Diplomarbeit

Bewertung der Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

---

Diploma Thesis

Assessment of the recyclability of mobile phones

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

Clara Henriette Neuendorf
Matr.Nr.: 12228531

Betreuung: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr.h.c. **Helmut Rechberger**
Ing. **Philipp Aschenbrenner**
Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement
Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/226-2, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Monat Mai 2025 _____

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

D I P L O M A R B E I T

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

_____ _____

Datum Clara Neuendorf, BSc.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Rechberger, der mir durch seine fachkundige Betreuung und hilfreichen Anregungen den Rahmen für diese Arbeit gegeben hat. Ein großes Dankeschön auch an Ing. Philipp Aschenbrenner, der mich im Labor unterstützt, mir geduldig alle Abläufe erklärt und stets ein offenes Ohr für meine Fragen hatte. Ohne seine Hilfe und sein Engagement wäre die praktische Umsetzung dieser Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Ich danke außerdem dem Demontage- und Recycling-Zentrum (DRZ) sowie der Elektro Recycling Austria GmbH (ERA) für die freundliche Bereitstellung der neueren Smartphone-Modelle, die wesentlich zur Durchführung der praktischen Untersuchungen beigetragen haben.

Ebenso danke ich meiner Familie für ihre beständige Unterstützung und ihren Rückhalt während meines gesamten Studiums. Nicht zuletzt danke ich meinen Freunden, die diese Zeit mit unvergesslichen Momenten, Motivation und vielen schönen Erlebnissen bereichert haben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund zunehmender Rohstoffknappheit, wachsender Abhängigkeit von kritischen Importen und der Notwendigkeit zur Ressourcenschonung im Sinne der Kreislaufwirtschaft gewinnt die Bewertung der Recyclingfähigkeit elektronischer Geräte zunehmend an Bedeutung. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Bewertung der Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen unter Anwendung eines SE-basierten Bewertungsansatzes (Statistische Entropie). Ziel war es, die produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) unterschiedlicher Mobiltelefonmodelle systematisch zu untersuchen und vergleichend darzustellen. Insgesamt wurden 37 Geräte analysiert, darunter 15 klassische Mobiltelefone, 15 ältere Smartphones sowie 7 aktuelle Smartphone-Modelle. Die Geräte wurden in mehreren Zerlegungsstufen bis hin zur Sub-Sub-Komponentenebene demontiert, um eine detaillierte Erfassung der Materialverteilung zu ermöglichen. Auf Basis dieser Daten wurden die RPR-Werte berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass klassische Mobiltelefone aufgrund ihrer einfachen Bauweise und geringeren Materialvielfalt tendenziell höhere RPR-Werte aufweisen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass auch moderne Smartphones, insbesondere solche mit modularer Bauweise wie das Fairphone, eine hohe Recyclingfähigkeit erreichen können, sofern die Produktgestaltung eine effektive Trennung der Komponenten und Materialien erlaubt. Besonders relevante Einflussfaktoren auf die Recyclingfähigkeit sind die Materialvielfalt innerhalb einzelner Komponenten sowie die Massenverteilung und Konzentration dieser Materialien.

Die Bewertung anhand statistischer Entropie ermöglicht eine differenzierte Analyse der Recyclingfähigkeit auf Grundlage des Produktdesigns und zeigt Unterschiede zwischen Gerätegruppen und Modellgenerationen auf. Dabei erwies sich eine tiefgehende Zerlegung bis auf Sub-Sub-Komponentenebene als vorteilhaft, da sie eine realitätsnähere Abbildung der inneren Materialstruktur erlaubt. Der SE-basierte Bewertungsansatz bietet somit eine geeignete Grundlage zur Identifikation von Optimierungspotenzialen im Produktdesign und leistet einen Beitrag zur Förderung kreislauffähiger Elektronikprodukte.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abstract

Against the background of increasing scarcity of raw materials, growing dependence on critical imports and the need to conserve resources in the sense of the circular economy, the assessment of the recyclability of electronic devices is becoming increasingly important. This thesis deals with the evaluation of the recyclability of cell phones using an SE-based evaluation approach (statistical entropy). The aim was to systematically investigate and compare the product-inherent recyclability (RPR) of different cell phone models. A total of 37 devices were analyzed, including 15 classic cell phones, 15 older smartphones and seven current smartphone models. The devices were dismantled in several stages down to the sub-sub-component level in order to enable a detailed recording of the material distribution. The RPR values were calculated based on this data.

The results show that classic cell phones tend to have higher RPR values due to their simple design and lower material diversity. At the same time, it became clear that modern smartphones, especially those with a modular design such as the Fairphone, can also achieve a high level of recyclability, provided the product design allows the materials to be separated effectively. Particularly relevant factors influencing recyclability are the variety of materials within individual components as well as the mass distribution and concentration of these materials.

The evaluation using statistical entropy enables a differentiated analysis of recyclability based on product design and reveals differences between appliance groups and model generations. An in-depth decomposition down to sub-sub-component level proved to be advantageous, as it allows a more realistic representation of the internal material structure. The SE-based evaluation approach thus provides a suitable basis for identifying optimization potential in product design and contributes to the promotion of recyclable electronic products.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Problemstellung 1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage 4
2 Theoretische Grundlagen 5
2.1 Recycling 5
2.1.1 Begriffsbestimmung Recycling 5
2.1.2 Bedeutung und Ziele des Recyclings 6
2.1.3 Recycling in der Kreislaufwirtschaft 8
2.1.4 Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen 10
2.2 Recyclingfähigkeit 12
2.2.1 Begriffsbestimmung von Recyclingfähigkeit 12
2.2.2 Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen 17
2.2.3 Materialzusammensetzung von Mobiltelefonen 20
2.2.4 Recyclingprozess 25
2.2.5 Herausforderungen im Recyclingprozess 30
3 Material und Methoden 33
3.1 Probematerial 33
3.2 Methodische Vorgehensweise 35
3.3 Statistische Entropie 35
3.3.1 Theoretischer Hintergrund 36
3.3.2 SE-basierter Bewertungsansatz 37
3.4 Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) 39
3.5 Quantitative Erfassung der Materialien und Komponenten 44
3.5.1 Mechanische Zerlegung der Komponenten 48
3.5.2 Analyse der Komponenten 64
4 Resultate und Diskussion 69
4.1 Datenauswertung 69
4.1.1 Materialzusammensetzung Mobiltelefon am Beispiel M11 70
4.1.2 Materialzusammensetzung Smartphone am Beispiel S10 73
4.1.3 Vergleich Materialzusammensetzung Mobiltelefon - Smartphone 76

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.1.4 Erweiterte Zerlegung und Materialanalyse am Beispiel S19 77
4.2 Berechnung und Vergleich der RPR-Werte 81
4.2.1 Vergleich der RPR-Werte der Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene 82
4.2.2 Einfluss der Zerlegungstiefe auf die RPR-Werte 85
4.2.3 Einfluss der Kategorie „Others“ auf die RPR-Bewertung 88
4.2.4 Zeitlicher Verlauf und Entwicklung des RPR im Produktdesign 92
4.3 Einflussfaktoren auf die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen 94
4.4 Entwicklung von Maßnahmen zur Erhöhung der Recyclingfähigkeit 95
4.5 Kritische Bewertung der angewandten Methodik und der Ergebnisse 98
5 Fazit 100
6 Literaturverzeichnis 102
7 Abbildungsverzeichnis 108
8 Formelverzeichnis 111
9 Tabellenverzeichnis 112
10 Abkürzungsverzeichnis 116
11 Anhang 118

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der weltweite Ressourcenverbrauch hat in den vergangenen Jahrzehnten ein historisch hohes Niveau erreicht und führt zunehmend zu ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Auch in Österreich zeigt sich diese Entwicklung deutlich. Im Jahr 2018 verzeichnete Österreich einen inländischen Materialverbrauch von etwa 19 Tonnen pro Kopf und lag damit deutlich über dem EU-28-Durchschnitt, der bei rund 14 Tonnen pro Person lag. Der österreichische Materialfußabdruck inklusive importierter Rohstoffe belief sich auf 33 Tonnen pro Kopf und lag damit ebenfalls deutlich über dem EU-Durchschnitt von 23 Tonnen (BAWP, 2023). Im 20. Jahrhundert nahm der weltweite Rohstoffverbrauch rasant zu. Besonders stark stieg die Entnahme von Baustoffen, die sich im Laufe des Jahrhunderts um das 34-fache erhöhte. Auch bei Erzen und anderen mineralischen Rohstoffen war ein deutlicher Anstieg um das 27-fache zu verzeichnen. Der Verbrauch fossiler Energieträger wuchs um das 12-fache, während sich die Nutzung von Biomasse um das 3,6-fache steigerte. Insgesamt hat sich die Ressourcennutzung in diesen vier Bereichen über das 20. Jahrhundert hinweg etwa verachtfacht (Welfens et al., 2013).

Diese Entwicklungen haben weitreichende ökologische und ökonomische Konsequenzen. Der steigende Ressourcen- und Energieverbrauch verschärft Umweltprobleme wie den Klimawandel, bedroht die Versorgungssicherheit und führt zu Preissteigerungen für knapper werdende Rohstoffe. Vor diesem Hintergrund erweist sich eine deutliche Verringerung des Rohstoff- und Energieverbrauchs als zwingend erforderlich. Eine zentrale Maßnahme stellt dabei die Steigerung der Ressourceneffizienz dar, die darauf abzielt, mit reduziertem Materialeinsatz die gleiche Produktmenge zu erzeugen. Zwar konnte die globale Ressourceneffizienz seit 1980 um den Faktor 1,6 gesteigert werden, der absolute Ressourcenverbrauch ist jedoch weiter angestiegen, da die Nachfrage nach Konsumgütern stärker wuchs als die Effizienzgewinne (Welfens et al., 2013).

Die heutige Wirtschaftsweise folgt weitgehend einem linearen Prinzip. Rohstoffe werden gewonnen, zu Produkten verarbeitet, genutzt und am Ende des Lebenszyklus

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

entsorgt. In den meisten Fällen geschieht dies durch Deponierung oder thermische Verwertung. Dabei gehen wertvolle Materialien dauerhaft verloren, selbst wenn durch die energetische Nutzung in begrenztem Umfang noch Energie zurückgewonnen wird. Dieses Modell beruht auf der Annahme einer unbegrenzten Verfügbarkeit von Ressourcen. Angesichts begrenzter Rohstoffvorkommen und weltweit steigender Nachfrage wird deutlich, dass eine derart lineare Wirtschaftsweise auf Dauer nicht aufrechterhalten werden kann (Wilts & Fink, 2016). Als nachhaltige Alternative zum linearen Modell gewinnt die Kreislaufwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Sie basiert auf den drei Leitprinzipien „Reduce“, „Reuse“ und „Recycle“, deren Ziel es ist, den Wert verwendeter Ressourcen so lange wie möglich zu erhalten, ihre Nutzungsdauer zu verlängern und Abfall möglichst zu vermeiden. In einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft gelten Abfälle nicht mehr als zu entsorgendes Material, sondern als wertvolle Ressource, die zu einem möglichst hohen Anteil erneut in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden kann (European Environment Agency, 2016). Dabei wird der gesamte Lebenszyklus eines Produkts berücksichtigt, von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Nutzung und Entsorgung bis hin zur Rückführung. Insbesondere der Abfallvermeidung wird dabei eine zentrale Rolle zugewiesen (Europäische Kommission, 2014). *Abbildung 1* veranschaulicht die zentralen Prozesse einer Kreislaufwirtschaft, in der Produkte, Bauteile und Materialien möglichst lange im Wirtschaftskreislauf verbleiben. Durch Strategien wie Wiederverwendung, Reparatur und hochwertiges Recycling soll der Ressourceneinsatz minimiert und der Lebenszyklus von Materialien effektiv verlängert werden.

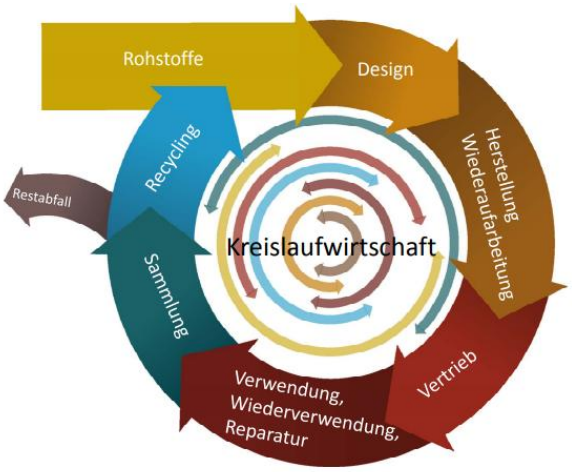


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2014)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Trotz dieser Konzepte ist der Verbrauch in der EU nach wie vor hoch. Europa verzeichnet im weltweiten Vergleich die höchsten Netto-Rohstoffimporte pro Kopf. Pro Jahr verbraucht jede Person durchschnittlich 16 Tonnen Material. Davon werden etwa 6 Tonnen zu Abfall, von denen rund die Hälfte deponiert wird. Gleichzeitig steigen die Preise für wichtige Rohstoffe, was ökonomische Risiken birgt. Studien des World Business Council for Sustainable Development zeigen, dass zur langfristigen Sicherung der Ressourcenbasis eine Steigerung der Ressourceneffizienz um den Faktor vier bis zehn notwendig ist. Eine verbesserte Wiederverwendung von Materialien, unter anderem durch „Industriesymbiose“, bei denen Unternehmen die Abfälle andere Unternehmen als Ressource nutzen, könnte in der EU jährlich bis zu 1,4 Milliarden Euro einsparen und Verkäufe im Wert von 1,6 Milliarden Euro generieren. Die konsequente Umsetzung der Kreislaufwirtschaft birgt daher nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch wirtschaftliches Potenzial. So können Abfälle als wichtige Rohstoffquelle dienen, neue Märkte erschlossen, Arbeitsplätze geschaffen und die Abhängigkeit von Importen reduziert werden. Um dies zu erreichen, sind jedoch umfassende Veränderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich, etwa durch recyclinggerechtes Produktdesign, gezielte Anreize, optimierte Sammel- und Verwertungssysteme sowie geeignete regulatorische Rahmenbedingungen (Europäische Kommission, 2011).

Laut der Europäische Kommission (2011) wurde für den Zeitraum von 2008 bis 2014 ein Anstieg der Menge an Elektro- und Elektronikaltgeräten um rund 11 % prognostiziert. Parallel dazu trägt ein anhaltend hohes Konsumniveau zu einer stetig wachsenden Nachfrage nach technischen Produkten bei. Im Jahr 2006 wurden weltweit rund 1,2 Milliarden Mobiltelefone, 297 Millionen Computer und 68 Millionen Fahrzeuge verkauft, was einem Anstieg des globalen Konsums um 28 % gegenüber 1996 entspricht (Assadourian, 2010).

Diese Entwicklungen machen deutlich, dass eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs sowie ein fundamentaler Wandel hin zu einem nachhaltigen, kreislauforientierten Wirtschaftssystem unerlässlich ist. Eine Schlüsselrolle nimmt dabei die Recyclingfähigkeit von Produkten ein, sowohl im Hinblick auf die Schonung natürlicher Ressourcen als auch im Kontext von Produktverantwortung, Versorgungssicherheit und der Schließung von Stoffkreisläufen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Zur Bewertung der Recyclingfähigkeit von Produkten wird in dieser Arbeit ein entropiebasierter Bewertungsansatz herangezogen, mit dem die relative produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) quantifiziert werden kann. Die Recyclingfähigkeit eines Produkts, ausgedrückt durch den RPR-Wert, hängt wesentlich vom Produktdesign ab. Ziel ist es, einen möglichst hohen RPR zu erzielen. Der RPR-Wert verbessert sich, wenn die Materialien in den einzelnen Bauteilen möglichst sortenrein und konzentriert vorliegen, was durch eine einfache und effektive Zerlegbarkeit des Produkts zusätzlich unterstützt wird. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der statistischen Entropie und berücksichtigt sowohl die Materialvielfalt als auch die Massenverteilung innerhalb der Produktelemente.

Auf Grundlage dieses Bewertungsansatzes wird in der vorliegenden Arbeit die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen systematisch untersucht. Im Fokus stehen dabei der Einfluss von Produktdesign, Materialzusammensetzung und Demontierbarkeit auf die stoffliche Rückführbarkeit. Vor dem Hintergrund zunehmender Anforderungen an Ressourcenschonung und der Etablierung kreislauforientierter Wirtschaftsmodelle stellt sich die zentrale Frage, wie sich die produktinhärente Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen im Verlauf der letzten Jahre entwickelt hat und inwieweit sich daraus Rückschlüsse auf ein recyclinggerechtes Produktdesign ziehen lassen. Neben dem Vergleich der RPR-Werte über verschiedene Modellgenerationen hinweg wird auch die Materialzusammensetzung klassischer Mobiltelefone und moderner Smartphones gegenübergestellt, um Unterschiede in der stofflichen Vielfalt sowie deren Einfluss auf die Recyclingfähigkeit zu untersuchen. Darüber hinaus wird analysiert, wie sich unterschiedliche Zerlegungstiefen auf die Bewertung der RPR auswirken.

Ziel ist es zudem, die Entwicklung der RPR-Werte über verschiedene Modellgenerationen hinweg darzustellen und daraus mögliche Trends im Produktdesign im Hinblick auf die Recyclingfähigkeit abzuleiten. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollen schließlich zentrale Einflussfaktoren auf die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen identifiziert und konkrete Empfehlungen zur Gestaltung recyclinggerechter Produkte formuliert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zentralen theoretischen Grundlagen vorgestellt, die für das Verständnis der Recyclingfähigkeit von Produkten, insbesondere von Mobiltelefonen, relevant sind. Zunächst werden grundlegende Aspekte des Recyclings behandelt, darunter dessen Definition, Ziele, gesetzliche Rahmenbedingungen sowie dessen Bedeutung im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Anschließend erfolgt eine vertiefende Betrachtung der Recyclingfähigkeit, insbesondere im Hinblick auf elektronische Geräte wie Mobiltelefone, unter Berücksichtigung ihrer Materialzusammensetzung, der Abläufe im Recyclingprozess und der damit verbundenen Herausforderungen.

2.1 Recycling

Ein grundlegendes Verständnis des Recyclings ist Voraussetzung, um die Recyclingfähigkeit von Produkten bewerten zu können. In diesem Abschnitt werden daher zunächst der Begriff des Recyclings sowie dessen Ziele und Bedeutung erläutert. Anschließend wird auf den Beitrag des Recyclings zur Kreislaufwirtschaft eingegangen. Darüber hinaus werden die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen thematisiert, die den Recyclingprozess maßgeblich beeinflussen.

2.1.1 Begriffsbestimmung Recycling

Um auch in Zukunft die Rohstoffversorgung in Europa und auf der Welt gewährleisten zu können, muss die Versorgung mit Sekundärrohstoffen eine zentrale Rolle einnehmen. Wiederverwendung und Recycling sind dabei entscheidende Instrumente, mit denen Abfälle in wertvolle Ressourcen umgewandelt und Rohstoffe in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können (Europäische Kommission, 2011). Die Deutsche Rohstoffagentur definiert Recycling wie folgt:

„Im engeren Sinn bedeutet Recycling die Rückführung eines Abfallstoffs in den Produktionsprozess. Dies kann für denselben oder einen anderen Verwendungszweck erfolgen, nach nur geringer oder auch stärkerer Veränderung der Stoffgestalt.“ (Deutsche Rohstoffagentur (DERA), 2011, S. 26).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Recycling bezeichnet Verfahren zur stofflichen Verwertung von Abfällen, bei denen diese so aufbereitet werden, dass sie erneut als Produkte, Materialien oder Rohstoffe genutzt werden können, um entweder die ursprünglichen oder alternativen Zwecke zu erfüllen. Eine stoffliche Verwertung erfolgt, wenn die stoffliche Beschaffenheit der Abfälle erhalten bleibt und genutzt wird. Das zentrale Ziel besteht darin, Primärrohstoffe durch recycelte Materialien zu substituieren und so Ressourcen zu schonen. Die zur Verwertung eingesetzten Altstoffe werden entweder durch die separate Sammlung und Erfassung von Abfällen aus Haushalten, Gewerbe und Industrie gewonnen oder entstehen durch die Aufbereitung der Abfälle (BAWP, 2023). Die Menge der zurückgewonnenen Sekundärrohstoffe hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von der durchschnittlichen Lebensdauer eines Produkts, die bestimmt, wann es in den Recyclingkreislauf eintritt und seine enthaltenen Rohstoffe zurückgewonnen werden können (Welfens et al., 2013). Im Jahr 2020 wurden in Österreich insgesamt rund 7,4 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle erfasst. Davon konnten etwa 4,6 Millionen Tonnen verwertet werden, was einer Recyclingquote von rund 62,3 % entspricht. Den größten Anteil machten Altstoffe mit über 3 Millionen Tonnen inkl. 17.000 Tonnen Metalle aus, gefolgt von biogenen Abfällen und Grünabfällen mit etwa 1,6 Millionen Tonnen. Zusätzlich wurden 33.000 t, das entspricht rund 0,5 %, einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt (BAWP, 2023). Die Bedeutung des Recyclings geht jedoch über die reine Rückgewinnung von Materialien hinaus. Politische Vorgaben sowie gesellschaftliche Entwicklungen rücken zunehmend ganzheitliche Ziele in den Vordergrund, wie die Schonung natürlicher Ressourcen, den Umweltschutz sowie die Förderung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

2.1.2 Bedeutung und Ziele des Recyclings

Die europäische Abfallrahmenrichtlinie legt fest, dass vorrangig jene Maßnahmen zu fördern sind, die im Hinblick auf den Umweltschutz das bestmögliche Resultat liefern. Die Vermeidung von Abfällen hat dabei oberste Priorität. Diese umfasst sowohl quantitative Maßnahmen wie die Reduktion der Abfallmenge durch Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten oder Wiederverwendung im Rahmen von Mehrwegsystemen, Second-Hand-Nutzung oder Reparaturen, als auch qualitative Aspekte, beispielsweise durch Substitution bzw. Eliminierung umweltschädlicher Substanzen. Darüber hinaus spielt die Minimierung potenziell negativer Auswirkungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

von Abfällen auf Umwelt und menschliche Gesundheit eine zentrale Rolle. Das Recycling von Produkten verfolgt das Ziel, den Lebenszyklus auch in der Entsorgungsphase zu optimieren. Im Rahmen entsprechender Verfahren können Wertstoffe zurückgewonnen werden, während schädliche Substanzen durch geeignete Verfahren, wie Abscheidung oder Filtration, umweltgerecht behandelt werden (Welfens et al., 2013). Die stoffliche Verwertung bietet gegenüber der Gewinnung und Nutzung von Primärrohstoffen ökonomische und ökologische Vorteile. Zentral ist hierbei die Substitution primärer Rohstoffe durch Sekundärmaterialien, wodurch Abhängigkeiten von Importen reduziert und natürliche Ressourcen geschont werden. Darüber hinaus führt die Nutzung von Sekundärrohstoffen in der Regel zu einem deutlich geringeren Energieverbrauch, da ihre Aufbereitung wesentlich weniger Energie erfordert als die Gewinnung und Verarbeitung von Primärmaterialien. Dies hat auch positive Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen, die im Rahmen der Primärproduktion deutlich höher ausfallen. Ein weiterer Vorteil liegt in der Verringerung der zu deponierenden Reststoffmengen, wodurch Deponien entlastet und negative Umweltauswirkungen reduziert werden (Deutsche Rohstoffagentur (DERA), 2011). Vor dem Hintergrund zunehmender geopolitischer Unsicherheiten und wachsender Rohstoffbedarfe wurde am 18. März 2024 der „Critical Raw Materials Act“ (CRMA) vom Rat der Europäischen Union verabschiedet, mit dem Ziel, die Abhängigkeit Europas von externen Rohstofflieferungen sowie die damit verbundenen Risiken zu verringern. Neben dem Ausbau der Abbaukapazitäten innerhalb Europas wurden konkrete Zielvorgaben formuliert. Demnach sollen 40 % der strategischen Rohstoffe innerhalb der Europäischen Union (EU) verarbeitet und 25 % durch Recycling gewonnen werden. Als strategisch gelten dabei jene Rohstoffe, die als besonders wichtig eingestuft werden, da sie für zentrale Industrien wie erneuerbare Energien, Digitalisierung, Verteidigung und Raumfahrt von entscheidender Bedeutung sind. Die Europäische Kommission sieht vor, dass bis zum Jahr 2030 sichergestellt wird, dass die Abhängigkeit der EU von einem einzelnen Drittland bei strategischen Rohstoffen nicht mehr als 65 % beträgt (Deutsche Rohstoffagentur (DERA), 2024; Europäische Kommission, 2023).

Insbesondere im Metallsektor trägt das Recycling maßgeblich zur Reduzierung des Versorgungsrisikos im Zusammenhang mit primären Rohstoffquellen sowie zur Stabilisierung von Metallpreisen bei. Die Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen leistet dabei nicht nur einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit, sondern wirkt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sich auch erheblich auf den Klima- und Umweltschutz aus. Das Recycling von Abfällen zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen hat sich inzwischen zu einem dynamischen Wirtschaftssektor entwickelt. Nach Angaben des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln zählt dieser Bereich zu den wachstumsstärksten Branchen in Deutschland, wobei der Umsatz zwischen 1995 und 2009 um 520 % anstieg und der Produktionswert im Jahr 2010 rund 10 Milliarden Euro erreichte. Im selben Jahr wurde ein erheblicher Anteil zentraler Industriemetalle durch Recycling gedeckt, darunter 43 % des eingesetzten Kupfers, 69 % des Bleis, 60 % des Aluminiums und 44 % des Rohstahls (Wilts et al., 2014).

Jedoch sind die Verwendungsmöglichkeiten von Sekundärrohstoffen begrenzt. Für die industrielle Nutzung spielen nicht nur die Quantität, sondern insbesondere die Qualität der Materialien eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund kann in vielen industriellen Prozessen lediglich ein begrenzter Anteil an Sekundärrohstoffen eingesetzt werden. Auch die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen ist limitiert. Die potenziell rückführbare Menge hängt maßgeblich von der durchschnittlichen Lebensdauer der Produkte ab, in denen die Rohstoffe enthalten sind, was wiederum die Dauer des Rückführungsprozesses bestimmt. Darüber hinaus wird die tatsächlich nutzbare Menge eines Sekundärrohstoffs durch weitere Faktoren beeinflusst, insbesondere durch die Sammelquote, stoffliche Verluste während der Aufbereitung sowie durch die grundsätzliche Recyclingfähigkeit der jeweiligen Produkte (Deutsche Rohstoffagentur (DERA), 2011).

Die dargestellten Ziele des Recyclings verdeutlichen, dass es sich dabei nicht nur um ein Instrument der Abfallverwertung handelt. Vielmehr stellt Recycling einen essenziellen Beitrag zur Ressourcensicherung, zur Reduktion ökologischer Belastungen und zur Stärkung der Versorgungssicherheit dar. Um diese Ziele zu erreichen, muss Recycling als Teil eines umfassenderen Ansatzes verstanden und in Konzepte wie die Kreislaufwirtschaft eingebunden werden.

2.1.3 Recycling in der Kreislaufwirtschaft

In der Vergangenheit konzentrierte sich die Abfallwirtschaft vor allem auf die Rückgewinnung von Massenmetallen sowie auf die Entsorgung von Haushaltsabfällen, häufig durch energetische Verwertung. Regulatorische Maßnahmen wie die Verpackungsverordnung oder das Elektro- und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Elektronikgerätegesetz waren wichtige Schritte, um von einer linearen Abfallwirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft überzugehen. Bis zum Jahr 2030 soll die Zirkularitätsrate in Österreich, die im Jahr 2020 bei 12 % lag, auf 18 % steigen. Dies bedeutet, dass 18 % der eingesetzten Materialressourcen aus Rückführung und Wiederverwendung stammen sollen. Dieses Ziel soll durch eine Reduktion des Materialverbrauchs um etwa 20 % sowie eine Erhöhung der Recyclingquote um etwa 10 % im Vergleich zu 2020 erreicht werden. Die Kreislaufwirtschaft trägt wesentlich zur nachhaltigen Ressourcennutzung bei, indem sie die Lebensdauer von Materialien und Produkten verlängert. Zu den relevanten Maßnahmen zählen unter anderem nachhaltiges Produktdesign, Produkt-Dienstleistungs-Systeme (z. B. Leasingmodelle, Wartungs- und Rücknahmeangebote) oder sowie der verstärkte Einsatz von Sekundärrohstoffen. Aktuell werden ohne Berücksichtigung von Aushubmaterialien in Österreich mehr als 66 % der Abfälle recycelt, während rund 9 % deponiert werden (BAWP, 2023).

Für die Wettbewerbsfähigkeit von Sekundärrohstoffen sind insbesondere die Qualität und Wirtschaftlichkeit des Recyclings entscheidend. Die zunehmende Komplexität moderner Produkte stellt dabei eine erhebliche Herausforderung dar. Besonders in Sektoren wie der Informations- und Kommunikationstechnologie, der Automobilindustrie sowie im Bauwesen stellen die wachsende Materialvielfalt und gleichzeitig geringere Konzentration bestimmter Rohstoffe erhebliche Hindernisse für eine effiziente Rückgewinnung dar (BAWP, 2023). Damit Recycling einen substanziellen Beitrag zur Rohstoffversorgung leisten kann, ist es erforderlich, dass Materialien nach Ende der Produktlebensdauer in qualitativ hochwertiger Form in neue Produkte überführt werden. Dies setzt physisch geschlossene Stoffkreisläufe voraus. Recyclingquoten sollten daher nicht ausschließlich auf die Output Mengen oder Zwischenprodukte innerhalb der Recyclingkette bezogen werden. Vielmehr muss erfasst werden, welcher Anteil des Outputs tatsächlich als hochwertiger Rohstoff wiederverwendet wird.

Das Konzept des Downcyclings, das die Rückführung von Materialien in minderwertiger Qualität beschreibt, verdeutlicht, dass eine rein quantitative Betrachtung des Recyclings ohne Berücksichtigung qualitativer Aspekte einen trügerischen Recyclingerfolg suggerieren kann, jedoch nicht zur tatsächlichen Substitution von Primärrohstoffen beiträgt. Um einer qualitativen Abwertung von Stoffen vorzubeugen, ist der Einsatz spezialisierter Aufbereitungsanlagen erforderlich,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die komplexe Produkte in ihre einzelnen Materialfraktionen zerlegen und so deren weitere stoffliche Verwertung ermöglichen. Auch eine gezielte Vorsortierung nach Hauptproduktgruppen sowie eine hohe betriebliche Effizienz der Anlagen sind entscheidend. Ein zentraler Einflussfaktor ist das Produktdesign, das den Zugang zu relevanten Komponenten, wie Batterien oder Leiterplatten, erleichtern sollte, um eine effiziente Demontage und stoffliche Rückgewinnung zu ermöglichen.

Auch bei einem idealen Kreislaufsystem wird der Einsatz von Primärrohstoffen jedoch nicht vollständig vermieden werden können. Unvermeidbare Verluste, etwa durch Dissipation oder thermodynamische Grenzen, sowie ein wachsender Rohstoffbedarf infolge technologischer Innovationen und Marktwachstum machen den ergänzenden Einsatz primärer Ressourcen weiterhin erforderlich. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig, den Anteil an Recyclingrohstoffen kontinuierlich zu steigern, während die Gewinnung von Primärrohstoffen zunehmend umwelt-, klima- und sozialverträglich gestaltet werden muss (Hagelüken et al., 2023).

2.1.4 Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen

Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen bilden die Grundlage für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft. Sie definieren Anforderungen, schaffen Anreize und setzen verbindliche Standards für das Recycling von Produkten und Materialien. Der am 11. Dezember 2019 von der Europäischen Kommission vorgestellte Europäische Green Deal stellt den zentralen politischen Rahmen für eine nachhaltige Neuausrichtung der europäischen Wirtschaft dar. Dieser umfasst weitreichende Maßnahmen zur Förderung von Nachhaltigkeit und zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft innerhalb der Europäischen Union. Der European Green Deal hat das Ziel, die Europäische Union in eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaftsweise zu überführen, die zugleich wettbewerbsfähig ist und wirtschaftliches Wachstum von der Nutzung natürlicher Ressourcen entkoppelt. Der Green Deal bildet die strategische Grundlage für eine Vielzahl politischer Initiativen und Maßnahmenpläne, in denen konkrete Zielsetzungen festgelegt sind. Ein zentrales Element ist dabei der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, den die Europäische Kommission am 11. März 2020 verabschiedet hat. Dieser Aktionsplan soll maßgeblich zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 beitragen. Ziel des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft ist es, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern und sie durch Wiederverwendung, Reparatur und Recycling so lange wie möglich im

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Wirtschaftskreislauf zu halten. Der Aktionsplan legt den Schwerpunkt auf eine nachhaltige Produktgestaltung, unterstützt den Ausbau der Kreislaufwirtschaft, fördert verantwortungsbewussten Konsum und zielt darauf ab, Abfall zu vermeiden sowie Ressourcen möglichst lange im Wirtschaftskreislauf der EU zu halten (BAWP, 2023).

Ein weiterer wichtiger rechtlicher Rahmen ist die Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG, die grundlegende Anforderungen für das Abfallmanagement innerhalb der EU definiert. Sie legt eine Abfallhierarchie fest und fordert die Umsetzung von Recyclingquoten, um die Ressourceneffizienz zu steigern und Abfallverwertung zu optimieren. Diese Vorgaben unterstützen die Kreislaufwirtschaft und tragen zur Reduktion von Umweltbelastungen und einer nachhaltigeren Rohstoffnutzung bei, was mit den Zielen des Green Deals und des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft übereinstimmt (BAWP, 2023).

Ein weiteres zentrales Element der europäischen Abfallpolitik betrifft den Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten. Im Jahr 2002 wurden auf europäischer Ebene zwei grundlegende Richtlinien verabschiedet: die Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie) sowie die Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS-Richtlinie). Ziel dieser Regelwerke war es, den steigenden Mengen an Elektronikschrott entgegenzuwirken und zugleich die Verwendung umwelt- und gesundheitsgefährdender Stoffe zu regulieren. Im Zuge der Weiterentwicklung europäischer Umweltstandards wurden beide Richtlinien überarbeitet und durch die Richtlinie 2011/65/EU (RoHS II) sowie die Richtlinie 2012/19/EU (WEEE II) ersetzt. Die überarbeitete WEEE-Richtlinie verfolgt insbesondere das Ziel, die Entstehung von Elektro- und Elektronikabfällen möglichst zu vermeiden bzw. zu verringern. Im Fokus steht dabei die Verlängerung der Produktlebensdauer durch gezielte Maßnahmen wie Wiederverwendung, Reparatur, Recycling und andere Verwertungsverfahren. Dadurch sollen nicht nur negative Umweltauswirkungen minimiert, sondern auch die Ressourceneffizienz gesteigert und die Rückgewinnung wertvoller Materialien sichergestellt werden (BAWP, 2023; Europäische Union, 2012).

Vor diesem Hintergrund hat die Europäische Kommission die Verordnung 2024/1781 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte entwickelt, die die frühere Verordnung 2009/125/EG ablöst. Diese Verordnung basiert auf den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und umfasst wesentliche Nachhaltigkeitsaspekte wie

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Haltbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Nachrüstbarkeit und Reparierbarkeit. Zudem umfasst die Verordnung die Reduktion des Einsatzes besorgniserregender Stoffe, die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz, die Erhöhung des Rezyklatanteils in Produkten, die Förderung der Wiederaufbereitung sowie die Sicherstellung eines hochwertigen Recyclings. Zudem wird ein besonderer Fokus auf die Verringerung des CO_2-Fußabdrucks und des ökologischen Fußabdrucks gelegt. Durch die Förderung der Langlebigkeit von Materialien und die Maximierung des Produktwerts über dessen gesamte Lebensdauer, sowie die verstärkte Verwendung von Rezyklatanteilen, soll diese Strategie dazu beitragen, das wirtschaftliche Wachstum von der Nutzung natürlicher Ressourcen zu entkoppeln und die Abhängigkeit von primären Rohstoffen zu reduzieren (Europäische Union, 2024).

2.2 Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit von Produkten stellt ein zentrales Element der Kreislaufwirtschaft dar, da sie unmittelbar mit der Wiederverwertung von Materialien und der Schonung natürlicher Ressourcen verknüpft ist. Eine produktgerechte Gestaltung, die eine effiziente stoffliche Verwertung am Ende des Lebenszyklus ermöglicht, ist entscheidend für die Reduktion des Abfallaufkommens und eine nachhaltige Ressourcennutzung.

Dieser Abschnitt widmet sich zunächst der Begriffsbestimmung der Recyclingfähigkeit, um die grundlegenden Konzepte zu verdeutlichen. Darauf folgt eine detaillierte Betrachtung der Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen, wobei auch deren Materialzusammensetzung berücksichtigt wird. Anschließend wird der spezifische Recyclingprozess erläutert, bevor abschließend die damit verbundenen Herausforderungen betrachtet werden.

2.2.1 Begriffsbestimmung von Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit eines Produkts beschreibt die Möglichkeit, es am Ende ihrer Lebensdauer einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Grundlage für deren Bewertung sind sowohl die materialtechnische Beschaffenheit des Produkts als auch die vorhandenen regionalen Verwertungs- und Entsorgungswege (Pomberger, 2021). Ein zentrales Problem im Zusammenhang mit der Recyclingfähigkeit vieler Produkte besteht darin, dass sie primär im Hinblick auf Funktionalität und Lebensdauer

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

entwickelt werden. Aspekte der Wiederverwertbarkeit werden im Produktdesign hingegen häufig nur unzureichend berücksichtigt (Martens & Goldmann, 2016). Damit ein Produkt als recyclingfähig gilt, muss es in bestehende Sammel- und Verwertungssysteme integriert werden können. Dies setzt voraus, dass die verwendeten Materialien durch aktuelle technische Prozesse erkannt, sortiert und wiederaufbereitet werden können. Zudem müssen die daraus gewonnenen Sekundärrohstoffe qualitativ geeignet sein, um Primärmaterialien zu substituieren (Wimmer & Pavlovic, 2020). Zur systematischen Bewertung der Recyclingfähigkeit definiert Pomberger (2021) ein dreistufiges Modell, das zwischen theoretischer, technischer und realer Recyclingfähigkeit unterscheidet:

1) **Theoretische Recyclingfähigkeit:**
   Diese Stufe beschreibt die grundsätzliche Eignung eines Werkstoffs zur stofflichen Verwertung auf Basis seiner Materialeigenschaften. Sie berücksichtigt das Material im ursprünglichen, unbeeinträchtigten Zustand und unabhängig von Verschmutzungen, Nutzungsspuren oder regionalen Gegebenheiten.
2) **Technische Recyclingfähigkeit:**
   In dieser Stufe wird geprüft, ob ein Produkt in bestehenden technischen Prozessen erkannt, sortiert und verarbeitet werden kann. Dabei spielen unter anderem die Leistungsfähigkeit von Sortieranlagen und Sensorik sowie die Verfügbarkeit geeigneter Recyclingverfahren eine zentrale Rolle. Zusätzlich wird überprüft, ob bestehende Recyclingverfahren vorhanden sind und effektiv eingesetzt werden können.
3) **Reale Recyclingfähigkeit:**
   Diese Stufe umfasst die tatsächliche Verwertbarkeit eines Produktes innerhalb vorhandener regionaler Abfall- und Verwertungssysteme. Sie bewertet, ob ein Produkt unter realen Bedingungen erfasst, aufbereitet, vermarktet und als Sekundärrohstoff verwertet werden kann. Entscheidende Faktoren sind hierbei die bestehende Infrastruktur, verfügbare Märkte für Sekundärrohstoffe sowie rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

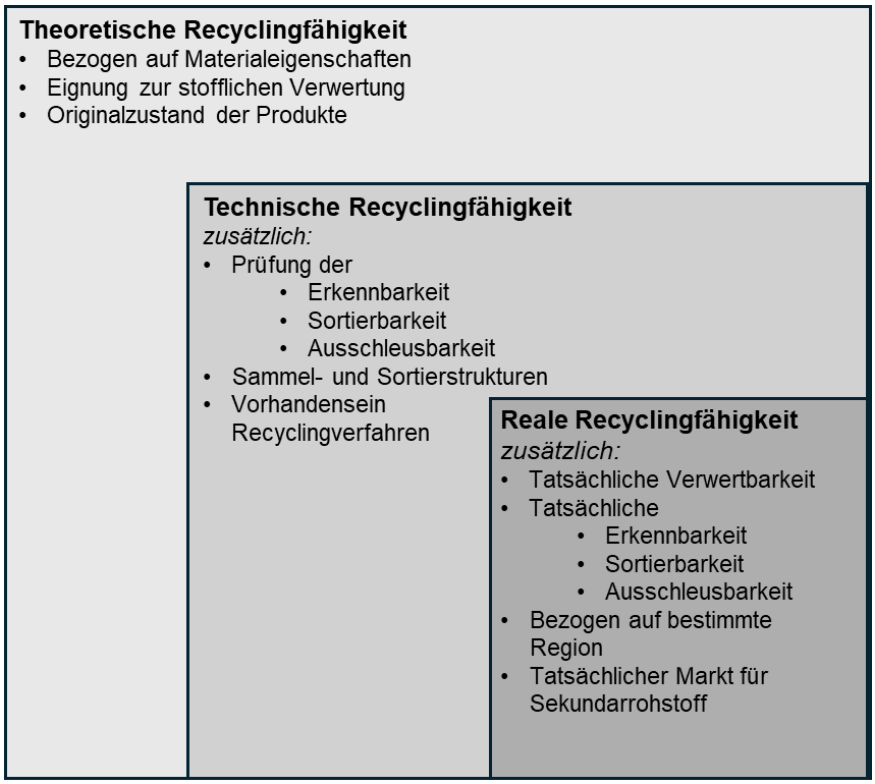


Abbildung 2: Stufenmodell der Recyclingfähigkeit (Eigene Darstellung)

Obwohl viele Produkte theoretisch recyclingfähig sind, fehlen in der Praxis häufig die notwendigen technischen oder infrastrukturellen Voraussetzungen, um eine Verwertung zu ermöglichen. So kann ein Produkt trotz hoher theoretischer Recyclingfähigkeit weder technisch noch real recyclingfähig sein. Selbst wenn ein Produkt eine hohe theoretische und technische Recyclingfähigkeit aufweist, beispielsweise durch ein recyclinggerechtes Design, gute Sortierbarkeit und bestehende Verwertungstechnologien, kann die tatsächliche Recyclingquote dennoch ausbleiben, wenn in der betreffenden Region geeignete Sammel- und Rücknahmestrukturen fehlen. Dies verdeutlicht die Abhängigkeit der Recyclingfähigkeit von regionalen infrastrukturellen Gegebenheiten und funktionierenden Sammelsystemen. Die europäische Gesetzgebung betont daher die Bedeutung einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen der produzierenden Industrie und der Abfallwirtschaft (Pomberger, 2021).

Die ECR Austria beschäftigt sich mit der Recyclingfähigkeit von Verpackungen und unterscheidet dabei, ähnlich wie Pomberger, (2021), zwischen der technischen Recyclingfähigkeit, der tatsächlichen Recyclingfähigkeit (hier auch als Recyclingquote definiert) und der theoretischen Recyclingfähigkeit (hier auch als Recyclingpotenzial definiert). Die technische Recyclingfähigkeit hängt von den im Land vorhandenen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Sammel- und Sortierstrukturen sowie vom Stand der Technik der Sortierung ab. Darüber hinaus muss das Material in einem Recyclingprozess zu Rezyklat verarbeitet werden können, das anschließend als Ersatz für Primärmaterialien in den Markt zurückgeführt werden können muss. Die theoretische Recyclingfähigkeit wird hingegen unabhängig von den vorhandenen Sammel- und Verwertungssystemen bewertet. Sie berücksichtigt ausschließlich die Eigenschaften des Materials und blendet sowohl regionale Infrastrukturen als auch Marktpotenziale für das entstehende Rezyklat aus. Die tatsächliche Recyclingfähigkeit wird als das Verhältnis zwischen der Menge der in Verkehr gebrachten Materialien und der Menge des dem Recycling zugeführten Materials definiert. Zur Bestimmung der technischen Recyclingfähigkeit wird der Massenanteil der einzelnen Materialien innerhalb einer Verpackungseinheit ins Verhältnis zur Gesamtmasse gesetzt. Auf dieser Grundlage erfolgt eine Einstufung in fünf Kategorien die von Stufe A (Recyclingfähigkeit ≥ 95 %) bis Stufe E (Recyclingfähigkeit < 70 %) reichen (Tacker & Apprich, 2021).

Das Institut cyclos-HTP (2015) bezeichnet die Recyclingfähigkeit als eine spezifische Eigenschaft eines Produktes, die als messbare Kennzahl betrachtet werden kann. Sie reflektiert die Verantwortung des Herstellers für eine nachhaltige Gestaltung, Entwicklung und späteren Verwertung von Produkten. Für die Bewertung der Recyclingfähigkeit berücksichtigt das Institut zwei wesentliche Parameter. Zum einen die Zusammensetzung des Produkts und zum anderen die tatsächlichen Verwertungswege, die nach der Nutzung des Produkts erfolgen. Die Überprüfung der Recyclingfähigkeit von Produkten ermöglicht es, wertvolle Informationen zur Produktoptimierung zu gewinnen. Die systematische Überprüfung der Recyclingfähigkeit liefert wertvolle Hinweise zur Optimierung der Produktgestaltung und stellt eine zentrale Umweltanforderung in nachhaltigen Produktions- und Konsumprozessen dar (Martens & Goldmann, 2016).

Laut Martens & Goldmann (2016) beeinflussen verschiedene Produkteigenschaften die Recyclingfähigkeit. Dazu zählen unter anderem

- eine demontagegerechte Struktur,
- die Zerlegbarkeit in Werkstoffgruppen,
- die Anzahl und Vielfalt der eingesetzten Materialien
- die Recyclingverträglichkeit verbundener Werkstoffe
- sowie das Fehlen gefährlicher Inhaltsstoffe.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Diese Merkmale beeinflussen sowohl die Qualität der zurückgewonnenen Sekundärrohstoffe als auch die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses. Eine recyclinggerechte und umweltfreundliche Produktgestaltung ist daher von großer Bedeutung, um sowohl die Effizienz als auch die Nachhaltigkeit von Recyclingprozessen zu maximieren (Martens & Goldmann, 2016).

In diesem Zusammenhang stellt das Produktdesign einen entscheidenden Faktor für die erfolgreiche Umsetzung der Kreislaufwirtschaft dar, da es maßgeblich die Recyclingfähigkeit eines Produkts beeinflusst. Ein recyclingfreundliches und abfallvermeidendes Design trägt nicht nur zur Verlängerung der Lebensdauer von Produkten bei, sondern erleichtert auch Reparaturen sowie die Rückgewinnung von Materialien und Komponenten. Durch ein verbessertes Produktdesign können Produkte langlebiger gestaltet und gleichzeitig einfacher repariert, aufgewertet oder wiederhergestellt werden. Dies trägt zur Unterstützung von Recyclingunternehmen bei, indem es die Demontage von Produkten vereinfacht und die Rückgewinnung wertvoller Materialien und Komponenten ermöglicht.

Im Hinblick auf das Produktdesign lassen sich zwei grundlegende Recyclingstrategien unterscheiden, das Komponentenrecycling und das Materialrecycling. Beide Ansätze verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen und stellen jeweils spezifische Anforderungen an die Produktgestaltung. Beim Komponentenrecycling steht die Wieder- und Weiterverwendung einzelner Bauteile im Vordergrund, wobei die stoffliche Zusammensetzung der Teile weniger relevant ist. Der Fokus liegt auf der funktionalen Wiederverwertung der Bauteile als ganze Einheiten. Um dies zu ermöglichen, sind ein modularer Aufbau und standardisierte Bauteile wichtig, ebenso wie eine demontagegerechte Struktur und geeignete Verbindungstechniken, um eine zerstörungsfreie Demontage zu ermöglichen. Die Verantwortung für die Umsetzung dieser Anforderungen liegt vor allem beim Produkthersteller, da die Voraussetzungen für eine effiziente Wiederverwendung bereits im Designprozess geschaffen werden. Demgegenüber steht beim Materialrecycling die Rückgewinnung von Materialien im Vordergrund, wobei die stoffliche Zusammensetzung eine zentrale Rolle spielt. Es erfordert die Zerlegung des Produkts in unterschiedliche Materialkomponenten, was nur durch ein Produktdesign möglich ist, das eine effiziente Trennung der Materialien für das Recycling sicherstellt (Martens & Goldmann, 2016).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.2.2 Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen

Aufgrund ihrer komplexen Materialzusammensetzung und der schwierigen Trennbarkeit einzelner Komponenten stellen Mobiltelefone ein herausforderndes Beispiel dar, das die Bedeutung eines durchdachten Produktdesigns für ein effizientes Recycling verdeutlicht.

In der modernen, hochtechnisierten Dienstleistungsgesellschaft lassen sich insbesondere bei Elektrogeräten wie Mobiltelefonen zwei wesentliche Umweltauswirkungen beobachten. Zum einen nimmt aufgrund der hohen Innovationsgeschwindigkeit die Anzahl der produzierten Geräte kontinuierlich zu, zum anderen verkürzt sich die tatsächliche Nutzungsdauer dieser Produkte. Dies führt dazu, dass die tatsächliche Nutzungsdauer der Geräte oftmals kürzer ausfällt als deren technische Lebensdauer. Insbesondere in der Elektro- und Elektronikindustrie zeigen sich diese Problematiken in einem signifikanten Anstieg des Abfallaufkommens von Elektro- und Elektronikaltgeräten mit weitreichenden ökologischen und gesellschaftlichen Folgen (Prakash et al., 2016).

Ein besonders deutlicher Trend zeigt sich im Smartphone-Markt, dessen Wachstum die Problematik der verkürzten Nutzungsdauer verstärkt. Im Jahr 2024 wird weltweit mit etwa 1,24 Milliarden verkauften Smartphones gerechnet, was einen Anstieg von etwa 6,4 % im Vergleich zum Vorjahr darstellt (Statista, 2025). Hierbei sehen sich die bisherigen Marktführer Apple und Samsung chinesischen Herstellern wie Xiaomi zunehmend in Konkurrenz. Zudem wird die Zahl der Mobilfunkanschlüsse Ende 2024 weltweit auf etwa 9,14 Milliarden geschätzt, was einen Anstieg von 3,3 % im Vergleich zum Vorjahr bedeutet. Besonders in Asien und Afrika wächst die Zahl der Anschlüsse, während in Europa sowie in Nord- und Lateinamerika ein geringerer Wachstum zu verzeichnen ist (Statista, 2024b). In Österreich wurden 2023 etwa 11,1 Millionen Mobilfunkanschlüsse verzeichnet (Statista, 2024a).

Zwischen 2012 und 2015 stieg der Anteil der Smartphone-Nutzer in Deutschland von 36 % auf 65 % (Lutter et al., 2015). Im Durchschnitt werden Handys zwischen 18 und 24 Monaten genutzt, obwohl sie technisch noch funktionsfähig sind (BAWP, 2023). Laut einer Umfrage von Stiftung Warentest aus dem Jahr 2013 gaben Testpersonen an, dass der Hauptgrund für einen Handywechsel der Wunsch nach einem besseren Gerät sei. 68 % der Befragten gaben an, ihr Handy innerhalb von drei Jahren zu

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

wechseln. Davon wollten 40 % auf ein noch besseres Gerät umsteigen, während 28 % aufgrund ihres Vertrags regelmäßig ein neues Gerät erhielten. Ein häufig genannter Grund für einen Handywechsel ist ein nachlassender Akku. Besonders problematisch sind Akkus, die nicht vom Nutzer selbst gewechselt werden können oder Akkus mit geringer Qualität und Leistung. In einem Test von Stiftung Warentest aus dem Jahr 2014 enthielten 7 von 20 getesteten Smartphones fest verbaute Akkus, wobei vier Modelle in Bezug auf die Akkuqualität lediglich mit „befriedigend“ bewertet wurden (Stiftung Warentest, 2014, zitiert in Prakash et al., 2016). Diese wachsende Nachfrage nach Smartphones und Mobilfunkanschlüssen verschärft die Problematik des Abfallaufkommens von Elektroaltgeräten und verstärkt die ökologischen Herausforderungen.

Der Lebenszyklus von Handys bringt insbesondere die Entsorgung erhebliche Probleme für die Ressourceneffizienz mit sich. Häufig werden Handys aus Bequemlichkeit entweder unsachgemäß im Hausmüll oder gar nicht entsorgt, was zu einer energetischen anstelle einer stofflichen Verwertung führt. Dies verhindert die Wiederverwertung von wertvollen Rohstoffen wie Metallen und selteneren Materialien und führt zu einer ineffizienten Nutzung von Ressourcen. Besonders im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) gestaltet sich das Recycling von Elektrogeräten als herausfordernd, da die verwendeten Metalle häufig stark verteilt in einzelnen Bauteilen vorliegen und die zunehmende Miniaturisierung der Produkte eine effiziente Rückgewinnung zusätzlich erschwert. Dadurch wird die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe erschwert, da diese oft nur in geringen Mengen und in komplexen Materialverbunden enthalten sind.

Da Sammelsysteme ein entscheidender Faktor für die Recyclingfähigkeit sind, ist die getrennte Sammlung von Handys besonders wichtig. In Österreich stehen verschiedene Annahmestellen zur Verfügung, an denen Altgeräte abgegeben werden können. Dort werden sie zunächst sortiert und anschließend entweder aufbereitet und wiederverwendet oder dem Recyclingprozess zugeführt. Bei kommunalen Entsorgungsstellen oder gewerblichen Annahmestellen, etwa an Recyclinghöfen, können alte Handys abgegeben werden. Zudem bietet der Handel mit in Handy-Shops oder Supermärkten zur Verfügung gestellten Sammelboxen eine weitere Möglichkeit zur Rückgabe. Einige Handy-Hersteller und Mobilfunkanbieter ermöglichen es zudem, alte Geräte einzusenden und bieten dafür teilweise einen Bonus als Anreiz. In

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Österreich wird die Sammlung von Mobiltelefonen nicht separat erfasst, sondern als Teil der allgemeinen Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG). Diese werden in verschiedene Gerätekategorien eingeteilt, darunter Großgeräte, Kleingeräte und kleine Telekommunikationsgeräte. Im Jahr 2020 wurden insgesamt 139.966 Tonnen EAG gesammelt. Die seit 2020 vorgeschriebene Mindestquote von 65 % des durchschnittlichen Gerätegewichts der in den drei Jahren zuvor verkauften Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) wurde im Jahr 2020 mit einer tatsächlichen Erfassungsquote von 62 % verfehlt, da etwa 23.000 Tonnen EAG über den Restmüll entsorgt wurden.

Das Recycling von IKT-Geräten erfordert einen hohen manuellen Aufwand, da diese aufgrund ihrer komplexen Konstruktion und der Verwendung verschiedener Verbindungstechniken schwer zu zerlegen sind. Bei der manuellen Demontage von IKT-Geräten liegt der Fokus meist auf dem Ausbau wiederverwendbarer Bauteile sowie auf der Entfernung schadstoffhaltiger Komponenten. Die weitere Trennung der Materialien erfolgt anschließend durch automatisierte Verfahren zur Zerkleinerung und Sortierung, um verwertbare Rohstoffe zurückzugewinnen. Mit der Einführung der Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO) im Jahr 2020 wurde die Sammlung und Verwertung von Elektroaltgeräten systematisch geregelt. Seither wurden über Haushaltsentsorgungssysteme rund 1,28 Millionen Tonnen Altgeräte erfasst und zur weiteren Behandlung an spezialisierte Betriebe übergeben. Dadurch konnten bedeutende Mengen an Rohstoffen zurückgewonnen und wieder in den Wirtschaftskreislauf integriert werden, darunter etwa 440.000 Tonnen Eisen, 145.000 Tonnen Kupfer, 64.000 Tonnen Aluminium, 284.000 Tonnen Kunststoffe, 170.000 Tonnen Glas sowie 3,6 Tonnen Gold. Neben der erheblichen Einsparung an Ressourcen führt das Recycling dieser EAG zu einer geschätzten Energieeinsparung von rund 23 Millionen GJ sowie einer Reduktion der CO_2-Emissionen um etwa 1,45 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente. Darüber hinaus trägt die gezielte Entfernung schadstoffhaltiger Bestandteile, wie beispielsweise Schwermetalle, wesentlich zur Umweltentlastung bei. Diese Effekte verdeutlichen die Bedeutung einer getrennten Sammlung von EAG und unterstreichen deren positiven Beitrag zur Kreislaufwirtschaft (BAWP, 2023).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.2.3 Materialzusammensetzung von Mobiltelefonen

Nachdem die Herausforderungen im Recycling von Mobiltelefonen in Bezug auf ihre Nutzung und Entsorgung aufgezeigt wurden, wird nun die Materialzusammensetzung der Geräte näher untersucht. Die Produktion von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), insbesondere von Mobiltelefonen, ist mit einem erheblichen Verbrauch wertvoller Rohstoffe verbunden. Für die Herstellung der im Jahre 2007 verkauften Menge an Mobiltelefonen wurden rund 3 % des weltweit im Bergbau gewonnenen Goldes und Silbers, etwa 13 % des geförderten Palladiums und ca. 15 % der Kobaltproduktion benötigt. Die damit verbundene Primärgewinnung von Edel- und Spezialmetallen hat erhebliche ökologische Auswirkungen. Da diese Metalle meist aus Erzen mit sehr geringen Konzentrationen gewonnen werden, ist der Abbau mit einem hohen Energieaufwand sowie einem erheblichen Flächenbedarf verbunden. Zudem kommt es zur Freisetzung verunreinigter Abwässer und Schwefeldioxid (SO_2), was mit zusätzlichen negativen Umweltauswirkungen einhergeht. Besonders gravierend sind jedoch die entstehenden Treibhausgasemissionen. Für die Gewinnung von einer Tonne Gold, Platin oder Palladium fallen im Durchschnitt zwischen 10.000 und 17.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid (CO_2) an. Angesichts eines jährlichen Bedarfs an Gold von rund 300 Tonnen allein in der Elektro- und Elektronikindustrie ergibt sich daraus ein geschätzter CO_2-Ausstoß von etwa 5,1 Mio. Tonnen. Trotz der vergleichsweisen niedrigen Emissionen von 3,4 Tonnen CO_2 pro Tonne Kupfer führt der große Bedarf in der Elektronikindustrie zu einem jährlichen CO_2-Ausstoß von rund 15,3 Mio. Tonnen. Insgesamt beläuft sich der CO_2-Ausstoß durch die Primärmetallproduktion von Kupfer, Edelmetallen (z. B. Gold, Silber, Platin) sowie technologisch relevanten Spezialmetallen wie Kobalt und Indium für die Elektronikindustrie auf rund 23,4 Mio. Tonnen pro Jahr (Schluep et al., 2009).

Historisch betrachtet ist der CO_2-Ausstoß des IKT-Sektors kontinuierlich, etwa parallel zum globalen Emissionswachstum, angestiegen. Zwischen 2002 und 2012 wuchs der CO_2-Fußabdruck der IKT um rund 40 %. Für das Jahr 2020 wird der Anteil des IKT-Sektors an den globalen Treibhausgasemissionen auf 1,8 % bis 2,8 % geschätzt (Freitag et al., 2021). Zum Vergleich lag der Anteil des Flugverkehrs an den weltweiten CO_2-Emissionen in den Jahren vor 2020 bei etwa 2,4 % bis 2,5 % (Ritchie, 2024).

