenn sie nicht aufrüstbar sind. Viele Hersteller von Smartphones veröffentlichen zudem regelmäßige Neuerscheinungen. So ist beispielsweise das Apple iPhone X die dreizehnte Modellvariante der iPhone-Baureihe innerhalb von zehn Jahren. Hinzu kommt, dass viele Mobilfunkverträge die Möglichkeit eines

49 siehe [Ben15] S. 28

50 [Suc15] S. 5

51 [Ham16]

Gerätewechsels nach Vertragsablauf beinhalten. Die Vertragslaufzeit beträgt dabei in der Norm zwei, bisweilen auch nur ein Jahr. Das animiert den Verbraucher dazu, sein Smartphone nur über eine kurze Lebensdauer zu nutzen. Aufgrund dieser Tatsache wird einigen Smartphone-Herstellern schon seit längerem die Strategie der geplanten Obsoleszenz vorgeworfen⁵².

Um dem Trend der kürzer werdenden Nutzungszeiten entgegenzuwirken, müssen sich sowohl das Konsumentenverhalten als auch die Präferenzen und Intentionen der Industrie wandeln. Wenn die Nutzungsphase von Smartphones ausgedehnt wird, müssten weniger neue „Ersatzgeräte“ entwickelt und produziert werden, um die Funktionen des alten Produktes zu ersetzen. Dadurch kann der Ressourceneinsatz gesenkt werden, was maßgeblich zu einer geringeren Umweltbelastung beisteuert. Da bei der Produktion eines neuen Smartphones erneut Ressourcen verbraucht werden, Schadstoffe ausgestoßen werden und weitere Abfallmengen entstehen, wäre es, bezogen auf die Nachhaltigkeit, sinnvoll, ein Produkt so zu gestalten, dass es eine längere Nutzungsdauer ermöglicht.

Eine Möglichkeit der Produktlebenserweiterung ist die Weitergabe oder der Verkauf gebrauchter, aber noch funktionstüchtiger Smartphones. Die Aufarbeitung und der anschließende Wiederverkauf gebrauchter Geräte sind zu diesem Zweck ebenfalls in Erwägung zu ziehen. Die nutzerübergreifende Weiterverwendung des Smartphones wirkt sich positiv auf die Langlebigkeit des Geräts aus und ist einer Entsorgung stets vorzuziehen. Durch die weitere Verwendung werden keine zusätzlichen Ressourcen für neue Geräte verbraucht, sodass die Entsorgung von Alt-Smartphones in der Nachhaltigkeitsbilanz einer längeren bzw. Zweit-Nutzung deutlich nachsteht.

Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Smartphones ist demnach ein entscheidender Punkt der Nachhaltigkeitsbetrachtung. Lösungsansätze bieten die im Abschnitt *Nachhaltiges Produktdesign* vorgestellten Designstrategien zur Erreichung von Langlebigkeit, die nachstehend speziell für Smartphones erläutert werden.

Zuverlässiges und robustes Design

Um das gesamte Smartphone möglichst zuverlässig und robust zu gestalten, müssen auch die einzelnen Komponenten besonders haltbar sein. Je langlebiger die einzelnen Bauteile sind, desto langlebiger ist auch das gesamte Smartphone. Aus diesem Grund sind die Komponenten des Smartphones qualitativ hochwertig zu entwerfen, um eine hohe Zuverlässigkeit gewährleisten zu können. Die eingesetzten Materialien und die Verarbeitung müssen von guter Qualität sein, um Robustheit zu erreichen.

Die meisten technischen Schäden bei Smartphones treten in Zusammenhang mit dem Akku auf⁵³. Des Weiteren sind nicht selten Probleme durch hohe Temperaturentwicklung zu verzeichnen und können zu Defekten des Prozessors bzw. der Kerneinheit des Smartphones oder ebenfalls zu Beschädigungen der Batterie führen. Zur Verlängerung des gesamten Smartphonelebens muss deshalb besonders auf zuverlässige Akku- und Prozessor-Komponenten Wert gelegt werden.

52 siehe [Gab18]

53 [cli17] S. 5

Die häufigsten Smartphone-Schäden, die durch den Nutzer hervorgerufen werden, sind mit deutlichem Abstand Defekte am Display. Ca. 77 % aller Defekte sind Bildschirmsschäden, meist infolge von Stürzen.⁵⁴ Das Gehäuse wird ebenfalls oftmals durch Stürze beschädigt, dies ist für die meisten Nutzer jedoch kein ausschlaggebender Grund für einen Smartphonewechsel. Dies verdeutlicht, dass insbesondere Display und Gehäuse eines Smartphones robust gestaltet werden müssen, um eine hohe Lebensdauer zu ermöglichen. Daher ist beim Design und der Produktion des Displays auf die Verwendung besonders bruchstärkerer Gläser, beispielsweise Gorilla Glass, zu achten. So kann die werkstoffliche Obsoleszenz des Geräts verhindert oder zumindest minimiert werden. Der Schutz des Smartphones, etwa unter Einsatz von Panzerglasfolien und Hüllen, durch den Konsumenten selbst ist empfehlenswert, um die Langlebigkeit des Geräts zu steigern. Durchschnittlich können durch entsprechende Schutzhüllen oder -folien ca. die Hälfte aller Sturzschäden vermieden werden⁵⁵. Darüber hinaus ist die Vermeidung von Wasserschäden ein bedeutender Aspekt für die Widerstandsfähigkeit eines Smartphones. Beim Design des Smartphones muss bedacht werden, dass dem Eindringen von Spritzwasser oder anderen Fremdkörpern, wie zum Beispiel Staub oder Sandkörnern, vorgebeugt wird.

Ein nachhaltiges Smartphone zeichnet sich zudem durch die Gewährung einer Garantiezeit durch den Hersteller aus. Reparaturen von Defekten, die innerhalb dieses Zeitraums auftreten und durch Herstellungsmängel bedingt sind, werden vom Anbieter übernommen. Je größer dieser Zeitraum ausfällt, desto zuverlässiger ist das Smartphone zu bewerten, da angenommen werden kann, dass der Hersteller sein Produkt als robust und ausfallsicher einschätzt.

Wartungsfreundliches Design

Ein wartungsfreundliches Smartphone zeichnet sich durch möglichst einfache und günstige Reparatur- und Wartungsmöglichkeiten aus. Wenn das Gerät so designt ist, dass es leicht zu reparieren ist, kann die Entsorgung aufgrund einer defekten Komponente vermieden oder zumindest verzögert werden. Im Abschnitt *Zuverlässiges und robustes Design* wurde beschrieben, dass Smartphones besonders häufig Schäden am Display und Akkuproblemen ausgesetzt sind. Können diese durch eine Reparatur behoben werden, so erhöht sich die Nutzungsdauer entsprechend, weil das Smartphone auch nach dem Defekt weiterverwendet werden kann.

Damit eine Reparatur für den Konsumenten wirtschaftlich sinnvoll ist und einem Neukauf vorgezogen wird, ist es erstrebenswert, dass die Reparatur vom Nutzer selber durchgeführt werden kann, falls die Garantiezeit bereits abgelaufen ist oder der aufgetretene Defekt kein Garantiefall ist. Damit kann eine professionelle Reparatur, die meist hohe Kosten zur Folge hat, vermieden werden. Für viele Smartphone-Modelle werden Online-Tutorials angeboten, die eine eigenständige Wartung des Geräts fördern. Der Austausch einer Komponente ist aufgrund des komplexen und miniaturisierten Aufbaus vieler Smartphones häufig sehr schwierig. Daher ist beim Design des Smartphones zum Zwecke der Nachhaltigkeit darauf zu achten, dass diese die selbstständige Reparatur ermöglichen. Das bedeutet zum Beispiel, dass für die Wartung des Geräts kein Spezialwerkzeug erforderlich sein soll. Außerdem sind

54 [cli17] S. 5

55 [cli17] S. 6

Verschraubungen von Bauteilen aus Sicht der Wartungsfreundlichkeit vorteilhaft. Aus Platzgründen werden Komponenten innerhalb der Smartphones allerdings meist verklebt, sodass im Falle eines Defektes ein Austausch nur schwer möglich ist.

Die Hersteller sollen für den Fall, dass eine eigenständige Reparatur nicht möglich oder gewünscht ist, kostengünstige Reparaturservices für alle ihre Modelle anbieten. Das Angebot von Ersatzteilen bzw. Softwareupdates bis mindestens drei Jahre nach Produktionsende trägt ebenso zu einem wartungsfreundlichen Smartphone bei. Überdies existieren unabhängige Reparaturservices für eine Vielzahl der gängigen Smartphone-Modelle, die genutzt werden können, soll eine eigenständige Reparatur unmöglich sein.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Wartung des Smartphones spielt der Konsument selbst. Dieser muss die angebotenen Möglichkeiten zur Reparatur nutzen wollen und können, um die Nutzungsdauer des Smartphones zu erhöhen, anstatt bei einem reparablen Defekt ein neues Gerät zu erwerben. Laut einer Studie vom Reparaturservice Clickrepair gab nur jeder fünfte Befragte an, sein Smartphone schon einmal nach einem Defekt repariert zu haben⁵⁶.

Aufrüstbares Design

Werden Smartphones aufrüstbar gestaltet, ist eine ständige Aktualität der Geräte realisierbar. Durch mögliche Erweiterungen kann werkstoffliche Obsoleszenz verhindert werden, indem veraltete Komponenten durch verbesserte Bauteile ausgetauscht werden. Speziell im Smartphone-Kontext, der durch den schnellen technologischen Fortschritt geprägt ist, ist die Option ein funktionstüchtiges Gerät durch Erweiterungen aktuell zu halten, besonders relevant um die Langlebigkeit zu erhöhen.

Dabei kann die Aufrüstung zum einen durch die Verbesserung einer bereits vorhandenen Funktionalität bzw. einer bereits verbauten Komponente erfolgen. Bei Smartphones ist es weit verbreitet die Speicherkapazität mittels einer Speicherkarte zu erweitern. Dazu muss das Smartphone so gestaltet sein, dass ein entsprechender Steckplatz vorhanden ist. Denkbar sind allerdings auch Aufrüstungen von Kameras, Displays, Prozessoreinheiten und weiteren Komponenten eines Smartphones. Smartphones könnten zudem auch um neue, zusätzliche Funktionen erweitert werden. Exemplarisch hierfür ist die nachträgliche Ergänzung von bestimmten Sensoren zu einem Gerät vorstellbar wie etwa zur Bestimmung des Fingerabdrucks, der Temperatur oder der Herzfrequenz.

Voraussetzungen für eine Aufrüstbarkeit der Smartphones sind ein entsprechendes Angebot an Bauteilen, die ein Smartphone erweitern und ein einfacher Komponentenaustausch. Wie bereits beim *Wartungsfreundlichen Design* angemerkt, sollen auch die Erweiterungen idealerweise komfortabel vom Nutzer selbst durchführbar sein.

Produktbindung

Ein Nutzer, der eine emotionale Bindung zu seinem Smartphone aufbaut, nutzt in der Regel das Gerät langfristiger. Diese Produktbindung kann unter anderem durch Personalisierungen des Smartphones entstehen. Smartphone-Hüllen, welche es in verschiedensten Ausführungen zu erwerben gibt oder die

56 [cli17] S. 9

auch individuell gestaltbar sind, sind eine Möglichkeit um das Smartphone zu personalisieren. Des Weiteren ist ein einzigartiges Aussehen des Smartphones an sich, beispielsweise durch die individuelle Auswahl und Anordnung von Modulen, denkbar. Einzigartige Features oder Funktionalitäten eines Geräts, die sich von den Konkurrenz-Produkten abheben, können ebenso die Bindung an das Smartphone erhöhen, da der Nutzer der Überzeugung ist, ein außergewöhnliches Produkt zu besitzen. Dies kann beispielsweise durch die Nutzung spezieller Module oder durch einen Technologievorsprung des Geräts bzw. der Komponenten realisiert werden.

Eine Bindung an das Smartphone bildet sich ebenfalls, wenn der Konsument mit dem Produkt zufrieden ist. Das Smartphone wird länger verwendet, wenn der Nutzer keinen Grund zum Wechsel bzw. Neukauf hat. Mittels einer ansprechenden Gestaltung des Smartphones kann unter anderem diese Zufriedenheit erreicht werden. Dazu gehören beispielhaft eine hochwertige Verarbeitung des Gehäuses, die Verwendung von Materialien von hoher Qualität und eine leichte, dünne und ergonomische Form des Smartphones.

Die Usability des Smartphones trägt ebenfalls zu einer Bindung mit dem Gerät und zur Kundenzufriedenheit bei. Ein hoher Bedienungs- und Nutzungskomfort kann durch eine intuitive, einfache Inbetriebnahme, Konfiguration und Handhabung des Smartphones erreicht werden. Dazu soll der Aufwand und die technische Expertise für die Inbetriebnahme und Konfiguration des Geräts durch den Nutzer minimiert werden, sodass das Smartphone im Idealfall direkt nach dem Kauf verwendet werden kann. Die Recherche über miteinander kompatible Hard- und Software-Komponenten, die Montage von Bauteilen und der Zusammenbau des Smartphones, zusätzliche Installation von Software oder das Vornehmen notwendiger technischer Einstellungen sind Beispiele für Tätigkeiten, welche die Usability bei der Inbetriebnahme eines Smartphones verschlechtern.

In der folgenden Nutzungsphase ist eine benutzerfreundliche Bedienung ausschlaggebend für eine gute Usability. Hierzu zählen hardwarespezifisch unter anderem die Anordnung der Bedienelemente und Tasten am Smartphone oder die Reaktionsempfindlichkeit des Touchscreens. Für einen hohen Bedienungskomfort eines Smartphones ist ebenso eine intuitive und einfache Nutzung der Software, speziell des Betriebssystems, notwendig. Ebenfalls trägt das Zusammenspiel von Hard- und Software zur Anwenderfreundlichkeit bei.

Damit der Konsument nicht unzufrieden mit seinem Smartphone ist, muss zugleich eine ausreichende Leistungsfähigkeit gegeben sein. Das Gerät sollte so performant sein, dass alle notwendigen Anwendungen auf dem Smartphone ohne Beeinträchtigung des Nutzers lauffähig sind. Lange Wartezeiten beim Starten des Smartphones oder einzelner Anwendung tragen nicht zu einem hohen Nutzerkomfort bei und sollten vermieden werden, da sie ein möglicher Beweggrund für den Wechsel zu einem neuen Smartphone sind. Damit behindern sie das Ziel der Langlebigkeit. Dies gilt genauso für Systemabstürze und -fehler. Ein Smartphone besitzt optimalerweise eine sehr geringe Fehleranfälligkeit, um die Zufriedenheit des Konsumenten und damit die Produktbindung zu erhalten.

Variables Design

Variables Design kann bei Smartphones entweder virtuell oder physisch erreicht und umgesetzt werden. Es ist möglich, das Smartphone virtuell zu variieren, indem diverse Einstellungen wie der Klingelton oder das Hintergrundbild verändert werden. Weiterhin kann das virtuelle Erscheinungsbild durch die Installation von unterschiedlichen Betriebssystemen und Applikationen auf dem Smartphone abgewandelt werden. Dazu ist eine größtmögliche Offenheit des Systems bezüglich des Betriebssystems dienlich, damit der Nutzer in der Lage ist, sein Smartphone so individuell wie möglich anzupassen.

Die Variabilität auf der physischen Ebene wird primär durch die Gestaltung des Gehäuses bzw. der Außenhülle erreicht. Bei den meisten Smartphone-Modellen ist eine Wahl zwischen unterschiedlichen Gehäusefarben möglich. Einmal bestimmt, kann dieses Gehäuse aber in der Regel nicht problemlos ausgewechselt werden, da es fest mit den restlichen Komponenten integriert ist. Durch Zubehör wie Smartphone-Hüllen und -Cases ist es dem Konsumenten trotzdem möglich, die äußere Gestaltung des Smartphones zu modifizieren.

Die variable Gestaltung der Hardwarekomponenten wurden bereits in den Abschnitten *Wartungsfreundliches Design* und *Aufrüstbares Design* ausgeführt.

2.3.2 Design recyclebarer und wiederverwendbarer Smartphones

Smartphones können nachhaltiger gestaltet werden, indem ihre Lebensdauer erhöht wird. Eine Strategie zur Produktlebenserweiterung ist die Wiederverwendung des Smartphones bzw. seiner Komponenten oder seiner Materialien. Es ist daher bereits beim Design des Smartphones darauf achten, es recyclingfreundlich und wiederverwertbar zu konzipieren.

Um das Recycling und eine Wiederverwendung des Smartphones zu realisieren, ist eine entsprechende korrekte Entsorgung der Geräte nötig. Oft werden Smartphones fälschlicherweise über den normalen Hausmüll entsorgt. Diverse Materialien eines Smartphones sind allerdings nicht biologisch abbaubar und sogar giftig, was bei einer falschen Entsorgung zu einer Verschmutzung der Umwelt führt⁵⁷. Ein großer Teil der ausgedienten Smartphones gelangen zum Ende ihrer Nutzungszeit in Entwicklungsländer, was problematische Folgen haben kann. Mehrheitlich mangelt es in diesen Gebieten an einem ordnungsgemäßen Recycling- und Abfallsystem, sodass das Recycling unter einfachsten Bedingungen erfolgt. Durch das unsachgemäße Verbrennen unterschiedlicher Elektronikgerät bilden sich toxische Substanzen, die die Gesundheit schädigen und die Umwelt kontaminieren.⁵⁸ Schaden für Mensch und Umwelt entstehen bei falscher Entsorgung von Smartphones sogar doppelt. Neben der Umweltbelastung bei der Entsorgung selbst werden außerdem die Materialien dem Rohstoffkreislauf nicht wieder zugeführt. Folglich müssen wieder Primärressourcen zur Herstellung neuer Smartphones genutzt werden.

57 Speziell eingesetzte Materialien wie Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polycarbonat (ABS-PC), Keramik, Kupfer, Zinn, Blei, Kobalt, Aluminium, Wolfram, Gold, Palladium, Mangan, Lithium-Verbindungen, Chromoxid, Flüssigkristalle, Beryllium, Phosphor und Molybdän sind zu großen Teilen nicht abbaubar.

58 [Sch12]

Die korrekte Rückgabe der Smartphones ist demnach ein entscheidender Faktor zur Realisierung recyclebarer und wiederverwendbarer Smartphones. Aus diesem Grund müssen Staat und Unternehmen Verantwortung für die sachgerechte Entsorgung der Telefone übernehmen. Dafür existieren verschiedene Rücknahmeprogramme von Mobilfunkanbietern⁵⁹ und Smartphone-Herstellern⁶⁰, die teilweise sogar kostenlos sind. Zudem kann der Konsument sein Smartphone zum Beispiel auch an das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm senden.

Diese Maßnahmen werden von den Nutzern bis jetzt allerdings nur mäßig angenommen und die Rückgabequoten sind gering⁶¹. Die Verbraucher müssen daher noch weiter für dieses Thema sensibilisiert werden. Ein Pfand⁶² für Smartphones ist eine mögliche Strategie zur Steigerung der Smartphone-Rückgaberate. Dabei wird ein Teil des Kaufbetrags zurückerstattet, wenn das Smartphone an den Hersteller zurückgesendet wird. Damit könnte verhindert werden, dass immer mehr ungenutzte Smartphones von den Konsumenten nicht bzw. nicht korrekt entsorgt werden. Laut dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien existieren ca. 124 Millionen ausrangierte Smartphones und Handys in deutschen Haushalten⁶³. Diese Geräte enthalten wertvolle Ressourcen, die durch Recycling zu Sekundärrohstoffen umgewandelt werden könnten.

Ziel des Recyclings von Smartphones ist es, dass so viele Rohstoffe wie möglich zurückgewonnen werden können und parallel die Entstehung toxischer Substanzen verfahrenstechnisch minimiert wird. Im Fokus der Rückgewinnung stehen dabei die vielen wertvollen Metalle eines Smartphones, um somit die knappen und teuren Edelmetall-Ressourcen zu schonen.

Für ein effizientes Recycling von Smartphones ist eine fachgerechte Zerlegung notwendig. Meist werden die Kunststoffteile zunächst entfernt und anschließend die restlichen Bestandteile zerschreddert. Dadurch werden die Materialien besser voneinander getrennt und beispielsweise gefährliche Schwermetalle können schadlos entsorgt werden. Die abgetrennten Kunststoffbestandteile werden gewöhnlich verbrannt, um dadurch die Energie für die Schmelzprozesse zu gewinnen. Dies geschieht, weil Smartphones oft aus unterschiedlichen Kunststoffen bestehen und eine komplette Trennung und Aufbereitung der verschiedenen Kunststoffe derzeit noch nicht realisierbar ist. Stattdessen tragen die Kunststoffe infolge ihrer Verbrennung zu einer deutlich besseren Energiebilanz des Recyclings bei. Grundsätzlich funktioniert das Recycling der Metalle eines Smartphones effektiver. Speziell die Leiterplatte enthält viele wertvolle Edelmetalle, die mithilfe einer modernen Metallhütte zu einem großen Anteil zurückgewonnen werden können. Jedoch erschwert die eingeschränkte Trennbarkeit der Materialien des Smartphones das Recycling.⁶⁴ Bisher können nicht alle Materialien eines Smartphones recycelt werden. Insgesamt gelangen momentan ca. 65–80 % eines durchschnittlichen Smartphones zurück in den Rohstoffkreislauf.

59 siehe [Tel18]

60 siehe [Fai1821]

61 [Sch12] S. 28

62 siehe [SH18]

63 [Tro18]

64 [Lex15]

Ziel muss es deshalb sein, Smartphones zu designen, die komfortabler zu recyceln sind. Neben der Nutzung recyclebarer Rohstoffe in der Herstellung ist es ebenfalls notwendig, das Smartphone demontagefreundlich zu gestalten. Je einfacher das Gerät in seine Einzelbestandteile zerlegt werden kann, desto effizienter funktioniert das Recycling, weil Materialien besser aufgetrennt und speziell weiter bearbeitet werden können. Überdies sollen für eine recyclinggerechte Materialauswahl, wenn möglich, Rohstoffe vermieden werden, deren Entsorgung mit umweltbelastenden Emissionen verbunden ist.

2.3.3 Design energieeffizienter Smartphones

Ein ideal energieeffizient designtes Smartphones soll über sämtliche Lebensphasen hinweg so wenig Energie wie möglich verbrauchen.

In der Phase des Rohstoffabbaus ist die Gewinnung bestimmter Mineralien wie Kobalt, Gold und Zinn für die Herstellung bedeutsam. Smartphones bestehen zu ca. 28 % aus verschiedenen Metallen⁶⁵, deren Abbau teilweise ressourcen- und energieintensiv ist. Das Schürfen nach den erforderlichen Rohstoffen soll möglichst energiesparend erfolgen, um ein energieeffizientes Smartphone sicherstellen zu können. Überdies ist auch bei der Produktion, gerade bei der aufwendigen Fertigung der Leiterplatten, auf einen geringen Energieeinsatz zu achten. Für den Transport der elektronischen Komponenten, beispielsweise von den Produktionsstätten in Südostasien zu den Verkaufsstellen in Europa oder Amerika, ist ebenfalls Energie erforderlich. Hier besteht Einsparpotential, wenn die Produktion direkt vor Ort beim Hersteller stattfinden, da zusätzliche Transportwege vermieden werden könnten. Allerdings ist in diesem Kontext ebenso die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit in die Überlegungen miteinzubeziehen, da eine Produktion und Montage der Smartphone-Komponenten vor Ort in den Abnahmeländern wesentlich höhere Kosten verursachen.

Energie wird ebenso bei der Entsorgung und beim Recycling der Smartphones aufgewendet. Hier ist die Zielvorgabe identisch, nämlich die Prozesse so energieeffizient wie möglich zu gestalten. Durch ein geeignetes Design, das eine komfortable Zerlegung des Smartphones in seine Einzelteile ermöglicht, kann ebenfalls Energie eingespart werden, da in diesem Zusammenhang die Demontage-Prozesse hinfällig sind. In allen angesprochenen Phasen und Prozessen sind regenerative Energiequellen den endlichen Energiequellen vorzuziehen.

Ein Smartphone soll darüber hinaus so konzipiert sein, dass es während seiner Nutzung durch den Konsumenten energieeffizient ist. Der Energieverbrauch während der Nutzungsphase ist allerdings gegenüber dem Verbrauch während der Herstellung weniger relevant, wengleich durch die steigende Leistungsfähigkeit der Smartphones auch der Energieverbrauch zunimmt. Es ist ebenfalls anzumerken,

65 Smartphones bestehen zu ca. 50 % aus Kunststoffen, zu ca. 28 % aus verschiedenen Metallen ((15 % Kupfer sowie zusätzlich Kobalt oder Lithium, Eisenmetalle, Nickel, Zinn, Zink, Silber, Chrom, Tantal, Cadmium, Blei) und zu ca. 15 % aus Glas und Keramik. Die Zusammensetzung kann je nach Smartphone-Modell variieren.

[Rel09] S. 131

dass für die Mobilfunkinfrastruktur wie etwa Basisstationen, Antennen und Vermittlungsstellen ebenfalls zusätzliche Energie⁶⁶ benötigt wird⁶⁷.

Bei einem Smartphone benötigen die Kamera, das Display und das WLAN-Modul die meiste Energie. Große Einsparpotentiale sind beim Bildschirm durch die Regulierung der Helligkeit vorhanden. Der Energiebedarf steigt an, je heller das Display ist und je häufiger das Smartphone genutzt wird. Bei minimaler Helligkeit des Displays wird nur ca. ein Viertel der Energie verbraucht, die bei maximaler Helligkeit benötigt wird. Der Einsatz von OLED-Displays ist ein Schritt zu energiesparenderen Smartphones, da diese nur die Hälfte der Energie von LCD-Bildschirmen benötigen.⁶⁸

Um das Smartphone energieeffizient zu nutzen ist ebenso der Verbraucher gefragt. Je länger die tägliche Nutzungsdauer ist, desto höher ist auch der Energiebedarf. Aufgrund dessen ist es sinnvoll das Smartphone auszuschalten, wenn es nicht verwendet wird, beispielsweise in der Nacht. Außerdem soll das Smartphone nach Möglichkeit in den Standby- oder Energiesparmodus versetzt werden, sobald es nicht aktiv genutzt wird. Ebenfalls wirkt sich der Einsatz von stromsparenden Apps positiv auf den Energieverbrauch aus. Der Nutzer soll prinzipiell den Bildschirm möglichst selten einschalten, da die Komponenten des Smartphones in dieser Situation stark belastet werden. Neben der Anzeige auf dem Display, nutzt der Prozessor seine volle Leistungsfähigkeit, Apps kontrollieren ihre Aktualisierungen, Netzwerke werden geprüft und Prozesse im Hintergrund werden angestoßen.⁶⁹

Ein Vorteil moderner Smartphones ist zusätzlich, dass sie als Substitut für eine Vielzahl anderer elektronischer Geräte fungieren können. Durch ihre „Allround-Fähigkeiten“ können Geräte mit ähnlichen Funktionen abgelöst werden. Dazu zählen exemplarisch Wecker, Kameras, Navigationsgeräte, MP3-Player und mobile Spielekonsolen, deren Funktionalitäten auch Smartphones abdecken. Smartphones können sogar partiell als Substitut für Computer angesehen werden, denn Tätigkeiten wie E-Mails schreiben und lesen, Webseiten betrachten oder einfache Bürokommunikationsdienste nutzen, können mithilfe des Smartphones ausgeführt werden. Die komplette Funktionalität eines PCs kann ein Smartphone zwar nicht ersetzen, die tägliche Nutzungsdauer des energieintensiveren Computers kann aber dennoch reduziert werden. Die substituierten Geräte werden einerseits weniger verwendet, was den Stromverbrauch in der Nutzungsphase senkt. Andererseits müssen auch weniger dieser Produkte produziert und letztlich recycelt werden, wenn sie durch Smartphones ersetzt werden. Somit können positive Effekte auf den Energiebedarf in sämtlichen Abschnitten des Lebenszyklus realisiert werden.

2.3.4 Design umweltfreundlicher Smartphones

Innerhalb dieses Abschnitts werden sämtliche Nachhaltigkeitsaspekte bezüglich der Umweltfreundlichkeit thematisiert, auf die der Aufbau eines Smartphones keinen oder nur einen sehr geringen Ein-

66 [Wup131] S. 4

67 Diese Problematik wird in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

68 [Spi15] S. 88-89

69 [Spi15] S. 88

fluss besitzt. Zur Erarbeitung der Bewertungskriterien für den Nachhaltigkeitsvergleich der unterschiedlichen Smartphone-Konzepte im Rahmen dieser Arbeit sind diese Prinzipien nicht bedeutsam, weswegen sie im Folgenden nur überblicksartig beschrieben werden.

Um Smartphones umweltfreundlich zu konzipieren, muss unter anderem der Umwelteinfluss aller verarbeiteten Materialien eines Smartphones so niedrig wie möglich gehalten werden. Das kann zum Beispiel durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen erreicht werden, die aus recycelten Materialien wiedergewonnen wurden. Dadurch kann der teilweise umweltschädigende Abbauprozess von seltenen Primärrohstoffen vermieden werden. Die Gewinnung von Edelmetallen und anderen essenziellen Metallen ist besonders ressourcenintensiv. Der Abbau der Mineralien ist zwingend notwendig, da für die Fertigung von Smartphones diese Metalle essenziell sind und ein Smartphone eine Vielzahl unterschiedlicher Metalle enthält. Dementsprechend muss beim Rohstoffabbau auf die Schonung der Umwelt geachtet werden und die Entstehung von Emissionen, wenn möglich, verhindert werden.

Umweltbeeinträchtigungen können auch durch Produktions- und Recyclingprozesse entstehen. Die Prozesse rund um das Smartphone sind so zu gestalten, dass der Schadstoffausstoß minimiert wird. Durchschnittlich sind ca. 75 % der Treibhausgasemissionen eines Smartphones der Herstellungsphase anzurechnen.⁷⁰ Effektivere Fertigungs- und Entsorgungsprozesse sind eine Option zur Reduzierung dieser Emissionen. Zudem kann der Schadstoffausstoß, welcher bei der Produktion eines Smartphones entsteht, auch durch eine geeignete Materialauswahl verringert werden. Falls möglich, sollen Schwermetalle und schadstoffhaltige Hilfs- oder Betriebsstoffe vermieden werden. Neben der Entstehung von giftigen Stoffen während der Produktion soll auch die Verwendung von toxischen Stoffen umgangen werden.

Eine weitere Option, um Smartphones umweltschonender zu designen, ist die Optimierung des Materialeinsatzes. Die Verwendung von Ersatzrohstoffen oder -werkstoffen ist ein Beispiel hierfür. Vorteile dabei sind, dass seltene Rohstoffe, aber auch toxische und umweltschädigende Stoffe durch geeignetere Materialien substituiert werden. Beispielhaft dafür steht das Metall Tantal, welches aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften momentan unverzichtbar für die Herstellung von Smartphones ist.⁷¹ Hierfür wird von den Herstellern nach einem Substitut geforscht, da die natürlichen Ressourcen in den nächsten ca. 25 Jahren erschöpft sind. Beim Shiftphone⁷² werden mittlerweile keramische Mikro-Kondensatoren verwendet, um die Verwendung von Coltan zu umgehen.⁷³ Des Weiteren werden die Ver-

70 [Suc15] S. 4-5

71 Dank der hohen Spannungsfestigkeit und Dielektrizitätskonstante ist das Metall Coltan dazu prädestiniert besonders kompakte, leistungsfähige und stabile Kondensatoren zu ermöglichen.
[Mer091]

72 Die Nachhaltigkeitsansätze der Shiftphone-Modelle werden im Kapitel Nachhaltigkeitsbetrachtung Smartphone-Markt vorgestellt.

73 [SHI16] S. 7

kommen des Metalls Kobalt, welches zur Herstellung der Batterie benötigt wird, kontinuierlich knapper, sodass nach einem Ersatzrohstoff gesucht wird.⁷⁴ Unter die Kategorie materialeffizientere Smartphones fällt außerdem noch der Ansatz der Simplifizierung. Bei der Simplifizierung wird sich auf die wesentlichen Funktionen eines Mobiltelefons beschränkt und auf fakultative Ausstattung und Features verzichtet. Dadurch sind Einsparungen bei den Materialien denkbar, da zum Beispiel weniger Rohstoffe für Prozessoren benötigt werden, die nicht mehr in demselben Ausmaß wie bei einem modernen Smartphone notwendig sind. Durch die reduzierte Fertigung der substituierten⁷⁵ Geräte können neben den Energie- auch Materialeinsparungen vorgenommen werden.

Sämtliche Maßnahmen, die der Umweltfreundlichkeit des Smartphones zuträglich sind, sind ebenso für die Verpackung anzuwenden. Dies bedeutet beispielsweise, dass auch die Verpackung eines Smartphones möglichst aus Sekundärrohstoffen bzw. aus Materialien mit einem kleinen ökologischen Fußabdruck gefertigt ist. Zum Beispiel kann die Einsparung von Bedienungsanleitungen oder Teilen der Verpackung zu einem reduzierten Materialverbrauch führen. Dies ist vorteilhaft, da Ressourcen bei der Papierherstellung und dem Druckvorgang eingespart werden. Allerdings birgt diese Maßnahme das Risiko, dass die Benutzerfreundlichkeit bei der Inbetriebnahme und Nutzung des Smartphones beeinträchtigt wird.

Eine besondere Problematik beim Design umweltfreundlicher Smartphones ist die Bereitstellung einer transparenten Lieferkette. Die Liste der Zulieferer für Smartphones ist sehr komplex, da das Gerät aus einer Vielzahl von Materialien und Komponenten besteht, die vom Abbau bis zur Nutzung durch verschiedene Prozesse und Lieferanten bearbeitet werden. Eine transparente Lieferkette ist jedoch eine Voraussetzung für die Nachweisbarkeit der Angaben der Hersteller bezüglich ihrer Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit. Um die gesamte Lieferkette ökologisch nachhaltig zu gestalten, ist der Hersteller in der Pflicht die Umsetzung umweltfreundlicher Standards bei seinen Zulieferern einzufordern und zu kontrollieren.

2.3.5 Design sozial fairer Smartphones

Sozial faire Smartphones sind so zu konzipieren und herzustellen, dass sie sozial gerecht für alle handelnden Akteure sind. Im Smartphone-Kontext sind besonders die Arbeitsbedingungen relevant, da Rohstoffabbau und Produktion einer Vielzahl von Smartphones in Entwicklungs- oder Schwellenländern erfolgt. In diesen Regionen existieren zum Teil weniger strenge Richtlinien im Bereich Arbeitsbedingungen.

Der Rohstoffabbau erfolgt dort, weil die Materialien, die für Smartphones benötigt werden, vorwiegend in diesen Ländern gewonnen werden können. Die Rohstoffe können teilweise nur unter gefährlichen Bedingungen gewonnen werden und es fehlen dort Standards zu den Abbau- und Arbeitsbedin-

74 [Obe18]

75 Bereits im Abschnitt Design energieeffizienter Smartphones wurden die Vorteile von Smartphones genannt, die als Substitut genutzt werden können.

gungen. Auch die Produktion der meisten Smartphones durch Zulieferer bzw. Auftragshersteller erfolgt in Ländern der zweiten oder dritten Welt, da die Lohnkosten dort geringer sind. Zur Umsetzung eines nachhaltigen Smartphones sind sowohl beim Rohstoffabbau als auch in der Produktionsphase sozial faire Arbeitsbedingungen nötig, wie sie im Detail unter *Design sozial fairer Produkte* vorgestellt wurden.

Einige notwendige Rohstoffe wie Zinn, Coltan, Gold und Wolfram können zudem nur oder hauptsächlich aus Konfliktregionen bezogen werden. Das Konfliktmineral Coltan, aus dem Tantal gewonnen wird, was notwendig zum Bau von Kondensatoren ist, finanziert beispielsweise indirekt den Bürgerkrieg im Kongo. Eine Eliminierung der Konfliktminerale aus dem Produktionsprozess ist nur sehr schwer möglich, da diese Rohstoffe momentan elementar für die Herstellung von Smartphones sind.⁷⁶ Der Beitritt zu Vereinigungen zur Reduzierung oder Vermeidung der Nutzung von Konfliktmineralien und zur Findung von Lösungsansätzen für die Konflikte sind Optionen für Hersteller um ein möglichst sozial faires Smartphone gestalten zu können.

2.4 Marktanalyse

Nachdem nachhaltiges Design erst allgemein und anschließend speziell für Smartphones vorgestellt wurde, wird nun darauf aufbauend die Umsetzung dieser Designprinzipien in der Praxis untersucht. Es wird aufgezeigt, welche aktuellen und vergangenen Realisierungen und Ansätze nachhaltiger Smartphones und generell nachhaltiger IT-Geräte bestehen. Weiterhin werden die aktuelle Marktsituation und die Verbreitung nachhaltiger Produkte dargelegt. Zuerst wird eine Übersicht über den Smartphone-Markt gegeben. Daran schließt sich die Betrachtung von nachhaltigen IT-Geräten an.

Eine Institution, die IT-Geräte auf Nachhaltigkeit prüft und mit Zertifikaten auszeichnet, ist TCO. Bekannt geworden ist das TCO-Zertifikat besonders durch die Nachhaltigkeitsbewertung von Bildschirmen. Mittlerweile werden aber auch Notebooks, Desktop-PCs, Smartphones, Tablets und weitere IT-Produkte auf Nachhaltigkeit geprüft⁷⁷. Dabei werden sowohl vor als auch nach der Zertifizierung unabhängige Audits durchgeführt, um die Einhaltung der Zertifizierungsanforderungen der Produkte, Fabriken und Markeneigentümer zu verifizieren. Das Ziel von TCO Development ist, sich für Verringerung von negativen sozialen und ökologischen Einwirkungen bei der Produktion, Verwendung und Entsorgung von IT-Produkten einzusetzen, indem die Entwicklung von Nachhaltigkeitsanforderungen für IT-Produkte im Hinblick auf deren gesamten Lebenszyklus vorangetrieben wird.⁷⁸

2.4.1 Nachhaltigkeitsbetrachtung Smartphone-Markt

Zuerst erfolgt die Betrachtung der Marktsituation bezüglich nachhaltiger Smartphones. Dabei werden beispielhaft Geräte vorgestellt, die in der Gegenwart oder in der Vergangenheit nachhaltige Designprinzipien umgesetzt haben, und auf ihre Besonderheiten eingegangen. Anschließend werden im Kontext nachhaltiger Smartphones aktuelle Entwicklungen, typische Probleme und mögliche Lösungsansätze beschrieben.

Erste Schritte in die Richtung eines umweltfreundlichen Mobiltelefons ging das Sony Ericsson c901 im Jahr 2009. Sony Ericsson zielte darauf ab, den ökologischen Fußabdruck des Unternehmens bzw. des Smartphones zu reduzieren. Aus diesem Grund erfolgte die Herstellung des Gehäuses zur Hälfte aus recycelten Materialien. Außerdem wurden Einsparungen bei der Verpackung des Geräts umgesetzt, sodass beispielsweise keine gedruckte Anleitung mitgeliefert wurde, um den Materialaufwand zu senken. Zur Entlastung und Lebensverlängerung des Akkus sowie des Displays wurde zudem ein Sensor verwendet, der die Bildschirmhelligkeit automatisch an die Umgebungshelligkeit anpasst.⁷⁹ Dieser Sensor ist in aktuellen Smartphones mittlerweile Standard. Insgesamt gelang Sony Ericsson die Realisierung einiger wichtiger Nachhaltigkeitsansätze, für ein komplett nachhaltiges Mobiltelefon fehlt allerdings noch die Umsetzung vieler weiterer Nachhaltigkeitsaspekte wie etwa die Wartungsfreundlichkeit, die Erweiterbarkeit oder die Wiederverwendbarkeit.

77 [TCO18]

78 [TCO181]

79 [Rüg09]

Mit dem Vorsatz ein möglichst nachhaltiges Smartphones in allen Bereichen zu gestalten, stellt die Firma SHIFT ihre Smartphones her. Das kleine deutsche Familienunternehmen wurde 2014 aus einem Crowdfunding-Projekt gegründet⁸⁰ und veröffentlichte seitdem acht Smartphones⁸¹, während sich zwei Geräte noch in der Entwicklung befinden, aber bereits vorbestellbar sind⁸².

Shiftphone zeichnet sich nachhaltigkeits technisch unter anderem dadurch aus, dass ein Gerätepfand in Höhe von 22 € gezahlt wird, wenn das Smartphone nach der Nutzung an den Hersteller zurückgegeben wird⁸³. Diese Maßnahme ist ein prinzipiell nützlicher Ansatz um den Verbraucher dazu zu motivieren, sein Smartphone korrekt zu entsorgen, wodurch ein Großteil der Materialien wieder in den Rohstoffkreislauf zurückgelangen kann. Insbesondere bei der vergleichsweise kleinen und unbekannteren Firma SHIFT besteht jedoch eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Umsetzung des Gerätepfands. Beispielsweise ist nicht geklärt, inwiefern das Pfand im Fall einer Insolvenz des Unternehmens ausgezahlt werden kann. Daran angelehnt existiert ein Angebot zum Smartphone-Upgrade. Gegen eine Gebühr von 44 € kann das Smartphone unabhängig von seinem Zustand gegen eine aktuelle Version der Modellserie eingetauscht werden. Dies dient dazu, die Lebensdauer ungenutzter Geräte zu verlängern, da die zurückgegebenen Shiftphones aufgearbeitet und gebraucht verkauft oder an Hilfsprojekte weitergegeben werden. Demgegenüber steht allerdings die Begleiterscheinung, dass die Nutzer dazu angeregt werden, ihre Smartphones häufiger zu wechseln. Das steht im Gegensatz zu einem nachhaltigen Konsumverhalten.

Die Wartungsfreundlichkeit des Shiftphones wird durch verschiedene Maßnahmen gefördert. So sind auf der Webseite Anleitungen für Reparaturen vorhanden und besonders bei den modularen Modellen sind die Module einfach und ohne Spezialwerkzeuge austauschbar. Für alle Shiftphones gilt, dass bei der Öffnung des Smartphones die Garantie nicht verfällt, wie bei anderen Herstellern üblich.⁸⁴

Aus dem SHIFT-Report⁸⁵, einer Übersicht vom Unternehmen selbst über seine Nachhaltigkeitsbemühungen, geht hervor, dass darauf abgezielt wird, auch die Herstellungsphase so ökologisch und sozial nachhaltig wie möglich zu gestalten. So wird die Fertigung des Shiftphones nach eigenen Angaben in kleinen Betrieben in China durchgeführt und auf gute Arbeitsbedingungen geachtet. Dazu zählen beispielsweise ein angemessener Lohn, faire Arbeitszeiten und Absicherungen durch diverse Versicherungen. Weiterhin hat sich Shiftphone zum Ziel gesetzt, so viele konfliktfreie Rohstoffe wie möglich zu verbauen. Statt des Konfliktminerals Coltan werden bei der Herstellung eines Smartphones von SHIFT keramische Mikro-Kondensatoren eingesetzt.

Trotz der Realisierung zahlreicher nachhaltiger Designprinzipien von Shiftphone ist allerdings einschränkend anzumerken, dass die Angaben im SHIFT-Report vom Hersteller selbst stammen und nicht durch eine objektive Institution bestätigt wurde.

80 [SHI16] S. 1-2

81 [SHI183]

82 Diese beiden Smartphones SHIFT6m und SHIFT6mq sind im Gegensatz zu den restlichen Geräten modular aufgebaut und werden im Kapitel Modulare Smartphone-Konzepte im Detail vorgestellt.

83 [SHI18]

84 [SHI16] S. 11

85 siehe [SHI16]

Neben Shiftphone hat sich besonders auch das Unternehmen Fairphone⁸⁶ zum Ziel gesetzt, nachhaltige Smartphones zu konzipieren. Unter anderem durch den wachsenden Druck der Politik, aber auch durch Hersteller wie Fairphone und Shiftphone setzen auch die Marktführer im Bereich Smartphones verstärkt auf Nachhaltigkeit. So erhielt Samsung 2013 als erster der Smartphone-Hersteller das TCO-Zertifikat für Nachhaltigkeit. Das Samsung Galaxy S4 wurde unter anderem deshalb ausgezeichnet, da es einen wechselbaren Akku besitzt, einen geringen Anteil an Weichmachern enthält und kein Nickel abgibt.⁸⁷ Die Geräte von Fairphone und Shiftphone wurden bislang nicht von TCO geprüft und zertifiziert, was vermutlich in ihrer geringeren Bekanntheit begründet ist. Das Unternehmen Apple engagiert sich ebenfalls für umweltfreundlichere und nachhaltigere iPhones. Das Vorhaben von Apple⁸⁸, dass das gesamte Unternehmen und nach Möglichkeit auch alle Zulieferer erneuerbare Energiequellen nutzen⁸⁹, unterstreicht dies.

Es ist festzuhalten, dass gegenwärtig einige vielversprechende Nachhaltigkeitsansätze existieren, die allerdings besonders bei den etablierten Herstellern im Smartphone-Segment noch ausbaufähig sind. Aussichtsreiche Nachhaltigkeitsbemühungen stammen dabei in erster Linie von Firmen wie Fairphone und Shiftphone, die bezogen auf den Smartphone-Markt noch relativ klein und jung sind. Für eine Steigerung der Nachhaltigkeit ist es aber essenziell, dass Smartphone-Hersteller existieren, die sich als Zielvorgabe das Design eines nachhaltigen Smartphones gesetzt haben. Denn ohne nachhaltige Alternative gibt es auch kein Marktrisiko für die aktuellen Marktführer und wiederum wenig Notwendigkeit auf eine nachhaltigere Gestaltung zu setzen.

Eine der wesentlichen Herausforderungen beim Entwurf eines nachhaltigen Smartphones ist das Nachhaltigkeitsbewusstsein der Konsumenten. Nach einer Studie der Deutschen Telekom von 2011 befinden nur 37 % der Kunden umweltschonende Geräte und Dienste für wichtig. Ebenfalls aus einer Erhebung der Telekom im selben Jahr geht hervor, dass die Verbraucher Kriterien wie Performance, Benutzerfreundlichkeit oder Servicequalität bei Mobiltelefonen bzw. Smartphones als relevanter für ihre Kaufentscheidung erachten als ökologische Kriterien wie ein umwelt- und ressourcenschonendes Design.⁹⁰ Während die Nachhaltigkeit in der Lebensmittel- oder Textilbranche für viele Konsumenten kaufentscheidend ist, liegt der Fokus bei Smartphones eher auf den funktionellen Eigenschaften des Produkts. Dies ist insofern problematisch, da die Smartphone-Hersteller in geringerem Maße gefordert sind, ihre Produkte und Prozesse nachhaltiger zu gestalten, wenn ein Großteil der Nutzer keine nachhaltigen Smartphones nachfragt. Stattdessen legen viele Verbraucher Wert darauf ein aktuelles Modell zu nutzen und Design sowie Performance sind ein entscheidender Faktor beim Kauf. Das liegt unter anderem darin begründet, dass das Smartphone im gesellschaftlichen Umgang immer mehr zu einem

86 Auf das Unternehmen Fairphone und sein aktuelles Smartphone wird im Abschnitt Vertreter der Smartphone-Konzepte genauer eingegangen.

87 [Wöl13]

88 Genau wie das Fairphone wird das Apple iPhone im Abschnitt Vertreter der Smartphone-Konzepte detaillierter vorgestellt.

89 [App18]

90 [Sch12] S. 22

Statussymbol wird. Im Umkehrschluss veröffentlichen Smartphone-Hersteller in kurzen, meist jährlichen Abständen neue Modelle, die nicht notwendigerweise auf Langlebigkeit ausgelegt sind, um den Bedürfnissen der Nutzer nachzukommen. Natürlich steht für die Unternehmen hierbei aber auch die Profitmaximierung im Fokus.

Eine Sensibilisierung der Verbraucher für das Thema nachhaltige und umweltfreundliche Smartphones ist eine mögliche Maßnahme für mehr Nachhaltigkeit. Neben der Aufklärung der Konsumenten über die Auswirkungen eines nicht nachhaltigen Smartphonedesigns könnte auch die Einführung eines Bewertungssystems für Nachhaltigkeit ein Lösungsansatz sein. Mithilfe dieses Konzepts könnten Smartphone-Modelle bewertet und gekennzeichnet werden, damit die Käufer sofort nachhaltige Geräte erkennen können.⁹¹ Erste Schritte in diese Richtung sind mithilfe von Zertifizierungen von IT-Produkten durch TCO und anderen Nachhaltigkeitszertifizierern bereits vorhanden. Eine kritischere und ausführlichere Bewertung inklusive Abstufungen und eine deutliche Kennzeichnung der Ergebnisse wären wünschenswert, um mehr Transparenz bezüglich nachhaltiger Geräte für den Nutzer zu ermöglichen.

2.4.2 Nachhaltigkeitsbetrachtung IT-Markt

Nun wird die Marktsituation in Bezug auf nachhaltige IT-Geräte beschrieben. Dabei wird darauf geachtet, ob es Ansätze in anderen Bereichen der IT gibt, an denen sich Smartphones orientieren bzw. von denen sich Smartphone-Hersteller inspirieren lassen können, um nachhaltigere Smartphones zu gestalten. Die folgende Nachhaltigkeitsbetrachtung bezieht sich auf IT-Geräte aus dem Bereich von Desktop-Computern sowie deren Peripheriegeräten, Notebooks und Tablets, die Ähnlichkeiten mit Smartphones aufweisen. Dazu werden nachfolgend einige Lösungsansätze vorgestellt.

Der PC-Hersteller Why verfolgt insbesondere die Strategie der Langlebigkeit für seine Produkte. Eine hohe Nutzungsdauer und Reparierbarkeit der angebotenen Computer und Notebooks und eine Gegenbewegung zur geplanten Obsoleszenz sind Ziele des Unternehmens. Laut Herstellerangaben wird der Support während der kompletten Lebensdauer sichergestellt, sowohl durch den Hersteller selbst als auch durch seine Community. Why verwendet in seinen Geräten ein Betriebssystem mit möglichst langem Lebenszyklus. Aktuell ist dies Ubuntu 14.04 Long Term Support, welches fünf Jahre lang unterstützt wird. Durch die Nutzung eines offenen und rückwärtskompatiblen Betriebssystems wird gewährleistet, dass auch ältere Programmversionen noch längere Zeit genutzt werden können. Neben der Software soll auch die eingesetzte Hardware möglichst langlebig sein. Dafür spricht die Garantie des Unternehmens, Ersatzteile zu seinen Produkten für mindestens zehn Jahre zu vorteilhaften Preisen anzubieten.⁹² Dabei hat der Kunde die Wahl zwischen neuen und gebrauchten Komponenten. Zum selbstständigen Einbau der Ersatzteile stehen Anleitungen online zur Verfügung. Allerdings ist anzumerken, dass bei der Zusammenstellung der Komponenten keine speziell langlebigen Bauteile ausgewählt wurden. Die verwendeten Komponenten wie etwa Prozessor und Festplatte sind ebenfalls in anderen handelsüblichen Computern und Notebooks verbaut.

91 [Sch12] S. 19

92 [why18]

Einen etwas anders gearteten Nachhaltigkeitsansatz verfolgt das irische Unternehmen Iameco. Der Fokus des Herstellers von Notebooks und Touchscreen-PCs liegt auf einem umweltschonenden Design seiner Geräte in allen Phasen des Lebenszyklus. Stellvertretend dafür bestehen die Geräte aus einem Gehäuse aus Holz und recyceltem Aluminium.⁹³

In der Herstellungsphase der Geräte werden umweltschützende Ziele wie die Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 30 %, die Verwendung von wenigstens 70 % wiederverwertbaren und bereits recycelten Materialien und die Verringerung des Frischwasserverbrauchs um mindestens 75 % verfolgt⁹⁴. Toxische Materialien wie bromierte Flammschutzmittel, PVC und Schwermetalle werden in der Produktion der Notebooks und Touchscreen-PCs vermieden. Der Firma Iameco zufolge sind die Geräte für eine verlängerte Lebensdauer konzipiert und sollen eine einfache Reparatur und Erweiterbarkeit ermöglichen⁹⁵. Ein weiterer Vorteil bezüglich der Nachhaltigkeit ist nach Herstellerangaben der geringe Energieverbrauch der Produkte. So ist der Iameco v3 um 45 % energieeffizienter als vergleichbare Geräte und wurde unter anderem deswegen mit dem europäischen Eco-Label ausgezeichnet⁹⁶.

Umweltfreundlich gestaltet sind auch die Entsorgung und das Recycling von Iameco-Produkten. Beispielsweise existiert ein Rücknahmeprogramm für die Notebooks und Touchscreen-PCs des Unternehmens. Die IT-Geräte sind so designt, dass sie leicht zerlegbar und wiederverwendbar sind. Laut eigener Angaben ist der Iameco v3 zu 98 % wiederverwertbar.⁹⁷

Als nachteilig kann beim Hersteller Iameco angesehen werden, dass ein Großteil der genannten Fakten von Iameco selbst aufgeführt werden. Angaben zur Wiederverwendbarkeit, Energieeffizienz oder zur Nutzung recycelter Rohstoffe können durch keine objektive Quelle belegt werden.

Das Unternehmen Nager IT hat es sich zur Aufgabe gemacht eine Computermaus zu konzipieren, die so nachhaltig wie möglich ist. Die erste Version der „fairen Maus“ wurde bereits 2012 veröffentlicht⁹⁸ und war damit eines der ersten nachhaltigen IT-Produkte auf dem Markt.

Nager IT bemüht sich besonders um die Transparenz der gesamten Lieferkette, die sie zu diesem Zweck veröffentlicht hat⁹⁹. Bei der Auswahl der Lieferanten für Einzelbauteile steht der soziale Aspekt im Vordergrund. Alle Lötarbeiten und die Endmontage werden regional in einer Integrationswerkstatt vorgenommen. Auf Umweltfreundlichkeit, etwa auf die Nutzung recycelter Materialien wird bei der fairen Maus ebenso Wert gelegt. Zum Beispiel wurde im Rahmen der Initiative „Fairlötet“ der erste faire Lötendraht aus recyceltem Zinn entwickelt, der für die Bestückung der Leiterplatten zum Einsatz kommt.¹⁰⁰

93 [iam18]

94 [Sch15]

95 [iam182]

96 [iam182]

97 [iam181]

98 [Nag181]

99 [Nag182]

100 [Nag181]

Die Maus wird darüber hinaus aus ungewöhnlichen, aber umweltfreundlichen Materialien gefertigt. Das Scrollrad besteht aus Holz und das Gehäuse basiert auf Zuckerrohr anstelle von Erdöl.¹⁰¹ Zudem ist die Maus verschraubt und alle Bauteile werden als Ersatzteile angeboten, was die Wartungsfreundlichkeit erhöht.

Obwohl die faire Maus die nachhaltigste Alternative von Computermäusen ist, ist Nager IT so selbstkritisch, dass sie ihr Gerät nicht als komplett faires und nachhaltiges Produkt betrachten. Besonders die Verpflichtung und Kontrolle aller Akteure der Lieferkette zu nachhaltigem Handeln gestaltet sich schwierig und ist verbesserungswürdig.¹⁰²

Insgesamt fallen die Umsetzungen nachhaltiger Designstrategien bei IT-Produkten überschaubar aus. Lediglich einzelne Ansätze im PC- und Notebook-Bereich, meist von jüngeren, unbekannteren Unternehmen ohne nennenswerte Marktanteile, sind erwähnenswert. Die Situation, dass kleinere Unternehmen beim Design nachhaltiger Produkte besonders hervorstechen, ähnelt den Verhältnissen am Smartphone-Markt. Die Marktführer der verschiedenen IT-Geräte zeichnen sich nicht durch spezielle Nachhaltigkeitsstrategien aus. Vor allem im Bereich der Tablet-PCs existiert kein Gerät, welches sich durch ein besonders nachhaltiges Design auszeichnen kann. Lediglich das SHIFT12 von Shiftphone, welches sich momentan noch in der Entwicklungsphase befindet und voraussichtlich Ende des Jahres 2018 erscheint¹⁰³, könnte zukünftig ein nachhaltiges Tablet darstellen. Dafür spricht, dass der Fokus der Unternehmenspolitik von Shiftphone nach eigenen Angaben auf der Nachhaltigkeit liegt¹⁰⁴ und bereits veröffentlichte Smartphones des Herstellers verschiedene Nachhaltigkeitsprinzipien verfolgen. Ob das Hybridgerät zwischen Tablet und Notebook tatsächlich ein nachhaltiges IT-Gerät wird, bleibt allerdings abzuwarten.

101 [Nag18]

102 [Nag181]

103 [SHI182]

104 [SHI181]

3 Modulare Smartphones

Das Fairphone, ein Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit, ist ein modular aufgebautes Smartphone. In diesem Kapitel wird die Modularisierung zuerst allgemein, dann hinsichtlich Smartphones und abschließend in Bezug auf die IT-Branche thematisiert. Im ersten Unterkapitel wird bestimmt, was modulares Design im Rahmen der Arbeit bedeutet. Außerdem wird auf die Funktionsprinzipien, Ziele und Arten der Produktmodularisierung eingegangen. Daran anschließend wird der Aufbau modularer Smartphones erörtert. Hierbei werden die kennzeichnenden Merkmale eines modularen Smartphones herausgearbeitet und eine Abgrenzung zum integrierten Smartphonedesign vorgenommen. Darauf folgend werden bisherige modulare Smartphone-Konzepte und -Projekte vorgestellt und ihre Entwicklung skizziert. Im letzten Abschnitt des Kapitels wird der Einsatz von modularem Design bei smartphonerwandten IT-Geräten untersucht.

3.1 Modulares Produktdesign

Produktdesigns unterscheiden sich grundlegend in dem Grad, in dem ein Design in „gekoppelte“ Komponenten zerlegt werden kann. Ein Produktdesign ist lose gekoppelt, wenn eine Änderung des Designs einer Komponente geringe kompensierende Designänderungen in anderen Komponenten erfordert. Es ist eng gekoppelt, falls eine Komponentenänderung einen starken Einfluss auf andere Komponenten besitzt. Modularität ist eine spezielle Form des Designs, die absichtlich eine besonders lose Kopplung zwischen den Komponenten erzeugt. Das hohe Maß an Unabhängigkeit zwischen den einzelnen Bauteilen entsteht durch die Standardisierung der Spezifikationen der Komponentenschnittstellen. Die modulare Produktarchitektur ist eine besondere Form des Produktdesigns, die standardisierte Schnittstellen zwischen Komponenten verwendet, um eine flexible Produktarchitektur zu schaffen.¹⁰⁵

Innerhalb eines Systems von miteinander in Beziehung stehenden Komponenten erfüllt jede Komponente eine bestimmte Funktion für das Produktdesign. Vereinfacht kann gesagt werden, dass ein Produkt dann eine eher modulare Struktur hat, wenn einer Komponente genau eine Funktion zugeordnet werden kann. Falls hingegen eine Funktion von mehreren Komponenten verrichtet wird, so wird dies als integrale (bzw. integrierte) Struktur beschrieben.¹⁰⁶

Laut Duden ist Modularisierung „die Gliederung eines Objekts in einzelne Module“¹⁰⁷ und ein Modul wiederum ein „austauschbares, komplexes Element innerhalb eines Gesamtsystems (...) das eine geschlossene [Funktions]einheit bildet“¹⁰⁸. Folglich ist Modularisierung die Aufteilung eines Systems in mehrere Komponenten, weswegen es umgangssprachlich auch als Baukastenprinzip beschrieben wird. Modulares Design ist ein Designansatz, bei dem ein System in kleinere Elemente unterteilt wird, die unabhängig voneinander sind und in verschiedenen Systemen genutzt werden können. Fügt man die

105 [San96] S. 65

106 [San96] S. 65

107 [Dud18]

108 [Dud181]

einzelnen Module zusammen, so erhält man ein ganzheitliches modulares Produkt. Dabei ist es möglich, dass die Module sich auf verschiedene Weisen zu einem Ganzen zusammenfügen lassen.

Beispiele für Produkte mit modularem Aufbau außerhalb der Informationstechnologie sind vielfältig. Unter anderem sind Fertighäuser und Automobile mit serienmäßig vorgefertigten Bauteilen modular aufgebaut. Schranksysteme, die eine individuelle Kombination von Türen, Wänden, Fächern und Böden zu vielen unterschiedlichen Modellvarianten ermöglichen, basieren ebenfalls auf dem modularen Design¹⁰⁹.

Ein Funktionsprinzip bei modularem Produktdesign ist es, die Abhängigkeiten zwischen den Modulen möglichst klein zu halten. Durch die lose Kopplung der Komponenten wird ermöglicht, dass die Module eines Produkts durch andere Komponenten austauschbar sind, ohne dass die Funktionsfähigkeit des gesamten Produkts gefährdet wird¹¹⁰. Darüber hinaus können die Komponenten separat arbeiten und unabhängig voneinander entwickelt und hergestellt werden. Eine weitere Funktion der Independenz zwischen den Modulen ist, dass Änderungen oder Fehler innerhalb von einzelnen Modulen sich nicht auf andere Module auswirken. Die Kommunikation zwischen den Modulen erfolgt über klar definierte Schnittstellen. Durch die standardisierten Interaktionsmöglichkeiten sollen Kompatibilitätsprobleme minimiert werden. Die Anzahl der Schnittstellen sind idealerweise gering, damit Änderungen möglichst problemlos durchgeführt werden können.

Mit dem modularen Design von Produkten werden verschiedene Ziele verfolgt, die nachfolgend erläutert werden. Durch den einfachen Austausch von Modulen können Wartung und Erweiterbarkeit der Produkte optimiert werden. Reparaturen können durch den Austausch der fehlerhaften Komponente, abhängig von der Produktart, eigenständig und kostengünstig vom Nutzer übernommen werden. Die Erweiterung um zusätzliche Module ermöglicht es, neue Lösungen zu integrieren, ohne auf ein komplett neues Produkt zurückgreifen zu müssen. Außerdem wird damit beabsichtigt, ständige Aktualität sicherzustellen. Aufgrund der vielfältigeren Gestaltungsmöglichkeiten ist zudem eine höhere Produktindividualität möglich. Dadurch steigt ebenso die Flexibilität des Angebots. Mithilfe des modularen Designs lässt sich darüber hinaus die Verständlichkeit von komplexen Produkten nach außen erhöhen. Für den gewöhnlichen Smartphone-Konsumenten ist es beispielsweise einfacher nachvollziehbar, welche Funktion ein Kamera- oder ein Display-Modul besitzt, als die Arbeitsweise eines Geräts mit vollständig ineinander integrierter Komponenten zu erfassen. Allerdings ist zu beachten, dass die Verständlichkeit nur scheinbar zunimmt und die tatsächliche Komplexität des Produkts womöglich sogar ansteigt, da die integrierten Bauteile infolge des modularen Aufbaus voneinander getrennt angeordnet werden müssen.

Die Produktmodularisierung kann in vier verschiedene Arten eingeteilt werden. Veranschaulicht wird die Segmentierung in generische, quantitative, individuelle und freie Modularisierung nach Piller¹¹¹ in Abbildung 4. Die generische Modularisierung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt aus einer

109 siehe [Guu18]

110 [Sch00] S. 315-316

111 [Pil06] S. 229

fixen Anzahl an standardisierten und austauschbaren Modulen besteht, welche unterschiedliche Leistungsmerkmale aufweisen können. Das Produkt basiert auf einem einheitlichen Grundprodukt. Dies ist ebenso bei der quantitativen Produktmodularisierung der Fall. Die Diskrepanz beider Modularisierungsarten ist darin begründet, dass bei der quantitativen Modularisierung die Anzahl der Module variieren kann. Die individuelle Modularisierung basiert auf der quantitativen Modularisierung, mit der Erweiterung, dass neben standardisierten Modulen ebenfalls kundenindividuelle Module verwendet werden. Für die freie Modularisierung ist hingegen kein einheitliches Grundprodukt als Grundlage notwendig. Die Module können beliebig aus standardisierten und individuellen Komponenten kombiniert werden.¹¹²

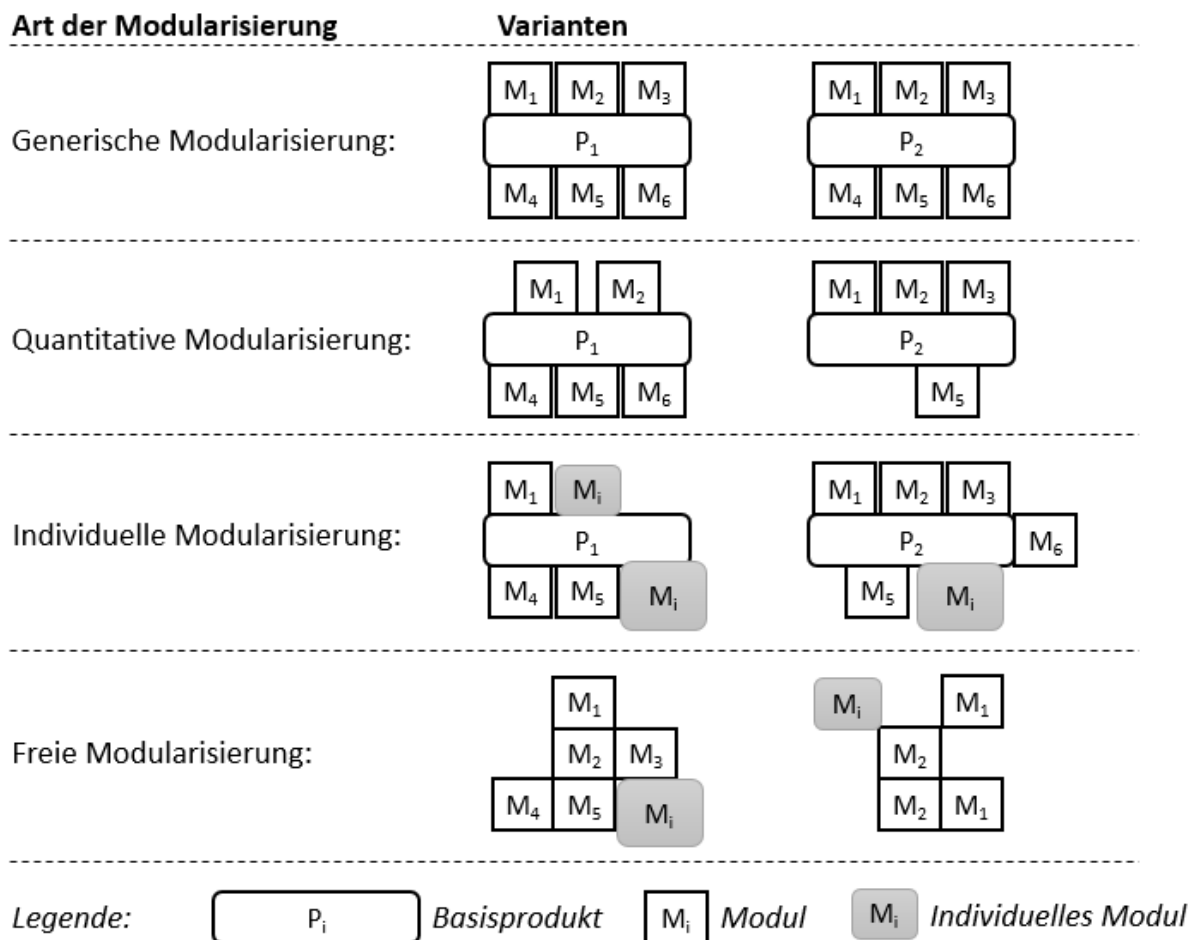


Abbildung 4: Arten der Produktmodularisierung (in Anlehnung an [Pil06] S. 229)

3.2 Modulares Smartphonedesign

Die behandelten Grundlagen des modularen Produktdesigns werden nun auf Smartphones angewendet. Dabei werden die Merkmale und Besonderheiten eines modular aufgebauten Smartphones aufgezeigt und es erfolgt eine Abgrenzung zu integriert aufgebauten Smartphones.

Ein modulares Smartphone ist dadurch gekennzeichnet, dass es aus unterschiedlichen Modulen besteht, die unabhängig voneinander ausgetauscht und erneuert werden können. Die Aufgliederung und die Quantität der Module sind nicht starr determiniert, sondern variieren von Konzept zu Konzept. Zu einem der Standardmodule, die üblicherweise in modular aufgebauten Smartphones eingesetzt werden, gehört das Mainboard inklusive der Hauptelektronik wie CPU, GPU und Arbeitsspeicher. Gemeinhin werden die restlichen Komponenten an dieses zentrale Modul angeschlossen. Die Interaktion der Module untereinander erfolgt über Schnittstellen, die in diesem Fall vom Mainboard gesteuert werden. Weitere typische Module eines modular designten Smartphones sind die elementaren Komponenten eines Smartphones wie der Akku, der Bildschirm, das Gehäuse und die Kamera. Fakultative Module für Smartphones können GPS-Sensoren, Activity Tracker, Fingerabdrucksensoren, WiFi-Module, Lautsprecher und viele weitere sein. Die Aufteilung und Gestaltung der Module kann allerdings verschiedenartig erfolgen. Exemplarisch ist auch eine Auftrennung von CPU, GPU, Arbeitsspeicher und Mainboard oder eine Zusammenlegung von Gehäuse und Display in ein Modul vorstellbar.

Mit dem Fairphone 2 wurde Ende des Jahres 2015 das erste modulare Smartphone auf den Markt gebracht¹¹³. Sämtliche etablierten Smartphones basierten bis zu diesem Zeitpunkt auf einem eher integralen bzw. monolithischen Designansatz. Gegenwärtig wird weiterhin ein sehr großer Anteil der Smartphones nach diesem Konzept gestaltet. Im Gegensatz zu modular aufgebauten Telefonen sind integrierte Smartphones als untrennbare Einheit gestaltet und die Hardwarekomponenten sind miteinander integriert. Daher werden diese Geräte im weiteren Verlauf der Arbeit integrierte Smartphones genannt. Ohne Spezialwerkzeug bzw. ohne Beschädigung des Geräts kann das Smartphone nicht in seine einzelnen Bauteile zerlegt werden. Da die Komponenten nicht austauschbar sind, bietet es dem Nutzer keine Möglichkeit zur Modifikation des Smartphones. Maximal ist es bei einigen integrierten Modellen möglich, den Akku und die Speicherkarte zu wechseln. Neben der Zusammenführung der Hardwarekomponenten sind bei integrierten Smartphones partiell auch Hard- und Software aufeinander abgestimmt und miteinander integriert.

Die wesentliche Intention, die mit dem modularen Design von Smartphones verfolgt wird, ist die Realisierung eines einfachen Wechsels von Komponenten. Dies erleichtert sowohl die Reparatur als auch die Erweiterung des Smartphones. Kommt es etwa zur Beschädigung eines Moduls, kann die fehlerhafte Komponente einzeln ausgetauscht oder repariert werden. Das Smartphone muss im Fehlerfall nicht komplett ersetzt werden, was implizit den Elektronikschrott reduziert. Das Gerät muss außerdem nicht gewechselt werden, wenn eine und mehrere Komponenten veraltet sind. Durch die Austauschbarkeit der Module ist es möglich, lediglich die betroffenen Bauteile zu ersetzen und aufzurüsten. Um

113 siehe [Cut16]

zusätzliche Funktionalitäten zu ermöglichen ist zudem das Hinzufügen neuer, optionaler Module vorstellbar. Somit ist es möglich, die ständige Aktualität des Geräts zu gewährleisten. Dabei muss gewährleistet werden, dass Austauschbarkeit der Bauteile möglichst einfach realisierbar ist. Zudem müssen die Komponenten entsprechend robust gestaltet werden, damit sie beim Einbau nicht beschädigt werden.

Weiterhin zielen modulare Smartphones darauf ab, dass die Hardware besser an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden kann. Nach dem Idealbild eines modular designten Smartphones könnten beispielsweise Nutzer, die primär fotografieren, ein leistungsstarkes Kamera-Modul einsetzen, aber eventuell auf ein hochwertiges Lautsprecher-Modul verzichten. Für Konsumenten, die ihr Smartphone zum Musikhören nutzen, wäre wiederum eine gegenteilige Zusammenstellung der Module vorteilhafter. Es sind ebenfalls einfachere Smartphone-Varianten denkbar wie zum Beispiel Telefone, die lediglich mit den notwendigen Basisfunktionen ausgestattet sind und einen dementsprechend geringeren Verkaufspreis haben. Optional könnten diese Smartphones auch mit Modulen nachgerüstet werden.

Die im Kapitel *Modulares Produktdesign* vorgestellten Arten der Produktmodularisierung werden nachfolgend auf Smartphones angewendet. Je nach realisiertem Konzept der Hersteller kann bei Smartphones zwischen drei möglichen Modularisierungsarten unterschieden werden. Die Modularisierung des Smartphones ist generisch, falls nur eine feststehende Anzahl von Modulen eingesetzt wird. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn sich ein modulares Smartphone aus den fixen Modulen Akku, Gehäuse, Display und Kamera sowie einer Steuerungseinheit aus Mainboard, CPU und Arbeitsspeicher zusammensetzt. Besteht die Möglichkeit, das Smartphone um weitere optionale Module wie etwa diverse Sensoren zu erweitern, so ist das Gerät quantitativ modularisiert. Vorstellbar ist auch der Einsatz eines größeren Akkus mit höherer Kapazität, welcher mehr Platz benötigt. Daraus würde resultieren, dass ein anderes Modul entfernt oder durch ein kleineres Modul ersetzt werden muss. Eine individuelle Modularisierung von Smartphones gestaltet sich schwieriger und bringt eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich. Zum Beispiel sind kundeneigene Module nur diffizil in die existierenden Schnittstellen integrierbar. Ein beliebiges Zusammenstellen der Module nach dem Vorbild der freien Modularisierung scheint für das Produkt Smartphone aktuell unmöglich. Einige Komponenten wie der CPU oder das Mainboard sind essenziell beim Aufbau eines Smartphones, sodass die Notwendigkeit eines einheitlichen Basisprodukts besteht.