Betrachtet man jedoch nicht nur die direkten Emissionen aus der Produktion, sondern den gesamten Lebenszyklus eines Mobiltelefons, einschließlich Rohstoffgewinnung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Herstellung, Nutzung sowie Entsorgung bzw. Recycling, zeigt sich, dass der tatsächliche Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Umweltwirkungen deutlich höher liegen. Der sogenannte ökologische Rucksack macht diese versteckten Umweltbelastungen sichtbar. Der ökologische Rucksack eines Produkts beschreibt die gesamte Menge an Ressourcen, die während des gesamten Lebenszyklus benötigt werden. Der Lebenszyklus eines Mobiltelefons lässt sich in vier wesentliche Phasen gliedern: Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und anschließende Entsorgung. Die Rohstoffgewinnung umfasst die Gewinnung und Verarbeitung von Metallen, die Rohöl- und Kunststoffproduktion sowie alle damit verbundenen Transporte. In der Produktionsphase werden die einzelnen Komponenten gefertigt, das Gerät zusammengebaut, verpackt und für den Vertrieb transportiert. Die Nutzungsphase beinhaltet nicht nur die eigentliche Verwendung des Mobiltelefons, wie Telefonieren, Surfen oder Spielen, sondern auch den Zugang zum Mobilfunknetz, den Energieverbrauch, mögliche Reparaturen sowie Wege zum Handel. Die Entsorgungsphase umfasst den Umgang mit dem Gerät nach der Nutzung, einschließlich Lagerung in Haushalten, Weitergabe, Wiederverkauf, Recycling sowie falscher Entsorgung über den Hausmüll. *Abbildung 3* veranschaulicht die vier Lebensphasen eines Mobiltelefons im Rahmen seines gesamten Lebenszyklus. Je größer der Materialaufwand, desto höher sind meist Energieverbrauch, Emissionen und ökologische Schäden. Ein Mobiltelefon mit einem Eigengewicht von lediglich 80 Gramm weist einen ökologischen Rucksack von rund 75,3 Kilogramm auf, wobei der Großteil auf die Rohstoffgewinnung und Herstellung entfällt (Welfens et al., 2013). Eine Übersicht über die Anteile der einzelnen Lebensphasen ist *Abbildung 4* zu entnehmen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

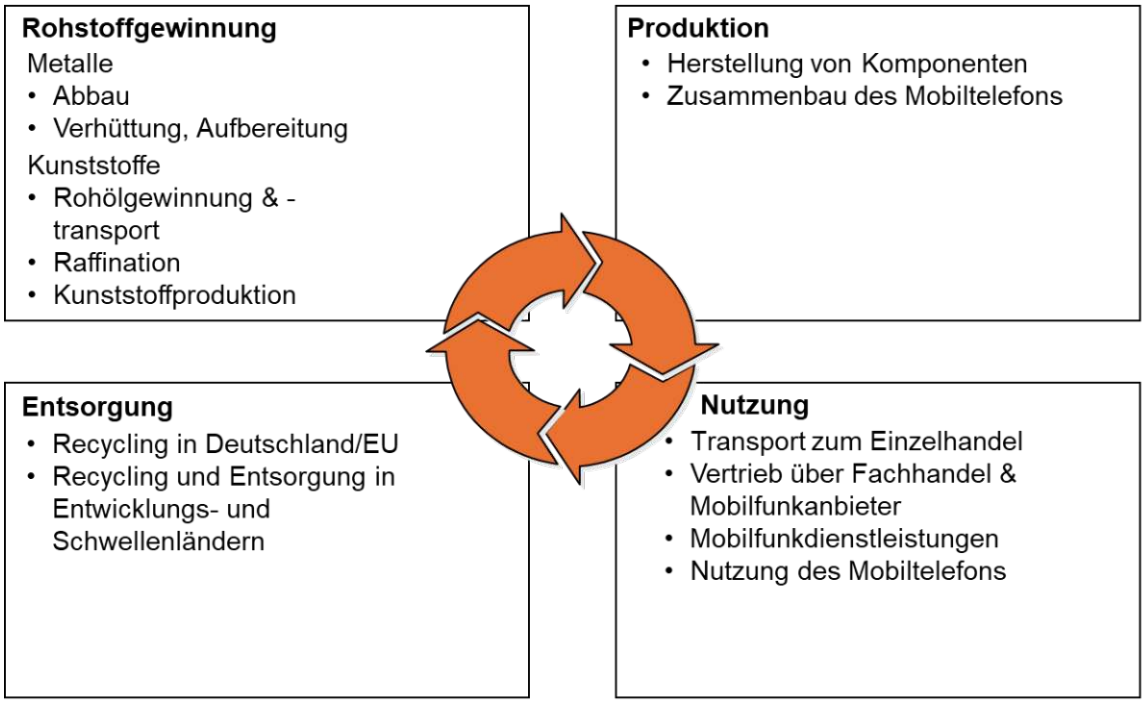


Abbildung 3: Lebenszyklusphasen eines Mobiltelefons (Eigene Darstellung nach Welfens et al., 2013)

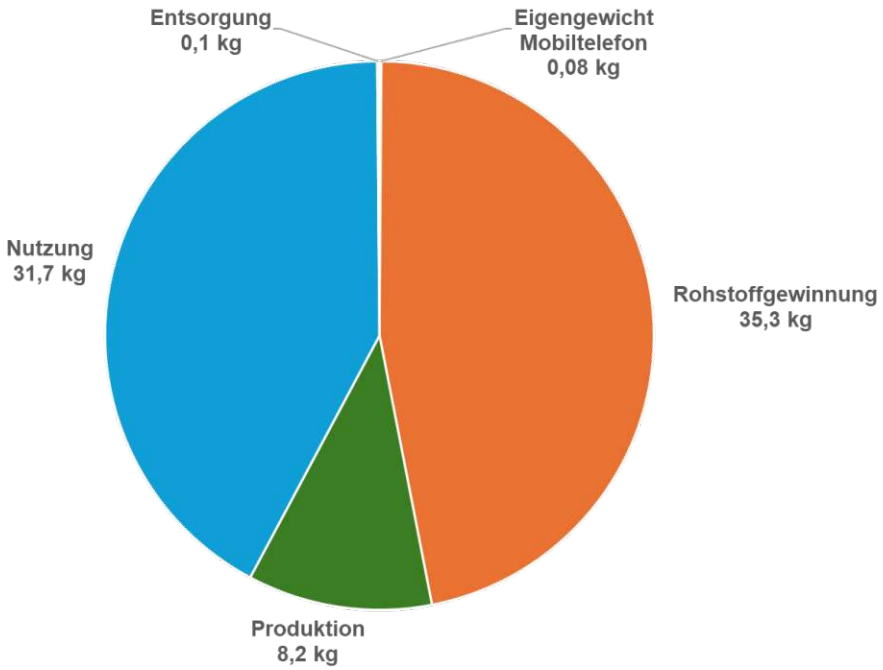


Abbildung 4: Ökologischer Rucksack eines Mobiltelefons (Eigene Darstellung nach Welfens et al., 2013)

Ein wesentlicher Grund für die hohe Umweltbelastung von Mobiltelefonen liegt in der komplexen Materialzusammensetzung. Diese bestehen zu etwa 56 % aus Kunststoffen, die aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas gewonnen werden und hauptsächlich für das Gehäuse, die Tastatur und die Leiterplatte verwendet werden. Rund 28 % entfallen auf verschiedene Metalle, darunter Kupfer (15 %) sowie in sehr

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

geringen Mengen Silber, Gold, Palladium und Platin. Diese Metalle finden sich insbesondere in Kabeln, Kontakten, Leiterplatten und der Batterie wieder. Etwa 16 % bestehen aus Glas und Keramik, die vor allem im Display verbaut werden. Der verbleibende Anteil verteilt sich auf weitere Materialien (siehe *Abbildung 5*). Insgesamt kommen in einem Mobiltelefon über 60 verschiedene Stoffe zum Einsatz, was mehr als der Hälfte des Periodensystems entspricht (siehe *Abbildung 6*). Obwohl die in Mobiltelefonen verbauten Mengen an Metallen pro Gerät äußerst gering sind, ergibt sich durch die weltweiten Verkaufszahlen ein erheblicher Ressourcenverbrauch. Allein Im Jahr 2010 lag der weltweite Absatz von Mobiltelefonen bei rund 1,5 Milliarden Geräten, was einem geschätzten Materialverbrauch von 5.650 Tonnen Kobalt, 14 Tonnen Palladium, 36 Tonnen Gold und 375 Tonnen Silber entspricht (Schluep et al., 2009).

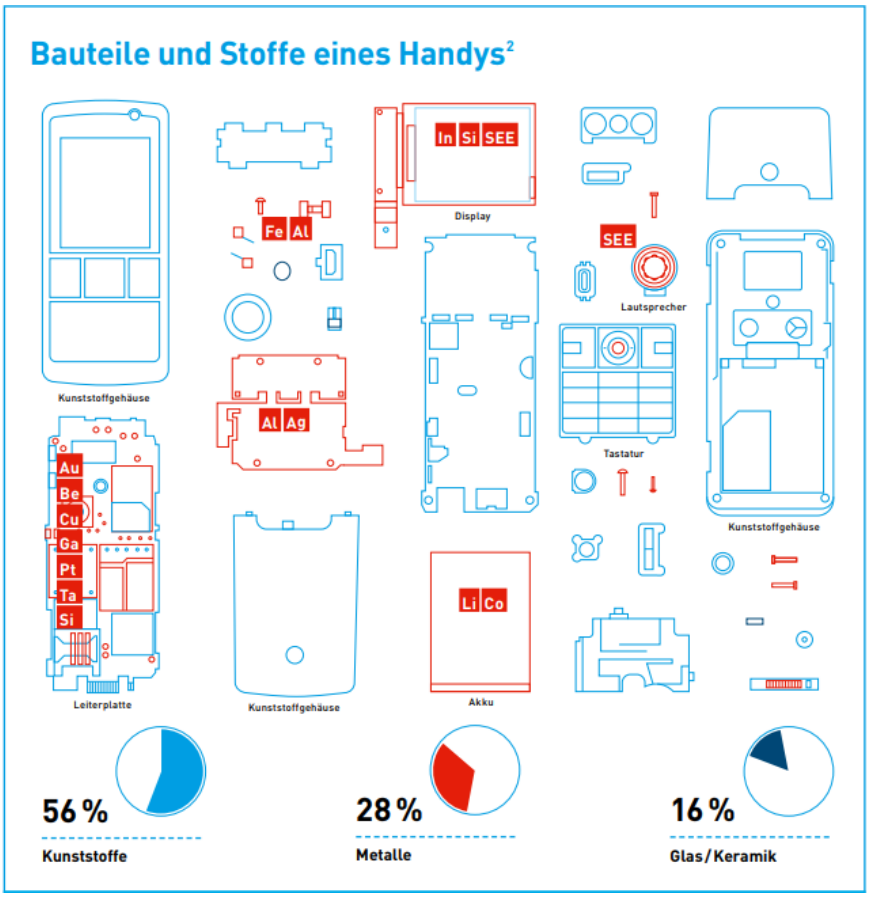


Abbildung 5: Bauteile und Materialzusammensetzung eines Mobiltelefons (Nordmann et al., 2015)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

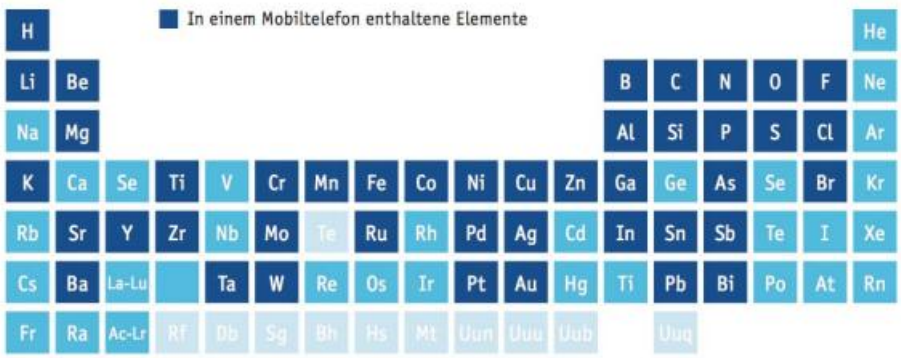


Abbildung 6: Periodensystem mit Markierung aller chemischen Elemente, die typischerweise in einem Mobiltelefon enthalten sind (Darstellung nach Hagelüken (2011), zitiert in Welfens et al., 2013)

Mobiltelefone enthalten eine Vielzahl an Metallen mit unterschiedlich großen Massenanteilen und Funktionen. Kupfer (ca. 15 %) wird am häufigsten verwendet, insbesondere für Leiterplatten und Kontakte, gefolgt von Silizium (8–15 %) in Mikrochips und Displays. Aluminium (4–9 %) findet sich in Abdeckungen und Gehäusen, während Kobalt (ca. 4 %) und Lithium (3–4 %) essenzielle Bestandteile von Lithium-Ionen-Batterien sind. Eisen (ca. 3 %) wird für mechanische Bauteile wie Schrauben verwendet. Edelmetalle wie Silber (bis 0,5 %) und Gold (< 0,1 %) kommen aufgrund ihrer guten Leitfähigkeit in Kontakten und Verbindungen zum Einsatz. Weitere, seltener eingesetzte Metalle wie Beryllium, Tantal, Platin, Indium und Gallium sind mit Anteilen zwischen etwa 0,0157 % und 0,0013 % vertreten und haben spezialisierte Funktionen z. B. in Mikroelektronik, Kontakten oder Displays.

Viele der in Mobiltelefonen verwendeten Rohstoffe haben wirtschaftlich bedeutende Vorkommen, die sich jedoch auf nur wenige Förderregionen weltweit konzentrieren. Das schafft Abhängigkeiten von wenigen Förderländern und birgt Risiken für die Versorgungssicherheit. So stammt ein großer Teil des weltweit verfügbaren Kobalts aus der Demokratischen Republik Kongo, Lithium wird vor allem in Südamerika gefördert, Tantal stammt überwiegend aus Zentralafrika und Indium größtenteils aus China (Nordmann et al., 2015). Angesichts des erheblichen Materialverbrauchs und der Umweltauswirkungen ist es entscheidend, dass Mobiltelefone am Ende ihrer Lebensdauer einem effektiven Recyclingprozess zugeführt werden, um wertvolle Rohstoffe zurückzugewinnen und die negativen ökologischen Folgen der Primärrohstoffgewinnung zu minimieren.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.2.4 Recyclingprozess

Die letzte Phase im Lebenszyklus eines Mobiltelefons umfasst die Entsorgung, bei der wertvolle Materialien zurückgewonnen und umweltgerecht behandelt werden können. Um die Rückführung von Rohstoffen und die umweltgerechte Entsorgung zu gewährleisten, sind jedoch bestimmte Schritte notwendig. Die wesentlichen Schritte für die Entsorgung und das Recycling von Elektrogeräten in Österreich sind laut Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) (Österreichisches Bundesgesetzblatt, 2002) und Elektroaltgeräteverordnung (Österreichisches Bundesgesetzblatt, 2017):

1. Getrennte Sammlung und Sortierung
2. Prüfung auf Wiederverwendbarkeit
3. Transport zur Erstbehandlungsanlage
4. Manuelle oder mechanische Behandlung
5. Verwertung der Materialien
6. Beseitigung nicht verwertbarer Rückstände

Damit Mobiltelefone und andere Elektro- und Elektronikaltgeräte recycelt werden können, ist zunächst eine ordnungsgemäße Entsorgung erforderlich. In Österreich erfolgt die getrennte Sammlung von Mobiltelefonen über verschiedene Anlaufstellen, an denen nicht mehr benötigte Geräte abgegeben werden können. Nach der Sammlung werden die Geräte sortiert und entweder zur Wiederverwendung aufbereitet oder dem Recycling zugeführt. Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie Verbraucherinnen und Verbraucher ihre alten Mobiltelefone abgeben können. Zu den möglichen Sammelstellen zählen die kommunalen Entsorger und gewerbliche Sammelstellen, wie beispielsweise Recyclinghöfe, sowie der Handel, bei dem alte Geräte direkt in Fachgeschäften abgegeben werden können. Zudem nehmen auch Handy-Hersteller in ihren Shops und Fachmärkten gebrauchte Mobiltelefone zurück. Darüber hinaus gibt es Sammelboxen in Handy-Shops, Betrieben, Läden und Supermärkten, die den Verbraucherinnen und Verbrauchern eine einfache Möglichkeit bieten, ihre alten Geräte abzugeben. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Mobiltelefon per Zustelldienst an die Hersteller, Mobilfunkbetreiber oder Umwelt- und Recyclingverbände zu schicken, die die Geräte zur weiteren Verwertung oder Wiederverwendung entgegennehmen (Welfens et al., 2013).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Nach der Sammlung wird eine Prüfung auf Wiederverwendbarkeit durchgeführt, um festzustellen, ob die Geräte noch funktionsfähig sind und für eine erneute Nutzung bereitgestellt werden können. Die Geräte, die nicht wiederverwendet werden können, werden dann zum Transport zur Erstbehandlungsanlage gebracht, wo sie einer ersten Sortierung und gegebenenfalls einer Vorreinigung unterzogen werden.

In der manuellen oder mechanischen Behandlung werden die Geräte weiter aufbereitet, indem sie demontiert, schadstoffhaltige Bestandteile entfernt und die Materialien zerkleinert werden. Anschließend erfolgt die Verwertung der Materialien, wobei wertvolle Rohstoffe wie Metalle, Kunststoffe und Glas aus den Geräten zurückgewonnen und für den weiteren Einsatz aufbereitet werden. Die letzten verbleibenden nicht verwertbaren Rückstände werden dann durch umweltgerechte Entsorgung beseitigt, um eine weitere Belastung der Umwelt zu vermeiden (Österreichisches Bundesgesetzblatt, 2002, 2017). Der Ablauf dieses Prozesses von der Sammlung über Wiederverwendung und Behandlung bis zur finalen Verwertung oder Entsorgung lässt sich schematisch im Lebenszyklus eines Mobiltelefons darstellen (siehe *Abbildung 7*).

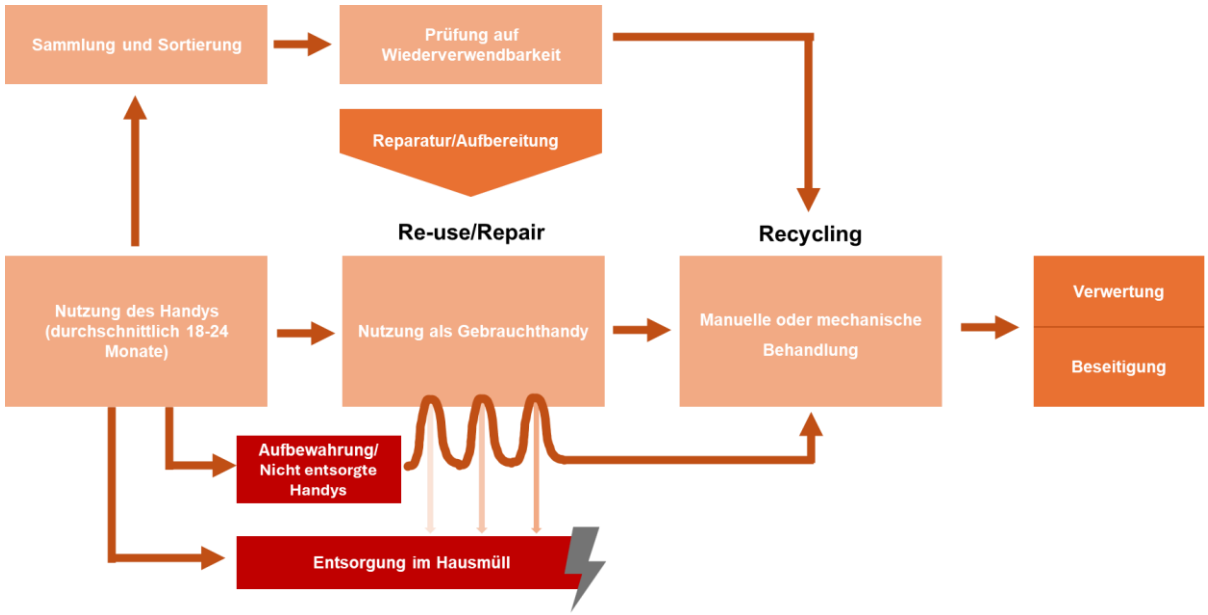


Abbildung 7: Lebenszyklus eines Mobiltelefons mit mehrfacher Nutzung (Eigene Darstellung nach Nordmann et al., 2015)

Die Verwertung von Mobiltelefonen dient dazu, Rohstoffe wie Metalle zurückzugewinnen und in den Rohstoffkreislauf zurückzuführen und gleichzeitig toxische Substanzen zu behandeln. Das Recycling erfolgt in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten: Sammlung, Demontage, Zerkleinerung bzw.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Vorbehandlung und schließlich die Endverarbeitung (Schmelzen und Raffinieren der enthaltenen Materialien und Metalle). Diese Schritte sind eng miteinander verknüpft, und ihre Wechselwirkungen sind entscheidend für den Gesamterfolg des Recyclingprozesses. Allerdings werden sie bislang meist isoliert voneinander durchgeführt, wodurch wertvolles Optimierungspotenzial, insbesondere an den Schnittstellen, ungenutzt bleibt. Die Effizienz der gesamten Recyclingkette ist das Produkt der Effizienz jeder einzelnen Stufe. Der ineffizienteste Schritt bestimmt dabei den Gesamtertrag. Fehler oder Verluste in den frühen Prozessstufen können selbst durch modernste Technologien am Ende der Kette nicht mehr ausgeglichen werden.

Die stoffliche Rückgewinnung der enthaltenen Metalle erfolgt in pyrometallurgischen Anlagen, auch Schmelzanlagen genannt, durch gezielte Schmelzprozesse. Dabei werden Rückgewinnungsraten von über 95 % für Kupfer und edelmetallhaltige Komponenten erreicht. Dennoch liegen die tatsächlichen Recyclingquoten häufig unter 50 %, was vor allem auf Ineffizienzen bei der Sammlung und der Vorbehandlung zurückzuführen ist. Dies zeigt sich auch besonders deutlich am Beispiel der Mobiltelefone. Im Jahr 2005 wurden weltweit rund 825 Millionen Geräte verkauft. Bei einem durchschnittlichen Gewicht von etwa 100 Gramm pro Gerät ergibt sich ein theoretisches Recyclingpotenzial von etwa 50.000 Tonnen pro Jahr. Tatsächlich jedoch gelangten schätzungsweise weniger als 1.000 Tonnen zurück in industrielle Recyclingprozesse. Das entspricht weniger als einem Prozent des möglichen Rücklauf (Hagelüken et al., 2006).

Zur Metallrückgewinnung aus Elektronikschrott werden mechanische und metallurgische Verfahren eingesetzt. Beide haben Vor- und Nachteile, daher ist ihre gezielte Kombination entscheidend für eine effiziente und nachhaltige Rückgewinnung der enthaltenen Metalle. Nach der manuellen Demontage von Platinen, Gehäusen, Kabeln oder Batterien müssen die enthaltenen Materialien vor der Metallrückgewinnung zunächst aus dem Verbund gelöst werden, meist durch Zerkleinerung oder Schreddern. Anschließend erfolgt eine physikalische und/oder optische Sortierung. Typische Verfahren sind die Magnetabscheidung (für Eisen), Wirbelstromtrennung (für Aluminium), Schwerkrafttrennung sowie optische oder manuelle Sortierung. Die mechanische Vorbehandlung liefert verschiedene Fraktionen, etwa magnetische Anteile für Stahlwerke, Aluminium- und Kupferfraktionen für entsprechende Schmelzen sowie Kunststofffraktionen zur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Weiterverarbeitung oder Entsorgung. Reststoffe gelangen meist in die Verbrennung oder Deponie.

Während mechanische Verfahren in erster Linie der Trennung und Sortierung dienen, erfolgt die eigentliche Rückgewinnung der Metalle überwiegend in metallurgischen Prozessen. Die dabei gewonnenen Fraktionen werden anschließend in entsprechenden Anlagen weiterverarbeitet, wo durch Schmelz- und Raffinationsverfahren die enthaltenen Metalle effizient zurückgewonnen werden. Diese Prozesse haben einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz des Recyclings, sowohl im Hinblick auf die Rückgewinnung von Metallen als auch auf die Umweltverträglichkeit. Moderne Schmelzanlagen ermöglichen die Rückgewinnung von Kupfer, Edelmetallen und weiteren Elementen, während Schadstoffe sicher entfernt und organische Bestandteile wie Kunststoffe energetisch verwertet werden. Im Unterschied zu mechanischen Verfahren erfolgt die Freisetzung der Metalle hier nicht durch Zerkleinerung, sondern durch Einschmelzen. Dabei werden die verschiedenen Metalle anhand ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften voneinander getrennt. Während sich bestimmte Elemente mit einem Trägermetall wie Kupfer verbinden, oxidieren andere, gehen in die Schlacke über oder werden über das Abgas ausgeschieden (Hageluken, 2006).

Im mehrstufigen Hüttenprozess, der die chemischen und metallurgischen Eigenschaften der Materialien berücksichtigt, werden je nach Recyclingverfahren unterschiedliche Metalle zurückgewonnen. In integrierten Kupferschmelzanlagen lassen sich dabei vor allem Metalle wie Kupfer, Blei und Nickel sowie Zinn und Edelmetalle wie Gold, Silber und Palladium mit hoher Effizienz recyceln. Aluminium und Eisen können in diesem Prozess hingegen nicht zurückgewonnen werden, da sie in der Schlacke verbleiben. Ihre Rückgewinnung erfolgt stattdessen in separaten Aluminiumschmelzöfen, wobei jedoch in diesem Verfahren keine Edel- oder Sondermetalle extrahiert werden können (Welfens et al., 2013).

Das in Abbildung 8 dargestellte Verfahren veranschaulicht diesen mehrstufigen Prozess. Zunächst werden alte Handys geschreddert und in einem Schmelzofen verflüssigt. Dabei verbrennt der Kunststoff und liefert Energie für den Prozess. Die entstehenden Abgase werden in einer Schwefelsäureanlage gereinigt. Kupfer und Edelmetalle werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Schmelzpunkte vom restlichen Material getrennt. Die verbleibende Schlacke, die Aluminium, Glas und andere Stoffe

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

enthält, wird im Hochofen weiterverarbeitet, um Blei und Sondermetalle wie Indium, Selen und Tellur zurückzugewinnen. In anschließenden hydrometallurgischen Verfahren werden die Metalle weiter gereinigt (Nordmann et al., 2015).

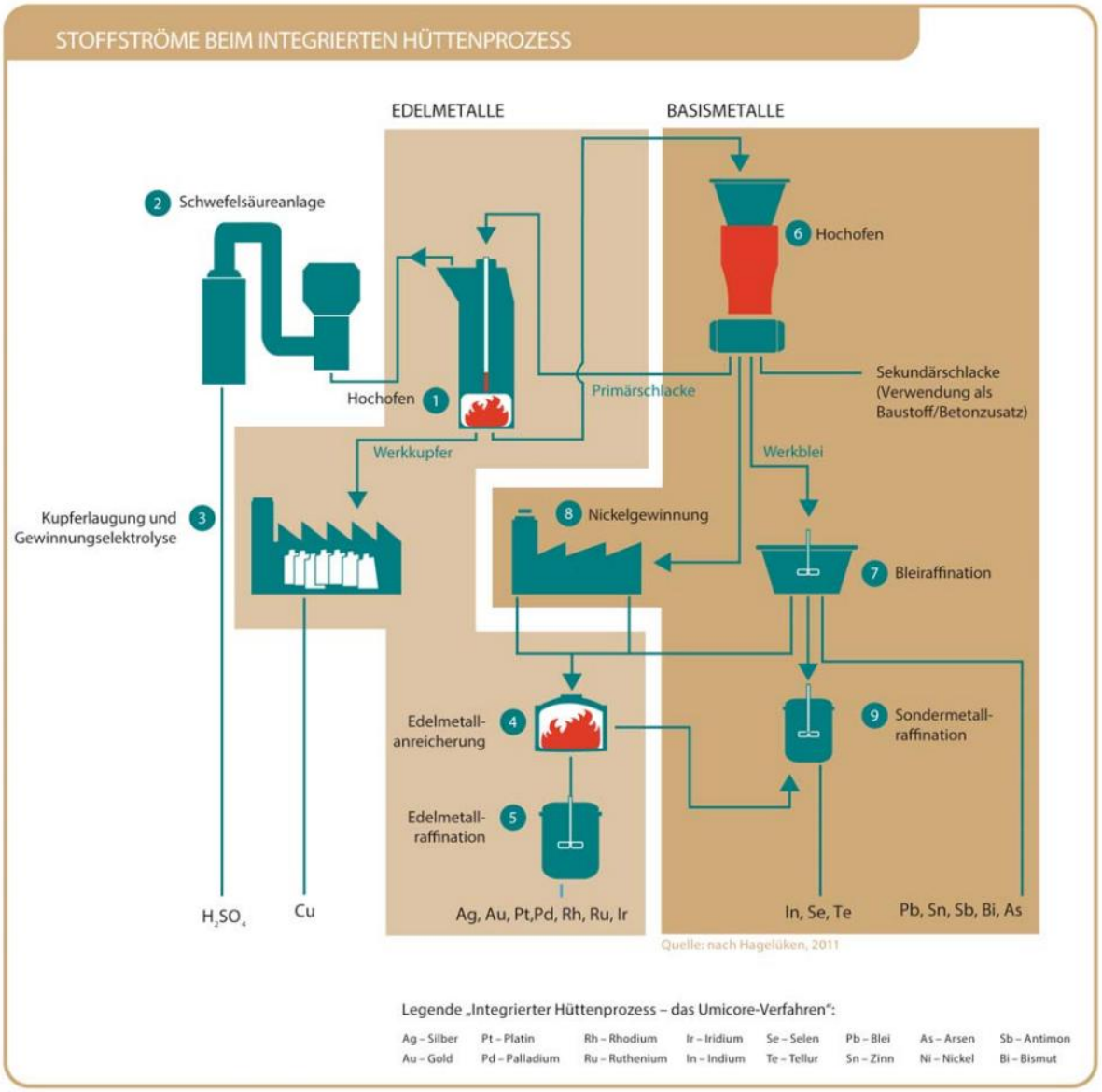


Abbildung 8: Stoffströme im integrierten Hüttenprozess zur Metallrückgewinnung aus Mobiltelefonen (nach Hagelüken, 2011, in: Nordmann et al., 2015)

Am Ende des metallurgischen Prozesses entstehen gereinigte Metalle, verwertbare Schlacke, aufbereitetes Abgas und Abwasser sowie Schwefelsäure aus der Abgasreinigung. Eine geringe Menge nicht verwertbarer Rückstände bleibt zurück und wird deponiert. Mechanische und metallurgische Verfahren übernehmen unterschiedliche Funktionen im Recyclingprozess und weisen jeweils spezifische Vor- und Nachteile auf. Mechanische Verfahren sind vergleichsweise kostengünstig und eignen sich gut zur Trennung von Massenmaterialien wie Stahl, Aluminium und Kunststoffen. Bei komplexen Bauteilen stoßen sie jedoch an ihre Grenzen und führen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

häufig zu Verlusten an Edelmetallen. Metallurgische Verfahren ermöglichen hingegen sehr hohe Rückgewinnungsraten, insbesondere bei Edel- und Sondermetallen und erlauben eine sichere Abtrennung von Schadstoffen. Sie sind jedoch technisch anspruchsvoll, kostenintensiv und nicht für alle Materialtypen geeignet (Hageluken, 2006). Die auf diese Weise gewonnenen Metalle stehen der Industrie erneut zur Verfügung, z.B. für die Herstellung neuer Mobiltelefone. Umicore, ein international tätiges Unternehmen im Bereich Recycling und Materialtechnologie, verarbeitet jährlich über 300.000 Tonnen an Materialströmen und gewinnt daraus mehr als 70.000 Tonnen Metalle zurück. Im Jahr 2007 konnten so nennenswerte Mengen an Edel- und Industriemetallen wie etwa Silber, Gold, Metalle der Platingruppe sowie Kupfer, Blei und Nickel recycelt werden. Auch kleinere Mengen seltenerer Elemente wie Zinn, Indium oder Selen konnten zurückgewonnen werden (Hagelüken, 2011, zitiert nach Welfens et al., 2013).

2.2.5 Herausforderungen im Recyclingprozess

Die Herausforderungen im Recyclingprozess von Mobiltelefonen sind vielfältig und beeinflussen maßgeblich die Menge an Sekundärrohstoffen, die durch das Recycling gewonnen werden können. Ein entscheidender Aspekt ist die durchschnittliche Lebensdauer eines Produkts, da sie darüber entscheidet, wie lange ein Gerät im Umlauf bleibt und wann die darin enthaltenen Rohstoffe dem Recyclingprozess zugeführt werden können. Gleichzeitig stellt die Sammlung der Geräte ein weiteres Problem dar. Je mehr Mobiltelefone tatsächlich gesammelt und dem Recyclingprozess zugeführt werden, desto größer ist das Potenzial zur Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe. Obwohl viele Entsorgungsmöglichkeiten für alte Mobiltelefone vorhanden sind, landen viele Geräte weiterhin in Schubladen und werden nicht korrekt recycelt oder entsorgt. Laut Nordmann et al. (2015) behalten etwa 30 % der Verbraucherinnen und Verbraucher ihre alten Mobiltelefone und geben sie nicht zur Verwertung oder Wiederverwendung ab (siehe *Abbildung 9*). Diese Praxis trägt dazu bei, dass wertvolle Rohstoffe und Materialien, die in den Geräten enthalten sind, ungenutzt bleiben und nicht wieder in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

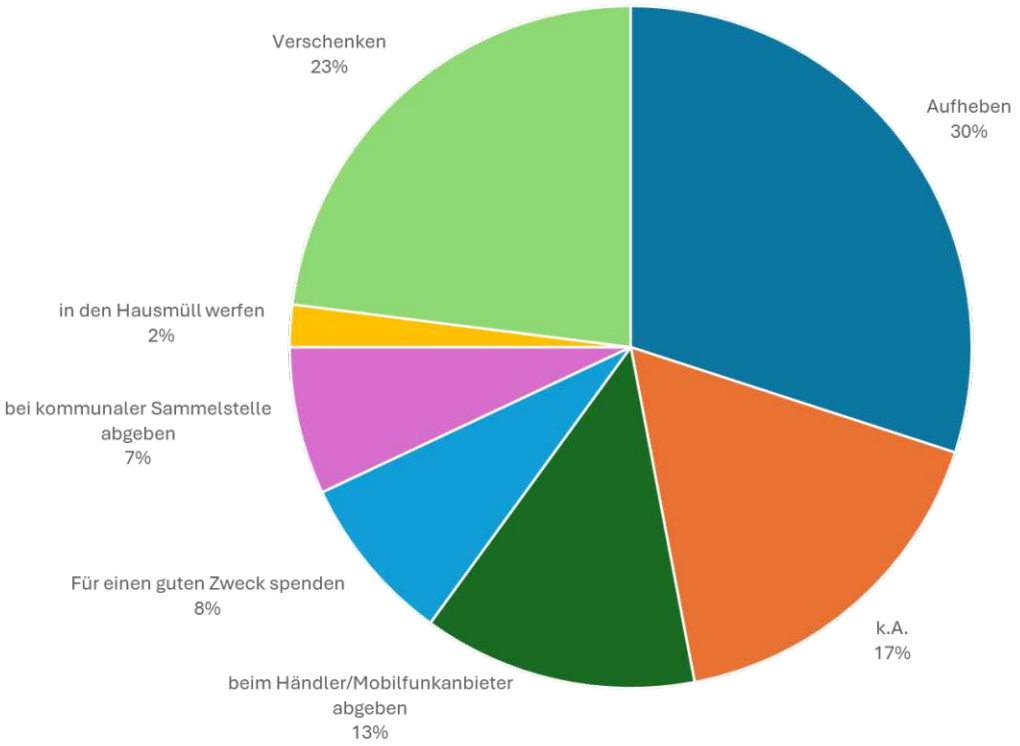


Abbildung 9: Darstellung der verschiedenen Handlungsweisen von Verbraucherinnen und Verbrauchern im Umgang mit alten Mobiltelefonen (Eigene Darstellung nach Nordmann et al., 2015)

Trotz des gesetzlichen Verbots, Elektroschrott zu exportieren, werden Elektro- und Elektronikaltgeräte aus Europa häufig in Entwicklungs- und Schwellenländer exportiert. Gemäß dem seit 2005 geltenden ElektroG sind solche Geräte bei den kommunalen Sammelstellen abzugeben und vom Hersteller fachgerecht zu entsorgen. In der Praxis wird der Schrott jedoch häufig als Gebrauchtware deklariert, obwohl viele dieser Geräte defekt und nicht mehr verwendbar sind (Nordbrand, 2009). Im Jahr 2007 wurden insgesamt 13.599 Tonnen Fernsprechapparate und Telekommunikationsgeräte aus Deutschland exportiert. Der größte Teil dieses Exports ging nach Indien mit 1.737 Tonnen und nach Südafrika mit 1.234 Tonnen. Weitere Empfängerländer waren Ghana, Nigeria, Vietnam und die Philippinen. In vielen Empfängerländern fehlt es an einer adäquaten Entsorgungsinfrastruktur (Sander & Schilling, 2010). Das Recycling von Elektronikschrott wird häufig von kleinen, informellen Unternehmen durchgeführt, was zu Umwelt- und Gesundheitsbelastungen führt. Unsachgemäße Recyclingpraktiken führen zum Verlust wertvoller Rohstoffe wie Silber, Gold und Palladium und verursachen ernsthafte Umweltschäden. Gefährliche Stoffe wie Schwermetalle und Bromierte Flammschutzmittel (BFRs) werden unsachgemäß behandelt, was toxische Substanzen in Boden, Wasser und Luft

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

freisetzt und eine Gefahr für die Gesundheit der Arbeiter und der umliegenden Gemeinschaften darstellt. Die unsachgemäße Entsorgung von E-Schrott auf wilden Deponien führt zu langfristigen Umweltkontaminationen, insbesondere durch Dioxine und andere toxische Substanzen, die über Jahre hinweg Boden und Wasserquellen belasten und die öffentliche Gesundheit gefährden.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist eine verstärkte globale Zusammenarbeit notwendig. Zudem müssen die Infrastrukturen und Schulungsprogramme für das Recycling gestärkt werden, um ein sichereres und umweltfreundlicheres Recycling zu ermöglichen. Diese Maßnahmen sind entscheidend, um sowohl die Umweltbelastungen zu verringern als auch die Rückgewinnung wertvoller Materialien zu optimieren (Schluep et al., 2013).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3 Material und Methoden

Nach der eingehenden theoretischen Auseinandersetzung mit der Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen sowie Integration dieser Thematik in Konzepte wie Kreislaufwirtschaft, Materialzusammensetzung und Recyclingprozesse wird im folgenden Kapitel die praktische Untersuchung der Recyclingpotenziale thematisiert. Zu diesem Zweck wurde eine spezifische Methode entwickelt, um das Recyclingpotenzial der Geräte zu bewerten.

3.1 Probematerial

Im Rahmen einer Laborübung (LU 226.058; WS 2021) an der TU Wien wurden 30 Mobiltelefone klassifiziert und in Smartphones und Mobiltelefone unterschieden. In *Tabelle 1* (Mobiltelefone) und *Tabelle 2* (Smartphones) sind die Modelle und Erscheinungsdaten der untersuchten Mobiltelefone und Smartphones der Laborübung aufgeführt:

Tabelle 1: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der untersuchten Mobiltelefone

Nr.	Modell	Erscheinungsjahr
M1	Nokia TA-1010	April 2022
M2	Silver Crest SSMT 1000A1	August 2009
M3	Sony Ericsson K300i	Mai 2005
M4	Nokia 1200 RH-99	Mai 2007
M5	Nokia 6230i	Februar 2004
M6	Nokia 5000d-2 RM-362	Juni 2008
M7	Sony Ericsson Cyber-Shot K550	Februar 2007
M8	Samsung E1150	Februar 2010
M9	Nokia 1110i	Juni 2006
M10	Emporia (Essence) VF1i	2011
M11	Nokia 6610i RM-37	2004
M12	Silver Crest SH-100 IAN37757	2010
M13	Nokia RM-147 5200	September 2007
M14	Beafon AL550	November 2016
M15	Nokia 1208 RH-105	Mai 2007

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 2: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der untersuchten Smartphones

Nr.	Modell	Erscheinungsjahr
S1	Samsung GT-I9195	Mai 2013
S2	Nokia RM-976	Mai 2014
S3	Motorola XT1068	September 2014
S4	Samsung SM-J500F/DS	Juli 2015
S5	Samsung SM-J510FN	2016
S6	Apple iPhone AI688 S	September 2015
S7	Fairphone 3	September 2019
S8	HTC 0PBD210	April 2016
S9	Huawei MED-LX9N	Mai 2020
S10	Apple iPhone A1241	Juli 2008
S11	Samsung GT-I9105P	Februar 2013
S12	Apple iPhone A1387 4	Juni 2010
S13	Sony Ericsson Xperia	Februar 2008
S14	Samsung GT-I9301I	Juni 2014
S15	Motorola XT1685	März 2017

Zusätzlich wurden für die Durchführung dieser Arbeit insgesamt sieben iPhones durch das Demontage- und Recycling-Zentrum (DRZ) bereitgestellt, darunter die Modelle iPhone 12, iPhone X, iPhone XS und iPhone 14 Pro. Darüber hinaus stellte die Elektro Recycling Austria GmbH (ERA) weitere Geräte zur Verfügung, einschließlich der Modelle Samsung Galaxy S20, Samsung Galaxy S24 sowie das Fairphone 4 und das Fairphone 5. Die Erscheinungsjahre der Smartphones S16-S22 sind *Tabelle 3* zu entnehmen.

Tabelle 3: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der zusätzlichen Smartphones

Nr.	Modell	Erscheinungsjahr
S16	iPhone X	September 2017
S17	iPhone XS	September 2018
S18	iPhone 12	Oktober 2020
S19	iPhone 14 Pro	September 2022
S20	Samsung Galaxy S20	Februar 2020
S21	Samsung Galaxy S24	Januar 2024
S22	Fairphone 4	Oktober 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.2 Methodische Vorgehensweise

Wie in Kapitel 3.3.2 dargestellt, ist die Demontierbarkeit ein wichtiger Einflussfaktor für die Rezyklierbarkeit eines Produktes. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Smartphones und Mobiltelefone systematisch in ihre Bestandteile zerlegt, um sowohl die Materialzusammensetzung als auch die Demontierbarkeit zu analysieren. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen können anschließend die Statistische Entropie (SE) sowie die daraus abgeleitete Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) berechnet werden.

Die Untersuchung erfolgt auf unterschiedlichen Detailebenen. Das Mobiltelefon wird in seiner Gesamtheit auf der sogenannten „Produktebene“ dargestellt. Zur Strukturierung des Zerlegungsprozesses wird das Smartphone zunächst auf der „Produktebene“ betrachtet, ohne dass eine Demontage erfolgt. Die verschiedenen strukturellen Bestandteile des Smartphones, die als eigenständige Einheiten eingestuft werden können, gehören zur „Komponentenebene“. Da einige dieser Komponenten aus weiteren Untereinheiten bestehen, wird zusätzlich eine „Sub-Komponentenebene“ eingeführt, und für besonders komplexe Bauteile erfolgt eine weitere Untergliederung in die „Sub-Sub-Komponentenebene“. Die Zerlegung folgt der Systematik von Roithner et al. (2021b), wobei die Mobiltelefone so weit wie möglich durch z.B. das Lösen von Schrauben oder Klebemitteln zerlegt und den zuvor genannten Ebenen zugeordnet werden. Die Differenzierung der Produktbestandteile beruht auf funktionalen, technischen oder gestalterischen Aspekten.

3.3 Statistische Entropie

Die statistische Entropie ist ein grundlegendes Konzept zur quantitativen Beschreibung von Unordnung, Informationsgehalt und Verteilungsstrukturen. In dieser Arbeit bildet sie die methodische Basis für die Bewertung der Recyclingfähigkeit von Produkten, insbesondere im Hinblick auf die Materialvielfalt und deren Massenverteilung. Der folgende Abschnitt erläutert zunächst die theoretischen Grundlagen des Entropiebegriffs, bevor dessen Anwendung im Kontext der Recyclinganalyse dargestellt wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3.1 Theoretischer Hintergrund

Der Begriff "Entropie" hat seinen Ursprung in der Thermodynamik und wurde 1850 von Rudolf Clausius zur Beschreibung thermodynamischer Prozesse eingeführt. Seitdem hat sich der Begriff der Entropie weit über seine thermodynamischen Ursprünge hinaus weiterentwickelt und stellt heute ein grundlegendes Konzept in verschiedenen Wissenschaften dar. Der Entropiebegriff dient als Maß für Chaos und Ordnung und hat durch moderne Fortschritte an Bedeutungen und Anwendungsmöglichkeiten gewonnen (Ebeling et al., 1998). Claude Shannon entwickelte in den 1940er Jahren das Konzept der Informations-Entropie (H), das ähnlich wie die physikalische Entropie verwendet wird, um den Informationstransfer und die Unsicherheit zu beschreiben. Die Entropie H beschreibt den durchschnittlichen Informationsgehalt einer Nachricht, wobei der Informationsgehalt eines Zeichens abnimmt, je häufiger es vorkommt. Der Wert von H nimmt zu, wenn die Anzahl der möglichen Ereignisse zunimmt und deren Wahrscheinlichkeit gleichmäßig verteilt sind (Shannon, 1948). Um den Informationsgehalt einer Nachricht messbar zu machen, stellte Shannon verschiedenen Axiome auf, um daraus schließlich eine Formel (*Formel 1*) für den Wert des Informationsgehaltes daraus zu folgern:

Formel 1: Berechnung des Informationsgehaltes nach Shannon:

$$I\,(p) = -ld\,(p)$$

Laut der Formel entspricht der Informationsgehalt der Anzahl der binären Entscheidungen, die nötig sind, um ein Zeichen darzustellen. Shannon verwendet bei die Binärdarstellung und somit in seiner Formel den dualen Logarithmus. Darum hat der Informationsgehalt die Einheit bit (**b**asic indissoluble **i**nformation **u**nit). Den Mittelwert oder Erwartungswert dieser Formel nannte Shannon die statistische Entropie H, da die Formel formal mit der Formel der thermodynamischen Entropie übereinstimmt:

Formel 2: Berechnung der Statistischen Entropie nach Shannon

$$H = -\sum_i p_i ld(p_i)$$

Dabei beschreibt p_i die Eintrittswahrscheinlichkeit beliebiger Ereignisse, ohne deren Inhalte festzulegen (Habes, 2007).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3.2 SE-basierter Bewertungsansatz

Die statistische Entropie SE findet in vielen verschiedenen Forschungsbereichen Anwendung. Die SE misst den Grad der Unordnung in einem System, d.h. je höher der Grad der Unordnung, desto höher die Entropie. Das Ziel in der Anwendung der SE besteht im Allgemeinen darin, die Entropie möglichst niedrig zu halten. Ein Beispiel zur Veranschaulichung der SE ist die Mülltrennung. Ein Mülleimer im öffentlichen Raum, in dem alle verschiedenen Müllarten vermischt werden, hat eine höhere Entropie als Abfall, der sortenrein in verschiedenen Behältern getrennt gesammelt wird (siehe *Abbildung 10*).

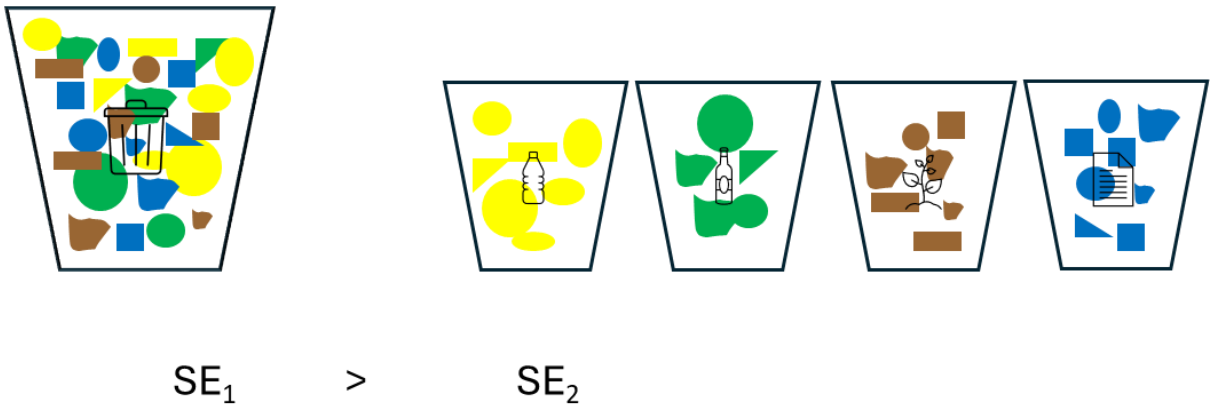


Abbildung 10: Darstellung und Vergleich der statistischen Entropie (SE) am Beispiel der Mülltrennung (eigene Darstellung)

Auch zur Bewertung der Rezyklierbarkeit von Produkten kann die SE als Bewertungsansatz verwendet werden, indem grundlegende Designentscheidungen analysiert werden. Die SE als Maß für die Rezyklierbarkeit wird durch drei wesentliche Merkmale bestimmt, die vom Produktdesign beeinflusst werden und die Rezyklierbarkeit prägen, nämlich die Komplexität von Produkten, die Materialkonzentration und die Demontierbarkeit.

Die Komplexität eines Produkts hängt maßgeblich von der Anzahl und Vielfalt der verwendeten Materialien ab. Eine größere Materialvielfalt erschwert in der Regel die Trennung und Rückgewinnung der Stoffe, was sich in einem höheren Wert der statistischen Entropie widerspiegelt. Wie in *Abbildung 11* dargestellt, weist ein Produkt, dass lediglich aus zwei Materialien besteht eine kleinere SE auf als ein Produkt, das aus vier verschiedenen Materialien zusammengesetzt ist.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

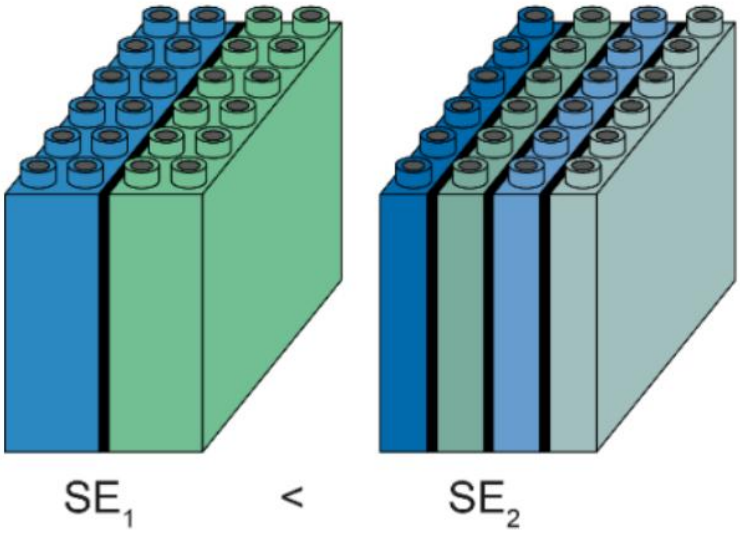


Abbildung 11: Einfluss der Komplexität auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021)

Ein weiteres Designmerkmal ist die Konzentration der Materialien. Die SE steigt mit dem Grad der Materialvermischung. So weist ein Produkt mit stark vermischten Materialien eine höhere SE auf als Produkte, in denen die Materialien hochkonzentriert vorliegen. In *Abbildung 12* wird deutlich, dass selbst wenn beide Produkte lediglich aus zwei Materialien bestehen, das Produkt mit höherer Materialkonzentration eine geringere SE aufweist als das Produkt, bei dem die Materialien stärker vermischt sind.

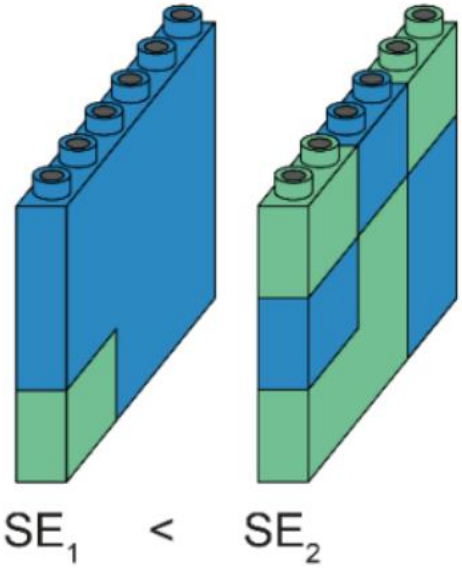


Abbildung 12: Einfluss der Konzentration auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021)

Ein wichtiges Designmerkmal, das die Rezyklierbarkeit eines Produktes beeinflusst, ist seine Demontierbarkei. Da Produkte meist aus mehreren Komponenten bestehen, spielt die Art der Verbindungstechnik eine entscheidende Rolle für die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Demontierbarkeit. Sie bestimmt maßgeblich, wie leicht ein Produkt zerlegt werden kann und beeinflusst somit direkt sowohl die Recyclingfähigkeit als auch die statistische Entropie des Produktes. Wie in *Abbildung 13* veranschaulicht, erleichtern verschraubte Verbindungen die Trennbarkeit von Produktkomponenten und ermöglichen eine sortenreine Rückgewinnung der Materialien, wodurch die Entropie reduziert wird. Im Gegensatz dazu erschweren verklebte Verbindungen die Demontage erheblich und beeinträchtigen somit die Rezyklierbarkeit des Produkts.

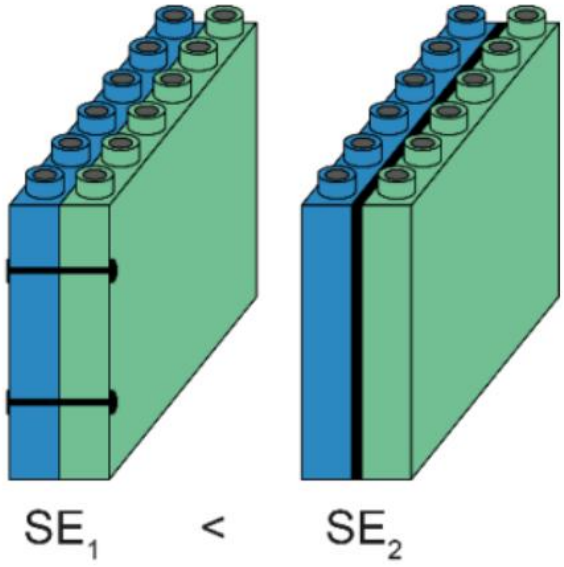


Abbildung 13: Einfluss der Demontierbarkeit auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021)

Die betrachteten Merkmale zeigen, dass die Designentscheidungen bezüglich der Materialvielfalt, Materialkonzentration und Verbindungstechnik wesentliche Einflussfaktoren für die Rezyklierbarkeit eines Produkts darstellen. Je besser das Produktdesign auf die Recyclingfähigkeit ausgelegt ist, desto niedriger ist die SE. Die statistische Entropie stellt hierbei ein geeignetes Maß zur quantitativen Bewertung der Rezyklierbarkeit und zur Analyse der Auswirkungen von Designentscheidungen dar (Roithner, 2021).

3.4 Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR)

Der SE-basierte Bewertungsansatz nach Roithner et al. (2021b) wird in dieser Arbeit herangezogen, um die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen zu bewerten. Dabei wird mithilfe der Materialverteilung und des Produktaufbaus die Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) jedes Mobiltelefons berechnet. Die RPR eines Produktes beschreibt, wie gut ein Produkt unter Berücksichtigung seines Designs recycelt werden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

kann. Ziel ist es, eine möglichst hohe Recyclingfähigkeit zu erzielen. Diese verbessert sich, wenn die einzelnen Materialien in den Bauteilen möglichst stark konzentriert vorliegen und sich das Produkt gut zerlegen lässt.

Die Gesamtmasse eines Produktelementes M_j kann durch die Summierung der einzelnen Materialmassen $M_{i,j}$ berechnet werden. Mit den Materialmassen und der Gesamtmasse des Produktelements können die jeweiligen Materialkonzentrationen c_i berechnet werden. Die Materialkonzentrationen c_i bilden die Grundlage für die Berechnung der statistischen Entropie. Die Materialkonzentrationen in den betrachteten Produktelementen $c_{i,j}$ (j = Index für Produktelement; i = Index für Material 1, ..., N_e) werden gemäß *Formel 3* berechnet, wobei die Masse des Materials i im Produktelement j, $M_{i,j}$ durch die Gesamtmasse des betrachteten Produktelementes M_j dividiert wird:

Formel 3: Berechnung der Materialkonzentrationen in den betrachteten Produktelementen

$$c_{i,j} = \frac{M_{i,j}}{M_j}$$

Um die statistische Entropie eines Produktelementes H_j ausrechnen zu können, wird für jede Materialkonzentration $c_{i,j}$ der binäre Logarithmus $ld(c_{i,j})$ berechnet. Anschließend wird jede Materialkonzentration $c_{i,j}$ mit dem binären Logarithmus dieser Konzentration multipliziert. Dies liefert den Beitrag dieses Materials zur gesamten Entropie des Produktelements. Wie in *Formel 4* dargestellt, werden durch die Anwendung der SUMME-Funktion die Ergebnisse aller Multiplikationen aufsummiert. Die Summe wird über alle Materialien i gebildet, von 1 bis N_m , wobei N_m die Gesamtanzahl der im Produktelement enthaltenen Materialien ist. Das negative Vorzeichen vor der Summe kehrt das Vorzeichen des Ergebnisses um. Dies ist erforderlich, da der Logarithmus einer Zahl zwischen 0 und 1 negativ ist. Durch das Vorzeichen wird sichergestellt, dass die Entropie H_j positiv ist, wie in der klassischen Definition der Entropie üblich.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Formel 4: Berechnung der statistischen Entropie eines Produktelementes

$$H_j = -\sum_{i=1}^{N_m} c_{i,j}\, ld(c_{i,j})$$

Die statistische Entropie des gesamten Produktes/Mobiltelefons H_p wird als gewichtete Summe der Entropien der einzelnen Produktelemente H_j berechnet. Zuvor muss der Masseanteil des Produktelements j in Bezug auf das gesamte Produkt, m_j, berechnet werden. Hierfür wird die Masse des Produktelementes M_j durch die Gesamtmasse des Produktes M_p dividiert, wie in *Formel 5* ersichtlich.

Formel 5: Berechnung des Masseanteil eines Produktelements

$$m_j = \frac{M_j}{M_p}$$

Mit *Formel 6* wird der Masseanteil des Produktelements m_j mit der bereits bekannten Entropie des Produktelements H_j multipliziert und anschließend über alle Produktelemente i von 1 bis N_e, wobei N_e die Anzahl der unterschiedlichen Produktelemente ist, summiert. Der Beitrag jedes Produktelements zur Gesamtentropie wird durch seinen Masseanteil m_j gewichtet, sodass Elemente mit einer größeren Masse einen stärkeren Einfluss auf die Gesamtentropie haben. H_p spiegelt die SE des Produkts wider, das in seine spezifischen Produktteile zerlegt wurde. Je niedriger H_p ist, desto einfacher ist es, das Produkt in seine Einzelteile zu zerlegen und diese zu recyceln. Ein niedriger Wert von H_p bedeutet, dass das Produkt besser für die Trennung und Wiederverwertung der Materialien optimiert ist, da eine geringe Komplexität oder geringere Materialvielfalt vorliegt. Wenn ein Produkt nicht in seine spezifischen Produktteile zerlegt werden kann (z. B. weil es untrennbar/schlecht trennbar oder sehr komplex ist), wird es als ein einziges Produktelement betrachtet. In diesem Fall wird $N_e = 1$, was bedeutet, dass nur ein einziges Produktelement vorhanden ist. Außerdem wäre in diesem Fall $M_j = M_p$ das heißt, die Masse des Produktelements M_j ist gleich der Gesamtmasse des Produkts M_p, da es nur ein Teilelement gibt. In diesem Fall repräsentiert die Entropie H_p die Entropie des

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

gesamten untrennbaren Produkts als Einheit. Ein solches Produkt ist aufgrund der fehlenden Zerlegbarkeit schwerer zu recyceln.

Formel 6: Berechnung der Entropie des gesamten untrennbaren Produkts als Einheit

$$H_p = \sum_{1}^{N_e} m_j H_J$$

Zur besseren Vergleichbarkeit wird in *Formel 7* die relative statistische Entropie H_{rel} berechnet. Die relative Entropie H_{rel} ist das Verhältnis der zuvor berechneten Gesamtentropie H_p zur maximalen Entropie H_{max} und ist ein dimensionsloser Wert zwischen 0 und 1. Die relative Entropie H_{rel} gibt an, wie gut oder schlecht das Produktdesign in Bezug auf seine Rezyklierbarkeit ist. Produkte mit einem hohen H_{rel}-Wert weisen eine komplexe Materialverteilung auf, was das Recycling erschwert, während Produkte mit einem niedrigen H_{rel} einfacher zu recyceln sind, da das Produkt aus gut trennbaren Materialien besteht und eine bessere Struktur aufweisen. Für die Berechnung wird die gesamte Entropie H_p durch die maximale Entropie H_{max} dividiert. H_{max} ist die maximale Entropie eines Produkts und gibt an, wie hoch die Entropie wäre, wenn alle Materialien N_m im Produkt die gleiche Konzentration hätten und eine Zerlegung des Produktes nicht möglich wäre. Diesen Zustand kann man als die schlechtmöglichste Variante bzw. Verteilung für die untersuchten Stoffe ansehen. Die maximale statistische Entropie des Produkts wird gemäß Gleichung (6) durch den binären Logarithmus von N_m berechnet.

Formel 7: Berechnung der relativen Entropie

$$H_{rel} = \frac{H_p}{H_{max}}$$

Formel 8: Berechnung der maximalen Entropie

$$H_{max} = ld(N_m)$$

Mithilfe der relativen statistischen Entropie H_{rel} kann nun die Kennzahl der relativen produktspezifischen Rezyklierbarkeit (RPR) errechnet werden, um eine intuitivere Interpretation des Ergebnisses zu liefern. Indem man, wie in *Formel 9* zu sehen, den Wert H_{rel} von 1 abzieht, kehrt man die Interpretation von H_{rel} um. Während H_{rel} Werte zwischen 0 und 1 annimmt, wobei 1 die schlechteste Rezyklierbarkeit anzeigt, zeigt der RPR-Wert die Rezyklierbarkeit auf einer Skala von 0 bis 1 an, wobei 1 die beste

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Rezyklierbarkeit darstellt und so eine einfachere und intuitivere Interpretation ermöglicht, da das beste Ergebnis meist mit 100% verknüpft ist. Wenn der Wert von H_{rel} nahe null liegt, was auf eine hohe Strukturierung und eine gute Trennbarkeit der Materialien im Produkt hinweist, ergibt sich für den RPR-Wert ein Wert von eins. Dies bedeutet, dass das Produkt in reine Stoffe auftrennbar und damit optimal recycelbar ist. Wenn H_{rel} den Wert eins erreicht, was die maximal mögliche Unordnung des Produkts anzeigt, dann ist $RPR = 0$. Dies bedeutet allerdings nicht, dass das Produkt nicht recycelbar ist, sondern dass das Produkt sehr schwer recycelbar ist und stellt die schlechteste Situation aus Sicht des Produktdesigns dar.

Formel 9: Berechnung der relativen produktspezifischen Rezyklierbarkeit (RPR)

$$RPR = 1 - H_{rel}$$

Die RPR untersucht also ein Produkt in Bezug auf seine Materialzusammensetzung und Produktstruktur. Ziel des Produktdesigns sollte es sein, einen hohen RPR zu erreichen, um eine bessere Recyclingfähigkeit zu gewährleisten. Wenn in einem Extremfall ein Produkt nur aus einem Material besteht, gilt $N_m = 1$ und $H_p = 0$, d.h. das Produkt besteht aus nur einem Material und die Entropie des Produkts ist null, da keine Materialvielfalt existiert. In diesem Fall ist $H_{max} = ld(N_m) = ld(1) = 0$, was zu einem Problem der Division durch Null in den Gleichungen führt. Die Formeln zur Berechnung von H_{rel} und RPR sind dann nicht definiert. Da jedoch der Grenzwert der *Formel 10* und $H_p = 0$ immer den besten Fall der produktspezifischen Rezyklierbarkeit darstellen, wird der Wert für RPR in diesem Fall als eins definiert und gilt als beste Situation aus Sicht des Produktdesigns.

Formel 10: Berechnung des Grenzwertes

$$\lim_{N_m \to 1} \left(1 - \frac{0}{ld(N_m)}\right) = 1$$

Der RPR-Wert kann auch als massegewichteter Durchschnitt der einzelnen RPRs der spezifischen Produktelemente ausgedrückt werden. Dies ermöglicht eine detaillierte Bewertung der Rezyklierbarkeit des Produkts basierend auf den Rezyklierbarkeitsindizes seiner einzelnen Bauteile. Der RPR eines Produktelements RPR_j, wie in *Formel 11* dargestellt, berechnet sich aus der Differenz zwischen eins und dem Verhältnis der statistischen Entropie H_j des Produktelements j zur maximalen statistischen Entropie H_{max}. Der RPR_j-Wert wird daraufhin mit dem Masseanteil des

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

jeweiligen Produktelements m_j multipliziert, was den absoluten Beitrag des Produktelementes j zum RPR des Produkts darstellt. Anschließend werden sie über die Anzahl der Produktelemente N_e summiert, um somit den gesamtgewichteten RPR-Wert, wie in *Formel 12* zu sehen, berechnen zu können. Der Fokus liegt bei diesem Vorgehen auf der Massegewichtung der verschiedenen Komponenten, sodass Komponenten mit größerem Masseanteil stärker zur Gesamtbewertung beitragen.

Formel 11: Berechnung des massegewichteten RPR-Wertes

$$RPR_j = 1 - \frac{H_j}{H_{max}}$$

Formel 12: Berechnung des gesamtgewichteten RPR-Wertes

$$RPR = \sum_{j=1}^{N_e} m_j RPR_j$$

Die Relative produktinhärente Rezyklierbarkeit (RPR) bewertet die Wiederverwertbarkeit von Produkten, um eine Kreislaufwirtschaft zu fördern, bei der die Materialien von Produkten möglichst lange im Kreislauf verbleiben. Dabei werden grundlegende Designentscheidungen, wie Materialzusammensetzung und Produktstruktur, unter Anwendung der statistischen Entropie (SE) berücksichtigt, um die Auswirkungen des Produktdesigns auf die Rezyklierbarkeit zu bewerten (Roithner et al., 2021a, 2021b).

3.5 Quantitative Erfassung der Materialien und Komponenten

Die Mobiltelefone M1–M15 sowie die Smartphones S1–S15 wurden bereits im Rahmen einer Laborübung bis zur Komponentenebene zerlegt, wobei die Massen der jeweiligen Komponenten erfasst wurden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die zerlegten Handys weiter untersucht und die stoffliche Zusammensetzung analysiert. Für die in der Laborübung zerlegten Mobiltelefone und Smartphones konnten die folgenden Komponenten nicht weiter untersucht werden:

- Leiterplatte
- Kamera(s)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Lautsprecher
- Vibrationsmotor
- Ladeeinheit

Diese Bauteile wurden aus aufwandstechnischen Gründen für die Auswertung der Laborübung in Mischproben zusammengefasst. Dabei wurde eine Mischprobe der Elektroteile (Kamera, Lautsprecher, Vibrationsmotor, Ladeeinheit) der Mobiltelefone und eine Mischprobe der Elektroteile der Smartphones erstellt, sowie jeweils eine Mischprobe für die Leiterplatten der Mobiltelefone und der Leiterplatten der Smartphones. Aufgrund dessen konnte keine weitere Unterteilung in Sub-Sub-Komponenten erfolgen. In dieser Arbeit wurden die Komponenten Gehäuse, Bildschirm, Batterie, SIM-Kartenträger, Abdeckung, Tasten, sowie Schrauben weiter zerlegt und die stoffliche Zusammensetzung der Modelle S1-S15 und M1-M15 untersucht. Die Zerlegung erfolgte mit moderatem Aufwand, indem Schrauben entfernt, Klebeverbindungen gelöst und mechanischer Druck angewendet wurden. In *Abbildung 14* wird die Aufteilung der Ebenen und die Zuordnung für die Mobiltelefone M1-M15 und Smartphones S1-S15 grafisch dargestellt. Unter der Bezeichnung „Divers“ werden Komponenten zusammengefasst, die nicht eindeutig einer spezifischen Funktionseinheit zugeordnet werden konnten, jedoch zur strukturellen oder elektronischen Funktion des jeweiligen Moduls beitragen. Hierzu zählen beispielsweise feine Verkabelungen, Stecker, Lötverbindungen, Trägermaterialien, Kleinstbauteile sowie elektronische Hilfsstrukturen, die nicht als eigenständige Funktionseinheiten auftreten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

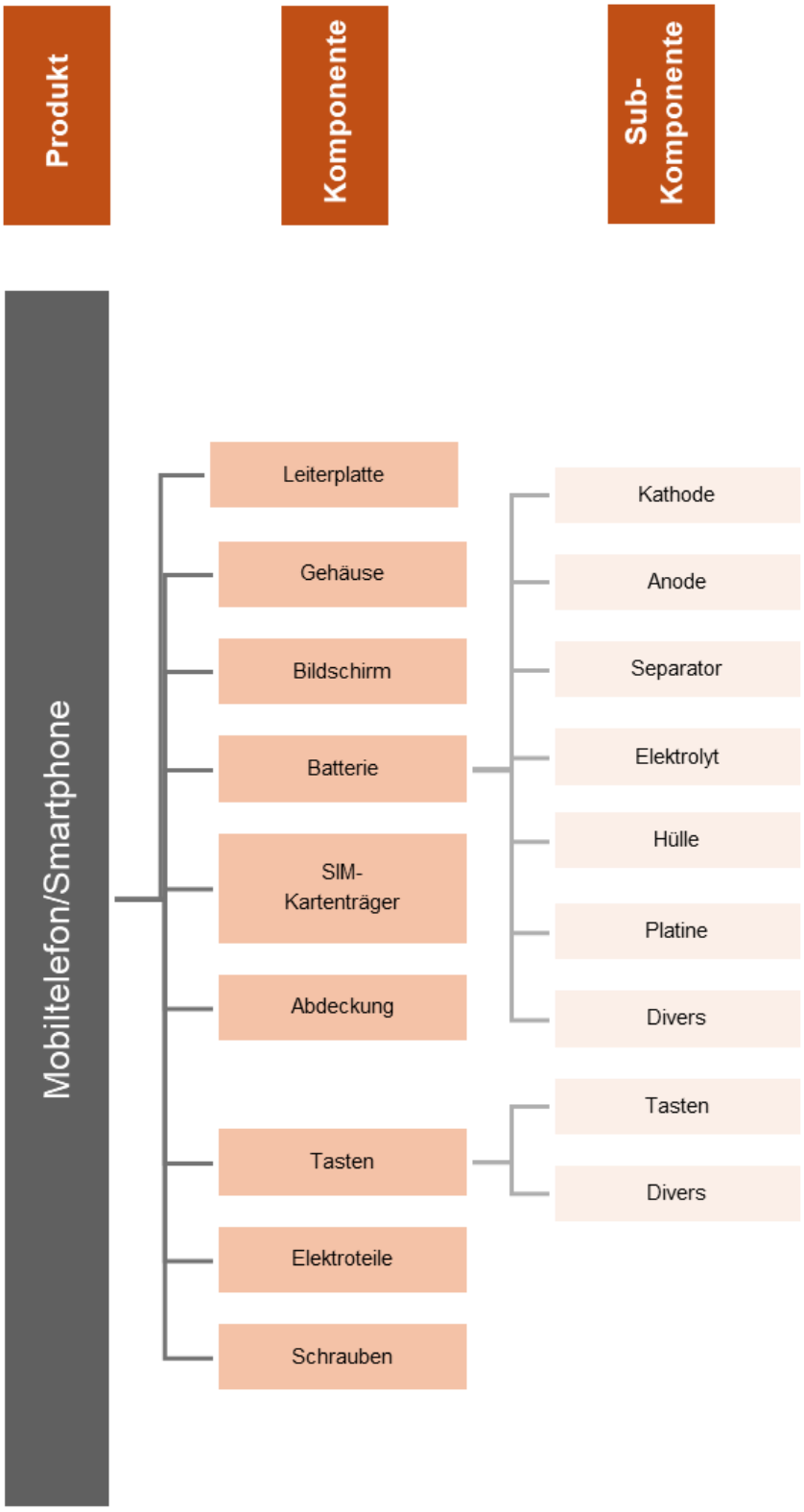


Abbildung 14: Unterteilung der Mobiltelefone und Smartphones in Komponenten und Sub-Komponenten

Die Massen der jeweiligen Komponenten wurden erfasst und sind *Tabelle 4* zu entnehmen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 4: Massenverteilung der Komponenten der Mobiltelefone (M1-M15) und Smartphones (S1-S15) in g

Komponente	Gesamt	Leiterplatte gesamt	Leiterplatte rein	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	SIM-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben
M1	75,1	12,632	11,569	20,8264	5,56	20,728	-	8,22	4,315	2,677	0,2073
M2	86,9	17,784	13,981	10,1384	5,296	21,678	-	9,064	13,037	2,945	0,5142
M3	86,2	20,637	16,303	18,9874	8,878	16,153	0,3709	14,753	7,59	4,0363	0,501
M4		15,946	13,942	12,4473	5,648	-	-	4,085	3,192	3,021	0,7785
M5	97,3	22,127	18,848	27,0926	8,6	21,312	-	16,07	4,303	3,123	0,838
M6	73,2	14,128	11,443	23,5318	6,462	15,678	0,769	10,773	2,15	2,808	0,3526
M7		25,237	15,667	21,4185	14,61	-	-	13,647	1,259	5,981	0,474
M8	81,4	15,81	11,547	23,7454	10,619	17,108	0,3875	9,55	3,722	2,9424	0,2733
M9		19,462	12,744	15,4815	5,306	-	-	11,735	3,465	1,049	0,771
M10	75,8	17,6	15,989	14,0241	4,177	17,867	-	11,456	8,761	6,13	0,473
M11	86,1	23,243	18,789	24,0308	6,47	18,954	0,931	13,026	3,256	2,29	0,851
M12	81,2	18,947	13,791	12,083	5,261	22,028	-	11,291	8,814	2,246	0,501
M13		22,583	19,73	34,8709	6,106	-	3,279	14,958	4,681	3,805	0,3426
M14	92,8	11,208	9,221	26,5595	5,786	18,515	0,9724	15,109	8,573	3,8514	0,8131
M15	75,5	16,295	12,271	10,2487	5,215	20,115	-	3,806	3,33	2,63	0,777

Komponente	Gesamt	Leiterplatte gesamt	Leiterplatte rein	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	SIM-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben
S1	110	14,097	13,536	9,156	36,489	34,482	0,8053	7,007	-	2,6012	0,4159
S2	134,2	12,859	9,729	9,978	56,378	35,79	-	14,433	-	4,909	0,464
S3	148,3	16,012	10,818	47,545	32,616	33,789	2,194	32,175	0,413	5,073	0,7438
S4	153,5	13,291	-	12,028	68,07	42,483	-	8,431	0,793	3,371	0,3785
S5	156,7	14,105	9,993	39,538	31,143	50,804	-	11,804	0,535	4,435	0,6751
S6	142,3	17,974	12,472	12,118	47,218	24,944	-	-	1,144	7,132	0,8741
S7	165	14,491	11,184	10,542	70,032	39,097	-	26,504	0,239	3,716	0,311
S8	172,1	16,219	11,482	33,717	55,462	38,72	-	37,028	0,396	2,838	0,5725
S9	196,4	15,595	9,656	11,935	80,374	67,132	0,401	20,203	0,142	4,522	0,68
S10	134,5	23,63	16,914	21,517	47,728	21,48	1,213	38,481	0,674	3,79	0,6354
S11	117,1	12,865	11,364	5,721	45,663	34,761	-	6,291	0,1	3,972	0,409
S12	138,7	19,087	13,363	38,522	30,123	25,242	0,5569	43,818	-	3,8082	0,1554
S13	112,5	19,06	15,514	13,978	39,619	26,819	0,7027	19,339	-	3,0681	0,4495
S14	120,6	10,742	8,827	11,792	51,855	38,29	-	-	-	5,574	0,463
S15	165,2	25,802	20,893	37,769	41,605	40,967	0,516	-	-	2,758	0,8245

Die Smartphones S16–S22 wurden im Rahmen dieser Arbeit bis zur Sub-Sub-Komponentenebene zerlegt, wodurch eine detailliertere Analyse der Demontierbarkeit und Materialzusammensetzung möglich war. Die Zerlegung wurde mit erhöhtem Aufwand durchgeführt, wobei Werkzeuge wie ein Heißluftföhn, spezielle Schraubenzieher zur Smartphone-Demontage sowie Zangen und Messer verwendet wurden, um die Sub-Komponenten weiter zu unterteilen, da eine Trennung durch einfaches Lösen von Schrauben oder Klebeverbindungen nicht mehr möglich war. Eine schematische Darstellung der Aufteilung der Ebenen sowie der Zuordnung der Komponenten ist in *Abbildung 15* dargestellt.

3.5.1 Mechanische Zerlegung der Komponenten

Batterien

Für die Untersuchung der Batterien der verschiedenen Smartphones und Mobiltelefone wurden die Batterien zunächst analysiert und anschließend in Clustern ähnlicher oder gleicher Bauart gruppiert. So wurden bei den Smartphones alle Akkus der Marke Samsung S1, S4, S5, S11 und S14 in einem Cluster zusammengefasst. Batterien der Modelle S6, S12 und S15 bildeten eine weitere Gruppe. Ein drittes Cluster bestand aus den Modellen S2, S8 und S13. Die Batterien der Smartphones S7, S9, S10 und S3 wurden einzeln betrachtet. Bei den Mobiltelefonen wurden die Modelle der Marke Nokia (M1, M5, M6, M15) mit den Batterien der Mobiltelefonen M2 und M8 einem Cluster zugeordnet. Ein weiteres Cluster bildeten die Batterien der Modelle M3, M10, M11, M12 und M14. Für jedes Cluster wurde ein repräsentativer Akku ausgewählt, der für die weiteren Untersuchungen herangezogen wurde. Bei den Mobiltelefonen M4, M7, M9 und M13 waren keine Akkus vorhanden, weshalb diese Modelle nicht untersucht werden konnten. Eine Übersicht über die Aufteilung der Akkus in die einzelnen Cluster ist in *Tabelle 6* dargestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

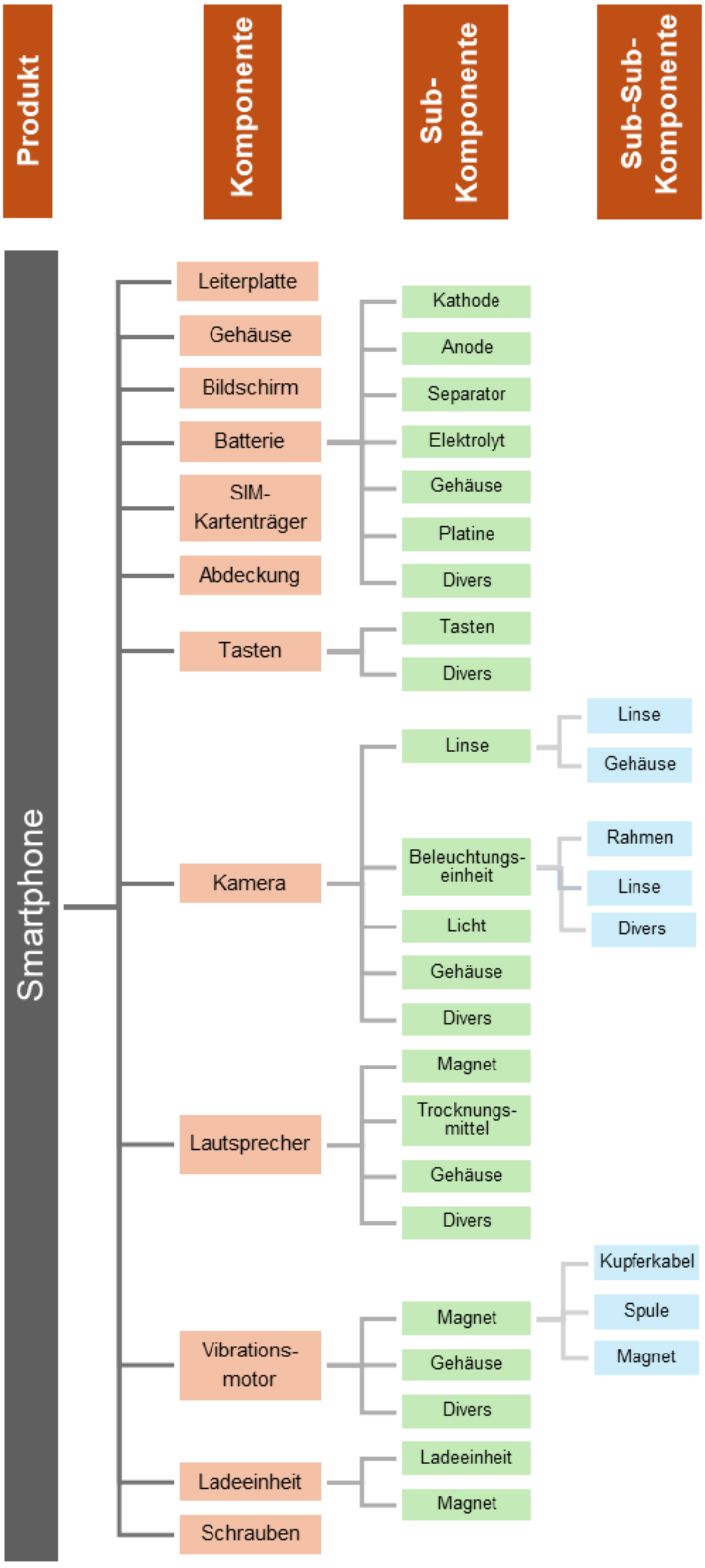


Abbildung 15: Unterteilung der Smartphones (S16-S22) in Komponenten, Sub-Komponenten und Sub-Sub-Komponenten

Die Massenverteilung der Komponenten der Smartphones S16-S22 ist *Tabelle 5* zu entnehmen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 5: Massenverteilung der Komponenten, Sub-Komponenten und Sub-Sub-Komponenten der Smartphones (S16-S22)

Komponente	Gesamt	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie						
Sub-Komponente					Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.
Sub-Sub-Komponente											
S16	176,060	12,803	60,621	38,958	2,351	1,624	2,568	28,452	2,363	1,695	0,458
S17	208,267	15,334	71,597	46,255	2,798	1,933	3,057	33,867	2,813	2,018	0,546
S18	164,394	14,881	50,794	31,067	2,395	1,655	2,617	28,988	2,407	1,727	0,467
S19	204,636	17,990	76,585	31,286	2,589	1,788	2,828	31,335	2,602	1,867	0,505
S20	155,254	16,753	20,758	31,137	0,503	1,734	2,516	34,415	7,991	0,803	3,167
S21	167,498	16,056	22,916	34,375	0,500	1,723	2,500	34,198	7,941	0,798	3,147
S22	224,900	24,391	45,987	57,697	1,734	3,570	1,076	40,587	13,358	0,830	-

Komponente	SIM-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Kamera							
Sub-Komponente			Tasten	Div.	Linse		Beleuchtungseinheit			Licht	Hülle	Div.
Sub-Sub-Komponente					Hülle	Linse	Metallrahmen	Linse	Div.			
S16	0,681	-	1,359	0,145	1,687	3,152	0,198	0,172	0,059	0,052	1,007	0,354
S17	1,111	-	1,698	0,182	1,620	3,026	0,191	0,165	0,057	0,049	0,967	0,340
S18	1,876	-	1,970	0,192	1,657	3,096	0,195	0,169	0,058	0,105	2,114	0,614
S19	1,018	-	2,027	0,217	3,616	6,759	0,426	0,369	0,127	0,111	2,159	0,760
S20	0,480	14,605	0,852	-	2,609	4,876	0,307	0,266	0,092	0,080	1,558	0,548
S21	0,347	17,420	0,979	-	1,910	3,570	0,225	0,195	0,067	0,059	1,140	0,401
S22	-	15,536	-	-	2,032	1,734	-	-	-	0,073	5,344	0,799

Komponente	Lautsprecher				Vibrationsmotor					Ladeeinheit		Schrauben
Sub-Komponente	Magnet	Trocknungsmittel	Hülle	Div.	Magnet			Hülle	Div.	Kupferkabel	Magnet	
Sub-Sub-Komponente					Kupferkabel	Spule	Magnet					
S16	3,531	0,083	1,414	1,404	0,133	0,347	3,484	1,220	0,050	2,660	-	0,787
S17	4,433	0,104	1,775	1,763	0,160	0,417	4,191	1,467	0,060	2,728	-	1,081
S18	3,388	0,080	1,356	1,347	0,133	0,348	3,494	1,223	0,050	2,1430	0,8858	1,135
S19	4,061	0,095	1,626	1,615	0,155	0,406	4,078	1,428	0,059	2,896	1,197	1,328
S20	3,485	0,089	1,761	-	0,035	-	1,649	0,414	-	0,903	-	0,768
S21	6,717	0,172	3,393	-	0,034	-	1,640	0,412	-	5,827	-	0,853
S22	2,455	-	2,376	0,113	0,018	-	0,861	0,216	-	0,796	-	1,166

Tabelle 6: Cluster-Einteilung der untersuchten Batterien von Mobiltelefonen und Smartphones

Cluster-Nr.	Smartphones/Mobiltelefone	Untersuchter Akku
SP1	S1, S4, S5, S11, S14, S20, S21	S1
SP2	S6, S12, S15	S12
SP3	S2, S8, S13	S2
SP4	S7	S7
SP5	S9	S9
SP6	S10	S10
SP7	S3	S3
MT1	M1, M2, M5, M6, M8, M15	M5
MT2	M3, M10, M11, M12, M14	M3



Abbildung 16: Bildliche Übersicht der Batterie-Cluster
(a) SP1, (b) SP2, (c) SP3, (d) SP4, (e) SP5, (f) SP6, (g) SP7, (h) MT1, (i) MT2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zur Untersuchung der Akkus wurden diese in einen Schraubstock eingespannt und anschließend mit einer Säge an beiden Längsseiten sowie an der Seite aufgeschnitten (siehe *Abbildung 17*), um die Batteriezelle freizulegen. Bei Akkus mit einer weicheren Aluminiumhülle war das Aufsägen nicht erforderlich, stattdessen konnte die Hülle mit einem Messer aufgeschnitten werden.

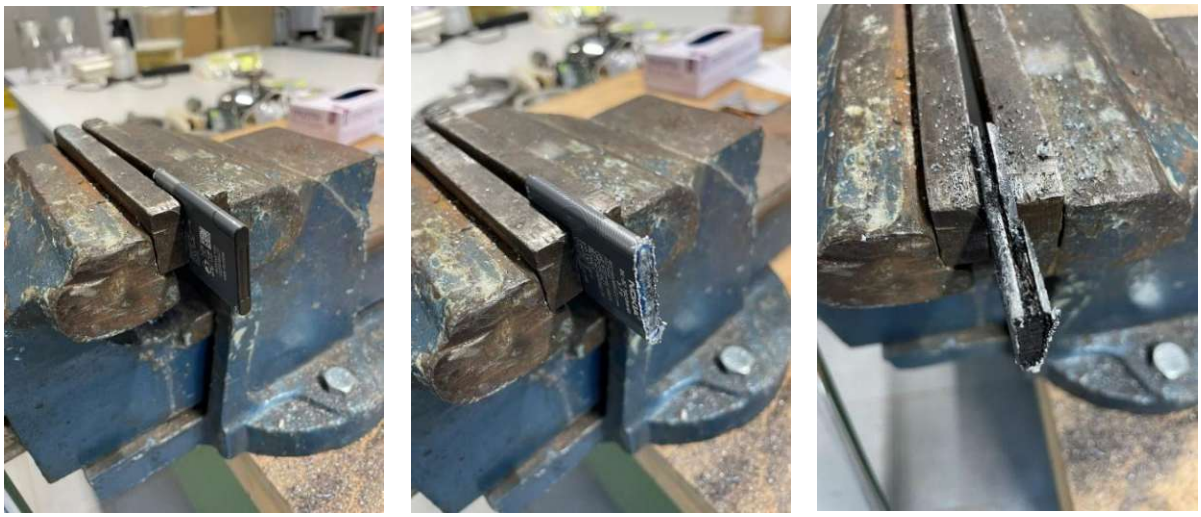


Abbildung 17: Methoden zur Öffnung der Akkus

Zudem wurden die Platine und die Plastikteile von der Hülle entfernt und anschließend abgewogen. Auf *Abbildung 18* sind die verschiedenen Bestandteile des Akkus dargestellt: das Aluminiumgehäuse, die Platine, die Plastikteile des Akkus, die Folie, die am Gehäuse befestigt war, sowie die Batteriezelle.



Abbildung 18: Akkubestandteile

Nachdem die Batteriezelle abgewogen wurde, wurde die Zelle auseinandergewickelt. Die verschiedenen Akkus wiesen alle einen sehr ähnlichen Aufbau auf, bei dem die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

positive Elektrode auf einem Aluminium- und die negative Elektrode auf einem Kupfer-Stromabnehmer gelötet waren. Beide Elektroden waren, zusammen mit einem dazwischenliegenden Separator aus Plastikfolie, zu einer flachen Spiralform aufgewickelt. Der Separator besteht aus einer Trockenmembran, deren genaue Materialzusammensetzung im Labor nicht näher analysiert werden konnte. Laut Literatur handelt es sich dabei jedoch in den meisten Fällen um Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) (Korthauer, 2013). Die Materialzusammensetzung des Separators wird daher als Polyethylen (PE) angenommen.

Die ausgewickelte Länge der Batteriezelle wurde anschließend gemessen. Von der Aluminiumfolie, der Kupferfolie und der Plastikfolie wurden reine Proben entnommen, gewogen und ihre jeweilige Länge bestimmt, um die exakten Massen der einzelnen Folien auf die Gesamtlänge berechnen zu können (siehe *Abbildung 19*). Die Gesamtmasse der Folien wurde basierend auf der Masse der entnommenen Probe, deren Länge und der Gesamtlänge der jeweiligen Folie berechnet. Anschließend wurde die Masse der Kupfer-, Aluminium- und Plastikfolie von der Gesamtmasse der Batteriezelle abgezogen, um die Masse der Elektrodenbeschichtung zu bestimmen. Die Masse der Kunststofffolie wurde mit dem Faktor zwei multipliziert, da zwei Schichten Kunststofffolie vorhanden waren, welche die Elektroden voneinander trennten.

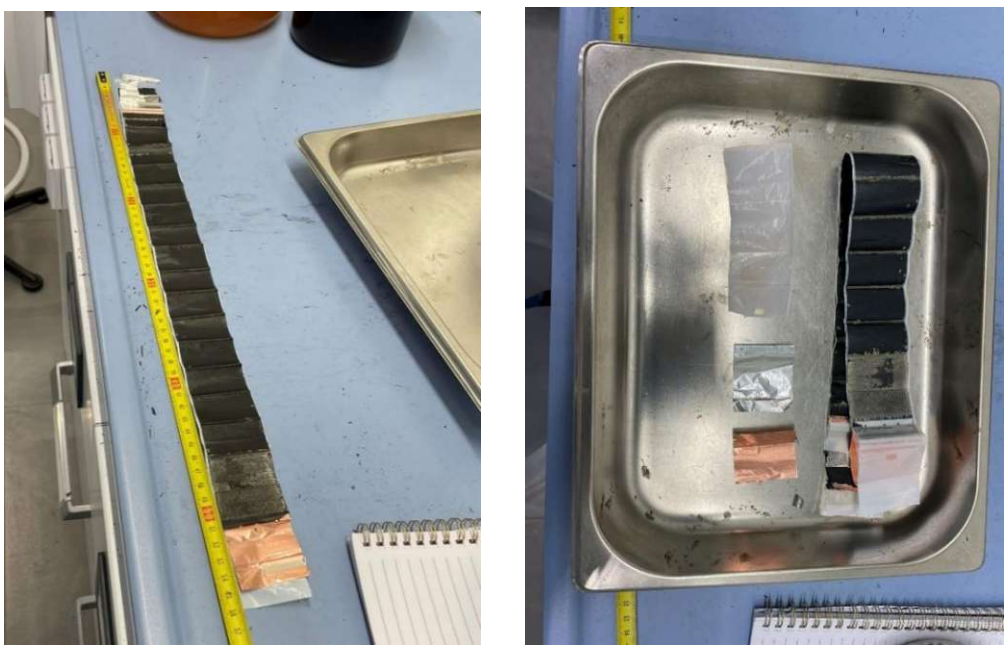


Abbildung 19: Analyse der Batteriezelle nach dem Aufwickeln, links: ausgewickelte Batteriezelle, rechts: reine Proben der Batteriebestandteile

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bei den Akkus SP6 und SP7 unterschied sich der Aufbau der Batteriezellen im Vergleich zu den anderen untersuchten Akkus. Die Kupfer- und Aluminiumfolien waren nicht über die gesamte Länge der Folie aufgewickelt, sondern in rechteckigen Segmenten unterteilt, die auf der gerollten Folie befestigt waren, wie in *Abbildung 20* zu sehen. Diese rechteckigen Segmente lösten sich von der Folie und waren vom Aufbau her erneut in Kupfer-, Aluminium- und Kunststofffolien mit Elektrodenbeschichtung unterteilt. Durch die Aufteilung in Rechtecke war es nicht möglich, reine Proben der Aluminium- oder Kupferfolie zu entnehmen. Stattdessen wurde die Gesamtlänge der Folien anhand der Breite eines einzelnen Rechtecks berechnet. Die Gesamtmasse wurde schließlich auf Basis der Masse einer vergleichbaren Probe aus einem anderen Akku ermittelt. Dabei wurde die Masse der Kunststofffolie mit dem Faktor drei multipliziert, da sich in jedem Rechteck zwei Schichten Kunststofffolie befanden, die zusätzlich auf einer weiteren Kunststofffolie befestigt waren.

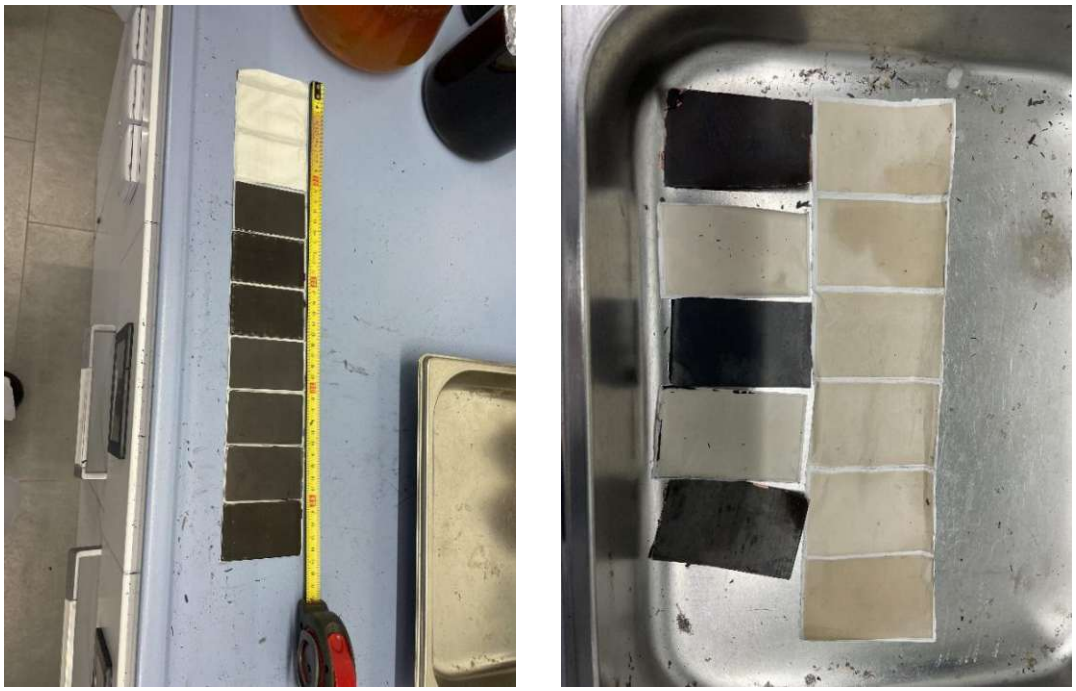


Abbildung 20: Aufbau der Akkus SP6 und SP7

Durch den Materialverlust infolge von Demontage und Sägevorgängen beim Öffnen der Aluminiumgehäuse um die Batteriezelle konnte das in der Laborübung ermittelte Gesamtgewicht der Batterie nicht vollständig erreicht werden. Der durch das Sägen verursachte Verlust betrug jedoch weniger als 10 % der ursprünglichen Masse. Bei den Akkus mit einer weicheren Aluminiumhülle bei denen das Aufsägen nicht

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

erforderlich war und die Hülle stattdessen mit einem Messer aufgeschnitten wurde, war der Materialverlust geringer.

Bildschirme

Für die mechanische Zerlegung der Bildschirme wurde aufgrund der starken Ähnlichkeit in Aufbau und Form vieler Mobiltelefonbildschirme diese ebenfalls in Clustern zusammengefasst. In *Tabelle 7* ist die Einteilung der Cluster ersichtlich und in *Abbildung 21* veranschaulicht.

Tabelle 7: Cluster-Einteilung der untersuchten Bildschirme der Mobiltelefone

Cluster-Nr.	Mobiltelefone	Untersuchter Bildschirm
1	M4, M9, M12, M15	M12
2	M1, M2, M6, M8, M10, M11, M13, M14	M8
3	M5	M5
4	M3	M3
5	M7	M7



Abbildung 21: Bildliche Übersicht der Mobiltelefonbildschirme

Die Bildschirme wurden anschließend, soweit dies manuell möglich war, weiter zerlegt. Dabei konnten beispielsweise der Plastikrahmen um den Bildschirm sowie Metallrahmen und -platten, die an der Rückseite befestigt waren, entfernt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Diese Fraktionen wurden gewogen und deren Material bestimmt. Falls Folien bereits vom Bildschirm entfernt werden konnten, wurde dies durchgeführt. Der verbleibende glasartige Rest wurde daraufhin in einer Kugelmühle weiterverarbeitet. Die verbleibenden Folien, die in der Kugelmühle (Cryomill; Fa. Retsch) nicht zerkleinert werden konnten, wurden händisch mit einer Schere in kleinere Rechtecke zerschnitten. Das Material wurde anschließend in einer Ultrazentrifugalmühle (ZM 200, Fa. Retsch) zunächst auf eine Partikelgröße von 1 mm und anschließend auf 0,2 mm gemahlen. Aus dem behandelten Bildschirmmaterial wurde eine Probe für den nachfolgenden Aufschluss entnommen. Die mechanische Zerlegung und Weiterverarbeitung der Bildschirme sind in *Abbildung 22* durch Fotos veranschaulicht.

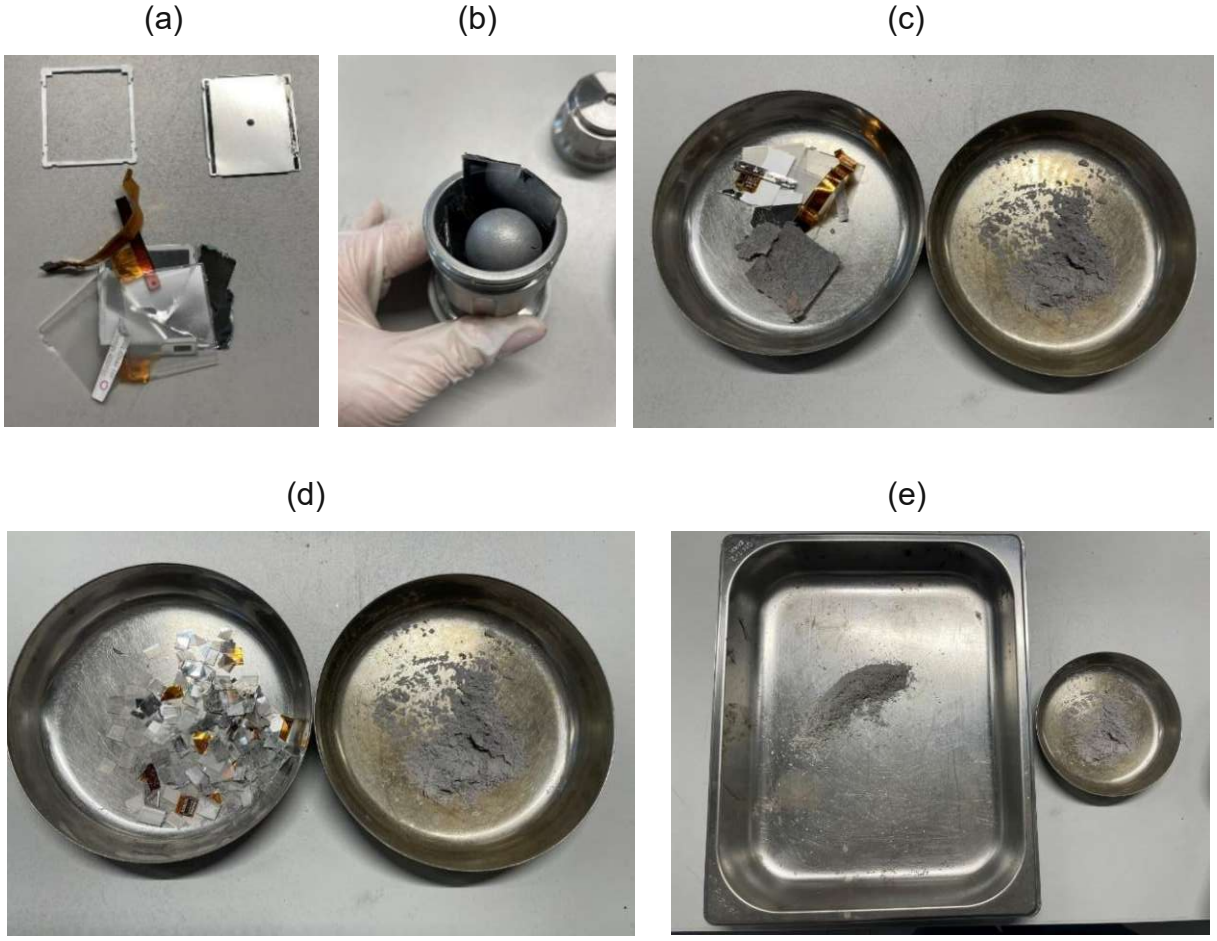


Abbildung 22: Mechanische Zerlegung und Weiterverarbeitung der Bildschirme, (a) Bestandteile eines Bildschirmes, (b) Mahlen des Bildschirms in der Kugelmühle, (c) Ergebnis nach Mahlen in der Kugelmühle, (d) Händische Zerkleinerung der Folienbestandteile, (e) Ergebnis nach mahlen in der Ultrazentrifugalmühle

Bei den Bildschirmen der Smartphones war es nicht möglich, Cluster zu erstellen, weshalb jeder Bildschirm einzeln untersucht wurde. *Abbildung 23* gibt einen Überblick über die untersuchten Bildschirme. Bei den Bildschirmen der Smartphones S1, S2, S4, S7, S9, S11, S13 und S14 bestehen die Bildschirme nicht nur aus dem Bildschirm

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

selbst, sondern sind zusätzlich an einem Gehäuseteil befestigt. Diese beiden Komponenten sind fest miteinander verbunden und können nicht durch geringen manuellen Aufwand, beispielsweise durch das Lösen von Schrauben, voneinander getrennt werden.



Abbildung 23: Bildliche Übersicht der Smartphonebildschirme

Die Bildschirme wurden daraufhin manuell unter Einsatz von Werkzeugen und eines Heißluftföhns weiter zerlegt, wobei die Gehäuseteile der Bildschirme von den Glasbildschirmen getrennt wurden. Das Gehäuseteil bestand bei den meisten Bildschirmen aus mehreren Materialien, konnte jedoch bei mehreren Bildschirmen nicht weiter zerlegt und differenziert werden (siehe *Abbildung 24*). Kunststoff- und Metallanteile des Gehäuseteils wurden mithilfe von ATR-FTIR (Alpha II, Fa. Bruker) - und XRF (Niton XL3t Air Fa. Thermo Scientific)-Analysen genauer bestimmt.

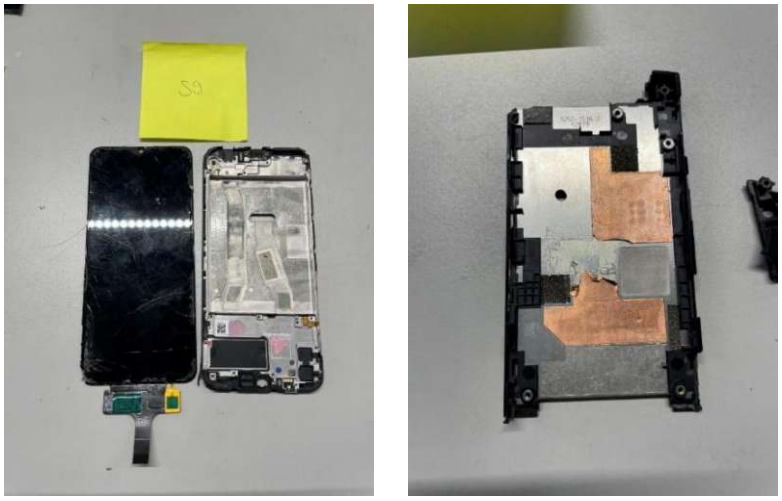


Abbildung 24: links: Zerlegung eines Smartphonebildschirms in Gehäuseteil und Bildschirmteil, rechts: Gehäuseteil bestehend aus mehreren Materialien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Glasbildschirme wurden zunächst in einer Schneidmühle (SM 300; Fa. Retsch) vorzerkleinert und anschließend in einer Ultrazentrifugalmühle weiterverarbeitet. Dabei erfolgte die Mahlung zunächst auf eine Korngröße von 1 mm und anschließend auf 0,2 mm. Aus den zerkleinerten Bildschirmen wurde eine Probe für den nachfolgenden Aufschluss entnommen. *Abbildung 25* zeigt die Ergebnisse der mechanischen Zerlegung und Weiterverarbeitung der Smartphone-Bildschirme.



Abbildung 25: Mechanische Zerlegung und Weiterverarbeitung der Smartphone-Bildschirme, Ergebnisse nach: Links: Schneidmühle, Mitte: Ultrazentrifugalmühle 1 mm, Rechts: Ultrazentrifugalmühle 0,2 mm

Gehäuse

Ein Experiment zur Bestimmung der Massen der Kunststoff- und Metallfraktionen (Aluminium- bzw. Magnesiumlegierungen) bestand darin, das Gehäuseteil in einen Ofen bei 550°C zu geben, um den Kunststoffanteil zu schmelzen. Dadurch sollte lediglich der Metallanteil zurückbleiben, welcher anschließend gewogen werden sollte. Durch Abzug dieser Masse von der Gesamtmasse des Gehäuseteils sollte die Masse der Kunststofffraktion berechnet werden können. Dieses Verfahren erwies sich jedoch als nicht erfolgreich, da auch der Metallanteil geschmolzen bzw. oxidiert ist und so keine Masse ermittelt werden konnte (siehe *Abbildung 26*).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abbildung 26: Versuch zur Bestimmung der Massen der Kunststoff- und Metallfraktion

Die Massen konnten lediglich geschätzt werden, wobei der Kunststoffanteil auf etwa 10–15 % der Gesamtmasse geschätzt wird. Bei den Modellen der S3, S5, S6, S8, S10, S12 waren die Bildschirme nicht mit einem zusätzlichen Gehäuseteil verbunden.

Weitere Komponenten

Die Analyse der restlichen Komponenten (SIM-Kartenträger, Abdeckungen, Tasten, Schrauben) konnte ohne vorherige mechanische Zerlegung erfolgen.

Mechanische Zerlegung der Komponenten der Smartphones S16-S22

Die Smartphones S16-S22 wurden mithilfe spezieller Werkzeuge zur Smartphone-Demontage gemäß der in Kapitel 3.3 beschriebenen Vorgehensweise in ihre Komponenten, Sub-Komponenten sowie Sub-Sub-Komponenten zerlegt. Ein exemplarisches iPhone wurde vollständig bis auf die Sub-Sub-Komponenten demontiert, um eine detaillierte Analyse der Massenverteilung vorzunehmen (*Abbildung 27*). Die übrigen iPhones wurden lediglich bis auf die Ebene der Sub-Komponenten zerlegt, da alle iPhones hinsichtlich ihres Aufbaus weitgehend identisch waren und daher der vollständige Zerlegungsaufwand nur einmal erforderlich war. Basierend auf den ermittelten Komponentengewichten der anderen iPhones wurde die Massenverteilung des exemplarisch vollständig analysierten Geräts massengewichtig umgerechnet und auf die übrigen iPhones übertragen. Die resultierende Massenverteilung ist in *Tabelle 5* dargestellt. Alle anderen Smartphones wurden auf ihre Sub-Sub-Komponentenebene zerlegt. Bei der Demontage der Smartphones zeigte sich, dass die Entfernung des Displays bei allen iPhone-Modellen von Apple sowie die Entfernung der Glasrückabdeckung beim Samsung Galaxy S24

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ausschließlich mithilfe eines Heißluftföhns möglich war. Hierfür war eine Erwärmung auf mindestens 80 °C für mehrere Minuten erforderlich, um die Bauteile anschließend mit einem Saugheber aus dem Gehäuse lösen zu können. Dieser Prozess gestaltete sich aufgrund der starken Verklebung als anspruchsvoll und erforderte sowohl einen hohen Kraftaufwand als auch ein hohes Maß an Präzision. Die Batterien konnten weder bei den iPhone-Modellen noch beim Samsung Galaxy S24 einfach entnommen werden, da sie mit Klebestreifen fixiert waren. Die Demontage gestaltete sich als herausfordernd, da die Klebestreifen nur schwer entfernt werden konnten. Nachdem das Display bzw. die Abdeckung sowie die Batterie entfernt worden waren, konnten alle weiteren Komponenten durch das Lösen von Schrauben demontiert werden. Bei den iPhone-Modellen war es nicht möglich, eine separate Abdeckung zu entfernen, da Gehäuse und Abdeckung untrennbar miteinander verbunden waren, während bei den Samsung-Galaxy-Modellen der Bildschirm nicht vom übrigen Gehäuse getrennt werden konnte. Die Demontage des Fairphones erwies sich hingegen als unkompliziert: Die Abdeckung konnte mühelos händisch ohne Werkzeug entfernt werden und das Display ließ sich nach Lösen einiger Schrauben ebenfalls problemlos entfernen. Auch die weiteren Komponenten ließen sich entweder direkt herausnehmen oder durch das Lösen von Schrauben einfach demontieren. Die Smartphones mit ihren Sub-Sub-Komponenten (das iPhone 14 Pro stellvertretend für die iPhone-Modelle) sowie die detailliert zerlegten Sub-Sub-Komponenten der übrigen Smartphones sind in *Abbildung 27* dargestellt.

Bei den Smartphones S16–S22 setzte sich das Gehäuse aus mehreren Materialien zusammen (siehe *Abbildung 28 (b)*). Eine genaue Massenermittlung war nicht möglich, da die Materialien nicht separat voneinander getrennt werden konnten. Für die iPhones, sowie dem Samsung S24 wurde angenommen, dass das Gehäuse zu etwa 80 % aus Glas, zu 5 % aus Kunststoff und zu 15 % aus Aluminium oder Stahl besteht. Beim Samsung S20 wurde der Gehäuseanteil auf etwa 30 % Aluminium und 70 % Polycarbonat (PC) geschätzt. Beim Fairphone bestand das Gehäuse zu etwa 99 % aus Polycarbonat (PC) und zu 1 % aus Stahl. Zudem wurden je eine Leiterplatte, eine Kamera, ein Bildschirm sowie Kabel des iPhone 14 Pro gemahlen und daraus jeweils eine Probe hergestellt. Die Zerkleinerung erfolgte zunächst auf eine Korngröße von 1 mm und anschließend auf 0,2 mm. Aus jeder dieser Komponenten wurde eine Probe für den chemischen Aufschluss entnommen. Detaillierte Abbildungen der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Komponenten sowie deren Zerlegung in Sub- bzw. Sub-Sub-Komponenten sind in der *Abbildung 28*, *Abbildung 29*, *Abbildung 30*, *Abbildung 31* und *Abbildung 32* dargestellt.



Abbildung 27: Zerlegung der Smartphones in ihre (Sub-)Sub-Komponenten, oben links: S19, oben rechts: S20, unten links: S21, unten rechts S22

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

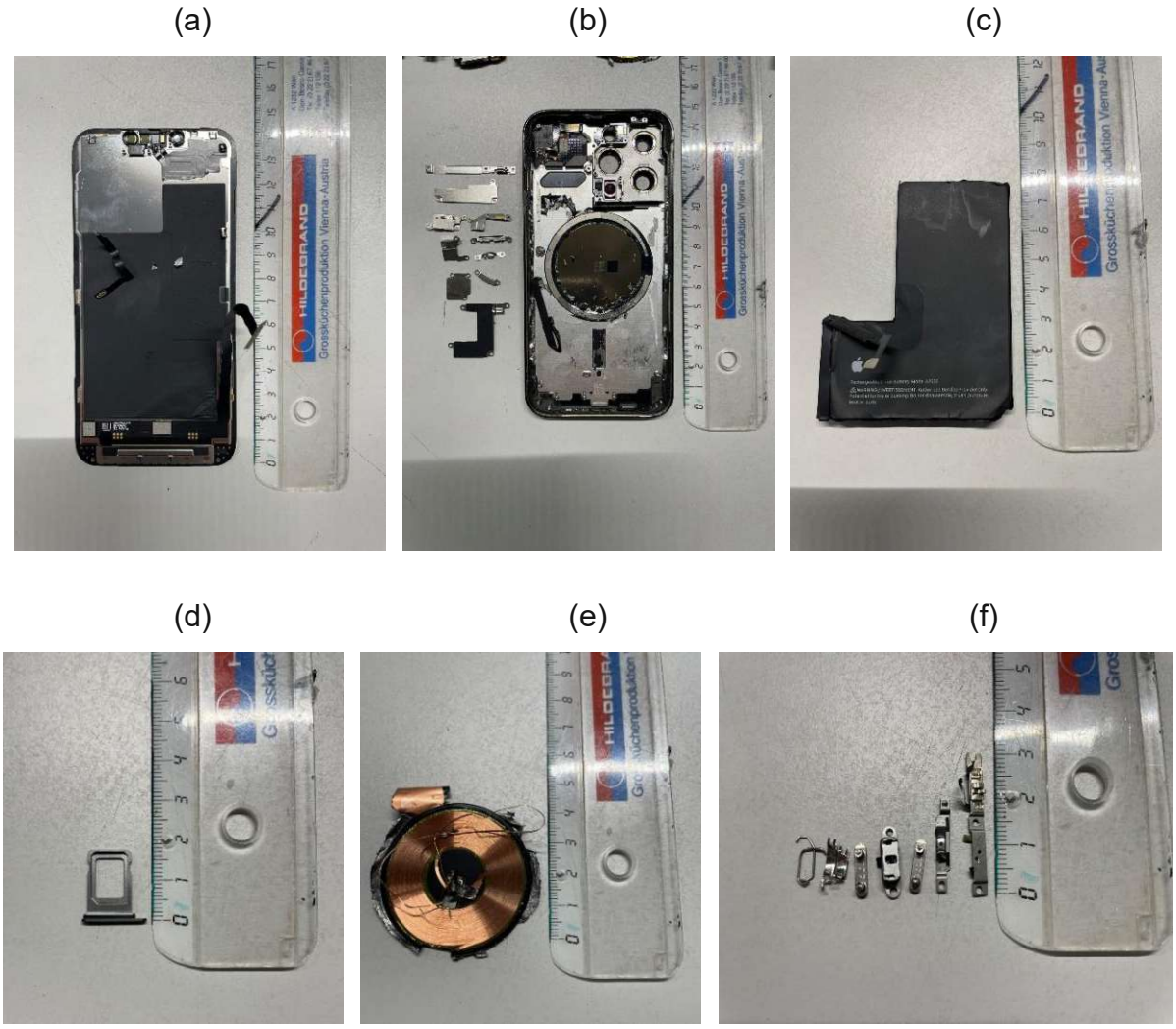


Abbildung 28: Komponenten eines Smartphones (iPhone 14 Pro): (a) Bildschirm, (b) Gehäuse, (c) Batterie, (d) SIM-Kartenträger, (e) Ladeeinheit, (f) Tasten

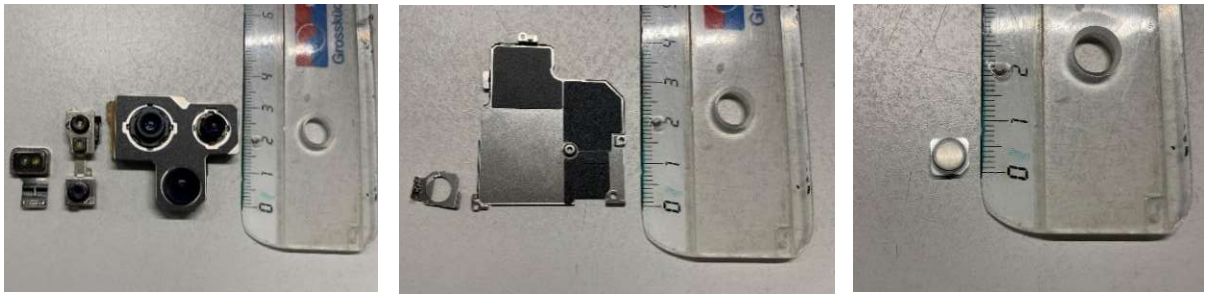


Abbildung 29: Komponente Vibrationsmotor (iPhone 14 Pro), links: Komponentenebene, rechts: Sub-Sub-Komponentenebene

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abbildung 30: Komponente Lautsprecher (iPhone 14 Pro), links: Komponentenebene, rechts: Sub-Sub-Komponentenebene



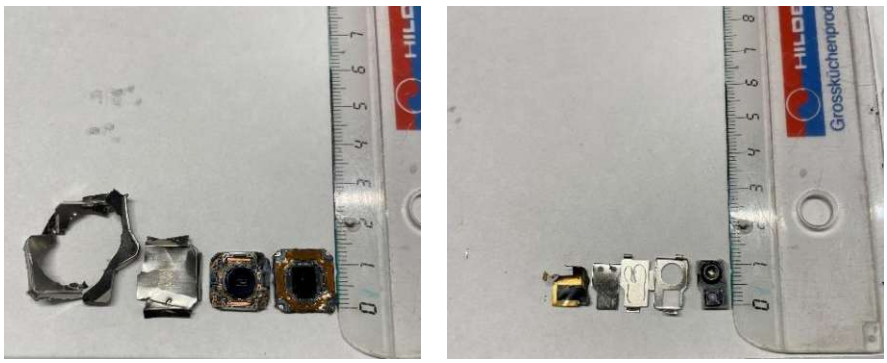


Abbildung 31: Komponente Kamera (iPhone 14 Pro), oben links: Komponentenebene, oben Mitte: Metallrahmen, oben rechts: Blitz, unten: Sub-Sub-Komponentenebene

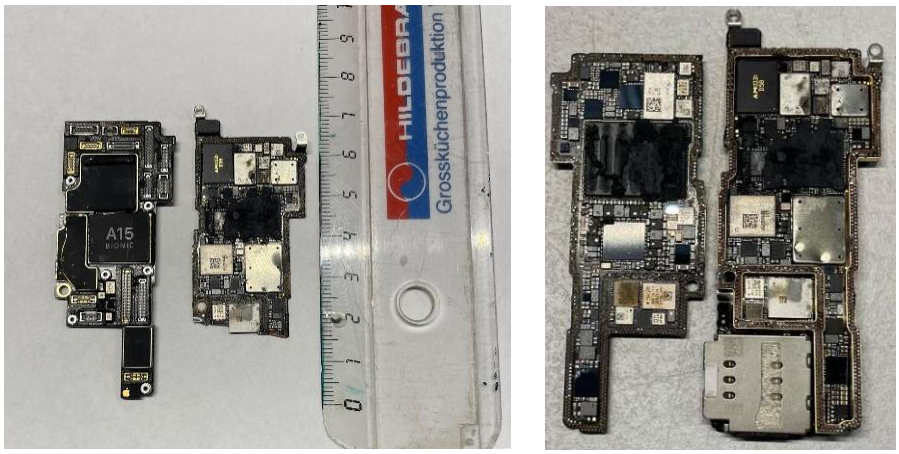


Abbildung 32: Komponente Leiterplatte (iPhone 14 Pro)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.5.2 Analyse der Komponenten

Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FT-IR)

Für die Analyse wurden die (Sub-/Sub-Sub-)Komponenten sortiert und die nicht metallischen Bestandteile der Abdeckungen, Gehäuse und Tasten mithilfe eines FT-IR-Spektrometer (Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie) analysiert. Die FTIR-Spektroskopie dient der Analyse der Infrarotstrahlung (IR), die von der Probe absorbiert wird, und erlaubt dadurch die Untersuchung der molekularen Zusammensetzung (Chalmers, 2000). Zum Einsatz kam dabei eine abgewandelte ATR-FTIR-Methode (Attenuated Total Reflection), bei der die Infrarotstrahlung über abgeschwächte Totalreflexion direkt an der Oberfläche der Probe gemessen wird. Allerdings können insbesondere schwarze Materialien aufgrund ihrer starken IR-Absorption schwieriger zu analysieren sein. Für das Modell Smartphone S14 steht keine untersuchbare Abdeckung zur Verfügung, da diese im Rahmen der Laborübung bereits fehlte.



Abbildung 33: FT-IR-Spektrometer

Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Die metallischen Bestandteile der Komponenten wurden durch Fachkenntnis des Laborleiters durch Optik, Haptik, Biegsamkeit, Porosität und Magnetisierbarkeit und zusätzlich durch eine Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Die RFA ist eine Methode zur zerstörungsfreien Bestimmung der elementaren Zusammensetzung von

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Proben und kann dabei qualitativ und quantitativ analysiert werden (Rackwitz, 2012). Für die Analyse der Proben in dieser Arbeit wurden die Programme “Kunststoffe” und “TestAll Geo” verwendet und eine Messzeit von 120 Sekunden eingehalten.



Abbildung 34: Röntgenfluoreszenz-Spektrometer

Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

Die Proben der Komponenten Bildschirm und Batterien, sowie jeweils eine Probe des Bildschirms, der Leiterplatte, der Kabel und der Kamera des iPhone 14 Pro wurden einer chemischen Analyse mittels optischer Emissionsspektroskopie unterzogen. Für die Proben der Komponente Bildschirm wurde eine Einwaage von 500 mg gewählt, während für die übrigen Komponenten eine reduzierte Einwaage von 250 mg verwendet wurde. Genaue Gewichtsangaben können *Tabelle 116* entnommen werden. Als Referenzmaterial dienten zwei Proben der Flugasche 176 R. Der chemische Aufschluss wurde in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte der Aufschluss mittels Königwasser (2 ml Salpetersäure (HNO_3), 6 ml Salzsäure (HCl)) sowie 1 ml Flusssäure. Zusätzlich wurden zwei Säureblindproben mit jeweils 2 ml HNO_3 und 6 ml HCl angesetzt. Nach Zugabe der Säuren wurden die Aufschlüsse in einem Mikrowellensystem (MLS GmbH Start) bestückt mit einem HPR-1000 Rotor und MPV-100 HT Behälter, mit der Methode “E704 - Gestein Total” erhitzt. Im zweiten Schritt erfolgte die Komplexierung der Aufschlüsse durch Zugabe von 5 ml Borsäure ($B(OH)_3$, Konzentration 30 g/l) und ausführen der Mikrowellenmethode „Komplexierung“. Anschließend wurden die Aufschlüsse über Weißbandfilter in 50ml Kunststoffmesskolben filtriert und mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Während des

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aufschlussverfahrens kam es beim Abkühlen der Proben zu einer Repolymerisation des Kunststoffanteiles, deren Rückstände im Filter zurückgehalten wurden (*Abbildung 35*).

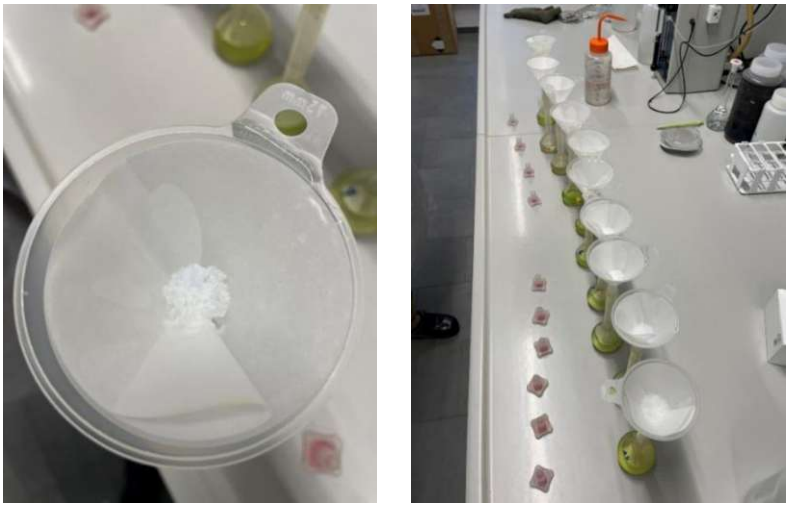


Abbildung 35: Repolymerisation des Kunststoffanteiles während des Probenaufschlusses

Insgesamt wurden 34 Proben aufgeschlossen und in vier Gruppen unterteilt. Die aufgeschlossenen Proben wurden anschließend mit destilliertem Wasser im Verhältnis 1:10 und 1:100 verdünnt. Die gewählten Verdünnungsfaktoren (1, 10, 100) ermöglichen, sowohl niedrige als auch hohe Analytkonzentrationen innerhalb der Proben effizient zu erfassen und sicherzustellen, dass die Messergebnisse im optimalen Bereich des Analysegeräts liegen.

Zur Kalibrierung des Messgerätes wurden Standardlösungen in mehreren Reihen hergestellt. Für die Messung wurde eine gezielte Auswahl an Elementen getroffen. Die Grundlage für die Wahl der Elemente bildete eine detaillierte Literaturrecherche zu ihrem Vorkommen in den verschiedenen Komponenten und ihrer Nachweisbarkeit (Bruno et al., 2022; Cenci et al., 2024; Gupta et al., 2021; Singh et al., 2018). Die ausgewählten Elemente umfassen Ti, Sn, Sb, Ba, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Zn, Ga, Mo, V, W, Zr, In, Nb, Ca, Mg, Na, K, Ag, Au und Pd.

Die Standardreihen wurden so ausgewählt, dass mögliche Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Elementen ausgeschlossen werden, um deren gegenseitige Beeinflussung zu minimieren. Für jedes zu analysierende Element wurde eine Kalibrationsgerade mit vier Konzentrationen erstellt. Die Konzentrationen der Elemente in den Standardlösungen wurden so gewählt, dass der gewünschte Arbeitsbereich vollständig abgedeckt ist (siehe *Tabelle 8*). Die Kalibrierstandards wurden aus Einzelelementstammlösungen mit einer Konzentration von 1000 mg/l

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

hergestellt. Zur Stabilisierung wurden den Standards der Reihen B, C, D, E und G jeweils 1 ml Salpetersäure zugesetzt. Die Standards der Reihe A wurden mit 1 ml Salzsäure stabilisiert, während den Standards der Reihe G 1 ml Salpetersäure und 2 ml Salzsäure hinzugefügt wurden. Die Messungen erfolgten mit dem ICP-Modell Optima 8300 von PerkinElmer.