3.3 Modulare Smartphone-Konzepte

Nachdem aufgezeigt wurde, was modulare Smartphones charakterisiert und wie diese aufgebaut sind, werden nun Umsetzungen und Konzepte dieser theoretischen Überlegungen betrachtet. Die existierenden modularen Smartphones-Konzepte und -Projekte werden chronisch sortiert aufgeführt. Zuerst werden die Ansätze vorgestellt, die noch keine Marktreife erlangt haben bzw. eingestellt wurden, bevor die bereits erhältlichen modularen Smartphones beschrieben werden. Besonders detailliert wird auf das Konzept Phonebloks, das Project Ara von Google sowie das Produkt SHIFT6m eingegangen. Dabei wird der Fokus auf die austauschbaren Module, die Modularisierungsart und die konzeptionelle Umsetzung gelegt. Zudem wird der aktuelle Status der Projekte beschrieben. In den Fällen, in denen die Konzepte nicht bis zur Markteinführung vorangetrieben wurden, werden mögliche Ursachen für den Abbruch der Projekte dargelegt.

Eines der ersten mobilen Geräte mit modularer Erweiterungsmöglichkeit war der Personal Digital Assistant (PDA) Handspring Visor¹¹⁴. Der ab 1999 erhältliche PDA dient daher als eine Art Vorbild für spätere modulare Smartphone-Konzepte. Mithilfe eines Erweiterungssteckplatzes auf der Rückseite des Geräts können Module die Funktionalitäten des PDAs erweitern. Beispielhafte Module, die in den sogenannten Springboard-Slot integriert werden können, sind GPS-Sensoren, Speicherkarten, Spiele sowie Kamera- oder Modem-Module¹¹⁵. Das Modul VisorPhone erweitert den Handspring Visor um eine Telefon-Funktion, wodurch der PDA in diesem Zusammenhang als Prototyp von Smartphones angesehen werden kann¹¹⁶. Eine parallele Nutzung mehrerer Module ist allerdings nicht möglich.

Phonebloks

Im September 2013 wurde von Dave Hakkens eines der ersten und bis heute bekanntesten modularen Konzepte für moderne Smartphones veröffentlicht¹¹⁷. Phonebloks erfuhr viel Beachtung und erreichte 979.253 Unterstützer auf der Crowdspeaking-Plattform sowie über 22 Millionen Zuschauer auf YouTube mit seinem Video zur Idee des Projekts¹¹⁸. Das ursprüngliche Ziel des Open-Source Smartphone-Konzepts war die Reduzierung des Elektronikschrotts. Aus diesem Grund entwarf Dave Hakkens seine Konzeption von einem modularen Smartphone, das einfach zu erweitern, zu reparieren und zu individualisieren ist. Phonebloks plant allerdings keine Umsetzung seiner Idee, sondern sieht sich selbst als ein Konzept, dessen Ziel es ist, die bestehende Fertigungsindustrie bei der Entwicklung und Produktion von modularen Smartphones zu unterstützen.¹¹⁹ Nach der Vision von Phonebloks sollen sämtliche IT-Geräte modular aufgebaut sein und das Smartphone lediglich als Vorreiter dienen.¹²⁰ Die Realisierung dieses Zukunftsbilds des IT-Markts ist diskutabel. Zum einen wäre eine Umsetzung dieser Idee

114 siehe [Moo18]

115 [Moo181]

116 [Moo182]

117 [Pho18]

118 [Hak13]

119 [Pho181]

120 [Pho182]

nur sehr langfristig realisierbar, da momentan sämtliche Marktführer wie etwa Samsung oder Apple einen integrierten Designansatz verfolgen. Hinzu kommt, dass modular aufgebaute Geräte mit einigen Herausforderungen konfrontiert sind und integrierte Produkte ebenso Vorzüge, auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit, aufweisen¹²¹.

Laut Phonebloks-Konzept soll das modulare Smartphone aus einer „Base“ bestehen, die im Zentrum des Geräts steht. Auf diese Hauptplatine werden die unterschiedlichen Komponenten, ähnlich dem Baukasten-Prinzip, gesteckt, wie in Abbildung 5 dargestellt. Diese Module werden im Konzept „Blok“ genannt. Die Bloks können herkömmliche Bauteile wie Kamera, Akku und Antenne aber auch spezielle Modulen wie UV-Licht-Sensoren oder Solar-Ladegeräte sein. Jeder Blok ist für eine bestimmte Funktion des Telefons verantwortlich. Der Austausch von veralteten oder defekten Komponenten soll möglich sein, ohne das komplette Gerät und damit auch die noch funktionsfähigen Module zu entsorgen bzw. zu erneuern. Nach dem Phonebloks-Entwurf hat das Smartphone im zusammengebauten Zustand einen Bildschirm, der die gesamte Vorderseite einnimmt, während die Module auf die Rückseite geklickt werden und zusammen einen rechteckigen Block bilden.¹²² Die Vision von Phonebloks ist, dass Module von unterschiedlichen Unternehmen eingebaut werden können und über einen sogenannten Blokstore erhältlich sind. Auf dieser Plattform soll es möglich sein, neue und gebrauchte Module sowie idealerweise sogar bereits zusammengestellte Smartphones zu kaufen. Darüber hinaus sollen Nutzer auch gebrauchte Module verkaufen können.¹²³



Abbildung 5: Modell des Phonebloks-Konzepts [Pho183]

121 Die Herausforderungen für modulare Smartphones werden im späteren Verlauf die Arbeit noch ausführlich vorgestellt.

122 [Hak13]

123 [Pho13]

Project Ara

Das Project Ara war ein Projekt der Firmen Motorola Mobility und Google zur Entwicklung modularer Smartphones, welches dem Phonebloks-Konzept ähnelt. Obwohl beide modularen Ideen parallel entstanden, gab es trotz eines Gedankenaustausches der Entwicklerteams keine offizielle Zusammenarbeit beider Unternehmungen. Die damalige Google-Tochterfirma Motorola Mobility arbeitete zu diesem Zeitpunkt an einem Projekt mit dem Ziel, ein modular aufgebautes Smartphone zu entwickeln. Die verantwortliche Abteilung Advanced Technologies and Projects (ATAP) inklusive des Entwicklerteams blieb auch beim Verkauf von Motorola Mobility an Lenovo ein Bestandteil von Google¹²⁴. Auf der Entwicklerkonferenz Google I/O wurde im Jahr 2014 erstmals ein Prototyp von Project Ara vorgestellt. Bei der Präsentation des Smartphones traten allerdings Fehler auf und das Gerät konnte nicht ordnungsgemäß gestartet werden.¹²⁵ Dies bestätigte die Kritiker von modularen Geräten darin, dass die Realisierung eines Smartphones in Modulbauweise technologisch schwierig umzusetzen ist und erweckte den Eindruck, dass noch Entwicklungszeit bis zur Marktreife des Ara-Phones benötigt wird.

Das präsentierte Konzept des Prototyps sah vor, dass das Smartphone auf einem Rahmen, bezeichnet als Endoskeleton, basiert, der in drei unterschiedlichen Varianten bis zu einer maximalen Größe von 5,7 Zoll erhältlich sein soll. Diese Grundplatte besteht aus einem Aluminiumrahmen und beinhaltet die Netzwerktechnologie zur Steuerung der Kommunikation der Module sowie eine kleine Backup-Batterie. Der Rahmen war das einzige von Google selbst hergestellte Bauteil und als Verkaufspreis waren 15 US-Dollar eingeplant. Sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite und an den Seiten des Endoskeletons ist die Möglichkeit geben, Module hinzuzufügen. Dabei war die Front hauptsächlich dem Display vorbehalten, während die Module auf der hinteren Seite beliebig angeordnet werden konnten, wie auf Abbildung 6 sichtbar wird. Es war geplant, dass die mittelgroße Variante des Rahmens Platz für bis zu zehn Module bereithält. Je größer das Modell, desto höher auch die Anzahl der einsetzbaren Module. Die Absicht war, die Komponenten auf der Vorderseite mithilfe von Verriegelungen an ihrem Platz zu halten und die Halterung der Module auf der Rückseite des Geräts durch Elektropermanentmagnete sicherzustellen. Diese Permanentmagnete, können mit einem Stromstoß magnetisiert und entmagnetisiert werden können. Vor und nach dem Wechsel der Module ist folglich eine kurze Stromzufuhr notwendig. Die Optionen für mögliche Module sollten nach Angaben von Google vielfältig sein. Neben Standard-Modulen wie Akku, Arbeitsspeicher und CPU, planten die Entwickler mit Blutdruckmessern, Nachtsichtkameras oder Laserpointer auch individuelle und neuartige Komponenten. Der Austausch der Komponenten soll durchführbar sein, während das Smartphone eingeschaltet ist, was als Hot-Swapping bezeichnet wird. Es war geplant, diesen Vorgang durch die Nutzung einer modifizierten Android-Version als Betriebssystem zu realisieren.¹²⁶ Für die Datenübertragung zwischen den Modulen strebte Google die Verwendung offener, nicht-proprietärer Protokolle an, um auf zukünftige Technologiefortschritte der Komponenten vorbereitet zu sein¹²⁷.

124 [McC14]

125 [Cun14]

126 [McC14]

127 [Rit14]



Abbildung 6: Prototyp des Project Ara Smartphones [Ste15]

Google plante unter anderem eine Einstiegersvariante des Ara-Phones mit den Display-, Akku-, Speicher-, WiFi- und CPU-Modulen für ca. 50 US-Dollar zu vermarkten. Die Distribution der Module sollte in einem offiziellen Google-Store sowie durch Drittanbieter stattfinden. Ähnlich wie beim Google-Betriebssystem Android wäre ein Ara-Gerät standardmäßig so konfiguriert, dass nur Module akzeptiert werden, die von Google genehmigt wurden. Google strebte an, zur Entwicklung von Modulen ein Open-Source Module Development Kit (MDK) anzubieten, das eine lizenzkostenfreie Herstellung von Ara-kompatiblen Komponenten ermöglicht.¹²⁸ Äquivalent zu Android wollte Google damit die Einstiegsbarriere für Hersteller senken, sodass es laut Ara-Entwicklungschef Eremenko „Hunderttausende von Entwicklern, anstatt fünf bis sechs großen Hersteller“¹²⁹ geben kann. Dadurch soll gewährleistet werden, dass den Nutzern eine vielfältige Auswahl an Modulen zur Verfügung steht.

Hinsichtlich der Modularisierungsart kann das modulare Smartphone-Konzept von Google somit als individuelle Produktmodularisierung angesehen werden. Durch die Öffnung des Markts für alle Hersteller und Entwickler von Komponenten wäre neben der Nutzung von standardisierten Modulen auch die Integration individueller Bauteile möglich. Zudem ist die Anzahl der eingesetzten Module beim Ara-Konzept nicht starr. Die Anordnung der Module auf dem Endoskeleton ist variabel.

Nach mehreren Verschiebungen und neuen Prototypen gab Google 2016 bekannt, dass das Grundkonzept von Project Ara abgewandelt wird. Wesentliche Komponenten des Smartphones wie CPU, GPU und Display sollten nun nicht mehr auswechselbar sein und nur noch sechs Modulplätze waren für Erweiterungen vorhanden.¹³⁰ Am 2. September 2016 bestätigte Google schließlich, dass das Projekt

128 [Ken14]

129 [McC14]

130 [Köl16]

Ara eingestellt wurde¹³¹. Über die Probleme, die zum Abbruch des Projects Ara führten, gibt es keine offiziellen Angaben, sondern es können lediglich Vermutungen angestellt werden.

In Googles Entwicklungsabteilung ATAP hat prinzipiell jedes Projekt eine vorgegebene Laufzeit von zwei Jahren. Trotz der ausnahmsweise genehmigten zeitlichen Verlängerung für das Projekt Ara, waren die Zielsetzungen, für ein solch komplexes Projekt, wie die Entwicklung eines modularen Smartphones bis zur Marktreife, sehr ambitioniert.

Zudem weisen die Kritiker des modularen Konzepts von Google daraufhin, dass das Project Ara eine Menge technischer Schwierigkeiten zu lösen hatte. Ein früherer Motorola-Ingenieur bezeichnete die modularen Projekte als „architektonischen Wahnsinn“¹³². Die Reduzierung des Modularisierungsgrades im Verlauf des Projekts lässt ebenso darauf schließen, dass die technische Realisierung eines modularen Smartphones mit kundenindividuellen Modulen und änderbarer Anzahl an Komponenten problematisch war. Beim Project Ara gab es unter anderem Schwierigkeiten bei den Elektromagneten, die die Module an ihrem Platz halten sollten, sodass diese durch andere Verriegelungsmechanismen ersetzt wurden. Aufgrund des modularen Aufbaus war das Ara-Smartphone darüber hinaus mit 12,5 mm etwa doppelt so dick wie vergleichbare Smartphones. Angesichts der eigenen Gehäuse, die jedes Modul mit sich brachte sowie der Elektromagnete, die integriert werden mussten, konnte das Smartphone nicht kompakter zusammengefasst werden.¹³³ Außerdem könnte die Definition des Standards für das Module Development Kit und die Motivation der Drittanbieter, Module für das Ara-Smartphone herzustellen, Herausforderungen mit sich gebracht haben. Dies sind allerdings zwei relevante Aspekte für die Etablierung eines funktionierenden Modulmarkts. Die Integration kundenindividueller Module in das Produkt ist besonders im Hinblick auf die Systemsicherheit und die technische Anbindung kompliziert. Es besteht die Gefahr, dass Fehler und Kompatibilitätsprobleme entstehen, wenn Module von unterschiedlichen Hersteller bzw. Nutzern eingebettet werden. Eine spezielle Kontrolle und Zertifizierung der kundenindividuellen Komponenten wäre ein möglicher Lösungsansatz, der jedoch zusätzliche Aufwendungen mit sich bringt.

Eine weitere Ursache, die zur letztendlichen Einstellung des Project Ara führte, waren die Wechsel des Entwicklungschefs und weiterer Mitarbeiter. Zusammen mit den zunehmenden Verzögerungen resultierte dies in einem kontinuierlich schlechter werdenden Arbeitsklima. Das zeitgleich das LG G5, welches ebenfalls modulare Ansätze umsetzt, auf dem Markt wenig Erfolg hatte, war ebenfalls kein positives Signal für das Projekt. Die dargestellten Probleme bei der Entwicklung von Project Ara zeigen, dass bei der Realisierung hochgradig modularer Smartphones vielfältige Herausforderungen bestehen. Insbesondere die technische Umsetzbarkeit bereitet Schwierigkeiten¹³⁴.

131 [Wak16]

132 [Frö17]

133 [Pry16]

134 Im später folgenden Kapitel Herausforderungen für modulare Smartphones wird ausführlicher auf die technische Umsetzbarkeit modularer Smartphone-Konzepte eingegangen.

PuzzlePhone

Das PuzzlePhone, das von dem finnischen Start-Up Circular Devices entwickelt wurde, ist ein weiteres modulares Smartphone-Projekt. Wie auch beim Project Ara von Google gab es bis zum aktuellen Zeitpunkt kein Release des modular aufgebauten Geräts. Stattdessen wurde der geplante Veröffentlichungstermin zunächst vom Jahr 2015 auf 2017 verlegt, bevor es im April 2017 auf unbestimmte Zeit verschoben wurde. Ursache für den Aufschub sind nach Angaben von PuzzlePhone fehlende finanzielle Mittel¹³⁵. Laut Mitteilung auf der Homepage von PuzzlePhone wird die Entwicklung am modularen Smartphone allerdings fortgeführt, wenn auch nur mit minimalen Fortschritten¹³⁶. Die langwierigen Verzögerungen deuten allerdings ebenfalls daraufhin, dass grundlegende Schwierigkeiten bei der Umsetzung des modularen Ansatzes bestehen.

Das Konzept von PuzzlePhone sieht vor, dass das Smartphone sowohl auf Software- als auch auf Hardwareebene personalisiert werden kann. Softwareseitig bedeutet dies, dass ein einfacher Wechsel zwischen den Betriebssystemen wie Sailfish OS und Android ermöglicht werden soll¹³⁷. Hardwaretechnisch plant PuzzlePhone, dass die Hauptkomponenten vom Nutzer selbst ausgetauscht werden können. Abbildung 7 stellt die drei Module „Brain“ (1), „Spine“ (2) und „Heart“ (3) dar. Im Brain-Modul sind der CPU und die Hauptelektronik inklusive Arbeitsspeicher, GPU, interner Speicher und Kamera platziert, weswegen es als Gehirn des Geräts bezeichnet wird. Die Spine-Komponente enthält den Rahmen und den Bildschirm des Smartphones sowie Tasten und Lautsprecher. Das Modul Heart besteht aus dem Akku sowie zusätzlichem Raum für noch nicht näher beschriebene individuelle Erweiterungen.¹³⁸ Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund der potenziellen Wärmeentwicklung des Akkus bei diesem Konzept nur ausgewählte Komponenten in das „Heart“ integrierbar sind.

Insgesamt ist das PuzzlePhone in die Kategorie der generischen Modularisierungen einzustufen, da die drei fixen wechselbaren Module standardisiert sind. Das PuzzlePhone ist damit bezüglich des Modularisierungsgrads unterhalb des Ara-Konzepts einzuordnen.



Abbildung 7: Module des PuzzlePhones [Puz18]

135 [San17]

136 [San171]

137 [Puz15]

138 [Puz18]

Modulare Smartphones auf dem Markt

Neben den vorgestellten Konzepten und eingestellten Projekten modularer Smartphones existieren auch einige bereits veröffentlichte Geräte auf dem Markt, die modulare Lösungsansätze umsetzen. Das erste modulare Smartphone, welches öffentlich verfügbar war, war das Fairphone 2¹³⁹, das im Dezember 2015 releast wurde.

Das Smartphone LG G5 wurde erstmalig im Februar 2016 auf dem Mobile World Congress präsentiert¹⁴⁰. Das Smartphone-Modell ist nicht komplett modular aufgebaut, verfügt aber über die Möglichkeit das Gerät mit Modulen zu erweitern. An einer Klappe an der Unterseite des Telefons können die Module an den Akku angeschlossen werden. Der Nutzer kann dabei zwischen zwei Modulen, einem Kameragriff und einem Verstärker für Kopfhörer, wählen. Nach dem Wechsel eines Moduls muss das LG G5 neugestartet werden. Die Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit als wesentliche zweckmäßige Aspekte der Modularisierung wurden nicht oder nur rudimentär umgesetzt. Das LG G5 kann aus diesen Gründen lediglich als minimaler Schritt in Richtung Modularität angesehen werden. Das Smartphone von LG hatte unter anderem infolgedessen am Markt keinen Erfolg, sodass das Nachfolgemodell G6 keinen modularen Ansatz mehr verfolgt.¹⁴¹

Der Smartphone-Hersteller Motorola nutzt für einige seiner Modelle ebenfalls einen modularen Produktaufbau. Vergleichbar zum Konzept vom LG G5 werden die Module lediglich als Funktionserweiterungen genutzt und die Smartphones selbst sind integriert aufgebaut. Insgesamt sind momentan zwölf verschiedene Erweiterungen erhältlich, die bei Motorola Moto als „Mods“ bezeichnet werden. Die Mods können für mehrere Smartphone-Varianten der Familie Moto Z von Motorola verwendet werden. Alle Erweiterungen haften magnetisch und können während des Betriebs aufgesetzt werden. Erhältliche Module sind beispielsweise eine Kamera, ein Beamer, ein Fotodrucker oder Erweiterungen des Akkus für zusätzliche Laufzeit.¹⁴² Zusätzlich ist Motorola an einer Aufstockung seiner Modul-Palette interessiert und bietet Dokumentationen und Quellcode sowie ein Module Development Kit für Modul-Entwickler auf seiner Homepage an¹⁴³. Insgesamt wirkt die Realisierung der Modularisierungsstrategie von Motorola ausgereifter als der Ansatz vom LG G5. Vorteile des Konzepts sind zum Beispiel, dass die Module direkt ausgetauscht werden können, die Vielzahl an potenziellen Modulen und Kompatibilität der Mods mit mehreren Smartphones. Dennoch ist festzuhalten, dass das Konzept lediglich Ansätze der Modularisierung hinsichtlich der Aufrüstbarkeit umsetzt, aber die Smartphones selbst nicht modular konzipiert sind.

139 Das Fairphone 2 wird nachfolgend im Kapitel Vertreter der Smartphone-Konzepte vorgestellt.

140 [Cze16]

141 [Wir17]

142 [Mot18]

143 [Mot181]

Ein weiteres modulares Mobilgerät ist das RePhone Kit Create vom chinesischen Hersteller Seeed Studio¹⁴⁴. Das Gerät ist eine eingeschränkte Smartphone-Variante, die eine Telefon-, eine SMS- sowie eine MP3-Player-Funktion beinhaltet und lediglich einen kleinen Touchscreen von 1,54 Zoll besitzt. Dafür ist das RePhone mit 59 US-Dollar vergleichsweise günstig. Der Smartphone-Bausatz besteht komplett aus Open-Source-Komponenten und muss komplett eigenständig zusammengebaut werden. Alle Einzelteile, inklusive Nieten zur Konstruktion des Pappgehäuses, sind im Lieferumfang enthalten und schnell zusammengebaut. Des Weiteren ist das Gerät um zusätzliche individuelle Sensoren wie zum Beispiel für GPS, NFC oder Temperaturangaben erweiterbar. Darüber hinaus sind eigene Funktionen für die Sensoren programmierbar.¹⁴⁵ Das verdeutlicht, dass das RePhone vorwiegend für Bastler und nicht für den Massenmarkt bestimmt ist. Diese Smartphone-Variante ist aus diesem Grund ein Nischenprodukt, das für einen kleinen, technikaffinen Kundenkreis interessant ist.

Die Smartphones SHIFT6m und SHIFT6mq sind die ersten modularen Smartphones des deutschen Herstellers Shiftphone. Der Unterschied zwischen den Modellen SHIFT6m und dem SHIFT6mq besteht lediglich in den verbauten Chipsätzen, daher wird im weiteren Verlauf nur noch die SHIFT6m-Variante betrachtet. Das modulare Konzept der Geräte wird bereits im Produktnamen betont, denn das „m“ steht für Modularität. Das Smartphone ist aktuell noch nicht veröffentlicht worden, sondern befindet sich nach Herstellerangaben in der Produktion und der Marktstart steht kurz bevor¹⁴⁶. Das SHIFT6m wird ein 5,7 Zoll Display, eine CPU mit zehn Kernen a 2,6 GHz, einen Arbeitsspeicher von 4 GB und einen internen Speicher von 64 GB besitzen. Shiftphone selbst betitelt sein Smartphone als leistungsstarkes Highend-Gerät¹⁴⁷. Im Vergleich der technischen Daten zu einem aktuellen Smartphone der höchsten Stufe der Leistungsfähigkeit wie dem Samsung S9 und Apple iPhone X ist das SHIFT6m jedoch unterlegen¹⁴⁸. Speziell in den Bereichen Display-Auslösung und Gehäuse-Qualität besitzen die integrierten Smartphones Vorteile. Ein objektiver Test der Leistungsfähigkeit des SHIFT6m konnte noch nicht vorgenommen werden, da sich das Gerät momentan noch in der Entwicklung bzw. Produktion befindet.

In Abbildung 8: Komponenten des SHIFT6m Abbildung 8 wird visualisiert, dass das SHIFT6m modular konzipiert und in seine Einzelteile zerlegbar ist. Das Smartphone besteht aus 3 Hauptbestandteilen¹⁴⁹. Auf dem sogenannten A-Frame befindet sich der Bildschirm des Geräts. Der B-Frame ist der Rahmen des Smartphones, der weitere modulare und einzeln austauschbare Komponenten beinhaltet. Dieser Rahmen umfasst folgende Module: Batterie; Front- und Hauptkamera; Kerneinheit mit CPU; Speicher; Modem und Sensoren; Fingerabdruck-Sensor; SIM- & MicroSD-Karten-Slot; Antennen-Einheit mit Anten-

144 [See18]

145 [Ber15]

146 [SHI184]

147 [SHI185]

148 siehe [ins18]

149 [SHI185]

nen für 4G, WiFi, Bluetooth und GPS; Schalter-Einheit; Antenne und Hauptmikrofon sowie Lautprecheinheiten. Die dritte wesentliche Komponente ist das Back-Cover zum Verschließen des Gerätes. Um den Austausch von einzelnen Komponenten für Reparatur oder Erweiterungszwecke durchführen zu können, sind die Module einfach zu demontieren. Alle Komponenten sind entweder mit Steck- oder Schraubverbindungen befestigt und können mit einem mitgelieferten Schraubendreher gelöst werden. Die Art aller verwendeten Schrauben ist identisch. Demzufolge können die Module vom Nutzer selbst gewechselt werden.¹⁵⁰

Das Konzept des SHIFT6m entspricht der generischen Produktmodularisierung. Die Quantität der Module ist nicht flexibel gestaltet und individuelle Module können nicht integriert werden. Der Grad der Modularisierung ist demzufolge geringer als beim Konzept von Project Ara.



Abbildung 8: Komponenten des SHIFT6m [SHI181]

3.4 Modularisierung in der IT

Im Anschluss an die Auflistung der modularen Smartphone-Konzepte wird nun die Verbreitung modularer IT-Produkte betrachtet, die konzeptionelle Ähnlichkeiten mit Smartphones besitzen. Es wird eruiert, in welchem Maß in den Bereichen der Desktop-PCs, Notebooks und Tablets modulare Ansätze umgesetzt werden. Darauf aufbauend wird die Entwicklung modularer IT-Produkte eingeordnet.

Anhand der Geschichte des Desktop-PCs können die Konzepte des modularen und des integrierten Designs anschaulich dargestellt werden. Der Ansatz von Apple in den 1980er Jahren Computer zu konzipieren, ist ein klassisches Beispiel dafür, IT-Geräte auf tief integrierte Art und Weise zu bauen. Besonders die erste Version des Macintosh aus dem Jahr 1984, entwickelt unter der Leitung von Steve Jobs, war besonders integriert gestaltet. Da Steve Jobs der festen Überzeugung war, die totale Kontrolle über sein Gerät haben zu müssen, um es optimieren zu können, sollte der Macintosh so konzipiert sein, dass der Nutzer keine Möglichkeit zur Modifikation hat. Zudem wurde der Macintosh unter der Prämisse entwickelt, dass ein guter Computer Hard- und Software eng miteinander verzahnen muss. Laut Steve Jobs sind „die besten Produkte (...) abgeschlossene, durchgestaltete Systeme, deren Software maßgeschneidert auf die Hardware abgestimmt ist“.¹⁵¹ Dies gilt ebenso für den umgekehrten Fall, sodass idealerweise die Hardware in gleicher Weise an die Software angepasst wird. Diese Abstimmungsmöglichkeiten zwischen Hardware und Software sind ein wesentlicher Vorteil integrierter Systeme, der auch auf die Geräteklasse der Smartphones ausgeweitet werden kann. Sowohl die verwendete Hardware als auch die genutzte Software wurden aus diesem Grund von Apple selbst entwickelt.

Ein alternatives Konzept zum Aufbau von Computern wurde von IBM geprägt, die zu diesem Zeitpunkt ein direkter Konkurrent von Apple auf dem PC-Markt waren. Anstatt die volle Kontrolle über die Hardware und Software ihrer Geräte zu behalten, lagerte IBM die Entwicklung der Bestandteile ihres PCs an andere Firmen aus. Die Gestaltung der Software und des Betriebssystems wurde beispielsweise von Microsoft übernommen und die Produktion der Prozessoren von Intel. Aufgrund offener Industriestandards konnten viele Firmen Hardware- und Software-Komponenten für den IBM-PC liefern. Bis auf das BIOS stammten sämtliche Bestandteile des Computers von Fremdherstellern.¹⁵²

Die unterschiedlichen Designansätze spiegeln sich auch noch in der heutigen Produktwelt von PCs wider. Der klassische Desktop-PC ist ein passendes Beispiel für ein modulares IT-Produkt. Die Bestandteile eines Computers sind leicht auswechselbar und nutzen standardisierte Schnittstellen. Das ermöglicht dem Nutzer fehlerhafte oder veraltete Komponenten auszutauschen ohne einen neuen PC erwerben zu müssen. Der Wechsel der Bauteile ist meist ohne spezielles Werkzeug durchführbar. Höchstens ein handelsüblicher Schraubendreher ist zum Austausch erforderlich. Typische Module eines Computers sind Mainboard, Prozessor, Grafikkarte, Festplatte, Netzgerät und optische Laufwerke. Analog zum Smartphone wird die Interaktion der Komponenten über das Mainboard gesteuert. Die Module können ausgetauscht und erweitert werden, solange die Komponenten dieselbe Standardschnittstelle

151 [Isa11] S. 167

152 [Ste16]

bzw. denselben Mainboard-Typ unterstützt. Eine funktionale Erweiterung durch das Hinzufügen neuer Module ist ebenfalls realisierbar. Beispielhaft kann der Desktop-Computer optional um eine Soundkarte ergänzt werden, wenn das Mainboard einen entsprechenden Steckplatz vorhält.

Die Desktop-PCs von Apple sind hingegen weniger modular aufgebaut. Der All-In-One PC iMac ist ein eher integriertes Gerät, das kaum aufrüstbar ist¹⁵³. Die Komponenten sind teilweise fest verlötet bzw. verklebt und können daher nur schwer und mit Spezialwerkzeug ausgetauscht werden¹⁵⁴. Lediglich der Arbeitsspeicher und der Prozessor können bei einigen Modellversionen mit relativ wenig Aufwand erweitert werden¹⁵⁵.

Die PC-Serie Mac Pro von Apple weist dagegen ein modulareres Design auf. Die Modelle im Zeitraum von 2006 bis 2012 ähnelten eher klassischen Desktop-PCs wie im vorherigen Absatz beschrieben. Arbeitsspeicher, Festplatten, PCI-Express-Steckkarten für Grafik und Controller sowie optische Laufwerke sind einfach durch den Anwender austausch- und erweiterbar. Die letzte, neu designte Version des Apple Mac Pro aus dem Jahr 2013 ist nur in geringerem Umfang erweiterbar und reparierbar. Prinzipiell sind Festplatte, Grafikkarte, Arbeitsspeicher und weitere Komponenten zwar mit ein wenig Erfahrung und Werkzeug wechselbar, aber die internen Anschlüsse sind proprietär gestaltet.¹⁵⁶ Lediglich der Arbeitsspeicher kann mit handelsüblichen Komponenten ersetzt bzw. aufgerüstet werden. Die nächste Version des Mac Pro, von Apple für 2019 angekündigt, soll nach Herstellerangaben allerdings wieder ein modulareres Design besitzen¹⁵⁷.

Notebooks sind bezüglich der eingesetzten Komponenten sehr ähnlich zu Desktop-PCs aufgebaut. Ein substantieller Unterschied zwischen den Geräteklassen ist allerdings ihre Größe. Um Platzeinsparungen zu ermöglichen sind daher bei einigen Notebooks Komponenten miteinander verklebt oder fest mit dem Mainboard verlötet. Zum Beispiel sind in vielen Notebooks, die nicht für grafiklastige Anwendungen ausgelegt sind, die Grafikkarten nicht dediziert, sondern auf dem Mainboard integriert. Dadurch können die Module nicht mehr unabhängig voneinander getauscht werden.

Solch ein integriertes Beispiel ist der Microsoft Surface Laptop. Dieser ist so konzipiert, dass eine Öffnung des Geräts möglichst verhindert werden soll, sodass das Notebook nur mit Spezialwerkzeug geöffnet werden kann. Darüber hinaus sind CPU, Arbeitsspeicher und der interne Speicher mit dem Mainboard verlötet, wodurch keine Erweiterungen oder Reparaturen einzelner Komponenten möglich sind. Der Wechsel anderer Bauteile wie Akku und Kopfhörerbuchse gestaltet sich ebenfalls kompliziert.¹⁵⁸

Daneben existieren auf dem Notebook-Markt allerdings ebenso Geräte, die einen einfachen Austausch ihrer Module gewährleisten. Exemplarisch dafür steht der Dell Latitude 5270. Sämtliche Komponenten, die häufiger aus Erweiterungs- oder Reparaturzwecken ersetzt werden müssen, sind leicht zu errei-

153 siehe [App181]

154 [iFi18]

155 siehe [App182]

156 [iFi13]

157 [Bei18]

158 [iFi17]

chen und zu tauschen. Dazu zählen vornehmlich der Akku, das Display, die Tastatur, der Arbeitsspeicher und die Festplatte. Zur Befestigung der Komponenten werden Standard-Kreuzschlitzschrauben verwendet und Verklebungen werden nur minimal eingesetzt. Außerdem bietet der Hersteller online leicht verständliche Reparaturanleitungen an.¹⁵⁹ Damit wird die eigenhändige Reparatur des Notebooks durch den Nutzer gefördert. Modulare Notebooks sind prinzipiell über alle modularen Modelle hinweg der Kategorie der generischen Modularisierungsarten zuzuordnen, da lediglich eine fixe Anzahl an Modulen eins zu eins austauschbar ist.

Ein Konzept, welches dem Baukastenprinzip ähnelt, wurde 2016 mit dem Notebook Pangea Sun vorgestellt¹⁶⁰. Das Notebook soll aus acht verschiedenen Komponenten bestehen, die einzeln auswechselbar sind, wie in Abbildung 9: Aufbau vom Pangea Sun dargestellt. Der Pangea Sun ist in die Module für Rahmen, Bildschirm, Tastatur, Touchpad, Batterie, Steuerungseinheit und Betriebssystem unterteilbar. Zusätzlich ist noch ein „Extension & Developer Module“ vorhanden. Dieses optionale Open-Source-Modul ist ursprünglich ein leerer Container, den der Nutzer mit eigener Elektronik füllen kann. Die Kommunikation mit dem Hauptmodul soll über ein gut dokumentiertes Interface erfolgen. Nach dieser Version wären die Module des Notebooks vollumfänglich ohne Werkzeug austauschbar und überdies der Pangea Sun auch offen für kundenindividuelle Module.¹⁶¹ Es ist allerdings festzuhalten, dass zu diesem Projekt seit Anfang 2017 keine Neuigkeiten bezüglich des Entwicklungsstands veröffentlicht wurden und es folglich noch weit von der Marktreife entfernt ist.

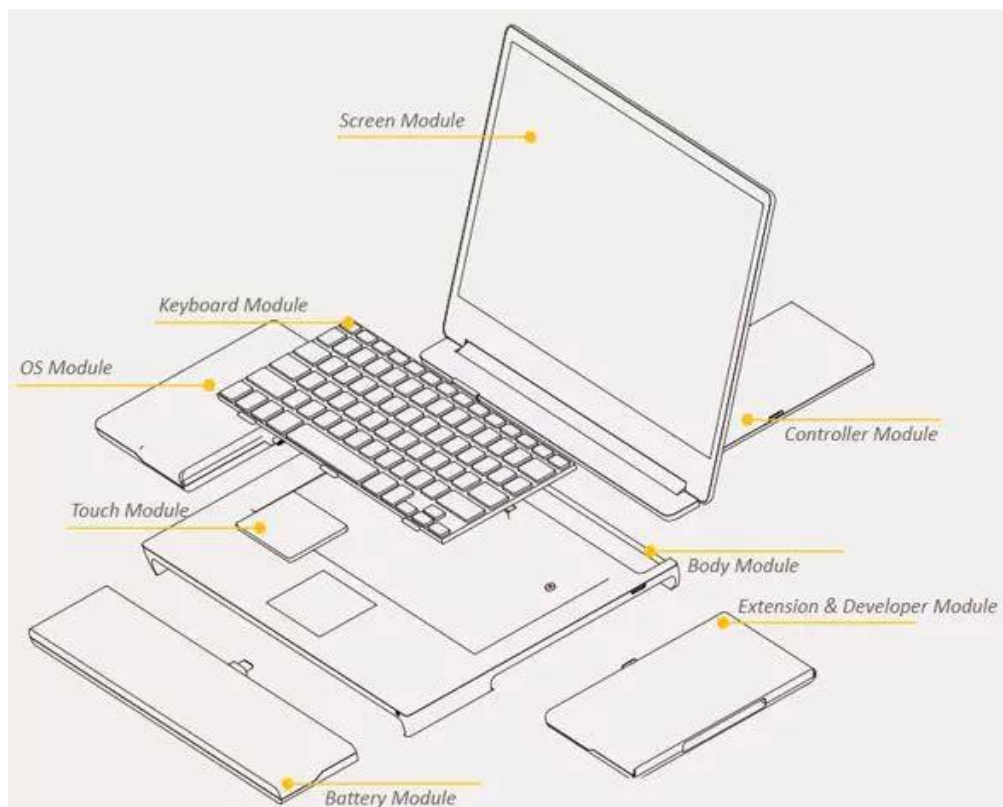


Abbildung 9: Aufbau vom Pangea Sun [Pfe13]

159 [Nor17]

160 siehe [Pan18]

161 [Pfe13]

Bei den Tablet-Geräten ist die Modularisierung ebenfalls modell- bzw. herstellerabhängig. Es existieren auf dem Markt Tablet-PCs, die insofern modular design sind, dass ihre Komponenten einfach austauschbar sind wie zum Beispiel beim HP Elite x2¹⁶². Andererseits sind einige Tablets wiederum nach einem integrierten Konzept aufgebaut, sodass die Geräte nur mithilfe von Spezialwerkzeugen geöffnet werden können und ein hohes Risiko besteht, die Komponenten bzw. das komplette Gerät beim Versuch des Wechsels zu beschädigen.