Tabelle 8: Standardreihen und Kalibrierkonzentrationen für die ICP-OES-Messung

Reihe	Element	Standard 1 [mg/l]	Standard 2 [mg/l]	Standard 3 [mg/l]	Standard 4 [mg/l]	Matrix
A	Ti, Sn	0,1	0,3	0,7	1	1 ml HCl
	Sb	0,01	0,03	0,07	0,1	
B	Ba	0,01	0,03	0,07	0,1	1 ml HNO_3
C	Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn	1	3	7	10	1 ml HNO_3
	Co, Li, Mn	0,1	0,3	0,7	1	
	Ni	1	10	7	3	
D	Ga, Mo, V, W, Zr, In, Nb	0,01	0,03	0,07	0,1	1 ml HNO_3
E	Ca, Mg, Na	1	3	7	10	1 ml HNO_3
	K	0,1	0,3	0,7	1	
F	Ag	0,01	0,03	0,07	0,1	1 ml HNO_3, 2 ml HCl
G	Au, Pd	0,01	0,03	0,07	0,1	1 ml HNO_3

Die durchgeführten Analysen ermöglichen eine weitgehende, jedoch nicht vollständige Bestimmung der in den Komponenten enthaltenen Materialien. Einerseits konnten nicht alle enthaltenen Stoffe analytisch identifiziert werden, insbesondere wenn diese in geringen Mengen oder in komplexen Verbindungen vorlagen. Andererseits lassen sich einige Materialien mit den eingesetzten Methoden nicht eindeutig zuordnen. Aus diesem Grund wurde der verbleibende Massenanteil, der keiner klaren Materialkategorie zugeordnet werden konnte, unter der Bezeichnung „Others“ zusammengefasst. Diese Kategorie umfasst sowohl nicht identifizierbare Materialien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

als auch mögliche Mess- oder Probenverluste und stellt somit einen Restwert zur Vervollständigung der Massebilanz dar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4 Resultate und Diskussion

Das vorliegende Kapitel fasst die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zusammen und ordnet sie im Hinblick auf die zentrale Fragestellung dieser Arbeit ein. Im Fokus stehen dabei sowohl die Analyse der Material- und Massenverteilung auf (Sub-Sub-)Komponentenebene als auch die Bewertung der recyclingrelevanten Eigenschaften anhand des RPR-Ansatzes. Durch die vergleichende Betrachtung klassischer Mobiltelefone (M11), moderner Smartphones (S10) sowie der vertieften Analyse eines bis auf Sub-Sub-Komponente zerlegten Geräts (S19) konnten nicht nur Unterschiede in Aufbau und Materialeinsatz herausgearbeitet, sondern auch Rückschlüsse auf die potenzielle Recyclingfähigkeit gezogen werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden systematisch dargestellt, analysiert und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Optimierung zukünftiger Produktgestaltungen diskutiert.

4.1 Datenauswertung

Die folgenden Auswertungen basieren auf der Untersuchung von insgesamt 37 Mobiltelefonen, darunter 15 klassische Mobiltelefone (M1–M15) sowie 22 Smartphones (S1–S22), die zwischen 2004 und 2024 erschienen sind. Die Geräte wurden bis auf Komponenten-, Sub- und teilweise Sub-Sub-Komponentenebene mechanisch zerlegt. Dabei wurden sowohl die Massenanteile der einzelnen Bauteile als auch deren Materialzusammensetzung bestimmt. Zur Ermittlung der enthaltenen Materialien wurden verschiedene analytische Verfahren eingesetzt. Die nichtmetallischen Bestandteile wurden mittels Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FT-IR) analysiert, während die qualitative Bestimmung der Metalle durch Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) erfolgte. Ergänzend wurde für ausgewählte Proben eine optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) durchgeführt, um eine quantitative Analyse der Elementkonzentrationen zu ermöglichen. Auf Grundlage der ermittelten Massenverteilungen und Materialzusammensetzungen wurde für jedes Modell die relative produktinhärente Recyclingfähigkeit (RPR) nach dem SE-basierten Bewertungsansatz berechnet.

Um die ermittelten Materialzusammensetzungen zu veranschaulichen und Unterschiede zwischen Mobiltelefonen und Smartphones herauszuarbeiten, werden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

im Folgenden zwei exemplarische Geräte gegenübergestellt: das Mobiltelefon M11 sowie das Smartphone S10. Die tabellarische Darstellung zeigt jeweils die Massenverteilung der identifizierten Materialien auf den einzelnen Komponentenebenen. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der Grenzen der eingesetzten Analysemethoden nicht alle Stoffe vollständig bestimmt werden konnten. Der nicht eindeutig zuordenbare Rest wurde unter der Kategorie „Others“ zusammengefasst, um die Massebilanz zu schließen.

4.1.1 Materialzusammensetzung Mobiltelefon am Beispiel M11

Tabelle 9 zeigt die Materialzusammensetzung des Mobiltelefons M11 auf Komponentenebene. In den durchgeführten Analysen wurden insgesamt 34 verschiedene Materialien im Mobiltelefon M11 nachgewiesen, die sich über sämtliche Komponenten verteilen. Den größten Anteil bilden dabei Kupfer (8,03 g), Eisen (11,35 g) und Nickel (0,70 g) im metallischen Bereich sowie der weit verbreitete Kunststoff PC/ABS, der insbesondere im Gehäuse (4,57 g), der Batterie und der Abdeckung verwendet wird.

Die größten Massenanteile entfallen auf das Gehäuse (24,03 g), die Batterie (18,95 g) und die Abdeckung (13,03 g). Diese drei Komponenten machen gemeinsam über 65 % der Gesamtmasse aus. Die Leiterplatte, die häufig kritische oder wertvolle Metalle enthält, weist mit 13,30 g einen mittleren Masseanteil auf, ist jedoch aus recyclingtechnischer Sicht besonders relevant. Hier konzentrieren sich typischerweise Edel- und Sondermetalle, die durch geeignete metallurgische Verfahren wie in Kapitel 2.2.4 dargestellt, zurückgewonnen werden können.

Abbildung 36 zeigt die gewichtsmäßige Aufteilung der einzelnen Komponenten des Mobiltelefons in Prozent der Gesamtmasse.

Ergänzend dazu verdeutlicht *Abbildung 37* die jeweilige Materialkonzentration pro Komponente, ausgedrückt als g Material je g Komponente, wodurch Rückschlüsse auf besonders wertstoffreiche Bauteile möglich sind.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 9: Materialzusammensetzung des Mobiltelefons M11 auf Komponentenebene (in g)

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	SIM-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektro-teile	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	4	25	17	1	1	2	7	1	50
ABS										0
PC			0,4320							0,4320
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		4,5682		2,623		13,026	2,7798			22,9970
PE		14,7506		0,3856						15,1362
PMMA		1,8063								1,8063
PVC										0
Ag	0,0376		0,0004					0,0008		0,0388
Al			0,1096	2,1699						2,2795
As										0
Au	0,0110		0,0006	0,0022				0,0008		0,0146
B										0
Ba			0,0828							0,0828
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0780	0,0143						0,0923
Cd										0
Co			0,0586	1,3318						1,3904
Cr			0,3832							0,3832
Cu	5,3380		0,0102	2,6249				0,0532		8,0262
Fe	5,0534	2,9057	1,6064		0,931				0,851	11,3475
Ga								0,0005		0,0005
In			0,0008	0,0236						0,0243
K			0,0005	0,0012						0,0018
Li				0,2151						0,2151
Mg			0,0220							0,0220
Mn			0,0001	0,5956						0,5957
Mo			0,0005							0,0005
Na				0,0050						0,0050
Nb			0,0001	0,0015						0,0016
Ni	0,2104		0,1652	0,3293						0,7049
Pb										0
P			0,0063							0,0063
Pt										0
Sb										0
Si			0,3968							0,3968
Sn	0,5167		0,0091					0,0063		0,5321
Sr			0,0085							0,0085
Ta										0
Ti	0,0714		0,0022					0,0007		0,0744
V				0,0001						0,0001
W			0,0049							0,0049
Zn	0,0658									0,0658
Zr			0,0004	0,0001						0,0005
REE										0
Silikon							0,3538			0,3538
Glass										0
Others	1,9983		3,0907	8,6310				2,2281		15,9482
Gesamt (Mj)	13,3025	24,0308	6,4700	18,9541	0,9310	13,0260	3,1336	2,2905	0,8510	82,9895

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

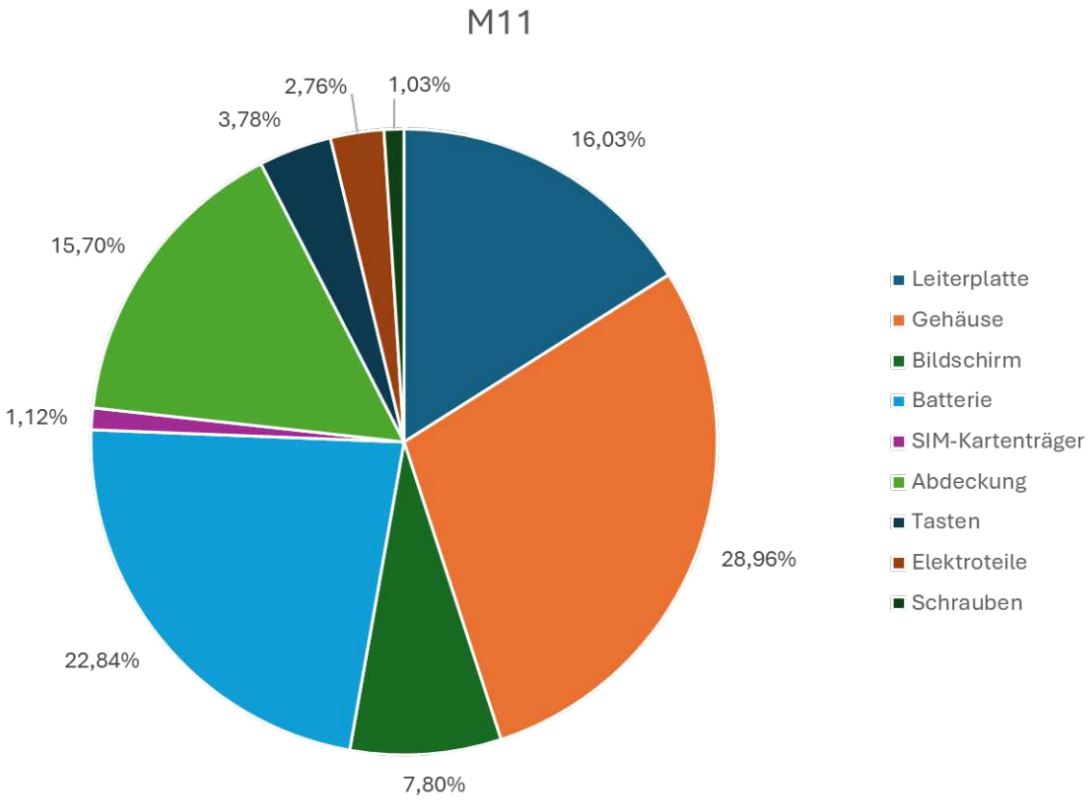


Abbildung 36: Massenanteile der Komponenten am Gesamtgewicht des Mobiltelefons M11 (in %)

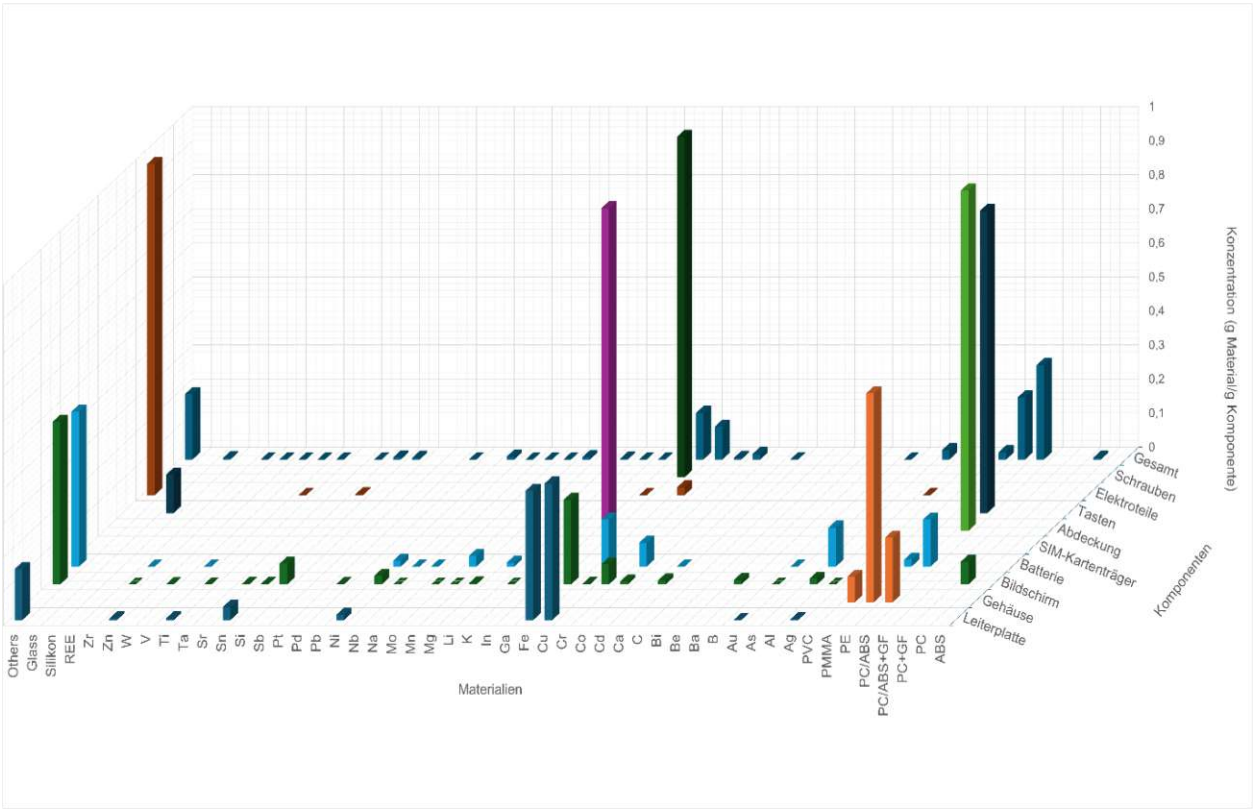


Abbildung 37: Materialkonzentrationen in den Komponenten des Mobiltelefons M11 (g Material/ g Komponente)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zu beachten ist der Anteil der Kategorie „Others“ mit 15,95 g, was rund 19 % der Gesamtmasse entspricht. Diese nicht eindeutig identifizierbaren Stoffe umfassen verklebte Materialverbunde, Beschichtungen oder Materialien, die durch die gewählten Analyseverfahren nicht exakt zugeordnet werden konnten.

Insgesamt zeigt sich das Mobiltelefon M11 als strukturell klar aufgebautes Gerät mit vergleichsweise homogener und wenig komplexen Materialverteilung. Die begrenzte Anzahl an Materialgruppen in Kombination mit einem strukturierten Geräteaufbau schafft günstige Voraussetzungen für eine effiziente Rückgewinnung der enthaltenen Stoffe. Gleichzeitig weist der hohe Anteil der „Others“-Fraktion auf Einschränkungen in der Trenn- und Sortierbarkeit hin, was darauf schließen lässt, dass auch bei älteren Geräten Optimierungspotenzial hinsichtlich des Designs für das Recycling besteht.

4.1.2 Materialzusammensetzung Smartphone am Beispiel S10

Die Materialzusammensetzung des Smartphones S10 weist im Vergleich zum Mobiltelefon M11 eine höhere strukturelle Komplexität bei gleichzeitig etwas geringerer Materialvielfalt auf. In den durchgeführten Analysen wurden insgesamt 30 verschiedene Materialien identifiziert, die sich auf sämtliche Hauptkomponenten des Geräts verteilen. Besonders hervorzuheben sind die Metalle Kupfer (8,18 g), Eisen (31,90 g) und Nickel (5,14 g), während PC/ABS als dominanter Kunststoff vor allem in der Abdeckung (38,48 g) zum Einsatz kommt. Die größten Massenanteile entfallen auf den Bildschirm (47,73 g), die Abdeckung (38,48 g), das Gehäuse (21,52 g) und die Batterie (21,41 g). Diese vier Komponenten machen gemeinsam mehr als 80 % der Gesamtmasse aus. Die Leiterplatte, mit einer Masse von 23,63 g, stellt nicht nur eine weitere schwergewichtige Komponente dar, sondern ist aus recyclingtechnischer Sicht besonders relevant, da sie eine Vielzahl an funktionellen Metallen enthält.

Abbildung 38 veranschaulicht die Massenanteile der einzelnen Komponenten am Gesamtgewicht des Geräts. Dabei wird deutlich, dass moderne Smartphones in ihrer Materialverteilung stark auf wenige, funktionsintensive Bauteile fokussiert sind. *Abbildung 39* stellt die Materialkonzentrationen pro Komponente dar. Insbesondere die Leiterplatte und der Bildschirm zeichnen sich durch eine hohe Dichte an relevanten Materialien aus, was ihren besonderen Stellenwert im stofflichen Recycling unterstreicht.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 10: Materialzusammensetzung des Smartphones S10 auf Komponentenebene (in g)

Material	Leiter-platte	Gehäuse	Bild-schirm	Batterie	SIM-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektro-teile	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	26	12	1	1	1	7	1	50
ABS										0
PC										0
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		3,7496				38,481				42,2306
PE				1,6386						1,6386
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0491		0,0027					0,0011		0
Al			2,4067	2,17113413						4,5778
As										0
Au	0,0098		0,0011	0,00119183				0,0014		0,0135
B										0
Ba			0,0072							0,0072
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,9590	0,00762565						0,9666
Cd										0
Co			0,0380	0,61890069						0,6569
Cr			0,1378							0,1378
Cu	5,9284		0,9167	1,2737				0,0612		8,1800
Fe	7,5972	17,7675	4,0177		1,213		0,674		0,6354	31,9049
Ga								0,0010		0,0010
In			0,0064							0,0064
K			0,6027	0,0008						0,6034
Li			0,0014	0,1329						0,1343
Mg			1,0240							1,0240
Mn			0,1374							0,1374
Mo			0,0379							0,0379
Na			2,4975							2,4975
Nb				0,0008						0,0008
Ni	0,3924		4,7481							5,1405
Pb										0
P			0,1274							0,1274
Pt										0
Sb										0
Si			5,3977							5,3977
Sn	0,5480		0,0834					0,0190		0,6504
Sr			0,3746							0,3746
Ta										0
Ti	0,0896		0,0234	0,0004				0,0013		0,1148
V										0
W			0,1118	0,0184						0,1302
Zn	0,0998		0,0281							0,1279
Zr			0,0112							0,0112
REE										0
Silikon										0
Glass										0
Others	8,9157		24,0280	15,5472				3,7050		52,1959
Gesamt (Mj)	23,6300	21,5171	47,728	21,4117	1,2130	38,4810	0,6740	3,79	0,6354	159,0802

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

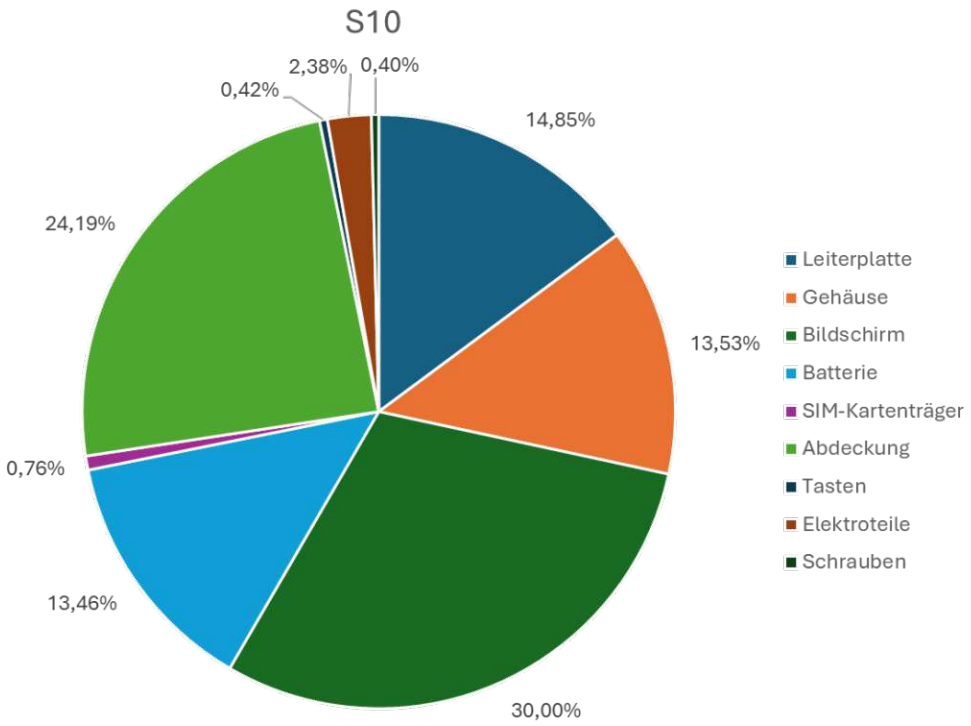


Abbildung 38: Massenanteile der Komponenten am Gesamtgewicht des Mobiltelefons S10 (in %)

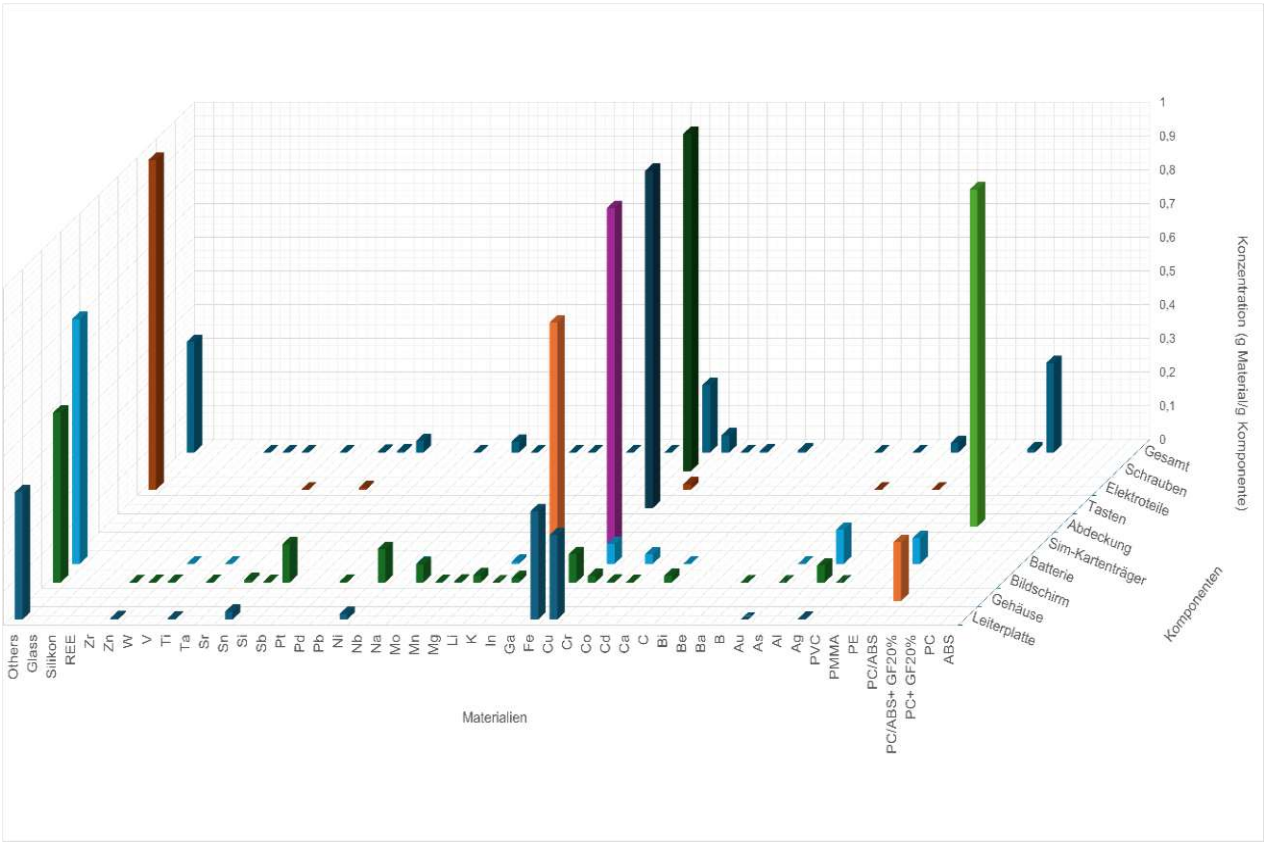


Abbildung 39: Materialkonzentrationen in den Komponenten des Mobiltelefons S10 (g Material/ g Komponente)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ins Auge fällt insbesondere der hohe Anteil der Kategorie „Others“, der mit 52,20 g rund 32,8 % der Gesamtmasse ausmacht. Im Vergleich zum M11 ist dieser Anteil beim S10 deutlich höher, was auf die zunehmende Verwendung komplexer Materialverbunde in modernen Geräten hinweist.

Insgesamt präsentiert sich das Smartphone S10 als ein Gerät mit hoher Funktionsdichte und effizienter Materialnutzung auf Bauteilebene, jedoch auch mit deutlich erschwerter Trenn- und Rückführbarkeit einzelner Stoffe. Der hohe Anteil nicht eindeutig zuordenbarer Materialien verdeutlicht die Grenzen konventioneller Recyclingverfahren und unterstreicht den Bedarf an designorientierten Ansätzen für eine verbesserte Kreislaufführung elektronischer Produkte.

4.1.3 Vergleich Materialzusammensetzung Mobiltelefon - Smartphone

Die Gegenüberstellung der beiden Geräte offenbart deutliche Unterschiede sowohl in der Art als auch in der Verteilung der eingesetzten Materialien. Während beim Mobiltelefon M11 insbesondere Metalle wie Kupfer, Eisen und Nickel sowie Kunststoffe wie PC/ABS dominieren, zeichnet sich das Smartphone S10 durch eine ausgeprägtere Materialvielfalt aus. Diese ist insbesondere in den Komponenten Bildschirm, Gehäuse und Batterie zu beobachten, die eine Vielzahl an Elementen in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten. Auch die Massenverteilung über die einzelnen Bauteile unterscheidet sich deutlich. Beim Mobiltelefon M11 entfallen die größten Massenanteile auf das Gehäuse (24,03 g), die Batterie (18,95 g) und die Abdeckung (13,03 g). Die Leiterplatte, mit einer Masse von 13,30 g, nimmt einen mittleren Anteil ein, ist jedoch aufgrund ihrer Funktionalität und ihres Metallgehalts für das Recycling besonders relevant. Auffällig ist der hohe Kunststoffanteil im Gehäusebereich, der auf eine eher homogene und funktional einfache Baustruktur klassischer Mobiltelefone hinweist. Dem gegenüber steht das Smartphone S10 mit einer wesentlich komplexeren und stärker differenzierten Materialverteilung. Die höchsten Massenanteile entfallen hier auf den Bildschirm (47,73 g), die Abdeckung (38,48 g), das Gehäuse (21,52 g) und die Batterie (21,41 g). Die Leiterplatte ist mit 23,63 g nicht nur gewichtsrelevant, sondern auch ein zentraler Träger metallischer Funktionsmaterialien. Die deutlich stärkere Gewichtung des Bildschirms verweist auf

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

den gestiegenen Funktionsumfang moderner Smartphones sowie auf die zunehmende technische Integration in einem einzigen Bauteil.

Besonders hervorzuheben ist der hohe Anteil der Kategorie „Others“ beim Smartphone S10. Mit rund 52,20 g entspricht dieser knapp einem Drittel der Gesamtmasse. Im Vergleich zum M11 (15,95 g) deutet dies auf eine zunehmende Komplexität des Geräteaufbaus hin, die die Recyclingfähigkeit wesentlich erschwert.

Insgesamt zeigt der Vergleich, dass nicht nur die Vielfalt und Art der Materialien, sondern auch deren Anordnung und Massenverteilung im Produktdesign einen entscheidenden Einfluss auf die Recyclingfähigkeit haben. *Abbildung 40* stellt die prozentuale Massenverteilung der Komponenten der beiden Geräte gegenüber und zeigt die wesentlichen Unterschiede im Aufbau und der Funktionsgewichtung beider Geräte. Während beim Mobiltelefon das Gehäuse dominiert, liegt der Fokus beim Smartphone auf dem Bildschirm, gefolgt von Leiterplatte und Batterie, was die technologische Entwicklung und steigende Funktionsdichte moderner Geräte widerspiegelt.

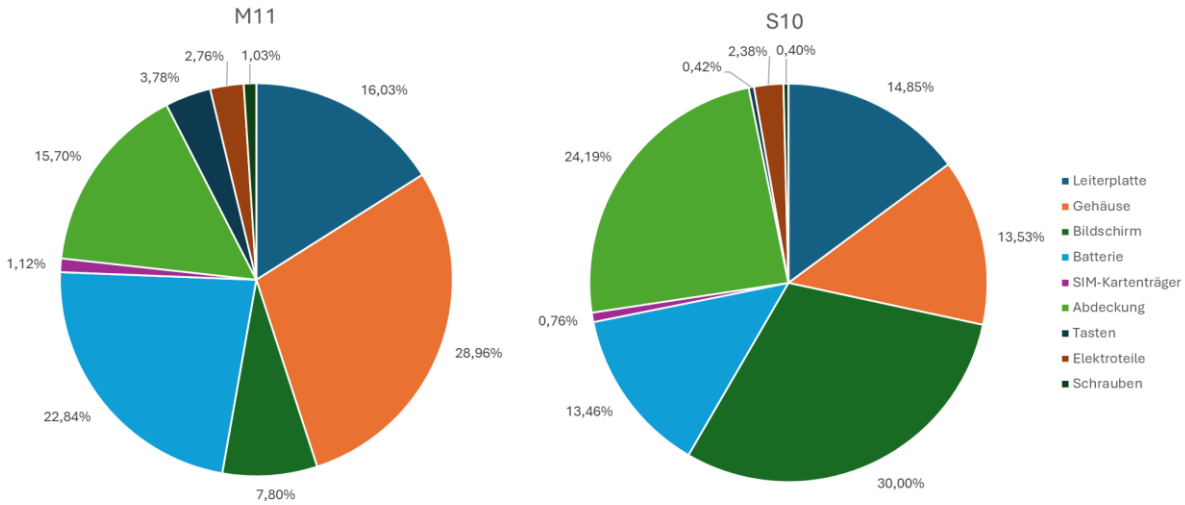


Abbildung 40: Massenverteilung der Komponenten beim Mobiltelefon M11 und Smartphone S10 (in %) (Eigene Darstellung)

4.1.4 Erweiterte Zerlegung und Materialanalyse am Beispiel S19

Im Anschluss an die vergleichende Betrachtung von M11 und S10 wird im folgenden Abschnitt das Smartphone S19 einer vertieften Analyse unterzogen. Im Gegensatz zu den zuvor untersuchten Geräten erfolgte hier eine vollständige Zerlegung bis auf die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Sub-Sub-Komponentenebene. Diese detaillierte Untersuchung ermöglicht eine deutlich präzisere Materialzuordnung, insbesondere bei komplexen Bauteilen. Ziel der Analyse ist es, aufzuzeigen, inwiefern sich die höhere Zerlegungstiefe auf die Erfassbarkeit einzelner Materialien sowie auf die Bewertung der Recyclingfähigkeit auswirkt. *Tabelle 11* zeigt die aufgeschlüsselten Massenanteile der einzelnen Sub-Sub-Komponenten des Smartphones S19. Die Analyse auf Sub-Sub-Komponentenebene ermöglicht eine deutlich differenziertere Erfassung der Materialverteilung im Gerät. Dadurch lassen sich nicht nur die eingesetzten Materialien präziser zuordnen, sondern auch gezielt jene Bauteile identifizieren, in denen kritische Stoffe in erhöhter Konzentration vorliegen, beispielsweise im Bildschirm, der Kamera oder dem Lautsprecher. Ein Großteil der Sub-Sub-Komponenten konnte jedoch nicht ohne Weiteres von den übergeordneten Subkomponenten getrennt werden. In vielen Fällen war eine mechanische Trennung mit Hilfsmitteln wie Zangen erforderlich, um verklebte oder fest verbundene Bauteile voneinander zu lösen. Dies erschwert nicht nur die manuelle Zerlegung, sondern verweist zugleich auf grundlegende Herausforderungen im Hinblick auf ein recyclinggerechtes Produktdesign moderner Smartphones.

Die detaillierte Aufschlüsselung der Sub-Sub-Komponenten des Smartphones S19 zeigt, dass sich die Massenanteile auf eine Vielzahl kleinteiliger Bauteile verteilen. Insgesamt ergibt sich ein Gesamtgewicht von 205,90 g. Im Vergleich zu S10 mit 159,08 g zeigt sich damit nicht nur ein höheres Gesamtgewicht, sondern vor allem eine feiner aufgelöste Materialverteilung über deutlich kleinteiligere Funktionseinheiten. Die höchsten Einzelmassen entfallen auf das Gehäuse (76,59 g), den Bildschirm (31,29 g), die Batterie (43,51 g) sowie die Leiterplatte (17,99 g). Zusammen machen diese vier Komponenten knapp 75 % der Gesamtmasse aus und spiegeln die funktionalen Schwerpunkte des Geräts wider.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 11: Materialzusammensetzung des Smartphones S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene (in g)

Komponente	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie							SIM-	Abdeckung	Tasten		Kamera								Lautsprecher				Vibrationsmotor					Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
Sub-Komponente				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.			Tasten	Div.	Linse		Beleuchtungseinheit			Licht	Gehäuse	Div.	Magnet	Trocknungsmittel	Gehäuse	Div.	Magnet			Gehäuse	Div.	Kupferkabel	Magnet		
Sub-Sub-Komponente															Gehäuse	Linse	Rahmen	Linse	Div.								Kupferkabel	Spule	Magnet						
Anzahl der Materialien Nm	23	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	20	6	23	6	22	19	1	6	22	3	1	7	22	1	1	3	6	14	1	3	1	50
ABS																																			0,0000
PC		3,8293																							0,8128									4,6421
PC+GF																																			0,0000
PC/ABS+GF																																			0,0000
PC/ABS																																			0,0000
PE						2,8281																													2,8281
PMMA																																			0,0000
PVC																																			0,0000
Ag	0,0269		0,0038							0,0007				0,0003		0,0084		0,0005	0,0002			0,0011				0,0024					0,0001				0,0444
Al	0,1801		0,1673	2,5888			0,0043	2,6018		0,0040	1,0190			0,0017		0,1885		0,0103	0,0010			0,0061				0,0129					0,0005				6,7853
As																																			0,0000
Au	0,0148						0,0007			0,0003				0,0001		0,0096		0,0005	0,0001			0,0004				0,0009									0,0274
B																							0,0487						0,0489				0,0144		0,1120
Ba	0,3133		0,0075				0,0010			0,0003				0,0001		0,0488		0,0027	0,0001			0,0005				0,0010									0,3752
Be																																			0,0000
Bi																																			0,0000
C																																			0,0000
Ca	0,2111		0,0034				0,0076			0,0023				0,0010		0,0299		0,0016	0,0006			0,0034				0,0072					0,0003				0,2682
Cd																																			0,0000
Co	0,0268		0,0169				0,1600			0,0064				0,0027		0,0832		0,0045	0,0016			0,0096				0,0204					0,0007				0,3328
Cr	0,1594		0,2355							0,0100				0,0043	0,6508	0,0205	0,0766	0,0011	0,0025		0,3886	0,0151			0,1463	0,0320				0,2570	0,0012				2,0011
Cu	5,3540		0,4991		1,7882		0,0043			0,1538				0,0661		0,8003		0,0437	0,0388			0,2315				0,4919	0,1550				0,0179	2,8960			12,5406
Fe	1,7052	11,4878	1,3123				0,0049			0,0530			2,0270	0,0228	2,2417	0,3674	0,2639	0,0200	0,0134		1,3386	0,0798	2,7938		0,5039	0,1695		0,4060	2,8057	0,8854	0,0062		0,8235	1,3280	30,6597
Ga																																			0,0000
In	0,0026															0,0043		0,0002				0,0001				0,0001									0,0073
K	0,0031		0,0065				0,0028			0,0001						0,0033		0,0002				0,0002				0,0004									0,0165
Li	0,0041		0,1432				0,3455			0,0001				0,0001		0,0009						0,0002				0,0004									0,4944
Mg	0,0233		0,0101							0,0003				0,0001		0,0125		0,0007	0,0001			0,0004				0,0009									0,0484
Mn	0,0170		0,0266							0,0009				0,0004	0,0723	0,0315	0,0085	0,0017	0,0002		0,0432	0,0014			0,0163	0,0030				0,0286	0,0001				0,2518
Mo	0,0195		0,0371				0,0002			0,0008				0,0003	0,1085	0,1021	0,0128	0,0056	0,0002		0,0648	0,0012			0,0244	0,0025				0,0428	0,0001				0,4227
Na							0,0130									0,0103		0,0006																	0,0238
Nb	0,0129						0,0002																												0,0131
Ni	0,8085		0,2535							0,0131				0,0056	0,5062	0,0811	0,0596	0,0044	0,0033		0,3023	0,0198			0,1138	0,0420				0,1999	0,0015				2,4147
Pb																																			0,0000
P			0,0637																																0,0637
Pt																																			0,0000
Sb			0,0027																																0,0027
Si			1,4654												0,0362		0,0043				0,0216			0,0951	0,0081					0,0143				1,6449
Sn	0,5844		0,0065							0,0060				0,0026		0,0724		0,0040	0,0015			0,0090				0,0192					0,0007				0,7063
Sr			0,0135																																0,0135
Ta																																			0,0000
Ti	0,0745		0,0042				0,0008			0,0002				0,0001		0,0048		0,0003	0,0001			0,0003				0,0006									0,0859
V							0,0009																												0,0009
W	0,3219		0,0608				0,0397			0,0651				0,0280		1,0088		0,0550	0,0164			0,0981				0,2083					0,0076				1,9097
Zn	0,2335		0,0041							0,0010				0,0004		0,0039		0,0002	0,0003			0,0016				0,0033					0,0001				0,2484
Zr	0,0201		0,1253				0,0003			0,0003				0,0001		0,0011		0,0001	0,0001			0,0005				0,0010									0,1489
Nd																							1,2182						1,2234				0,3591		2,8007
Silikon																																			0,0000
Glass		61,2680																																	61,2680
Others	7,8732		26,8171				30,7491		1,8665	0,1858				0,0799		3,8649		0,2108	0,0463	0,1110		0,2799				0,5945					0,0217				72,7015
Gesamt (Mi)	17,9900	76,5850	31,2860	2,5888	1,7882	2,8281	31,3352	2,6018	1,8665	0,5047	1,0190	0,0000	2,0270	0,2163	3,6156	6,7585	0,4257	0,3687	0,1273	0,1110	2,1590	0,7600	4,0607	0,0951	1,6256	1,6146	0,1550	0,4060	4,0780	1,4280	0,0587	2,8960	1,1970	1,3280	205,9047

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Durch die tiefere Zerlegung lassen sich innerhalb dieser Hauptkomponenten einzelne Bauteile mit besonders hohem Massenanteil identifizieren, beispielsweise das Elektrolyt innerhalb der Batterie, Magnete im Vibrationsmotor und Lautsprecher oder Linsen und Gehäusestrukturen in der Kameraeinheit.

Besonders hohe Materialmengen entfallen auf Glas, das mit 61,27 g nahezu ausschließlich im Bildschirm verarbeitet wurde. Eisen ist mit 30,66 g das zweithäufigste Einzelelement und findet sich unter anderem im Gehäuse, in Schrauben, Lautsprechern, Vibrationsmotoren sowie in der Kamera. Kupfer liegt mit 12,54 g ebenfalls in signifikantem Umfang vor, insbesondere in der Leiterplatte, der Ladeeinheit, dem Lautsprecher und dem Vibrationsmotor. Darüber hinaus wurden auch Seltenerdmetalle, insbesondere Neodym (2,80 g), in den Magnetbauteilen des Geräts nachgewiesen. Diese Stoffe gelten als kritische Rohstoffe und sind vor allem in Lautsprecher-, Vibrations- und Ladeeinheit verbaut, wo sie für die magnetischen Funktionselemente verwendet werden. Weitere relevante Metalle wie Nickel (2,41 g), Zinn (0,71 g) und Aluminium (6,79 g) sind über mehrere Funktionseinheiten verteilt nachweisbar. Ein auffälliges Merkmal der Materialverteilung ist der hohe Anteil der Kategorie „Others“, der mit 72,70 g rund 35,3 % der Gesamtmasse des Geräts ausmacht. Besonders betroffen sind davon das Elektrolyt der Batterieeinheit sowie Komponenten wie Bildschirm und Leiterplatte.

Die Analyse verdeutlicht, dass durch die höhere Zerlegungstiefe nicht nur eine präzisere Materialbilanzierung möglich ist, sondern auch Bauteile mit hohem Recyclingpotenzial gezielter identifiziert werden können. Gleichzeitig zeigt sich der erhebliche mechanische Aufwand, der mit der Trennung fest verbundener oder schwer zugänglicher Sub-Sub-Komponenten verbunden ist und die Relevanz recyclinggerechter Produktgestaltung besonders deutlich macht.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse zeigt *Abbildung 41* die Massenanteile der Sub-Komponenten des Smartphones S19, gegliedert nach den übergeordneten Hauptkomponenten. Die Darstellung verdeutlicht, dass die höchsten Einzelmassen auf das Gehäuse, den Bildschirm, die Batterie und die Leiterplatte entfallen, die zusammen den Großteil der Gesamtmasse bilden. Innerhalb dieser Hauptkomponenten lassen sich anhand der gestapelten Balken auch jene Sub-Komponenten identifizieren, die besonders hohe Masseanteile aufweisen, etwa das Elektrolyt in der Batterie, diverse Magnetstrukturen in Vibrationsmotor und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Lautsprecher sowie die Linsen- und Gehäuseteile der Kameraeinheit. Die Visualisierung unterstützt die zuvor beschriebenen Ergebnisse, indem sie die hohe Funktionsdichte und die differenzierte Materialverteilung moderner Smartphones grafisch aufbereitet. Darüber hinaus macht sie deutlich, welche Bauteile hinsichtlich stofflicher Rückgewinnung und recyclinggerechter Gestaltung besonders relevant sind.

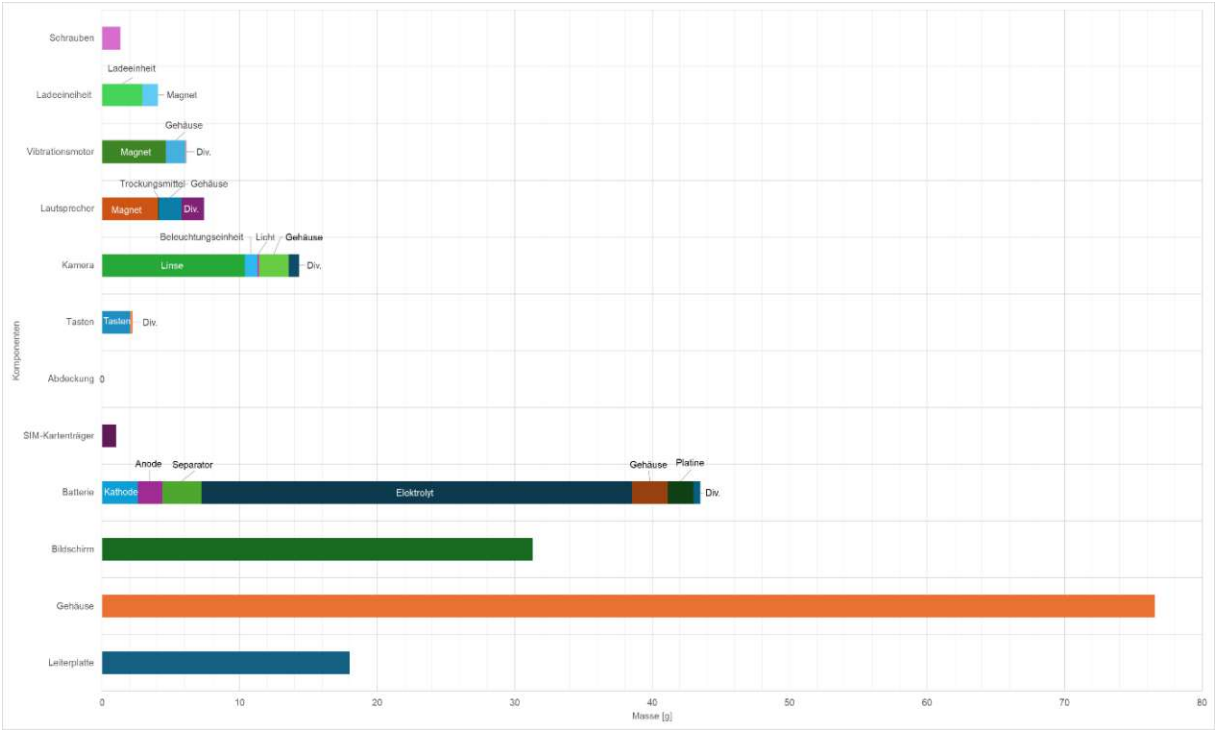


Abbildung 41: Gestapeltes Balkendiagramm der Massenanteile der Sub-Komponenten an den Hauptkomponenten des Smartphones S19 (in g)

4.2 Berechnung und Vergleich der RPR-Werte

Nach der Analyse der Material- und Massenverteilung folgt im nächsten Schritt die Bewertung der recyclingrelevanten Eigenschaften der untersuchten Geräte. Grundlage hierfür bildet die Berechnung der relativen produktinhärenten Recyclingfähigkeit (RPR) gemäß der in Kapitel 3.4 beschriebenen Methodik. Ziel ist es, die Rückgewinnungspotenziale der einzelnen Geräte systematisch zu erfassen und vergleichend gegenüberzustellen. Die RPR-Werte berücksichtigen sowohl den Werkstofftyp als auch die Masse und Trennbarkeit der jeweiligen Komponenten und liefern damit eine belastbare Kennzahl zur Einschätzung der stofflichen Verwertbarkeit. Für die vorliegende Untersuchung wurden RPR-Werte für insgesamt 37 Mobiltelefone berechnet, darunter 15 klassische Mobiltelefone sowie 22

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Smartphones. Von den Smartphones wurden sieben Smartphones (S16-S22) zusätzlich bis auf die Sub-Sub-Komponentenebene zerlegt und detailliert analysiert. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt, analysiert und hinsichtlich ihrer Aussagekraft im Kontext von Produktdesign und Recyclingfähigkeit diskutiert.

4.2.1 Vergleich der RPR-Werte der Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene

Als Grundlage der Auswertung wurden die RPR-Werte sämtlicher untersuchter Mobiltelefone (M1–M15) sowie Smartphones (S1–S15) auf Komponentenebene berechnet und gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 132* zusammengefasst und in *Abbildung 42* visualisiert. Dabei zeigen sich über beide Gerätegruppen hinweg teils deutliche Unterschiede hinsichtlich des recyclingrelevanten Potenzials. Die Mobiltelefone erreichen durchweg hohe RPR-Werte zwischen 0,74 (M11) und 0,83 (M13). Die insgesamt geringe Streuung der RPR-Werte deutet auf eine homogene Bauweise mit gut trennbarer und recyclingfreundlicher Materialverteilung hin. Demgegenüber fällt die Spannweite bei den Smartphones deutlich größer aus: Die Geräte S1 bis S15 erreichen RPR-Werte zwischen 0,67 und 0,82. Diese Variabilität lässt auf eine stärkere Heterogenität hinsichtlich Produktdesign und Materialzusammensetzung schließen. Besonders Geräte wie S3 (0,81) und S12 (0,82) zeigen ein gutes Recyclingpotenzial, während Modelle wie S7 (0,67) oder S11 (0,68) im unteren Bereich der Skala liegen. Die neueren Smartphones S16 bis S22 wurden im Rahmen der Materialanalyse zwar ebenfalls betrachtet, jedoch deutlich detaillierter bis auf Sub-Sub-Komponentenebene zerlegt. Zwar erfolgte auch bei diesen Geräten die RPR-Berechnung formal auf Komponentenebene, jedoch basiert sie auf einer weitaus tiefergehenden Materialanalyse. Um eine Verzerrung der Ergebnisse durch diese unterschiedliche Zerlegungstiefe zu vermeiden, werden die RPR-Werte der Geräte S16 bis S22 nicht in den direkten Vergleich mit M1–M15 und S1–S15 einbezogen. Eine gesonderte Betrachtung dieser Modelle erfolgt im weiteren Verlauf der Analyse (vgl. Kapitel 4.2.2).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 12: RPR-Werte der untersuchten Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene

Mobiltelefon	Erscheinungsjahr	RPR		Smartphone	Erscheinungsjahr	RPR
M1	2022	0,7507		S1	2013	0,6979
M2	2009	0,7538		S2	2014	0,6877
M3	2005	0,7782		S3	2014	0,8048
M4	2007	0,7938		S4	2015	0,6760
M5	2004	0,7476		S5	2016	0,7959
M6	2008	0,7494		S6	2015	0,6900
M7	2007	0,7725		S7	2019	0,6724
M8	2010	0,7607		S8	2016	0,7656
M9	2006	0,7936		S9	2020	0,7437
M10	2011	0,7785		S10	2008	0,7652
M11	2004	0,7347		S11	2013	0,6753
M12	2010	0,7467		S12	2010	0,8170
M13	2007	0,8282		S13	2008	0,7298
M14	2016	0,7652		S14	2014	0,7008
M15	2007	0,7522		S15	2017	0,8125

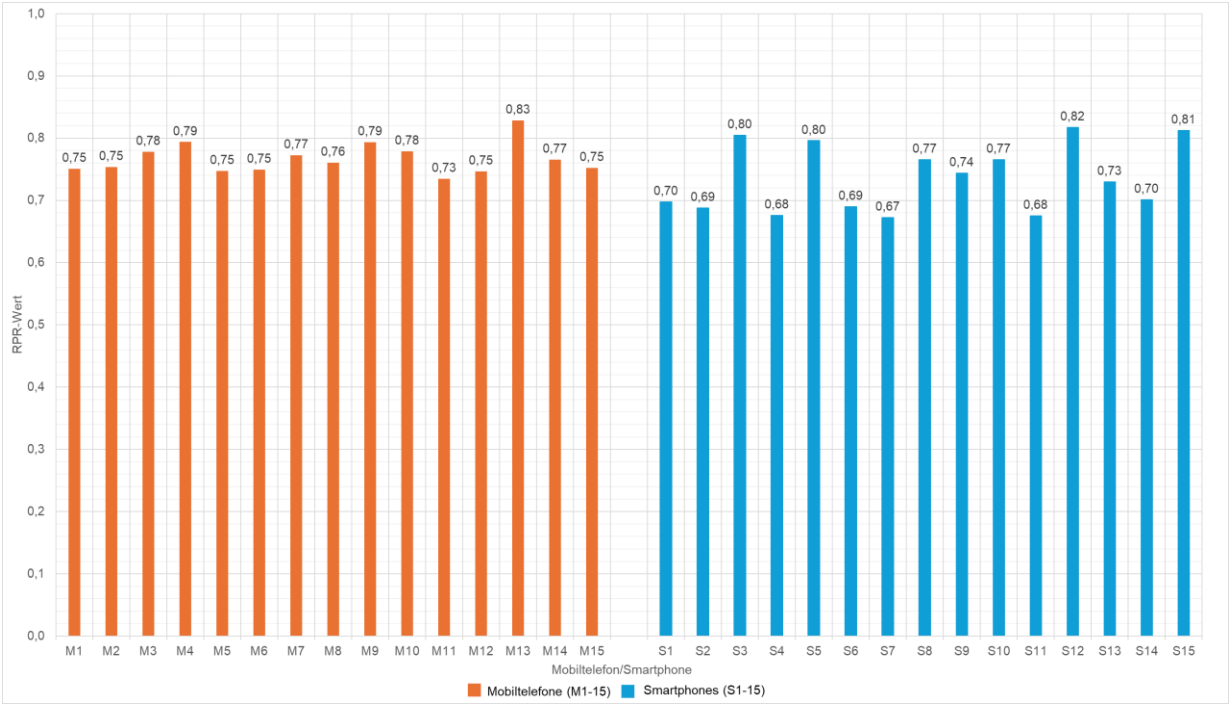


Abbildung 42: RPR-Werte der untersuchten Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zur vertieften Analyse der RPR-Unterschiede wurden vier besonders charakteristische Geräte ausgewählt, jeweils ein Mobiltelefon und ein Smartphone mit einem hohen sowie niedrigen RPR-Wert. Die Auswahl fiel auf M13 (0,83) und M11 (0,74) bei den Mobiltelefonen sowie auf S12 (0,82) und S7 (0,67) bei den Smartphones. Diese Modelle repräsentieren die Extremwerte innerhalb ihrer Gruppen und ermöglichen eine gezielte Untersuchung struktureller Unterschiede hinsichtlich Materialverteilung, Komplexität und Massenkonzentration. Die zugrunde liegenden Berechnungen sowie die detaillierten Materialverteilungen sind im Anhang dokumentiert und bilden die Grundlage der folgenden Bewertung.

Zur quantitativen Bewertung der Materialverteilung innerhalb einzelner Produktelemente wurde die statistische Entropie eines Produktelementes H_j herangezogen, die nach dem SE-basierten Bewertungsansatz berechnet wurde. H_j beschreibt den Grad der Unordnung innerhalb eines Produktteils und wird für jedes Produktelement gemäß *Formel 4* ermittelt. Je höher der Entropiewert einer Komponente ist, desto größer ist die Anzahl der enthaltenen Materialien und desto gleichmäßiger sind diese verteilt. Eine hohe Entropie weist daher auf eine geringe Trennbarkeit und ein entsprechend eingeschränktes Recyclingpotenzial hin. Entscheidend ist dabei, wie homogen oder vermischt die Materialien innerhalb eines Produktelements auftreten. Produktelemente mit wenigen, stark konzentrierten Materialien weisen eine geringe Entropie auf und gelten als recyclingfreundlich, während stark heterogene oder komplex verklebte Strukturen mit vielen gleichmäßig verteilten Materialien höhere H_j-Werte aufweisen. Komponenten, die ausschließlich aus einem einzigen Material bestehen, weisen eine Entropie von null auf. Dieser Wert stellt den optimalen Fall dar, da keinerlei Materialunordnung vorliegt. Solche Bauteile wirken sich besonders positiv auf die Recyclingfähigkeit aus, vor allem dann, wenn sie einen relevanten Massenanteil am Gesamtgerät einnehmen.

Bei den Mobiltelefonen zeigt sich, dass M13 insgesamt geringere Entropiewerte in mehreren Hauptkomponenten aufweist. Besonders das Gehäuse fällt mit einem H_j-Wert von 0,89 deutlich niedriger aus als bei M11, bei dem die Entropie im Gehäuse 1,54 beträgt. Diese Differenz lässt sich durch die klarere Materialstruktur erklären. Während das Gehäuse von M13 nur aus einem oder zwei Hauptmaterialien besteht, weist das Gehäuse von M11 eine größere Materialvielfalt auf, etwa durch die Kombination von PC/ABS, PE, PMMA und Eisen. Auch bei der Batterie ergibt sich ein

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

relevanter Unterschied. Bei M11 wurde die Batterie mit einem Entropiewert von 2,41 berücksichtigt, was auf eine stark vermischte Materialstruktur schließen lässt. Bei M13 hingegen wurde keine Batterie in die Berechnung einbezogen, wodurch der gesamte Entropiewert des Geräts reduziert wurde. Der Bildschirm beider Geräte weist mit rund 2,31 einen vergleichbar hohen Entropiewert auf.

Noch deutlicher werden die Auswirkungen der Entropie auf die RPR beim Vergleich der Smartphones S7 und S12. Der Bildschirm stellt mit Abstand die entropieintensivste Komponente dar. Bei S7 liegt der Entropiewert des Bildschirms bei 2,92, was auf eine sehr hohe Materialvielfalt und geringe Konzentration einzelner Stoffe hinweist. Im Vergleich dazu beträgt die Entropie des Bildschirms bei S12 nur 1,63. Diese Differenz ist entscheidend für die deutlich bessere RPR-Bewertung des Geräts. Auch die Batterie von S12 ist mit einem Entropiewert von 1,62 deutlich günstiger bewertet als bei S7, wo die Batterie eine Entropie von 1,85 aufweist.

Eine weitere relevante Komponente ist die Abdeckung. Bei S12 wird sie mit einem H-Wert von 0,85 berücksichtigt, was auf eine moderate Materialvielfalt innerhalb dieser Baugruppe hinweist. Bei S7 hingegen besteht die Abdeckung ausschließlich aus einem einzigen Material, weshalb ihr Entropiewert null beträgt. Dieser Wert stellt den idealen Fall im Sinne der Entropiebewertung dar, da keine innere Materialunordnung vorliegt und begünstigt prinzipiell die Recyclingfähigkeit.

Die Beispiele machen deutlich, dass insbesondere die Entropie von Bildschirm und Batterie die RPR maßgeblich beeinflusst. Während sich die Unterschiede zwischen den Mobiltelefonen auf einzelne Bauteile beschränken und die Gesamtwerte vergleichsweise eng beieinanderliegen, zeigen sich bei den Smartphones deutlich stärkere Schwankungen. Dies ist auf die größere technische Bandbreite und die höhere strukturelle Komplexität der neueren Geräte zurückzuführen.

4.2.2 Einfluss der Zerlegungstiefe auf die RPR-Werte

Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Geräten M1–M15 und S1–S15, deren RPR-Werte auf Basis einer Zerlegung bis zur Komponentenebene berechnet wurden, erfolgte die Analyse der Modelle S16 bis S22 in deutlich höherer Detailtiefe. Diese Smartphones wurden bis auf die Sub-Sub-Komponentenebene zerlegt, wodurch eine wesentlich präzisere Erfassung der Materialverteilung und Massenkonzentrationen möglich war. Um die Auswirkungen dieser analytischen Tiefe auf die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Recyclingbewertung näher zu untersuchen, wurden die RPR-Werte für jede Zerlegungstiefe, also auf Komponenten-, Sub- und Sub-Sub-Komponentenebene, separat berechnet. Die Ergebnisse sind in *Abbildung 43* visualisiert und in *Tabelle 13* gegenübergestellt.

Tabelle 13: Vergleich der RPR-Werte der Smartphones S16–S22 in Abhängigkeit der Zerlegungstiefe auf Sub-Sub-Komponentenebene, Sub-Komponentenebene und Komponentenebene

Smartphone	RPR-Komponentenebene	RPR - Sub-Komponentenebene	RPR- Sub-Sub-Komponentenebene
S16	0,7811	0,8373	0,8424
S17	0,7880	0,8395	0,8441
S18	0,7732	0,8434	0,8473
S19	0,7688	0,8272	0,8337
S20	0,7616	0,8360	0,8429
S21	0,7727	0,8451	0,8493
S22	0,8012	0,8817	0,8827

Die Berechnung der RPR-Werte auf den drei Zerlegungsebenen basiert durchgängig auf derselben Datengrundlage. Ausgangspunkt war jeweils die vollständige Materialerfassung auf Sub-Sub-Komponentenebene. Für die höheren Ebenen wurden die zugehörigen Sub- und Hauptkomponenten durch Addition der entsprechenden Teilmassen gebildet. Die RPR-Werte auf Komponenten- und Sub-Komponentenebene ergeben sich somit aus der systematischen Zusammenfassung detaillierter Strukturinformationen. Unterschiede zwischen den Bewertungen resultieren folglich nicht aus unterschiedlichen Analyseumfängen, sondern ausschließlich aus der veränderten strukturellen Zusammenfassung der Materialien.

Wie *Abbildung 43* zeigt, lässt sich bei allen Geräten ein ähnlich deutlicher Anstieg des RPR-Werts mit zunehmender Zerlegungstiefe feststellen. Zwischen Komponenten-, Sub-Komponenten- und Sub-Sub-Komponentenebene ergibt sich durchgängig ein vergleichbarer Zuwachs, der sich typischerweise im Bereich von sechs bis acht Prozentpunkten bewegt. Dies deutet darauf hin, dass die detailliertere Zerlegung eine systematische Verbesserung der Bewertung ermöglicht, unabhängig vom spezifischen Aufbau der Geräte. Durch die feinere Gliederung werden die Materialien einer Sub-Komponente auf mehrere Sub-Sub-Komponenten verteilt. In diesen kleineren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Einheiten sind in der Regel weniger unterschiedliche Materialien enthalten, was zu einer geringeren statistischen Entropie führt und damit zu einem höheren RPR-Wert.

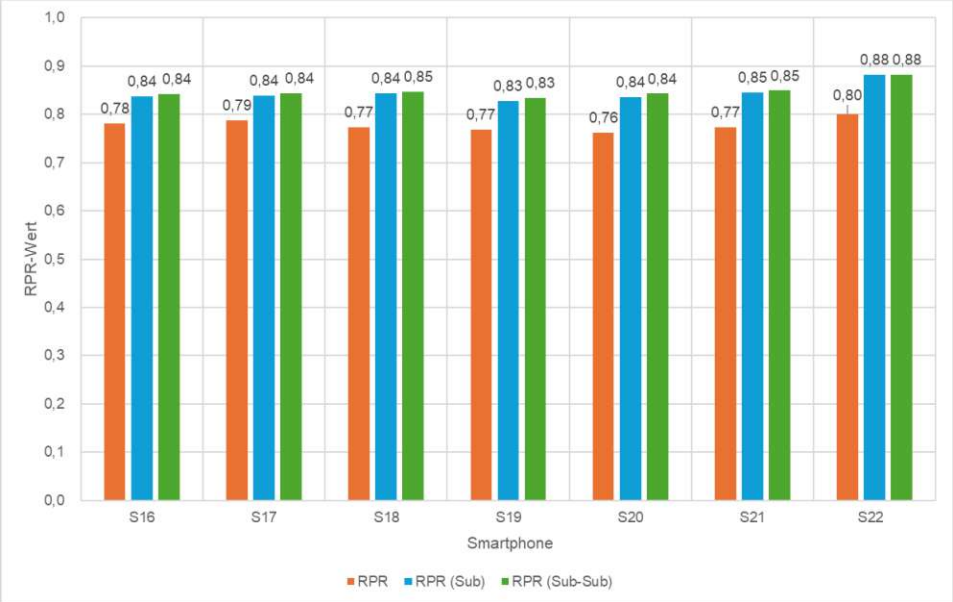


Abbildung 43: Grafischer Vergleich der RPR-Werte der Smartphones S16–S22 in Abhängigkeit der Zerlegungstiefe auf Komponenten-, Sub-Komponenten- und Sub-Sub-Komponentenebene

Besonders deutlich wird dieser Effekt beispielsweise bei S20. Hier steigt der RPR-Wert von 0,76 auf Komponentenebene auf 0,84 auf Sub-Sub-Komponentenebene. Auch bei S21 zeigt sich mit einem Anstieg von 0,77 auf 0,85 eine ähnliche Entwicklung. Durch die differenziertere Erfassung werden zuvor gemeinsam bewertete Materialien klarer auf funktionale Einheiten verteilt, wodurch die Entropie der Einzelkomponenten abnimmt. Die Materialien waren bereits in der groben Betrachtung vorhanden, wurden jedoch gemeinsam in übergeordneten Baugruppen zusammengefasst, was rechnerisch zu einer höheren Entropie und damit zu einer niedrigeren Recyclingbewertung geführt hat.