Den Ansatz der Funktionserweiterung mithilfe von Zusatzmodulen wird beim Lenovo Thinkpad X1 Tablet umgesetzt. Bei dem 2in1-Gerät, das entweder als Tablet oder als Notebook genutzt werden kann, besteht die Möglichkeit an der unteren Kante ein „Präsentationsmodul“ oder ein „Produktivitätsmodul“ hinzuzufügen. Das Präsentationsmodul erweitert die Funktionen des Geräts um einen Beamer, während das Produktivitätsmodul die Akkulaufzeit verlängert und zusätzliche Anschlüsse bereitstellt.¹⁶³ Modulare Tablets, die komplett ohne Werkzeug zu öffnen sind oder die nach dem Baukastenprinzip aufgebaut sind, sind jedoch momentan nicht erhältlich. Analog zu Notebooks ist die Mehrheit aller erhältlichen Tablet-PCs, insofern sie modular aufgebaut sind, der Art der generischen Produktmodularisierung zugehörig.

Die Untersuchung der Modularisierungen bei smartphoneähnlichen Geräten hat gezeigt, dass bei allen vorgestellten IT-Produkten modulare Ansätze umgesetzt wurden. Die dargestellte Marktbetrachtung lässt den Schluss zu, dass der Grad der Modularität und der prozentuale Anteil modular aufgebauter Geräte mit abnehmender Größe der IT-Produkte sinken. Das ist daran erkennbar, dass bei den „großen“ Desktop-PCs die Modularisierung besonders ausgeprägt ist, während für die kompakteren Notebooks nur noch einzelne und für Tablets lediglich sehr wenige Modelle am Markt erhältlich sind, die modular aufgebaut sind. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass aufgrund der geringeren Größe Platzeinsparungen im Innenleben der Geräte vorgenommen werden müssen. Zur Realisierung des Modulaustausches ist allerdings ein erhöhter Platzbedarf vorhanden. Zum Beispiel kann kein Raum, durch das Verkleben oder Verlöten von Bauteilen gewonnen werden. Ansonsten wäre ein einfacher Wechsel der Module nicht mehr umsetzbar.

162 [Nor16]

163 [Len18]

4 Nachhaltigkeitsvergleich der Smartphone-Konzepte

Im Anschluss an die Betrachtung der Konzeption modularer Smartphones wird nun die Nachhaltigkeit der Designansätze¹⁶⁴ untersucht. Die Evaluierung der Nachhaltigkeit modular aufgebauter Smartphones erfolgt mithilfe eines Vergleichs zu integrierten Smartphones. Die Untersuchungsgruppen des Vergleichs sind typische Vertreter der beiden Smartphone-Konzepte. Anhand von Bewertungskriterien, die aus den Erarbeitungen im Kapitel *Nachhaltiges Smartphonedesign* abgeleitet werden, erfolgt eine Analyse und Gegenüberstellung der beiden Smartphones bezüglich der Nachhaltigkeit. Anschließend werden die Ergebnisse des Vergleichs dargestellt und ausgewertet. In der Auswertung werden Rückschlüsse aus den Resultaten der Smartphones auf die Smartphone-Konzepte gezogen und die Bedeutung modularer Smartphones eingeordnet. Außerdem wird Verbesserungspotential der Smartphone-Konzepte hinsichtlich der Nachhaltigkeit aufgezeigt und auf die Umsetzbarkeit vollständig nachhaltiger Smartphones eingegangen.

4.1 Vertreter der Smartphone-Konzepte

Als Betrachtungsobjekte des Vergleichs werden das Fairphone 2 als Beispiel für modular konzipierte Smartphones und das Apple iPhone stellvertretend für einen integrierten Designansatz vorgestellt und analysiert. Aufgrund der Tatsache, dass das Fairphone Ende des Jahres 2015 erschienen ist, wird mit dem iPhone 6s eine Modellvariante als Vergleichsprodukt gewählt, welches in einem ähnlichen Zeitraum veröffentlicht wurde. Im Zentrum der Betrachtung stehen die Ziele, Prinzipien und Unternehmenspolitik der Hersteller sowie die Merkmale der Smartphone-Modelle. Die Untersuchung wird dabei mit Bezug auf die Umsetzung des jeweiligen Designansatzes durchgeführt.

4.1.1 Fairphone

Stellvertretend für modular aufgebaute Smartphones wird das Fairphone 2 betrachtet, welches am 21.12.2015¹⁶⁵ als erstes vollständig modulares Smartphone veröffentlicht wurde. Das Fairphone 2 ist ein Gerät der niederländischen Firma Fairphone B.V. aus Amsterdam, die sich ausschließlich auf den Vertrieb von Smartphones konzentriert. Seit die Firma im Januar 2013 gegründet wurde, hat sich die Mitarbeiterzahl von 7 auf über 50 erhöht.¹⁶⁶ Im Vergleich mit etablierten IT-Herstellern, die ca. hundert- bis tausendfach mehr Mitarbeiter¹⁶⁷ beschäftigen, ist Fairphone B.V. folglich ein sehr kleines Unternehmen in der Smartphone-Branche.

164 Modulares Smartphonedesign und die Abgrenzung zum integrierten Smartphone-Konzept wurden im Kapitel Modulares Smartphonedesign erläutert.

165 [Fai182]

166 [Fai183]

167 Die Wettbewerber Apple und Blackberry beschäftigen ca. 123.000 bzw. 6225 Vollzeitangestellte. [App17] bzw. [Bla15] S. 17

Den Fokus seiner Unternehmenspolitik setzt Fairphone auf die Konzeption fairer und nachhaltiger Smartphones¹⁶⁸. Fairphone verspricht zudem volle Transparenz seiner Unternehmungen. Beispielsweise ist eine detaillierte Kostenaufschlüsselung für das Fairphone 2 verfügbar¹⁶⁹. Die Lieferanten und Fertigungsstandorte der Produktion des Geräts wurden ebenso veröffentlicht¹⁷⁰, um eine möglichst transparente Lieferkette zu erreichen. Zur Untermauerung des Nachhaltigkeitsanspruchs hat Fairphone vier Ziele für sich definiert. Die Vorsätze „Robustes Design“, „Fair gehandelte Materialien“, „Gute Arbeitsbedingungen“ sowie „Wiederverwendbarkeit und Recycling“ werden im Folgenden näher beschrieben.

Mithilfe von „Robustem Design“ soll die „Entwicklung langlebiger Produkte“ realisiert werden. Durch den modularen Aufbau und eine einfach durchführbare Reparatur wird der Austausch von Modulen ermöglicht. Zudem unterstützen laut Herstellerangaben günstige Ersatzteile und hilfreiche Anleitungen den Nutzer bei der Wartung. Ebenfalls reparaturförderlich ist, dass es nicht zu einem Garantieverfall bei der Öffnung des Smartphones kommt. Eine zusätzliche Intension von Fairphone ist die „Nutzung offener Software durch die Community für eine längere Lebensdauer“.¹⁷¹ Dies zeigt sich unter anderem darin, dass die Nutzer von Fairphones vergleichsweise frei bei der Bestimmung des Betriebssystems sind. Zwar wird im Standard ein Betriebssystem basierend auf Android verwendet, aber auch LineageOS, Sailfish OS und TouchUbuntu sind installierbar. Diese werden momentan nur durch die Fairphone-Community bereitgestellt und nicht offiziell unterstützt.¹⁷²

Das Unternehmen strebt außerdem an, fair gehandelte Materialien zu verwenden. Die Vision von Fairphone ist es, ein Smartphone zu designen, das vollständig auf konfliktfreien Rohstoffen basiert. Aktuell werden bereits Metallerze für Zinn, Tantal, Wolfram und Gold für das Smartphone in Regionen gefördert, in denen kein Bürgerkrieg herrscht¹⁷³. Dazu arbeitet Fairphone mit mehreren Initiativen zusammen. Beispielhaft dafür ist die Kooperation mit dem Projekt „Solutions for Hope“, das eine transparente Tantal-Lieferkette umgesetzt hat¹⁷⁴. Der Einsatz von „mehr recycelten und erneuerbaren Ressourcen“ ist ebenso ein Nachhaltigkeitsziel von Fairphones Materialwirtschaft.¹⁷⁵

Bei der Herstellung des Geräts hat sich Fairphone zum Ziel gesetzt, gute Arbeitsbedingungen zu schaffen¹⁷⁶. Dafür engagiert sich Fairphone in Kampagnen wie beispielsweise beim „Clean Electronics Production Network“. Diese Initiative hat die Absicht, dass die Arbeitnehmer, die in der Elektronikindustrie

168 [Fai18]

169 siehe [Fai15]

170 siehe [Fai17]

171 [Fai184]

172 [Fai151]

173 [Fai16]

174 siehe [Fai13]

175 [Fai185]

176 [Fai186]

tätig sind, im Herstellungsprozess möglichst keinen toxischen Chemikalien ausgesetzt werden. Die Kunststoff-Rückseite des Smartphones wird beispielsweise nicht sprühlackiert, damit die Arbeiter mit so wenig potenziell gesundheitsgefährdenden Stoffen wie möglich in Berührung kommen¹⁷⁷. Zur „Verbesserung der Arbeitsbedingungen und Mitarbeiterzufriedenheit“ hat sich Fairphone zum Ziel gesetzt, die Arbeiter im Produktionsprozess besser zu bezahlen. Zu diesem Zweck fließen 5 US-Dollar pro verkauften Smartphone in den „Worker Welfare Fund“¹⁷⁸. Dieser Sozialfonds wird von den Arbeitern der chinesischen Produktionsfirma Fairphones selbst verwaltet. Allerdings ist festzuhalten, dass sich die Arbeitsbedingungen für die Herstellung nicht signifikant von denen anderer IT-Geräte unterscheiden, da die Fairphones von Auftragsfertigern produziert werden, die ebenfalls weitere Unternehmen beliefern.

Fairphone fördert darüber hinaus die Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit seiner Smartphones¹⁷⁹. Um alte Geräte korrekt zu entsorgen oder wiederverwenden zu können, bietet der Hersteller ein kostenloses Rücknahmeprogramm an¹⁸⁰. Damit sollen die Nutzer motiviert werden, ihr nicht mehr genutztes Smartphone zu spenden. Aus dem Grund, dass viele ausrangierte Smartphones trotzdem in Länder gelangen, die Probleme mit der Entsorgung von Elektromüll haben, versucht Fairphone die Recyclingbemühungen vor Ort zu verbessern. Das Projekt „Closing the Loop“, das Elektronikschrott aus Afrika zurück nach Europa holt und anschließend ordnungsgemäß wiederverwertet, wird von Fairphone ebenfalls unterstützt¹⁸¹. Zusätzlich forscht der Smartphone-Anbieter an Recyclinglösungen, um die Wiederverwendbarkeit der derzeitigen und zukünftigen Produkte zu verbessern und das Fairphone optimal für den Recycling-Prozess zu gestalten¹⁸². Zum Beispiel erleichtert eine komfortable Demontage des Geräts das Recyceln.

Das Fairphone 2 wurde so designt, dass es möglichst die aufgestellten Nachhaltigkeitsziele umsetzen kann. Es besteht neben dem Gehäuse aus sechs unterschiedlichen Modulen, die in Abbildung 10: Module des Fairphone 2 dargestellt sind¹⁸³. Davon sind der Bildschirm (1) und der Akku (3) gänzlich ohne Werkzeug austauschbar. Das Kamera-Modul (2), die Kerneinheit (4), bestehend aus Mainboard, CPU, Arbeitsspeicher und internem Speicher sowie Lautsprecher-Modul (5) und Empfangs-Modul (6) können mithilfe eines handelsüblichen Schraubendrehers gewechselt werden. Zudem werden verschiedenfarbige Gehäuse-Varianten angeboten. Neben den Wartungsmöglichkeiten ist auch die Erweiterung des Kamera-Moduls auf eine leistungsfähigere Kamera möglich¹⁸⁴. Für die anderen Module besteht keine Möglichkeit der Aufrüstung. Insgesamt gehört das Fairphone 2 damit zur Kategorie der

177 [Wöl15]

178 [Fai152]

179 [Fai187]

180 [Fai1821]

181 [deK16]

182 siehe [Fai171]

183 [Fai153]

184 siehe [Fai188]

generischen Modularisierungen, da die Anzahl der einsetzbaren Module starr ist und kundenindividuelle Module nicht integrierbar sind.

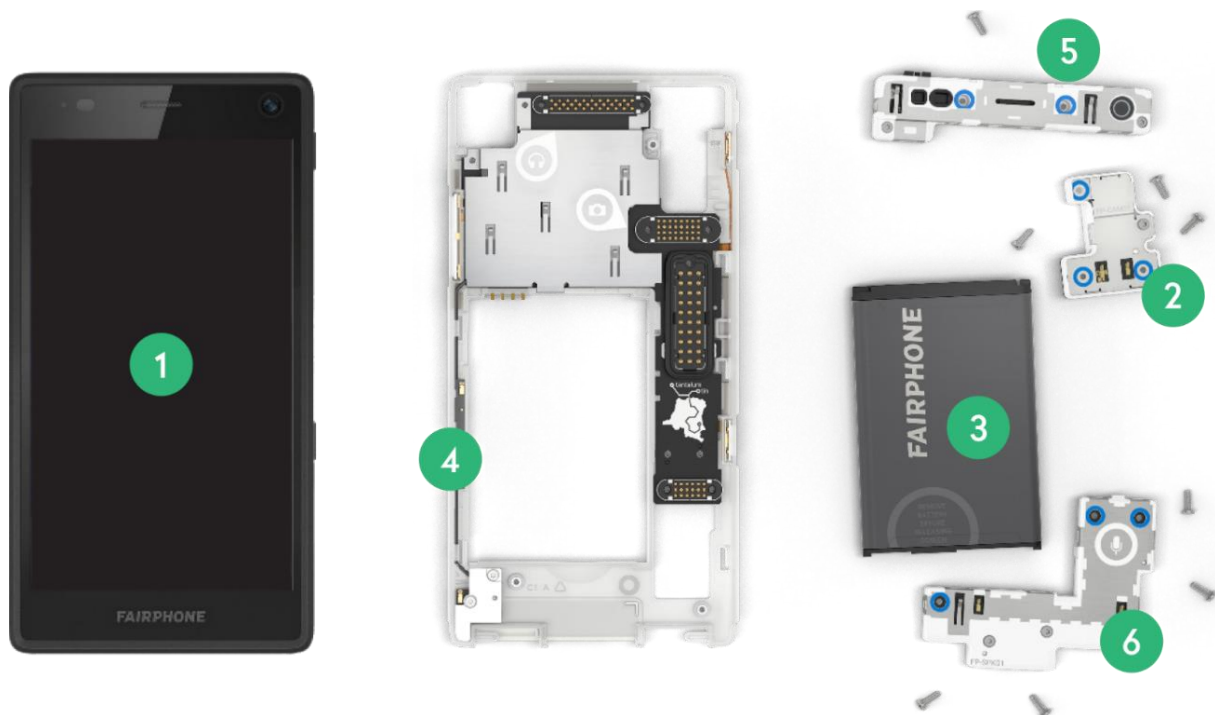


Abbildung 10: Module des Fairphone 2 [Fai181]

Das Gerät besitzt einen Snapdragon-801-Quadcore-Prozessor, der aus vier Kernen mit jeweils 2,26 GHz besteht und einen Arbeitsspeicher mit der Kapazität von 2 GB. Das Bildschirm-Modul besteht aus einem 5 Zoll großen LCD-Display, das eine Auflösung von 1920x1080 Pixel bei 446 ppi bietet. Der Akku verfügt über eine Kapazität von 2420 mAh und die ursprüngliche Kamera ermöglicht Bilder mit bis zu 8 Megapixeln. Die neue Kameraversion des Fairphones kann Fotos mit 12 Megapixeln aufnehmen. Der interne Speicher ist 32 GB groß und lässt sich mit Speicherkarten zusätzlich erweitern. Leistungstechnisch ist das Fairphone 2 damit zum Zeitpunkt der Veröffentlichung im unteren Mittelfeld einzuordnen. Außerdem ist erwähnenswert, dass das Fairphone über die Dual-SIM-Technik verfügt, womit der parallele Einsatz von Mobilfunkanschlüssen ermöglicht wird.¹⁸⁵ Dadurch ergibt sich die Option, nur noch ein anstatt zwei Smartphones zu nutzen. Seit der Produkteinführung im Dezember 2015 beläuft sich der Preis für ein Fairphone 2 auf 529 Euro¹⁸⁶. Damit ist das Gerät teurer als Smartphones mit vergleichbaren Leistungsdaten.

4.1.2 Apple iPhone

Die Modellreihe iPhone des Technologieunternehmens Apple steht stellvertretend für integrierte Smartphones. Apple wurde im April 1976 von Steve Jobs, Steve Wozniak und Ronald Wayne gegründet und wurde durch die Veröffentlichung des weltweit ersten Personal Computers im selben

185 [Pau16]

186 [Fai189]

Jahr bekannt¹⁸⁷. Die Produktvielfalt von Apple reicht heutzutage neben PC-Hardware und Smartphones über Tablets, MP3-Player und Smartwatches bis zur Software für ihre Geräte. Zurzeit ist Apple der weltweit zweitgrößte Smartphone-Hersteller mit ca. 54 Millionen verkauften iPhones im ersten Quartal 2018¹⁸⁸. Durch die Fakten, dass Apple aktuell 123.000 Mitarbeiter beschäftigt und einen Umsatz von 229,93 Milliarden US-Dollar im Jahr erwirtschaftet¹⁸⁹, wird verdeutlicht, dass Apple im Vergleich zu Fairphone das mit Abstand größere Unternehmen ist.

Eine Maxime der Produktgestaltung von Apple ist das Prinzip der Integration¹⁹⁰. Das iPhone ist ein Musterbeispiel für ein in sich geschlossenes Smartphone. Während typische monolithische Smartphones ihre Hardware untereinander integrieren, geht Apple einen Schritt weiter und integriert ebenfalls die Hardware und Software des iPhones miteinander, wie dies bereits bei der Konzeption ihrer Desktop-PCs ersichtlich ist. Der ausgeprägt monolithische Aufbau wird zusätzlich dadurch erkennbar, dass Apple keine Erweiterung des Speichers beim iPhone durch Speicherkarten zulässt und der Akku fest im Gehäuse verklebt ist, wodurch er nicht umstandslos austauschbar ist¹⁹¹. Als Betriebssystem verwenden die iPhones das abgestimmte iOS, das ebenfalls durch Apple entwickelt wurde, wohingegen ein Großteil der etablierten Smartphone-Modelle das hardwareoffene Betriebssystem Android nutzen. Damit sind die Geräte von Apple in sich geschlossene Systeme aus Hardware und Benutzeroberfläche, über die der Hersteller die vollständige Kontrolle besitzt. Schon seit den Anfangsjahren verfolgte der Apple-Gründer Steve Jobs eine „digitale Strategie, die Hardware, Software und Content eng miteinander verknüpfte und zu einem Paket schnürte“¹⁹².

Das Ziel von Apples integrierter Strategie ist, dem Nutzer ein passend zusammengestelltes und optimiertes Gerät bereitzustellen. Dazu nutzt Apple neben Produkten, die als Einheit konzipiert sind, auch ein miteinander integriertes Geschäftsmodell. So können die Anwendungen auf Apple-Geräten nur durch die Apple-Software wie iTunes oder den AppStore installiert werden. Apple kann somit kontrollieren, welche Software der Nutzer verwenden darf. Darüber hinaus sind Produkte von Apple häufig derartig konzipiert, dass sie nur mit anderen Apple-Geräten kommunizieren bzw. funktionieren. Ein Beispiel hierfür ist die Apple Watch, welche lediglich in Verbindung mit iPhones genutzt werden kann¹⁹³. Weitere Abhängigkeiten zwischen Apple Produkten existieren exemplarisch bei der Entwicklung von Applikationen für das iPhone. Dies ist nur auf einem Apple-PC mit der Entwicklungsumgebung Xcode möglich¹⁹⁴. Durch die Interdependenz zwischen den Produkten strebt Apple neben der vollen

187 [Isa11] S. 62-63

188 [Gar18]

189 [App17]

190 siehe [Baj11]

191 [Nor161]

192 [Isa11] S. 206

193 [Kru15]

194 [App189]

Kontrolle über ihre Produkte auch eine Steigerung des Umsatzes an. Der Nutzer wird aufgrund der Abhängigkeiten dazu motiviert, weitere Apple-Produkte zu erwerben.

Ein weiteres Grundprinzip der Produktgestaltung von Apple ist der Fokus auf das Design. Apple-Gründer Steve Jobs sagt über die Relevanz des Designs: „Some people think that design means how it looks. But of course, if you dig deeper, it’s really how it works“¹⁹⁵. Demnach sind Designer nicht nur Gestalter der Oberfläche, sondern arbeiten an innovativen Lösungen in Bezug auf Design und Technologie. Beim Design seiner Produkte setzt Apple auf das Prinzip der Einfachheit. Nach der These „Gutes Design ist so wenig Design wie möglich“¹⁹⁶ wird der Fokus auf Intuitivität gelegt, um eine möglichst hohe Benutzerfreundlichkeit zu erreichen. Die Reduktion des Designs war besonders in Apples Anfangszeit von funktionaler Bedeutung. Zum Beginn des Computer-Zeitalters mussten den unerfahrenen Nutzern leicht verständliche und einfach bedienbare PCs angeboten werden.¹⁹⁷ Auch das iPhone-Design ist durch seine Schlichtheit gekennzeichnet und die Smartphones besitzen auf der Vorderseite neben dem Display nur ein Bedienelement. Die Einfachheit äußert sich außerdem in den grafischen Benutzeroberflächen von iOS, die nur eine geringe Anzahl an Bedienelementen besitzen.

Das iPhone 6s ist das neunte Modell der iPhone-Reihe und seit September 2015 im Handel erhältlich. Wie in Abbildung 11: Apple iPhone 6s ersichtlich, besitzt das iPhone 6s appletypisch ein schlichtes und edel anmutendes Erscheinungsbild. Das iPhone ist integriert aufgebaut und es bestehen keine Aufrüstungsmöglichkeiten wie etwa durch Speicherkarten zur Erweiterung der Speicherkapazität¹⁹⁸, was ebenfalls kennzeichnend für Apple-Smartphones ist. Die Komponenten des Geräts sind fest verbaut und nicht ohne Spezialwerkzeug austauschbar. Das ist darin begründet, dass proprietäre Pentalobe-Schrauben am Gehäuse verwendet werden, die einen Spezial-Schraubendreher erfordern¹⁹⁹. Dies erschwert eine Reparatur defekter Bauteile. Das Apple iPhone ist allerdings auch nicht für die eigenständige Reparatur und Erweiterung durch den Nutzer konzipiert. Dies wird unter anderem dadurch belegt, dass keine offiziellen Ersatzteile von Apple angeboten werden. Bauteile für das iPhone werden lediglich von Drittanbietern vertrieben²⁰⁰. Stattdessen bietet Apple offizielle Reparaturservices für das iPhone 6s und weitere Modellreihen an.

195 [Imp11]

196 [Vit18]

197 [Grä11] S. 44

198 [Ste151]

199 [iFi15]

200 siehe [iFi181]



Abbildung 11: Apple iPhone 6s [App183]

Leistungstechnisch gehörte das iPhone 6s zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung zu den stärksten Smartphones auf dem Markt. Das Gerät nutzt als Prozessor einen von Apple selbst entwickelten A9-Chip mit 64-Bit-ARMv8-Architektur sowie 2 GB Arbeitsspeicher. Die Integration der Hardware mit dem appleeigenen Betriebssystem iOS 9, welches zur Auslieferung installiert ist und durch Updates aufgerüstet werden kann, trägt ebenfalls zur guten Performance des Produkts bei. Als hochwertig wurden auch das Display und die Kamera des iPhones eingeschätzt, während die relativ kurze Laufzeit des Akkus von Fachzeitschriften bemängelt wurde.²⁰¹ Der Preis für das iPhone 6s betrug beim Marktstart zwischen 739 Euro und 959 Euro, je nach ausgewählter Speicherkapazität²⁰². Somit ist das Apple-Smartphone teurer als das Fairphone, wobei das iPhone leistungsmäßig stärker als das Fairphone 2 einzuordnen ist.

Der Aufbau des aktuellen Modells iPhone X unterscheidet sich nicht signifikant von dem des iPhone 6s. Das Smartphone ist weiterhin komplett integriert und in der Konsequenz nicht umstandslos erweiterbar und reparierbar. Ebenso wie beim iPhone 6s ist der Akku fest verbaut und kein Speicherkartenschacht zur Erweiterung vorhanden. Naturgemäß hat sich die Performance des iPhone X durch den Technologiefortschritt gegenüber dem iPhone 6s gesteigert, was besonders die Komponenten Prozessor, Kamera, Display oder Arbeitsspeicher betrifft. Im Vergleich zu konkurrierenden Produkten befindet sich das iPhone X leistungstechnisch ebenfalls im Spitzensegment.²⁰³ Der Preis²⁰⁴ des aktuellen Apple-Smartphones beträgt abhängig von der Speicherkapazität zwischen 1.149 Euro und 1.319 Euro und ist somit teurer als die unverbindliche Preisempfehlung für das iPhone 6s.

201 siehe [Hei16]

202 [Med15]

203 [Sch17]

204 [App186]

4.2 Bewertungskriterien

Der Vergleich der Smartphones Apple iPhone und Fairphone 2 erfolgt anhand von bestimmten Nachhaltigkeitskriterien. Die Kriterien werden aus den Erarbeitungen im Kapitel *Nachhaltiges Smartphone-design* abgeleitet. Der Fokus bei der Aufstellung der Bewertungskriterien liegt auf designabhängigen Gesichtspunkten. Das bedeutet, dass nur Nachhaltigkeitsaspekte in den Vergleich einfließen, auf die sich der Aufbau des Smartphones – modular oder integriert – auswirkt. Die Betrachtung sämtlicher Kriterien bezüglich der Nachhaltigkeit würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen und wäre nicht zielführend.

Die Nachhaltigkeitskriterien werden in sieben Hauptkategorien, die zum Teil noch aus weiteren Unterpunkten bestehen, gruppiert. Dem Anhang Tabelle 1 ist die Übersicht der entwickelten Bewertungskriterien sowie die Einteilung der Kategorien zu entnehmen. Das Ergebnis des Vergleichs wird anhand der Bewertungen der einzelnen Nachhaltigkeitskategorien ermittelt. Als nachhaltigeres Gerät im Vergleich wird demnach das Smartphone eingestuft, welches in mehr Kategorien als nachhaltiger beurteilt wird. Das nachhaltige Designprinzip zur Gestaltung langlebiger Smartphones bildet, aufgrund seiner starken Relevanz für die Nachhaltigkeit, die Grundlage für fünf Kategorien der Bewertungskriterien. Somit wird die Lebensdauer der Smartphones im Nachhaltigkeitsvergleich höher gewichtet als die Energieeffizienz und die Wiederverwendbarkeit.

Die Nachhaltigkeitsstrategie des zuverlässigen und robusten Smartphonedesigns lässt sich in die Bewertungskategorien Lebensdauer und Widerstandsfähigkeit unterteilen. Unter der Kategorie Lebensdauer des Smartphones wird die durchschnittliche Lebensdauer des Smartphones als Kriterium definiert. Aspekte wie die Langlebigkeit der Einzelkomponenten und die Weiterverwendung des Smartphones, beispielsweise durch einen Weiterverkauf des gebrauchten Geräts, fließen in die Analyse dieses Kriteriums ein. Zur Evaluierung der Widerstandsfähigkeit wird das Bewertungskriterium beschrieben, wie gut das Smartphone gegen äußere Einflüsse geschützt ist. Dabei werden der Schutz gegen potenzielle Unfälle wie etwa Stürze und das Eindringen von Spritzwasser oder anderer Fremdkörper beispielsweise Staub oder Sandkörner untersucht. Die Sturzsicherheit wird mithilfe diverser Falltests eruiert, während der Schutz vor Wasserschäden unter anderem durch das Eintauchen der Geräte ins Wasser überprüft wird. Zusätzlich werden Rückschlüsse zur Haltbarkeit der Smartphones aus ihrem Aufbau abgeleitet.

Der gewährte Garantiezeitraum für das Smartphone wird ebenso als Kriterium festgesetzt. Die Dauer einer Garantiezeit durch den Hersteller lässt indirekt Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit und Robustheit des Geräts zu. Je zuverlässiger der Anbieter sein Smartphone einschätzt, desto länger wird er den Garantiezeitraum für den Nutzer wählen. Der Themenbereich Fehleranfälligkeit eines Smartphones kann als Designaspekt eines zuverlässigen Smartphones angesehen werden, wird in diesem Vergleich jedoch unter der Kategorie Usability eingeordnet und untersucht. Konkret werden die nachfolgenden Kriterien zur Überprüfung eines zuverlässigen und robusten Designs festgelegt:

- *Wie lang ist die durchschnittliche Lebensdauer des Smartphones?*
- *Wie gut ist das Smartphone gegen äußere Einflüsse geschützt?*
- *Wie lange wird eine Garantie für das Smartphone gewährt?*

Die Bewertung der Wartungsfreundlichkeit²⁰⁵ erfolgt durch die Betrachtung der Reparaturmöglichkeiten der Smartphones. Der Fokus wird auf die Möglichkeit des Austauschs einzelner Komponenten und die Komplexität der Wartung des Geräts gelegt. Die Einstufung des Anspruchs der eigenständigen Reparatur des Smartphones erfolgt unter anderem anhand der Tatsache, inwiefern Werkzeuge bzw. Spezialwerkzeuge notwendig sind. Außerdem wird geprüft, ob entsprechende Anleitungen vom Hersteller bereitgestellt werden und ob bestimmte Bauteile fest verschweißt und somit nicht austauschbar sind. Aufgrund dieser Tatsache werden die folgenden Bewertungspunkte zur Bestimmung der Nachhaltigkeit aufgestellt:

- *Wie anspruchsvoll ist die eigenständige Reparatur des Smartphones?*
- *Werden Ersatzteile für das Smartphone bereitgestellt?*
- *Werden Reparaturservices für das Smartphone angeboten?*
- *Zu welchen Preisen sind Reparaturservices für das Smartphone erhältlich?*

Um die Aufrüstbarkeit der zu vergleichenden Smartphones zu bestimmen, wird untersucht, bis zu welchem Grad das Gerät erweiterbar ist. Je mehr Komponenten auswechselbar sind und je leichter das Aufrüsten durchgeführt werden kann, desto einfacher ist es möglich, das Smartphone stets auf dem aktuellen technischen Stand zu halten. Dabei werden die Nachhaltigkeitskriterien zwischen der Aufrüstbarkeit vorhandener Komponenten und der Erweiterbarkeit um zusätzliche Module unterschieden:

- *Inwiefern können die Komponenten des Smartphones aufrüstet werden?*
- *Welche Erweiterungen um zusätzliche Funktionalitäten sind möglich?*

Die Designstrategie der Produktbindung zur Ausdehnung der Langlebigkeit wird in die Kategorien Design und Usability gegliedert. Dabei wird untersucht, wie benutzerfreundlich die Smartphones im Vergleich gestaltet sind. Die optischen Designkriterien befassen sich mit den eingesetzten Materialien und der Qualität der Verarbeitung des Gehäuses. Dabei wird besonderer Wert auf die Wertigkeit der Materialien, die Abmessungen, die Haptik und das Erscheinungsbild der Geräte gelegt. Die Usability der Smartphones wird anhand der Fehleranfälligkeit, der Intuitivität von Inbetriebnahme sowie Handhabung und der Leistungsfähigkeit der Geräte gemessen.

Eine weitere mögliche Option zur Steigerung der Produktbindung ist die Personalisierung von Smartphones, die allerdings kein Bestandteil dieser Kategorie ist. Die Individualisierung der Hardware wird bereits in der Kategorie Aufrüstbarkeit betrachtet und die Thematik der persönlichen Bestimmung der äußeren Gestaltung und der verwendeten Software wird im anschließenden Abschnitt Variabilität analysiert. Zusammengefasst werden die folgenden Bewertungskriterien zur Evaluierung der Bindung des Smartphones an den Nutzer aufgestellt:

- *Ist das Gehäuse des Smartphones benutzerfreundlich und optisch ansprechend gestaltet?*
- *Wie groß, schwer und handlich ist das Smartphone?*
- *Wie intuitiv ist die Handhabung des Smartphones?*

205 Die Eigenschaften von wartungsfreundlichem Smartphonedesign wird innerhalb des Kapitels Design langlebiger Smartphones vorgestellt.

- *Wie problemlos erfolgt die Inbetriebnahme des Smartphones?*
- *Schränkt die fehlende Leistungsfähigkeit des Smartphones den Nutzerkomfort ein?*
- *Wie fehleranfällig ist das Smartphone?*

Die Strategie des Designs von variablen Smartphones kann auf Software-, Hardware- und äußere Gestaltungsmöglichkeiten bezogen werden. Nicht untersucht wird die Veränderbarkeit der Hardware, da diese bereits in den Kriterien zur Bestimmung der Aufrüstbarkeit integriert ist. Die folgenden Kriterien dienen zur Bewertung der Variabilität der verwendbaren Software und des Erscheinungsbilds:

- *Wie individuell kann das Erscheinungsbild des Smartphones gestaltet werden?*
- *Welche Software (Applikationen und Betriebssysteme) wird vom Smartphone unterstützt?*

Das Designprinzip zur Gestaltung recyclebarer und wiederverwendbarer Smartphones wird als eine weitere Hauptkategorie des Vergleichs verwendet. Um die Lebensdauer der Materialien und Komponenten des Smartphones im Lebenszyklus zu erweitern, ist auf ein recyclingfreundliches und wiederverwertbares Design zu achten. Für diesen Vergleich ist die Untersuchung der Zerlegbarkeit des Smartphones in seine Einzelteile von besonderer Relevanz, da der Aufbau des Smartphones maßgeblich dafür ist. Je differenzierter das Gerät in seine Bestandteile aufgespalten werden kann, desto effizienter kann der sich daran anschließende Recycling-Prozess durchgeführt werden.

Bei der Evaluierung werden Themen wie die Entsorgung und Rücknahme des Smartphones, die Existenz von Recyclingprogrammen, die Nutzung recyclebarer Rohstoffe sowie die Recyclingtechnik nicht verglichen. Die Designart des Smartphones hat keinen oder nur einen marginalen Effekt auf diese elementaren Nachhaltigkeitsaspekte. Folglich wird das nachfolgende Nachhaltigkeitskriterium zur Prüfung der Wiederverwendbarkeit festgelegt:

- *Wie einfach ist das Smartphone für das Recycling in seine Einzelteile zerlegbar?*

Das Design energieeffizienter Smartphones als Prinzip der Nachhaltigkeit wird für den Kriterienkatalog in die Unterpunkte Substituierbarkeit und Nutzung unterteilt. Es wird der Energieverbrauch der Smartphones verglichen und außerdem auf die Eignung des Smartphones als Substitut für andere IT-Produkte sowie daraus resultierende Einsparpotentiale eingegangen. Designunabhängige Nachhaltigkeitsaspekte wie etwa die tägliche Nutzungsdauer des Smartphones, die genutzten Energiequellen oder der Energieverbrauch während der Produktionsprozesse sind nicht Teil des Vergleichs. Stattdessen werden diese Nachhaltigkeitskriterien zur Bestimmung der Energieeffizienz der Smartphones genutzt:

- *Wie hoch ist der Energieverbrauch des Smartphones in der Nutzungsphase?*
- *Welche anderen IT-Geräte können substituiert werden?*

Für die Realisierung nachhaltiger Smartphones sind umweltfreundliche und sozial fair gestaltete Geräte von mindestens ebenso großer Bedeutsamkeit wie die bisher betrachteten Nachhaltigkeitsstrategien. Eine wichtige Rolle im Kontext ökologisch und sozial nachhaltiger Smartphones spielen unter anderem die Nutzung recycelter Materialien, die Verringerung der Treibhausgasemissionen und die Vermeidung von Konfliktmineralien bei der Herstellung. Da diese Nachhaltigkeitsprinzipien überwiegend unabhängig vom Designansatz des Smartphones sind, werden sie im Rahmen dieser Arbeit in der sich anschließenden Analyse nicht als Bewertungskriterien verwendet.

4.3 Analyse

Das iPhone 6s und das Fairphone 2 werden nun unter Anwendung der definierten Bewertungskriterien evaluiert. Die Nachhaltigkeitsanalyse der Smartphones erfolgt sortiert nach den ausgearbeiteten Hauptkategorien der Kriterien. Es wird für alle Kriterien zuerst das Fairphone und anschließend das iPhone untersucht.

Das erste zu analysierende Nachhaltigkeitskriterium ist die durchschnittliche Lebensdauer der Smartphones aus der Kategorie des zuverlässigen und robusten Designs. Die beiden Smartphones sind seit Ende des Jahres 2015 erhältlich, sodass zu diesen Modellen noch keine klare Aussage in Bezug auf die Langlebigkeit getroffen werden kann. Die Vorgängermodelle der Smartphone-Serien können allerdings auf ihre Lebensdauer analysiert werden. Das Fairphone 1 aus dem Jahr 2013 konnte die definierten Ziele des Herstellers bezüglich einer langfristigen Nutzungsdauer nicht vollständig umsetzen. Wie beim Fairphone existieren offizielle Zahlen zur Lebenszeit der Apple-Geräte weder für iPhone 6s noch für seine Vorgängermodelle. Apple veröffentlichte lediglich eine Schätzung, laut der iOS-Geräte nach ca. drei Jahren ausgetauscht werden. Gemäß Herstellerangaben werden allerdings die meisten Geräte länger verwendet, da sie wieder verkauft, weitergegeben oder an Apple zurückgegeben werden.²⁰⁶ Darüber hinaus bestimmte der Analyst Horace Dediu die durchschnittliche Nutzungsdauer von Apple-Produkten auf 4 Jahre und drei Monate. Bei seinen Berechnungen ermittelte er ebenfalls, dass ca. zwei Drittel aller jemals verkauften Produkte von Apple nach wie vor aktiv genutzt werden.²⁰⁷ Es ist anzumerken, dass Dediu sich bei seiner Analyse auf alle Apple-Geräte und nicht speziell auf iPhones bezieht. Die Garantiezeit beim Erwerb des iPhone 6s beträgt ein Jahr²⁰⁸. Fairphone gewährt auf sein Smartphone eine Garantie über den Zeitraum von zwei Jahren. Ausgenommen ist der Akku des Fairphone 2, für dessen Haltbarkeit der Hersteller ein Jahr garantiert.²⁰⁹

Der Schutz gegen äußere Einflüsse und Stürze erfolgt beim Fairphone 2 durch eine ins Gehäuse integrierte Schutzhülle aus Gummi und Kunststoff. Die Kanten der Hülle, die an sogenannte Bumper-Hüllen angelehnt ist, und der über den Bildschirm herausragende Rahmen steigern die Widerstandsfähigkeit des Fairphones zusätzlich. Die Widerstandsfähigkeit des Displays wird durch die Verwendung von Gorilla Glass sichergestellt.²¹⁰ Somit kann das Fairphone Falltests bestehen, ohne in seine Einzelteile zu zerspringen²¹¹. Trotz seiner Modulbauweise, welche naturgemäß mehr Angriffspunkte als das in sich geschlossene iPhone bietet, ist das Fairphone dadurch fest verschlossen. Wasser, Sand sowie andere Kleinteile können nicht in das Gerät und zwischen die Module dringen.

Das iPhone 6s ist dank des integrierten Aufbaus ebenfalls gut gegen eindringende Fremdkörper geschützt. Obwohl es offiziell weder wasserdicht noch spritzwassergeschützt ist, hat es diverse Tests

206 [App187]

207 [Ded18]

208 [App16]

209 [Fai1810]

210 [Fai1811]

211 [Büt15]

ohne Beschädigungen bestanden, bei denen das Smartphone beispielsweise eine Stunde lang unter Wasser getaucht wurde²¹². Auch das Verbiegen des iPhone 6s ist nun nicht mehr möglich, nachdem es an diversen Stellen verstärkt und härteres Aluminium für das Gehäuse verwendet wurde, weil es hierbei beim Vorgängermodell iPhone 6 plus zu Problemen gekommen war²¹³. Bei Falltests verdeutlicht das Apple iPhone 6s ebenfalls seine Widerstandsfähigkeit und schneidet im Vergleich mit Konkurrenzprodukten gut ab²¹⁴. Dies kann unter anderem durch die Nutzung von Gorilla Glass begründet werden.

Zur Evaluierung der Wartungsfreundlichkeit der Smartphones werden die Kriterien der eigenständigen Reparierbarkeit sowie das Angebot von Ersatzteilen und Reparaturservices überprüft. Das Fairphone 2 lässt sich durch seinen modularen Aufbau sehr einfach selbstständig warten. Alle Module sind komplett ohne Werkzeug oder mit einem handelsüblichen Schraubendreher austauschbar²¹⁵. Zudem stellt Fairphone auf seiner Homepage Reparaturanleitungen bereit, die ohne ausgeprägten technischen Sachverstand umsetzbar sind²¹⁶. Zur Gewährleistung der Wartungsfreundlichkeit muss die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sichergestellt sein, da eine Reparatur des Geräts ohne offizielle Ersatzteile nicht mehr vorbehaltlos möglich ist. Beim Vorgängermodell Fairphone 1 bestanden Probleme bei der Lieferung von Ersatzteilen bei Bildschirm und Akku sowie Verzögerungen beim Angebot von Software-Updates²¹⁷. Vier Jahre nach dem Release wurde der Support durch Fairphone endgültig eingestellt, sodass die angestrebte Langlebigkeit des Fairphone 1 nicht erreicht wurde²¹⁸. Für fast alle Module des Fairphone 2 werden Ersatzteile im offiziellen Fairphone-Shop zur Verfügung gestellt, sodass defekte Komponenten ersetzt werden können²¹⁹. Lediglich die Kerneinheit ist nur bei Drittanbietern erhältlich²²⁰. Die Kosten für das Display-Modul belaufen sich 87 Euro und der Preis für einen neuen Akku beträgt 20 Euro. Da das Fairphone 2 die eigenständige Reparatur durch den Nutzer präferiert und propagiert, werden keine offiziellen Reparaturdienstleistungen durch den Hersteller angeboten. Anzumerken ist allerdings, dass durch den Verzicht auf professionelle Reparaturservices Risiken bei der korrekten Schadensanalyse und Durchführung der Wartung entstehen können. Zum Beispiel kann ein normaler Smartphone-Nutzer ohne spezielles technisches Verständnis nicht einschätzen, ob bei einem Sturz neben dem Display noch weitere Module beschädigt wurden oder ob der Austausch des Bildschirms ausreichend ist. Außerdem werden nicht alle Nutzer die notwendigen Reparaturen selbstständig durchführen wollen.

Für das iPhone 6s werden Reparaturdienstleistungen von Apple angeboten, da das Smartphone nicht für eine eigenständige Wartung konzipiert ist. Die Reparaturkosten sind offiziell mit 181,10 Euro für

212 [Don15]

213 [Wed15]

214 [Nie16]

215 [iFi151]

216 siehe [Fai1812]

217 [Wöl17]

218 [Fai172]

219 siehe [Fai1813]

220 siehe [Vir18]

Displayschäden und 351,10 Euro für sonstige Schäden angegeben²²¹. Beschädigungen am Bildschirm werden von Apple gesondert aufgeführt, da sie vermutlich die häufigste Schadensursache sind, was auch durch andere Untersuchungen bestätigt wird. Durch den niedrigen Preis der Display-Reparaturen wird zudem ersichtlich, dass es sich um Routine-Aufgaben bei der Reparatur zu handeln scheint. Aus den vergleichsweise hohen Preisangaben für Behebungen von Schäden, die über den Bildschirm hinausgehen, kann überdies abgeleitet werden, dass Apple sich nicht auf die Reparatur kleinerer Schäden fokussiert. Es kann vermutet werden, dass Apple seine Anwender stattdessen dazu motivieren möchte, sich anstelle der Reparatur des defekten Smartphones ein neues Gerät zu beschaffen. Drittanbieter bieten ebenfalls Reparaturservices für alle iPhone-Modelle zu deutlich günstigeren Preisen an. Die Reparaturkosten sind allerdings auch hier noch höher als das Gerät eigenständig zu reparieren. Dafür sind jedoch technische Kompetenzen und Erfahrung notwendig. Für das Öffnen des Smartphones zur Wartung wird zudem Spezialwerkzeug, beispielsweise ein Pentalobe-Schraubendreher, benötigt. Die Komponenten sind partiell miteinander verklebt oder verschweißt, was den Austausch defekter Bauteile erschwert. Anleitungen²²² und Ersatzteile²²³ für das iPhone 6s werden nicht offiziell von Apple angeboten, sondern werden nur durch Drittanbietern ohne Herstellergarantie zur Verfügung gestellt.

Aufrüstbares Design kann durch die Erweiterung der Leistungsfähigkeit bestehender Komponenten und durch die Erweiterung der Funktionalität durch zusätzliche Module realisiert werden. Die Aufrüstung zur Leistungssteigerung kann beim Fairphone mittels neuer Kamera-Module erreicht werden. Sowohl die Hauptkamera als auch die Frontkamera können erweitert werden²²⁴. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Kapazität des internen Speichers per Speicherkarte zu erhöhen. Für die übrigen Komponenten existieren keine Module zur Aufrüstung. Alternative Module, die die Funktionsvielfalt des Fairphones vergrößern, werden ebenfalls nicht angeboten. Für das Apple iPhone 6s gibt es von offizieller Seite keine Erweiterungsmöglichkeiten.

Die Bewertungskategorie Produktbildung befasst sich mit dem Design und der Usability der Smartphones. Das Gehäuse des Fairphone 2 besteht aus Kunststoff und wird von einem aus Gummi bestehenden Überzug, der vor Stürzen schützen soll, ergänzt. Laut Testberichten kann das Gehäuse jedoch weder „optisch noch haptisch überzeugen“²²⁵, da es „gummiartig und wenig hochwertig“²²⁶ wirkt. Das iPhone 6s besitzt ein Aluminium-Gehäuse, das nach unabhängigen Bewertungen „äußerst hochwertig verarbeitet“²²⁷ ist. Auch die „Materialien des Alu-Smartphones bewegen sich auf Top-Niveau“²²⁸. Das Gehäuse des Fairphones hat inklusive Slim Case die Abmessungen von 144,5 mm x 74,5 mm x 10,65

221 [App184]

222 siehe [Nor161]

223 siehe [iFi181]

224 [Fai188]

225 [Peu16]

226 [Büt15]

227 [Sch16]

228 [Hei16]

mm²²⁹. Das Gerät ist vergleichsweise dick, was neben dem modularen Aufbau auch auf die integrierte Schutzhülle zurückgeführt werden kann, die dem Gerät neben größeren Abmessungen aber ebenso mehr Robustheit verleiht. Das Gewicht des Smartphones liegt mit 173 Gramm ebenfalls über dem Marktdurchschnitt. Das Apple iPhone 6s zum Vergleich hat die Maße 138,3 mm x 67,1 mm x 7,1 mm und wiegt 143 Gramm²³⁰. Somit ist das iPhone 30 Gramm leichter und ca. 3,5 mm dünner als das Fairphone.

Die Zufriedenheit des Nutzers wird neben der Optik maßgeblich durch die Usability des Smartphones bestimmt. Dabei sind eine intuitive Inbetriebnahme und Handhabung des Geräts entscheidend. Das Fairphone 2 ist für den Nutzer einfach in Betrieb zu nehmen und zu konfigurieren, da verständliche Anleitungen verfügbar sind²³¹. Trotz des modularen Aufbaus muss das Smartphone nicht erst zusammengefügt werden, sondern kann direkt gestartet werden. Aufgrund des nachhaltigen Grundkonzepts von Fairphone erfolgt der Versand des Geräts ohne Zubehör wie Kopfhörer und Ladegerät²³². Dies reduziert zwar den Elektroschrott, kann aber auch zu Mehraufwänden beim Nutzer führen, wenn kein passendes Ladegerät zur Verfügung steht. Da jedoch ein handelsübliches Ladegerät bzw. Ladekabel für Smartphones ausreichend ist, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Anwender bereits über ein geeignetes Ladegerät verfügt. Die Inbetriebnahme des iPhone 6s stellt dank nachvollziehbarer Anleitungen ebenfalls kein Problem dar. Die Handhabung beider Geräte ist für geübte Smartphone-Nutzer intuitiv und die Geräte werden smartphonetypisch über den Touchscreen und Schaltflächen an der Gehäuseaußenseite gesteuert. Zudem ist die Handhabbarkeit der Geräte abhängig von der eingesetzten Software. Eine Studie vergleicht Smartphone-Betriebssysteme nach ihrer Benutzerfreundlichkeit, speziell nach Intuitivität, Effizienz und Integration, Konfigurierbarkeit und Bedienungsschwachstellen. Dabei schnitten die Betriebssysteme iOS 6 und iOS 7, die das Apple iPhone nutzt, insgesamt besser ab als Android, welches standardmäßig als Basis auf dem Fairphone 2 installiert ist. Besonders in der Kategorie Intuitivität wurde das Apple-Betriebssystem deutlich besser bewertet, da es weniger Applikationen, Icons und Interface-Elemente benötigt als Android.²³³ Die Intuitivität einer Software ist jedoch durchaus subjektiv und grundsätzlich schwer zu bewerten.

Die Leistungsfähigkeit der Smartphones wird mithilfe von Benchmark-Tests evaluiert. Bei der Benchmark-Variante „Sling Shot“ erreicht das Fairphone 2 einen Wert von 1044²³⁴ und das iPhone 6s 2361 Punkte²³⁵. Es kann insgesamt festgehalten werden, dass das iPhone bei sämtlichen Leistungsverglei-

229 [Peu16]

230 [App185]

231 siehe [Fai1815]

232 [Fai1816]

233 [The13]

234 [Fut18]

235 [Fut181]

chen eine höhere Wertung erhält. Überdies beurteilt das IT-Magazin Chip die Performance und Bedienung des Fairphone 2 mit 76,9 %²³⁶ und die des iPhone 6s mit 98,3 %²³⁷. Die Einstufung des Displays, der Kamera und des Akkus fällt ebenso beim Apple-Gerät höher aus.

Die Fehleranfälligkeit ist bei beiden Smartphones solide. Sowohl für das iPhone als auch für das Fairphone sind nur vereinzelt Berichte über häufige auftretende Fehler oder Abstürze auffindbar. Exemplarisch kam es beim Fairphone 2 zeitweise zu Abstürzen aufgrund fehlerhaft programmierter Software²³⁸. Die Ursache waren Fehler in speziellen Fairphone-Treibern, die durch Änderungen an den Speicher-Parametern bereinigt werden konnten. Eine Problematik des iPhone 6s war zum Beispiel, das sich partiell Geräte selbstständig infolge von defekten Akkus abschalteten²³⁹. Die Schwierigkeiten wurden jeweils rasch mithilfe von Software-Updates bzw. durch Umtausch-Aktionen behoben.

Bei der Nachhaltigkeitsanalyse werden bezüglich des variablen Designs die virtuelle Veränderbarkeit anhand der installierbaren Software und die physische Wandelbarkeit durch die individuelle Gestaltung des Erscheinungsbilds des Smartphones untersucht. Das Fairphone wurde zur Veröffentlichung standardmäßig mit einem eigens angepassten Betriebssystem auf Basis von Android 5.1 ausgeliefert. Seit April 2017 steht den Nutzern die Version 6.0.1 zur Verfügung²⁴⁰ und ab Sommer 2018 wird die Unterstützung von Android 7 geplant.²⁴¹ Der Nutzer kann außer Android aber auch Open-Source-Betriebssysteme nutzen. Es besteht die Option, Portierungen der Betriebssysteme von LineageOS, Sailfish OS, und Ubuntu Touch zu verwenden, welche durch die Fairphone-Community bereitgestellt werden²⁴². Damit stehen den Nutzern neben den Auswahlmöglichkeiten beim Betriebssystem auch diverse Applikationen aus den jeweiligen App Stores zur Verfügung. Das iPhone hingegen ist nur mit dem Apple-Betriebssystem iOS erhältlich. Das auf die Apple-Geräte abgestimmte Betriebssystem kann mit geprüften Applikation aus dem Mac App Store genutzt werden.

Die individuelle Gestaltung des Erscheinungsbilds des Smartphones ist jeweils durch verschiedenfarbige Gehäuse bzw. Hüllen erreichbar. Eine Personalisierung ist dabei vom Hersteller aus nicht möglich. Das Fairphone 2 wird in sechs verschiedene Farben angeboten. Darüber hinaus hat der Nutzer die Option, Cover einzeln nachzubestellen und das Aussehen des Fairphone zur Laufzeit zu variieren²⁴³. Das iPhone 6s bietet die Wahlmöglichkeit zwischen vier unterschiedlichen Gehäusefarben²⁴⁴. Hat sich der Käufer einmal für Gold, Silber, Grau oder Rose entschieden, ist die Gestaltung nicht mehr änderbar.

236 [Vet15]

237 [Hei16]

238 [Her18]

239 siehe [App161]

240 [Fai1820]

241 [Fai1819]

242 [Fai1818]

243 [Fai1817]

244 [App183]

Innerhalb der Bewertungskategorie des recyclebaren und wiederverwendbaren Designs wird auf die Zerlegbarkeit der Smartphones in ihre Einzelteile eingegangen. Es wurde bereits im Kriterium der eigenständigen Reparaturmöglichkeiten beschrieben, dass das Fairphone 2 dank seines modularen Aufbaus gut zu demontieren ist. Zur Optimierung der Wiederverwendbarkeit gab der Hersteller Fairphones 2017 eine Studie in Auftrag, welche die Recyclingfähigkeit und die Recyclingmöglichkeiten des Smartphones untersuchen sollte. Mithilfe eines von van Schaik und Reuter entwickelten Recyclebarkeitsindex wurden drei Recycling-Varianten für Smartphones unter Berücksichtigung des modularen Aufbaus des Fairphones verglichen. Die Methodik des „selektiven Schmelzens“ erwies sich in der Studie als geeignetster Ansatz gegenüber dem Schmelzen des kompletten Smartphones und dem Zerkleinern des Fairphones in einer Schneidmühle inklusive anschließender Weiterverarbeitung. Bei dem Prozess des selektiven Schmelzens wird das Fairphone in seine einzelnen Module separiert und darauffolgend die jeweils am besten geeigneten metallischen und plastischen Verwertungsprozesse angewendet. Basierend auf der Kombination verschiedener zurückgewonnener Metalle und wiederverwendbarer Kunststoffe sowie dem Aufwand, der in die physische Verarbeitung investiert werden muss, ist diese Option für das Recycling des modularen Fairphone 2 am effizientesten. Zum Beispiel können 80 % bis 98 % der eingesetzten Materialien wie Gold, Kupfer, Silber, Kobalt, Nickel, Palladium, Platin, Gallium, Indium und Zink wiedergewonnen werden.²⁴⁵

Das iPhone ist zumindest durch den Nutzer nur schwer in seine Bestandteile zerlegbar. Für einen effizienten Recycling-Prozess hat Apple allerdings einen Recycling-Roboter namens Daisy entwickelt. Diese Maschine kann nach Angaben von Apple pro Stunde bis zu 200 iPhones fachgerecht auseinandernehmen und die Einzelteile entsprechend sortieren. Damit liegt die theoretische jährliche Kapazität von Daisy bei 1,75 Millionen Smartphones. Insgesamt sind mit der Recycling-Anlage von Apple neun Versionen des iPhone zerlegbar, darunter auch das iPhone 6s. Neben Kobalt, Nickel und Zink kann Daisy auch seltene Elemente wie Wolfram in den Recycling-Kreislauf zurückbringen. Aus 100.000 recycelten iPhones werden in der Summe 1,9 Tonnen Aluminium, 770 kg Kobalt, 710 kg Kupfer, 42 Kilo Zinn, knapp 1 kg Gold sowie 100 g Palladium wiedergewonnen.²⁴⁶ Es ist ersichtlich, dass auch integrierte Smartphones, die eigenhändig nicht demontierbar sind, mithilfe von Recycling-Prozessen soweit zerlegt werden können, dass vielzählige, teilweise seltene Mineralien in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt werden können.

Die definierten Nachhaltigkeitskriterien der Substituierbarkeit und des Energieverbrauchs werden innerhalb der Kategorie der Energieeffizienz analysiert. Infolge ihrer ähnlichen Funktionalitäten können sowohl das iPhone als das Fairphone als Substitut für zahlreiche technisch Geräte genutzt werden. Dazu zählen beispielhaft MP3-Player, mobile Spielekonsolen, Kameras und Navigationsgeräte, die abgelöst werden können. Das Fairphone 2 kann trotz seines prinzipiell modularen Aufbaus nicht um zusätzlichen Module ergänzt werden und somit nicht durch weitere Funktionalitäten ein breiteres Spektrum von Geräten ersetzen.

245 [Fai171]

246 [App188]

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs während der Nutzung werden die Akkulaufzeit im Online-Modus²⁴⁷ und die Kapazität der Batterie betrachtet. Das Fairphone 2 erreicht eine Online-Laufzeit von sechs Stunden und 45 Minuten bei einer Akkukapazität von 2.420 mAh²⁴⁸. Der Online-Test ergibt für das iPhone 6s eine Laufzeit von acht Stunden und einer Minute²⁴⁹. Zusammengefasst erzielt das iPhone demnach eine längere Akkulaufzeit bei geringer Kapazität der Batterie.

247 „Bei der Online-Messung ist das Gerät je nach Ausstattung per UMTS, EDGE oder WLAN mit dem Internet verbunden und zeigt eine mobile Webseite mit Bildern, die der Browser alle 20 Sekunden neu von unseren Test-Servern lädt und darstellen muss.“

[Pau10]





248 [Vet15]

249 [Hei16]

4.4 Ergebnisse

Aufbauend auf der Nachhaltigkeitsanalyse der Vertreter der Smartphone-Konzepte werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse des Vergleichs dargestellt. Eine Übersicht der Resultate der evaluierten Bewertungskategorien ist der Tabelle 1 zu entnehmen²⁵⁰. Die Kategorien werden im Anschluss, inklusive der Bewertungen der einzelnen Kriterien, ausführlicher beschrieben. Abschließend wird ein Fazit über das Gesamtergebnis auf Grundlage der Beurteilung der sieben Hauptkategorien des Vergleichs gezogen.

Tabelle 1: Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs

Bewertungskategorie	Ergebnis
Zuverlässiges und robustes Design	 / FAIRPHONE
Wartungsfreundliches Design	FAIRPHONE
Aufrüstbares Design	FAIRPHONE
Produktbindung	
Variables Design	FAIRPHONE
Recyclebares und wiederverwendbares Design	 / FAIRPHONE
Energieeffizientes Design	

In Bezug auf die Zuverlässigkeit und Robustheit liegen das Apple iPhone und das Fairphone gleichauf. Die durchschnittliche Lebensdauer ist nicht direkt bewertbar, da beide Smartphone-Modelle erst seit ca. 2,5 Jahren auf dem Markt sind. Die Vorgängermodelle der iPhone-Serie zeigen allerdings eine lange Nutzungsdauer und eine hohe Weiterverwendungsrate. Der Support beim ersten Smartphone des Herstellers Fairphone wurde hingegen bereits nach vier Jahren eingestellt. Beim Kriterium der Widerstandsfähigkeit kommt die Analyse zu dem Ergebnis, dass das Fairphone 2 trotz des modularen Aufbaus gut gegen äußere Einflüsse und Stürze geschützt ist. Dies trifft ebenso auf das iPhone 6s zu. Die Untersuchung der gewährten Garantiezeiten hat ergeben, dass das Fairphone die Zuverlässigkeit seines Smartphones länger garantiert als Apple.

Das Fairphone 2 ist wartungsfreundlicher designt als das Vergleichsprodukt iPhone 6s. Beide Smartphones ermöglichen grundsätzlich eine eigenständige Reparatur, welche beim Fairphone allerdings wesentlich einfacher und umfänglicher durchführbar ist. Ersatzteile werden für das Fairphone 2 offiziell vom Hersteller zur Verfügung gestellt, während Bauteile für das iPhone 6s lediglich bei Drittanbietern erhältlich sind. Dafür werden jedoch Reparaturdienstleistungen von Apple angeboten. Die eigenständige Reparatur des Fairphones mithilfe von Anleitungen in Video- und Schriftform und auf Grundlage erwerbbarer Ersatzteile ist wesentlich preisgünstiger als die Nutzung des Reparaturservices von Apple.

²⁵⁰ Eine ausführliche Übersicht der Ergebnisse ist im Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs nach Bewertungskriterien einsehbar.

Das besser aufrüstbare Design der verglichenen Smartphones hat ebenfalls das Fairphone 2. Das Smartphone von Fairphone kann im Gegensatz zum iPhone durch ein leistungsstärkeres Kamera-Modul und mithilfe von Speicherkarten aufrüstet werden. Aufgrund des modularen Aufbaus sind die Erweiterungen leicht ausführbar. Die Aufrüstung der Smartphones um zusätzliche Module bzw. um Komponenten mit weiteren Funktionalitäten ist bei beiden analysierten Geräten nicht möglich.

Die höhere Produktbindung der Smartphones erreicht das Apple iPhone 6s. Das Apple-Gerät ist sorgfältiger verarbeitet und nutzt hochwertigere Materialien bei der Gestaltung des Gehäuses. Darüber hinaus ist das iPhone 6s schlanker, leichter und dadurch handlicher als das Fairphone 2. Das iPhone schneidet bei der Usability ebenfalls besser ab als das Fairphone. Eine intuitivere Inbetriebnahme und Handhabung und eine performantere Leistung sind unter anderem dank abgestimmter Hard- und Software des iPhone 6s möglich. Die Betrachtung der Fehleranfälligkeit der Geräte verlief ausgeglichen.

Den Vergleich des variableren Designs entscheidet das Fairphone 2 für sich. Infolge des offeneren Software-Ansatzes beim Fairphone ist der Nutzer nicht auf ein Betriebssystem festgelegt. Beim iPhone 6s dagegen ist die Nutzung des Betriebssystems iOS und der applezertifizierten Anwendungen vorgeschrieben. Die individuellen Gestaltungsmöglichkeiten des Erscheinungsbilds sind bei beiden Geräten eingeschränkt. Verschiedenfarbige Hüllen bzw. Gehäuse sind jeweils auswählbar. Beim Fairphone sind diese, dank des modularen Aufbaus, auch in der Nutzungsphase noch austauschbar.

Die Bewertung des recyclingfreundlicheren und wiederverwendbareren Designs ist nicht objektiv durchzuführen, da offizielle Angaben zu tatsächlich recycelten bzw. recyclebaren Rohstoffen fehlen. Durch seinen modularen Aufbau lässt sich Fairphone 2 leichter demontieren und in seine Einzelteile zerlegen. Das Apple iPhone 6s hingegen ist mithilfe des effizienten Recycling-Roboters Daisy zerlegbar, was Apple einen Technologievorsprung bezüglich des Recyclings verschafft. Insgesamt wird diese Kategorie als ausgeglichen eingestuft.

Im Hinblick auf die Kriterien der Energieeffizienz besteht ein Vorteil für das iPhone 6s. Dies liegt in dem geringeren Energieverbrauch des Geräts während der Nutzung begründet. Keine Differenzen gibt es betreffend der Substituierbarkeit. Sowohl das Fairphone als auch das iPhone können als Substitute für eine Vielzahl von anderen technischen Geräten genutzt werden.

Insgesamt liegt das Fairphone 2 im Nachhaltigkeitsvergleich mit dem iPhone 6s knapp vorne. Das Fairphone kann drei und das iPhone zwei Bewertungskriterien für sich entscheiden. Beim Design von zuverlässigen und robusten sowie recyclebaren und wiederverwendbaren Smartphone ist der Vergleich ausgeglichen. Die Gestaltung des Fairphones ist in den Bereichen Wartungsfreundlichkeit, Aufrüstbarkeit und Variabilität im Vorteil. Apple schneidet in der Kategorien Produktbindung sowie Energieeffizienz besser ab.

4.5 Auswertung

Die vorgestellten Ergebnisse des Nachhaltigkeitsvergleichs werden nun ausgewertet und eingeordnet. In diesem Zusammenhang werden Schlussfolgerungen von den Vertretern auf die zugrunde liegenden Smartphone-Konzepte gezogen. Es wird speziell darauf eingegangen, wie das Fairphone das modulare Konzept umsetzt. Darüber hinaus wird beleuchtet, in welchem Bereichen Verbesserungspotential hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Smartphones bzw. der Konzepte bestehen. Analog zur Ergebnisbetrachtung werden zuerst die Bewertungskategorien ausgewertet und abschließend ein Fazit gezogen. Dabei wird unter anderem erörtert, ob ein komplett nachhaltiges Smartphone überhaupt möglich ist.

Der Vergleich hat in der Bewertungskategorie *Zuverlässiges und robustes Design* ein ausgeglichenes Ergebnis ergeben. Theoretisch sind modulare Smartphone-Konzepte bei dem Aspekt der Widerstandsfähigkeit im Nachteil, da sie infolge der Modulbauweise anfälliger für Sturzschäden und das Eindringen von Fremdkörpern sind. In diesem Kontext betrachtet schneidet das Fairphone 2 sehr gut beim Kriterium der Widerstandsfähigkeit ab. Diese Tatsache ist vorrangig durch die integrierte Schutzhülle des Fairphones bedingt, wodurch der Nutzer allerdings Abstriche hinsichtlich der Optik machen muss. Die Herausforderungen bezüglich der Robustheit nehmen jedoch aller Voraussicht nach mit steigendem Grad der Modularität zu. Die Eingliederung zusätzlicher optionaler Module, die möglicherweise kundenindividuell sind, erschwert die Gestaltung eines widerstandsfähigen Smartphones. Überdies könnten durch die Realisierung eines robusten Designs unter Umständen seltene Rohstoffe oder Materialien benötigt werden, die nur problematisch entsorgt werden können. Hier gilt es im Sinne der Nachhaltigkeit abzuwiegen, in welchem Verhältnis der Verbrauch dieser Rohstoffe zur Verlängerung der Lebensdauer durch ein widerstandsfähiges Design steht.

Die Wartungsfreundlichkeit ist ein bedeutsamer Aspekt für die Langlebigkeit und damit implizit für die Nachhaltigkeit eines Smartphones. Durch die Reparierbarkeit einzelner Module lässt sich der Neukauf eines kompletten Gerätes vermeiden und in der Konsequenz die Lebensdauer erhöhen. Ebenso relevant für die Nachhaltigkeit ist gleichwohl die Zuverlässigkeit und Robustheit des Smartphones, denn nur infolge von Defekten und Beschädigungen am Gerät werden Reparaturen notwendig. Das Fairphone setzt die theoretischen Vorzüge des modularen Aufbaus komplett um und defekte Module sind einfach durch den Anwender austauschbar. Dazu muss allerdings auch zukünftig gewährleistet werden, dass das Fairphone 2 mit Ersatzteilen versorgt werden kann. Der Support für das Fairphone 1 wurde nach bereits 4 Jahren am Markt unter anderem aufgrund nicht mehr verfügbarer Bauteile eingestellt. Diese Startschwierigkeiten des Unternehmens Fairphone scheinen jedoch überwunden zu sein, was dadurch belegt wird, dass keine Informationen über Probleme mit Ersatzteil-Lieferungen für das Fairphone 2 bekannt sind. Das Apple iPhone ist, typisch für ein integriertes Smartphone, kompliziert zu reparieren, da sich der Austausch der Komponenten diffizil gestaltet. Um ein möglichst wartungsfreundliches Smartphone zu designen, soll dies aus möglichst vielen austauschbaren Modulen bestehen. Außerdem sollte die Wartung des Geräts idealerweise vollständig ohne Werkzeug und technische Kompetenzen ausführbar sein.

Das Fairphone 2 konnte zwar den Nachhaltigkeitsvergleich innerhalb der Kategorie *Aufrüstbarkeit* zu seinen Gunsten entscheiden, realisiert aber insgesamt nur einen Teil der möglichen Vorteile eines modularen Designs. Es besteht einerseits Verbesserungspotential hinsichtlich der angebotenen Module zur Leistungssteigerung. Lediglich ein verbessertes Kamera-Modul wurde ca. zwei Jahre nach Veröffentlichung des Fairphones zur Verfügung gestellt. Aufrüstungsmöglichkeiten sind auch für die restlichen Module wünschenswert. Damit das Fairphone 2 langfristig hardwaretechnisch mit den jeweils aktuellen Geräten Schritt halten kann, sollte zumindest für die Kerneinheit, die unter anderem CPU und Arbeitsspeicher enthält, ein Austauschmodul für Upgrades entwickelt werden. Bei dem Fairphone ist es ebenso nicht möglich, das Gerät um zusätzliche Funktionalitäten durch alternative, eventuell individuelle Module zu erweitern. Um ständige technische Aktualität und dadurch ein langlebiges Smartphone sicherstellen zu können, muss Fairphone daher künftig eine größere Modulvielfalt anbieten. Die Etablierung eines umfangreicheren Modulmarkts, der auch von anderen Herstellern versorgt wird, sollte angestrebt werden. Eine Möglichkeit zur Erklärung der raren Aufrüstungs- und Erweiterungsmöglichkeiten der Fairphones sind die vergleichsweise geringen finanziellen Mittel für Forschung und Entwicklung. Viele andere integriert aufgebaute Geräte ermöglichen zumindest die Erweiterung der Speicherkapazität durch die Nutzung von externen Speicherkarten. Das Apple iPhone 6s lässt sich hingegen offiziell nicht aufrüsten und ist dadurch ein Beispiel für ein besonders stark integriertes Smartphone. Wie bereits in der Betrachtung der Unternehmensphilosophie betrachtet, verfolgt Apple die Strategie ein perfektes Smartphone auf den Markt zu bringen, über welches sie die vollständige Kontrolle besitzen. Man kann schlussfolgern, dass mithilfe dieses Konzept unter anderem eine so hohe Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit erreicht werden soll, dass Reparaturen und Erweiterung nicht erforderlich sind.

Das hochwertige und optisch ansprechende Erscheinungsbild eines Smartphones ist ein Bewertungskriterium der Nachhaltigkeitskategorie Produktbindung, bei dem das iPhone 6s dem Fairphone 2 im Vergleich voraus ist. Monolithische Smartphones wie das iPhone können dünner, leichter und somit handlicher gestaltet werden, da die Komponenten des Geräts auf engstem Raum miteinander integriert werden können. Modulare Smartphones hingegen benötigen mehr Platz, weil die Module voneinander getrennt sind. Darüber hinaus werden die Bauteile beim Fairphone lediglich mit Schrauben oder Klick-Mechanismen befestigt und sind nicht verklebt oder verschweißt, was beim Apple zusätzliche Platzeinsparungen ermöglicht. Überdies verwendet das Fairphone eine Schutzhülle zur Steigerung der Robustheit, was die Dicke und das Gewicht des Geräts weiter erhöht.

Beim Kriterium des Usability haben integrierte Systeme in der Theorie ebenfalls Vorteile. Apple setzt diese Pluspunkte durch die Abstimmung und die vollständige Kontrolle von Hardware, Software und Design sehr gut um. Dies resultiert in einer einfachen Inbetriebnahme, Konfiguration und Handhabung des Geräts. Die performante Leistung des iPhone 6s kann ebenfalls dadurch erklärt werden, dass die eigens entwickelte Software die Hardware-Komponenten seiner Geräte voll ausnutzen kann. Das Fairphone unterstützt mehrere Betriebssystem-Varianten, daher kann die Hardware nicht perfekt auf die Software abgestimmt werden wie etwa beim iPhone. Zudem sind modulare Smartphones prinzipiell fehleranfälliger, da die diversen Module miteinander gekoppelt werden müssen und aus diesem Grund mehr Schnittstellen aufweisen, bei denen mögliche Probleme auftreten können.