Eine detaillierte Analyse der Entropiewerte der Sub-Sub-Komponenten bestätigt, dass insbesondere Baugruppen wie Batterie, Kamera, Lautsprecher und Vibrationsmotor entscheidend zur Gesamtentropie und damit zur Recyclingfähigkeit eines Geräts beitragen. Die Entropiewerte dieser Komponenten liegen bei den meisten Geräten deutlich über 2,0, was auf eine hohe Materialvielfalt und geringe Konzentration einzelner Stoffe schließen lässt. Dagegen schneiden Komponenten wie das Gehäuse oder die Ladeeinheit bei vielen Modellen günstiger ab und weisen niedrigere Entropien auf. Besonders positiv fällt das Fairphone 4 (S22) auf, das mit einem RPR-Wert von 0,88 das höchste Recyclingpotenzial der untersuchten Smartphones erreicht. Die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

niedrige Entropie der Batterie (1,45) und eine klar strukturierte Bauweise der Kamera und anderer Baugruppen deuten auf eine insgesamt recyclingfreundliche Konstruktion hin. Im Gegensatz dazu weist das iPhone 14 Pro (S19) trotz moderner Bauweise eine insgesamt höhere Entropie auf, insbesondere bei der Kamera (2,69) und dem Lautsprecher (2,51), was sich in einem vergleichsweise niedrigen RPR-Wert von 0,83 widerspiegelt.

Insgesamt verdeutlicht die Sub-Sub-Komponentenebene, dass die Materialverteilung innerhalb einer Strukturebene eine entscheidende Rolle spielt. Je klarer die Materialien einzelnen Funktionseinheiten zugeordnet sind, desto niedriger fällt die Entropie aus und desto höher ist die resultierende Recyclingbewertung. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer konsistenten Zerlegungstiefe und zeigen, dass tiefere Zerlegungen präzisere Vergleiche zwischen Produkten ermöglichen. Zugleich wird ersichtlich, dass die Methodik sensibel auf die Qualität der Datenerhebung reagiert und daher stark von der gewählten Zerlegungstiefe beeinflusst wird. Die Unterschiede zwischen den RPR-Werten je Zerlegungsgrad unterstreichen, wie wichtig ein einheitliches Vorgehen bei der Bewertung der Recyclingfähigkeit ist, insbesondere im Kontext eines systematischen Produktvergleichs.

4.2.3 Einfluss der Kategorie „Others“ auf die RPR-Bewertung

Die Kategorie „Others“ nimmt innerhalb der RPR-Bewertung eine besondere Rolle ein, da sie sämtliche Materialien zusammenfasst, die im Rahmen der Analyse entweder nicht genauer identifiziert und analysiert werden konnten. Da der RPR-Wert auf der Verteilung und Konzentration der eingesetzten Materialien basiert, wirkt sich diese Sammelkategorie unmittelbar auf die Entropieberechnung aus. In der Berechnung wird „Others“ dabei als einheitliches, homogenes Material betrachtet, was zu einer niedrigeren Entropie führt und damit rechnerisch ein günstigeres Recyclingverhalten suggeriert, als das Gerät tatsächlich aufweist. Geräte mit einem hohen Masseanteil in der Kategorie „Others“ erscheinen dadurch auf den ersten Blick recyclingfreundlich, obwohl sich darin häufig komplexe und schwer trennbare Strukturen befinden. Um diesen Effekt näher zu untersuchen, wurde eine alternative RPR-Berechnung durchgeführt, bei der die Kategorie „Others“ vollständig aus der Analyse ausgeschlossen und nur eindeutig identifizierte Materialien berücksichtigt wurden. Die Einbeziehung der Kategorie „Others“ trägt dazu bei, die Massebilanz zu schließen und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Realität komplexer Produktstrukturen abzubilden. Gleichzeitig führt sie jedoch zu einer rechnerischen Verzerrung, da unbekannte oder schwer trennbare Stoffe wie ein homogenes, ideal recycelbares Material behandelt werden. Dadurch kann die Recyclingfähigkeit systematisch überschätzt werden. Der Verzicht auf „Others“ ermöglicht hingegen eine realistischere Einschätzung der stofflichen Rückführbarkeit, macht jedoch gleichzeitig deutlich, wo analytische Lücken bestehen – insbesondere dann, wenn ein großer Teil der Produktmasse nicht eindeutig klassifiziert werden konnte. Um ein ausgewogenes Bild zu erhalten, erscheint daher die parallele Betrachtung beider Varianten, also mit und ohne „Others“, sinnvoll. Sie erlaubt es, sowohl die methodische Aussagekraft als auch die Grenzen der Analyse transparent zu machen. Die *Abbildung 44* bis *Abbildung 46* verdeutlichen eindrücklich den Einfluss der Kategorie „Others“ auf die Bewertung des Recyclingpotenzials RPR über verschiedene Gerätegruppen hinweg.

In *Abbildung 44* zeigt sich bei den Mobiltelefonen M1 bis M15 eine relativ konstante Differenz zwischen dem ursprünglichen RPR-Wert und dem bereinigten Wert ohne „Others“. M13 weist mit einem Rückgang von 0,83 auf 0,82 einen minimalen Unterschied von 0,01 Punkten auf. Trotz eines Masseanteils von 21,12 % in der Kategorie „Others“ bleibt der Einfluss auf den RPR-Wert sehr gering, was auf eine insgesamt gut trennbare oder dokumentierte Struktur schließen lässt. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei M15 ein stärkerer Effekt. Der RPR-Wert sinkt beim Ausschluss von „Others“ von 0,75 auf 0,69, während der Masseanteil dieser Kategorie am Gesamtgerät bei 38,06 % liegt. Diese Diskrepanz zwischen Masseanteil und RPR-Differenz unterstreicht die Bedeutung der materialspezifischen Zusammensetzung innerhalb von „Others“.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

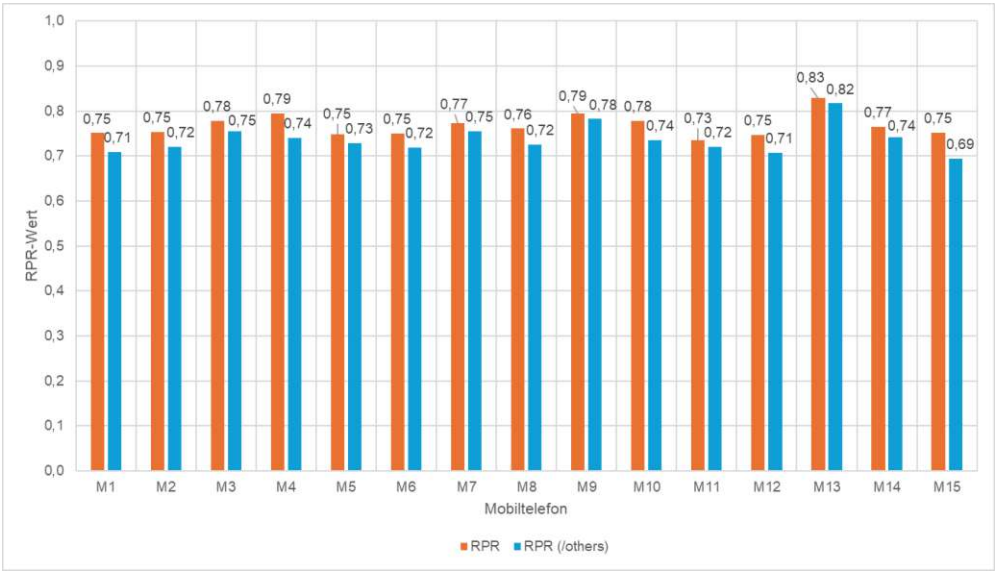


Abbildung 44: RPR-Werte Mobiltelefone M1-M15 (mit und ohne "Others")

Noch deutlicher wird dieser Effekt in *Abbildung 45* bei den Smartphones S1 bis S15. Besonders S14 sticht hervor, bei dem der RPR-Wert beim Ausschluss der Kategorie „Others“ deutlich von 0,70 auf 0,49 sinkt. Der Masseanteil von 54,4 % ist der höchste im Vergleich, was die hohe Bedeutung dieser Kategorie für die Gesamtbewertung unterstreicht. Auch bei S11 zeigt sich ein erheblicher Rückgang von 0,68 auf 0,54, bei einem Masseanteil von 45,35 %. Diese Werte bestätigen, dass bei älteren oder komplexeren Modellen mit weniger transparenter Materialstruktur besonders hohe „Others“-Anteile auftreten. Im Vergleich dazu zeigen S3 und S5 mit RPR-Differenzen von 0,03 beziehungsweise 0,02 Punkten bei Masseanteilen von 31,97 und 43,71 %, dass auch Geräte mit substanziellen „Others“-Mengen stabile RPR-Werte erreichen können, wenn die Klassifizierung der restlichen Materialien entsprechend gut ist.

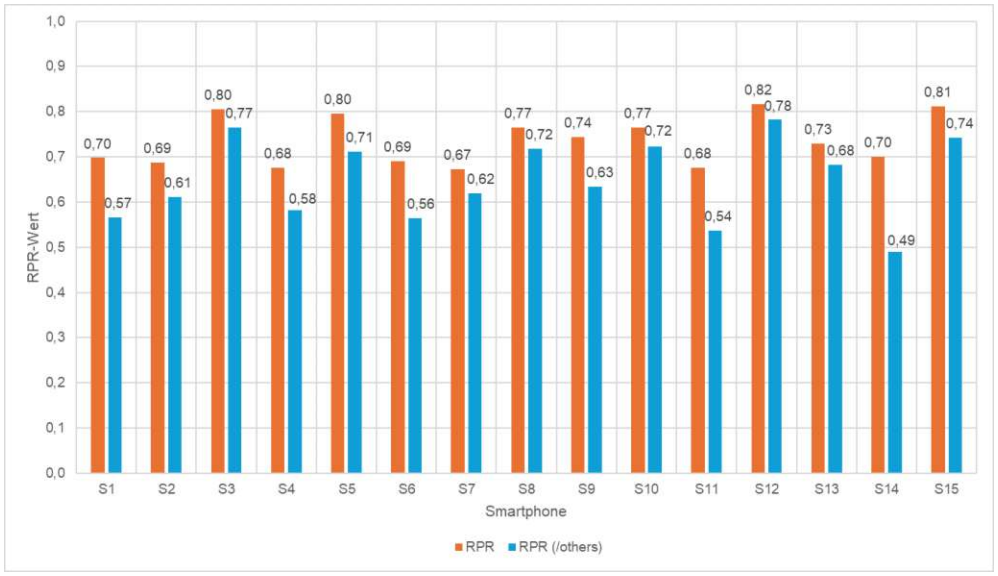


Abbildung 45: RPR-Werte Smartphones S1-S15 (mit und ohne "Others")

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 46 zeigt schließlich die RPR-Werte der neueren Smartphones S16 bis S22, berechnet auf Sub-Sub-Komponentenebene. Trotz eines hohen Masseanteils der Fraktion „Others“ von 40,82 % bei S16 beträgt die Differenz zwischen ursprünglichem und bereinigtem RPR-Wert nur 0,08 Punkte, was auf eine gute Differenzierbarkeit der restlichen Materialien hindeutet. Noch markanter ist das Fairphone 4 S22, bei dem der RPR-Wert von 0,88 auf 0,82 sinkt, obwohl der Masseanteil von „Others“ mit 45,49 % vergleichbar hoch ist. Dies verdeutlicht, dass nicht nur der reine Anteil, sondern insbesondere die Qualität der Materialanalyse und die Modularität des Designs entscheidend für die Recyclingbewertung sind.

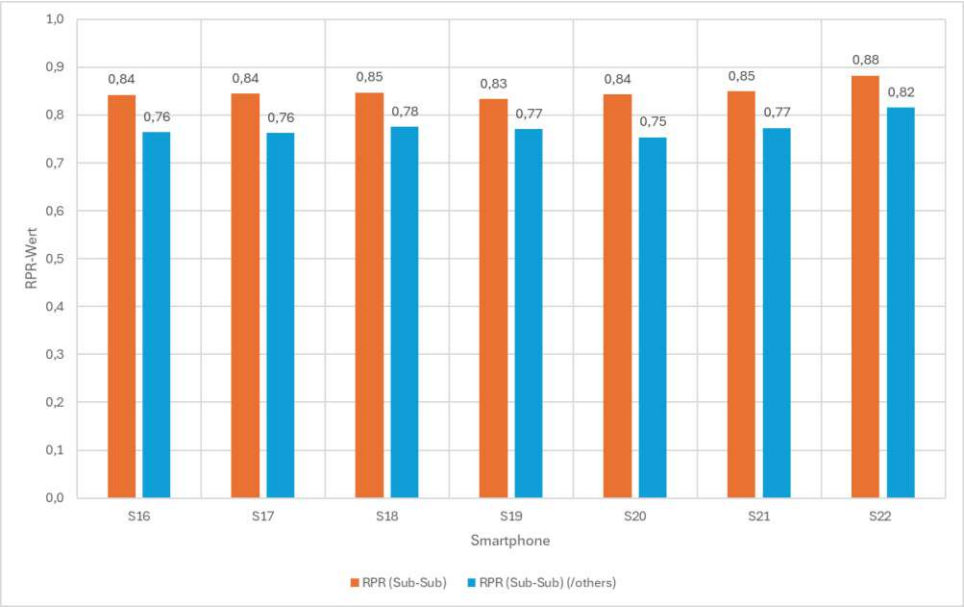


Abbildung 46: RPR-Werte Smartphones S16-S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene (mit und ohne "Others")

Zusammenfassend zeigen die drei Abbildungen, dass der Einfluss der Kategorie „Others“ auf den RPR-Wert nicht allein vom Masseanteil abhängt. Entscheidend ist vielmehr, wie gut die verbleibenden Materialien dokumentiert und differenziert sind. Je detaillierter die Analyse und je modularer die Bauweise, desto verlässlicher die RPR-Bewertung und desto geringer der systematische Fehler durch nicht klassifizierbare Materialien. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Kategorie „Others“ die Bewertung des Recyclingpotenzials erheblich beeinflussen kann. Eine hohe Konzentration innerhalb dieser Sammelkategorie führt zu einer systematischen Überschätzung der Recyclingfähigkeit. Um eine realitätsnahe Bewertung zu gewährleisten, ist es entscheidend, die Anteile und Zusammensetzung dieser Kategorie genau zu erfassen oder gegebenenfalls ergänzend eine bereinigte Betrachtung durchzuführen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.2.4 Zeitlicher Verlauf und Entwicklung des RPR im Produktdesign

Der zeitliche Verlauf der RPR-Werte ermöglicht eine Bewertung der Entwicklung von Rezyklierbarkeitsstrategien im Produktdesign sowie der strukturellen Ausgestaltung technischer Geräte über verschiedene Modellgenerationen hinweg. Die Abbildungen zeigen, wie sich die RPR-Werte im Lauf der Jahre verändern und ob sich daraus Trends in der Produktgestaltung ableiten lassen.

In der Zeitreihe der Mobiltelefone (*Abbildung 47*) zeigt sich über den Zeitraum von 2004 bis 2022 kein durchgängiger Anstieg der RPR-Werte. Vielmehr sind Schwankungen zwischen einzelnen Modellen und Herstellern zu erkennen. So weisen etwa ältere Nokia-Geräte wie das Nokia 1110i (M9, 2006) und das Nokia 1200 (M4, 2007) hohe RPR-Werte auf, während spätere Modelle wie das Nokia 5000d-2 (M6, 2008) oder das Nokia 1208 (M15, 2007) deutlich darunter liegen. Das Modell mit dem höchsten RPR-Wert ist das Nokia 5200 (M13, 2007), das sich allerdings nicht als Trendfortsetzung erweist, da direkt nachfolgende Geräte wie das Silver Crest SSMT 1000A1 (M2, 2009) oder das Samsung E1150 (M8, 2010) niedrigere Werte erreichen. Das aktuellste Modell, das Nokia TA-1010 (M1, 2022), liegt im Mittelfeld, was darauf hindeutet, dass selbst bei neueren Mobiltelefonen keine systematische Verbesserung in Richtung Rezyklierbarkeit durchgesetzt wurde.

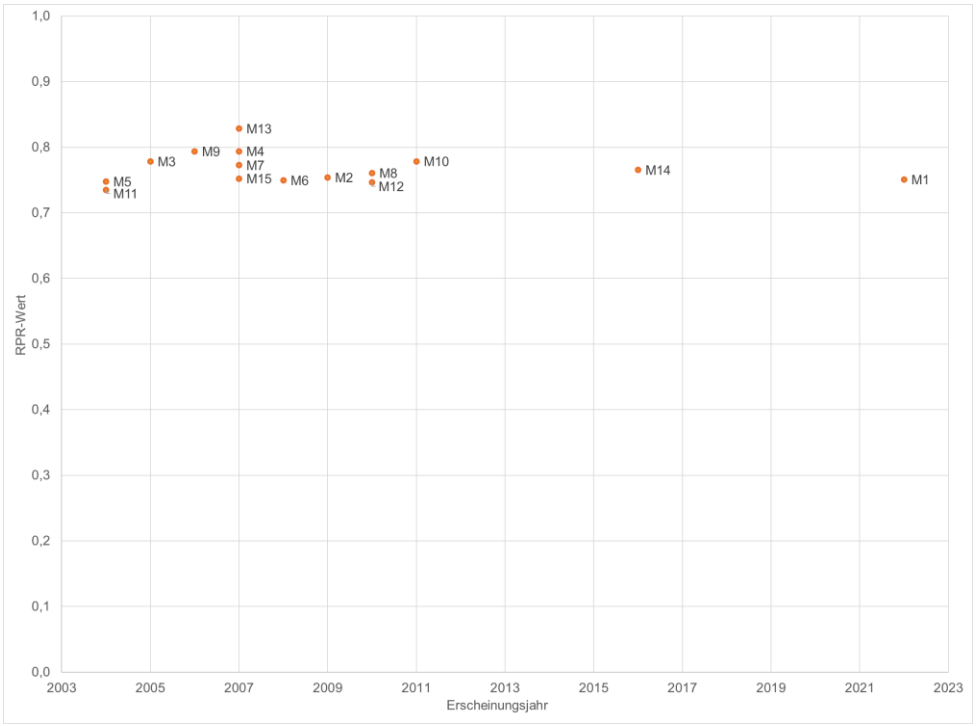


Abbildung 47: Zeitreihe der RPR-Werte der Mobiltelefone M1-M15 (mit "Others")

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei den Smartphones (*Abbildung 48*) ist das Bild ähnlich heterogen. Frühe Modelle wie das iPhone A1241 (S10, 2008) und das iPhone A1387 (S12, 2010) von Apple schneiden mit sehr hohen RPR-Werten überraschend gut ab. Dagegen zeigen sich in der Folgegeneration Rückschritte, etwa beim Samsung GT-I9105P (S11, 2013) oder beim Nokia RM-976 (S2, 2014), die beide vergleichsweise niedrige Werte erreichen. Besonders das Samsung GT-I9301I (S14, 2014) fällt mit einem starken Einbruch auf.

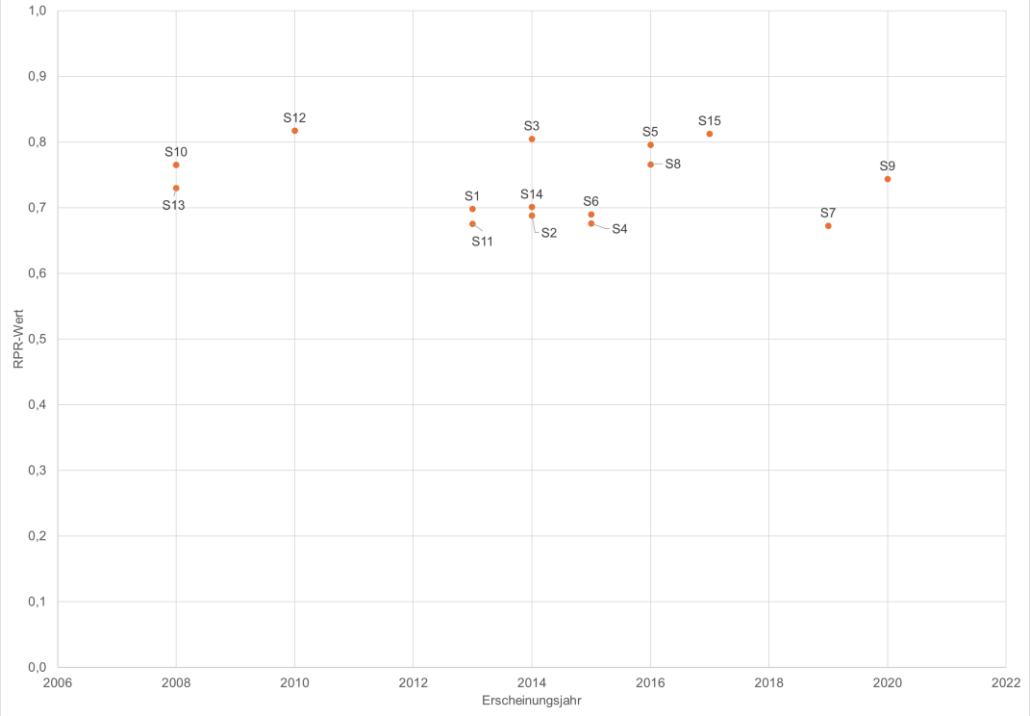


Abbildung 48: Zeitreihe der RPR-Werte der Smartphones S1-S15 (mit "Others")

Apple erreicht bei späteren Modellen wie dem iPhone X (S16, 2017), iPhone XS (S17, 2018) und iPhone 12 (S18, 2020) konstant hohe RPR-Werte von 0,84 bis 0,85, die sich auch beim aktuellen iPhone 14 Pro (S19, 2022) fortsetzen, wie in *Abbildung 49* dargestellt. Diese Stabilität spricht für eine standardisierte Designphilosophie mit Fokus auf Wiederverwendbarkeit und klare Materialtrennung.

Unter den Android-Modellen ist die Entwicklung differenzierter. Während das Samsung Galaxy S20 (S20, 2020) mit einem RPR-Wert von 0,84 im oberen Bereich liegt, zeigt das neueste Modell, das Galaxy S24 (S21, 2024), mit 0,85 erneut einen leichten Anstieg. Dies könnte auf wachsende regulatorische Anforderungen oder gezielte Nachhaltigkeitsstrategien zurückzuführen sein. Besonders hervorzuheben ist jedoch das Fairphone 4 (S22, 2021), das mit einem RPR-Wert von 0,88 das höchste Ergebnis der betrachteten Serie erreicht. Diese außergewöhnlich gute Bewertung bestätigt den

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

markenspezifischen Anspruch von Fairphone, durch modulare Bauweise und transparente Materialwahl eine besonders hohe Rezyklierbarkeit zu ermöglichen.

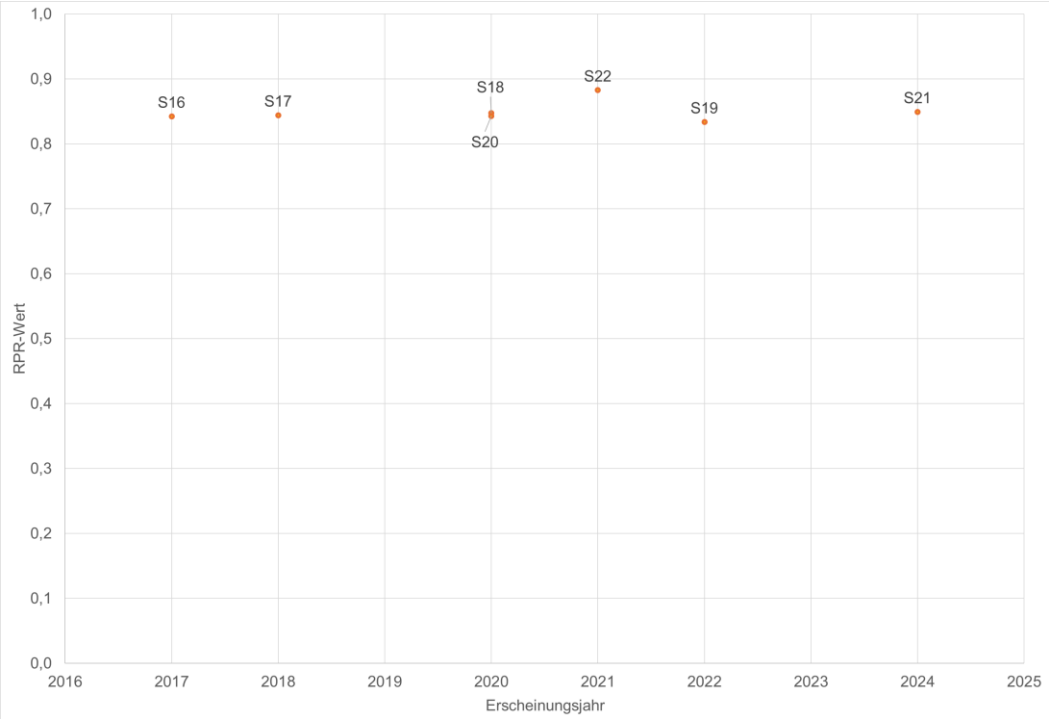


Abbildung 49: Zeitreihe der RPR-Werte der Smartphones S16-S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene (mit "Others")

Insgesamt zeigen die Daten, dass sich insbesondere bei Apple und Fairphone eine gewisse Kontinuität in der Berücksichtigung von Recyclingaspekten erkennen lässt. Samsung hingegen weist stärkere Schwankungen auf, erreicht in aktuellen Modellen aber ebenfalls ein gutes Niveau. Bei älteren Geräten überlagern Modellvielfalt und fehlende Standards eine erkennbare Entwicklung. Damit unterstreicht die Analyse, dass Fortschritte in der Rezyklierbarkeit stark vom jeweiligen Hersteller und dessen Designstrategie abhängen. Ein einheitlicher zeitlicher Aufwärtstrend ist über die gesamte Gerätegruppe hinweg nicht erkennbar.

4.3 Einflussfaktoren auf die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen

Die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen wird maßgeblich durch verschiedene gestalterische und konstruktive Faktoren beeinflusst, die auch direkt in die Berechnung der RPR einfließen. Die RPR-Bewertung basiert auf einer quantitativen Entropieanalyse, bei der die Masseanteile der eingesetzten Materialien in Relation gesetzt und ihre Verteilung auf Bauteilebene erfasst werden. Je geringer die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Materialvielfalt und je besser die Trennbarkeit der eingesetzten Stoffe, desto niedriger fällt die Entropie und desto höher der berechnete RPR-Wert aus. Dabei wurde die tatsächliche Zerlegbarkeit der Komponenten in mehreren Schritten berücksichtigt, auch wenn dies in der realen Recyclingpraxis oft nicht in diesem Umfang umgesetzt werden kann.

Ein zentrales Kriterium ist die Komplexität, insbesondere die Materialvielfalt innerhalb einzelner Sub- oder Sub-Sub-Komponenten. Zwar konnte bei der Demontage in der Regel die äußere Hülle einer Komponente oder Baugruppe entfernt werden, jedoch waren darunterliegende Materialien wie Metall und Kunststoff häufig fest miteinander verbunden oder verklebt. Eine sortenreine Trennung war daher nur mit erheblichem mechanischem Aufwand möglich und erforderte meist den Einsatz von Zangen oder Hebelwerkzeugen. Besonders betroffen waren beispielsweise Lautsprecher, bei denen Magnete, Trägerelemente und Gehäuse oft untrennbar miteinander verbunden waren, sowie Vibrationsmotoren und Kameramodule, die ebenfalls nur durch mechanischen Aufwand in weitere Sub-(Sub-)Komponenten zerlegt werden konnten.

Auch die Verbindungstechniken spielen eine zentrale Rolle. Schraubverbindungen wirken sich positiv auf die Recyclingfähigkeit aus, da sie eine zerstörungsfreie und selektive Demontage ermöglichen. Problematisch sind hingegen Klebeverbindungen, die häufig bei der Befestigung von Akkus oder Displays eingesetzt werden und die physische Trennung deutlich erschweren, wie es beispielsweise bei den iPhone-Modellen der Fall war. Trotz ihrer praktischen Relevanz werden diese Verbindungstechniken in der Berechnung der RPR jedoch nicht explizit berücksichtigt. Dadurch können Geräte mit schwer lösbaren oder verklebten Komponenten theoretisch denselben RPR-Wert erreichen wie solche mit vollständig lösbaren, modularen Strukturen. Um diese Einschränkung dennoch zu berücksichtigen, kann in der Bewertung die Zerlegungstiefe entsprechend angepasst werden. Wenn eine Komponente aufgrund von Klebeverbindungen realistisch nicht weiter in Sub- oder Sub-Sub-Komponenten zerlegt werden kann, wird sie auf der höheren Strukturebene, z.B. der Komponentenebene berechnet. Dadurch wird angenommen, dass die enthaltenen Materialien nicht weiter getrennt werden können. Dies führt zu einem höheren Entropiewert und in der Folge zu einem niedrigeren RPR-Wert, wodurch sich die geringere Recyclingfähigkeit solcher Strukturen zumindest indirekt widerspiegelt. Diese Zusammenhänge werden in *Abbildung 50* dargestellt, die die kumulierte

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Entwicklung des RPR-Werts des Smartphones S19 über verschiedene Zerlegungsschritte hinweg veranschaulicht. Der Verlauf erstreckt sich über die einzelnen Komponenten, beginnend mit der Leiterplatte bis hin zu den Schrauben, jeweils ausgewertet auf den drei unterschiedlichen Zerlegungsebenen (Komponentenebene, Sub-Komponentenebene und Sub-Sub-Komponentenebene).

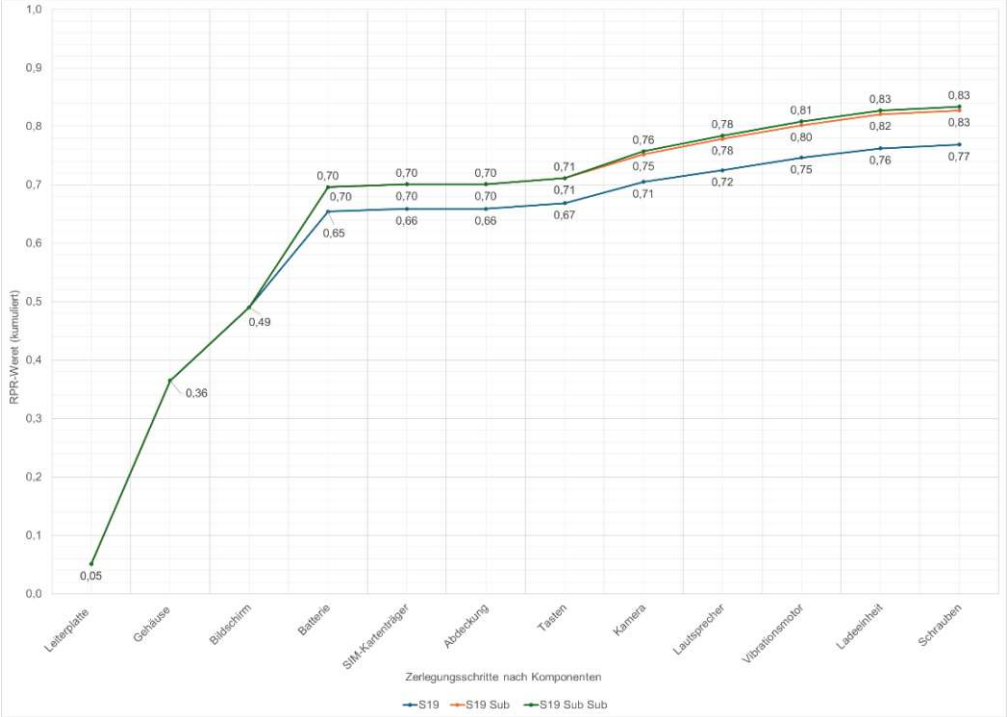


Abbildung 50: kumulierte RPR-Werte des Smartphones S19 auf verschiedenen Zerlegungsebenen nach Zerlegungsschritten der Komponenten

Die Abbildung zeigt, dass sich der RPR-Wert mit zunehmender Zerlegungstiefe erhöht. Je feiner die Zerlegung in Sub- und Sub-Sub-Komponenten erfolgt, desto genauer lassen sich die enthaltenen Materialien erfassen und bewerten. Voraussetzung dafür ist, dass die Verbindungstechniken eine weitergehende Demontage ermöglichen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich in diesem Zusammenhang durch den Einsatz von Klebeverbindungen. Diese erschweren oder verhindern häufig eine zerstörungsfreie Trennung der Bauteile, wodurch eine weiterführende Zerlegung in Sub- oder Sub-Subkomponenten nicht möglich ist. In solchen Fällen verbleibt die Bewertung auf einer höheren Zerlegungsebene, was zu einer geringeren Differenzierung der enthaltenen Materialien führt. Durch die eingeschränkte Trennbarkeit der Materialien steigt die Entropie, was eine Verringerung des RPR-Werts zur Folge hat. Anhand des kumulierten RPR-Verlaufs wird deutlich, dass die gewählte Verbindungstechnik maßgeblich beeinflusst, in welchem Ausmaß Materialien getrennt und bewertet werden können. Obwohl die Art der Verbindung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

nicht explizit in die RPR-Berechnung einfließt, beeinflusst sie über die mögliche Zerlegungstiefe indirekt das Bewertungsergebnis.

Ein Vergleich der Komponenten verdeutlicht die bestehenden praktischen Herausforderungen. Batterien ließen sich in vielen Fällen gut aus dem Gerät entnehmen, und auch das äußere Gehäuse konnte meist problemlos entfernt werden. Die eigentliche Batteriezelle war jedoch nur schwer weiter zerlegbar, da Einheiten wie Separator, Anode, Kathode und Elektrolyt fest miteinander verbunden sind. Eine physische Trennung dieser Bestandteile war nicht möglich, sodass ihre Zuordnung und Massenbilanzierung über Proben und Berechnungen erfolgten. Auch Bildschirme bestanden häufig aus mehrschichtigen, verklebten Einheiten, deren Trennung in einzelne Materialien kaum realisierbar war. Kameras wiesen zudem die höchste Miniaturisierungs- und Materialvielfalt auf, was eine Trennung mit erheblichem manuellem Aufwand erforderlich machte, der so im realen Recyclingprozess nicht umsetzbar ist.

Diese im Rahmen der Analyse durchgeführten Trennungen stellen daher einen Sonderfall dar, da sie in großtechnischen Recyclingprozessen typischerweise nicht realisierbar sind. Sie wurden dennoch berücksichtigt, um die maximal mögliche trennbare Materialstruktur zu erfassen und somit eine produktinhärente Bewertung zu ermöglichen. Damit liefert die RPR ein wichtiges Maß für das recyclinggerechte Design auf theoretischer Ebene, während praktische Demontierbarkeit und reale Recyclingprozesse komplexer zu bewerten sind.

4.4 Entwicklung von Maßnahmen zur Erhöhung der Recyclingfähigkeit

Die Ergebnisse der RPR-Berechnungen zeigen deutlich, welche konstruktiven Merkmale die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen positiv beeinflussen. Daraus lassen sich konkrete Maßnahmen und Designempfehlungen ableiten, die bereits in der Entwicklungsphase umgesetzt werden können, um die ressourcenschonende Rückgewinnung von Materialien zu verbessern. Besonders wirkungsvoll sind Strategien, die auf Modularität, Materialtrennung und einfach lösbare Verbindungen setzen. Eine zentrale Empfehlung besteht in der Umsetzung einer modularen Bauweise, bei der einzelne Komponenten wie Akku, Display, Lautsprecher oder

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kameraeinheit separat und ohne Beschädigung demontiert werden können. Dies erleichtert nicht nur Reparaturen und den Austausch defekter Teile, sondern schafft auch ideale Voraussetzungen für eine sortenreine Rückgewinnung von Materialien im Recyclingprozess. Verschraubungen oder Steckverbindungen sollten dabei Klebe- oder Pressverbindungen vorgezogen werden, da sie eine zerstörungsfreie Zerlegung ermöglichen. Ebenso wichtig ist der gezielte Einsatz von sortenreinen und trennbaren Materialien. Die Vermeidung von Verbundstoffen, eine klar strukturierte Materialtrennung innerhalb von Bauteilen und eine gute Dokumentation der verwendeten Werkstoffe verbessern nicht nur die Rückführbarkeit einzelner Stoffe, sondern auch die Transparenz für nachgelagerte Verwertungsprozesse. Je weniger verschiedene Materialien in einer Komponente fest miteinander verbunden sind, desto effizienter und hochwertiger kann recycelt werden. Die Anwendung der RPR-Bewertungsmethode ermöglicht es ProduktdesignerInnen und HerstellerInnen, fundierte Erkenntnisse über die recyclingbezogenen Eigenschaften eines Produkts zu gewinnen und darauf aufbauend gezielte Optimierungen im Produktdesign vorzunehmen. Die Methode dient als wirkungsvolles Instrument, um bereits im Entwicklungsprozess ressourcenbezogene Schwachstellen sichtbar zu machen und das Design im Hinblick auf eine bessere Wiederverwertbarkeit weiterzuentwickeln. Da die Entropieanalyse genau aufzeigt, welche Komponenten besonders hohe Entropiewerte aufweisen, lassen sich gezielt Bereiche identifizieren, in denen konstruktive bzw. materialtechnische Verbesserungen möglich und sinnvoll sind.

Insgesamt zeigt sich, dass die frühzeitige Berücksichtigung recyclingrelevanter Kriterien im Produktdesign einen entscheidenden Beitrag zur Ressourcenschonung leisten kann. Durch gezielte konstruktive Maßnahmen lässt sich nicht nur die theoretische Recyclingfähigkeit verbessern, sondern auch die technische Umsetzbarkeit erleichtern und schließlich die Realisierung im praktischen Recyclingprozess deutlich unterstützen.

4.5 Kritische Bewertung der angewandten Methodik und der Ergebnisse

Die RPR-Methode eignet sich gut, um die theoretische Recyclingfähigkeit eines Produkts auf Basis seiner Materialzusammensetzung und Trennbarkeit zu bewerten. Sie liefert wertvolle Hinweise für ein recyclinggerechtes Produktdesign. Allerdings

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

bleiben dabei wichtige Faktoren unberücksichtigt, die für die praktische Umsetzung entscheidend sind.

Schadstoffe oder kritische Inhaltsstoffe, die das Recycling technisch erschweren oder ganz verhindern können, werden in der Bewertung nicht erfasst. Auch der tatsächliche Aufwand zur Rückgewinnung von Materialien bleibt außen vor. Weder Energiebedarf noch Prozessaufwand oder CO_2-Emissionen, die bei der Demontage und Trennung entstehen, fließen in die Berechnung ein. Ein Gerät mit hohem RPR-Wert kann sich in der Praxis daher dennoch als aufwändig oder nur unter erheblichem Ressourceneinsatz recycelbar erweisen. Zudem bezieht sich die Methode ausschließlich auf den technischen Zustand zum Zeitpunkt der Analyse. Aspekte wie Produktlebensdauer, Reparaturfreundlichkeit oder Wiederverwendbarkeit bleiben unberücksichtigt, obwohl sie wesentlich zur Nachhaltigkeit eines Produkts beitragen können. Ebenso wird nicht bewertet, ob die theoretisch mögliche Rückgewinnung wirtschaftlich sinnvoll und praktisch durchführbar ist. Materialien, die nur in sehr geringen Mengen enthalten sind oder deren Trennung besonders aufwändig ist, haben kaum Einfluss auf den RPR-Wert, obwohl sie im realen Recyclingprozess häufig nicht effizient oder gar nicht zurückgewonnen werden können.

Die RPR-Methode ist damit ein hilfreiches Werkzeug, um die Recyclingfähigkeit eines Produkts auf Materialebene zu bewerten und konkrete Ansätze für Designverbesserungen aufzuzeigen. Sie macht sichtbar, wie gut sich Materialien im Idealfall voneinander trennen und wiederverwerten lassen. Für eine realitätsnähere Einschätzung wäre jedoch eine Erweiterung der Methode notwendig. Dazu zählen unter anderem der Energie- und Ressourcenaufwand, die wirtschaftliche Umsetzbarkeit sowie die Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus. Auch soziale und infrastrukturelle Rahmenbedingungen wie Rücknahmesysteme oder regionale Verwertungskapazitäten sollten stärker berücksichtigt werden. Erst wenn all diese Faktoren zusammen gedacht werden, lässt sich die tatsächliche Recyclingfähigkeit eines Produkts realistisch und umfassend beurteilen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Recyclingfähigkeit von insgesamt 37 Mobiltelefonen und Smartphones, darunter 15 klassische Mobiltelefone, 15 ältere Smartphones und sieben aktuelle Smartphone-Modelle, mittels eines auf der statistischen Entropie basierenden Bewertungsansatz analysiert und vergleichend dargestellt. Die Untersuchung zeigte, dass klassische Mobiltelefone tendenziell durch eine geringere Materialvielfalt und klar strukturierte Bauteile gekennzeichnet sind, was grundsätzlich günstige Voraussetzungen für die Recyclingfähigkeit bietet, aber dass auch aktuelle Smartphones, insbesondere Modelle mit modularer Bauweise wie das Fairphone, sehr hohe RPR-Werte erreichen können. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt in der durchgeführten Zerlegung auf Sub-Sub-Komponentenebene, die eine detailliertere Erfassung der Materialverteilung und damit eine präzisere Bewertung ermöglichte. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine hohe Recyclingfähigkeit auch bei technisch komplexen Geräten erreichbar ist, vorausgesetzt, das Produktdesign erlaubt eine effiziente Trennung der Materialien.

Besonders deutlich wurde der Einfluss zentraler Bauteile wie Batterie, Leiterplatte und Bildschirm, deren hohe Entropiewerte auf ihre komplexe Zusammensetzung zurückzuführen sind und die sich entsprechend negativ auf die Recyclingfähigkeit auswirken. Eine zentrale Erkenntnis der Arbeit betrifft die Rolle der Materialkategorie „Others“, die Stoffe umfasst, die analytisch nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. In zahlreichen Fällen beeinflusste diese Kategorie die RPR-Bewertung signifikant und führte zu einer rechnerischen Überschätzung der Recyclingfähigkeit. In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass eine ergänzende Berechnung der RPR-Werte unter Ausklammerung der Kategorie „Others“, also unter Berücksichtigung ausschließlich eindeutig identifizierter Materialien, zu einer differenzierteren und kritischeren Einschätzung der tatsächlichen Recyclingfähigkeit führen kann.

Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung des Produktdesigns für die Recyclingfähigkeit. Eine modulare Bauweise, der bevorzugte Einsatz lösbarer Verbindungstechniken wie Schrauben sowie die Reduktion von Materialvielfalt tragen wesentlich zur Erhöhung der RPR bei. Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass eine differenzierte Erhebung der Subkomponentenstrukturen zu einer genaueren und realistischeren Bewertung führt, was insbesondere für vergleichende Studien von

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Relevanz ist. Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse stellt sich die Frage, ob ein einheitlicher Branchenstandard zur Bewertung der Recyclingfähigkeit elektronischer Geräte entwickelt werden kann. Ein solcher Bewertungsrahmen würde es ermöglichen, Produkte systematisch und transparent im Hinblick auf ihre Kreislauffähigkeit zu beurteilen und Optimierungspotenziale objektiv sowohl für Hersteller als auch für politische Entscheidungsträger und Recycler zu identifizieren.

Die in dieser Arbeit angewandte Methodik bietet damit eine fundierte Grundlage zur Beurteilung des Produktdesigns im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Der SE-basierte Bewertungsansatz stellt ein wertvolles Instrument zur Identifikation von Verbesserungsmöglichkeiten im Design dar. Für zukünftige Untersuchungen erscheint es sinnvoll, die Methodik um ökobilanzielle, ökonomische und praktische Aspekte des Recyclings zu erweitern, um die praktische Umsetzbarkeit der Rückgewinnung von Materialien unter realen industriellen Bedingungen besser berücksichtigen zu können.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6 Literaturverzeichnis

Assadourian, E. (2010). *The rise and fall of consumer cultures*.

BAWP. (2023). *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023, Teil 1*.

Bruno, M., Sotera, L., & Fiore, S. (2022). Analysis of the influence of mobile phones' material composition on the economic profitability of their manual dismantling. *Journal of Environmental Management*, *309*, 114677.

Cenci, M. P., Eidelwein, E. M., Scarazzato, T., & Veit, H. M. (2024). Assessment of smartphones' components and materials for a recycling perspective: Tendencies of composition and target elements. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *26*(3), 1379–1393.

Chalmers, J. M. (2000). Infrared Spectroscopy in Analysis of Polymers and Rubbers. In R. A. Meyers (Hrsg.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (1. Aufl.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470027318.a2015

Deutsche Rohstoffagentur (DERA). (2011). *Deutschland – Rohstoffsituation 2011*.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA). (2024). Rohstoff-Trends Q2/24. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin*.

Ebeling, W., Freund, J., & Schweitzer, F. (1998). *Komplexe Strukturen: Entropie und Information*. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig.

Europäische Kommission. (2011). *Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts-und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen;* Europäische Kommission.

Europäische Kommission. (2014, Juli). *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Hin zu einer Kreislaufwirtschaft – Ein Null-Abfallprogramm*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

für Europa. Europäische Kommission. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52014DC0398

Europäische Kommission. (2023, März 16). *Kritische Rohstoffe: Sichere und nachhaltige Lieferketten für die grüne und die digitale Zukunft der EU gewährleisten*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip_23_1661/IP_23_1661_DE.pdf

Europäische Union. (2012, Juli 4). *Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung) Text von Bedeutung für den EWR*. http://data.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj/deu

Europäische Union. (2024, Juni 13). *Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG (Text von Bedeutung für den EWR)*. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj/deu

European Environment Agency. (2016). *Circular economy in Europe: Developing the knowledge base.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2800/51444

Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., & Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, *2*(9), 100340. https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340

Gupta, N., Trivedi, A., & Hait, S. (2021). Material composition and associated toxicological impact assessment of mobile phones. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(1), 104603.

Habes, M. (2007). Information und Entropie. *HFT Stuttgart*.

Hageluken, C. (2006). Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling—A holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

metals smelting and refining. *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006.*, 218–223. https://doi.org/10.1109/ISEE.2006.1650064

Hagelüken, C., Schmidt, M., Schebek, L., Bongardt, B., Liedtke, C., Dosch, K., Faulstich, M., Flamme, S., Gast, M., Hermann, S., & others. (2023). *Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy: Rahmenbedingungen, Anforderungen und Handlungsempfehlungen; Position der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU)*. Umweltbundesamt.

Hagelüken, C., Umicore, A., & Co, K. (2006, Mai). *Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling*.

Institut cyclos-HTP. (2015). *Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit*.

Korthauer, R. (Hrsg.). (2013). *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2

Lutter, T., Pentsi, A., Poguntke, M., Böhm, K., & Esser, R. (2015). Zukunft der Consumer Electronics–2015. *Marktentwicklung, Schlüsseltrends, Mediennutzung, Konsumentenverhalten, Neue Technologien. Berlin: Bitkom eV*.

Martens, H., & Goldmann, D. (2016). *Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis*. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-02786-5

Nordbrand, S. (2009). Out of Control: E-waste trade flows from the EU to developing countries. *SwedWatch, Stockholm*, *46*.

Nordmann, J. (o. J.). *Factsheets zum Thema Mobiltelefone und Nachhaltigkeit*.

Nordmann, J., Welfens, M. J., Fischer, D., Nemnich, C., Bookhagen, B., Bienge, K., & Niebert, K. (2015). *Die Rohstoff-Expedition: Entdecke, was in (d)einem Handy steckt*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44083-4

Österreichisches Bundesgesetzblatt. (2002). *Abfallwirtschaftsgesetz (AWG), BGBl. I Nr. 102/2002*. https://www.ris.bka.gv.at

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Österreichisches Bundesgesetzblatt. (2017). *Elektroaltgeräteverordnung, BGBl. II Nr. 102/2017*. https://www.ris.bka.gv.at

Pomberger, R. (2021). Über theoretische und reale Recyclingfähigkeit. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, *73*(1–2), 24–35. https://doi.org/10.1007/s00506-020-00721-5

Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., & Stamminger, R. (2016). *Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen" Obsoleszenz "*. Umweltbundesamt.

Rackwitz, V. (2012). *Instrumentelle Fundamentalparameter und ausgewählte Anwendungen der Mikrofokus-Röntgenfluoreszenzanalyse am Rasterelektronenmikroskop*. Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung (BAM). https://opus4.kobv.de/opus4-bam/frontdoor/index/index/docId/77

Ritchie, H. (2024). What share of global CO_2 emissions come from aviation? *Our World in Data*. https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions?utm_source=chatgpt.com#article-citation

Roithner, C. (2021). *Multiple application of statistical entropy: New methods to assess the effectiveness of recycling processes and the recyclability of products*.

Roithner, C., Cencic, O., & Rechberger, H. (2021a). Ein neuer Weg zur Bewertung der Recyclingfähigkeit von Produkten mittels Statistischer Entropie: Fallbeispiel Mobiltelefone. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, *73*(9–10), 377–384. https://doi.org/10.1007/s00506-021-00783-z

Roithner, C., Cencic, O., & Rechberger, H. (2021b). Product design and recyclability: How statistical entropy can form a bridge between these concepts - A case study of a smartphone. *Journal of Cleaner Production*, *331*, 129971. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129971

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Sander, K., & Schilling, S. (2010). Optimierung der Steuerung und Kontrolle grenzüberschreitender Stoffströme bei Elektroaltgeräten/Elektroschrott. *MÜLL und ABFALL*, *6*, 6. https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2010.06.06

Schluep, M., Hagelüken, C., Kuehr, R., Magalini, F., Maurer, C., Meskers, C., Thiébaud (-Müller), E., & Wang, F. (2009). *Recycling—From e-waste to resources*.

Schluep, M., Thiébaud (-Müller), E., Hilty, L., Ott, D., Widmer, R., & Böni, H. (2013). *Insights from a decade of development cooperation in e-waste management*. https://doi.org/10.5167/uzh-84886

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, *27*(3), 379–423.

Singh, N., Duan, H., Yin, F., Song, Q., & Li, J. (2018). Characterizing the Materials Composition and Recovery Potential from Waste Mobile Phones: A Comparative Evaluation of Cellular and Smart Phones. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *6*(10), 13016–13024. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b02516

Statista. (2024a, Juli). *Mobilfunkanschlüsse—Anzahl Österreich bis 2023*. Statista. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/204766/umfrage/anzahl-der-mobilfunkanschluesse-in-oesterreich-seit-2000/

Statista. (2024b, November). *Anzahl der Mobilfunkanschlüsse weltweit bis 2024*. Statista. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2995/umfrage/entwicklung-der-weltweiten-mobilfunkteilnehmer-seit-1993/

Statista. (2025, Februar). *Smartphones—Absatz weltweit bis 2024*. Statista. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173049/umfrage/weltweiter-absatz-von-smartphones-seit-2009/

Tacker, Dr. M., & Apprich, F.-Prof. in DI. in Dr. in S. (2021, Oktober 27). *Bewertung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen*. ECR Austria. https://ecr-austria.at/2021/10/27/bewertung-der-recyclingfaehigkeit-von-verpackungen-2/

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Welfens, M., Nordmann, J., Stengel, O., Bienge, K., Kennedy, K., Lemken, T., Seibt, A., & Alexopoulou, E. (2013). 18 Factsheets zum Thema Mobiltelefone und Nachhaltigkeit. *Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH*.

Wilts, H., & Fink, P. (2016). Deutschland auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft. *MÜLL und ABFALL*, *6*, 3. https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2016.06.03

Wilts, H., Lucas, R., von Gries, N., & Zirngiebl, M. (2014). *Recycling in Deutschland—Status quo, Potenziale, Hemmnisse und Lösungsansätze*.

Wimmer, L., & Pavlovic, K. (2020). *Packaging Design for Recycling—Eine Empfehlung der ECR Austria Arbeitsgruppe „Circular Packaging Design“* (ECR Austria, Hrsg.).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2014) 2
Abbildung 2: Stufenmodell der Recyclingfähigkeit (Eigene Darstellung) 14
Abbildung 3: Lebenszyklusphasen eines Mobiltelefons (Eigene Darstellung nach Welfens et al., 2013) 22
Abbildung 4: Ökologischer Rucksack eines Mobiltelefons (Eigene Darstellung nach Welfens et al., 2013) 22
Abbildung 5: Bauteile und Materialzusammensetzung eines Mobiltelefons (Nordmann et al., 2015) 23
Abbildung 6: Periodensystem mit Markierung aller chemischen Elemente, die typischerweise in einem Mobiltelefon enthalten sind (Darstellung nach Hagelüken (2011), zitiert in Welfens et al., 2013) 24
Abbildung 7: Lebenszyklus eines Mobiltelefons mit mehrfacher Nutzung (Eigene Darstellung nach Nordmann et al., 2015) 26
Abbildung 8: Stoffströme im integrierten Hüttenprozess zur Metallrückgewinnung aus Mobiltelefonen (nach Hagelüken, 2011, in: Nordmann et al., 2015) 29
Abbildung 9: Darstellung der verschiedenen Handlungsweisen von Verbraucherinnen und Verbrauchern im Umgang mit alten Mobiltelefonen (Eigene Darstellung nach Nordmann et al., 2015) 31
Abbildung 10: Darstellung und Vergleich der statistischen Entropie (SE) am Beispiel der Mülltrennung (eigene Darstellung) 37
Abbildung 11: Einfluss der Komplexität auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021) 38
Abbildung 12: Einfluss der Konzentration auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021) 38
Abbildung 13: Einfluss der Demontierbarkeit auf die statistische Entropie (SE) (Roithner, 2021) 39
Abbildung 14: Unterteilung der Mobiltelefone und Smartphones in Komponenten und Sub-Komponenten 46
Abbildung 15: Unterteilung der Smartphones (S16-S22) in Komponenten, Sub-Komponenten und Sub-Sub-Komponenten 49
Abbildung 16: Bildliche Übersicht der Batterie-Cluster 51
Abbildung 17: Methoden zur Öffnung der Akkus 52
Abbildung 18: Akkubestandteile 52
Abbildung 19: Analyse der Batteriezelle nach dem Aufwickeln, links: ausgewickelte Batteriezelle, rechts: reine Proben der Batteriebestandteile 53
Abbildung 20: Aufbau der Akkus SP6 und SP7 54
Abbildung 21: Bildliche Übersicht der Mobiltelefonbildschirme 55

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 22: Mechanische Zerlegung und Weiterverarbeitung der Bildschirme, (a) Bestandteile eines Bildschirmes, (b) Mahlen des Bildschirms in der Kugelmühle, (c) Ergebnis nach Mahlen in der Kugelmühle, (d) Händische Zerkleinerung der Folienbestandteile, (e) Ergebnis nach mahlen in der Ultrazentrifugalmühle 56
Abbildung 23: Bildliche Übersicht der Smartphonebildschirme.....57
Abbildung 24: links: Zerlegung eines Smartphonebildschirms in Gehäuseteil und Bildschirmteil, rechts: Gehäuseteil bestehend aus mehreren Materialien 57
Abbildung 25: Mechanische Zerlegung und Weiterverarbeitung der Smartphone-Bildschirme, Ergebnisse nach: Links: Schneidmühle, Mitte: Ultrazentrifugalmühle 1 mm, Rechts: Ultrazentrifugalmühle 0,2 mm.....58
Abbildung 26: Versuch zur Bestimmung der Massen der Kunststoff- und Metallfraktion 59
Abbildung 27: Zerlegung der Smartphones in ihre (Sub-)Sub-Komponenten, oben links: S19, oben rechts: S20, unten links: S21, unten rechts S22.....61
Abbildung 28: Komponenten eines Smartphones (iPhone 14 Pro): (a) Bildschirm, (b) Gehäuse, (c) Batterie, (d) SIM-Kartenträger, (e) Ladeeinheit, (f) Tasten.....62
Abbildung 29: Komponente Vibrationsmotor (iPhone 14 Pro), links: Komponentenebene, rechts: Sub-Sub-Komponentenebene 62
Abbildung 30: Komponente Lautsprecher (iPhone 14 Pro), links: Komponentenebene, rechts: Sub-Sub-Komponentenebene 63
Abbildung 31: Komponente Kamera (iPhone 14 Pro), oben links: Komponentenebene, oben Mitte: Metallrahmen, oben rechts: Blitz, unten: Sub-Sub-Komponentenebene.63
Abbildung 32: Komponente Leiterplatte (iPhone 14 Pro).....63
Abbildung 33: FT-IR-Spektrometer.....64
Abbildung 34: Röntgenfluoreszenz-Spektrometer 65
Abbildung 35: Repolymerisation des Kunststoffanteiles während des Probenaufschlusses 66
Abbildung 36: Massenanteile der Komponenten am Gesamtgewicht des Mobiltelefons M11 (in %) 72
Abbildung 37: Materialkonzentrationen in den Komponenten des Mobiltelefons M11 (g Material/ g Komponente) 72
Abbildung 38: Massenanteile der Komponenten am Gesamtgewicht des Mobiltelefons S10 (in %).....75
Abbildung 39: Materialkonzentrationen in den Komponenten des Mobiltelefons S10 (g Material/ g Komponente) 75
Abbildung 40: Massenverteilung der Komponenten beim Mobiltelefon M11 und Smartphone S10 (in %) (Eigene Darstellung).....77
Abbildung 41: Gestapeltes Balkendiagramm der Massenanteile der Sub-Komponenten an den Hauptkomponenten des Smartphones S19 (in g).....81
Abbildung 42: RPR-Werte der untersuchten Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene 83

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 43: Grafischer Vergleich der RPR-Werte der Smartphones S16–S22 in Abhängigkeit der Zerlegungstiefe auf Komponenten-, Sub-Komponenten- und Sub-Sub-Komponentenebene 87
Abbildung 44: RPR-Werte Mobiltelefone M1-M15 (mit und ohne "Others") 90
Abbildung 45: RPR-Werte Smartphones S1-S15 (mit und ohne "Others") 90
Abbildung 46: RPR-Werte Smartphones S16-S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene (mit und ohne "Others") 91
Abbildung 47: Zeitreihe RPR-Werte Mobiltelefone M1-M15 (mit und ohne "Others") 92
Abbildung 48: Zeitreihe RPR-Werte Smartphones S1-S15 (mit und ohne "Others") .93
Abbildung 49: Zeitreihe RPR-Werte Smartphones S16-S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene (mit und ohne "Others") 94
Abbildung 50: kumulierte RPR-Werte des Smartphones S19 auf verschiedenen Zerlegungsebenen nach Zerlegungsschritten der Komponenten 96

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

8 Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Informationsgehaltes nach Shannon: 36
Formel 2: Berechnung der Statistischen Entropie nach Shannon 36
Formel 3: Berechnung der Materialkonzentrationen in den betrachteten Produktelementen 40
Formel 4: Berechnung der statistischen Entropie eines Produktelementes.....41
Formel 5: Berechnung des Masseanteil eines Produktelements 41
Formel 6: Berechnung der Entropie des gesamten untrennbaren Produkts als Einheit 42
Formel 7: Berechnung der relativen Entropie 42
Formel 8: Berechnung der maximalen Entropie 42
*Formel 9: Berechnung der relativen produktspezifischen Rezyklierbarkeit (**RPR**)*.....43
Formel 10: Berechnung des Grenzwertes 43
Formel 11: Berechnung des massegewichteten RPR-Wertes.....44
Formel 12: Berechnung des gesamtgewichteten RPR-Wertes.....44

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der untersuchten Mobiltelefone ..33
Tabelle 2: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der untersuchten Smartphones ..34
Tabelle 3: Klassifizierung und Erscheinungsdaten der zusätzlichen Smartphones ...34
Tabelle 4: Massenverteilung der Komponenten der Mobiltelefone (M1-M15) und Smartphones (S1-S15) in g 47
Tabelle 5: Massenverteilung der Komponenten, Sub-Komponenten und Sub-Sub-Komponenten der Smartphones (S16-S22).....50
Tabelle 6: Cluster-Einteilung der untersuchten Batterien von Mobiltelefonen und Smartphones 51
Tabelle 7: Cluster-Einteilung der untersuchten Bildschirme der Mobiltelefone 55
Tabelle 8: Standardreihen und Kalibrierkonzentrationen für die ICP-OES-Messung.67
Tabelle 9: Materialzusammensetzung des Mobiltelefons M11 auf Komponentenebene (in g) 71
Tabelle 10: Materialzusammensetzung des Smartphones S10 auf Komponentenebene (in g) 74
Tabelle 11: Materialzusammensetzung des Smartphones S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene (in g) 79
Tabelle 12: RPR-Werte der untersuchten Mobiltelefone und Smartphones auf Komponentenebene 83
Tabelle 13: Vergleich der RPR-Werte der Smartphones S16–S22 in Abhängigkeit der Zerlegungstiefe auf Sub-Sub-Komponentenebene, Sub-Komponentenebene und Komponentenebene 86
Tabelle 14: Materialzusammensetzung M1 118
Tabelle 15: Materialzusammensetzung M2 119
Tabelle 16: Materialzusammensetzung M3 120
Tabelle 17: Materialzusammensetzung M4 121
Tabelle 18: Materialzusammensetzung M5 122
Tabelle 19: Materialzusammensetzung M6 123
Tabelle 20: Materialzusammensetzung M7 124
Tabelle 21: Materialzusammensetzung M8 125
Tabelle 22: Materialzusammensetzung M9 126
Tabelle 23: Materialzusammensetzung M10 127
Tabelle 24: Materialzusammensetzung M11 128
Tabelle 25: Materialzusammensetzung M12 129
Tabelle 26: *Materialzusammensetzung M13* 130
Tabelle 27: Materialzusammensetzung M14 131
Tabelle 28: Materialzusammensetzung M15 132
Tabelle 29: Materialzusammensetzung S1 133
Tabelle 30: Materialzusammensetzung S2.....134

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 31: Materialzusammensetzung S3 135
Tabelle 32: Materialzusammensetzung S4 136
Tabelle 33: Materialzusammensetzung S5 137
Tabelle 34: Materialzusammensetzung S6 138
Tabelle 35: Materialzusammensetzung S7 139
Tabelle 36: Materialzusammensetzung S8 140
Tabelle 37: Materialzusammensetzung S9 141
Tabelle 38: Materialzusammensetzung S10 142
Tabelle 39: Materialzusammensetzung S11 143
Tabelle 40: Materialzusammensetzung S12 144
Tabelle 41: Materialzusammensetzung S13 145
Tabelle 42: Materialzusammensetzung S14 146
Tabelle 43: Materialzusammensetzung S15 147
Tabelle 44: Materialzusammensetzung S16 auf Komponentenebene 148
Tabelle 45: Materialzusammensetzung S16 auf Sub-Komponentenebene 149
Tabelle 46: Materialzusammensetzung S16 auf Sub-Sub-Komponentenebene 150
Tabelle 47: Materialzusammensetzung S17 auf Komponentenebene 151
Tabelle 48: Materialzusammensetzung S17 auf Sub-Komponentenebene 152
Tabelle 49: Materialzusammensetzung S17 auf Sub-Sub-Komponentenebene 153
Tabelle 50: Materialzusammensetzung S18 auf Komponentenebene 154
Tabelle 51: Materialzusammensetzung S18 auf Sub-Komponentenebene 155
Tabelle 52: Materialzusammensetzung S18 auf Sub-Sub-Komponentenebene 156
Tabelle 53: Materialzusammensetzung S19 auf Komponentenebene 157
Tabelle 54: Materialzusammensetzung S19 auf Sub-Komponentenebene 158
Tabelle 55: Materialzusammensetzung S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene 159
Tabelle 56: Materialzusammensetzung S20 auf Komponentenebene 160
Tabelle 57: Materialzusammensetzung S20 auf Sub-Komponentenebene 161
Tabelle 58: Materialzusammensetzung S20 auf Sub-Sub-Komponentenebene 162
Tabelle 59: Materialzusammensetzung S21 auf Komponentenebene 163
Tabelle 60: Materialzusammensetzung S21 auf Sub-Komponentenebene 164
Tabelle 61: Materialzusammensetzung S21 auf Sub-Sub-Komponentenebene 165
Tabelle 62: Materialzusammensetzung S22 auf Komponentenebene 166
Tabelle 63: Materialzusammensetzung S22 auf Sub-Komponentenebene 167
Tabelle 64: Materialzusammensetzung S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene 168
Tabelle 65: RPR Berechnung M1 169
Tabelle 66: RPR Berechnung M2 170
Tabelle 67: RPR Berechnung M3 171
Tabelle 68: RPR Berechnung M4 172
Tabelle 69: RPR Berechnung M5 173
Tabelle 70: RPR Berechnung M6 174
Tabelle 71: RPR Berechnung M7 175

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 72: RPR Berechnung M8 176
Tabelle 73: RPR Berechnung M9 177
Tabelle 74: RPR Berechnung M10 178
Tabelle 75: RPR Berechnung M11 179
Tabelle 76: RPR Berechnung M12 180
Tabelle 77: RPR Berechnung M13 181
Tabelle 78: RPR Berechnung M14 182
Tabelle 79: RPR Berechnung M15 183
Tabelle 80: RPR Berechnung S1 184
Tabelle 81: RPR Berechnung S2 185
Tabelle 82: RPR Berechnung S3 186
Tabelle 83: RPR Berechnung S4 187
Tabelle 84: RPR Berechnung S5 188
Tabelle 85: RPR Berechnung S6 189
Tabelle 86: RPR Berechnung S7 190
Tabelle 87: RPR Berechnung S8 191
Tabelle 88: RPR Berechnung S9 192
Tabelle 89: RPR Berechnung S10 193
Tabelle 90: RPR Berechnung S11 194
Tabelle 91: RPR Berechnung S12 195
Tabelle 92: RPR Berechnung S13 196
Tabelle 93: RPR Berechnung S14 197
Tabelle 94: RPR Berechnung S15 198
Tabelle 95: RPR Berechnung S16 auf Komponentenebene 199
Tabelle 96: RPR Berechnung S16 auf Sub-Komponentenebene 200
Tabelle 97: RPR Berechnung S16 auf Sub-Sub-Komponentenebene 201
Tabelle 98: RPR Berechnung S17 auf Komponentenebene 202
Tabelle 99: RPR Berechnung S17 auf Sub-Komponentenebene 203
Tabelle 100: RPR Berechnung S17 auf Sub-Sub-Komponentenebene 204
Tabelle 101: RPR Berechnung S18 auf Komponentenebene 205
Tabelle 102: RPR Berechnung S18 auf Sub-Komponentenebene 206
Tabelle 103: RPR Berechnung S18 auf Sub-Sub-Komponentenebene 207
Tabelle 104: RPR Berechnung S19 auf Komponentenebene 208
Tabelle 105: RPR Berechnung S19 auf Sub-Komponentenebene 209
Tabelle 106: RPR Berechnung S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene 210
Tabelle 107: RPR Berechnung S20 auf Komponentenebene 211
Tabelle 108: RPR Berechnung S20 auf Sub-Komponentenebene 212
Tabelle 109: RPR Berechnung S20 auf Sub-Sub-Komponentenebene 213
Tabelle 110: RPR Berechnung S21 auf Komponentenebene 214
Tabelle 111: RPR Berechnung S21 auf Sub-Komponentenebene 215
Tabelle 112: RPR Berechnung S21 auf Sub-Sub-Komponentenebene 216

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 113: RPR Berechnung S22 auf Komponentenebene 217
Tabelle 114: RPR Berechnung S22 auf Sub-Komponentenebene 218
Tabelle 115: RPR Berechnung S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene 219
Tabelle 116: Übersicht der Einwaagen der analysierten Proben 220

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

10 Abkürzungsverzeichnis

BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
CRMA	Critical Raw Materials Act
EU	Europäischen Union
ECR Austria	Efficient Consumer Response Austria
EAG	Elektro- und Elektronikaltgeräte
EAG-VO	Elektroaltgeräteverordnung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
SO_2	Schwefeldioxid
CO_2	Kohlendioxid
t	Tonnen
kg	Kilogramm
H	Entropie
H_{rel}	relative statistische Entropie
H_{max}	maximale Entropie
H_j	statistische Entropie eines Produktelementes
H_p	Gesamtentropie
SE	Statistische Entropie
RPR	Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit
RPR_j	massengewichtete Relative Produktinhärente Recyclingfähigkeit
ld	Logarithmus dualis (log_2)
p	Wahrscheinlichkeit
c	Konzentration
$c_{i,j}$	Materialkonzentrationen in betrachteten Produktelementen
M_p	Gesamtmasse des Produktes
M_j	Gesamtmasse eines Produktelementes
m_j	Masseanteil eines Produktelements

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

$M_{i,j}$	Masse in betrachteten Produktelementen
N	Anzahl
N_e	Anzahl Produktelemente
N_m	Anzahl Materialien
lim	Grenzwert
M	Mobiltelefon
S	Smartphone
SIM	Subscriber Identity Module

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

11 Anhang

Anhang A Laborergebnisse Materialzusammensetzung

Anhang A1 Materialverteilung Mobiltelefone M1–M15

Tabelle 14: Materialzusammensetzung M1

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	24	17	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC			0,3720							0,372
PC+ GF20%		11,5411								11,5411
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		6,8007		0,1964		8,22				15,2171
PE				0,2885						0,2885
PMMA										0
PVC		2,4846								2,4846
Ag	0,0231		0,0003					0,0010		0,024450274
Al			0,0942	5,0962						5,1903442
As										0
Au	0,0068		0,0005	0,0019				0,0010		0,010106078
B										0
Ba			0,0712							0,071155966
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1656	0,0123						0,177938427
Cd										0
Co			0,0503	1,1456						1,195982179
Cr			0,3294							0,329366129
Cu	3,2868		0,0088	3,0686				0,0622		6,426253526
Fe	1,4321		1,3806						0,2073	3,019962213
Ga								0,0005		0,000529966
In			0,0006	0,0203						0,020928603
K			0,0005	0,0011						0,001523947
Li				0,1850						0,185005005
Mg			0,0189							0,018900418
Mn			0,0001	0,5123						0,512432864
Mo			0,0004							0,000407304
Na				0,0043						0,004328339
Nb			0,0001	0,0013						0,001365907
Ni	0,1296		0,1420	0,2833						0,554822267
Pb										0
P			0,0054							0,005425913
Pt										0
Sb										0
Si			0,3410							0,341017188
Sn	0,3181		0,0040					0,0074		0,329541743
Sr			0,0073							0,007331543
Ta										0
Ti	0,0440		0,0019					0,0009		0,046741611
V				0,0001						5,72629E-05
W			0,0042							0,004207605
Zn	0,0405									0,0404915
Zr				0,0001						5,44292E-05
Nd										0
Silikon							4,3119			4,3119
Glass										0
Others	7,3511		2,5603	9,9107				2,6042		22,42627474
Gesamt **(Mj)**	12,6320	20,8264	5,5596	20,7279	0,0000	8,2200	4,3119	2,677	0,2073	75,16214715

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 15: Materialzusammensetzung M2

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	24	17,0000	0	1	2	7	1	50
ABS		6,4051								6,4051
PC			0,3540				8,903			9,257
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,2054		9,064				9,2694
PE				0,3017						0,3017
PMMA		3,7333								3,7333
PVC										0
Ag	0,0280		0,0003					0,0011		0,029354396
Al			0,0897	5,3298						5,419426995
As										0
Au	0,0082		0,0005	0,0020				0,0011		0,011677136
B										0
Ba			0,0678							0,067771985
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,2589	0,0129						0,271770683
Cd										0
Co			0,0479	1,1982						1,246104822
Cr			0,3138							0,313766694
Cu	3,9720		0,0084	3,2093				0,0684		7,258006458
Fe	4,2490		1,3151						0,5142	6,078300508
Ga								0,0006		0,000583022
In			0,0006	0,0212						0,021827308
K			0,0004	0,0011						0,001551673
Li				0,1935						0,193485617
Mg			0,0180							0,018001566
Mn			0,0001	0,5358						0,535914103
Mo			0,0004							0,000387933
Na				0,0045						0,004526749
Nb			0,0001	0,0014						0,001423504
Ni	0,1566		0,1352	0,2962						0,588049661
Pb										0
P			0,0107							0,010735971
Pt										0
Sb										0
Si			0,6748							0,674752871
Sn	0,3845		0,0114					0,0081		0,403983876
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0531		0,0018					0,0009		0,055900861
V				0,0001						5,98878E-05
W			0,0040							0,004007503
Zn	0,0489									0,0489335
Zr			0,0003	0,0001						0,000392993
Nd										0
Silikon							4,0523			4,0523
Glass										0
Others	8,8837		1,9818	10,3651				2,8649		24,09550165
Gesamt (Mj)	17,7840	10,1384	5,2960	21,6781	0,0000	9,0640	12,9553	2,945	0,5142	80,37499992

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 16: Materialzusammensetzung M3

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	27	17	1	1	3	7	1	50
ABS										0
PC			2,0250				6,1325			8,1575
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		16,2093		2,2354		14,753				33,1977
PE				0,3285						0,3285
PMMA		2,7781								2,7781
PVC										0
Ag	0,0326		0,0024					0,0015		0,036449553
Al			0,3192	1,8487543						2,167993426
As			0,0222							0,02220083
Au	0,0095		0,0026	0,00186899				0,0015		0,015412797
B										0
Ba			0,0957							0,095672397
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1952	0,01218449						0,207339259
Cd										0
Co			0,0149	1,13499074						1,149897083
Cr			0,1844							0,184428592
Cu	4,6317		0,0313	2,23614676				0,0937		6,992870114
Fe	4,8541		0,7875		0,3709		0,5815		0,501	7,094949179
Ga								0,0008		0,000799066
In			0,0019	0,0201						0,022035321
K			0,0009	0,0011						0,002007234
Li				0,1833						0,183284018
Mg			0,0005							0,000469306
Mn			0,0003	0,5076						0,507923953
Mo			0,0001							0,0001471
Na				0,0043						0,004288075
Nb				0,0013						0,001300991
Ni	0,1826		0,0796	0,2806						0,542795307
Pb										0
P			0,0118							0,0117789
Pt										0
Sb			0,0337							0,03371334
Si			0,6800							0,679980732
Sn	0,4483		0,0056					0,0111		0,465110571
Sr			0,1558							0,155840795
Ta										0
Ti	0,0620		0,0005					0,0013		0,063744124
V				0,0001						5,67303E-05
W			0,0073							0,007327146
Zn	0,0571		0,0133							0,070323205
Zr			0,0047	0,0001						0,004720117
Nd										0
Silikon							1,1003			1,1003
Glass										0
Others	10,3592		4,2015	7,3517				3,9265		25,83880586
Gesamt **(Mj)**	20,6370	18,9874	8,8780	16,1479	0,3709	14,7530	7,8143	4,0363	0,5010	92,12576512

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 17: Materialzusammensetzung M4

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	23	0	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC										0
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		7,1655				4,085				11,2505
PE										0
PMMA		2,1121								2,1121
PVC										0
Ag	0,0279		0,0009					0,0011		0,029897108
Al			0,0288							0,028756194
As										0
Au	0,0082		0,0003					0,0011		0,00954516
B										0
Ba			0,0210							0,02097995
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1848							0,184805631
Cd										0
Co			0,0074							0,007405349
Cr			0,0025							0,002503994
Cu	3,9609		0,0224					0,0701		4,05344275
Fe	2,4487	3,1697	0,0217						0,7785	6,41869156
Ga								0,0006		0,000598067
In			0,0014							0,001361211
K			0,0173							0,017338597
Li										0
Mg			0,0675							0,067517128
Mn			0,0003							0,000323902
Mo			0,0001							0,000124734
Na			0,2692							0,269168935
Nb										0
Ni	0,1562		0,0008							0,156910435
Pb										0
P			0,0145							0,014546706
Pt										0
Sb										0
Si			0,8651							0,86509004
Sn	0,3834		0,0068					0,0083		0,398569738
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0530		0,0016					0,0010		0,055562094
V										0
W			0,0158							0,015757641
Zn	0,0488									0,048797
Zr			0,0002							0,000165845
Nd										0
Silikon							3,1899			3,1899
Glass										0
Others	8,8590		4,0976					2,9388		15,89530091
Gesamt **(Mj)**	15,9460	12,4473	5,6480	0,0000	0,0000	4,0850	3,1899	3,021	0,7785	45,11566068

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 18: Materialzusammensetzung M5

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	4	28	17	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC		14,5282	0,3070				3,9333			18,7685
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		7,5709		0,1945		16,07				23,8354
PE				0,2857						0,2857
PMMA		1,8981								1,8981
PVC										0
Ag	0,0377		0,0023					0,0011		0,041164376
Al			0,2335	5,04672454						5,280223585
As			0,0292							0,029235055
Au	0,0110		0,0041	0,00186825				0,0011		0,018072499
B										0
Ba			0,0998							0,09976678
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1825	0,0121797						0,19466445
Cd										0
Co			0,0091	1,13454486						1,143655553
Cr			0,2944							0,294375389
Cu	5,3547		0,2989	3,03884167				0,0725		8,764923321
Fe	3,8803	3,0954	1,2044						0,838	9,018071494
Ga								0,0006		0,00061826
In			0,0014	0,0201						0,021515463
K			0,0014	0,0011						0,002414741
Li				0,1832						0,183212016
Mg			0,0010							0,001017082
Mn			0,0210	0,5074						0,528356164
Mo			0,0002							0,000199373
Na			0,0014	0,0043						0,005637683
Nb				0,0013						0,00130048
Ni	0,2111		0,1388	0,2805						0,630405823
Pb										0
P			0,0141							0,014052681
Pt										0
Sb			0,0487							0,048747064
Si			0,7781							0,778090527
Sn	0,5183		0,0168					0,0086		0,543746162
Sr			0,1862							0,186212524
Ta										0
Ti	0,0716		0,0074					0,0010		0,080027424
V				0,0001						5,67079E-05
W			0,0096							0,00963479
Zn	0,0660		0,0232							0,089189744
Zr			0,0036	0,0001						0,003700602
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	1,9983		4,6819	9,8147				3,0380		19,53293667
Gesamt (Mj)	12,1490	27,0926	8,6000	20,5270	0,0000	16,0700	3,9333	3,123	0,8380	92,33292448

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 19: Materialzusammensetzung M6

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	24	15	1	1	4	7	4	50
ABS										0
PC			0,4320							0,432
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		12,1029		0,1486		10,773	0,9508		0,9508	24,9261
PE				0,2182						0,2182
PMMA		1,3864								1,3864
PVC										0
Ag	0,0229		0,0004					0,0010		0,024301781
Al			0,1095	3,85453608						3,963987958
As										0
Au	0,0067		0,0006	0,00142691				0,0010		0,009698805
B										0
Ba			0,0827							0,082693083
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0780	0,00930248						0,087254697
Cd										0
Co			0,0585	0,86653049						0,925025785
Cr			0,3828							0,38280661
Cu	3,4100		0,0102	2,32088445				0,0652		5,806296247
Fe	3,0500	10,0425	1,6046		0,769		0,7078		0,7078	16,88177877
Ga								0,0006		0,0005559
In			0,0008	0,0153						0,016093252
K			0,0005	0,0008						0,001335701
Li				0,1399						0,139931706
Mg			0,0220							0,021964902
Mn			0,0001	0,3875						0,387624902
Mo			0,0005							0,000473343
Na				0,0033						0,003273813
Nb			0,0001	0,0010						0,001054467
Ni	0,1282		0,1650	0,2142						0,507438848
Pb										0
P			0,0063							0,006306417
Pt										0
Sb										0
Si			0,3964							0,396356632
Sn	0,3147		0,0091					0,0077		0,331531293
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0435		0,0022					0,0009		0,046616998
V										0
W			0,0049							0,004889819
Zn	0,0401									0,0400505
Zr			0,0004							0,00041006
Nd										0
Silikon							0,3052		0,3052	0,6104
Glass							1,5832		1,5832	3,1664
Others	7,2711		3,0946	7,4961				2,7316		20,59332144
Gesamt **(Mj)**	14,2871	23,5318	6,4620	15,6777	0,7690	10,7730	3,5470	2,808	3,5470	81,40257373

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 20: Materialzusammensetzung M7

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	4	26	0	0	1	4	7	1	50
ABS										0
PC		15,5635								15,5635
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		0,9654				13,647	1,0113			15,6237
PE		1,5460								1,546
PMMA		3,3436								3,3436
PVC										0
Ag	0,0313		0,0016					0,0022		0,035047671
Al			0,3474							0,347408241
As			0,0297							0,029722867
Au	0,0092		0,0046					0,0022		0,01595332
B										0
Ba			0,1150							0,115038119
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,2800							0,28002973
Cd										0
Co			0,0432							0,043236982
Cr			1,1415							1,141504074
Cu	4,4510		0,0306					0,1389		4,62045967
Fe	10,0698		5,1162				4,7141		0,474	20,37408306
Ga								0,0012		0,001184059
In			0,0024							0,002371073
K			0,0024							0,002435299
Li										0
Mg			0,0014							0,001416638
Mn			0,1226							0,122568679
Mo			0,0002							0,000176099
Na										0
Nb										0
Ni	0,1755		0,3719							0,547344006
Pb										0
P			0,0158							0,015817339
Pt										0
Sb			0,0703							0,070300196
Si			0,6438							0,643815383
Sn	0,4308		0,0068					0,0165		0,454171634
Sr			0,1629							0,16291514
Ta										0
Ti	0,0595		0,0247					0,0019		0,086165628
V										0
W			0,1117							0,111674356
Zn	0,0548		0,0240							0,078869198
Zr			0,0018							0,00183165
Nd										0
Silikon							0,2754			0,2754
Glass							0,7136			0,7136
Others	9,9550		5,9373					5,8182		21,71055989
Gesamt **(Mj)**	25,2370	21,4185	14,6100	0,0000	0,0000	13,6470	6,7144	5,981	0,4740	88,0819

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 21: Materialzusammensetzung M8

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	25	15	1	1	1	7	1	50
ABS										0
PC			0,5240			9,55				10,074
PC+ GF20%		6,3204								6,3204
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		15,2475		0,1621						15,4096
PE				0,2381						0,2381
PMMA		2,1775								2,1775
PVC										0
Ag	0,0231		0,0005					0,0011		0,024644379
Al			0,1328	4,20621174						4,339000855
As										0
Au	0,0068		0,0007	0,00155707				0,0011		0,01005891
B										0
Ba			0,1004							0,100352702
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0946	0,01015103						0,104750424
Cd										0
Co			0,0710	0,94557323						1,016560557
Cr			0,4623							0,4623
Cu	3,2805		0,0124	2,53268609				0,0683		5,893885454
Fe	4,6313		1,9470		0,3875				0,2733	7,239176041
Ga								0,0006		0,000582507
In			0,0009	0,0167						0,017653579
K			0,0006	0,0009						0,001521674
Li				0,1527						0,152695925
Mg			0,0267							0,026655642
Mn			0,0001	0,4229						0,422996215
Mo			0,0006							0,000574429
Na				0,0036						0,003572442
Nb			0,0001	0,0011						0,00115817
Ni	0,1293		0,2002	0,2338						0,563338773
Pb										0
P			0,0077							0,007652276
Pt										0
Sb										0
Si			0,4809							0,480943458
Sn	0,3175		0,0110					0,0081		0,336705506
Sr			0,0103							0,010339824
Ta										0
Ti	0,0439		0,0027					0,0009		0,047533298
V										0
W			0,0059							0,00593407
Zn	0,0404									0,0404145
Zr			0,0005							0,000497631
Nd										0
Silikon							3,7275			3,7275
Glass										0
Others	7,3371		6,5229	8,1799				2,8629		24,90281933
Gesamt (Mj)	15,8100	23,7454	10,6168	17,1079	0,3875	9,5500	3,7275	2,9430	0,2733	84,16141857

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 22: Materialzusammensetzung M9

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	23	0	0	1	3	7	1	50
ABS										0
PC							1,5221			1,5221
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		9,7177				11,735				21,4527
PE										0
PMMA		2,5789								2,5789
PVC										0
Ag	0,0255		0,0009					0,0004		0,02673416
Al			0,0270							0,027014937
As										0
Au	0,0075		0,0003					0,0004		0,008114864
B										0
Ba			0,0197							0,019709563
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1736							0,173615205
Cd										0
Co			0,0070							0,006956937
Cr			0,0024							0,002352371
Cu	3,6206		0,0210					0,0244		3,665951313
Fe	7,1245	3,1849	0,0204				0,6726		0,771	11,77345884
Ga								0,0002		0,000207671
In			0,0013							0,001278786
K			0,0163							0,016288703
Li										0
Mg			0,0634							0,063428803
Mn			0,0003							0,000304289
Mo			0,0001							0,000117181
Na			0,2529							0,252870108
Nb										0
Ni	0,1427		0,0007							0,143446813
Pb										0
P			0,0137							0,013665868
Pt										0
Sb										0
Si			0,8127							0,812706755
Sn	0,3505		0,0064					0,0029		0,359771825
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0484		0,0015					0,0003		0,050283838
V										0
W			0,0148							0,014803478
Zn	0,0446									0,044604
Zr			0,0002							0,000155802
Nd										0
Silikon							3,4618			3,4618
Glass										0
Others	8,0977		3,8494					1,0207		12,96782862
Gesamt **(Mj)**	19,4620	15,4815	5,3060	0,0000	0,0000	11,7350	5,6565	1,049207671	0,7710	59,46117073

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 23: Materialzusammensetzung M10

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	24	17	0	1	2	7	1	50
ABS										0
PC			0,2790				4,4331			4,7121
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		11,4117		2,4726		11,456				25,3403
PE				0,3635						0,3635
PMMA		2,6124								2,6124
PVC										0
Ag	0,0320		0,0003					0,0022		0,0344489
Al			0,0707	2,0454						2,116136701
As										0
Au	0,0094		0,0004	0,0021				0,0022		0,013997185
B										0
Ba			0,0535							0,053452338
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0504	0,0135						0,063865229
Cd										0
Co			0,0378	1,2554						1,293233483
Cr			0,2474							0,247356794
Cu	4,5425		0,0066	2,4743				0,1423		7,165712442
Fe	2,1210		1,0370						0,473	3,631097684
Ga								0,0012		0,001213556
In			0,0005	0,0222						0,022710128
K			0,0003	0,0012						0,001514516
Li				0,2027						0,202731939
Mg			0,0142							0,014197987
Mn			0,0001	0,5614						0,561501647
Mo			0,0003							0,000305966
Na				0,0047						0,004743074
Nb				0,0014						0,001439037
Ni	0,1791		0,1066	0,3104						0,596107255
Pb										0
P			0,0041							0,004076193
Pt										0
Sb										0
Si			0,2562							0,256187646
Sn	0,4397		0,0059					0,0169		0,462489808
Sr			0,0055							0,005507789
Ta										0
Ti	0,0608		0,0014					0,0020		0,064157223
V				0,0001						6,27498E-05
W			0,0032							0,003160751
Zn	0,0560									0,0559615
Zr			0,0003	0,0001						0,000324706
Nd										0
Silikon							4,4465			4,4465
Glass										0
Others	10,1597		1,9954	8,1360				5,9644		26,25537975
Gesamt **(Mj)**	17,6000	14,0241	4,1770	17,8670	0,0000	11,4560	8,8796	6,1312	0,4730	80,60787398

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 24: Materialzusammensetzung M11

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	4	25	17	1	1	2	7	1	50
ABS										0
PC			0,4320							0,4320
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		4,5682		2,623		13,026	2,7798			22,9970
PE		14,7506		0,3856						15,1362
PMMA		1,8063								1,8063
PVC										0
Ag	0,0376		0,0004					0,0008		0,0388
Al			0,1096	2,1699						2,2795
As										0
Au	0,0110		0,0006	0,0022				0,0008		0,0146
B										0
Ba			0,0828							0,0828
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0780	0,0143						0,0923
Cd										0
Co			0,0586	1,3318						1,3904
Cr			0,3832							0,3832
Cu	5,3380		0,0102	2,6249				0,0532		8,0262
Fe	5,0534	2,9057	1,6064		0,931				0,851	11,3475
Ga								0,0005		0,0005
In			0,0008	0,0236						0,0243
K			0,0005	0,0012						0,0018
Li				0,2151						0,2151
Mg			0,0220							0,0220
Mn			0,0001	0,5956						0,5957
Mo			0,0005							0,0005
Na				0,0050						0,0050
Nb			0,0001	0,0015						0,0016
Ni	0,2104		0,1652	0,3293						0,7049
Pb										0
P			0,0063							0,0063
Pt										0
Sb										0
Si			0,3968							0,3968
Sn	0,5167		0,0091					0,0063		0,5321
Sr			0,0085							0,0085
Ta										0
Ti	0,0714		0,0022					0,0007		0,0744
V				0,0001						0,0001
W			0,0049							0,0049
Zn	0,0658									0,0658
Zr			0,0004	0,0001						0,0005
Nd										0
Silikon							0,3538			0,3538
Glass										0
Others	1,9983		3,0907	8,6310				2,2281		15,9482
Gesamt **(Mj)**	13,3025	24,0308	6,4700	18,9541	0,9310	13,0260	3,1336	2,2905	0,8510	82,9895

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 25: Materialzusammensetzung M12

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	23	17	0	1	3	7	1	50
ABS		9,3474					1,3413			10,6887
PC							3,0954			3,0954
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				3,0484		11,291				14,3394
PE				0,4481						0,4481
PMMA		2,7356								2,7356
PVC										0
Ag	0,0276		0,0009					0,0008		0,029252377
Al			0,0268	2,5218						2,548592579
As										0
Au	0,0081		0,0003	0,0025				0,0008		0,011705506
B										0
Ba			0,0195							0,019542407
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1721	0,0166						0,188758865
Cd										0
Co			0,0069	1,5478						1,554694004
Cr			0,0023							0,002332421
Cu	3,9180		0,0208	3,0506				0,0521		7,041572328
Fe	5,5959		0,0203						0,501	6,117184918
Ga								0,0004		0,000444641
In			0,0013	0,0274						0,028665478
K			0,0162	0,0014						0,017600016
Li				0,2499						0,249945902
Mg			0,0629							0,062890866
Mn			0,0003	0,6922						0,69248514
Mo			0,0001							0,000116187
Na			0,2507	0,0058						0,256573207
Nb				0,0018						0,001774172
Ni	0,1545		0,0007	0,3827						0,537854252
Pb										0
P			0,0135							0,013549969
Pt										0
Sb										0
Si			0,8058							0,805814218
Sn	0,3793		0,0064					0,0062		0,391811479
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0524		0,0015					0,0007		0,05463054
V				0,0001						7,73635E-05
W			0,0147							0,01467793
Zn	0,0483									0,0482685
Zr			0,0002	0,0001						0,000228016
Nd										0
Silikon							4,3566			4,3566
Glass										0
Others	8,7630		3,8168	10,0307				2,1853		24,79586473
Gesamt **(Mj)**	18,9470	12,083	5,2610	22,0280	0,0000	11,2910	8,7933	2,2464	0,5010	81,15070801

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 26: ***Materialzusammensetzung M13***

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	25	0	1	1	2	7	1	50
ABS										0
PC			0,4080				1,7491			2,1571
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS						14,958	2,7957			17,7537
PE		28,1805								28,1805
PMMA		3,9997								3,9997
PVC										0
Ag	0,0395		0,0004					0,0014		0,041213029
Al			0,1034							0,103447429
As										0
Au	0,0115		0,0005					0,0014		0,013448308
B										0
Ba			0,0781							0,078137414
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0737							0,073657727
Cd										0
Co			0,0553							0,055272717
Cr			0,3616							0,361591018
Cu	5,6053		0,0096					0,0883		5,703275771
Fe	3,4824	2,6907	1,5159		3,279				0,3426	11,31054526
Ga								0,0008		0,000753276
In			0,0007							0,000713214
K			0,0005							0,000495346
Li										0
Mg			0,0208							0,020754827
Mn			0,0001							0,000101496
Mo			0,0004							0,000447266
Na										0
Nb			0,0001							0,0000578
Ni	0,2210		0,1559							0,376860885
Pb										0
P			0,0060							0,00595885
Pt										0
Sb										0
Si			0,3745							0,374512115
Sn	0,5426		0,0086					0,0105		0,561672105
Sr			0,0081							0,008051652
Ta										0
Ti	0,0750		0,0021					0,0012		0,078301561
V										0
W			0,0046							0,004620433
Zn	0,0691									0,069055
Zr			0,0004							0,00038747
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	12,5367		2,9168					3,7022		19,15572129
Gesamt (MJ)	22,5830	34,8709	6,1060	0,0000	3,2790	14,9580	4,5448	3,8058	0,3426	90,49005326

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 27: Materialzusammensetzung M14

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	3	23	17,0000	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC										0
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		8,2325		0,1906		3,806				12,2291
PE				0,2800						0,28
PMMA		1,5872								1,5872
PVC										0
Ag	0,0245		0,0009					0,0009		0,026343304
Al			0,0266	4,9454						4,971956236
As										0
Au	0,0072		0,0003	0,0018				0,0009		0,010234386
B										0
Ba			0,0194							0,019371536
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1706	0,0119						0,182572869
Cd										0
Co			0,0068	1,1118						1,118610151
Cr			0,0023							0,002312027
Cu	3,4862		0,0207	2,9779				0,0611		6,545799775
Fe	4,4154	0,429	0,0201						0,777	5,641519843
Ga								0,0005		0,000520661
In			0,0013	0,0197						0,02093634
K			0,0160	0,0010						0,017050482
Li				0,1795						0,179534625
Mg			0,0623							0,062340974
Mn			0,0003	0,4972						0,497490231
Mo			0,0001							0,000115171
Na			0,2485	0,0042						0,25273364
Nb				0,0013						0,001274377
Ni	0,1374		0,0007	0,2749						0,413018786
Pb										0
P			0,0134							0,013431493
Pt										0
Sb										0
Si			0,7988							0,798768513
Sn	0,3375		0,0063					0,0073		0,351014992
Sr										0
Ta										0
Ti	0,0466		0,0015					0,0008		0,04896357
V				0,0001						5,55697E-05
W			0,0145							0,014549592
Zn	0,0429									0,0429485
Zr			0,0002	0,0001						0,00020595
Nd										0
Silikon							3,328			3,328
Glass										0
Others	7,7972		3,7834	9,6177				2,5590		23,75721076
Gesamt **(Mj)**	16,2950	10,2487	5,2150	20,1150	0,0000	3,8060	3,3280	2,6305	0,7770	62,41518436

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 28: Materialzusammensetzung M15

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	5	25	17	1	1	1	7	1	50
ABS		1,9466								1,9466
PC			0,3870							0,387
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		16,8569		2,5623		15,109				34,5282
PE				0,3767						0,3767
PMMA		3,7413								3,7413
PVC										0
Ag	0,0184		0,0004					0,0014		0,020191783
Al			0,0980	2,1195						2,217529438
As										0
Au	0,0054		0,0005	0,0021				0,0014		0,009431591
B										0
Ba			0,0740							0,07404243
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,0698	0,0140						0,083763701
Cd										0
Co			0,0524	1,3010						1,35333307
Cr			0,3427							0,342702396
Cu	2,6197		0,0091	2,5641				0,0894		5,282380807
Fe	2,2811	3,1934	1,4363		0,9724				0,8131	8,696376644
Ga								0,0008		0,000762462
In			0,0007	0,0230						0,023704076
K			0,0005	0,0012						0,001687686
Li				0,2101						0,210085095
Mg			0,0197							0,019667119
Mn			0,0001	0,5818						0,581891786
Mo			0,0004							0,000423826
Na				0,0049						0,004915107
Nb			0,0001	0,0015						0,001546031
Ni	0,1033		0,1478	0,3217						0,572691697
Pb										0
P			0,0056							0,005646039
Pt										0
Sb										0
Si			0,3549							0,354852049
Sn	0,2536		0,0082					0,0106		0,272351406
Sr			0,0076							0,007628979
Ta										0
Ti	0,0350		0,0020					0,0012		0,038271215
V				0,0001						6,50257E-05
W			0,0044							0,004378288
Zn	0,0323									0,0322735
Zr			0,0004	0,0001						0,000428971
Nd										0
Silikon							8,2328			8,2328
Glass		0,8213								0,8213
Others	5,8592		2,7636	8,4310				3,7474		20,80114028
Gesamt **(Mj)**	11,2080	26,5595	5,7860	18,5151	0,9724	15,1090	8,2328	3,8522	0,8131	91,0480625

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anhang A2 Materialverteilung Smartphones S1–S15

Tabelle 29: Materialzusammensetzung S1

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	28	19,0000	1	1	0	7	1	50
ABS										0
PC		8,9913	1,4222			7,007				17,4205
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,6912						0,6912
PE				3,3779						3,3779
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0393		0,0108					0,0009		0,050978707
Al			4,4926	6,3876						10,88018239
As										0
Au	0,0079		0,0026	0,0006				0,0008		0,01183183
B										0
Ba			0,2675	0,0008						0,268332864
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,5018	0,0062						0,507927424
Cd										0
Co			0,0378	0,1296						0,16739655
Cr			0,1194							0,119395573
Cu	4,7444		0,7310	1,2822				0,0420		6,799602515
Fe	1,2662	0,1651	0,7435	0,0040	0,8053				0,4159	3,399940063
Ga								0,0007		0,0007197
In			0,0026							0,002580493
K			0,1057	0,0023						0,10800221
Li			0,0010	0,2798						0,280763324
Mg			7,0435							7,043464662
Mn			0,0560							0,05596803
Mo			0,0104	0,0001						0,01058074
Na			1,3917	0,0105						1,402196249
Nb				0,0001						0,000143925
Ni	0,3140		0,0971							0,41110481
Pb										0
P			0,7222							0,722201651
Pt										0
Sb										0
Si			3,4566							3,456615545
Sn	0,4386		0,0969					0,0130		0,548491077
Sr			0,3989							0,398861868
Ta										0
Ti	0,0717		0,0138	0,0006				0,0009		0,087067278
V			0,0008	0,0007						0,001518955
W			0,0956	0,0322						0,127778018
Zn	0,0799		0,2349							0,314811044
Zr			0,0096	0,0002						0,009853334
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	7,1351		14,4225	25,4925				2,5429		49,59288917
Gesamt **(Mj)**	14,0970	9,1564	36,4890	37,6990	0,8053	7,0070	0,0000	2,6012	0,4159	108,2708

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 30: Materialzusammensetzung S2

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	24	15	0	1	0	24	1	50
ABS										0
PC						14,4330				14,433
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%		9,9779								9,9779
PC/ABS				0,5911						0,5911
PE				1,1548						1,1548
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0282		0,0054					0,0076		0,041201984
Al			3,1108	7,1116				0,1369		10,35931281
As										0
Au	0,0057		0,0037	0,0005				0,0088		0,018606061
B										0
Ba			0,1276	0,0007				0,0354		0,163706497
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,6934					0,0217		0,715048718
Cd										0
Co			0,0331	0,1089				0,0605		0,202408229
Cr			4,0757					0,0149		4,090612659
Cu	3,4100		0,5307	2,5649				0,6606		7,166291226
Fe	3,6369		16,1343					0,2669	0,4640	20,50204888
Ga								0,0014		0,001358222
In			0,0155					0,0031		0,018582267
K			0,4230	0,0013				0,0024		0,426739999
Li				0,1863				0,0006		0,186966883
Mg			0,9168					0,0091		0,925922271
Mn			0,2699					0,0229		0,292778172
Mo			0,0030	0,0001				0,0742		0,077295487
Na			2,0140	0,0147				0,0075		2,036158113
Nb				0,0001						0,000126603
Ni	0,2257		1,6709					0,0589		1,955470633
Pb										0
P			0,2666							0,266564681
Pt										0
Sb										0
Si			4,6785							4,678517874
Sn	0,3152		0,1295					0,0772		0,521863418
Sr			0,2546							0,254629189
Ta										0
Ti	0,0516		0,0416					0,0051		0,098313842
V										0
W			0,0434	0,0081				0,7327		0,7841982
Zn	0,0574							0,0029		0,060269021
Zr			0,0437	0,0004				0,0008		0,044974962
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	1,9983		20,8922	23,1376				2,6971		48,72533314
Gesamt **(Mj)**	9,7290	9,9779	56,3780	34,8812	0,0000	14,4330	0,0000	4,9090	0,4640	130,7721001

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 31: Materialzusammensetzung S3

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	24	17	1	1	1	7	1	50
ABS										0
PC						32,175				32,175
PC+ GF20%		17,7052					0,413			18,1182
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,2421						0,2421
PE				1,8548						1,8548
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0314		0,0057					0,0015		0,038584143
Al			0,9783	2,64140867						3,619705442
As			0,0009							0,000851171
Au	0,0063			0,01418818				0,0018		0,022322142
B										0
Ba			0,0188							0,018813311
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,1950	0,07978605						0,2748166
Cd										0
Co			0,0071	6,59312538						6,600183262
Cr			0,0621							0,062135287
Cu	3,7917		0,3386	1,5491				0,0819		5,761345507
Fe	5,7576	29,8397	0,3604	0,0108	2,194				0,7438	38,9062643
Ga								0,0014		0,001403598
In			0,0060							0,006043696
K			0,0611	0,0020						0,063126771
Li				0,7261						0,726135897
Mg			0,2009	0,0163						0,217159902
Mn			0,0048							0,004760121
Mo			0,0032							0,003225605
Na			1,1234							1,123442701
Nb				0,0062						0,00616029
Ni	0,2510		0,0331	0,0161						0,300180203
Pb										0
P			0,2426							0,242557364
Pt										0
Sb										0
Si			4,1793							4,17927073
Sn	0,3505		0,0526					0,0254		0,42845202
Sr			0,5176							0,517552971
Ta										0
Ti	0,0573		0,0212	0,0152				0,0017		0,095398278
V				0,0001						0,000126269
W			0,0688							0,068817075
Zn	0,0638									0,0638262
Zr			0,0658	0,0015						0,067279565
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	5,7024		24,0688	19,6843				4,9592		54,41475958
Gesamt **(Mj)**	16,0120	47,5449	32,6160	33,4531	2,1940	32,1750	0,4130	5,073	0,7438	170,2248

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 32: Materialzusammensetzung S4

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	27	19	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC			2,8254			8,431				11,2564
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS		12,0275		0,7789			0,793			13,5994
PE				3,8065						3,8065
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0385		0,0107					0,0010		0,050263142
Al			26,1137	7,19819829						33,31193166
As										0
Au	0,0077		0,0011	0,00064675				0,0012		0,010696784
B										0
Ba			0,6333	0,0009196						0,634181093
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,5488	0,00695897						0,555795834
Cd										0
Co			0,0201	0,14599885						0,166074982
Cr			0,1883							0,188342299
Cu	4,6585		2,6992	1,44486835				0,0545		8,857051527
Fe	0,6925		1,2574	0,0045					0,3785	2,332837403
Ga								0,0009		0,000932688
In			0,0077							0,007679552
K			1,4358	0,0026						1,438364194
Li			0,0022	0,3153						0,317480649
Mg			1,5755							1,575528872
Mn			0,0551							0,055110219
Mo			0,0174	0,0001						0,01754746
Na			2,7129	0,0118						2,72472339
Nb				0,0002						0,000162189
Ni	0,3084		0,0997							0,408092861
Pb										0
P			0,4855							0,485495409
Pt										0
Sb										0
Si			5,8331							5,833067286
Sn	0,4306		0,0385					0,0169		0,485961722
Sr			0,4772							0,477215464
Ta										0
Ti	0,0704		0,0095	0,0007				0,0011		0,081733626
V				0,0008						0,000829875
W			0,1978	0,0362						0,234035855
Zn	0,0784		1,8852							1,963582917
Zr			0,2163	0,0002						0,216550861
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	7,0059		18,7226	28,7276				3,2954		57,7514302
Gesamt (Mj)	13,2910	12,0275	68,0700	42,4830	0,0000	8,4310	0,7930	3,371	0,3785	148,845

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 33: Materialzusammensetzung S5

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	26	19	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC						11,804				11,804
PC+ GF20%		8,3393					0,5350			8,8743
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,9314						0,9314
PE				2,0521						2,0521
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0290		0,0044					0,0013		0,034722071
Al		31,199	1,0457	8,60806182						40,8527323
As										0
Au	0,0058		0,0008	0,00077343				0,0016		0,009043154
B										0
Ba			0,3672	0,00109972						0,368256538
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,5149	0,00832198						0,523234446
Cd										0
Co			0,0075	0,17459473						0,182045847
Cr			0,0697							0,069741448
Cu	3,5025		0,1775	1,72794561				0,0716		5,479661021
Fe	4,6326		0,4072	0,0053					0,6751	5,720268304
Ga								0,0012		0,001227076
In			0,0021							0,002096623
K			0,0863	0,0031						0,089357939
Li			0,0007	0,3770						0,377675799
Mg			0,1974							0,197365596
Mn			0,0047							0,004695408
Mo			0,0104	0,0002						0,010575855
Na			1,1492	0,0141						1,163299181
Nb				0,0002						0,000193956
Ni	0,2318		0,0379							0,269761385
Pb										0
P			0,0663							0,06627355
Pt										0
Sb										0
Si			4,8429							4,842854843
Sn	0,3238		0,0501					0,0222		0,396057504
Sr			0,1634							0,163365901
Ta										0
Ti	0,0530		0,0052	0,0008				0,0015		0,060427974
V			0,0001	0,0010						0,001049617
W			0,0790	0,0433						0,122295135
Zn	0,0590									0,0589587
Zr			0,0035	0,0003						0,003737376
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	5,2675		21,8493	34,3543				4,3355		65,80662541
Gesamt (Mj)	14,1050	39,5383	31,1430	48,3040	0,0000	11,8040	0,5350	4,435	0,6751	150,5394

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 34: Materialzusammensetzung S6

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	27	19	0	0	1	7	1	50
ABS										0
PC										0
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS										0
PE				1,3149						1,3149
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0362		0,0066					0,0022		0,044975639
Al			2,3012	2,41217503						4,713377616
As										0
Au	0,0072			0,00172715				0,0026		0,011572423
B										0
Ba			0,0132	0,00024452						0,013462591
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			0,3663	0,01258257						0,378869828
Cd										0
Co			0,0611	1,09692849						1,15798334
Cr			2,6431							2,643114368
Cu	4,3714		0,8660	2,99481024				0,1152		8,347488305
Fe	6,1518	12,118	10,8327	0,0027			1,144		0,8741	31,12327566
Ga								0,0020		0,001973282
In			0,0039							0,003860173
K			0,1827	0,0011						0,183820496
Li			0,0023	0,2414						0,243733804
Mg			0,5535	0,0032						0,556738982
Mn			0,1793							0,179285828
Mo			0,0082							0,008240102
Na			2,0780	0,0057						2,083723924
Nb				0,0013						0,001255479
Ni	0,2894		1,0793	0,0040						1,372652133
Pb										0
P			0,6033							0,603260949
Pt										0
Sb			0,0020							0,001953919
Si			3,6054							3,605371965
Sn	0,4041		0,0318					0,0357		0,471613831
Sr			0,3645							0,364483862
Ta										0
Ti	0,0661		0,0024	0,0010				0,0024		0,071801904
V			0,0002	0,0001						0,000225176
W			0,2537	0,0078						0,261497828
Zn	0,0736		0,0120							0,085576736
Zr			0,0589	0,0001						0,059009542
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	1,9983		21,1065	16,8423				6,9720		46,9191129
Gesamt **(Mj)**	13,3981	12,118	47,2180	24,9440	0,0000	0,0000	1,1440	7,132	0,8741	106,8282126

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 35: Materialzusammensetzung S7

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	26	17	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC		10,5422	3,3955				0,239			14,1767
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,9822						0,9822
PE				2,9718						2,9718
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0324		0,0042					0,0011		0,037750829
Al			2,9592	8,4975						11,45673613
As										0
Au	0,0065		0,0030	0,0005				0,0014		0,011306992
B										0
Ba			0,0597	0,0001						0,059791401
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			1,4066							1,406594464
Cd										0
Co			0,0797	0,1514						0,231066025
Cr			4,7140							4,713952561
Cu	3,9200		0,5184	4,7599				0,0600		9,258238146
Fe	3,8897		19,5869			26,504			0,311	50,29155133
Ga								0,0010		0,001028143
In			0,0081							0,0081494
K			1,1506	0,0009						1,151468287
Li			0,0010	0,1461						0,147053335
Mg			1,7249							1,724899461
Mn			0,3195							0,319454553
Mo			0,0136	0,0001						0,013628081
Na			3,1711	0,0152						3,186332606
Nb				0,0002						0,000167749
Ni	0,2595		2,0140							2,273480362
Pb										0
P			0,3886							0,388557227
Pt										0
Sb										0
Si			5,1395							5,139545268
Sn	0,3624		0,0406					0,0186		0,421581556
Sr			0,2411							0,241142276
Ta										0
Ti	0,0593		0,0238	0,0005				0,0012		0,084826616
V				0,0002						0,000182308
W			0,3063	0,0081						0,314364705
Zn	0,0660									0,0659856
Zr			0,1657	0,0001						0,16576733
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	5,8953		22,5966	19,8157				3,6326		51,94029725
Gesamt (Mj)	14,4910	10,5422	70,0320	37,3504	0,0000	26,5040	0,2390	3,716	0,3110	163,1856

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 36: Materialzusammensetzung S8

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	25	15	0	1	1	7	1	50
ABS										0
PC		7,1305				37,028	0,396			44,5545
PC+ GF20%										0
PC/ABS+ GF20%										0
PC/ABS				0,6562						0,6562
PE				1,282						1,282
PMMA										0
PVC										0
Ag	0,0333		0,0127					0,0009		0,046808901
Al			1,3040	7,89428068						9,198282532
As										0
Au	0,0067		0,0028	0,00055911				0,0010		0,011097896
B										0
Ba			0,0208	0,0008063						0,02156954
Be										0
Bi										0
C										0
Ca			2,0637							2,063712196
Cd										0
Co			0,0174	0,12085988						0,138257696
Cr			2,0516							2,051575012
Cu	4,0244		0,7752	2,84718706				0,0458		7,692656991
Fe	5,3352	26,586	8,6481						0,5725	41,14185845
Ga								0,0008		0,000785218
In			0,0083							0,00830018
K			0,1072	0,0015						0,108616158
Li			0,0014	0,2069						0,208295959
Mg			1,0033							1,003305631
Mn			0,1350							0,135019053
Mo			0,0091	0,0001						0,009154426
Na			2,4835	0,0163						2,499864059
Nb				0,0001						0,000140537
Ni	0,2664		0,9067							1,173091579
Pb										0
P			0,1188							0,118846138
Pt										0
Sb										0
Si			6,6888							6,688803545
Sn	0,3720		0,0458					0,0142		0,432034569
Sr			0,0633							0,063271549
Ta										0
Ti	0,0609		0,0236					0,0009		0,085377541
V										0
W			0,1900	0,0090						0,198941314
Zn	0,0677									0,0677438
Zr			0,0177	0,0005						0,018162881
Nd										0
Silikon										0
Glass										0
Others	6,0524		28,7632	25,6840				2,7743		63,27392666
Gesamt **(Mj)**	16,2190	33,7165	55,4620	38,7202	0,0000	37,0280	0,3960	2,838	0,5725	184,9522

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 37: Materialzusammensetzung S9

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	26	17	1	1	1	7	1	50
ABS										0,0000
PC		6,8064								6,8064
PC+ GF20%		5,129					0,142			5,2710
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS				0,1651						0,1651
PE				2,1458						2,1458
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0280		0,0091					0,0014		0,0384
Al			31,3739	4,93113101						36,3050
As										0,0000
Au	0,0056		0,0023	0,00133524				0,0016		0,0109
B										0,0000
Ba			0,0238	0,00026572						0,0241
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,6533							0,6533
Cd										0,0000
Co			0,0119	0,41571351						0,4276
Cr			0,1377							0,1377
Cu	3,3844		1,1313	5,03656816				0,0730		9,6254
Fe	6,4421		1,1656		0,401				0,68	8,6887
Ga								0,0013		0,0013
In			0,0066							0,0066
K			0,9841	0,0025						0,9866
Li			0,0026	0,4011						0,4037
Mg			0,9964							0,9964
Mn			0,0930							0,0930
Mo			0,0102	0,0002						0,0103
Na			3,9527	0,0418						3,9945
Nb				0,0005						0,0005
Ni	0,2240		0,1070							0,3310
Pb										0,0000
P			0,5375							0,5375
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			8,4268							8,4268
Sn	0,3129		0,1478					0,0226		0,4833
Sr			0,0662							0,0662
Ta										0,0000
Ti	0,0512		0,0204	0,0015				0,0015		0,0746
V				0,0005						0,0005
W			0,1238	0,0222						0,1460
Zn	0,0570		0,3349							0,3919
Zr			0,1649	0,0002						0,1650
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass						20,203				20,2030
Others	5,0899		29,8900	53,8693				4,4206		93,2698
Gesamt **(Mj)**	15,5950	11,9354	80,3740	67,0356	0,4010	20,2030	0,1420	4,522	0,6800	200,8880

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 38: Materialzusammensetzung S10

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	2	26	12	1	1	1	7	1	50,0000
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%										0,0000
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS		3,7496				38,481				42,2306
PE				1,6386						1,6386
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0491		0,0027					0,0011		0,0529
Al			2,4067	2,17113413						4,5778
As										0,0000
Au	0,0098		0,0011	0,00119183				0,0014		0,0135
B										0,0000
Ba			0,0072							0,0072
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,9590	0,00762565						0,9666
Cd										0,0000
Co			0,0380	0,61890069						0,6569
Cr			0,1378							0,1378
Cu	5,9284		0,9167	1,2737				0,0612		8,1800
Fe	7,5972	17,7675	4,0177		1,213		0,674		0,6354	31,9049
Ga								0,0010		0,0010
In			0,0064							0,0064
K			0,6027	0,0008						0,6034
Li			0,0014	0,1329						0,1343
Mg			1,0240							1,0240
Mn			0,1374							0,1374
Mo			0,0379							0,0379
Na			2,4975							2,4975
Nb				0,0008						0,0008
Ni	0,3924		4,7481							5,1405
Pb										0,0000
P			0,1274							0,1274
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			5,3977							5,3977
Sn	0,5480		0,0834					0,0190		0,6504
Sr			0,3746							0,3746
Ta										0,0000
Ti	0,0896		0,0234	0,0004				0,0013		0,1148
V										0,0000
W			0,1118	0,0184						0,1302
Zn	0,0998		0,0281							0,1279
Zr			0,0112							0,0112
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass										0,0000
Others	8,9157		24,0280	15,5472				3,7050		52,1959
Gesamt **(Mj)**	23,6300	21,5171	47,728	21,4117	1,2130	38,4810	0,6740	3,79	0,6354	159,0802

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 39: Materialzusammensetzung S11

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	26	19,0000	0	1	1	7	1	50
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%		5,7208				6,291	0,1			12,1118
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS				0,6374						0,6374
PE				3,1146						3,1146
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0330		0,0108					0,0012		0,0450
Al			8,0773	5,8898						13,9670
As										0,0000
Au	0,0066		0,0034	0,0005				0,0014		0,0119
B										0,0000
Ba			0,0298	0,0008						0,0306
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,6029	0,0057						0,6086
Cd										0,0000
Co			0,0010	0,1195						0,1205
Cr			0,1709							0,1709
Cu	3,9831		0,9377	1,1822				0,0642		6,1672
Fe	2,0931		1,0175	0,0036					0,4090	3,5233
Ga								0,0011		0,0011
In			0,0028							0,0028
K			0,0862	0,0021						0,0883
Li			0,0011	0,2580						0,2591
Mg			8,6143							8,6143
Mn			0,0747							0,0747
Mo			0,0217	0,0001						0,0218
Na			1,9236	0,0097						1,9332
Nb				0,0001						0,0001
Ni	0,2636		0,1671							0,4307
Pb										0,0000
P			1,6293							1,6293
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			4,6338							4,6338
Sn	0,3682		0,0860					0,0199		0,4740
Sr			0,8026							0,8026
Ta										0,0000
Ti	0,0602		0,0082	0,0006				0,0013		0,0703
V				0,0007						0,0007
W			0,0052	0,0296						0,0348
Zn	0,0670		0,3325							0,3995
Zr			0,0175	0,0002						0,0177
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass										0,0000
Others	5,9902		16,4051	23,5059				3,8829		49,7840
Gesamt **(Mj)**	12,8650	5,7208	45,6630	34,7611	0,0000	6,2910	0,1000	3,972	0,4090	109,7819

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 40: Materialzusammensetzung S12

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	23	19	1	2	0	7	1	50
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%										0,0000
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS				1,2284						1,2284
PE										0,0000
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0388		0,0016					0,0012		0,0415
Al			1,4416	2,2714024		5,83905				9,5521
As										0,0000
Au	0,0078			0,00184885				0,0014		0,0110
B										0,0000
Ba			0,0012	0,00026175						0,0015
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,3932	0,01346916						0,4067
Cd										0,0000
Co			0,0007	1,17422						1,1749
Cr			0,0960							0,0960
Cu	4,6837		0,0418	2,81788158				0,0615		7,6050
Fe	6,4202	38,5218	0,5628	0,0029	0,5569				0,1554	46,2200
Ga								0,0011		0,0011
In			0,0013							0,0013
K			0,1630	0,0012						0,1642
Li			0,0010	0,2584						0,2594
Mg			0,0923	0,0034						0,0957
Mn			0,0065							0,0065
Mo			0,0086							0,0086
Na			1,6228	0,0061						1,6289
Nb				0,0013						0,0013
Ni	0,3100		0,0466	0,0043						0,3609
Pb										0,0000
P			0,2035							0,2035
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			4,6840							4,6840
Sn	0,4330		0,0324					0,0191		0,4844
Sr			0,0432							0,0432
Ta										0,0000
Ti	0,0708		0,0102	0,0010				0,0013		0,0833
V				0,0001						0,0001
W				0,0084						0,0084
Zn	0,0788									0,0788
Zr			0,0324	0,0001						0,0326
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass						15,4587				15,4587
Others	7,0439		20,6364	15,5073				3,7228		46,9104
Gesamt **(Mj)**	19,0870	38,5218	30,1230	23,3021	0,5569	21,2978	0,0000	3,8082	0,1554	136,8522

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 41: Materialzusammensetzung S13

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	25	15	1	1	0	7	1	50
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%						19,339				19,3390
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS		13,9781		0,4545						14,4326
PE				0,8879						0,8879
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0450		0,0064					0,0009		0,0524
Al			1,7549	5,46783547						7,2228
As										0,0000
Au	0,0090		0,0089	0,00038726				0,0011		0,0194
B										0,0000
Ba			0,0703	0,00055848						0,0709
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,8927							0,8927
Cd										0,0000
Co			0,0205	0,08371222						0,1042
Cr			2,8793							2,8793
Cu	5,4377		1,4924	1,97204773				0,0496		8,9517
Fe	4,3543		11,9862		0,7027				0,4495	17,4927
Ga								0,0008		0,0008
In			0,0045							0,0045
K			0,2969	0,0010						0,2979
Li			0,0011	0,1433						0,1444
Mg			0,7745							0,7745
Mn			0,1979							0,1979
Mo			0,0150	0,0001						0,0150
Na			1,8096	0,0113						1,8209
Nb				0,0001						0,0001
Ni	0,3599		1,2272							1,5871
Pb										0,0000
P			0,1505							0,1505
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			3,1662							3,1662
Sn	0,5027		0,1051					0,0154		0,6231
Sr			0,1686							0,1686
Ta										0,0000
Ti	0,0822		0,0474					0,0010		0,1306
V			0,0241							0,0241
W				0,0062						0,0062
Zn	0,0915									0,0915
Zr			0,0486	0,0003						0,0490
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass										0,0000
Others	8,1777		12,4700	17,7898				2,9993		41,4367
Gesamt **(Mj)**	19,0600	13,9781	39,6190	26,8190	0,7027	19,3390	0,0000	3,0681	0,4495	123,0354

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 42: Materialzusammensetzung S14

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	25	19	0	0	0	7	1	50
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%										0,0000
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS				0,702						0,7020
PE		11,792		3,4308						15,2228
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0256		0,0241					0,0017		0,0514
Al			3,9000	6,48771352						10,3877
As										0,0000
Au	0,0051		0,0029	0,00058292				0,0020		0,0106
B										0,0000
Ba			0,6724	0,00082884						0,6732
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,8320	0,00627212						0,8382
Cd										0,0000
Co			0,0010	0,13158859						0,1326
Cr			0,2175							0,2175
Cu	3,0939		1,2058	1,30227667				0,0900		5,6920
Fe	2,3749		1,3590	0,0040					0,463	4,2009
Ga								0,0015		0,0015
In			0,0030							0,0030
K			0,1337	0,0023						0,1360
Li			0,0025	0,2842						0,2866
Mg			5,7280							5,7280
Mn			0,0536							0,0536
Mo			0,0289	0,0001						0,0290
Na			2,1635	0,0107						2,1742
Nb				0,0001						0,0001
Ni	0,2048		0,2175							0,4223
Pb										0,0000
P			0,6611							0,6611
Pt										0,0000
Sb										0,0000
Si			5,4130							5,4130
Sn	0,2860		0,1251					0,0279		0,4390
Sr			0,1733							0,1733
Ta										0,0000
Ti	0,0468		0,0094	0,0006				0,0018		0,0587
V				0,0007						0,0007
W				0,0327						0,0327
Zn	0,0521		0,2079							0,2600
Zr			0,0085	0,0002						0,0088
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass										0,0000
Others	4,6529		28,7115	25,8921				5,4490		64,7055
Gesamt **(Mj)**	10,7420	11,792	51,8550	38,2899	0,0000	0,0000	0,0000	5,574	0,4630	118,7159

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 43: Materialzusammensetzung S15

Material	Leiterplatte [g]	Gehäuse [g]	Bildschirm [g]	Batterie [g]	Sim-Kartenträger [g]	Abdeckung [g]	Tasten [g]	Elektroteile [g]	Schrauben [g]	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	9	1	25	19	1	1	0	7	1	50
ABS										0,0000
PC										0,0000
PC+ GF20%										0,0000
PC/ABS+ GF20%										0,0000
PC/ABS										0,0000
PE				2,1596						2,1596
PMMA										0,0000
PVC										0,0000
Ag	0,0606		0,0120					0,0008		0,0735
Al			1,1770	3,97702553		11,6781				16,8321
As										0,0000
Au	0,0121			0,00303646				0,0010		0,0162
B										0,0000
Ba			0,0132	0,00042989						0,0136
Be										0,0000
Bi										0,0000
C										0,0000
Ca			0,1101	0,02212114						0,1322
Cd										0,0000
Co			0,0014	1,9284851						1,9299
Cr			0,1645							0,1645
Cu	7,3230		0,0503	4,93566829				0,0446		12,3535
Fe	5,9975	37,769	1,0564	0,00473444	0,516				0,8245	46,1681
Ga								0,0008		0,0008
In			0,0024							0,0024
K			0,0971	0,0019						0,0990
Li			0,0019	0,4244						0,4263
Mg			0,1812	0,0056						0,1868
Mn			0,0118							0,0118
Mo			0,0136							0,0136
Na			1,6952	0,0101						1,7052
Nb				0,0022						0,0022
Ni	0,4847		0,1023	0,0070						0,5940
Pb										0,0000
P			0,0930							0,0930
Pt										0,0000
Sb			0,0009							0,0009
Si			4,7561							4,7561
Sn	0,6769		0,0237					0,0138		0,7144
Sr			0,3106							0,3106
Ta										0,0000
Ti	0,1107		0,0076	0,0017				0,0009		0,1209
V			0,0002	0,0001						0,0003
W				0,0138						0,0138
Zn	0,1233									0,1233
Zr			0,0181	0,0002						0,0183
Nd										0,0000
Silikon										0,0000
Glass										0,0000
Others	11,0131		31,7046	27,4688				2,6961		72,8827
Gesamt (Mj)	25,8020	37,769	41,6050	40,9670	0,5160	11,6781	0,0000	2,758	0,8245	161,9196

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anhang A3 Materialverteilung Smartphones S16–S22