Dennoch ist festzuhalten, dass das Fairphone in Anbetracht seines modularen Aufbaus gute Ergebnisse in den Kriterien Inbetriebnahme, Handhabung und Fehleranfälligkeit erreicht. Die Konfiguration und Nutzung sind unter anderem deshalb intuitiv, da nur wenige Modulvarianten angeboten werden. Neben den oben angeführten Nachteilen die Aufrüstbarkeit betreffend, bringt dies den Vorzug mit sich, dass der Nutzer wenig Aufwand bei der Auswahl und dem Zusammenbau des Fairphones hat. Das Fairphone kann daher in diesem Zusammenhang als massentauglich bezeichnet werden. Mit steigendem Grad der Modularität nimmt allerdings auch das Risiko zu, dass modulare Smartphones komplizierter handhabbar sind. Bei einem großen Angebot von Modulen ist der Anwender schnell mit der korrekten Konfiguration der Komponenten überfordert. Weil die Nutzungsdauer der einzelnen Module aufgrund des schnellen technologischen Fortschritts limitiert ist, hat der Nutzer überdies einen höheren Aufwand infolge des notwendigen Modulaustauschs. Bei integriert aufgebauten Smartphones kann der Anwender bequem zwischen vorkonfigurierten und optimierten Geräte wählen.

Eine gesteigerte emotionale Bindung an das Smartphone ist außerdem durch die Individualisierung des Geräts realisierbar. Modulare Smartphones bieten grundsätzlich die Möglichkeit, das Gerät mithilfe von sichtbaren Modulen individuell optisch anpassen zu lassen. Beim Fairphone besteht hierbei Verbesserungspotential, durch unterschiedliche Modul- bzw. Rahmenvarianten mehr Personalisierungsoptionen zu schaffen.

Durch die individuelle Zusammenstellung der Module kann die Gestalt des Smartphones außerdem physisch verändert werden. Die Variabilität des Erscheinungsbildes ist beim Fairphone 2 lediglich durch die Möglichkeit des Wechsels des Slim Cases gegeben.

Einen besonders hohen Stellenwert bei der Betrachtung der Nachhaltigkeit besitzen die fünf untersuchten Bewertungskriterien, die in Zusammenhang mit der langlebigen Designstrategie stehen. Eine Verlängerung der Lebensdauer hat einen maßgeblichen Effekt auf die Nachhaltigkeit des Geräts. Dies ist der Fall, da die Herstellungsphase über den größten Einfluss auf die Umweltwirkung des Smartphones verfügt. Die Ressourceneinsparungen in allen Phasen des Lebenszyklus aufgrund einer längeren Nutzungsphase wirken sich dadurch insgesamt stärker positiv aus als beispielsweise eine Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzung. Sowohl das Fairphone im Vergleich der Smartphone-Vertreter als das modulare Konzept im Allgemeinen erreichen in Bezug auf die Langlebigkeit bessere Ergebnisse als integriert gestaltete Smartphones.

Modulare Smartphones sind in Bezug auf recyclebares und wiederverwendbares Design grundsätzlich ebenfalls ein wenig vorteilhafter. Durch den modularen Aufbau sind die Geräte leicht in ihre Module und insgesamt einfacher in ihre Einzelteile zerlegbar. Dies ist ein Pluspunkt für das Recycling, da die Recycling-Prozesse umso effizienter funktionieren, desto aufgespaltener die Materialien sind. Allerdings ist anzumerken, dass trotz der Demontage in die einzelnen Komponenten noch eine Vielzahl von verschiedenen Rohstoffen in einem Modul existiert, die getrennt werden müssen.

Die beiden untersuchten Smartphones nutzen entweder ihre eigene Recycling-Methode wie den Apple-Roboter Daisy oder forschen nach optimalen Recycling-Konzepten für ihr Produkt wie Fairphone. Global betrachtet, ist zu überlegen, ob tatsächlich ein individueller Recycling-Prozess für jede Smartphone-Marke oder gar für jedes Smartphone-Modell, anstelle eines generischen Recyclings für alle

Smartphones vorzuziehen ist. Durch eine universelle Recycling-Maschine bzw. Recycling-Methode können Ressourcen für Forschung, Entwicklung und Bau individueller Roboter sowie Aufwand bei der Sortierung der Geräte eingespart werden.

Die Bewertungskategorie des energieeffizienten Designs konnte das iPhone für sich entscheiden, da der Energieverbrauch in der Nutzung geringer ist als beim Fairphone. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Hardware integrierter Smartphones aufeinander abgestimmt ist. Im Beispiel des Apple iPhones ist zusätzlich die Hardware und Software miteinander gekoppelt, was durch eine effizientere Hardware-Nutzung ebenso zu Energieeinsparungen führen kann.

Daneben gibt es für das Fairphone 2 als Vertreter der modular designten Smartphones auch Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Substituierbarkeit. Dadurch, dass das Fairphone keine neuen Komponenten aufnehmen kann, kann der Vorteil modularer Smartphones, durch individuelle Module weitere Funktionen zu ermöglichen, nicht realisiert werden. Module des Smartphones, die zusätzliche Geräte ersetzen, könnten beispielsweise ein Kompass, eine Waage, ein Blutdruckmesser oder ein Barcode-Scanner sein.

Im Vergleich nicht betrachtet wurden eventuell höhere Material- und Energieeinsätze in der Herstellung durch eine kompliziertere Produktion bei modularen Smartphones. Dieser Aspekt ist für das Fairphone 2 unerheblich, kann aber für modulare Smartphone mit einer anderen Modularisierungsart bzw. einem höheren Grad der Modularität relevant sein. Beispielsweise könnten durch die Kopplung der Module mehr Kontakte benötigt werden, was wiederum auch den Verbrauch größerer Mengen an Edelmetallen wie Gold oder Silber nach sich zieht. Neben erhöhtem Ressourcenverbrauch beim Mineralienabbau, ist durch den komplexeren Aufbau der Smartphones auch ein gesteigerter Aufwand und Energieeinsatz während der Produktion anzunehmen. Um die Herausforderungen des Aufbaus modularer Smartphones auszugleichen und sie möglichst robust zu gestalten kann ebenso mit zusätzlichem Materialeinsatz zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Auswertung des Gesamtergebnisses ist zu beachten, dass zwei Smartphones bzw. Hersteller mit grundsätzlich unterschiedlichen Grundkonzepten und Ausgangssituationen miteinander verglichen wurden. Apple ist einer der umsatzstärksten Konzerne der Welt²⁵¹ und entwickelt seit über 40 Jahren IT-Produkte. Das Fairphone 2 hingegen ist erst das zweite Smartphone des Start-up-Unternehmens Fairphone, das lediglich knapp über 50 Mitarbeiter beschäftigt. Neben dem Plus an Erfahrung steht Apple ein wesentlich größeres Budget in allen Bereichen der Produktentwicklung zur Verfügung. Dies ist eine Erklärung dafür, dass sich das Apple iPhone im Nachhaltigkeitsvergleich fast ebenbürtig zum Fairphone 2 herausstellt. Das ist insofern überraschend, da der Hersteller Fairphone ein nachhaltiges Design seiner Smartphones als seine oberste Priorität angibt und die Geräte dementsprechend konzipiert.

251 Sortiert nach Einnahmen war Apple Stand 2016 das neungrößte Unternehmen der Welt.

[Glo18]

Der Hauptvorteil des Fairphone 2 im Nachhaltigkeitsvergleich ist die Wartungsfreundlichkeit. Durch die einfach gestalteten Reparaturmöglichkeiten sind die einzelnen Module bei Defekten komfortabel austauschbar, was die potenzielle Lebensdauer des Smartphones deutlich erhöht. Entgegen der erwarteten Herausforderungen für modular aufgebaute Smartphones schneidet das Fairphone gut in den Bereichen der Zuverlässigkeit und Robustheit sowie der Usability ab. Speziell in den Kategorien Widerstandsfähigkeit, intuitive Inbetriebnahme und Handhabung sowie Fehleranfälligkeit bewegt sich das Fairphone auf dem Niveau des iPhone 6s. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass Fairphone auch Bestrebungen hinsichtlich diverser Nachhaltigkeitsaspekte verfolgt, die nicht Bestandteil dieses Vergleichs sind. Beispielhaft ist die Nutzung konfliktfreier Rohstoffe, das Engagement für bessere Arbeitsbedingungen und das Rückgabeprogramm für gebrauchte Mobiltelefone zu nennen.

Verbesserungspotential besteht beim Fairphone besonders bei der Thematik der Erweiterbarkeit, für die modulare Smartphones infolge ihres Aufbaus prädestiniert sind. Beim Fairphone 2 besteht lediglich für das Kamera-Modul die Möglichkeit zur Aufrüstung. Um im schnelllebigen Smartphone-Markt jedoch ein langlebiges Produkt designen zu können, sollte der Anwender die Option haben, sein Smartphone vollständig aufzurüsten. Weitere Vorteile, die durch eine größere Modulvielfalt realisiert werden können, sind eine individuellere Gestaltung und höhere Variabilität des Geräts. Des Weiteren kann das Smartphone als Substitut für weitere Geräte dienen, wenn aufgrund neuer Module zusätzliche Funktionen ergänzt werden.

Das Fairphone 2, welches der generischen Modularisierungsart zugeordnet wird, weist nur einen geringen Grad an Modularität auf. Die Anzahl der Module ist nicht veränderbar und somit können auch keine kundenindividuellen Komponenten hinzugefügt werden. Die oben angesprochenen Optimierungsmöglichkeiten des Fairphones können theoretisch durch Smartphones mit einem höheren Modularisierungsgrad realisiert werden. Daher haben modulare Konzepte prinzipiell ein höheres Nachhaltigkeitspotenzial als integriert aufgebaute Smartphones. Eine Verlängerung der Lebensdauer der Smartphones kann beispielsweise durch eine große Auswahl an Modulen zur Aufrüstung und eine noch leichtere Reparatur komplett ohne Werkzeug ermöglicht werden. Zudem kann durch eine persönliche Gestaltung und individuelle Auswahl der Module die Bindung des Nutzers an das Smartphone erhöht werden. Sehr einfache und damit günstigere Smartphone-Varianten sind mithilfe des modularen Designs ebenfalls denkbar. Ansätze zu allen genannten Thematiken waren bereits im ursprünglichen Konzept des Project Ara²⁵² integriert, das jedoch ohne Veröffentlichung eines modularen Smartphones eingestellt wurde.

Die Vorzüge des integrierten Konzepts sind besonders in der Abstimmung der Hardware und Software begründet. Die monolithisch aufgebauten Geräte schneiden daher insbesondere in der Bewertungskategorie Usability, speziell bei der Leistungsfähigkeit und dem optischen Erscheinungsbild besser ab. Außerdem sind integrierte Produkte aufgrund ihres Aufbaus theoretisch widerstandsfähiger, weniger fehleranfälliger und energieeffizienter. Das Apple iPhone setzt diese Punkte sehr gut um und besitzt dank der engen Kopplung von Hardware und Software ein Alleinstellungsmerkmal im Bereich der integrierten Smartphones.

252 Die zugrundeliegenden Ursachen für dem Abbruch des Project Ara und die Herausforderungen des modularen Konzepts werden im nachfolgenden Kapitel 5 beschrieben.

Aus den bisherigen Ausführungen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass komplett nachhaltige Smartphones nach aktuellem Stand nicht realisierbar sind. Nicht alle erarbeiteten Nachhaltigkeitskriterien sind realistisch in einem Gerät umsetzbar. Die unterschiedlichen Designansätze eines Smartphones resultieren in verschiedenen Vorteilen aber auch Nachteilen betreffend der Nachhaltigkeit. Exemplarisch sind modulare Smartphones infolge ihres Aufbaus einfacher zu warten und aufzurüsten, allerdings nach aktuellem technischem Stand auch weniger platzsparend und performant als integrierte Smartphones. Weiterhin schließen sich auch einige Nachhaltigkeitsaspekte gegenseitig aus. Der Versand des Fairphone 2 erfolgt beispielsweise ohne Zubehör wie Kopfhörer oder Ladegeräte. Dies ist einerseits umweltschonender und nachhaltiger aufgrund des geringeren Ressourcenverbrauchs, geht andererseits jedoch zulasten der Usability. Aus diesem Grund muss sich der Smartphone-Hersteller bei solchen Thematiken auf seine Priorität festlegen. Darüber hinaus ist ein komplett nachhaltiges Smartphone momentan nicht umsetzbar, da sich die Vermeidung des Einsatzes von Konfliktrohstoffen und die Kontrolle der Arbeitsbedingungen in den Entwicklungs- und Schwellenländern nur schwer realisieren lassen. Die Erstellung einer vollständig transparenten Lieferkette zur Überprüfung und Einhaltung dieser Herausforderungen ist aufgrund der Komplexität der Wertschöpfungskette aktuell noch nicht verwirklicht worden.

Bei der Betrachtung der Nachhaltigkeit von Smartphones muss außerdem erwähnt werden, dass die Nachhaltigkeit stets abhängig vom Nutzer ist. Nur wenn der Anwender ein entsprechendes Nachhaltigkeitsbewusstsein zeigt und beispielsweise sein Smartphone über die gesamte Lebensdauer nutzt oder eine Weiterverwendung initiiert, sind langlebig konzipierte Geräte tatsächlich zielführend. Die Sensibilität für Nachhaltigkeit beim Nutzer spiegelt sich überdies in einem schonenden Umgang, etwa durch die Nutzung von Schutzhüllen oder -folien, und der korrekten Entsorgung des Smartphones wider.

5 Herausforderungen für modulare Smartphones

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Nachhaltigkeitsvergleichs kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass modulare Smartphones, insbesondere Konzepte mit höherem Modularisierungsgrad, das Potenzial besitzen, eine hohe Nachhaltigkeit zu erreichen. Die Vorstellung der bisherigen Smartphone-Konzepte und -Projekte zeigte jedoch, dass kein hochgradig modulares Produkt bis zur Marktreife entwickelt werden konnte. Von Smartphones, die die generische Modularisierungsart umsetzen, sind ebenfalls nur wenige Produkte wie das Fairphone 2 erhältlich, die zudem nur einen geringeren Marktanteil besitzen.

Aufgrund dieser Tatsachen wird nachfolgend thematisiert, welche Schwierigkeiten für modular konzipierte Smartphones bestehen und aus welchen Gründen die Projekte ohne Veröffentlichungen eingestellt wurden. Es ist anzumerken, dass die offiziellen Ursachen für die Projektstopps nicht vollständig öffentlich bekannt sind und diesbezüglich innerhalb dieses Kapitels Rückschlüsse gezogen und Hypothesen formuliert werden. Es wird der Frage nachgegangen, ob Modularisierung, insbesondere mit höherem Modularisierungsgrad, am realen Smartphone-Markt funktioniert. Bei der Darlegung der Herausforderungen wird der Fokus auf die technische Umsetzbarkeit und den ökonomischen Aspekt bei der Herstellung von modularen Smartphones gelegt. Hierzu wird die jeweilige Problematik beschrieben und eingeordnet, der Bezug zur Nachhaltigkeit analysiert und mitunter mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Im Zuge dessen wird beschrieben, aus welchen Gründen integrierte Smartphones am Markt erfolgreicher sind. Zusätzlich werden Folgerungen aus modularen IT-Konzepten gezogen und die Auswirkungen für modulare Smartphones erläutert.

Die technische Umsetzbarkeit ist eines der Hauptprobleme von modular aufgebauten Smartphones. Das Beispiel Fairphone demonstriert, dass Smartphones mit generischer Modularisierungsart realisierbar sind und sich am Smartphone-Markt etablieren können. Jedoch sind Smartphones mit höherem Modularisierungsgrad wie bei Phonebloks oder Project Ara nach aktuellem technischem Stand nur sehr schwer so zu verwirklichen, dass sie technisch gleichwertig zu etablierten Smartphones sind. Beispielfürhaft dafür vertritt Dave Hakkens, Entwickler des Phonebloks-Konzepts, die Ansicht, dass „Phonebloks Wirklichkeit werden zu lassen, mit den heutigen Technologien wahrscheinlich unmöglich ist“²⁵³.

Die Ursache hierfür ist in der Konstruktion moderner Smartphones zu finden. Aus Gründen der Platzersparnis sind die überwiegend integrierten Geräte so aufgebaut, dass sie möglichst viel ineinander integrierte Elektronik auf geringem Raum enthalten. Die Vergrößerung der Abstände zwischen den Komponenten und die Einbeziehung von Schnittstellen zwischen den Bauteilen sind mit einer Reduzierung der Geschwindigkeit der Datenverarbeitung verbunden. Um die Leistungsfähigkeit des Smartphones zu optimieren, besteht die Option, möglichst viele Komponenten auf einem einzigen Chip zusammenzufassen. Ein Beispiel dafür ist der A9-Prozessor des iPhone 6s, der wichtige Bauteile wie CPU, Grafikchip und Arbeitsspeicher vereint²⁵⁴.

253 Original-Aussage: „Making Phonebloks a reality is probably impossible with current technologies.“
[Bro13]

254 [Dic18]

Bei der Gestaltung eines Smartphones mit voneinander separierten Modulen müsste diese Integration der Komponenten aufgetrennt werden. Bei der Auslagerung der Module kann es zu einer Vielzahl technischer Schwierigkeiten kommen. Die direkte Interaktion der Komponenten muss beispielsweise durch eine Kommunikation über Schnittstellen, die die Module miteinander verbinden, abgelöst werden. Darüber hinaus muss die Modulverträglichkeit untereinander sichergestellt werden. Exemplarisch gilt es die Problematik zu lösen, dass ein einfacher und in der Relation langsamer Prozessor in Verbindung mit einem Grafik-Modul der höchsten Qualitätsstufe funktionieren muss. Es wird ersichtlich, dass die Konzeption eines modularen Geräts durch die Aufteilung in Module mehr Aufwand und Komplexität mit sich bringt, auch wenn die Modularisierung nach „außen“ durch das Blackbox-Prinzip weniger kompliziert wirkt. Im Folgenden werden einige Herausforderungen beschrieben, die in der technischen Realisierung modulare Smartphones begründet sind und miteinander in Wechselwirkung stehen.

Eine Problematik modular designter Smartphones ist die Fehleranfälligkeit. Bedingt durch die steigende Komplexität des Aufbaus, beispielsweise der Vielzahl an Schnittstellen zwischen den Modulen, steigt das Risiko von Systemfehlern und Abstürzen. Darüber hinaus könnten Inkompatibilitäten zwischen den Modulen zu Problemen führen. Insbesondere darin, dass Module von verschiedenen Herstellern bereitgestellt werden, liegt eine potenzielle Gefahrenquelle. Die Herausforderung ist es, die Fehleranfälligkeit auch bei höherem Modularisierungsgrad so gering wie etwa beim Fairphone zu halten. Anderenfalls birgt die modulare Bauweise das Risiko, dass kurzlebigere Produkte und mehr Elektronikschrott durch mehr defekte Module oder ganzer Geräte erzeugt werden, was sich negativ auf die Nachhaltigkeit auswirken würde. Insgesamt ist beim Austausch einzelner defekter Modulen dennoch mit weniger Müll zu rechnen, also wenn das gesamte Smartphone entsorgt werden muss, da es nicht selbstständig demontierbar ist.

Die Aufteilung des Smartphones in Module führt zudem zu Schwierigkeiten bezüglich der Leistungsfähigkeit. Die Kommunikation der Module über Schnittstellen hinweg anstatt der direkten Interaktion hat eine Reduzierung der Verarbeitungsgeschwindigkeit zur Folge. Zum Beispiel dauert die Übertragung von Informationen von einem Grafik-Modul zum Prozessor-Modul länger, als wenn die GPU wie bei einer APU²⁵⁵ direkt in den CPU integriert ist. Darüber hinaus können die Module nicht optimal aufeinander abgestimmt werden, wie dies bei integrierten Smartphones der Fall ist, da sie von unterschiedlichen Herstellern stammen können. Die Kombinationsmöglichkeiten verschiedenartiger Module sind vielfältig und im Gegensatz zu integriert aufgebauten Geräten nicht vorab determiniert. Die Anpassung der Software und des Betriebssystems auf die Hardware-Komponenten wie etwa beim Apple iPhone ist ebenso nicht möglich. Die fehlenden Abstimmungsmöglichkeiten der Hardware und Software aufeinander kann zudem Herausforderungen hinsichtlich der Energieeffizienz von modularen Smartphones nach sich ziehen. Die Software muss eine Vielzahl von Möglichkeiten bezüglich der Zusammenstellungen der Hardware-Komponenten unterstützen und kann nicht für vordefinierte Bauteile optimiert werden, wie es bei integrierten Geräten möglich ist.

255 Accelerated Processing Unit: Hauptprozessor mit integrierten Koprozessoren wie etwa einem Grafikprozessor

Die Sicherstellung der Widerstandsfähigkeit des Smartphones würde durch die Modulbauweise ebenso komplizierter werden. Speziell Konzepte, die dem Project Ara-Smartphone ähneln und kundenindividuelle, flexible Module beinhalten, stehen vor der Herausforderung ihre Geräte trotz dessen robust und zuverlässig zu gestalten. Es müssen Mechanismen entwickelt werden, die die einzelnen Module zusammenhalten, sodass ein Zerfall in Einzelteile, beispielsweise bei einem Sturz, vermieden wird. Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen sind Smartphones, die nach dem Baukasten-Prinzip aufgebaut sind, außerdem anfälliger dafür, dass mikroskopische Fremdkörper wie Sand- oder Staubkörner in die Zwischenräume zwischen den Modulen gelangen und zu Problemen führen. Des Weiteren existiert beim Austausch der Module durch den Nutzer das Risiko, dass einzelne filigrane Bauteile oder das gesamte Smartphone durch nicht fachgerechte Wartung beschädigt werden. Aufgrund der Herausforderung der Widerstandsfähigkeit modularer Smartphones besteht daher die Gefahr, dass das Ziel einer langen Lebensdauer nicht erreicht wird. Ein möglicher Lösungsansatz zur Steigerung der Robustheit ist die Nutzung einer integrierten Hülle zum Schutz der Komponenten, wie sie auch beim Fairphone 2 verwendet wird. Dies würde jedoch in einem sperrigeren Erscheinungsbild resultieren. Modular aufgebaute Smartphones sind allerdings bereits ohne Schutzhülle schwerer und dicker als integrierte Geräte. Bereits in der Marktanalyse der modularen IT-Produkte wurde deutlich, dass der Trend zu kleineren Geräten auf Kosten der Modularität geht, da integrierte Geräte vom Hersteller direkt besser und platzsparender abgestimmt werden können. Paul Eremenko, der ehemalige Entwicklungschef des Project Ara ist ebenso der Auffassung, dass Größe und Gewicht des Smartphones durch einen modularen Aufbau zunehmen. Allerdings schätzt er, dass Modularität einen Unterschied von weniger als 25 % in Größe, Gewicht und auch Leistung der Komponenten verursacht.²⁵⁶ Durch die Auftrennung in Module und infolge der wartungsfreundlichen Gestaltung zum einfachen Modulwechsel ist mehr Platz für die Hardware notwendig. Jeder zusätzliche Raum, der für modulare Verbindungen genutzt wird, bedeutet in der Folge weniger Platz, der beispielsweise durch den Akku eingenommen oder gänzlich eingespart werden kann. Darüber hinaus ist neben erhöhten Platzbedürfnissen ein höherer Materialaufwand erforderlich, wenn jedes Modul über einen eigenen Rahmen verfügt, wie beispielsweise beim Grundkonzept des Project Ara.

Die Übersicht der technischen Herausforderungen und ihrer Konsequenzen zeigen, dass die Realisierung eines Smartphones, welches hinsichtlich der Modularität das Fairphone übersteigt, außerordentlich schwierig und komplex ist. Bei der technischen Umsetzung existieren Schwierigkeiten, die sich über fast alle betrachteten Nachhaltigkeitskategorien vom Smartphone erstrecken. Herausforderungen bei der Fehleranfälligkeit, der Leistungsfähigkeit, der Widerstandsfähigkeit sowie dem Erscheinungsbild des Geräts, die sich teilweise gegenseitig beeinflussen, müssen bewältigt werden. Dies resultiert in einem weiteren Problem für modulare Smartphones. Die Verwirklichung eines modular gestalteten Telefons bringt einen enormen Aufwand und damit hohe Forschungskosten mit sich, um die aufgezählten technischen Schwierigkeiten überwinden zu können. Dies wirkt sich negativ auf die ökologische Nachhaltigkeit modularer Smartphones aus.

256 [Tal14]

Die zukunftsfähige Konzeption der Schnittstellen ist eine weitere Herausforderung bei der Realisierung modularer Smartphones. Eine wichtige Bedingung dafür, dass Smartphones eine lange Lebensdauer besitzen und folglich nachhaltig sein können, ist, dass sie sich stets auf dem aktuellen Stand der Technik befinden. Die Module können hierzu idealerweise ausgetauscht und erweitert werden, die Schnittstellen und die eventuelle Basis des Smartphones bleiben jedoch konstant. Um auf den technologischen Fortschritt der einzelnen Module vorbereitet zu sein, müssen zukünftige Entwicklungen vorausgedacht werden. Dies kann unter anderem durch die Nutzung von Protokollen für die Kommunikation zwischen den Modulen geschehen, die eine hohe Datengeschwindigkeit erlauben. Ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung eines stabilen Schnittstellendesigns ist der PC. Dank der Konzeption der Schnittstellen kann ein PC über viele Jahre hinweg mit aktuellen Modulen nach- und aufgerüstet werden. Allerdings existieren auch beim PC Abhängigkeiten zwischen den Modulen, die optimalerweise vermieden werden sollen. Zum Beispiel sind nicht alle Grafikkarten und Prozessoren mit einem Mainboard kompatibel. Darüber hinaus ist die Schwierigkeit zu bewältigen, die Schnittstellen sowohl rückwärts- als auch vorwärtskompatibel zu gestalten. Es sollte sichergestellt werden, dass die Komponenten für alte Smartphones auch mit neuen Geräten verträglich sind und dass die Module dafür weiterhin preiswert hergestellt werden können. Andersherum sind die Schnittstellen derartig zu konzipieren, dass neue Entwicklungen auch noch in alte Systeme integriert werden können.

Eine Aufgabe zur Sicherstellung eines langlebigen Smartphones ist überdies die Etablierung eines Modulmarkts zur Gewährleistung der Verfügbarkeit der Module. Die wesentlichen Nachhaltigkeitsvorteile von modular aufgebauten Smartphones – Wartungsfreundlichkeit, Aufrüstbarkeit und Individualisierbarkeit – sind nur umsetzbar, wenn die Bereitstellung der Module garantiert werden kann. Für das Fairphone 1 konnten nach ca. vier Jahren am Markt keine Bauteile zur Reparatur mehr zur Verfügung gestellt werden, weswegen der Support für das Gerät eingestellt und das Ziel der Langlebigkeit verfehlt wurde. Beim Nachfolgemodell Fairphone 2 sind aktuell keine Schwierigkeiten bei Angebot und Lieferung der Komponenten zum Austausch defekter Module bekannt, allerdings werden nur wenige Erweiterungsmöglichkeiten angeboten. Um eine Aufrüstbarkeit der Module und ein vielfältiges Angebot zu gewährleisten, ist die Schaffung eines funktionierenden Modulmarkts zielführend. Ein Hardware-Markt nach dem Vorbild eines App-Stores wäre ein vorstellbares Ziel, um Verbrauchern sowohl bewährte Komponenten von bekannten Herstellern als auch günstigere und individuellere Module zu offerieren.

Eine besondere Herausforderung bei der Etablierung eines Modulmarkts ist die Zusammenarbeit mit den Herstellern der Module. Eine Voraussetzung dafür, dass weitere Anbieter Komponenten für das Smartphone liefern können, ist die Veröffentlichung einer Art von Module Development Kit, damit der Modulproduzent sein Produkt an die Schnittstellen des Geräts anpassen kann. Es muss hierbei sichergestellt werden, dass Komponenten unterschiedlicher Hersteller miteinander kompatibel sind. Eine weitere Problematik bei der Kooperation mit anderen Smartphone-Herstellern ist zudem, die Unternehmen dazu zu motivieren, einzelne Module zu vermarkten, anstatt die volle Kontrolle über das Smartphone zu besitzen. Beispielsweise würden Smartphone-Hersteller höchstwahrscheinlich die Option eines eigenen Smartphones mit einer guten Kamera im Angebot vorziehen, als ein Kamera-Modul innerhalb eines Fremdsystems zu verkaufen. Der Anbieter dieses modularen Fremdsystems kann für

den Smartphone- und Modul-Hersteller möglicherweise ein Konkurrent am Markt sein, was seine Motivation zur Beteiligung am Modulmarkt sinken lässt. Kamerahersteller ohne Smartphone-Linie könnten eventuell davon abgeschreckt werden, dass das modulare Smartphone mit ihrem Kamera-Modul als Substitut ihres Produkts angesehen wird. Dadurch wäre es möglich, dass sich die Absatzzahlen im Kerngeschäft des Kameraherstellers verringern. Darüber hinaus kann es im Fehlerfall zu Problemen zwischen Modul-Hersteller und Smartphone-Produzent kommen. Es muss geklärt werden, wer für die Wartung bzw. die Gewährleistung der Garantie verantwortlich ist, wenn beispielsweise Kamerafehler auftreten.

Neben den beschriebenen Schwierigkeiten bei der technischen Realisierung und des Aufbaus eines Modulmarkts bringt die Herstellung modularer Smartphones ebenso ökonomische Herausforderungen für die Anbieter mit sich. Die Planung, Produktion und Logistik gestaltet sich für hochmodulare Smartphones komplexer als bei integrierten Geräten. Wenngleich integrierte Smartphones ebenfalls aus Komponenten von einer Vielzahl unterschiedlicher Zulieferern bestehen, ist aufgrund der Unabhängigkeit von Modul-Herstellern dennoch eine bessere Abstimmung der Herstellungsprozesse und der Lagerung möglich. Bei integrierten Smartphones besitzt der Hersteller die volle Kontrolle über sein Produkt, während ein Anbieter modularer Smartphones bei der Planung auf die Produzenten der Module angewiesen ist. Die komplexe Lieferkette und die variantenreiche Gestaltung modular aufgebauter Smartphones erschwert die Umsetzung einer bedarfssynchronen Just-In-Time-Fertigung. Die Vorhersage des Bedarfs für eine große Menge verschiedener Module gestaltet sich demnach schwieriger als bei einem einheitlich vorkonfigurierten Produkt. Aufgrund baugleicher Serien und einfacherer Montageprozesse bei integrierten Smartphones sind zudem mehr Automatisierungen, beispielsweise im Rahmen einer Fließbandfertigung, in der Produktion möglich. Durch den individuellen Zusammenbau der Module entstehen zusätzliche Kosten und Aufwendungen. Überdies können höhere Logistikkosten im Zusammenhang mit modularen Geräten entstehen, da viele verschiedene Module und gegebenenfalls auch Smartphone-Varianten gelagert bzw. geliefert werden müssen. Module für ältere Geräte müssen ebenfalls vorgehalten werden und weiterhin lieferbar sein. Dieses Problem trat beispielsweise bei der Produktion des Fairphone 1 auf. Die Ersatzteile wurden nur noch in geringer Anzahl nachgefragt, weshalb die Produktion der Bauteile nach Herstellerangaben zu teuer und der Support eingestellt wurde. Ein vorstellbarer Lösungsansatz für die Herausforderung bei der Planung und Produktion modularer Smartphones ist die kundenindividuelle Massenproduktion bzw. Mass Customization. Die Intention von Mass Customization ist es, sowohl die Vorteile der Massenproduktion als auch die Vorteile der Individualfertigung zu nutzen. Die Ansätze der kundenindividuellen Massenproduktion haben das Ziel, überschüssige Produktionen und große Lagerbestände zu vermeiden. Der Anwender kann das Smartphone individuell aus standardisierten Hardware-Komponenten zusammenstellen, die in der Massenproduktion hergestellt werden²⁵⁷. Die Produktion erfolgt somit erst auf Kundenanfrage und nur vorgefertigte Module müssen vorrätig sein.

257 Dieses Konzept wird Hard Customization bezeichnet.

Die aufwändigere und kostenintensivere Herstellung und Logistik bezüglich modularer Smartphones wirkt sich ebenfalls auf den Kaufpreis für den Kunden aus. Der komplexere Aufbau sowie die Kosten für langjährige Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Realisierung modularer Smartphones tragen ebenso dazu bei, dass die Geräte teurer sind als integrierte Produkte mit vergleichbarer Leistungsfähigkeit. Des Weiteren können Komponenten für integrierte Smartphones aufgrund von Skaleneffekten im Preis gesenkt werden, während die Kosten infolge der unsicheren Nachfrage nach Komponenten modularer Smartphones vermutlich höher ausfallen. Ein weiterer Faktor, der zur Absatzsteigerung integrierter Smartphones beiträgt, ist die Intention der Hersteller, mithilfe jährlicher Nachfolgemodelle den Anwender zu einem häufigeren Neukauf der Geräte zu animieren. Durch den Ausschluss der Erweiterbarkeit und der eigenständigen Wartung setzen einige Hersteller eine Art der geplanten Obsoleszenz zur Steigerung des Umsatzes um. Modulare Smartphone-Hersteller, die die Reparatur- und Aufrüstungs-Fähigkeit ihrer Geräte gewährleisten, können diese Erlöse aufgrund der Langlebigkeit ihrer Produkte nicht realisieren. Stattdessen können allerdings zusätzliche Einnahmen durch den Verkauf von Ersatzteilen und Erweiterungsmodulen generiert werden. Die Darlegung der wirtschaftlichen Herausforderungen zeigt insgesamt, dass bei der Produktion von modularen Smartphones auf die Einhaltung der ökonomischen Nachhaltigkeit geachtet werden muss.

Die eingeschränkte Innovationsfähigkeit modularer Produkte im Allgemeinen ist eine zusätzliche Problematik, die dazu beiträgt, dass sich modulare Smartphones bislang nicht komplett am Markt durchsetzen konnten. Wie Fleming und Sorenson, die Daten des US-amerikanischen Patentamts aus einem Zeitraum von 200 Jahren auswerten, feststellen, kann der Trend zu hochgradiger Modularität die Innovationsfähigkeit eines Systems negativ beeinflussen. Während einerseits ein modulares Design die Produktentwicklung vorhersagbar machen kann und die Innovationsraten der einzelnen Module beschleunigt, kann andererseits ein Punkt erreicht werden, bei der die Modularisierung die Chancen für einen modulübergreifenden Durchbruch in der Produktentwicklung untergräbt. Gemäß der Untersuchungen an ihrem Modell übt das Abhängigkeitsverhältnis zwischen den Modulen den größten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit modulübergreifender und somit potenziell richtungsweisender Innovationen aus.²⁵⁸ Modulare Produkte können lediglich bis zu einem gewissen Grad weiterentwickelt werden, da eine bestimmte Basis und die Schnittstellen zwischen den Modulen festgelegt sind. Daher sind Innovationen des Produkts als Gesamtpaket nicht oder nur schwer möglich, obschon einzelne Module aufgerüstet werden können.

Wendet man die theoretischen Ausführungen auf das Praxisbeispiel Smartphones an, wird ersichtlich, dass die Herstellung aller Teile in einem Unternehmen bzw. die volle Kontrolle über die Hardware und Software der Geräte eine schnellere Innovation des Produkts sowie performantere Leistungen ermöglicht. Durch die Abstimmung der Hardware- und Softwarekomponenten untereinander können die Möglichkeiten der Geräte vollständig ausgenutzt werden und der Hersteller ist in der Lage, alle Parameter eigenständig einzustellen und auszurichten. Bei modular konzipierten Smartphones hingegen können Abhängigkeiten zwischen den Komponenten und die determinierte Gestaltung der Schnittstellen die Innovationsmöglichkeiten einschränken. Das Smartphone kann nur in einem vorgegebenen

Rahmen, der durch die Schnittstellenkonzeption bestimmt wird, weiterentwickelt werden. Zwar besteht die Möglichkeit Module aufzurüsten, indem beispielsweise ein leistungsfähigerer CPU eingebaut wird, jedoch sind Innovationen über das gesamte Gerät schwierig umzusetzen. Eine nachträgliche Zusammenlegung von CPU und Grafik-Modul ist zum Beispiel nicht möglich. Aus der Darlegung der Innovationsfähigkeit der unterschiedlichen Designansätze kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass ein Markt bestehend aus ausschließlich modularen Smartphones zu weniger Neuerungen und Weiterentwicklungen führen würde. Abhängig von der Leistungsfähigkeit der Geräte reguliert der Markt in der Regel selber, ob modulare oder integrierte Produkte erfolgreicher sind. Es ist anzunehmen, dass sich integrierte Smartphones durchsetzen, solange Neuerungen zur Befriedigung der Nutzeranforderungen notwendig sind, da durch diesen Designansatz Innovationen leichter umsetzbar sind.

Herausforderungen für modulare Smartphones ergeben sich überdies aus der Technikaffinität der Anwender. Für die geeignete Auswahl, Konfiguration sowie den Austausch von Modulen ist eine gewisse technische Expertise beim Nutzer erforderlich. Es birgt die Gefahr, dass der Kunde durch Schwierigkeiten bei der Wahl kompatibler Module und dem Wechsel der Ersatzteile überfordert ist, insbesondere dann, wenn das Smartphone einen hohen Modularisierungsgrad aufweist. Der Nutzer hat zudem einen gesteigerten Aufwand bei der Zusammenstellung seiner Smartphones, als wenn er auf ein vorgefertigtes Gerät zurückgreift. Bei der Wahl eines integrierten Smartphones entfällt der Aufwand für die Auswahl der geeigneten Bauteile und eventuell für den Zusammenbau des Smartphones vor der Inbetriebnahme. Die Zusammenstellung und die Montage von verschiedenen Modulen zu einem Smartphone sind daher vorwiegend für Technikexperten interessant. Bei modularen Desktop-PCs greifen beispielsweise die meisten Nutzer auf vorkonfigurierte Computer zurück, anstatt die Module individuell auszuwählen und zusammenzufügen. Dies ist ebenfalls ein möglicher Lösungsansatz für modulare Smartphones um das Gerät zu vereinfachen und tauglich für den Massenmarkt zu gestalten. Ein funktionierendes Standard-Smartphone, welches bei Bedarf um optionale Module ergänzt werden kann, ist eine weitere denkbare Variante, bei der der Anwender nicht zwingend technikaffin sein muss.

6 Diskussion

Zu Beginn der Arbeit wurden zur Bewertung des Einflusses der Modularisierung auf die Nachhaltigkeit im Smartphone-Kontext vier Thesen aufgestellt. Diese Annahmen werden nun nacheinander aufgeführt und diskutiert. Dazu werden für die Thesen jeweils die Ergebnisse des Nachhaltigkeitsvergleichs interpretiert, die herausgearbeiteten Herausforderungen für modulare Smartphones einbezogen und die erfolgte Betrachtung der Marktsituationen und -entwicklungen analysiert. Die abschließende Aussage macht deutlich, inwiefern die Thesen verifiziert oder falsifiziert werden. Darauf aufbauend erfolgt eine Diskussion, inwiefern die Modularisierung bei Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit ist und ein entsprechendes Fazit formuliert.

6.1 Thesendiskussion

These 1: Smartphones mit modularem Aufbau weisen einen höheren Grad an Nachhaltigkeit auf als integrierte Smartphone-Konzepte.

Zur Überprüfung dieser These wurde das Fairphone 2 als Vertreter der modularen Smartphones mit dem iPhone 6s, einem typischen Vertreter integrierter Smartphones, hinsichtlich der Nachhaltigkeit evaluiert und verglichen. Die Stellvertreter der Smartphone-Konzepte sind für einen Vergleich miteinander geeignet, da die Rahmenbedingungen der Geräte bezüglich Veröffentlichungszeitpunkt und Größe ähnlich sind. Das Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs zeigt, dass das Fairphone eine Bewertungskategorie mehr für sich entscheiden konnte als das Apple iPhone und somit insgesamt ein wenig besser abschneidet. Die Vorteile bezüglich der Langlebigkeit des Fairphones resultieren vorrangig aus der besseren Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit. Die Schlussfolgerungen zur Auswertung der Resultate zeigen, dass man die Ergebnisse der Smartphone-Vertreter auf die Konzepte übertragen kann. Diese Verallgemeinerungen können getroffen werden, da die überprüften Nachhaltigkeitskriterien abhängig vom Aufbau des Smartphones sind. Das spiegelt sich darin wider, dass die positiven Nachhaltigkeitsaspekte der stellvertretenden Geräte mit den generellen Vorteilen der Designansätze bezüglich der Nachhaltigkeit übereinstimmen oder partiell darüber hinausgehen. Die Tatsache, dass lediglich ein stellvertretendes Smartphone der beiden Konzepte bewertet wurde und als Fundament für die Rückschlüsse auf die Designansätze dient, ist insofern sekundär. Die Vorzüge modularer Smartphones allgemein liegen infolge ihres Aufbaus dementsprechend ebenfalls unter anderem in der besseren Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit begründet. Modular aufgebaute Geräte besitzen daher prinzipiell ein höheres Potenzial bezüglich der Nachhaltigkeit als integrierte Smartphones. Basierend auf den vorgestellten Untersuchungsergebnissen bestätigte sich die These, dass Smartphones mit modularem Design einen höheren Grad an Nachhaltigkeit aufweisen als integrierte Smartphone-Konzepte.

These 2: Das Fairphone 2 ist – besonders aufgrund seines modularen Aufbaus – ein Vorreiter für nachhaltige Smartphones.

Die Untersuchung des Smartphone-Markts bezüglich nachhaltiger Geräte und Entwicklungen hat ergeben, dass nur wenige Produkte existieren, die Nachhaltigkeitsansätze umsetzen. Es ist kein Smartphone im Wettbewerb vertreten, das eine konsequente Nachhaltigkeitsstrategie verfolgt. Das erste Unternehmen, das bei der Konzeption ihrer Geräte auf die Realisierung von Nachhaltigkeit und Fairness in möglichst allen Lebenszyklen abzielt, ist Fairphone. Laut Herstellerangaben sind die Fairphones aus diesem Grund modular aufgebaut, um eine lange Lebensdauer durch eine einfache Reparierbarkeit gewährleisten zu können. Die Evaluierung innerhalb dieser Arbeit bestätigt, dass das Fairphone 2 einen Großteil der aufgestellten Nachhaltigkeitskriterien erfüllt und insgesamt gesehen nachhaltiger als das iPhone 6s ist. Die Vorteile im Vergleich mit integrierten Smartphone-Modellen sind vorrangig die Wartungsfreundlichkeit, die Aufrüstbarkeit, die Variabilität und die Recyclebarkeit, die allesamt durch die modulare Bauweise bedingt sind. Weiterhin wird eine nachhaltige Herstellung der Fairphones angestrebt, die über die bewerteten designabhängigen Nachhaltigkeitsaspekte hinausgehen. Hierbei sind exemplarisch die Nutzung möglichst fair gehandelter Materialien, die Vermeidung der Verwendung von Konfliktmineralien und die Bereitstellung eines Rückgabeprogramms für ausgediente Smartphones zu nennen. Daneben sind auch Bemühungen nach einer starken Transparenz der Lieferkette vorhanden, die sich in Veröffentlichungen der Lieferanten auf der Fairphone-Homepage und in Engagements für bessere Arbeitsbedingungen in den Produktionsfirmen widerspiegeln.

Infolge der Nutzung von Produktionsstätten, in denen ebenso Smartphones anderer Hersteller hergestellt werden, kann eine vollständig nachhaltige Lieferkette jedoch nicht verwirklicht werden. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass Fairphone aufgrund seiner geringen Größe und produzierten Stückzahlen nur einen minimalen Einfluss auf die Zulieferer und Auftragsfertiger besitzt. Die Bewältigung von diesem und anderen Nachhaltigkeitsproblemen ist für marktführende Firmen einfacher zu realisieren, da sie über ein deutlich größeres Kapital als das Start-up-Unternehmen Fairphone verfügen. Überdies ist die Vermarktung des Fairphones eine Herausforderung für das Unternehmen, das in Relation mit anderen Marktteilnehmern sehr klein ist und lediglich ein geringes Budget besitzt. Eine erhöhte mediale Präsenz würde den Nachhaltigkeitsansatz von Fairphone mehr potenziellen Anwendern nahebringen und könnte dadurch deren Nachhaltigkeitsbewusstsein steigern.

Bei der Umsetzung des modularen Konzepts für Smartphones ist ebenso Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Nachhaltigkeit vorhanden. Aufgrund der aufrüstbaren Module, die nur in einem sehr geringen Umfang angeboten werden, sind lediglich marginale Erweiterungsmöglichkeiten für das Fairphone 2 vorhanden. Insbesondere aufgrund der vergleichsweise schwächeren Leistungsfähigkeit des Fairphones sollten Module zur Aufrüstung der Kerneinheit entwickelt werden, damit CPU und Arbeitsspeicher auf dem Niveau der jeweils aktuellen Geräte gehalten werden kann. Durch das determinierte Design und die festgelegten Module ist zudem eine Individualisierung und Personalisierung des Smartphones kaum möglich, was die Bindung des Anwenders an das Fairphone steigern würde. Zur Erweiterung des Modul-Angebots könnte die Etablierung eines Modulmarkts nützlich sein, auf dem unterschiedliche Hersteller die Möglichkeit haben, Komponenten für das Fairphone anzubieten. Anzumerken ist allerdings auch, dass das Risiko besteht, dass eine große Anzahl angebotener Module zur Aufrüstung und Individualisierung einen schnelleren Wechsel und häufigeren Austausch fördert und sich

in der Konsequenz negativ auf die Nachhaltigkeit auswirkt. Es gilt hier einen passenden Kompromiss für die Bereitstellung von Upgrades zur Optimierung der Nachhaltigkeit zu finden.

Die vorgestellten Herausforderungen²⁵⁹, die aus dem modularen Design des Geräts resultieren, meistert das Fairphone 2 entgegen der ursprünglichen Erwartungen an ein modulares Smartphone vergleichsweise gut. Die technische Umsetzung, ein Hauptproblem modularer Smartphones, konnte hauptsächlich aus dem Grund erreicht werden, weil das Fairphone vom Typ der generischen Modularisierung ist und somit nur einen geringen Modularisierungsgrad aufweist. Als Folge dessen ist zudem die Inbetriebnahme und Nutzung des Fairphones intuitiv möglich. Ferner konnten auch Schwierigkeiten mit der Widerstandsfähigkeit und Robustheit des Smartphones vermieden werden, indem eine belastbarere Schutzhülle eingesetzt wurde. Dies erfolgte jedoch insbesondere zulasten der Optik und der Größe des Fairphones, welches aus diesem Grund weniger handlich wirkt. Ein optisch ansprechendes Design, was durch eine hochwertige Verarbeitung und edel anmutende Materialien erreicht werden kann, ist jedoch ein wichtiger Gesichtspunkt hinsichtlich der Kaufentscheidung und Produktbindung des Nutzers an das Produkt. Diesbezüglich ist das Apple iPhone auf dem Smartphone-Markt ein sehr gutes Vorbild. Ebenso bestehen beim Fairphone 2 die typischen Problematiken modularer Geräte betreffend den höheren Energieverbrauch und die geringere Leistungsfähigkeit. Im Vergleich mit der erhöhten Lebensdauer sind diese Aspekte allerdings bezüglich der Nachhaltigkeit weniger relevant.

Die vorgestellten Ergebnisse rechtfertigen die Aussage, dass das Fairphone 2 ein Schritt in die richtige Richtung in Bezug auf nachhaltige Smartphones ist. Unter anderem aufgrund seines modularen Aufbaus kann das Fairphone als eines der nachhaltigsten Geräte am Markt bezeichnet werden. Das Fairphone weist einen moderaten Modularisierungsgrad auf und beweist, dass modulare Smartphones dieser Modularisierungsart realisierbar sind. Da in einigen Bereichen noch Optimierungspotenzial hinsichtlich der Umsetzung von Nachhaltigkeitsaspekten besteht, kann das Fairphone jedoch nicht als ein Idealbild in Bezug auf nachhaltige Smartphones bezeichnet werden. Die Intentionen und verwirklichten Ansätze des Unternehmens Fairphone können allerdings dazu beitragen, die Nachhaltigkeit der etablierten Hersteller zu steigern. Durch die Existenz und Popularisierung eines nachhaltigen Smartphone-Konzepts nötigt Fairphone andere Marktteilnehmer zur Herstellung nachhaltigerer Smartphones. Eine vermehrte mediale Präsenz des Fairphones sowie gesteigerte Verkaufszahlen, würden diesen Wettbewerb zusätzlich verstärken. Das Fairphone kann daher in gewisser Weise als ein Vorreiter für nachhaltige Smartphones gesehen werden, auch wenn es selbst kein komplett nachhaltiges Produkt darstellt. Folglich wird die These 2 angenommen.

259 Die Herausforderung modulare Smartphones werden in Kapitel 5 thematisiert.

These 3: Marktführende Smartphone-Hersteller produzieren keine modularen Geräte, da dies ökonomisch nicht nachhaltig ist.

Die Analyse modularer Smartphone-Konzepte hat ergeben, dass modulare Smartphones am Markt nicht weit verbreitet sind. Nur wenige Hersteller vertreiben modular designte Smartphones. Zudem wurden mehrere modulare Smartphone-Projekte eingestellt, bevor das Gerät bis zur Marktreife entwickelt wurde. Die marktführenden Unternehmen im Smartphone-Segment gestalten ihre Produkte integriert, sodass modulare Smartphones dementsprechend niedrigere Absatzzahlen im Vergleich mit integrativen Smartphones aufweisen. Die Gründe für diese Marktsituation besitzen teilweise einen Bezug zur ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit und wurden bei der Betrachtung der Herausforderungen modularer Smartphones aufgezeigt. Problematiken hinsichtlich der wirtschaftlichen Produktion entstehen einerseits durch hohe Forschungskosten zur Gewährleistung der technischen Umsetzbarkeit der Modulbauweise. Die Entwicklung hochgradig modularer Smartphones bis zur Marktreife bringt einen enormen Aufwand mit sich, da beispielsweise Herausforderungen bezüglich Widerstandsfähigkeit, Fehleranfälligkeit, Energieverbrauch und Performance gemeistert werden müssen. Andererseits hat die Herstellung modularer Geräte komplexere Planungs-, Produktions- und Logistikprozesse zur Folge. Die Kosten können hierbei für die Anbieter unter anderem deswegen ansteigen, da weniger automatisierte Abläufe und Just-In-Time-Produktionen nur schwierig umsetzbar sind. Darüber hinaus sind modulare Geräte dank ihrer Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit für die Langlebigkeit ausgelegt und nicht dafür konzipiert, regelmäßig ersetzt zu werden. Mit jährlichen Nachfolgemodellen hingegen bestehen höhere Absatz- und Umsatzmöglichkeiten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die ökonomische Nachhaltigkeit einer von mehreren Beweggründen für Unternehmen ist, keine modularen Smartphones zu produzieren. Die integrierte Bauweise hat, wirtschaftlich betrachtet, Vorteile, da die Herausforderungen für stark modulare Geräte mit heutigen Technologien nur schwer bis gar nicht lösbar sind und hohe Kosten verursachen. Somit ist diese These bestätigt. Die Schwierigkeiten modular gestalteter Smartphones sind allerdings wie beschrieben vielfältig und der ökonomische Aspekt ist nicht allein ursächlich für den geringen Markterfolg modularer Smartphones.

These 4: Die absatztechnischen Probleme modularer Smartphones sind den Anforderungen des Smartphone-Markts geschuldet.

Zur Beurteilung dieser These wurde untersucht, ob bei Smartphones bzw. dem Smartphone-Markt bestimmte Eigenheiten bestehen, die Probleme für modulare Geräte mit sich bringen, welche sich im geringen Markterfolg widerspiegeln. Zur Bewertung der Aussage, dass die Herausforderungen für modulare Geräte speziell aus den Anforderungen des Smartphone-Markts resultieren und in einer anderen Produktkategorie eventuell nicht von dieser Bedeutung sein würden, werden nachfolgend die besonders kennzeichnenden Merkmale von Smartphones bzw. des Smartphone-Markts angeführt und die daraus zu schlussfolgernden Schwierigkeiten aufgezeigt. Die Aspekte sind teilweise nur bedingt relevant für die Nachhaltigkeit, stellen aber Herausforderungen für modulare Geräte dar, die überwunden werden müssen, um im Smartphone-Wettbewerb bestehen zu können. Je höher der Modularisierungsgrad des Geräts ist, desto diffiziler sind die zu bewältigenden Problematiken.

Der Smartphone-Markt ist, wie alle IT-Märkte, besonders schnelllebig. Infolge des raschen technischen Fortschritts ist eine Langlebigkeitsstrategie nur schwer umzusetzen. Um ein Smartphone stets auf dem aktuellen Leistungsstand halten zu können, sind Aufrüstungen des Geräts zwingend erforderlich. Momentan existiert jedoch kein Produkt auf dem Smartphone-Markt, das eine Vielzahl von Modul-Erweiterungen anbieten kann. Dazu trägt unter anderem die Problematik der Etablierung eines funktionierenden Modulmarkts bei. Darüber hinaus muss beim Design modularer Smartphones die zukunftsfähige Schnittstellenkonzeption besonders beachtet werden, um auf die schnelle technische Weiterentwicklung vorbereitet zu sein. Ein modulares Gerät kann nur in einem vorgegebenen Rahmen, der durch die Gestaltung der Schnittstellen bestimmt wird, weiterentwickelt werden.

Das Smartphone ist zudem ein Produkt, das sehr weit verbreitet ist. Schätzungsweise 78 % der Deutschen verwenden ein Smartphone, was einer Nutzerzahl von 54 Millionen entspricht²⁶⁰. Die Geräte müssen daher für den Massenmarkt so intuitiv und gebrauchstauglich wie möglich gestaltet sein, um einen möglichst hohen Verkaufserfolg und zeitgleich eine hohe Nachhaltigkeit zu erzielen. Es sollte gewährleistet sein, dass Anwender ohne technische Kenntnisse das Smartphone in Betrieb nehmen und nutzen können. Im Vergleich mit integrierten Smartphones bestehen bei modular designten Geräten vielfältigere und kompliziertere Auswahl-, Konfigurations- und Austauschmöglichkeiten bezüglich der Module. Hochgradig modulare Geräte sind daher speziell für technikaffine Konsumenten geeignet, für den durchschnittlichen Nutzer jedoch mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Im Verlauf dieser Arbeit wurde allerdings gezeigt, dass das Fairphone mit moderatem Modularisierungsgrad die Anforderungen des Massenmarkts an ein Smartphone erfüllen kann.

Des Weiteren wird ein Smartphone heutzutage in der Gesellschaft als Statussymbol angesehen. Zur Repräsentation des sozialen Stands wird besonders auf die Leistungsfähigkeit, die Optik und die Marke des Geräts Wert gelegt, wie untersuchte Studien im Rahmen dieser Arbeit gezeigt haben. Die Sensibilisierung für Nachhaltigkeit ist im IT-Bereich nicht so intensiv ausgeprägt wie in anderen Branchen. In der Regel beziehen sich die Qualitätsmerkmale eines Smartphones auf Hardware-Features wie Prozessor-Geschwindigkeit, Display- und Kamera-Qualität und auf hochwertige Verarbeitung sowie Materialauswahl. Die Maßnahmen zur Bewältigung der technischen Herausforderungen modularer Smartphones wirken sich allerdings negativ auf eben diese entscheidenden Kaufkriterien aus. Die Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit, die unter anderem durch die modulare Bauweise angestrebt werden, sind keine besonders relevanten Kaufkriterien im IT-Sektor. Eine entscheidende Frage für den Erfolg von modularen Smartphones ist deshalb, ob der Nutzer Einschränkungen hinsichtlich Optik und Performance hinnimmt, um ein modulareres bzw. nachhaltigeres Gerät zu erwerben. Die Betrachtung der Marktsituation und des Stellenwerts der Nachhaltigkeit bei der Kaufentscheidung im IT-Bereich lassen den Schluss zu, dass dies momentan auf den überwiegenden Teil der Anwender nicht zutrifft. Überdies ist in Bezug auf das steigerungsfähige Nachhaltigkeitsbewusstsein bei IT-Produkten ableitbar, dass der geringe Erfolg modularer Smartphones am Markt nicht aus der fehlenden Nachhaltigkeit resultiert, sondern auf die vergleichsweise schwächere Performance und Ausstattung sowie ein weniger ansprechendes Design zurückzuführen ist.

260 [Ame17] S. 1

Eine weitere kennzeichnende Eigenschaft von Smartphones ist ihre Mobilität. Die Geräte müssen folglich möglichst leicht, dünn und handlich sein. Aufgrund ihres Aufbaus sind modulare Smartphones naturgemäß dicker und schwerer als vergleichbare integriert aufgebaute Smartphones. Die Marktanalyse bezüglich der Modularisierung hat ebenso ergeben, dass mit abnehmender Größe der Geräte tendenziell mehr integrierte als modulare Produkte am Markt erhältlich sind. Dies ist der Fall, da die Komponenten infolge der Integration platzsparender eingebunden werden können. Darüber hinaus besteht bei mobilen Geräten ein höheres Sturz- bzw. Fallrisiko. Die Gewährleistung der Widerstandsfähigkeit als Herausforderung für modulare Geräte ist aus diesem Grund ebenfalls ein zu beachtender Aspekt.

Aus der Darstellung der Eigenheiten des Smartphone-Markts ist ersichtlich, dass fast alle vorgestellten Herausforderungen modularer Geräte auf die speziellen Gegebenheiten von Smartphones zurückzuführen sind. Infolge der aufgezeigten spezifischen Eigenschaften von Smartphones sowie den Erfolgskriterien am Markt ist eine Etablierung modularer Geräte in diesem Kontext besonders schwierig. Die These, dass die absatztechnischen Probleme modularer Smartphones den Anforderungen des Smartphone-Markts geschuldet sind, kann demnach zu großen Teilen bestätigt werden. Die Etablierung von Modularität ist in Bezug auf Smartphones besonders komplex. Für andere Märkte sind die beschriebenen Schwierigkeiten wie beispielsweise die notwendige Technikaffinität der Nutzer, die Anforderungen an die Usability oder die zukunftsfähige Konzeption der Schnittstellen nicht relevant. Es ist allerdings anzunehmen, dass für modulare Produkte anderer Branchen andersartige Herausforderungen existieren.

6.2 Ist die Modularisierung von Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit?

Basierend auf der Beurteilung der Thesen wird nun die Zielstellung dieser Arbeit diskutiert. Die Auswertung der aufgestellten Thesen dient als Grundlage zur Bestimmung, ob die Modularisierung von Smartphones ein Indiz für Nachhaltigkeit ist. Die Aussage, dass das Konzept modularer Smartphones nachhaltiger ist bzw. das Potenzial besitzt nachhaltiger zu sein, wird dann als vollständig bestätigt angesehen, wenn These 1, 2 und 4 verifiziert sind und These 3 abgelehnt ist.

Die These 1, dass Smartphones mit modularem Design einen höheren Grad an Nachhaltigkeit aufweisen als integrierte Smartphone-Konzepte konnte auf Basis des Nachhaltigkeitsvergleichs bestätigt werden. Damit ist die Grundbedingung dafür erfüllt, dass Modularisierung in Bezug auf Smartphones ein Anzeichen für Nachhaltigkeit ist. Nur eingeschränkt verifiziert werden konnte die These 2. Das Fairphone 2 setzt auch aufgrund seines modularen Designs einige vorteilhafte Nachhaltigkeitsansätze um und erweist sich knapp als das nachhaltigere Gerät im Vergleich mit dem Apple iPhone 6s. Ein Idealbild für nachhaltige Smartphones ist das Fairphone jedoch nicht, da in der Umsetzung der Nachhaltigkeitsaspekte noch Verbesserungspotenzial besteht. Das modular aufgebaute Fairphone kann jedoch insofern als Vorreiter für nachhaltige Smartphones angesehen werden, als dass es eine Vielzahl von Nachhaltigkeitskriterien erfüllt. Damit kann es als Alternative am Markt auch die Nachhaltigkeit der etablierten Hersteller steigern. Die Analyse der These 3 hat ergeben, dass die Herausforderungen von modularen Smartphones am Markt partiell durch die fehlende ökonomische Nachhaltigkeit bedingt sind. Neben einer Reihe von weiteren Herausforderungen bei der Umsetzung modularer Smartphones ist es für die Hersteller ein wesentliches Motiv für die Produktion integrierter Geräte, dass die integrative Bauweise mit mehreren wirtschaftlichen Vorteilen einhergeht. Die These gilt somit als angenommen. Die Diskussion von These 4 kommt zu dem Ergebnis, dass die absatztechnischen Probleme modularer Smartphones überwiegend den Besonderheiten des Smartphone-Markts geschuldet sind, weswegen die These bestätigt wird. Der geringe Markterfolg ist somit nur bedingt durch fehlende Nachhaltigkeit erklärbar. Das Ergebnis der Thesendiskussion schließt daher nicht aus, dass die Modularisierung von Smartphones einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit besitzen kann.

Der Zusammenfassung der Diskussion der Thesen ist zu entnehmen, dass die drei zu verifizierenden Thesen 1, 2 und 4 entweder komplett oder mit Abstrichen bestätigt werden konnten. Die These 3, die zur Ratifizierung der Annahme, dass Modularisierung von Smartphones definitiv einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit besitzt, abgelehnt werden müsste, konnte hingegen ebenfalls verifiziert werden. Ein Beweggrund für marktführende Smartphone-Hersteller, keine modularen Geräte zu produzieren, ist, dass dies ökonomisch nicht nachhaltig ist. Da die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit allerdings stets im Zusammenhang betrachtet werden müssen, ist zu prüfen, ob andere Nachhaltigkeitsaspekte, die durch die modulare Bauweise gestärkt werden, die fehlende ökonomische Nachhaltigkeit ausgleichen. In der Evaluierung der Nachhaltigkeit modularer Smartphone-Vertreter bzw. -Konzepte wurde herausgearbeitet, dass besonders relevante Kriterien für die ökologische Nachhaltigkeit wie zum Beispiel die Langlebigkeit und die Wiederverwendbarkeit, durch den modularen Aufbau stark verbessert werden. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die geringe ökonomische Nachhaltigkeit infolge dieser umgesetzten Nachhaltigkeitsaspekte mindestens aufgewogen wird. Darüber hinaus

wurde im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt, dass die Gestaltung und Herstellung eines komplett nachhaltigen Smartphones nach aktuellem Stand nicht möglich ist, da sich die Nachhaltigkeitskriterien teilweise gegenseitig ausschließen. Beispielsweise steigern jährliche Veröffentlichungen neuer Smartphone-Modelle einerseits die ökonomische Nachhaltigkeit, da der Ertrag der Hersteller maximiert wird. Dies geschieht jedoch zulasten der ökologischen Nachhaltigkeit, da der Ressourcen- und Energieverbrauch aufgrund der vermehrten Herstellungsprozesse und der kürzeren Lebensdauer der Geräte ansteigt. Die Bestätigung der These 3 ist folglich kein zwingender Anlass zur Ablehnung der gesamten Zielstellung. Dennoch bleibt die Wirtschaftlichkeit der Herstellung modularer Smartphones ein bedeutender Faktor in Bezug auf die Probleme, die dazu führen, dass nur wenige Geräte in Modulbauweise auf dem Markt erhältlich sind.

Insgesamt ist ersichtlich, dass nicht alle Thesen in dem Maße²⁶¹ verifiziert bzw. falsifiziert wurden, die zur vollständigen Erfüllung der Zielstellung notwendig sind. Nur unter diversen oben erwähnten Einschränkungen und Bedingungen können die Thesen entsprechend bestätigt und abgelehnt werden. Daraus ist abzulesen, dass die Modularisierung von Smartphones nicht notwendigerweise ein Indiz für Nachhaltigkeit ist. Die modulare Gestaltung von Smartphones ist allerdings ein möglicher und sinnvoller Lösungsansatz zur Erreichung einer höheren Nachhaltigkeit. In der Nachhaltigkeitsbewertung innerhalb dieser Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass modular aufgebaute Smartphones nachhaltiger als integrierte Produkte sein können. Dafür ist es jedoch erforderlich, die Vielzahl verschiedenartiger Probleme modularer Smartphones zu bewältigen. Diese Herausforderungen, die zum Teil keinen speziellen Nachhaltigkeitsbezug besitzen, aber relevant für den Markterfolg sind, können mit der heutigen Technologie in einzelnen Fällen nur sehr schwer bzw. nicht zufriedenstellend gelöst werden.

261 Die Aussage, dass das Konzept modularer Smartphones nachhaltiger ist bzw. das Potenzial besitzt nachhaltiger zu sein, wird dann als vollständig bestätigt angesehen, wenn These 1, 2 und 4 verifiziert sind und These 3 abgelehnt ist.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Modular designeten Produkten wird gemeinhin eine höhere Nachhaltigkeit zugeschrieben, da sie theoretisch, dank erleichterter Reparatur- und Erweiterungsmöglichkeiten, eine längere Lebensdauer erreichen können. Dennoch sind am Smartphone-Markt modulare Geräte nur wenig erfolgreich. Dies wirft die Fragestellung auf, ob die Modularisierung in Bezug auf Smartphones einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit hat. Zu diesem Zweck wurde ein Nachhaltigkeitsvergleich zwischen integrierten und modularen Smartphones durchgeführt. Als Betrachtungsobjekte des Vergleichs stehen stellvertretend das Fairphone 2 als Beispiel für modular konzipierte Smartphones und das Apple iPhone 6s für einen integrierten Designansatz. Zur Evaluierung wurden im Verlauf dieser Arbeit Nachhaltigkeitskriterien aufgestellt, die auf den Prinzipien nachhaltigen Designs basieren. Das Resultat des Vergleichs zeigt, dass das Fairphone das nachhaltigere Smartphone ist, obwohl beide Geräte bezüglich der erreichten Nachhaltigkeit eng beieinander liegen. Das Fairphone 2 erzielt in den Bewertungskategorien Wartungsfreundlichkeit, Aufrüstbarkeit und Variabilität das bessere Ergebnis, während das iPhone 6s in den Themenbereichen der Energieeffizienz und der Produktbindung Vorteile besitzt. Speziell in Bezug auf die besonders relevante Langlebigkeit des Produkts schneidet das Fairphone infolge seines modularen Aufbaus besser ab, da es Reparaturen und Erweiterungen einfacher ermöglicht. Die Auswertung des Nachhaltigkeitsvergleichs verdeutlicht, dass modulare Smartphone-Konzepte im Allgemeinen ein theoretisch höheres Nachhaltigkeitspotenzial besitzen. Darüber hinaus wird aus der Analyse der Nachhaltigkeit der Smartphones die Erkenntnis gewonnen, dass komplett nachhaltige Smartphones nach aktuellem technischem Stand nicht realisierbar sind.

Zur Einordnung der Vergleichsergebnisse werden im Rahmen dieser Arbeit die aktuellen Marktsituationen hinsichtlich modularer sowie nachhaltiger Smartphones eruiert und mögliche dafür zugrundeliegende Ursachen beleuchtet. Die Untersuchung der Nachhaltigkeitsentwicklungen am Smartphone-Markt führt zu der Feststellung, dass gegenwärtig einige vielversprechende Nachhaltigkeitsansätze vorhanden sind. Aktuell existiert, mit Ausnahme des Fairphones, allerdings noch kein ansatzweise nachhaltiges Smartphone auf dem Markt. Nur wenige Unternehmen, die mehrheitlich vergleichsweise klein und jung sind, stellen die Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt ihrer Designstrategie. Die Analyse der Modularität am Smartphone-Markt ergibt, dass die modulare Bauweise bei Smartphones ebenfalls nicht weit verbreitet ist. Die wenigen Smartphones mit modularen Ansätzen im Wettbewerb sind, gemessen an den verkauften Stückzahlen, in Relation mit integrierten Smartphones nur mäßig erfolgreich. Zudem wurde aufgezeigt, dass viele modulare Smartphone-Projekte bereits vor ihrer Veröffentlichung eingestellt bzw. abgebrochen wurden. Dies wird speziell bei Entwicklungsprojekten deutlich, die die Realisierung von Smartphones mit einem hohen Modularisierungsgrad anstrebten. Exemplarisch ist hierbei das Project Ara der Firma Google zu nennen. Die Ursache für den Stopp der Arbeiten an den Projekten ist durch die vielfältigen und komplexen Herausforderungen für modulare Smartphones bedingt. Die technologische Umsetzbarkeit ist insbesondere für hochgradig modulare Geräte bei aktuellem technischem Entwicklungsstand sehr schwer bzw. teilweise nicht möglich. Der komplexere Aufbau modularer Smartphones hat unter anderem Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit, der

Widerstandsfähigkeit, der Fehleranfälligkeit, der Usability und des Erscheinungsbilds zur Folge. Weiterhin existieren ökonomische Herausforderungen für die Smartphone-Hersteller, die ein Auslöser dafür sind, dass sich modulare Geräte bisher nicht am Markt durchgesetzt haben.

Die dargestellten Ergebnisse rechtfertigen die Aussage, dass die Modularisierung von Smartphones kein klares Indiz für Nachhaltigkeit ist. Es ist jedoch hervorzuheben, dass Modularisierung einen möglichen und förderlichen Lösungsansatz zur Steigerung der Nachhaltigkeit darstellt, der weiter verfolgt werden sollte. Dies wird unter anderem durch das bessere Ergebnis des modularen Fairphones im Nachhaltigkeitsvergleich belegt. Infolge der verschiedenartigen Probleme modularer Smartphones bei der Etablierung am Markt kann der positive Einfluss der Modularisierung auf die Nachhaltigkeit allerdings nicht ohne Einschränkungen verifiziert werden. Die Komplexität der Herausforderungen für modulare Smartphones, insbesondere die der technischen Umsetzbarkeit und ihrer Folgen, sind abhängig von der Art der Modularisierung und steigen mit zunehmendem Modularisierungsgrad an. In der Theorie ist ein hochgradig modulares Gerät das nachhaltigste Konzept beim Design eines Smartphones. Jedoch ist ein solcher Ansatz momentan nicht umsetzbar, was durch den Mangel dieser Smartphone-Varianten am Markt und mehreren eingestellten Entwicklungsversuchen belegt wird. Der Nachhaltigkeitsvergleich der Smartphone-Konzepte hat belegt, dass in der Praxis nach aktuellem technischem Entwicklungsstand prinzipiell die Smartphones am nachhaltigsten sind, die nach einer generischen Modularisierungsart gestaltet sind. Das analysierte Fairphone 2 steht stellvertretend für diesen Smartphone-Typ. Der moderate Modularisierungsgrad des Fairphones ist ein gut gewählter Kompromiss, um die Lebensdauer durch die gewährleistete Reparierbarkeit sowie Aufrüstbarkeit zu erhöhen und zeitgleich eine hohe Gebrauchstauglichkeit und Widerstandsfähigkeit zu erzielen. Dennoch sind für den typischen Nutzer und die Hersteller von Smartphones integrierte Geräte insgesamt am zweckmäßigsten. Die Anwender besitzen theoretisch den Vorteil, ein intuitiveres, komfortableres, leistungsstärkeres und optisch ansprechenderes Smartphone zu besitzen, während die Anbieter der Geräte profitabler wirtschaften können. Zudem hat die Evaluierung des Apple iPhones bestätigt, dass integrierte Geräte ebenfalls eine hohe Nachhaltigkeit erreichen können.

Für zukünftige Entwicklungen bedeuten diese Ergebnisse, dass weiterhin Forschungsarbeit in modulare Smartphones, insbesondere in jene mit hohem Modularisierungsgrad, investiert werden sollte. Die Realisierung solcher Geräte ist ein lohnendes Ziel, da sie das theoretisch höchste Nachhaltigkeitspotenzial der untersuchten Designansätze besitzen. Um zu einem marktfähigen Produkt zu kommen, ist es notwendig die erläuterten technischen Schwierigkeiten zu überwinden. Ist dies gewährleistet, sollte der Fokus auf der Optimierung der kaufentscheidenden Kriterien wie dem Erscheinungsbild, der Leistungsfähigkeit und der Usability liegen, damit modulare Smartphones eine gesteigerte Akzeptanz am Markt erreichen. In diesem Zusammenhang ist primär darauf zu achten, dass dies nicht zulasten der Nachhaltigkeit geschieht. Daneben kann der Ansatz von Fairphone, eine generische Modularisierung umzusetzen, eine Vorbildfunktion für etablierte Hersteller haben. Das Fairphone 2 demonstriert, dass modulare Smartphones prinzipiell umsetzbar sind und darüber hinaus auch in der Lage sind, nachhaltig zu sein. Eine verbesserte Umsetzung des modularen Ansatzes ist unter anderem mithilfe eines höheren Budgets und bessere Vermarktungsmöglichkeiten erreichbar. Ferner können Weiterentwick-

lungen des integrierten Konzepts ebenfalls für eine Steigerung der Nachhaltigkeit sorgen. Beispielsweise erhöhen weitere Verbesserungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Robustheit der Smartphones die Lebensdauer der Geräte.

Unabhängig vom Designansatz besteht ebenfalls Verbesserungspotenzial bezüglich der Smartphone-Herstellung, -Nutzung und -Entsorgung. Die Verwirklichung einer transparenten und vollständig nachhaltigen Lieferkette, die Vermeidung der Verwendung von Konfliktmineralien oder die Verbesserung der Effizienz von Recycling-Konzepten sind mögliche zukünftige Nachhaltigkeitsziele. Überdies ist die Nachhaltigkeit in der Praxis in einem hohen Maß vom Nutzer abhängig. Zusätzlich zum Design und der Herstellung ist der Umgang des Anwenders mit dem Smartphone bei der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Belang. Der Konsument sollte zum Zweck der Nachhaltigkeit die Langlebigkeit des Smartphones unterstützen. Neben einer schonenden und vorsichtigen Handhabung des Smartphones ist während der Nutzungsphase zu empfehlen, das Gerät zusätzlich mithilfe einer Folie und einer Hülle zu schützen. Außerdem ist darauf zu achten, Optionen zur Einsparung von Energie zu nutzen. Beispiele hierfür sind, das Smartphone nachts auszuschalten, den Energiesparmodus oder Standby-Modus zu nutzen und stromsparende Anwendungen zu verwenden. Beim Auftritt von Defekten sind Reparaturen der Entsorgung des Smartphones vorzuziehen. Reparaturservices werden für bekannte Modelle zahlreich angeboten und sind bei modularen Smartphones eigenständig durchführbar. Am Ende der Nutzungszeit sollte das ausgediente Gerät nach Möglichkeit weitergegeben oder verkauft werden, um die Lebensdauer zu verlängern. Ist dies nicht möglich, so ist eine ordnungsgemäße Entsorgung des Smartphones durch den Nutzer, beispielsweise über Rückgabeprogramme, angebracht.