Tabelle 44: Materialzusammensetzung S16 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	4	23	25	1	0	19	24	26	17	1	1	50
ABS													0,0000
PC		3,0311							0,7068				3,7378
PC+GF													0,0000
PC/ABS+GF													0,0000
PC/ABS													0,0000
PE				2,5682									2,5682
PMMA													0,0000
PVC													0,0000
Ag	0,0191		0,0047	0,0007			0,0002	0,0048	0,0021	0,0001			0,0316
Al	0,1281		0,2084	4,7212	0,6810		0,0012	0,0960	0,0112	0,0004			5,8475
As													0,0000
Au	0,0105			0,0009			0,0001	0,0049	0,0008				0,0172
B									0,0424	0,0418			0,0842
Ba	0,2230		0,0094	0,0012			0,0001	0,0242	0,0008				0,2587
Be													0,0000
Bi													0,0000
C													0,0000
Ca	0,1502		0,0043	0,0090			0,0006	0,0165	0,0063	0,0002			0,1871
Cd													0,0000
Co	0,0190		0,0210	0,1511			0,0018	0,0462	0,0177	0,0006			0,2575
Cr	0,1135		0,2932	0,0091			0,0029	0,5389	0,1551	0,2205			1,3332
Cu	3,8103		0,6215	1,7675			0,0443	0,5196	0,4277	0,1482	2,6600		9,9990
Fe	1,2135	9,0931	1,6341	0,0526			1,3739	2,0174	3,0147	3,1586		0,7870	22,3448
Ga													0,0000
In	0,0019							0,0021	0,0001				0,0041
K	0,0022		0,0081	0,0027				0,0017	0,0003				0,0150
Li	0,0029		0,1784	0,3138				0,0005	0,0004				0,4959
Mg	0,0166		0,0126	0,0003			0,0001	0,0064	0,0008				0,0367
Mn	0,0121		0,0331	0,0009			0,0003	0,0741	0,0168	0,0245			0,1617
Mo	0,0139		0,0462	0,0008			0,0002	0,1376	0,0233	0,0367			0,2588
Na				0,0118				0,0051					0,0168
Nb	0,0092			0,0002									0,0093
Ni	0,5754	0,3156		0,0119			0,0038	0,4556	0,1355	0,1720			1,6698
Pb													0,0000
P			0,0941										0,0941
Pt													0,0000
Sb			0,0034										0,0034
Si			1,8248					0,0390	0,0901	0,0122			1,9660
Sn	0,4159		0,0081	0,0054			0,0017	0,0405	0,0167	0,0006			0,4890
Sr			0,0168										0,0168
Ta													0,0000
Ti	0,0530		0,0052	0,0009			0,0001	0,0025	0,0006				0,0623
V				0,0008									0,0008
W	0,2291		0,0757	0,0952			0,0188	0,5495	0,1811	0,0065			1,1558
Zn	0,1661		0,0050	0,0009			0,0003	0,0028	0,0029	0,0001			0,1782
Zr	0,0143		0,1560	0,0005			0,0001	0,0008	0,0009				0,1726
Nd									1,0592	1,0453			2,1045
Silikon													0,0000
Glass		48,4968											48,4968
Others	5,6032		33,3784	29,7835			0,0535	2,1047	0,5170	0,3655			71,8058
Gesamt (Mj)	12,8030	60,9366	38,6424	39,5110	0,6810	0,0000	1,5039	6,6912	6,4310	5,2337	2,6600	0,7870	175,8808

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 45: Materialzusammensetzung S16 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenhalter	Abdeckung	Tasten	Tasten Div.	Linse	Kamera Beleuchtungseinheit	Kamera Licht	Gehäuse	Div.	Magnet	Lautsprecher Trockungsmittel	Lautsprecher Gehäuse	Div.	Vibrationsmotor Magnet	Vibrationsmotor Gehäuse	Div.	Ladeeinheit Ladeeinheit	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien hkm	23	4	23	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	19	24	22	1	6	22	3	1	7	22	5	6	14	1	0	1	50
ABS																														0,0000
PC		3,0311																												3,7378
PC+GF																														0,0000
PC/ABS+GF																														0,0000
PC/ABS																														0,0000
PE						2,5682																								2,5682
PMMA																														0,0000
PVC																														0,0000
Ag			0,0191							0,0007				0,0002	0,0839											0,0021				0,1079
Al			0,1281	0,0047			0,0039	2,3628		0,0037		0,6810		0,0012	0,0879	0,0003		0,0005								0,0011				0,0316
As			0,0105	2,3509			0,0006			0,0003				0,0001	0,0045	0,0002		0,0002								0,0004				5,8475
Au				0,2084																										0,0000
B										0,0003				0,0001	0,0045	0,0002		0,0002		0,0424										0,0172
Ba			0,0105																											0,0042
Be																														0,2587
Bi			0,2230				0,0009			0,0003				0,0001	0,0227	0,0012		0,0002						0,0418						0,0000
C																														0,0000
Ca																														0,0000
Cd			0,1502							0,0020				0,0006	0,0139			0,0016								0,0002				0,1871
Co														0,0018	0,0388	0,0029														0,0000
Cr			0,0190							0,0058				0,0028	0,3199	0,0029	0,1813	0,0045								0,0006				0,2375
Cu			0,1135	0,0210			0,1453			0,0091				0,0028	0,3232	0,0374		0,0070				0,1272	0,0177		0,2195	0,0010				1,4352
Cu			3,8103	0,2852						0,1396				0,0443	0,3753	0,0385		0,1079					0,4277			0,0133	2,6600			5,3440
Fe	9,0931		1,2335	1,6541	1,6239		0,0039			0,0481			1,3586	0,0153	1,2172	0,1396		0,0372	2,4291			0,4362	0,1474	2,3972	0,7561	0,0933			0,7870	22,3440
Ga			0,0019				0,0044			0,0481				0,0153	1,2172	0,1396		0,0372	2,4291			0,4362	0,1474	2,3972	0,7561	0,0933			0,7870	22,3440
In			0,0022																											0,0041
K			0,0022	0,0081			0,0026			0,0001				0,0020	0,0139	0,0010		0,0016					0,0063			0,0002				0,0041
Li			0,0059	0,1784			0,3137			0,0001				0,0315	0,0004	0,0001		0,0001					0,0003							0,0151
Mg			0,0166	0,1235						0,0003				0,0001	0,0559	0,0023		0,0001					0,0004							0,0041
Mn			0,0121	0,0326						0,0009				0,0003	0,0464	0,0049	0,0201	0,0007				0,0141	0,0036		0,0344	0,0001				0,0367
Mo			0,0139	0,0462						0,0007				0,0002	0,0862	0,0086	0,0302	0,0005				0,0212	0,0021		0,0366	0,0001				0,1617
Na							0,0001																							0,2268
Nb							0,0116								0,0940	0,0003														0,0093
Ni			0,0092				0,0002			0,0119				0,0038	0,2740	0,0314	0,1410	0,0092			0,0989	0,0985		0,1707	0,0013				0,0168	1,6698
Pb			0,5754	0,3156																										0,0000
P																														0,0000
Pt																														0,0041
Sb				0,0941																										0,0000
Si				0,0034																										0,0034
Sn			0,4159	1,8248						0,0054				0,0017	0,0238	0,0020	0,0101	0,0101	0,0042		0,0830	0,0071			0,0122					1,9660
Sr				0,0081												0,0025		0,0042					0,0167			0,0006				0,4899
Ta				0,0168																										0,0168
Ti			0,0530																											0,0633
V				0,0092			0,0007			0,0002				0,0001	0,0922	0,0001		0,0001					0,0006							0,0099
W							0,0006																							0,0008
Zn			0,2291	0,0757			0,0360			0,0591				0,0003	0,4705	0,0333		0,0457				0,1811				0,0065				1,1558
Zr			0,1661	0,0050						0,0009				0,0003	0,0918	0,0092		0,0007				0,0939				0,0001				0,1782
Zr			0,0143	0,1560			0,0002			0,0003				0,0001	0,0905			0,0002	1,0592			0,0009								0,1725
Mat																								1,0453						2,1045
Silikon																														0,0000
Glass																														48,4968
Others	48,4968																													71,8938
Gesamt (Mj)	60,9366	33,3784	38,6424	2,3509	1,6239	2,5682	28,4519	2,3628	1,6950	0,4583	0,6810	0,0000	1,3586	0,1453	4,8391	0,4295	0,0515	1,0070	0,3641	3,5306	0,0830	1,4135	1,4039	3,9642	1,2195	0,0590	2,6600	0,0000	0,7870	175,8938

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Wien Bibliothek Your knowledge hub

Tabelle 46: Materialzusammensetzung S16 auf Sub-Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Blüschirm	Batterie				Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Linse		Beleuchtungseinheit			Lautsprecher		Vibrationsmotor			Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.		Gehäuse	Linse	Rahmen	Linse	Div.	Gehäuse	Trocknungsmittel	Gehäuse	Div.	Magnet	Spule	Kupferkabel	Div.	Magnet		
Anzahl der Materialien Nr.	23	4	23	1	1	1	17	1	1	21	1	19	6	23	6	20	15	1	6	22	3	7	1	22	3	6	14	1	0	1	
ABS																														50	0,0000
PC +GF		3,0311																												3	3,7376
PC/ABS+GF																			0,7068											0	0,0000
PC/ABS																														0	0,0000
PE						2,5682																								2	2,5682
PMMA																														0	0,0000
PVC																														0	0,0000
Ag	0,0191		0,0047				0,0039	2,3928		0,0007		0,0002		0,0039		0,0002	0,0001			0,0005				0,0021			0,0001		1	0,0316
Al	0,1281		0,2984	2,3509			0,0037		0,6810	0,0012		0,0012		0,0879		0,0048	0,0005			0,0028				0,0112			0,0004		1	5,8475
As																														0	0,0000
Au	0,0105						0,0006			0,0003		0,0001		0,0045		0,0002				0,0002				0,0008						0	0,0172
B																														0	0,0000
Ba	0,2230		0,0084				0,0009			0,0003		0,0001		0,0227		0,0012				0,0002				0,0008			0,0418			0	0,2947
Be																														0	0,0000
Bi																														0	0,0000
C																														0	0,0000
Ca	0,1502		0,0043				0,0069			0,0020		0,0006		0,0139		0,0008	0,0003			0,0016				0,0063			0,0002			0	0,1871
Cd																														0	0,0000
Co	0,0190		0,0210				0,1453			0,0058		0,0018		0,0388		0,0021	0,0006			0,0045				0,0177			0,0006			0	0,2575
Cr	0,1135		0,2632				0,0039			0,0091		0,0029	0,3036	0,0096	0,0357	0,0005	0,0012			0,0070				0,0779			0,2195			0	1,3332
Cu	3,8103		0,6215		1,6239		0,0044			0,1396		0,0443	1,0459	0,3733	0,1714	0,0704	0,0181			0,1079				0,4277		0,1329	0,0153	2,6600		0	9,9990
Fe	1,2135	9,0831	1,6941				0,0044			0,0481		0,0133		0,1230	0,0093	0,0062			0,4362	0,1474		2,3972		0,7561	0,0093			0,7870	23	29,0000
In																														0	0,0000
Ir	0,0019													0,0020		0,0001				0,0001				0,0001						0	0,0041
K	0,0022		0,0081				0,0026			0,0001				0,0015		0,0001				0,0003				0,0003						0	0,0150
Li	0,0029		0,1764				0,3137			0,0001				0,0004						0,0001				0,0004						0	0,4599
Mg	0,0166		0,0126							0,0003		0,0001		0,0059		0,0003				0,0002				0,0008						0	0,0397
Mn	0,0121		0,0331							0,0009		0,0003	0,0337	0,0147	0,0040	0,0008	0,0001			0,0007				0,0026			0,0244	0,0001		0	0,1617
Mo	0,0139		0,0462				0,0001			0,0007		0,0002	0,0506	0,0476	0,0060	0,0026	0,0001		0,0201	0,0005			0,0141			0,0086	0,0001			0	0,2568
Na							0,0118							0,0048		0,0003			0,0392				0,0212	0,0021						0	0,0186
Nb	0,0092						0,0002																							0	0,0094
Ni	0,5754	0,3156								0,0119		0,0038	0,2362	0,0378	0,0278	0,0021	0,0015		0,1410	0,0092			0,0989	0,0265		0,1707	0,0013			1	1,0053
Pb																														0	0,0000
P			0,0941																											0	0,0941
Pt																														0	0,0000
Sb			0,0034																											0	0,0034
Si	0,4159		1,6248																0,0830	0,0071				0,0187			0,0122			1	1,9660
Sn			0,0166																											0	0,0166
Sr			0,0081																											0	0,4890
Ta																														0	0,0000
Ti	0,0530		0,0652				0,0007			0,0002		0,0001		0,0022		0,0001				0,0001				0,0006			0,0006			0	0,1293
V							0,0008																							0	0,0008
W			0,0757				0,0360			0,0591		0,0189		0,4705		0,0257	0,0077			0,0457				0,1811			0,0065			1	1,1558
Zn	0,1661		0,0050							0,0009		0,0003		0,0018		0,0001				0,0007				0,0029			0,0001			0	0,1782
Zr	0,0143		0,1560				0,0002			0,0003		0,0001		0,0005		0,0001				0,0002				0,0009						0	0,1756
Nd																				1,0592						1,0453				2	2,1045
Silikon																														0	0,0000
Glass																														48	48,4968
Others	5,6032	48,4968	33,3764				27,9197																							71	87,4958
Gesamt (Mg)	12,8530	60,9366	38,6424	2,3509	1,6239	2,5682	28,4519	2,3928	1,6950	0,4583	0,6810	1,5936	1,6869	3,1522	0,1984	0,1715	0,0595	0,0515	1,0070	0,3941	3,5306	0,0830	1,4135	1,4639	0,1329	3,4843	1,2195	0,0500	2,6600	0,0000	0,7870	175,8808

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 47: Materialzusammensetzung S17 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	21	3	24	25	1	0	19	24	26	17	1	1	50
ABS													0,0000
PC		3,5799							0,8874				4,4672
PC+GF													0,0000
PC/ABS+GF													0,0000
PC/ABS													0,0000
PE				3,0570									3,0570
PMMA													0,0000
PVC													0,0000
Ag	0,0229		0,0056	0,0008			0,0003	0,0149	0,0026	0,0001			0,0471
Al	0,1535		0,2474	5,6198	1,1110		0,0015	0,0027	0,0141	0,0005			7,1504
As													0,0000
Au	0,0126			0,0011			0,0001	0,3368	0,0010				0,3515
B									0,0532	0,0000			0,0532
Ba	0,2670		0,0111	0,0014			0,0001	1,3019	0,0011				1,5826
Be													0,0000
Bi													0,0000
C													0,0000
Ca	0,1799		0,0051	0,0107			0,0008	0,0019	0,0079	0,0003			0,2065
Cd													0,0000
Co	0,0228		0,0249	0,1798			0,0023	0,0555	0,0223	0,0008			0,3083
Cr	0,1359		0,3482	0,0108			0,0036	0,2834	0,1947	0,2653			1,2418
Cu	4,5635		0,7379	2,1039			0,0554	0,1084	0,5370	0,0184	2,7280		10,8525
Fe	1,4534	10,7396	1,9402	0,0626			1,7173	0,6351	3,7849	0,9159		1,0810	22,3298
Ga													0,0000
In	0,0022							0,0000	0,0001				0,0024
K	0,0026		0,0096	0,0032				0,0001	0,0004				0,0159
Li	0,0035		0,2118	0,3735				0,0001	0,0004				0,5893
Mg	0,0199		0,0149	0,0003			0,0001	0,0002	0,0010				0,0364
Mn	0,0145		0,0394	0,0010			0,0003	0,0381	0,0211	0,0295			0,1438
Mo	0,0166		0,0548	0,0010			0,0003	0,0644	0,0293	0,0441			0,2105
Na				0,0140				0,0000					0,0140
Nb				0,0002									0,0002
Ni	0,6892		0,3748	0,0142			0,0047	0,1465	0,1701	0,2070			1,6063
Pb													0,0000
P			0,0941										0,0941
Pt													0,0000
Sb			0,0040										0,0040
Si			2,1666					0,0097	0,1131	0,0147			2,3040
Sn	0,4981		0,0096	0,0065			0,0022	0,0040	0,0210	0,0007			0,5421
Sr			0,0200										0,0200
Ta													0,0000
Ti	0,0635		0,0062	0,0011			0,0001	5,0581	0,0007				5,1297
V				0,0010									0,0010
W	0,2744		0,0898	0,1133			0,0235	0,0439	0,2274	0,0078			0,7801
Zn	0,1990		0,0060	0,0011			0,0004	0,0007	0,0036	0,0001			0,2109
Zr			0,1852	0,0006			0,0001	0,0002	0,0011				0,1873
Nd									1,3298	0,0000			1,3298
Silikon													0,0000
Glass		57,2776											57,2776
Others	6,7109		39,6480	35,4521			0,0669	0,1746	0,6490	0,0222			82,7237
Gesamt (Mj)	15,3058	71,5970	46,2550	47,0310	1,1110	0,0000	1,8799	8,2809	8,0741	1,5272	2,7280	1,0810	204,8709

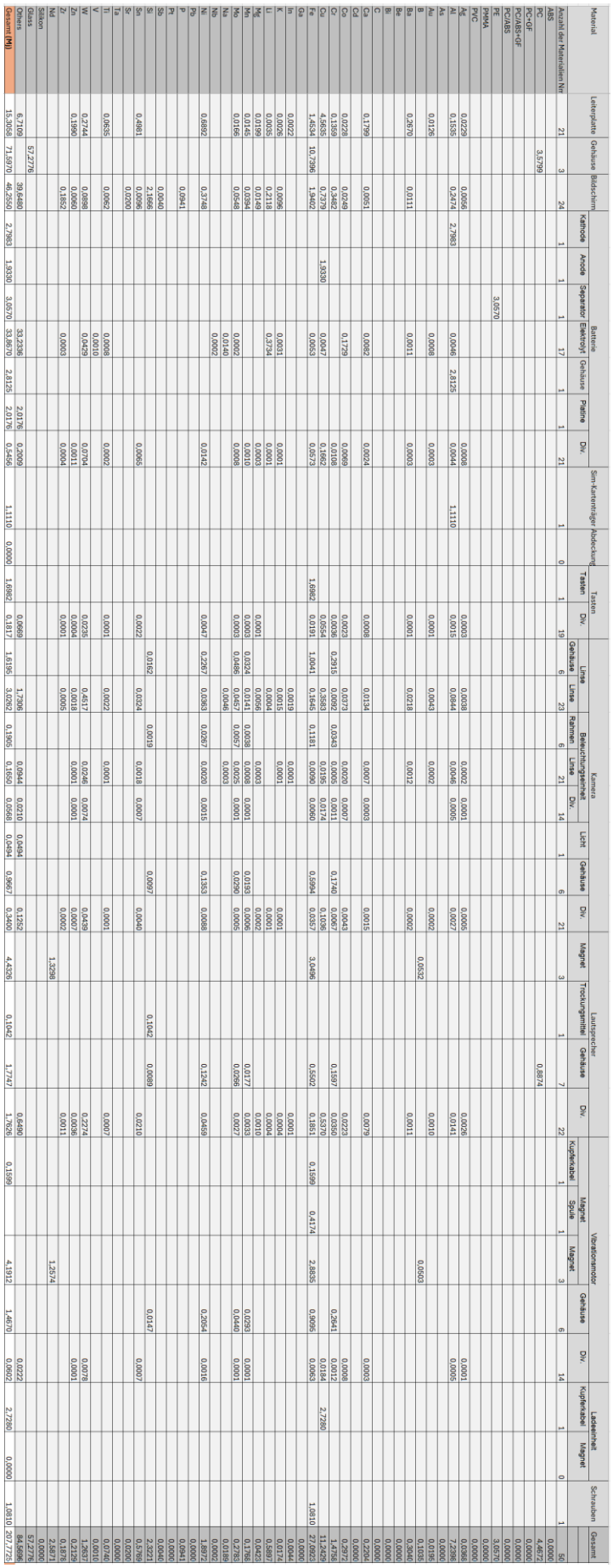
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 48: Materialzusammensetzung S17 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie				Slim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Kamera			Lautsprecher				Vibrationsmotor		Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.			Div.	Linse	Beleuchtungseinheit	Licht	Gehäuse	Div.	Magnet	Trocknungsmittel	Gehäuse	Div.	Magnet	Gehäuse	Div.	Ladeeinheit	Magnet		
Anzahl der Materialien Nm	21	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	19	24	22	1	6	21	3	1	7	22	4	6	14	1	0	1	50
ABS		3,5799																						0,0000						4,4672
PC																						0,8874								
PC+GF																														
PC/ABS																														
PC/ABS+GF																														
PE						3,0570																								3,0570
PMMA																														
PVC																														
Ag			0,0056				0,0046	2,8125		0,0006			0,0003	0,0038	0,0003															0,0368
Al		0,1535	0,2474	2,7983					0,0044	1,1110			0,0015	0,0844	0,0051															7,2398
As																														
Au		0,0126					0,0008		0,0003				0,0001	0,0043	0,0002			0,0002					0,0010							0,0195
B																					0,0532							0,0503		0,1035
Ba		0,2670	0,0111				0,0011		0,0003				0,0001	0,0218	0,0012			0,0002					0,0011							0,3040
Be																														
Bi																														
C																														
Ca		0,1790	0,0051				0,0082		0,0024				0,0008	0,0134	0,0010			0,0015					0,0079							0,2204
Cd																														
Co		0,0228	0,0249						0,0069				0,0023	0,0373	0,0028			0,0043					0,0223							0,2972
Cr		0,1359	0,3482				0,1729		0,0108				0,0036	0,3007	0,0359		0,1740	0,0957				0,1597	0,0350		0,2641					1,4758
Cu		4,5635	0,7379		1,9330		0,0047		0,1662				0,0554	0,3583	0,0369			0,1036					0,5370							11,2429
Fe		1,4534	1,9402				0,0053		0,0573			1,6882	0,0191	1,1686	0,1331		0,5994	0,0577	3,0496			0,5502	0,1851	3,4608	0,9095	0,0063	0,0184	2,7280		27,0923
Ga																														
In		0,0022																												
K		0,0026	0,0096				0,0031		0,0001				0,0001	0,0015	0,0001			0,0001					0,0004							0,0044
Li		0,0035	0,2118				0,3734		0,0001				0,0001	0,0004	0,0001			0,0001					0,0004							0,0174
Mg		0,0199	0,0149						0,0003				0,0001	0,0056	0,0003		0,0193	0,0002					0,0010							0,5897
Mn		0,0145	0,0394						0,0010				0,0003	0,0465	0,0047		0,0193	0,0006				0,0177	0,0033		0,0293	0,0001				0,1768
Mo		0,0166	0,0548				0,0012		0,0006				0,0003	0,0943	0,0083		0,0290	0,0005				0,0266	0,0027		0,0440	0,0001				0,2783
Na							0,0140							0,0046	0,0003															0,0189
Nb							0,0002																							0,0002
Ni		0,6892	0,3748						0,0142				0,0047	0,2630	0,0301		0,1353	0,0088				0,1242	0,0459		0,2054	0,0016				1,8972
Pb			0,0941																											0,0941
Pt																														
Sb			0,0040																											0,0040
Si		0,4981	2,1666						0,0065				0,0022	0,0162	0,0019		0,0097	0,0040			0,1042	0,0089	0,0210		0,0147					2,3221
Sn			0,0096											0,0324	0,0024											0,0007				0,5769
Sr			0,0200																											0,0200
Ta																														
Ti		0,8535	0,0062				0,0008		0,0002				0,0001	0,0022	0,0001			0,0001					0,0007							0,8740
V							0,0010																							0,0010
W		0,2744	0,0898				0,0439		0,0704				0,0235	0,4517	0,0320			0,0439					0,2274			0,0078				1,2657
Zn		0,1990	0,0060						0,0011				0,0004	0,0018	0,0002			0,0007					0,0095			0,0001				0,2139
Zr			0,1852				0,0003		0,0004				0,0001	0,0005				0,0002					0,0011							0,1878
Nd																			1,3298					1,2574						2,5871
Silikon																														
Glass																														
Others		6,7109	57,2776																											57,2776
Gesamt (Mj)		15,3959	71,5970	2,7983	1,9330	3,0570	2,8125	2,8125	2,0176	0,5456	1,1110	0,0000	1,6882	0,1817	4,6457	0,4123	0,4494	0,9667	0,3400	4,4326	0,1042	1,7747	1,7636	4,7685	1,4670	0,0602	2,7280	0,0000	1,0810	207,7725

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 49: Materialzusammensetzung S17 auf Sub-Sub-Komponentenebene



Material	Leiterplatte	Gehäuse	Blidschirm	Batterie				Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Kamera					Lautsprecher				Vibrationsmotor				Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.		Div.	Gehäuse	Linse	Linse	Beleuchtungseinheit		Licht	Gehäuse	Div.	Gehäuse	Trockungsmittel	Magnet	Div.	Kupferkabel	Magnet	Spule	Kupferkabel	Gehäuse	Magnet	Div.	Kupferkabel	Magnet		
Anzahl der Materialien Nr	21	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	19	6	23	6	21	14	1	6	21	7	1	3	22	1	1	1	6	3	14	1	0	1	50
ABS																																		0,0000
PC																																		4,4872
PC-GF		3,5799																			0,8974													0,0000
PC-ABS-GF																																		0,0000
PC-ABS																																		0,0000
PMMA						3,9570																												3,9570
PVC																																		0,0000
Ag	0,0229		0,0056						0,0008			0,0003		0,0038		0,0002	0,0001			0,0005				0,0026						0,0001				0,0086
Al	0,1535		0,2474	2,7983			0,0046	2,8125	0,0044		1,1110	0,0015		0,0844		0,0046	0,0005			0,0027				0,0141						0,0005				7,2286
As																																		0,0000
Au	0,0126								0,0003			0,0001		0,0043		0,0002								0,0010										0,0195
B							0,0008																0,0532						0,0003					0,1035
Ba	0,2670		0,0111				0,0011		0,0003			0,0001		0,0218		0,0012				0,0002				0,0011										0,3040
Be																																		0,0000
Bi																																		0,0000
C	0,1799		0,0651				0,0082		0,0024			0,0008		0,0134		0,0007	0,0003			0,0015				0,0079						0,0003				0,2364
Cd																																		0,0000
Ce	0,0228		0,0249				0,1729		0,0069			0,0023		0,0373		0,0020	0,0007																		0,2972
Co	0,1359		0,3482						0,0108			0,0036	0,2915	0,0092	0,0343	0,0005	0,0011	0,1740	0,0067	0,0043				0,0223				0,2641		0,0012				1,4758
Cu	4,5835		0,7379		1,9330		0,0047		0,1662			0,0554		0,3583		0,0195	0,0174			0,1036				0,5370						0,0184	2,7280			11,2429
Cr	1,4534	10,7396	1,9402				0,0053		0,0573		1,6862	0,0191	1,0041	0,1645	0,1181	0,0090	0,0060			0,0357	3,0496			0,1851	0,1599		0,4174	2,8835	0,9095	0,0063			1,0810	27,0923
Ga																																		0,0000
In	0,0022													0,0019		0,0001								0,0001										0,0044
K	0,0026		0,0096				0,0031		0,0001					0,0015		0,0001				0,0001				0,0004										0,0174
Li	0,0035		0,2118				0,3734		0,0001					0,0004						0,0001				0,0004										0,5897
Mg	0,0146		0,0349						0,0003			0,0001		0,0041		0,0002				0,0002				0,0010										0,0542
Mn	0,0146		0,0349						0,0003			0,0001		0,0041		0,0002				0,0002				0,0010										0,0542
Mo	0,0186						0,0002		0,0008			0,0003	0,0486	0,0457	0,0057	0,0003	0,0001			0,0290	0,0905		0,0177	0,0010						0,0440	0,0001			0,2783
Na							0,0140							0,0046																				0,0186
Nb							0,0002																											0,0002
Ni	0,6892		0,3748						0,0142			0,0047	0,2267	0,0363	0,0267	0,0020	0,0015		0,1353	0,0088				0,0459				0,2054	0,0016					1,8972
Pb																																		0,0000
P			0,0941																															0,0941
Pt																																		0,0000
Sb			0,0040																															0,0040
Si			2,1666																															2,3221
Sn	0,4981		0,0096																															0,5298
Sr			0,0200																															0,0200
Ta													0,0152	0,0324		0,0018	0,0007		0,0097	0,0040		0,1042	0,0889	0,0210				0,0147		0,0007				0,2593
Ti	0,0535		0,0952				0,0008					0,0001				0,0001				0,0001														0,0746
V	0,2744		0,0898				0,0429		0,0704			0,0235		0,4517		0,0246	0,0074			0,0439				0,2274						0,0078				1,2657
W	0,1990		0,0660				0,0010		0,0011			0,0004		0,0018		0,0001	0,0001			0,0007				0,0036						0,0001				0,2129
Zn			0,1852				0,0003		0,0004			0,0001		0,0005						0,0002				0,0011				1,2574						1,4576
Zr																					1,3298													2,6871
Nd																																		0,0000
Silikon																																		57,2276
Glass	6,7109																																	84,5896
Others	0,2744	57,2276																																207,1725
Gesamt (kg)	15,3036	71,5970	46,3560	2,7983	1,9330	3,9570	33,4870	2,8125	2,0176	0,3456	1,1110	0,1877	1,6195	3,0262	0,1965	0,1650	0,0498	0,0494	0,9667	0,3400	4,4286	0,1042	1,7747	1,7626	0,1599	4,1912	1,2574	1,4670	0,0602	2,7280	0,0000	1,0810		

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 50: Materialzusammensetzung S18 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	3	24	25	1	0	21	23	26	17	4	1	50
ABS													
PC		2,5397							0,6782				3,2179
PC+GF													
PC/ABS+GF													
PC/ABS													
PE				2,6166									2,6166
PMMA													
PVC							1,9696						1,9696
Ag	0,0222		0,0037	0,0007			0,0003	0,0051	0,0020	0,0001			0,0341
Al	0,1489	7,6192	0,1662	4,8102	1,8758		0,0015	3,5949	0,6091	1,0792			19,9050
As													
Au	0,0122			0,0009			0,0001	0,0050	0,0007				0,0190
B									0,0407	0,0419	0,0106		0,0932
Ba	0,2591		0,0075	0,0012			0,0001	0,0239	0,0008				0,2927
Be													
Bi													
C													
Ca	0,1746		0,0034	0,0091			0,0009	0,0174	0,0060	0,0002			0,2116
Cd													
Co	0,0221		0,0167	0,1539			0,0024	0,0487	0,0170	0,0006			0,2616
Cr	0,1319		0,2338	0,0093			0,0038	0,0344	0,0286	0,0044			0,4462
Cu	4,4286		0,4956	1,8008			0,0586	0,6707	0,4240	0,0398	2,1430		10,0611
Fe	1,4105		1,3031	0,0536			0,0202	0,2679	2,4757	2,7631	0,6094	1,1350	10,0385
Ga													
In	0,0022							0,0021	0,0001				0,0043
K	0,0026		0,0064	0,0027				0,0017	0,0003				0,0138
Li	0,0034		0,1422	0,3197				0,0006	0,0003				0,4662
Mg	0,0193		0,0100	0,0003			0,0001	0,1214	0,0204	0,0355			0,2070
Mn	0,0141		0,0264	0,0009			0,0004	0,0165	0,0025	0,0001			0,0608
Mo	0,0161		0,0368	0,0009			0,0003	0,0504	0,0020	0,0001			0,1066
Na				0,0120				0,0050					0,0170
Nb	0,0107			0,0002									0,0108
Ni	0,6688		0,2517	0,0122			0,0050	0,0567	0,0351	0,0013			1,0307
Pb													
P			0,0632										0,0632
Pt													
Sb			0,0027										0,0027
Si			1,4551						0,0796				1,5347
Sn	0,4834		0,0065	0,0056			0,0023	0,0430	0,0160	0,0006			0,5573
Sr			0,0134										0,0134
Ta													
Ti	0,0617		0,0042	0,0009			0,0001	0,0026	0,0005				0,0699
V				0,0008									0,0008
W	0,2662		0,0603	0,0970			0,0248	0,5741	0,1738	0,0065			1,2028
Zn	0,1931		0,0040	0,0010			0,0004	0,2452	0,0441	0,0747			0,5625
Zr	0,0166		0,1244	0,0005			0,0001	0,0009	0,0009				0,1435
Nd									1,0164	1,0481	0,2657		2,3302
Silikon													
Glass		40,6355					1,9696						42,6051
Others	6,5125		26,6291	30,3451			0,0708	2,2199	0,4960	0,0186			66,2919
Gesamt (MJ)	14,8808	50,7944	31,0666	40,2559	1,8758	0,0000	4,1313	8,0078	6,1710	5,1149	3,0288	1,1350	166,4623

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 51: Materialzusammensetzung S18 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenhälfte	Abdeckung	Tasten Tasten	Tasten Div.	Linse	Kamera Beleuchtungseinheit	Kamera Licht	Gehäuse	Div.	Magnet	Trocknungsmittel	Lautsprecher Gehäuse	Div.	Magnet	Vibrationsmotor Gehäuse	Div.	Ladeeinheit Ladeeinheit	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nnr	23	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	19	23	21	1	6	21	3	1	7	22	4	6	14	1	3	1	50
ABS		2,5397																												0,0000
PC																						0,6782								3,2179
PC+GF																														0,0000
PC/ABS+GF																														0,0000
PC/ABS																														0,0000
PE						2,6166																								2,6166
PMMA																														0,0000
PVC																														0,0000
Ag	0,0222		0,0037				0,0040			0,0007			0,0003		0,0039				0,0009				0,0020			0,0001				0,0341
Al	0,1489	7,6192	0,1662	2,3952			0,0037	2,4073		0,0037	1,8758		1,9696	0,0015	1,5481	0,1772		1,8647	0,0049			0,5983	0,0108		1,0788	0,0004				21,8746
As																														0,0000
Au	0,0122						0,0007			0,0003			0,0001		0,0044	0,0002			0,0003				0,0007							0,0190
B																				0,0407				0,0419					0,0106	0,0932
Ba	0,2591		0,0075				0,0009			0,0003			0,0001	0,0223		0,0012			0,0004				0,0008							0,2927
Be																														0,0000
Bi																														0,0000
C																														0,0000
Ca	0,1746		0,0034				0,0071			0,0021			0,0009	0,0137		0,0010			0,0027				0,0060			0,0002				0,2116
Cd																														0,0000
Co	0,0221		0,0167							0,0059			0,0024	0,0381		0,0028			0,0077				0,0170			0,0006				0,2616
Cr	0,1319		0,2238				0,1480			0,0093			0,0038	0,0140		0,0022		0,0059	0,0122			0,0019	0,0267		0,0034	0,0010				0,4462
Cu	4,4296		0,4956		1,6545		0,0040			0,1423			0,0598	0,3998		0,0417		0,0423	0,1869			0,0196	0,4104	0,1333	0,0245	0,0154	2,1430			10,1944
Fe	1,4105		1,3031				0,0045			0,0490			0,0202	0,1766		0,0163		0,0106	0,0644	2,3309		0,0034	0,1415	2,7527	0,0061	0,0053		0,6094	1,1350	10,0085
Ga																														0,0000
In	0,0022													0,0020																0,0043
K	0,0026		0,0064				0,0026			0,0001				0,0015		0,0001			0,0001				0,0003							0,0138
Li	0,0834		0,1422				0,3196			0,0001				0,0004					0,0002				0,0003							0,4662
Mg	0,0193		0,0100							0,0003			0,0001	0,0538		0,0060		0,0613	0,0003			0,0197	0,0007		0,0355					0,2670
Mn	0,0141		0,0264							0,0009			0,0004	0,0144		0,0009			0,0012				0,0025			0,0001				0,0608
Mo	0,0161		0,0368				0,0001			0,0007			0,0003	0,0468		0,0026			0,0009				0,0020			0,0001				0,1066
Na							0,0120							0,0047		0,0003														0,0170
Nb	0,0107						0,0002																							0,0108
Ni	0,6688		0,2517							0,0122			0,0050	0,0371		0,0035			0,0160				0,0351			0,0013				1,0307
Pb																														0,0000
P			0,0632																											0,0632
Pt																														0,0000
Sb			0,0027																		0,0796									0,0027
Si			1,4551																											1,5347
Sn	0,4834		0,0065							0,0056			0,0023	0,0332		0,0025			0,0073				0,0160			0,0006				0,5573
Sr			0,0134																											0,0134
Ta																														0,0000
Ti	0,0617		0,0042				0,0007			0,0002			0,0001	0,0022		0,0001			0,0002				0,0005							0,0699
V							0,0008																							0,0008
W	0,2662		0,0603				0,0367			0,0003				0,0248	0,4622	0,0327			0,0792				0,1798			0,0065				1,2028
Zn	0,1931		0,0040							0,0010			0,0004	0,1029		0,0121		0,1289	0,0013				0,0028		0,0746	0,0001				0,5625
Zr	0,0166		0,1244				0,0002			0,0003			0,0001	0,0005		0,0121		0,0004	0,0004			0,0414	0,0009							0,1435
Nd																		1,0164						1,0481						2,2302
Silikon																												0,2657		0,0000
Glass		40,6355																												40,6355
Others	6,5125	26,6391																								0,0186				66,2919
Gesamt (M)	14,8808	50,7944	31,0666	2,3952	1,6545	2,6166	28,9883	2,4073	1,7270	0,4670	1,8758	0,0000	1,9696	0,1921	4,7532	0,4221	0,1052	2,1137	0,6136	3,3879	0,0796	1,3564	1,3471	3,9751	1,2229	0,5502	2,1430	0,8858	1,1350	164,6259

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 52: Materialzusammensetzung S18 auf Sub-Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Div.	Linse Gehäuse	Linse	Kamera Beleuchtungseinheit Rahmen	Linse	Div.	Licht	Gehäuse	Div.	Lautsprecher Gehäuse	Lautsprecher-membran	Magnet	Div.	Vibrationsmotor Gehäuse	Magnet	Magnet Spule	Magnet Kupferkabel	Div.	Gehäuse	Div.	Lötkeimfeld Kupferkabel	Lötkeimfeld Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nr.	23	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	19	6	23	6	23	14	1	6	21	7	1	3	22	3	6	1	14	6	14	1	3	1	
ABS																																					50
PC		2,5397																					0,6782													3,2179
PC-GF																																					
PC/ABS																																					
PC/ABS-GF																																					
PE						2,6186																															2,6186
PMMA																																					
PVC																																					
Ag	0,0222		0,0037							0,0007			0,0003			0,0039			0,0002	0,0001		0,0009				0,0020					0,0001				0,0341
Al	0,1489	7,6192	0,1862	2,3952			0,0040	2,4073		0,0037		1,8758	0,0015	1,4617	0,0863	0,1720	0,0047	0,0005		1,8647	0,0049		0,5983			0,0108					1,0788	0,0004			21,8746
As																																					
Au	0,0122						0,0007			0,0003			0,0001			0,0044			0,0003			0,0007													0,0190
B							0,0120						0,0004																	0,0419					0,0186	0,0792
Be	0,2591		0,0075				0,0009			0,0003			0,0001			0,0223			0,0012			0,0004			0,0407										0,2927
Bi																																					
C																																					
Ca	0,1746		0,0034				0,0071			0,0021			0,0009			0,0137			0,0007	0,0003		0,0027				0,0060										0,2116
Cd																																					
Co	0,0221		0,0167				0,1460			0,0059			0,0024			0,0361			0,0021	0,0007		0,0077				0,0170					0,0006				0,2616
Cr	0,1319		0,2238							0,0093			0,0038	0,0046		0,0094	0,0005	0,0005		0,0012		0,0122				0,0267					0,0034	0,0010			0,4462
Cu	4,4286		0,4896		1,6545		0,0040			0,1423			0,0586	0,0331	0,3696	0,0039	0,0200	0,0178		0,0423	0,1869		0,0136			0,4104	0,1333				0,0245	0,0154	2,1430		10,1944
Fe	1,4105		1,3931				0,0045			0,0490			0,0202	0,0083	0,1983	0,0010	0,0092	0,0061		0,0196	0,0044		0,0034			0,1415			8,3480	2,4927	0,0961	0,0053		0,6984	1,1360	10,8388
Ga																																					
In	0,0022															0,0020		0,0001								0,0001										0,0043
K	0,0026		0,0064				0,0026			0,0001			0,0001			0,0015		0,0001				0,0001				0,0003										0,0138
Li	0,0034		0,1422				0,3196			0,0001			0,0001			0,0004	0,0000					0,0002				0,0003										0,4692
Mg	0,0193		0,0100							0,0003			0,0001	0,0481	0,0057	0,0057	0,0003			0,0613		0,0003	0,0197			0,0007					0,0355				0,2070
Mn	0,0141		0,0264							0,0009			0,0004			0,0144	0,0008	0,0001				0,0012				0,0025										0,0698
Mo	0,0161		0,0368				0,0001			0,0007			0,0003			0,0466	0,0026	0,0001				0,0009				0,0020										0,1066
Na							0,0120										0,0003																			
Ni	0,0107						0,0002			0,0122			0,0050			0,0271	0,0020	0,0015				0,0160				0,0351					0,0013					1,0307
Pb	0,6808		0,2517																																		
P			0,0532																																		0,0532
Pt																																					
Sb			0,0027																																		0,0027
Si			1,4551																																		1,5347
Sn	0,4834		0,0065							0,0056			0,0023			0,0332		0,0018	0,0007			0,0073		0,0796												0,5573
Sr			0,0134																																		0,0134
Ta																																					
Ti	0,0617						0,0007			0,0002			0,0001			0,0022		0,0001				0,0002				0,0005										0,0708
V			0,0042				0,0008																														0,0050
W	0,2682		0,0603				0,0367			0,0603			0,0248			0,0248						0,0792				0,1738										1,3708
Zn	0,1931		0,0040							0,0010			0,0004	0,1011	0,0018	0,0119	0,0001	0,0001		0,1289	0,0013		0,0414			0,0028		0,0746	0,0001							0,3405
Zr	0,0166		0,1244				0,0002			0,0003			0,0001	0,0005		0,0005	0,0000	0,0000		0,0061	0,0004		0,0034			0,0009					0,0061	0,0053		0,6984		0,1435
Pd																						1,0164							1,0481					0,2657		2,3302
Silikon																																					
Glass																																					40,6355
Others	6,5125																																				66,2819
Gesamt (Mi)	14,6808	50,7944	31,0666	2,3952	1,6545	2,6186	28,4461	2,4073	1,7270	0,4670	1,8758	0,0000	1,9696	0,1921	1,6569	3,0963	0,1960	0,1689	0,0582	0,1052	2,1137	0,6196	3,3879	0,0796	1,3564	1,3471	0,3333	0,3480	3,4938	1,2229	0,0462	0,0902	2,1430	0,8858	1,1360	184,6260

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 53: Materialzusammensetzung S19 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	3	24	25	1	0	20	24	26	17	4	1	50
ABS													
PC		3,8293							0,8128				4,6421
PC+GF													
PC/ABS+GF													
PC/ABS													
PE				2,8281									2,8281
PMMA													
PVC													
Ag	0,0269		0,0038	0,0007			0,0003	0,0102	0,0024	0,0001			0,0444
Al	0,1801		0,1673	5,1989	1,0180		0,0017	0,2059	0,0129	0,0005			6,7853
As													
Au	0,0148			0,0010			0,0001	0,0106	0,0009				0,0274
B									0,0487	0,0489	0,0144		0,1120
Ba	0,3133		0,0075	0,0013			0,0001	0,0520	0,0010				0,3752
Be													
Bi													
C													
Ca	0,2111		0,0034	0,0099			0,0010	0,0354	0,0072	0,0003			0,2682
Cd													
Co	0,0268		0,0169	0,1664			0,0027	0,0990	0,0204	0,0007			0,3328
Cr	0,1594		0,2355	0,0100			2,0313	1,1553	0,1783	0,2582			4,0281
Cu	5,3540		0,4991	1,9463			0,0661	1,1143	0,4919	0,1729	2,8960		12,5406
Fe	1,7052	11,4878	1,3123	0,0579			0,0228	4,3248	3,4672	4,1032	0,8235	1,3280	28,6327
Ga													
In	0,0026							0,0046	0,0001				0,0073
K	0,0031		0,0065	0,0030				0,0036	0,0004				0,0165
Li	0,0041		0,1432	0,3456			0,0001	0,0010	0,0004				0,4944
Mg	0,0233		0,0101	0,0003			0,0001	0,0137	0,0009				0,0484
Mn	0,0170		0,0266	0,0009			0,0004	0,1588	0,0193	0,0287			0,2518
Mo	0,0195		0,0371	0,0009			0,0003	0,2951	0,0268	0,0429			0,4227
Na				0,0130				0,0108					0,0238
Nb	0,0129			0,0002									0,0131
Ni	0,8085		0,2535	0,0131			0,0056	0,9766	0,1558	0,2015			2,4147
Pb													
P			0,0637										0,0637
Pt													
Sb			0,0027										0,0027
Si			1,4654					0,0620	0,1032	0,0143			1,6449
Sn	0,5844		0,0065	0,0060			0,0026	0,0869	0,0192	0,0007			0,7063
Sr			0,0135										0,0135
Ta													
Ti	0,0745		0,0042	0,0010			0,0001	0,0054	0,0006				0,0859
V				0,0009									0,0009
W	0,3219		0,0608	0,1048			0,0280	1,1783	0,2083	0,0076			1,9097
Zn	0,2335		0,0041	0,0010			0,0004	0,0060	0,0033	0,0001			0,2484
Zr	0,0201		0,1253	0,0006			0,0001	0,0018	0,0010				0,1489
Nd									1,2182	1,2234	0,3591		2,8007
Silikon													
Glass		61,2680											61,2680
Others	7,8732		26,8171	32,8015			0,0799	4,5135	0,5945	0,0217			72,7015
Gesamt **(MJ)**	17,9900	76,5850	31,2860	43,5133	1,0180	0,0000	2,2439	14,3258	7,3960	6,1257	4,0930	1,3280	205,9047

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 54: Materialzusammensetzung S19 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie					Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Kamera			Lautsprecher			Vibrationsmotor		Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.			Tasten	Div.	Beleuchtungseinheit	Linse	Gehäuse	Licht	Div.	Magnet	Trocknungsmittel	Gehäuse	Div.	Magnet	Gehäuse	Div.	Magnet		
Anzahl der Materialien Nrr	23	3	24	1	1	1	17	1	1	21	1	0	1	20	24	23	6	1	22	3	1	7	22	4	6	14	1	3	1	50
ABS																														
PC		3,8293																			0,8128								4,6421
PC+GF																														
PC/ABS+GF																														
PC/ABS																														
PE						2,8281																							2,8281
PMMA																														
PVC																														
Ag							0,0043	2,6018		0,0007			0,0003	0,0084	0,0006				0,0011				0,0024			0,0001			0,0444
Al		0,1801	0,1673	2,5888			2,6018			0,0040	1,0180		0,0017	0,1885	0,0113				0,0061				0,0129			0,0005			6,7853
As																														
Au		0,0148					0,0007			0,0003			0,0001	0,0096	0,0006				0,0004				0,0009						0,0274
B																				0,0487				0,0489				0,0144	0,1120
Ba		0,3133	0,0075				0,0010			0,0003			0,0001	0,0488	0,0027				0,0005				0,0010						0,3752
Be																														
Bi																														
C																														
Ca		0,2111	0,0034				0,0076			0,0023			0,0010	0,0299	0,0022				0,0034				0,0072			0,0003			0,2682
Cd																														
Co		0,0268	0,0169				0,1600			0,0064			0,0027	0,0832	0,0061				0,0096				0,0204			0,0007			0,3328
Cr		0,1594	0,2355							0,0100			0,0043	0,6713	0,0803		0,3886		0,0151			0,1463	0,0320			0,0012			2,0011
Cu		5,3540	0,4991		1,7882		0,0043			0,1538			0,0661	0,8003	0,0825				0,2315				0,4919	0,1550		0,0179	2,8960		12,5406
Fe		1,7052	1,3123				0,0049			0,0530		2,0270	0,0228	2,6091	0,2974		1,3386		0,0798	2,7938		0,5039	0,1695	3,2117	0,8554	0,0062		0,8235	1,3280	30,6597
Ga		11,4878																												
In		0,0026																												
K		0,0031	0,0065				0,0028			0,0001			0,0001	0,0033	0,0002				0,0002				0,0004						0,0165
Li		0,0041	0,1432				0,3455			0,0001			0,0001	0,0009					0,0002				0,0004						0,4944
Mg		0,0233	0,0101							0,0003			0,0001	0,0125	0,0008				0,0004				0,0009						0,0484
Mn		0,0170	0,0266				0,0009			0,0009			0,0004	0,1038	0,0105		0,0432		0,0014			0,0163	0,0030		0,0286	0,0001			0,2518
Mo		0,0195	0,0371				0,0002			0,0008			0,0003	0,2106	0,0185		0,0648		0,0012			0,0244	0,0025		0,0428	0,0001			0,4227
Na							0,0130							0,0103	0,0006														0,0238
Nb		0,0129					0,0002																						0,0131
Ni		0,8085	0,2535							0,0131			0,0056	0,5873	0,0673		0,3823	0,0198				0,1138	0,0420		0,1999	0,0015			2,4147
Pb																														
P			0,0637																										0,0637
Pt																														
Sb			0,0027																										0,0027
Si			1,4654											0,0362	0,0043			0,0216				0,0951	0,0081		0,0143				1,6449
Sn		0,5844	0,0065							0,0060			0,0026	0,0724	0,0055				0,0090				0,0192			0,0007			0,7063
Sr			0,0135																										0,0135
Ta																														
Ti		0,0745	0,0042				0,0008			0,0002			0,0001	0,0048	0,0003				0,0003				0,0006			0,0076			0,0859
V							0,0009																			0,0003			0,0009
W		0,3219	0,0608				0,0397			0,0651			0,0280	1,0088	0,0715				0,0981				0,2083						1,5097
Zn		0,2335	0,0041							0,0010			0,0004	0,0039	0,0005				0,0016				0,0033			0,0001			0,2484
Zr		0,0201	0,1253				0,0003			0,0003			0,0001	0,0011	0,0001				0,0005				0,0010						0,1489
Nd																				1,2182				1,2234			0,3991		2,8007
Silikon																														
Glass																														
Others		61,2680																												61,2680
Gesamt (Mj)	7,8732	26,8171	2,5888	1,7882	2,8281	30,7491	2,6018	1,8665	0,1858	1,0180	0,0000	2,0270	0,0799	3,8649	0,2578	0,1110	2,1590	0,7600	4,0607	0,0951	1,6256	1,6146	0,8945	4,6390	1,4280	0,0217	2,8960	1,1970	1,3280	72,7015
	17,9900	31,2860				31,3352			0,5047				0,2169	10,3741	0,9217	0,1110										0,0587				205,5947
	76,5650																													

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 55: Materialzusammensetzung S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene



TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 56: Materialzusammensetzung S20 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	2	26	27	1	1	1	25	7	7	1	1	50
ABS			0,0014										0,0014
PC						14,6050			0,8805				15,4855
PC+GF					0,4800								0,4800
PC/ABS+GF		14,5306											14,5306
PC/ABS				0,5474									0,5474
PE				5,1929									5,1929
PMMA													
PVC													
Ag	0,0250		0,0014	0,0047				0,0071					0,0382
Al	0,1677	6,2274	0,3256	5,5642			0,0000	4,5389	0,8642	0,4060			18,0940
As													
Au	0,0137		0,0003	0,0053				0,0076					0,0269
B								0,0000	0,0418	0,0198			0,0616
Ba	0,2917		0,1143	0,0024				0,0374					0,4459
Be													
Bi													
C													
Ca	0,1965		0,1603	0,0398				0,0249					0,4216
Cd													
Co	0,0249		0,0023	2,2772				0,0696					2,3740
Cr	0,1485		0,0217	0,0629				0,0254					0,2584
Cu	4,9858		0,0553	3,0022				0,7592		0,0345	0,9030		9,7400
Fe	1,5879		0,1268	0,3381				0,3470	2,4008	1,1359		0,7680	6,7044
Ga													
In	0,0025		0,0007	0,0002				0,0033					0,0066
K	0,0029		0,0269	0,0030				0,0026					0,0353
Li	0,0038		0,0002	0,4932				0,0007					0,4979
Mg	0,0217		0,0615	0,0083				0,0501	0,0079	0,0037			0,1532
Mn	0,0158		0,0015	0,0059				0,0249					0,0481
Mo	0,0182		0,0032	0,0048				0,0785					0,1047
Na			0,3578	0,0117				0,0078					0,3773
Nb	0,0120			0,0026									0,0146
Ni	0,7529		0,0118	0,0905				0,0745					0,9298
Pb													
P			0,0206										0,0206
Pt													
Sb													
Si			1,5079					0,0268	0,0943	0,0025			1,6315
Sn	0,5442		0,0156	0,0377				0,0610					0,6584
Sr			0,0509										0,0509
Ta													
Ti	0,0694		0,0016	0,0032				0,0038					0,0781
V				0,0001									0,0001
W	0,2997		0,0246	0,4246				0,8312					1,5802
Zn	0,2174			0,0065				0,0040					0,2279
Zr	0,0187		0,0011	0,0023				0,0011					0,0232
Nd									1,0455	0,4947			1,5402
Silikon													
Glass													
Others	7,3319		28,2432	32,9968				3,2024					71,7743
Gesamt (MJ)	16,7530	20,7580	31,1384	51,1283	0,4800	14,6050	0,0000	10,1898	5,3350	2,0971	0,9030	0,7680	154,1556

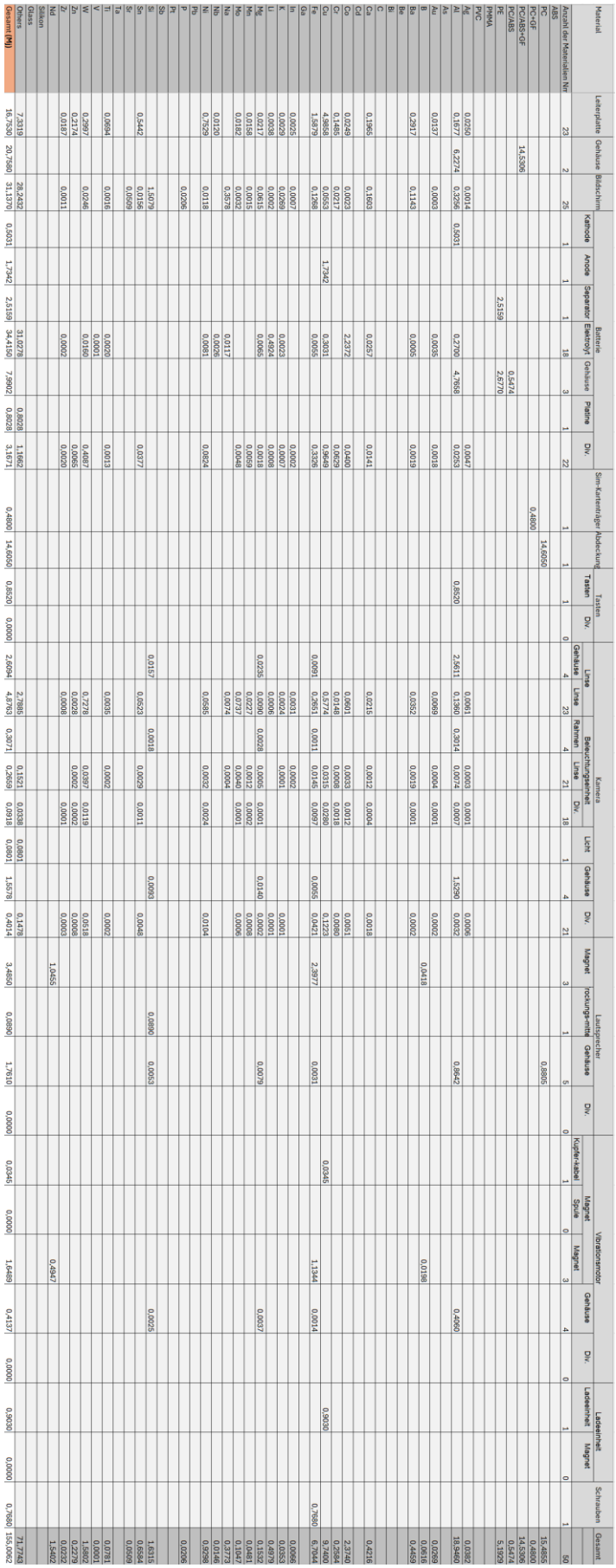
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 57: Materialzusammensetzung S20 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie			Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten		Kamera			Lautsprecher			Magnet	Vibrationsmotor		Ladeeinheit		Schrauben	Gesamt
				Elektrolyt	Gehäuse	Separator					Taste	Div.	Linse	Beleuchtungseinheit	Licht	Gehäuse	Div.	Trocknungsmittel	Magnet	Gehäuse	Div.	Ladeeinheit	Magnet		
Anzahl der Materialien Nrr	23	2	25	18	3	1	22		1	1	1	0	24	23	1	4	21	3	4	4	0	1	0	1	50
ABS										14,6050															15,4855
PC									0,4800																0,4800
PC+GF																									14,5306
PC/ABS+GF		14,5306																							0,5474
PC/ABS					0,5474																				5,1929
PE					2,6770	2,5159																			
PMMA																									
PVC																									
Ag	0,0250		0,0014				0,0047						0,0061	0,0005			0,0006								0,0392
Al	0,1677	6,2274	0,3256	4,7688			0,0253				0,8520		2,6971	0,3096		1,5290	0,0032			0,8642					18,9460
As			0,0003																						0,0269
Au	0,0137			0,0035			0,0018						0,0069	0,0004			0,0002								0,0616
B																			0,0418				0,0198		0,4459
Ba	0,2917		0,1143	0,0005			0,0019						0,0352	0,0020			0,0002			0,4060					
Be																									
Bi																									
C																									
Ca	0,1965		0,1803	0,0257			0,0141						0,0215	0,0016			0,0018								0,4216
Cd																									
Co	0,0249		0,0023	2,2372			0,0400						0,0601	0,0044			0,0051								2,3740
Cr	0,1485		0,0217				0,0629						0,0148	0,0026			0,0080								0,2584
Cu	4,9858		0,0553	0,3831			0,9849						0,5774	0,0595			0,1223								9,7400
Fe	1,5879		0,1268	0,0055			0,3226						0,2742	0,0252		0,0055	0,0421	2,3977		0,0031		1,1344	0,0014	0,7680	6,7044
Ga																									
In	0,0025		0,0007				0,0002						0,0031	0,0002											0,0066
K	0,0029		0,0269	0,0023			0,0007						0,0024	0,0001			0,0001								0,0353
Li	0,0038		0,0002	0,4924			0,0008						0,0006				0,0001								0,4979
Mg	0,0217		0,0615	0,0065			0,0018						0,0325	0,0033		0,0140	0,0002			0,0079					0,1552
Mn	0,0158		0,0015				0,0059						0,0227	0,0014			0,0008								0,0461
Mo	0,0182		0,0052				0,0048						0,0737	0,0042			0,0006								0,1047
Na			0,3578										0,0074	0,0004											0,3773
Nb	0,0120			0,0117																					0,0146
Ni	0,7529		0,0118	0,0026			0,0824						0,0585	0,0056			0,0104								0,9298
Pb				0,0061																					
P			0,0206																						0,0206
Pt																									
Sb																									
Si			1,5079										0,0157	0,0018		0,0093		0,0890		0,0053					1,6315
Sn	0,5442		0,0156				0,0377						0,0523	0,0039			0,0048								0,6584
Sr			0,0949																						0,0949
Ta																									
Ti	0,0694		0,0016	0,0020			0,0013						0,0035	0,0002			0,0002								0,0781
V				0,0001																					0,0001
W	0,2997		0,0246	0,0160			0,4087						0,7228	0,0516			0,0518								1,5802
Zn	0,2174			0,0001			0,0065						0,0028	0,0003			0,0008								0,2279
Zr	0,0187		0,0011	0,0002			0,0020						0,0038	0,0001			0,0003	1,0455							1,0402
Nd																			0,4947						
Sulfon																									
Glass																									
Others																									
Gesamt (Mj)	7,3219	28,2482					1,1662					2,7885			0,0901	1,5678	0,1478		1,6834	0,4137	0,0000		0,0000	0,7680	71,7743
	16,7530	20,7580	31,1370	34,4150	7,9902	31,0278	3,1671	0,4890	14,6050	0,8520	0,0000	7,4857	0,9648	0,0901	0,0890	1,7610	0,4014	3,4050	0,4947	0,0000	0,0000	0,9030	0,0000	0,7680	155,0052

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 58: Materialzusammensetzung S20 auf Sub-Sub-Komponentenebene



Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie				Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Div.	Kamera				Lautsprecher		Vibrationsmotor			Div.	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.			Div.	Linse Gehäuse	Linse	Beleuchtungseinheit Rahmen	Linse	Div.	Licht	Gehäuse	Div.	Fokussiungs-einheit	Gehäuse	Magnet	Kupfer-kabel	Magnet Spule	Magnet	Gehäuse	Div.	Ladeeinheit Magnet		Gesamt
Anzahl der Materialien Nr	23	2	25	1	1	1	18	3	1	22		1	1	0	4	23	4	21	18	1	4	1	5	3	0	1	3	4	0	1	1		50
ABS																																	
PC																							8,8805										15,4855
PC+GF												14,6050																					0,4800
PC/ABS-GF																																	14,5306
PC/ABS		14,5306																															0,5474
PE						2,5159																											5,1929
PMMA							0,5474																										
PVC							2,5770																										
Al	0,0250		0,0014						0,0047						0,0061																		0,0382
Al	0,1677	6,2274	0,3256	0,5031				4,7658	0,0253						2,5611	0,1360	0,3914	0,0074	0,0007	1,5290	0,0006		0,8642						0,4960				18,5460
Ag												0,8520									0,0032												
As	0,0137		0,0003						0,0018						0,0069																		0,0069
B																																	0,0616
Ba	0,2917		0,1143				0,0065		0,0019						0,0352		0,0019	0,0001		0,0002				0,0418				0,0198					0,4459
Be																																	
Bi																																	
C																																	
Ca	0,1965		0,1603				0,0257		0,0141						0,0215		0,0012	0,0004		0,0018													0,4216
Cd																																	
Co	0,0249		0,0023				2,2372		0,0400						0,0601		0,0003	0,0012		0,0061													2,3740
Cr	0,1458		0,0177						0,0240						0,0748		0,0018	0,0080		0,0369													0,3794
Cu	4,9858		0,0553				0,3031		0,9849						0,3774		0,0315	0,0980		0,1223					0,0345					0,9030			9,7400
Fe	1,5879		0,1288		1,7342		0,0955		0,3306					0,0091	0,2651	0,0011	0,0145	0,0097		0,0955	0,0421	2,3977				1,1344	0,0014					0,7690	6,7044
Ga																																	
In	0,0025		0,0007						0,0002						0,0031		0,0002																
K	0,0029		0,0269				0,0023		0,0007						0,0024		0,0001				0,0001												0,0263
Li	0,0038		0,0002				0,4924		0,0008						0,0006						0,0001												0,4979
Mg	0,0217		0,0615				0,0065		0,0018					0,0235	0,0090	0,0028	0,0005	0,0001		0,0140	0,0002		0,0079					0,0037				0,1152
Mn	0,0158		0,0015						0,0059						0,0227		0,0012	0,0002			0,0008												0,0481
Mo	0,0182		0,0032						0,0048						0,0737		0,0040	0,0001			0,0006												0,0973
Na			0,3978				0,0127								0,0074		0,0004																0,4178
Nb	0,0120						0,0026																										0,0147
Ni	0,7539		0,0118				0,0081		0,0824					0,0585		0,0032	0,0024			0,0104													0,9308
Pb																																	
P			0,0206																														0,0206
Pt																																	
Sb																																	
Si	0,5442		1,5079						0,0377					0,0157		0,0018	0,0029	0,0011		0,0093	0,0048		0,0890	0,0053				0,0025					1,6315
Sn			0,0156												0,0523																		0,6584
Sr			0,0909																														0,0909
Ta																																	
Ti	0,0694		0,0016				0,0020		0,0913						0,0035		0,0002				0,0097	0,0119											0,0781
V							0,0001																										0,0001
W	0,2997		0,0246				0,0160		0,4087						0,7278		0,0002	0,0002			0,0002												1,5802
Zn	0,2174								0,0065						0,0028			0,0002			0,0008												0,2279
Zr	0,0187		0,0011				0,0002		0,0020						0,0008			0,0001			0,0003												0,0232
NdFeB																																	
Silikon																																	
Glass																																	
Others																																	
Gesamt [Mg]	7,3319	28,2432	31,1370	0,5031	1,7342	2,6159	34,4150	7,5902	3,1671	0,4800	14,6050	0,8520	0,0000	2,6094	4,8783	0,3071	0,2659	0,0938	0,0801	1,5578	0,4014	3,4850	0,0890	1,7610	0,0000	0,0345	0,0000	1,6489	0,4137	0,0000	0,9030	0,0000	0,7690	155,0062
	16,7530	20,7640																															71,7743