Neben den Optimierungsmöglichkeiten designunabhängiger Nachhaltigkeitsaspekte ist die Auseinandersetzung mit geeigneten Lösungsansätzen für die beschriebenen Herausforderungen modularer Smartphones, die im Rahmen dieser Arbeit nur skizziert werden, eine zusätzliche Thematik von weitergehendem Interesse. Besonders, da modulare Smartphone-Konzepte das theoretisch höchste Nachhaltigkeitspotenzial aufweisen, ist die Erstellung eines Lösungskonzepts und schlussendlich die Umsetzung hochgradig modularer Smartphones erstrebenswert. Darüber hinaus ist die Evaluierung eines hochgradig modularen Smartphones anhand der definierten Nachhaltigkeitskriterien ein förderliches zukünftiges Untersuchungsziel, sobald ein solches Gerät am Markt verfügbar ist. Hierdurch kann die theoretische Annahme überprüft werden, inwiefern diese Smartphone-Variante ein vergleichsweise hohes Maß an Nachhaltigkeit besitzt.

Literaturverzeichnis

- [Ame17] Ametsreiter, Hannes. Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien, 2017.
- [Ana13] Anastas, Paul B. und Julie B. Zimmerman. „Design Through the 12 principles of green engineering.“ Environmental Science & Technology, 1. März 2013: 95-101.
- [App16] Apple. Auf ein (1) Jahr beschränkte Apple-Garantie. 26. August 2016. <https://www.apple.com/legal/warranty/products/germany-universal-warranty.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App161] Apple. iPhone 6s-Programm für Probleme mit unerwartetem Ausschalten – Apple Support. 30. November 2016. <https://www.apple.com/de/support/iphone6s-unexpectedshutdown/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App17] Apple. Form 10-K Report. 3. November 2017. <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/320193/000032019317000070/a10-k20179302017.htm> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App18] Apple. Apple wird jetzt weltweit mit 100 Prozent erneuerbarer Energie versorgt. 9. April 2018. <https://www.apple.com/de/newsroom/2018/04/apple-now-globally-powered-by-100-percent-renewable-energy/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App181] Apple. iMac - Apple. kein Datum. <https://www.apple.com/de/imac/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App182] Apple. Arbeitsspeicher im iMac installieren. kein Datum. <https://support.apple.com/de-de/HT201191> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App183] Apple. iPhone 6s und iPhone 6s Plus kaufen - Apple. kein Datum. <https://www.apple.com/de/shop/buy-iphone/iphone6s#00> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App184] Apple. iPhone Servicepreise: Apple Support. kein Datum. <https://support.apple.com/de-de/iphone/repair/service/pricing> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App185] Apple. iPhone 6s: Technische Daten. kein Datum. <https://www.apple.com/de/iphone-6s/specs/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App186] Apple. iPhone X kaufen. kein Datum. <https://www.apple.com/de/shop/buy-iphone/iphone-x> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App187] Apple. Umweltschutz - Antworten - Apple. kein Datum. <https://www.apple.com/de/environment/answers/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [App188] Apple. „Environmental Responsibility Report.“ 2018.
- [App189] Apple. Swift – Apple. kein Datum. <https://www.apple.com/de/swift/> (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Baj11] Bajarin, Ben. „Why Competing with Apple Is So Difficult.“ TIME, 1. Juli 2011.
- [Beh17] Behrens, Christoph. „Globaler Berg an Elektromüll wächst rasant.“ Süddeutsche Zeitung, Dezember 2017.
- [Bei18] Beiersmann, Stefan. Apple: Neuer modularer Mac Pro kommt erst 2019. 6. April 2018. <https://www.zdnet.de/88330459/apple-neuer-modularer-mac-pro-kommt-erst-2019/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ben15] Benton, Dustin, Emily Coats, und Jonny Hazell. A circular economy for smart devices. Green Alliance, 2015.
- [Ber14] Bertling, Jürgen, Markus Hiebel, Hartmut Pflaum und Jochen Nühlen. „Arten und Entstehungstypen frühzeitiger Produktalterung - Entwicklung eines Obsoleszenz-Portfolios.“ Umweltmagazin, 2014.
- [Ber15] Bergert, Denise. RePhone Kit: Smartphone-Bausatz für Bastler. 25. September 2015. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/RePhone-Kit-Smartphone-Bausatz-fuer-Bastler-2825589.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Bla15] BlackBerry Limited. „Form 40-F Report.“ Blackberry. 27. März 2015. https://ca.blackberry.com/content/dam/bbCompany/Desktop/Global/PDF/Investors/Documents/2015/Q4_Fiscal_2015/Q4%20FY15%20filing.pdf (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Bri15] British Petroleum. „Statistical Review of World Energy 2015.“ 2015.
- [Bro13] Brownlee, John. Why Lego Design Principles Don't Work On Smartphones. 13. September 2013. <https://www.fastcompany.com/3017409/why-lego-design-principles-dont-work-on-smartphones> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Bru87] Brundtland, Gro Harlem. „Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.“ 1987.
- [Bur03] Burschel, Carlo. „Nachhaltiges Designmanagement.“ In Handbuch Nachhaltige Entwicklung, von Gudrun Linne und Michael Schwarz, 287-298. 2003.
- [Büt13] Büttner, Michael. Das Fairphone 2 im Hands-On: Umweltengel im Plastikkleid. 6. November 2015. <https://www.inside-handy.de/news/37856-fairphone-2-hands-on> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [cli17] clickrepair. „Smartphone-Studie 2017.“ 2017.
- [Cun14] Cunningham, Andrew. Google “moonshot” group demos modular phone that (almost) actually works. 26. Juni 2014. <https://arstechnica.com/gadgets/2014/06/google-moonshot-group-demos-modular-phone-that-almost-actually-works/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Cut16] Cuthbertson, Anthony. Fairphone 2 Review: The World's first modular Smartphone will last you for Years. 15. Januar 2016. <https://www.newsweek.com/fairphone-2-review-414702> (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Cze16] Czerulla, Hannes A. MWC 2016: LG G5 - das etwas modulare Smartphone im Hands-on. 23. Februar 2016. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/MWC-2016-LG-G5-das-etwas-modulare-Smartphone-im-Hands-on-3115338.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [DeK16] de Kluijver, Joost. Closing the Loop: The garbage collectors of the mobile industry. 14. Juli 2016. <https://www.fairphone.com/de/2016/07/14/closing-the-loop-the-garbage-collectors-of-the-mobile-industry/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ded18] Dediu, Horace. Determining The Average Apple Device Lifespan - Asymco. 1. März 2018. <http://www.asymco.com/2018/03/01/determining-the-average-apple-device-lifespan/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Deu02] Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode. „Schlussbericht der Enquete-Kommission Globalisierung der Weltwirtschaft – Herausforderungen und Antworten.“ 2002.
- [Dia09] Dias, Elizabeth. „First Blood Diamonds, Now Blood Computers?“ TIME, 24. Juli 2009.
- [DIN17] DIN EN ISO 9241-11,2017-01: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO/DIS 9241-11.2:2016)
- [Dix18] Dick, James, Daniel Yang, Stacy Wegner, Chad Davis und Albert Cowsky. Apple iPhone 6s Teardown. kein Datum. <http://www.techinsights.com/about-techinsights/overview/blog/inside-the-iphone-6s/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Don15] Donath, Andreas. iPhone 6s doch sehr wasserdicht - Mac Life. 27. September 2015. <http://www.maclife.de/news/iphone-6s-stunde-unter-wasser-geht-noch-10069796.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Dud18] Dudenredaktion. Duden - Modularisierung. kein Datum. <https://www.duden.de/node/738879/revisions/1679624/view> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Dud181] Dudenredaktion. Duden - Modul. kein Datum. <https://www.duden.de/node/658709/revisions/1682790/view> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai13] Fairphone B.V. Announcing our participation in the "Solutions for Hope" project. 16. Januar 2013. <https://www.fairphone.com/de/2013/01/16/solutions-for-hope-partnership/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai14] Fairphone B.V. Worker Welfare Fund: Electing worker representatives. 28. Juli 2014. <https://www.fairphone.com/de/2014/07/28/worker-welfare-fund-electing-worker-representatives/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai15] Fairphone B.V. „Kostenaufschlüsselung für das Fairphone 2.“ Fairphone. 1. September 2015. <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2015/09/Cost-Breakdown-Fairphone-2-German-1.pdf> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai151] Fairphone B.V. Jolla community working on Sailfish OS for the Fairphone 2. 22. Oktober 2015. <https://www.fairphone.com/en/2015/10/22/jolla-community-working-on-sailfish-os-for-the-fairphone-2/> (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Fai152] Fairphone B.V. Establishing a Worker Welfare Fund with our production partner Guohong. 15. Mai 2015. <https://www.fairphone.com/en/2014/05/15/establishing-a-worker-welfare-fund-with-our-production-partner-guohong/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai153] Fairphone B.V. The architecture of the Fairphone 2: Designing a competitive device that embodies our values. 16. Juni 2015. <https://www.fairphone.com/en/2015/06/16/the-architecture-of-the-fairphone-2-designing-a-competitive-device-that-embodies-our-values/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai16] Fairphone B.V. How we got Fairtrade certified gold in the Fairphone 2 supply chain. 27. Januar 2016. <https://www.fairphone.com/de/2016/01/27/how-we-got-fairtrade-certified-gold-in-the-fairphone-2-supply-chain/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai17] Fairphone B.V. „List of Suppliers for the Fairphone 2.“ Fairphone. 1. Juni 2017. <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2017/06/List-of-Suppliers-June2017.pdf> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai171] Fairphone B.V. „Fairphone’s Report on Recyclability.“ Fairphone. 1. Februar 2017. <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2017/02/FairphoneRecyclability-Report022017.pdf> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai172] Fairphone B.V. Fairphone 1 maintenance comes to an end - Fairphone Community Forum. 4. Juli 2017. <https://forum.fairphone.com/t/fairphone-1-maintenance-comes-to-an-end/30482> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai18] Fairphone B.V. Unsere Ziele. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/unsere-ziele/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai181] Fairphone B.V. Ersatzteile - Fairphone Shop. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/ersatzteile> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1810] Fairphone B.V. Fairphone 2 Garantie - Fairphone. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/legal/fairphone-2-garantie/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1811] Fairphone B.V. Fairphone 2 Display-Modul | Fairphone shop. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/fairphone-2-display-modul> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1812] Fairphone B.V. Fairphone 2 Kamera-Modul - Ersatzteile - Fairphone shop. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/ersatzteile/fairphone-2-kameramodul> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1813] Fairphone B.V. Ersatzteile - Fairphone shop. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/ersatzteile/filter/wahle-dein-fairphone-aus/fairphone-2> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1815] Fairphone B.V. „User Guide.“ Fairphone Support. kein Datum. https://support.fairphone.com/hc/en-us/article_attachments/200347147/User_Guide_German.pdf (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Fai1816] Fairphone B.V. How can I charge my Fairphone 2? – Support. 14. Juli 2018. <https://support.fairphone.com/hc/en-us/articles/207891033-How-can-I-charge-my-Fairphone-2> (Zugriff am 14. Juli 2018).
- [Fai1817] Fairphone B.V. Fairphone Zubehör | Fairphone shop. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/zubehor> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1818] Fairphone B.V. What operating system (OS) does the Fairphone 2 run on? – Support. 12. Juli 2018. <https://support.fairphone.com/hc/en-us/articles/204642759-What-operating-system-OS-does-the-Fairphone-2-run-on-> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1819] Fairphone B.V. Keeping your phone longer with a refresh on the inside and out. 8. Mai 2018. <https://www.fairphone.com/en/2018/05/08/keeping-your-phone-longer-refreshed/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai182] Fairphone B.V. Fairphone 2 starts shipping across Europe. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/2015/12/21/fairphone-2-starts-shipping-across-europe/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1820] Fairphone B.V. How can I update to Android 6.0 Marshmallow? – Support. 12. Juli 2018. <https://support.fairphone.com/hc/en-us/articles/115001054726-How-can-I-update-to-Android-6-0-Marshmallow-> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai1821] Fairphone B.V. Recyclingprogramm. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/recyclingprogramm/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai183] Fairphone B.V. About Us. kein Datum. <https://www.fairphone.com/en/about/about-us/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai184] Fairphone B.V. Robustes Design. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/unsere-ziele/design/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai185] Fairphone B.V. Fair gehandelte Materialien. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/unsere-ziele/ehrliche-materialien/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai186] Fairphone B.V. Gute Arbeitsbedingungen. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/unsere-ziele/soziale-werte/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai187] Fairphone B.V. Wiederverwendbarkeit und Recycling. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/unsere-ziele/recycling/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai188] Fairphone B.V. Upgrade Fairphone 2 Kamera. kein Datum. <https://www.fairphone.com/de/upgrade-fairphone2-kamera/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fai189] Fairphone B.V. Fairphone shop: Fairphone 2. kein Datum. <https://shop.fairphone.com/de/fairphone2-kaufen-2> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fle00] Fleming, Lee und Olav Sorenson. „Technology as a complex adaptive system: evidence from patent data.“ Research Policy 30, 22. August 2000: 1019-1039.

- [Frö17] Fröhlich, Christoph. „<https://www.stern.de/digital/smartphones/project-ara--wie-das-revolutionaere-smartphone-krachend-scheiterte-7315596.html>.“ Stern, 7. Februar 2017.
- [Fut18] Futuremark. Fairphone 2 Review - Performance. 30. Mai 2018. <https://benchmarks.ul.com/hardware/phone/Fairphone+2+review> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Fut181] Futuremark. Apple iPhone 6s Review - Performance. 30. Mai 2018. <https://benchmarks.ul.com/hardware/phone/Apple+iPhone+6s+review> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Gab18] Gabbert, Christopher. Geplante Obsoleszenz: Ermittlungen gegen Apple und Samsung eingeleitet. 19. Januar 2018. <http://www.areamobile.de/news/46808-geplante-obsoleszenz-ermittlungen-gegen-apple-und-samsung-eingeleitet> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Gar18] Gartner. Gartner Says Worldwide Sales of Smartphones Returned to Growth in First Quarter of 2018. 29. Mai 2018. <https://www.gartner.com/newsroom/id/3876865> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Glo18] Global 500. kein Datum. <http://fortune.com/global500/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Grä11] Grätz, Ina und Sabine Schulze. Apple Design. 2011.
- [Guu18] Gugelot, Guus. M 125 Möbelsystem. kein Datum. http://www.hansgugelot.com/de/m_125.php (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Hak13] Hakkens, Dave. „Phonebloks.“ Youtube. 10. September 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=oDAw7vW7H0c> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ham16] Hampe, Katja. Verbraucher wollen bei Smartphones auf dem neuesten Stand der Technik sein - Bitkom Research. 22. Februar 2016. https://www.bitkom-research.de/epages/63742557.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/63742557/Categories/Presse/Pressearchiv_2016/Verbraucher_wollen_bei_Smartphones_auf_dem_neuesten_Stand_der_Technik_sein1 (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Hei16] Heinfling, Benjamin. Apple iPhone 6S 128GB Test - CHIP. 27. Juli 2016. http://www.chip.de/test/Apple-iPhone_6S_128GB-Handy-Test_139923706.html (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Her18] Herbig, Daniel. Fairphone 2: Unerwünschte Neustarts werden durch Software-Update behoben - heise online. 9. Februar 2018. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Fairphone-2-Unerwuenschte-Neustarts-werden-durch-Software-Update-behoben-3964710.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Hop95] Hopfenbeck, Waldemar und Christine Jasch. Öko-Design: Umweltorientierte Produktpolitik. 1995.
- [iam18] iameco. Eco Design. kein Datum. <http://www.iameco.com/our-vision/eco-design/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iam181] iameco. Waste Reduction. kein Datum. <http://www.iameco.com/our-vision/waste-reduction/> (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [iam182] iameco. Life Cycle Resource Efficiency. kein Datum. <http://www.iameco.com/our-vision/life-cycle-resource-efficiency/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi13] iFixit. Mac Pro Late 2013 Teardown. 30. Dezember 2013. <https://de.ifixit.com/Teardown/Mac+Pro+Late+2013+Teardown/20778> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi15] iFixit. iPhone 6s Teardown. 24. September 2015. iPhone 6s Teardown (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi151] iFixit. Fairphone 2 Teardown. 18. November 2015. <https://de.ifixit.com/Teardown/Fairphone+2+Teardown/52523> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi17] iFixit. Microsoft Surface Laptop Teardown. 15. Juni 2017. <https://de.ifixit.com/Teardown/Microsoft+Surface+Laptop+Teardown/92915> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi18] iFixit. iMac Pro Teardown. kein Datum. <https://de.ifixit.com/Teardown/iMac+Pro+Teardown/101807> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [iFi181] iFixit. iFixit Store Europe: iPhone 6s. kein Datum. <https://eustore.ifixit.com/Ersatzteile/iPhone-Ersatzteile/iPhone-6s/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Imp11] Impact Interview. Steve Jobs on Product Design - Impact Interview. 25. August 2011. <https://www.impactinterview.com/2011/08/steve-jobs-on-product-design-2/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [ins18] inside handy. Apple iPhone X vs Samsung Galaxy S9 vs Shift Shift6m Vergleich. kein Datum. <https://www.inside-handy.de/handy-vergleich/apple-iphone-x/samsung-galaxy-s9/shift-shift6m> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Isa11] Isaacson, Walter. Steve Jobs. 2011.
- [Jar17] Jardim, Elizabeth. 10 Jahre Smartphone. Greenpeace, 2017.
- [Ken14] Kennemer, Quentyn. Project Ara presented at video at Launch conference; new details revealed. 3. Mai 2014. <https://phandroid.com/2014/03/03/project-ara-video/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Kle09] Kleine, Alexandro. „Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie - Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren.“ 2009.
- [Kol16] Kolf, Florian und Jan Hildebrand. „Lieferketten mit tödlicher Nebenwirkung.“ Handelsblatt, Juli 2016.
- [Köl16] Költzsch, Tobias. Project Ara soll 2017 kommen - nur noch teilweise modular. 21. Mai 2016. <https://www.golem.de/news/modulares-smartphone-project-ara-soll-2017-kommen-nur-noch-teilweise-modular-1605-121026.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Kru15] Krug, Katharina. Apple Watch: Welche Geräte unterstützt die Uhr? 29. April 2015. https://praxistipps.chip.de/apple-watch-welche-geraete-unterstuetzt-die-uhr_39493 (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Len18] Lenovo. ThinkPad X1 Tablet (2. Generation). kein Datum. <https://www.lenovo.com/de/de/tablets/windows-tablets/thinkpad-series/ThinkPad-X1-Tablet-2nd-Gen/p/22TP2CP011220JB> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Lex15] Lexikon der Nachhaltigkeit. Gibt es umweltfreundliche Mobiltelefone? 12. November 2015. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/gibt_es_umweltfreundliche_mobiltelefone_1940.htm (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [May14] Mayer, Helmut, Christine Flachmann, Marta Wachowiak und Petra Fehrentz. Nachhaltiger Konsum: Entwicklung eines deutschen Indikatorensetzes als Beitrag zu einer thematischen Erweiterung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Umweltbundesamt, 2014.
- [McC14] McCracken, Harry. „Project Ara: Inside Google's Bold Gambit to Make Smartphones Modular.“ TIME, 26. Februar 2014.
- [McL14] McLennan, Jason F. The Philosophy of Sustainable Design. 2004.
- [Med15] Medicus, Manuel. iPhone 6s und 6S Plus: Release, Preis und Features - connect. 9. September 2015. <https://www.connect.de/news/iphone-6s-plus-release-apple-event-preis-features-3194907.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Mer09] Merkel, Wolfgang W. „Das seltene Mineral Coltan.“ Die Welt, 12. Februar 2009.
- [Moo18] Mooslehner, Andreas. Die Visor Innovation. kein Datum. http://www.handspring-prism.de/?Willkommen:Die_Visor_Innovation (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Moo181] Mooslehner, Andreas. Springboardmodule. kein Datum. <http://www.handspring-prism.de/?Springboardmodule> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Moo182] Mooslehner, Andreas. Visorphone. kein Datum. <http://www.handspring-prism.de/?Springboardmodule:Visorphone> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Mot18] Motorola. moto mods. kein Datum. <https://www.motorola.de/products/moto-mods> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Mot181] Motorola. Motorola Developer Portal. kein Datum. <https://developer.motorola.com/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nag18] Nager IT. Die Faire Maus. kein Datum. <https://www.nager-it.de/maus> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nag181] Nager IT. Unser Weg zur Fairen Maus. kein Datum. <https://www.nager-it.de/maus/umsetzung> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nag182] Nager IT. „Die Faire Maus - Lieferkette.“ Die Faire Maus. kein Datum. <https://www.nager-it.de/static/pdf/lieferkette.pdf> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nie16] Niemeyer, Frederik. Galaxy S7 vs. iPhone 6s im ultraharten Drop-Test: Ein Handy widersetzt sich der Zerstörung - CHIP. 7. März 2016. https://www.chip.de/news/Galaxy-S7-vs.-iPhone-6s-im-ultraharten-Drop-Test-Ein-Handy-widersetzt-sich-der-Zerstoe-rung_90528080.html (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Nor16] Noronha, Evan. Hats off to HP's repairable Tablet. 23. Mai 2016. <https://ifixit.org/blog/8135/hats-off-to-hps-repairable-tablet/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nor161] Noronha, Evan. iPhone 6s Akku tauschen. 5. März 2016. <https://de.ifixit.com/Anleitung/iPhone+6s+Akku+tauschen/56607> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Nor17] Noronha, Evan. Dell Latitude E5270 Repairability Assessment. 16. März 2017. <https://de.ifixit.com/Anleitung/Dell+Latitude+E5270+Repairability+Assessment/79140> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Obe18] Obermeier, Ludwig. „Wegen eines Rohstoffs: Gibt es bald keine iPhones mehr?“ Focus, 24. Februar 2018.
- [Pan18] Pangea Electronics. Pangea Sun. kein Datum. <http://pangeaelectronics.com/sun.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pau10] Pauler, Wolfgang und Wiebke Hellmann. Telefon und Akku: Die Basics zählen - CHIP. 3. Dezember 2010. http://www.chip.de/artikel/So-testet-CHIP-Online-Handys-2_45999282.html (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Peu16] Peuckert, Michael. Fairphone 2 im Test. 23. September 2016. <https://www.connect.de/testbericht/fairphone-2-fp2-test-3196234.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pfe13] Pfeifer, Felix. Pangea Sun – ein modulares Open-Source-Notebook. 3. März 2013. <https://www.heise.de/make/meldung/Pangea-Sun-ein-modulares-Open-Source-Notebook-3127864.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pho13] Phonebloks. Phonebloks - The Idea. 1. November 2013. <https://web.archive.org/web/20131101191500/https://phonebloks.com/idea/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pho18] Phonebloks. Phonebloks - Journey. kein Datum. <https://phonebloks.com/journey> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pho181] Phonebloks. „Frequently Asked Questions.“ Phonebloks. kein Datum. <https://phonebloks.com/faq> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pho182] Phonebloks. „Phonebloks.“ Phonebloks. kein Datum. <https://phonebloks.com/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pho183] Phonebloks. „Phonebloks - Blog.“ Phonebloks. kein Datum. <http://blog.phonebloks.com> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Pil06] Piller, Frank Thomas. Mass Customization. 2006.
- [Pry16] Pryjda, Witold. Ara: Zahlreiche Bilder und Specs zum eingestellten Google-Modul-Phone. 11. November 2016. <http://winfuture.de/news,94899.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Puz15] PuzzlePhone. PuzzlePhone announces SLUSH White Edition and Jolla support for community Sailfish OS integration. 12. November 2015.

<http://www.puzzlephone.com/blog-read/puzzlephone-announces-slush-white-edition-and-jolla-support-for-community-sailfish-os-integration/> (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [Puz18] PuzzlePhone. PuzzlePhone. kein Datum. <http://www.puzzlephone.com/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Raa18] Raatz, Detlef. „SHIFT 6m/6mq - Gerät zerlegen.“ Youtube. 2. Februar 2018. https://www.youtube.com/watch?v=KaD_I_ZDJsw (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Rel09] Reller, Armin, Thomas Bublies, Thomas Staudinger, Irina Oswald, Simon Meißner und Matthew Allen. „The Mobile Phone: Powerful Communicator and Potential Metal Dissipator.“ *Gaia - Ecological Perspectives for Science and Society*, 2009: 127-135.
- [Rit14] Ritter, Frank. Project Ara: Video-Demonstration des modularen Smartphones offenbart neue Details ... und fasziniert. 1. März 2014. <https://www.giga.de/smartphones/project-ara/news/project-ara-video-demonstration-des-modularen-smartphones-offenbart-neue-details-.und-fasziniert/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Rüg09] Rügheimer, Hannes. „Testbericht - Sony Ericsson C901 GreenHeart.“ *Connect*, 11. August 2009.
- [San17] Santacreu, Alejandro. PuzzlePhone - Late but coming: Episode II. 17. April 2017. <http://puzzlephone.com/blog-read/late-but-coming-episode-ii/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [San171] Santacreu. PuzzlePhone - The PuzzlePhone keeps moving ahead. 27. November 2017. <http://puzzlephone.com/blog-read/the-puzzlephone-keeps-moving-ahead/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [San96] Sanchez, Ron und Joseph T. Mahoney. „Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization.“ *Strategic Management Journal*, 1996: 63-76.
- [Sch00] Schilling, Melissa A. „Toward a General Modular Systems Theory and Its Application to Interfirm Product Modularity.“ *The Academy of Management Review*, April 2000: 312-334.
- [Sch09] Schlupe, Mathias, et al. „Recycling – from E-Waste to Resources.“ 2009.
- [Sch12] Schelhove, Christina und Cornelia Heydenreich. *Noch keine fairen Handys. Germanwatch*, 2012.
- [Sch15] Schick, Johanna. Iameco: Ein Laptop Aus Holz. 18. März 2015. <https://www.greenality.de/blog/iameco-ein-laptop-aus-holz/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Sch16] Schell, Katharina. Apple iPhone 6s Test. 7. Oktober 2016. <https://www.insidehandy.de/handys/apple-iphone-6s/test> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Sch17] Schreiber, Manuel. iPhone X Test - CHIP. 17. November 2017. http://www.chip.de/test/Apple-iPhoneX64GB-im-Test_126702663.html (Zugriff am 12. Juli 2018).

- [See18] Seeed Technology. RePhone Kit Create. kein Datum. <https://www.seeedstudio.com/RePhone-Kit-Create-p-2552.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ser17] Serviceplan Gruppe. Serviceplan Gruppe. 1. Dezember 2017. https://www.serviceplan.com/de/presse-detail/sustainability_image_score_2017.html (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI16] SHIFT GmbH. „SHIFT Report 2016.“ 2016.
- [SHI18] SHIFT GmbH. Das SHIFT Gerätepfand. kein Datum. <https://www.shiftphones.com/pfand/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI181] SHIFT GmbH. Shiftphones. kein Datum. <https://www.shiftphones.com/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI182] SHIFT GmbH. Shift Shop - SHIFT12m. kein Datum. <https://shop.shiftphones.com/shift12m.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI183] SHIFT GmbH. Shift Produkte. kein Datum. http://de.shiftphones.com/wiki/SHIFT_Produnkte (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI184] SHIFT GmbH. SHIFT6m – Erste Großproduktion gestartet! 17. Mai 2018. <https://www.shiftphones.com/shift6m-erste-grossproduktion-gestartet/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [SHI185] SHIFT GmbH. Shift Shop - SHIFT6m. kein Datum. <https://shop.shiftphones.com/shift6m.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Spi11] Spindler, Edmund A. Geschichte der Nachhaltigkeit: Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes. 2011.
- [Spi15] Spier, Alexander. „Handy-Stromspartipps: Energieverbrauch nachgemessen.“ Magazin für Computertechnik, 2. Oktober 2015: 86-89.
- [Ste15] Steele, David. AH Primetime: Google’s Project Ara Will Drive Innovation. 23. Januar 2015. <https://www.androidheadlines.com/2015/01/ah-primetime-googles-project-ara-will-drive-innovation.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ste151] Steinhauser, Jan. iPhone 6S: SD-Karte einsetzen – geht das? 24. September 2015. https://praxistipps.chip.de/iphone-6s-sd-karte-einsetzen-geht-das_43454 (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Ste16] Stengel, Steven. IBM Personal Computer. 5. August 2016. <http://oldcomputers.net/ibm5150.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Str14] Strobel, Christoph. Von Kongo bis China: Wie fair ist die Handy-Produktion? 1. September 2014. <https://curved.de/news/von-kongo-bis-china-wie-fair-ist-die-handy-produktion-129856> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Suc15] Suckling, James und Jacquetta Lee. „Redefining Scope: The True Environmental Impact of Smartphones?“ The International Journal of Life Cycle Assessment, 1. August 2015: 1181-1196.

- [Tal14] Talbot, David. Why Google's Modular Smartphone Might Actually Succeed. 7. April 2014. <https://www.technologyreview.com/s/525386/why-googles-modular-smartphone-might-actually-succeed/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [TCO18] TCO Certified. TCO Certified Product Categories. kein Datum. <http://tcocertified.com/product-categories/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [TCO181] TCO Certified. Criteria in TCO Certified. kein Datum. <http://tcocertified.com/criteria-overview/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [TCO182] TCO Certified. About Sustainable IT. kein Datum. <http://tcocertified.com/sustainable-it/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Tel18] Telekom Deutschland. Handysammelcenter. kein Datum. <https://www.handysammelcenter.de/> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [The13] The Pfeiffer Report. „How iOS 7 Stacks Up: Smartphone OS User Experience Shootout.“ 2013.
- [Tro18] Tropf, Teresa Maria und Kai Kallweit. 124 Millionen Alt-Handys liegen ungenutzt herum. 12. März 2018. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/124-Millionen-Alt-Handys-liegen-ungenutzt-herum.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Umw17] Umweltbundesamt. Umweltbewusstsein und Umweltverhalten. 25. April 2017. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/umweltbewusstsein-umweltverhalten>.
- [Uni11] United Nations Environment Programme. „Decoupling Natural Resource use and Environmental Impacts from Economic Growth.“ 2011.
- [van05] van Nes, Nicole und Jacqueline Cramer. „Influencing product lifetime through product design.“ Business Strategy and the Environment: Vol 14, No 5, 23. August 2005: 286-299.
- [Vet15] Vetterl, Yasmin. Fairphone 2 Test - CHIP. 21. Dezember 2015. http://www.chip.de/artikel/Fairphone-2_Black_Matte-Handy-Test_87058830.html (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Vir18] Vireo.de. Fairphone 2 Ersatzteil Core-Modul / Hauptplatine. kein Datum. <https://www.vireo.de/fairphone/zubehoer/8632/fairphone-2-core-modul> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Vit18] Vitsoe. Zehn Thesen für gutes Design. kein Datum. <https://www.vitsoe.com/de/ueber-vitsoe/gutes-design> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wak16] Wakabayashi, Daisuke. „Alphabet Ends Effort to Create Modular Smartphone.“ The New York Times, September 2016.
- [Wed15] Wedekind, Klaus. Biegen, brennen, fallen, tauchen: Was hält das iPhone 6s aus? - n-tv.de. 28. September 2015. <https://www.n-tv.de/technik/Was-haelt-das-iPhone-6s-aus-article16028581.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).












- [why18] why! open computing AG. Unser Konzept. kein Datum. <https://whyopencomputing.com/de/content/8-unser-konzept> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wir17] Wirtgen, Jörg. LG: Kunden wollen keine modularen Smartphones. 5. Januar 2017. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/LG-Kunden-wollen-keine-modularen-Smartphones-3589446.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wöl13] Wölbert, Christian. Galaxy S4: Erstes Smartphone mit Nachhaltigkeits-Zertifikat. 16. Mai 2013. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Galaxy-S4-Erstes-Smartphone-mit-Nachhaltigkeits-Zertifikat-1864830.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wöl15] Wölbert, Christian. Fairphone-Produktion in China: Mehr Fairness am Fließband. 28. Dezember 2015. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Fairphone-Produktion-in-China-Mehr-Fairness-am-Fliessband-3055607.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wöl17] Wölbert, Christian. Wachstumsschmerzen bei Fairphone: Produktion und Support am Limit - heise online. 2. Januar 2017. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Wachstumsschmerzen-bei-Fairphone-Produktion-und-Support-am-Limit-3581468.html> (Zugriff am 12. Juli 2018).
- [Wup13] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. „Ressourcen- und Energieverbrauch im Kontext der Nachhaltigkeit.“ 2013.
- [Wup131] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. „Nachhaltige Produktion von Mobiltelefonen.“ 2013.
- [Wup132] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. „Handy-Recycling – Daten.“ 2013.
- [Zar13] Zarnekow, Rüdiger und Lutz Kolb. Green IT: Erkenntnisse und Best Practices aus Fallstudien. 2013.

Anhang

Anhang Tabelle 1: Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitsvergleichs

Kategorie	Kriterien
Langlebigkeit: Zuverlässigkeit und Robustheit	
Lebensdauer	Wie lang ist die durchschnittliche Lebensdauer des Smartphones?
Widerstandsfähigkeit	Wie gut ist das Smartphone gegen äußere Einflüsse geschützt?
Garantiezeit	Wie lange wird eine Garantie für das Smartphone gewährt?
Langlebigkeit: Wartungsfreundlichkeit	
Eigenständige Reparatur	Wie anspruchsvoll ist die eigenständige Reparatur des Smartphones?
Reparaturservices	Werden Ersatzteile für das Smartphone bereitgestellt?
Ersatzteilangebot	Werden Reparaturservices für das Smartphone angeboten? Zu welchen Preisen sind Reparaturservices für das Smartphone erhältlich?
Langlebigkeit: Aufrüstbarkeit	
Erweiterung der Leistungsfähigkeit	Inwiefern können die Komponenten des Smartphones aufrüstet werden?
Erweiterung der Funktionalität	Welche Erweiterungen um zusätzliche Funktionalitäten sind möglich?
Langlebigkeit: Produktbindung	
Design	Ist das Gehäuse des Smartphones benutzerfreundlich und optisch ansprechend gestaltet?
	Wie groß, schwer und handlich ist das Smartphone?
Usability	Wie intuitiv ist die Handhabung des Smartphones?
	Wie problemlos erfolgt die Inbetriebnahme des Smartphones?
	Schränkt die fehlende Leistungsfähigkeit des Smartphones den Nutzerkomfort ein?
	Wie fehleranfällig ist das Smartphone?
Langlebigkeit: Variabilität	
Software	Welche Software (Applikationen und Betriebssysteme) wird vom Smartphone unterstützt?
Erscheinungsbild	Wie individuell kann das Erscheinungsbild des Smartphones gestaltet werden?
Recyclebarkeit und Wiederverwendbarkeit	
Zerlegbarkeit	Wie einfach ist das Smartphone für das Recycling in seine Einzelteile zerlegbar?
Energieeffizienz	
Energieverbrauch Nutzungsphase	Wie hoch ist der Energieverbrauch des Smartphones in der Nutzungsphase?
Substitut	Welche anderen IT-Geräte können substituiert werden?

Anhang Tabelle 2: Ergebnis des Nachhaltigkeitsvergleichs nach Bewertungskriterien

Bewertungskriterium	Ergebnis
Zuverlässiges und robustes Design	 / FAIRPHONE
Lebensdauer	
Widerstandsfähigkeit	 / FAIRPHONE
Garantiezeit	FAIRPHONE
Wartungsfreundliches Design	FAIRPHONE
Eigenständige Reparatur	FAIRPHONE
Reparaturservices	
Ersatzteilangebot	FAIRPHONE
Aufrüstbares Design	FAIRPHONE
Erweiterung der Leistungsfähigkeit	FAIRPHONE
Erweiterung der Funktionalität	 / FAIRPHONE
Produktbindung	
Design	
Usability	
Variables Design	FAIRPHONE
Software	FAIRPHONE
Erscheinungsbild	FAIRPHONE
Recyclebares und wiederverwendbares Design	 / FAIRPHONE
Zerlegbarkeit	 / FAIRPHONE
Energieeffizientes Design	
Energieverbrauch Nutzungsphase	
Substitut	 / FAIRPHONE