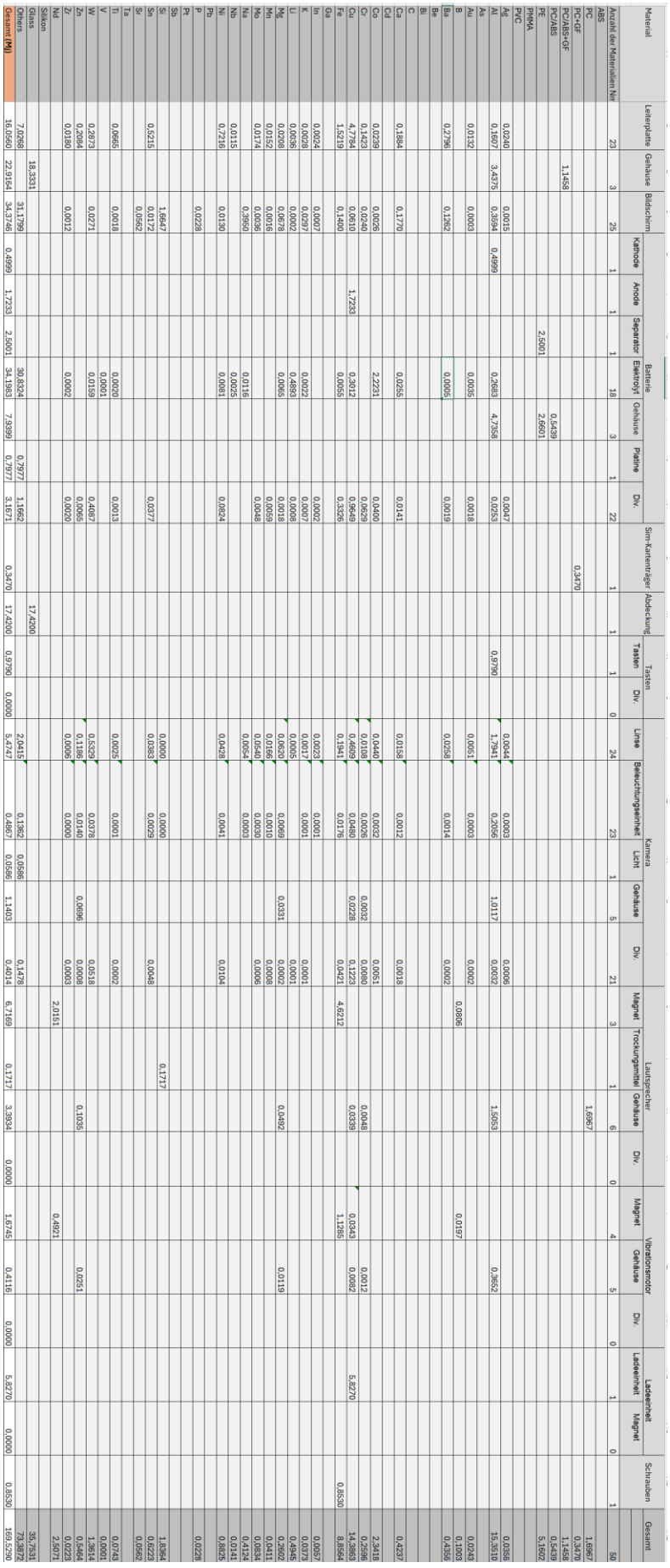
TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 59: Materialzusammensetzung S21 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	3	25	27	1	1	1	23	10	8	1	1	50
ABS													
PC									1,6967				1,6967
PC+GF					0,3470								0,3470
PC/ABS+GF		1,1458											1,1458
PC/ABS				0,5439									0,5439
PE				5,1602									5,1602
PMMA													
PVC													
Ag	0,0240		0,0015	0,0047				0,0054					0,0356
Al	0,1607	3,4375	0,3594	5,5293			0,0000	3,0146	1,5053	0,3652			14,3720
As													
Au	0,0132		0,0003	0,0053				0,0056					0,0243
B									0,0806	0,0197			0,1003
Ba	0,2796		0,1262	0,0024				0,0274					0,4356
Be													
Bi													
C													
Ca	0,1884		0,1770	0,0396				0,0187					0,4237
Cd													
Co	0,0239		0,0026	2,2631				0,0523					2,3418
Cr	0,1423		0,0240	0,0629				0,0245	0,0048	0,0012			0,2596
Cu	4,7784		0,0610	2,9894				0,6540	0,0339	0,0425	5,8270		14,3863
Fe	1,5219		0,1400	0,3380				0,2539	4,6212	1,1285		0,8530	8,8564
Ga													
In	0,0024		0,0007	0,0002				0,0024					0,0057
K	0,0028		0,0297	0,0030				0,0019					0,0373
Li	0,0036		0,0002	0,4901				0,0006					0,4945
Mg	0,0208		0,0678	0,0083				0,1022	0,0492	0,0119			0,2602
Mn	0,0152		0,0016	0,0059				0,0184					0,0411
Mo	0,0174		0,0036	0,0048				0,0576					0,0834
Na			0,3950	0,0116				0,0057					0,4124
Nb	0,0115			0,0025									0,0141
Ni	0,7216		0,0130	0,0905				0,0574					0,8825
Pb													
P			0,0228										0,0228
Pt													
Sb													
Si			1,6647						0,1717				1,8364
Sn	0,5215		0,0172	0,0377				0,0459					0,6223
Sr			0,0562										0,0562
Ta													
Ti	0,0665		0,0018	0,0032				0,0028					0,0743
V				0,0001									0,0001
W	0,2873		0,0271	0,4245				0,6224					1,3614
Zn	0,2084			0,0065				0,2030	0,1035	0,0251			0,5464
Zr	0,0180		0,0012	0,0023				0,0009					0,0223
Nd									2,0151	0,4921			2,5071
Silikon													
Glass		18,3331				17,4200							35,7531
Others	7,0268		31,1799	32,7963				2,3841					73,3872
Gesamt (MJ)	16,0560	22,9164	34,3746	50,8263	0,3470	17,4200	0,0000	7,5616	10,2820	2,0861	5,8270	0,8530	168,5500

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

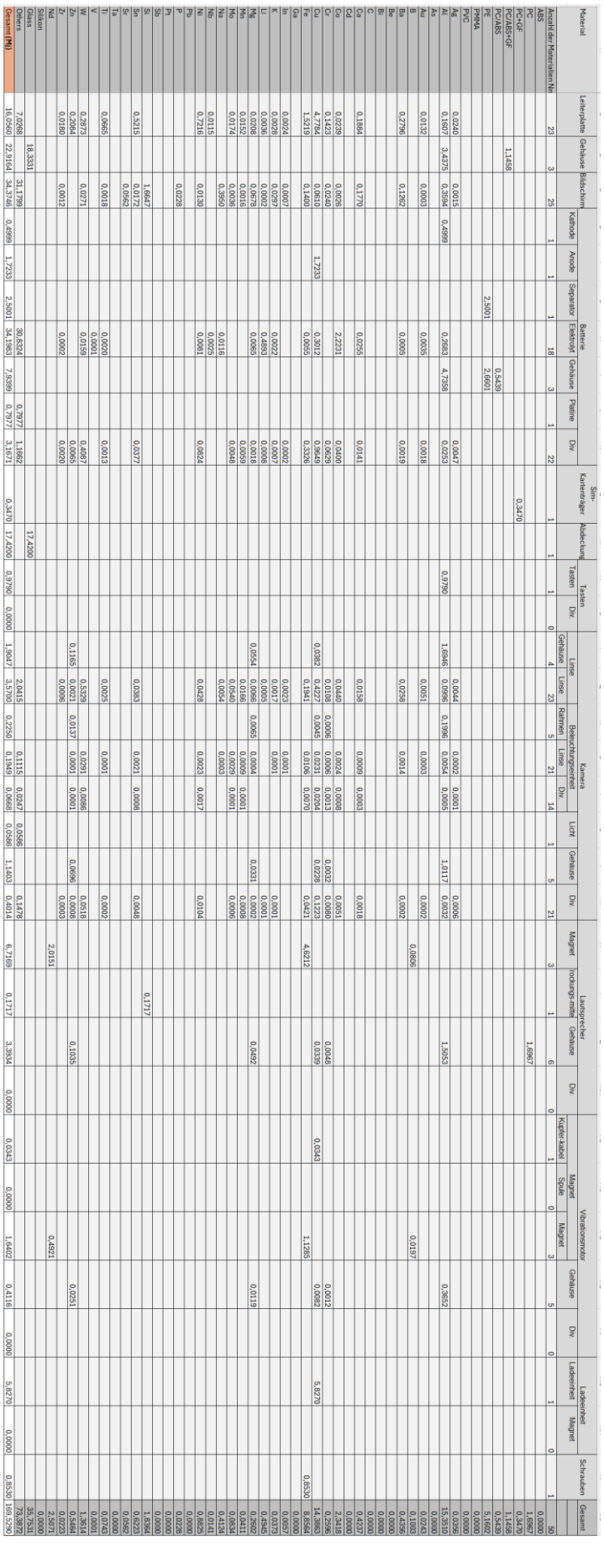
Tabelle 60: Materialzusammensetzung S21 auf Sub-Komponentenebene



Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Batterie Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Tasten Div.	Linse	Beleuchtungseinheit	Kamera Licht	Kamera Gehäuse	Div.	Magnet	Lautsprecher Trockungsmittel	Lautsprecher Gehäuse	Div.	Magnet	Vibrationsmotor Gehäuse	Div.	Ladeeinheit Ladeeinheit	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nrr	23	3	25	1	1	1	18	3	1	22	1	1	1	0	24	23	1	5	21	3	1	6	0	4	5	0	1	0	1	50
ABS																														
PC																														
PC+GF																						1,6967								1,6967
PC/ABS+GF											0,3470																			0,3470
PC/ABS		1,1458																												1,1458
PE						2,5601		0,5439																						5,1642
PMMA								2,6601																						
PVC																														
Ag		0,0240	0,0015							0,0047					0,0044	0,0003			0,0006											0,0356
Al	0,1607	3,4375	0,3594	0,4999			4,7358			0,0253			0,9790		1,7941	0,2056		1,0117	0,0032			1,5053			0,3652					15,3510
As																														
Au	0,0132		0,0003				0,0035			0,0018					0,0051	0,0003			0,0002											0,0249
B																														
Ba	0,2796		0,1262				0,0005			0,0019					0,0258	0,0014			0,0002	0,0896					0,0197					0,4356
Be																														
Bi																														
C																														
Ca	0,1864		0,1770				0,0255			0,0141					0,0158	0,0012			0,0018											0,4237
Cd																														
Co	0,0239		0,0026				2,2231			0,0400					0,0440	0,0032			0,0051											2,3418
Cr	0,1423		0,0240							0,0629					0,0108	0,0026		0,0032	0,0060											0,2506
Cu	4,7764		0,0610				0,3012			0,9649					0,4609	0,0480		0,0228	0,1223			0,0339			0,0892		5,8270			14,3863
Fe	1,8219		0,1400		1,7233		0,0055			0,3326					0,1941	0,0176			0,0421	4,6212				0,0343	0,1285				0,8530	8,8564
Ga																														
In	0,0024		0,0007				0,0022			0,0002					0,0023	0,0001			0,0001											0,0057
K	0,0028		0,0297				0,4893			0,0007					0,0017	0,0001			0,0001											0,0378
Li	0,0036		0,0002				0,0095			0,0008					0,0005	0,0020		0,0331	0,0001			0,0492			0,0119					0,4945
Mg	0,0208		0,0678							0,0018					0,0020	0,0069			0,0002											0,2602
Mn	0,0152		0,0016							0,0069					0,0166	0,0010			0,0008											0,0411
Mo	0,0174		0,0036							0,0048					0,0540	0,0030			0,0006											0,0834
Na			0,3960				0,0116								0,0054	0,0003														0,4124
Nb	0,0115						0,0025																							0,0141
Ni	0,7216		0,0130				0,0081			0,0824					0,0428	0,0041			0,0104											0,8826
Pb																														
P			0,0228																											0,0228
Pt																														
Sb																														
Si			1,6647												0,0000	0,0000					0,1717									1,8364
Sn	0,5215		0,0172							0,0377					0,0383	0,0029			0,0048											0,6223
Sr			0,0562																											0,0562
Ta																														
Ti	0,0655		0,0018				0,0020			0,0013					0,0025	0,0001			0,0002											0,0748
V							0,0001																							0,0001
W	0,2873		0,0271				0,0159			0,4087					0,0078	0,0140			0,0518											1,3614
Zn	0,2894						0,0001			0,0065					0,1185	0,0001			0,0008							0,0251				0,5464
Zr	0,0180		0,0012				0,0002			0,0020					0,0006	0,0000		0,0096	0,0003	2,0151		0,1035								2,3071
Nur																								0,4921						0,4921
Silikon																														
Glass																														
Others		18,3331									17,4200																			35,7531
Gesamt (Mg)	7,0268	22,9164	31,1799	0,4999	1,7233	2,5601	5,1983	2,6839	0,7977	3,1671	0,3470	17,4200	0,9790	0,0000	5,4747	0,4897	0,0586	1,1403	0,4014	6,7169	0,1717	3,3934	0,0000	1,6745	0,4116	0,0000	5,8270	0,0000	0,8530	78,3872
	16,0960		34,3746				34,1983																							169,5290

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 61: Materialzusammensetzung S21 auf Sub-Sub-Komponentenebene



Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Batterie Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Tasten Div.	Linse Gehäuse	Linse	Kamera Beleuchtungseinheit Rahmen	Kamera Beleuchtungseinheit Linse	Kamera Beleuchtungseinheit Div.	Licht	Gehäuse	Div.	Lautsprecher Magnet	Lautsprecher Hookangs-mittel	Lautsprecher Gehäuse	Div.	Vibrationsmotor Magnet Säule	Vibrationsmotor Kupfer-kabel	Vibrationsmotor Magnet	Vibrationsmotor Gehäuse	Div.	Ladeeinheit Ladeeinheit	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nr.	23	3	25	1	1	1	18	3	1	22	1	1	1	0	4	23	3	21	14	1	5	21	3	1	6	0	1	3	5	0	1	1	30	1
ABS																																	0,0000	
PC																																	1,6967	
PC+GF																									1,6967								0,3470	
PC/ABS+GF											0,3470																						1,1458	
PC/ABS		1,1458																															0,5439	
PE						2,5001		0,5439																									5,1602	
PMMA								2,6601																									0,0000	
PVC										0,0047						0,0044																	0,0000	
As	0,0040		0,0015							0,0253						0,0946																	15,2035	
Al	0,1807	3,4375	0,3894	0,4999			0,2683	4,7368					0,9796																				0,3652	
As																									1,5053								0,0000	
Au	0,0132		0,0003				0,0035			0,0018						0,0051																	0,0243	
B																																	0,1003	
Ba	0,2796		0,1262				0,0005			0,0019						0,0258																	0,4356	
Be																																	0,0000	
Bi																																	0,0000	
C																																	0,0000	
Ca	0,1884		0,1770				0,0255			0,0141						0,0158						0,0018											0,4207	
Cd																																	0,0000	
Co	0,0239		0,0026				2,2231			0,0400						0,0024						0,0951											2,3870	
Cr	0,1423		0,0240							0,0629						0,0198	0,0006	0,0006	0,0006			0,0090								0,0012			0,2596	
Cu	4,7784		0,8610				0,3012			0,9649					0,0282	0,4227	0,0045	0,0231	0,0204		0,0228	0,1223			0,0339				0,0092			5,8270		14,3863
Fe	1,5219		0,1400		1,7233		0,0055			0,3326						0,1941		0,0106	0,0070			0,0421		4,6212				0,0343		1,1285				0,8530	8,8564
Ga																																	0,0000	
In	0,0024		0,0007							0,0002						0,0023		0,0001				0,0001											0,0057	
K	0,0028		0,0297				0,0022			0,0007						0,0017		0,0001				0,0001											0,0373	
Li	0,0036		0,0092				0,4893			0,0008						0,0005						0,0001											0,4945	
Mg	0,0208		0,0678				0,0065			0,0018					0,0554	0,0096	0,0065	0,0004				0,0002								0,0119			0,2602	
Mn	0,0152		0,0116							0,0059						0,0186		0,0009	0,0001			0,0008											0,0411	
Mo	0,0174		0,0058							0,0048						0,0054		0,0003	0,0001			0,0006											0,0344	
Na			0,3850				0,0116									0,0054		0,0003															0,4024	
Nb	0,0115						0,0025																										0,0141	
Ni	0,7216		0,0130				0,0081			0,0624					0,0428		0,0023	0,0017			0,0104												0,8825	
Pb																																	0,0000	
P			0,0228																														0,0228	
Pt																																	0,0000	
Sb																								0,1717									0,1717	
Si	1,6647																																1,6364	
Sn	0,5215		0,0172							0,0377						0,0383		0,0021	0,0008			0,0048											0,6223	
Ta			0,0562																														0,0562	
Ti	0,0665		0,0018				0,0020			0,0013						0,0025		0,0001															0,0743	
V							0,0001																										0,0001	
W	0,2873		0,0271				0,0159			0,4087						0,5329		0,0291	0,0086			0,0518											1,3614	
Zn	0,2984									0,0065						0,0021	0,0137	0,0001	0,0001		0,0696	0,0008			0,1035					0,0251			0,5464	
Zr	0,0180		0,0012				0,0002			0,0020					0,1165	0,0006				0,0586	0,0003												0,0223	
Nd																							2,0151										2,5071	
Silikon																														0,4921			0,0000	
Glass																																	0,0000	
Others	18,3331										17,4200																						35,7531	
Gesamt (Mi)	7,0268	3,4375	31,1799	0,4999	1,7233	2,5001	30,8324	7,3939	0,7977	1,1862	0,3470	17,4200	0,9796	0,0000	1,1947	2,0415	0,2260	0,1115	0,0247	0,0586	1,1403	0,4014	6,7169	0,1717	3,3934	0,0000	0,0343	1,6402	0,4116	0,0000	5,8270	0,0000	0,8530	193,3230
	16,0960	22,9164	34,3746				34,1983		1,1671							3,5760		0,1349	0,0698	0,0586														

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 62: Materialzusammensetzung S22 auf Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nm	23	2	25	17	0	1	0	25	21	9	1	1	50
ABS													
PC		45,5271				15,5360		5,3440	2,3760	0,0000			68,7831
PC+GF													
PC/ABS+GF													
PC/ABS				13,3580									13,3580
PE				1,0762									1,0762
PMMA													
PVC													
Ag	0,0364		0,0024					0,0033	0,0002				0,0424
Al	0,2441		1,3635	1,7603				1,7555	0,0009	0,1916			5,3160
As													
Au	0,0200		0,0017	0,0010				0,0029	0,0001				0,0257
B									0,0295	0,0103			0,0398
Ba	0,4248		0,0344	0,0002				0,0130	0,0001				0,4725
Be													
Bi													
C													
Ca	0,2862		0,8116					0,0112	0,0005				1,1094
Cd													
Co	0,0363		0,0160	0,3110				0,0314	0,0014				0,3961
Cr	0,2161		0,0774					0,0211	0,0022	0,0006			0,3176
Cu	7,2589		0,2695	3,5798				0,5199	0,0344	0,0223			11,6848
Fe	2,3119	0,4599	0,5018					0,2046	1,7009	0,5924		1,1660	6,9374
Ga													
In	0,0036		0,0047					0,0012					0,0094
K	0,0042		0,6638	0,0019				0,0010					0,6709
Li	0,0055		0,0006	0,3000				0,0004					0,3065
Mg	0,0316		0,7404					0,0037	0,0001	0,0063			0,7820
Mn	0,0230		0,0061					0,0096	0,0002				0,0390
Mo	0,0265		0,0078	0,0001				0,0274	0,0002				0,0620
Na			1,8296	0,0313				0,0026					1,8636
Nb	0,0175			0,0003									0,0178
Ni	1,0962		0,0482					0,0416	0,0029				1,1890
Pb													
P			0,2242										0,2242
Pt													
Sb													
Si			2,8962					0,2337					3,1299
Sn	0,7923		0,0234					0,0281	0,0013				0,8451
Sr			0,1391										0,1391
Ta													
Ti	0,1011		0,0137	0,0011				0,0015					0,1174
V				0,0004									0,0004
W	0,4364		0,1767	0,0166				0,3619	0,0146				1,0062
Zn	0,3165							0,0027	0,0002	0,0132			0,3326
Zr	0,0273		0,0956	0,0001				0,0008	0,0001				0,1239
Nd									0,7365	0,2583			0,9948
Silikon													
Glass													
Others	10,6746		47,7483	40,7167				1,3588	0,0416		0,7960		101,3360
Gesamt (Mj)	24,3910	45,9870	57,6970	61,1550	0,0000	15,5360	0,0000	9,9820	4,9439	1,0950	0,7960	1,1660	222,7489

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 63: Materialzusammensetzung S22 auf Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten Tasten	Tasten Div.	Kamera Linse	Kamera Beleuchtungseinheit	Kamera Licht	Gehäuse	Div.	Lautsprecher Magnet	Lautsprecher Trockungsmittel	Lautsprecher Gehäuse	Div.	Vibrationsmotor Gehäuse	Vibrationsmotor Magnet	Vibrationsmotor Div.	Ladeeinheit Ladeeinheit	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nr:	23	2	25	1	1	1	15	1	1	0	0	1	0	0	24	23	1	1	22	3	0	1	18	4	5	0	1	0	1	50
ABS																														
PC		45,5271																				2,3760								68,7931
PC+GF												15,5360						5,3440												
PC/ABS+GF																														
PC/ABS																														
PE						1,0762		13,3580																						13,3580
PMMA																														1,0762
PVC																														
Ag	0,0364		0,0024												0,0022				0,0012				0,0002							0,0424
Al	0,2441		1,3635	1,7240			0,0263								1,7491	0,0000			0,0064				0,0009		0,1916					5,3160
As																														
Au	0,0200		0,0017				0,0010								0,0025	0,0000			0,0004				0,0001							0,0257
B																														
Ba																														0,0098
Be	0,4248		0,0344				0,0002								0,0125	0,0000			0,0005	0,0295			0,0001	0,0103						0,4725
Bi																														
C																														
Ca	0,2852		0,8116												0,0077	0,0000			0,0036				0,0005							1,1084
Cd																														
Co	0,0383		0,0160				0,3110								0,0214	0,0000			0,0101				0,0014							0,3961
Cr	0,2161		0,0774												0,0053	0,0000			0,0159				0,0022		0,0006					0,3176
Cu	7,2589		0,2695				0,0098								0,2764	0,0000			0,2434				0,0344	0,0180	0,0043					11,6848
Fe	2,3119	0,4599	0,5018		3,5700										0,1207	0,0000			0,0839	1,6880			0,0119	0,5924						6,9374
Ga																														1,1660
In	0,0036		0,0047												0,0011	0,0000			0,0001											
K	0,0042		0,6638				0,0019								0,0008	0,0000			0,0002											0,0094
Li	0,0655		0,0006				0,3000								0,0002	0,0000			0,0002											0,6709
Mg	0,0316		0,7404												0,0032	0,0000			0,0004				0,0001		0,0063					0,3065
Mn	0,0230		0,0061												0,0081	0,0000			0,0015				0,0002							0,7920
Mo	0,0265		0,0078				0,0001								0,0262	0,0000			0,0012				0,0002							0,0390
Na			1,8296				0,0313								0,0026	0,0000														0,0620
Nb	0,0175		0,0482				0,0003												0,0208				0,0029							1,8636
Ni	1,0962														0,0208	0,0000														0,0178
P			0,2242																											1,1890
Pb																														
Pt																														0,2242
Sb																														
Si			2,8962												0,2337	0,0000														3,1299
Sn	0,7923		0,0234												0,0186	0,0000			0,0095				0,0013							0,8451
Sr			0,1391																											0,1391
Ta																														
Ti	0,1011		0,0137				0,0011								0,0012	0,0000			0,0003											0,1174
V							0,0004												0,1031				0,0146							0,0004
W	0,4364		0,1767				0,0166								0,0010	0,0000			0,0016				0,0002							0,1062
Zn	0,3165														0,0010	0,0000			0,0005				0,0001		0,0132					0,3326
Zr	0,0273		0,0956				0,0001								0,0003	0,0000				0,7365				0,2583						0,1239
Nd																														0,9948
Sonstiges																														
Others																														
Gesamt (Mg)	24,3910	46,9870	57,6970	1,7240	3,5700	1,0762	40,3868	13,3580	0,8300	0,0000	0,0000	15,5360	0,0000	0,0000	3,7960	0,0000	0,0730	5,3440	0,7960	2,4550	0,0000	2,3760	0,1129	0,8790	0,2160	0,0000	0,7960	0,0000	1,1660	222,7489

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 64: Materialzusammensetzung S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene

Material	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kabelsatz	Anode	Separator	Batterie Elektrolyt	Batterie Gehäuse	Platine	Div	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Tasten Div	Linse	Linse Gehäuse	Kamera Beleuchtungseinheit	Kamera Linse	Kamera Rahmen	Kamera Div	Licht	Licht Gehäuse	Div	Lautsprecher	Lautsprecher Gehäuse	Lautsprecher rockunge-mittel	Magnet	Div	Kopfhörkabel	Vibrationsmotor Magnet Spule	Vibrationsmotor Magnet	Vibrationsmotor Gehäuse	Div	Ladeeinheit Ladeelement	Ladeeinheit Magnet	Schrauben	Gesamt
Anzahl der Materialien Nr.	23	2	25	1	1	1	15	1	1	0	0	1	0	0	4	23	0	0	0	0	1	1	22	1	1	0	3	18	1	0	3	5	0	1	0	1	90
ABS												15,5360										5,3440			2,3760												68,7631
PC		45,5271																																			
PC+GF																																					
PC/ABS+GF																																					
PC/ABS								13,3580																													13,3580
PE						1,0762																															1,0762
PMMA																																					
PVC	0,0364		0,0024													0,0072							0,0002									0,1916					0,0424
Al	0,2441		1,3835	1,7340			0,0263									0,0404			1,7008				0,0064					0,0009									5,3360
As																																					
Au	0,0200		0,0017				0,0010									0,0029							0,0004					0,0001									0,0257
B																																					
Ba	0,4248		0,0344				0,0002									0,0125							0,0005				0,0295	0,0001				0,0103					0,4725
Be																																					
Bi																																					
C																																					
Ca	0,2862		0,8116													0,0077							0,0036					0,0005									1,1094
Cd																																					
Co	0,0363		0,0160				0,3110									0,0014							0,0101					0,0014									0,3961
Cr	0,2161		0,0774													0,0053							0,0159					0,0022				0,0006					0,3176
Cu	7,2589		0,2695				0,0098								0,0711	0,2053				0,0264			0,2434					0,0344		0,0180		0,0043					11,6648
Fe	2,3119	0,4599	0,5018		3,5760										0,0264	0,0943							0,0839				1,6890	0,0119								1,1660	6,9874
Ga																																					
In	0,0036		0,0047													0,0011							0,0001														0,0094
K	0,0042		0,6638				0,0019									0,0006							0,0002														0,6709
Li	0,0055		0,0006				0,3000									0,0002							0,0002														0,3065
Mg	0,0316		0,7404													0,0032							0,0004					0,0001				0,0063					0,7620
Mn	0,0230		0,0061													0,0081							0,0015					0,0002									0,0390
Mo	0,0285		0,0079				0,0001									0,0026							0,0012					0,0002									0,0404
Na	1,0078		1,8286				0,0013									0,0826							0,0208					0,0029									1,1660
Nb	0,0175						0,0003																														0,0178
Ni	1,0982		0,0482													0,0208							0,0208					0,0029									1,1890
Pb			0,2242																																		0,2242
P																																					
Pt																																					
Sb															0,2337	0,0186							0,0095					0,0013									3,1299
Si	0,7923		2,8962																																		0,4651
Sn			0,0234																																		0,1391
Sr			0,1391																																		0,1174
Ti	0,1011		0,0137				0,0011																0,0003														0,0034
V							0,0004									0,0012																					1,0062
W	0,4364		0,1767				0,0186									0,2588							0,1031					0,0146									0,3326
Zn	0,3165															0,0010							0,0016					0,0002				0,0132					1,8638
Zr	0,0273		0,0956				0,0001									0,0003							0,0005					0,0001									0,1239
Pd																											0,7365				0,2583						0,9948
Silikon																																					
Glass																																					
Others	10,6746																																				101,3363
Gesamt (Mj)	24,3910	45,9870	57,6970	1,7340	3,5760	1,0762	40,3980	13,3580	0,8300	0,0000	0,0000	15,5360	0,0000	0,0000	1,7340	0,9816	0,0000	0,0000	0,0000	0,0730	5,3440	0,7990	2,4590	0,0000	2,3760	0,1129	0,0180	0,0000	0,9610	0,2160	0,0000	0,7960	0,0000	1,1660	222,7469

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang B RPR-Berechnungen

Anhang B1 RPR-Berechnungen Mobiltelefone M1–M15

Tabelle 65: RPR Berechnung M1

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt				
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max	
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC			0,0669							0,0049		3,9016	7,6586	
PC+ GF20%		0,5542								0,1535		0,8516	2,7032	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,3265		0,0095		1,0000				0,2025		0,8084	2,3043	
PE				0,0139						0,0038		6,1669	8,0253	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC		0,1193								0,0331		3,0673	4,9189	
Ag	0,0018		0,0001					0,0004		0,0003		9,2544	11,5859	
Al			0,0169	0,2459						0,0691		2,0941	3,8561	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,5238	12,8606	
B										0,0000		0,0000	0,0000	
Ba			0,0128							0,0009		6,2879	10,0448	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0298	0,0006						0,0024		5,4594	8,7225	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0091	0,0553						0,0159		4,2872	5,9737	
Cr			0,0592							0,0044		4,0772	7,8342	
Cu	0,2602		0,0016	0,1480				0,0232		0,0855		2,3746	3,5480	
Fe	0,1134		0,2483						1,0000	0,0402		2,4082	4,6374	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	17,1137	
In			0,0001	0,0010						0,0003		10,0925	11,8103	
K			0,0001	0,0001						0,0000		14,0459	15,5899	
Li				0,0089						0,0025		6,8079	8,6663	
Mg			0,0034							0,0003		8,2004	11,9574	
Mn			0,0000	0,0247						0,0068		5,3402	7,1965	
Mo			0,0001							0,0000		13,7366	17,4935	
Na				0,0002						0,0001		12,2255	14,0839	
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		14,0519	15,7479	
Ni	0,0103		0,0255	0,0137						0,0074		6,0591	7,0818	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0010							0,0001		10,0009	13,7579	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0613							0,0045		4,0271	7,7840	
Sn	0,0252		0,0007					0,0028		0,0044		5,4451	7,8334	
Sr			0,0013							0,0001		9,5667	13,3236	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0035		0,0003					0,0003		0,0006		8,3667	10,6511	
V				0,0000						0,0000		18,4655	20,3240	
W			0,0008							0,0001		10,3678	14,1247	
Zn	0,0032									0,0005		8,2852	10,8582	
Zr				0,0000						0,0000		18,5388	20,3972	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							1,0000			0,0574		0,0000	4,1236	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5819		0,4605	0,4781				0,9728		0,2984		0,8588	1,7448	
Gesamt	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	Ht_v2	1,4072		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,5950	1,3651	2,3820	2,0940	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	3,006922934	Ht_v1	1,4072	3,0069	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,5304	0,4540	0,7922	0,6964	0,0000	0,0000	0,0000	0,0674	0,0000		Ht_rel_max	0,4680		
Hs_rel_MAX	0,2826	0,2419	0,4221	0,3710	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2493		
RPR_MAX	0,7174	0,7581	0,5779	0,6290	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7507	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht (\others)	1,6404		
													3,5436	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4629		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2907		
											RPRt_MAX(\others)	0,7093		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 66: RPR Berechnung M2

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS		0,6318						0,0000		0,0797		0,6625	3,6495	
PC			0,0668				0,6872			0,1152		0,6697	3,1181	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0095		1,0000				0,1153		0,1489	3,1162	
PE				0,0139						0,0038		6,1670	8,0575	
PMMA		0,3682								0,0464		1,4413	4,4282	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0016		0,0001					0,0004		0,0004		9,4422	11,4190	
Al			0,0169	0,2459						0,0674		2,0880	3,8905	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,6081	12,7488	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0128							0,0008		6,2881	10,2118	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0489	0,0006						0,0034		4,6556	8,2082	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0091	0,0553						0,0155		4,2778	6,0112	
Cr			0,0592							0,0039		4,0771	8,0009	
Cu	0,2233		0,0016	0,1480				0,0232		0,0903		2,4640	3,4691	
Fe	0,2389		0,2483						1,0000	0,0756		1,8786	3,7250	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	17,0728	
In			0,0001	0,0010						0,0003		10,0843	11,8464	
K			0,0001	0,0001						0,0000		14,0583	15,6606	
Li				0,0089						0,0024		6,8079	8,6984	
Mg			0,0034							0,0002		8,2006	12,1244	
Mn			0,0000	0,0247						0,0067		5,3401	7,2286	
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	17,6606	
Na				0,0002						0,0001		12,2255	14,1160	
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		14,0428	15,7850	
Ni	0,0088		0,0255	0,0137						0,0073		6,1548	7,0947	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0020							0,0001		8,9463	12,8701	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1274							0,0084		2,9725	6,8962	
Sn	0,0216		0,0021					0,0028		0,0050		5,6851	7,6363	
Sr												0,0000	0,0000	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0030		0,0003					0,0003		0,0007		8,5431	10,4897	
V				0,0000						0,0000		18,4655	20,3561	
W			0,0008							0,0000		10,3680	14,2918	
Zn	0,0028									0,0006		8,5055	10,6817	
Zr			0,0001	0,0000						0,0000		14,6094	17,6419	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,3128			0,0504		1,6767	4,3099	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4995		0,3742	0,4781				0,9728		0,2998		0,9485	1,7380	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3893		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7246	0,9493	2,5990	2,0940	0,0000	0,0000	0,8964	0,2026	0,0000	3,2489	Ht_v1	1,3893	3,2489	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,5308	0,2922	0,8000	0,6445	0,0000	0,0000	0,2759	0,0624	0,0000		Ht_rel_max	0,4276		
Hs_rel_MAX	0,3056	0,1682	0,4605	0,3710	0,0000	0,0000	0,1588	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2462		
RPR_MAX	0,6944	0,8318	0,5395	0,6290	1,0000	1,0000	0,8412	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7538	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht (\others)	1,5780		
													3,8957	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4051		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2796		
											RPRt_MAX(\others)	0,7204		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 67: RPR Berechnung M3

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt				
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max	
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC			0,2281				0,7848			0,0885		0,7922	3,4974	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,8537		0,1384		1,0000				0,3604		0,3035	1,4725	
PE				0,0203						0,0036		5,6193	8,1316	
PMMA		0,1463								0,0302		2,7729	5,0514	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0016		0,0003					0,0004		0,0004		9,5583	11,3035	
Al			0,0360	0,1145						0,0235		3,3727	5,4092	
As			0,0025							0,0002		8,6435	12,0188	
Au	0,0005		0,0003	0,0001				0,0004		0,0002		11,4688	12,5453	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0108							0,0010		6,5360	9,9113	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0220	0,0008						0,0023		5,7934	8,7955	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0017	0,0703						0,0125		3,9004	6,3240	
Cr			0,0208							0,0020		5,5891	8,9644	
Cu	0,2244		0,0035	0,1385				0,0232		0,0759		2,4491	3,7196	
Fe	0,2352		0,0887		1,0000		0,0744		1,0000	0,0770		2,1236	3,6987	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	16,8149	
In			0,0002	0,0012						0,0002		9,8718	12,0296	
K			0,0001	0,0001						0,0000		13,5653	15,4861	
Li				0,0114						0,0020		6,4611	8,9734	
Mg			0,0001							0,0000		14,2074	17,5827	
Mn			0,0000	0,0314						0,0055		4,9982	7,5028	
Mo			0,0000							0,0000		15,8811	19,2564	
Na				0,0003						0,0000		11,8787	14,3910	
Nb				0,0001						0,0000		13,5994	16,1117	
Ni	0,0088		0,0090	0,0174						0,0059		6,3142	7,4071	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0013							0,0001		9,5579	12,9332	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb			0,0038							0,0004		8,0408	11,4161	
Si			0,0766							0,0074		3,7067	7,0820	
Sn	0,0217		0,0006					0,0028		0,0050		5,6576	7,6299	
Sr			0,0176							0,0017		5,8321	9,2074	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0030		0,0001					0,0003		0,0007		8,4907	10,4971	
V				0,0000						0,0000		18,1188	20,6311	
W			0,0008							0,0001		10,2428	13,6181	
Zn	0,0028		0,0015							0,0008		8,6660	10,3554	
Zr			0,0005	0,0000						0,0001		10,9771	14,2525	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,1408			0,0119		2,8282	6,3876	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5020		0,4732	0,4553				0,9728		0,2805		0,9032	1,8341	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,2516		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7229	0,6005	2,3916	2,4067	0,0000	0,0000	0,9515	0,2026	0,0000	2,6797	Ht_v1	1,2516	2,6797	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6429	0,2241	0,8925	0,8981	0,0000	0,0000	0,3551	0,0756	0,0000		Ht_rel_max	0,4671		
Hs_rel_MAX	0,3053	0,1064	0,4237	0,4264	0,0000	0,0000	0,1686	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2218		
RPR_MAX	0,6947	0,8936	0,5763	0,5736	1,0000	1,0000	0,8314	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7782	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht (\others)	1,3874		
													3,0093	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4611		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2458		
											RPRt_MAX(\others)	0,7542		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 68: RPR Berechnung M4

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt				
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max	
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,5757				1,0000				0,2494		0,5074	2,0036	
PE												0,0000	0,0000	
PMMA		0,1697								0,0468		2,5591	4,4169	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0017		0,0002					0,0004		0,0007		9,3482	10,5594	
Al			0,0051							0,0006		7,6177	10,6155	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001					0,0004		0,0002		11,0931	12,2066	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0037							0,0005		8,0726	11,0704	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0327							0,0041		4,9336	7,9315	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0013							0,0002		9,5749	12,5728	
Cr			0,0004							0,0001		11,1393	14,1371	
Cu	0,2484		0,0040					0,0232		0,0898		2,1014	3,4764	
Fe	0,1536	0,2546	0,0038						1,0000	0,1423		2,0329	2,8133	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	16,2030	
In			0,0002							0,0000		12,0186	15,0164	
K			0,0031							0,0004		8,3476	11,3454	
Li												0,0000	0,0000	
Mg			0,0120							0,0015		6,3863	9,3842	
Mn			0,0001							0,0000		14,0899	17,0877	
Mo			0,0000							0,0000		15,4666	18,4644	
Na			0,0477							0,0060		4,3911	7,3890	
Nb												0,0000	0,0000	
Ni	0,0098		0,0001							0,0035		6,7041	8,1675	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0026							0,0003		8,6009	11,5987	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1532							0,0192		2,7068	5,7046	
Sn	0,0240		0,0012					0,0028		0,0088		5,5174	6,8227	
Sr												0,0000	0,0000	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0033		0,0003					0,0003		0,0012		8,3952	9,6653	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0028							0,0003		8,4855	11,4834	
Zn	0,0031									0,0011		8,3522	9,8526	
Zr			0,0000							0,0000		15,0556	18,0534	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							1,0000			0,0707		0,0000	3,8220	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5556		0,7255					0,9728		0,3523		0,5993	1,5050	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,1638		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,6545	1,3954	1,4419	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	2,5681	Ht_v1	1,1638	2,5681	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6442	0,5434	0,5615	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0789	0,0000		Ht_rel_max	0,4532		
Hs_rel_MAX	0,2931	0,2472	0,2555	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2062		
RPR_MAX	0,7069	0,7528	0,7445	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7938	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht(\others)	1,4709		
													3,1464	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4675		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2606234		
											RPRt_MAX(\others)	0,7393766		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 69: RPR Berechnung M5

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC		0,5362	0,0357				1,0000			0,2033		0,7746	2,2985	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,2794		0,0095		1,0000				0,2581		0,6391	1,9537	
PE				0,0139						0,0031		6,1669	8,3362	
PMMA		0,0701								0,0206		3,8353	5,6042	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0031		0,0003					0,0004		0,0004		8,6169	11,1312	
Al			0,0272	0,2459						0,0572		2,1647	4,1282	
As			0,0034							0,0003		8,2005	11,6249	
Au	0,0009		0,0005	0,0001				0,0004		0,0002		10,7437	12,3188	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0116							0,0011		6,4296	9,8541	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0212	0,0006						0,0021		5,8814	8,8897	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0011	0,0553						0,0124		4,2228	6,3351	
Cr			0,0342							0,0032		4,8686	8,2930	
Cu	0,4408		0,0348	0,1480				0,0232		0,0949		1,8878	3,3970	
Fe	0,3194	0,1143	0,1400						1,0000	0,0977		2,1615	3,3560	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	17,1883	
In			0,0002	0,0010						0,0002		10,1674	12,0673	
K			0,0002	0,0001						0,0000		13,3401	15,2227	
Li				0,0089						0,0020		6,8079	8,9772	
Mg			0,0001							0,0000		13,0457	16,4701	
Mn			0,0024	0,0247						0,0057		5,4710	7,4492	
Mo			0,0000							0,0000		15,3966	18,8210	
Na			0,0002	0,0002						0,0001		12,3238	13,9995	
Nb				0,0001						0,0000		13,9462	16,1155	
Ni	0,0174		0,0161	0,0137						0,0068		6,0244	7,1944	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0016							0,0002		9,2573	12,6818	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb			0,0057							0,0005		7,4629	10,8873	
Si			0,0905							0,0084		3,4663	6,8908	
Sn	0,0427		0,0020					0,0028		0,0059		4,7510	7,4078	
Sr			0,0217							0,0020		5,5293	8,9538	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0059		0,0009					0,0003		0,0009		7,7154	10,1721	
V				0,0000						0,0000		18,4655	20,6349	
W			0,0011							0,0001		9,8019	13,2263	
Zn	0,0054		0,0027							0,0010		7,7873	10,0158	
Zr			0,0004	0,0000						0,0000		11,3104	14,6068	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,1645		0,5444	0,4781				0,9728		0,2115		1,0177	2,2409	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,4247		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8905	1,6224	2,4432	2,0940	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	2,8804	Ht_v1	1,4247	2,8804	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6563	0,5632	0,8482	0,7270	0,0000	0,0000	0,0000	0,0703	0,0000		Ht_rel_max	0,4946		
Hs_rel_MAX	0,3350	0,2875	0,4329	0,3710	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2524		
RPR_MAX	0,6650	0,7125	0,5671	0,6290	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7476	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht (\others)	1,5339		
													3,0520	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,5026		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2718		
											RPRt_MAX(\others)	0,7282		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 70: RPR Berechnung M6

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt			
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max
ABS												0,0000	0,0000
PC			0,0669							0,0053		3,9029	7,5579
PC+ GF20%												0,0000	0,0000
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000
PC/ABS		0,5143		0,0095		1,0000	0,2681		0,2681	0,3062		0,6507	1,7074
PE				0,0139						0,0027		6,1669	8,5433
PMMA		0,0589								0,0170		4,0852	5,8757
PVC												0,0000	0,0000
Ag	0,0016		0,0001					0,0004		0,0003		9,4534	11,7098
Al			0,0169	0,2459						0,0487		2,1307	4,3600
As												0,0000	0,0000
Au	0,0005		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,5878	13,0350
B												0,0000	0,0000
Ba			0,0128							0,0010		6,2881	9,9431
Be												0,0000	0,0000
Bi												0,0000	0,0000
C												0,0000	0,0000
Ca			0,0121	0,0006						0,0011		6,8365	9,8656
Cd												0,0000	0,0000
Co			0,0091	0,0553						0,0114		4,3424	6,4594
Cr			0,0592							0,0047		4,0773	7,7323
Cu	0,2387		0,0016	0,1480				0,0232		0,0713		2,3928	3,8094
Fe	0,2135	0,4268	0,2483		1,0000		0,1995		0,1995	0,2074		1,5193	2,2696
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	17,1599
In			0,0001	0,0010						0,0002		10,1412	12,3044
K			0,0001	0,0001						0,0000		13,9834	15,8952
Li				0,0089						0,0017		6,8078	9,1842
Mg			0,0034							0,0003		8,2006	11,8557
Mn			0,0000	0,0247						0,0048		5,3412	7,7143
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	17,3918
Na				0,0002						0,0000		12,2255	14,6018
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		14,1053	16,2363
Ni	0,0090		0,0255	0,0137						0,0062		6,0533	7,3257
Pb												0,0000	0,0000
Pd			0,0010							0,0001		10,0009	13,6560
Pt												0,0000	0,0000
Sb												0,0000	0,0000
Si			0,0613							0,0049		4,0271	7,6821
Sn	0,0220		0,0014					0,0028		0,0041		5,6836	7,9398
Sr												0,0000	0,0000
Ta												0,0000	0,0000
Ti	0,0030		0,0003					0,0003		0,0006		8,5731	10,7700
V												0,0000	0,0000
W			0,0008							0,0001		10,3680	14,0230
Zn	0,0028									0,0005		8,4787	10,9890
Zr			0,0001							0,0000		13,9439	17,5989
Nd												0,0000	0,0000
Silikon							0,0860		0,0860	0,0075		3,5388	7,0592
Glass							0,4463		0,4463	0,0389		1,1638	4,6842
Others	0,5089		0,4789	0,4781				0,9728		0,2530		0,8965	1,9829
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,4141	
										Hs_max = Ht_max_v1			
Hs	1,7164	1,2583	2,2953	2,0939	0,0000	0,0000	1,7971	0,2026	1,7971	2,7013	Ht_v1	1,4141	2,7013 Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6354	0,4658	0,8497	0,7752	0,0000	0,0000	0,6653	0,0750	0,6653		Ht_rel_max	0,5235	
Hs_rel_MAX	0,3041	0,2230	0,4067	0,3710	0,0000	0,0000	0,3184	0,0359	0,3184		Ht_rel_MAX	0,2506	
RPR_MAX	0,6959	0,7770	0,5933	0,6290	1,0000	1,0000	0,6816	0,9641	0,6816		RPRt_MAX	0,7494	5,6439 Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
											Ht (\others)	1,5894	
													2,9446 Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,5398	
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2816	
											RPRt_MAX(\others)	0,7184	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 71: RPR Berechnung M7

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt				
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max	
ABS												0,0000	0,0000	
PC		0,7266								0,1767		0,4607	2,5007	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,0451				1,0000	0,1506			0,1774		0,4531	2,4951	
PE		0,0722								0,0176		3,7922	5,8322	
PMMA		0,1561								0,0380		2,6794	4,7194	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0012		0,0001					0,0004		0,0004		9,9207	11,2953	
Al			0,0238							0,0039		5,3942	7,9861	
As			0,0020							0,0003		8,9412	11,5331	
Au	0,0004		0,0003					0,0004		0,0002		11,4854	12,4308	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0079							0,0013		6,9887	9,5806	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0192							0,0032		5,7052	8,2971	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0030							0,0005		8,4005	10,9924	
Cr			0,0781							0,0130		3,6779	6,2698	
Cu	0,1764		0,0021					0,0232		0,0525		2,6336	4,2527	
Fe	0,3990		0,3502				0,7021		1,0000	0,2313		1,1533	2,1121	
Ga								0,0002		0,0000		12,3024	16,1828	
In			0,0002							0,0000		12,5891	15,1810	
K			0,0002							0,0000		12,5506	15,1425	
Li												0,0000	0,0000	
Mg			0,0001							0,0000		13,3322	15,9241	
Mn			0,0084							0,0014		6,8972	9,4891	
Mo			0,0000							0,0000		16,3402	18,9321	
Na												0,0000	0,0000	
Nb												0,0000	0,0000	
Ni	0,0070		0,0255							0,0062		5,8962	7,3303	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0011							0,0002		9,8512	12,4431	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb			0,0048							0,0008		7,6992	10,2911	
Si			0,0441							0,0073		4,5042	7,0961	
Sn	0,0171		0,0005					0,0028		0,0052		6,0458	7,5995	
Sr			0,0112							0,0018		6,4867	9,0786	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0024		0,0017					0,0003		0,0010		8,9289	9,9975	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0076							0,0013		7,0315	9,6234	
Zn	0,0022		0,0016							0,0009		8,9686	10,1252	
Zr			0,0001							0,0000		12,9615	15,5534	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,0410			0,0031		4,6077	8,3212	
Glass							0,1063			0,0081		3,2341	6,9476	
Others	0,3945		0,4064					0,9728		0,2465		0,9813	2,0204	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,2841		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7058	1,2283	2,3130	0,0000	0,0000	0,0000	1,3023	0,2026	0,0000	2,8353	Ht_v1	1,2841	2,8353	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6016	0,4332	0,8158	0,0000	0,0000	0,0000	0,4593	0,0715	0,0000		Ht_rel_max	0,4529		
Hs_rel_MAX	0,3022	0,2176	0,4098	0,0000	0,0000	0,0000	0,2307	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2275	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6978	0,7824	0,5902	1,0000	1,0000	1,0000	0,7693	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7725		
											Ht (\others)	1,3832	3,1019	Ht_max (\others)
										Ht_rel_max(\others)		0,4459		
										Ht_rel_MAX(\others)		0,2451		
										RPRt_MAX(\others)		0,7549		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 72: RPR Berechnung M8

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC			0,0494			1,0000				0,1197		0,2258	3,0625	
PC+ GF20%		0,2662								0,0751		1,9096	3,7351	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,6421		0,0095						0,1831		0,7031	2,4493	
PE				0,0139						0,0028		6,1670	8,4654	
PMMA		0,0917								0,0259		3,4469	5,2724	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0015		0,0000					0,0004		0,0003		9,6050	11,7377	
Al			0,0125	0,2459						0,0516		2,1556	4,2777	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,7495	13,0305	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0095							0,0012		6,7251	9,7119	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0089	0,0006						0,0012		7,1891	9,6501	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0067	0,0553						0,0121		4,3901	6,3714	
Cr			0,0435							0,0055		4,5214	7,5082	
Cu	0,2075		0,0012	0,1480				0,0232		0,0700		2,5305	3,8359	
Fe	0,2929		0,1834		1,0000				1,0000	0,0860		1,7914	3,5393	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	17,1405	
In			0,0001	0,0010						0,0002		10,1791	12,2190	
K			0,0001	0,0001						0,0000		14,1495	15,7552	
Li				0,0089						0,0018		6,8079	9,1064	
Mg			0,0025							0,0003		8,6377	11,6245	
Mn			0,0000	0,0247						0,0050		5,3417	7,6364	
Mo			0,0001							0,0000		14,1739	17,1607	
Na				0,0002						0,0000		12,2255	14,5240	
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		14,1501	16,1490	
Ni	0,0082		0,0189	0,0137						0,0067		6,1981	7,2230	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0007							0,0001		10,4382	13,4250	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0453							0,0057		4,4643	7,4511	
Sn	0,0201		0,0010					0,0028		0,0040		5,8469	7,9655	
Sr			0,0010							0,0001		10,0039	12,9907	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0028		0,0003					0,0003		0,0006		8,7513	10,7900	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0006							0,0001		10,8050	13,7918	
Zn	0,0026									0,0005		8,6117	11,0241	
Zr			0,0000							0,0000		14,3809	17,3677	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							1,0000			0,0443		0,0000	4,4969	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4641		0,6144	0,4781				0,9728		0,2959		0,8646	1,7568	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3508		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7377	1,2347	1,9286	2,0939	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	3,1159	Ht_v1	1,3508	3,1159	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,5577	0,3963	0,6190	0,6720	0,0000	0,0000	0,0000	0,0650	0,0000		Ht_rel_max	0,4335		
Hs_rel_MAX	0,3079	0,2188	0,3417	0,3710	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2393	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6921	0,7812	0,6583	0,6290	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7607		
											Ht (\others)	1,5551	3,6870	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4218		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2755		
											RPRt_MAX(\others)	0,7245		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 73: RPR Berechnung M9

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC							0,2691			0,0256		1,8938	5,2878	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,6277				1,0000				0,3608		0,3043	1,4708	
PE												0,0000	0,0000	
PMMA		0,1666								0,0434		2,5857	4,5271	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0013		0,0002					0,0004		0,0004		9,7004	11,1190	
Al			0,0051							0,0005		7,6177	11,1040	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0001					0,0004		0,0001		11,4531	12,8391	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0037							0,0003		8,0726	11,5588	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0327							0,0029		4,9336	8,4199	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0013							0,0001		9,5749	13,0612	
Cr			0,0004							0,0000		11,1393	14,6255	
Cu	0,1860		0,0040					0,0232		0,0617		2,4782	4,0197	
Fe	0,3661	0,2057	0,0038				0,1189		1,0000	0,1980		1,6838	2,3364	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	18,1273	
In			0,0002							0,0000		12,0186	15,5049	
K			0,0031							0,0003		8,3476	11,8339	
Li												0,0000	0,0000	
Mg			0,0120							0,0011		6,3863	9,8726	
Mn			0,0001							0,0000		14,0899	17,5761	
Mo			0,0000							0,0000		15,4666	18,9528	
Na			0,0477							0,0043		4,3911	7,8774	
Nb												0,0000	0,0000	
Ni	0,0073		0,0001							0,0024		7,1199	8,6953	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0026							0,0002		8,6009	12,0872	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1532							0,0137		2,7068	6,1931	
Sn	0,0180		0,0012					0,0028		0,0061		5,8865	7,3687	
Sr												0,0000	0,0000	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0025		0,0003					0,0003		0,0008		8,7647	10,2076	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0028							0,0002		8,4855	11,9718	
Zn	0,0023									0,0008		8,7693	10,3806	
Zr			0,0000							0,0000		15,0556	18,5419	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,6120			0,0582		0,7084	4,1024	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4161		0,7255					0,9728		0,2181		0,9305	2,1970	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,1649		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7234	1,3218	1,4419	0,0000	0,0000	0,0000	1,3084	0,2026	0,0000	2,5533	Ht_v1	1,1649	2,5533	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6750	0,5177	0,5647	0,0000	0,0000	0,0000	0,5124	0,0793	0,0000		Ht_rel_max	0,4562		
Hs_rel_MAX	0,3054	0,2342	0,2555	0,0000	0,0000	0,0000	0,2318	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2064	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6946	0,7658	0,7445	1,0000	1,0000	1,0000	0,7682	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7936		
											Ht (\others)	1,2303	2,6527	Ht_max (\others)
										Ht_rel_max(\others)		0,4638		
										Ht_rel_MAX(\others)		0,2180		
										RPRt_MAX(\others)		0,7820		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 74: RPR Berechnung M10

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC			0,0668				0,4992			0,0585		1,1740	4,0965	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,8137		0,1384		1,0000				0,3144		0,4123	1,6695	
PE				0,0203						0,0045		5,6192	7,7928	
PMMA		0,1863								0,0324		2,4245	4,9475	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0018		0,0001					0,0004		0,0004		9,2908	11,1922	
Al			0,0169	0,1145						0,0263		3,2190	5,2514	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001	0,0001				0,0004		0,0002		11,3589	12,4916	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0128							0,0007		6,2881	10,5585	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0121	0,0008						0,0008		7,2172	10,3017	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0091	0,0703						0,0160		3,9175	5,9619	
Cr			0,0592							0,0031		4,0778	8,3482	
Cu	0,2581		0,0016	0,1385				0,0232		0,0889		2,3399	3,4917	
Fe	0,1205		0,2483						1,0000	0,0450		2,3573	4,4724	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	16,0194	
In			0,0001	0,0012						0,0003		9,7244	11,7934	
K			0,0001	0,0001						0,0000		13,8240	15,6998	
Li				0,0113						0,0025		6,4616	8,6352	
Mg			0,0034							0,0002		8,2006	12,4710	
Mn			0,0000	0,0314						0,0070		4,9934	7,1655	
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	18,0072	
Na				0,0003						0,0001		11,8792	14,0528	
Nb				0,0001						0,0000		13,5999	15,7735	
Ni	0,0102		0,0255	0,0174						0,0074		5,9796	7,0792	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0010							0,0001		10,0010	14,2714	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0613							0,0032		4,0272	8,2976	
Sn	0,0250		0,0014					0,0028		0,0057		5,4919	7,4454	
Sr			0,0013							0,0001		9,5668	13,8372	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0035		0,0003					0,0003		0,0008		8,3577	10,2951	
V				0,0000						0,0000		18,1193	20,2929	
W			0,0008							0,0000		10,3680	14,6384	
Zn	0,0032									0,0007		8,2969	10,4923	
Zr			0,0001	0,0000						0,0000		14,7243	17,9214	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,5008			0,0552		0,9978	4,1802	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5773		0,4777	0,4554				0,9728		0,3257		0,7485	1,6183	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,2501		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,6071	0,6936	2,3079	2,4065	0,0000	0,0000	1,0000	0,2026	0,0000	2,7287	Ht_v1	1,2501	2,7287	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,5890	0,2542	0,8458	0,8819	0,0000	0,0000	0,3665	0,0742	0,0000		Ht_rel_max	0,4581		
Hs_rel_MAX	0,2847	0,1229	0,4089	0,4264	0,0000	0,0000	0,1772	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2215	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,7153	0,8771	0,5911	0,5736	1,0000	1,0000	0,8228	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7785		
											Ht (\others)	1,4925	3,2651	Ht_max (\others)
										Ht_rel_max(\others)		0,4571		
										Ht_rel_MAX(\others)		0,2644		
										RPRt_MAX(\others)		0,7356		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 75: RPR Berechnung M11

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC			0,0668							0,0052		3,9047	7,5858	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,1901		0,1384		1,0000	0,8871			0,2771		0,8221	1,8515	
PE		0,6138		0,0203						0,1824		0,8293	2,4549	
PMMA		0,0752								0,0218		3,7338	5,5218	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0028		0,0001					0,0004		0,0005		8,5880	11,0624	
Al			0,0169	0,1145						0,0275		3,2594	5,1861	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0008		0,0001	0,0001				0,0004		0,0002		10,8613	12,4751	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0128							0,0010		6,2881	9,9692	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0121	0,0008						0,0011		6,9924	9,8117	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0091	0,0703						0,0168		3,9556	5,8994	
Cr			0,0592							0,0046		4,0776	7,7587	
Cu	0,4013		0,0016	0,1385				0,0232		0,0967		1,8567	3,3701	
Fe	0,3799	0,1209	0,2483		1,0000				1,0000	0,1367		1,6869	2,8706	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	17,4819	
In			0,0001	0,0012						0,0003		9,7571	11,7360	
K			0,0001	0,0001						0,0000		13,8021	15,5152	
Li				0,0113						0,0026		6,4616	8,5920	
Mg			0,0034							0,0003		8,2006	11,8817	
Mn			0,0000	0,0314						0,0072		4,9940	7,1222	
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	17,4179	
Na				0,0003						0,0001		11,8792	14,0096	
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		13,7191	15,6735	
Ni	0,0158		0,0255	0,0174						0,0085		5,7571	6,8793	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0010							0,0001		10,0010	13,6821	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0613							0,0048		4,0271	7,7082	
Sn	0,0388		0,0014					0,0028		0,0064		4,8135	7,2850	
Sr			0,0013							0,0001		9,5667	13,2478	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0054		0,0003					0,0003		0,0009		7,7007	10,1240	
V				0,0000						0,0000		18,1193	20,2497	
W			0,0008							0,0001		10,3680	14,0491	
Zn	0,0049									0,0008		7,6602	10,3015	
Zr			0,0001	0,0000						0,0000		14,5112	17,4182	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,1129			0,0043		3,1468	7,8739	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,1502		0,4777	0,4554				0,9728		0,1922		1,1690	2,3795	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,4970		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8573	1,5367	2,3081	2,4065	0,0000	0,0000	0,5086	0,2026	0,0000	2,8793	Ht_v1	1,4970	2,8793	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6450	0,5337	0,8016	0,8358	0,0000	0,0000	0,1766	0,0703	0,0000		Ht_rel_max	0,5199		
Hs_rel_MAX	0,3291	0,2723	0,4090	0,4264	0,0000	0,0000	0,0901	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2653	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6709	0,7277	0,5910	0,5736	1,0000	1,0000	0,9099	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7347		
											Ht (\others)	1,5751	2,9982	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,5253		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2791		
											RPRt_MAX(\others)	0,7209		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 76: RPR Berechnung M12

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatt	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS		0,7736					0,1525			0,1317		0,6643	2,9245	
PC							0,3520			0,0381		1,5063	4,7124	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,1384		1,0000				0,1767		0,6066	2,5006	
PE				0,0203						0,0055		5,6194	7,5006	
PMMA		0,2264								0,0337		2,1430	4,8907	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0015		0,0002					0,0004		0,0004		9,5726	11,4378	
Al			0,0051	0,1145						0,0314		3,1740	4,9928	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,6950	12,7592	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0037							0,0002		8,0726	12,0198	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0327	0,0008						0,0023		5,4124	8,7479	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0013	0,0703						0,0192		3,8565	5,7059	
Cr			0,0004							0,0000		11,1393	15,0865	
Cu	0,2068		0,0040	0,1385				0,0232		0,0868		2,5646	3,5266	
Fe	0,2953		0,0038						1,0000	0,0754		1,6361	3,7297	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	17,4776	
In			0,0002	0,0012						0,0004		9,7558	11,4671	
K			0,0031	0,0001						0,0002		8,8042	12,1708	
Li				0,0113						0,0031		6,4616	8,3428	
Mg			0,0120							0,0008		6,3863	10,3335	
Mn			0,0001	0,0314						0,0085		4,9960	6,8727	
Mo			0,0000							0,0000		15,4666	19,4138	
Na			0,0477	0,0003						0,0032		4,5618	8,3051	
Nb				0,0001						0,0000		13,5999	15,4812	
Ni	0,0082		0,0001	0,0174						0,0066		6,1697	7,2372	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0026							0,0002		8,6009	12,5481	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1532							0,0099		2,7068	6,6540	
Sn	0,0200		0,0012					0,0028		0,0048		5,7536	7,6943	
Sr												0,0000	0,0000	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0028		0,0003					0,0003		0,0007		8,6292	10,5367	
V				0,0000						0,0000		18,1193	20,0005	
W			0,0028							0,0002		8,4855	12,4327	
Zn	0,0025									0,0006		8,6167	10,7153	
Zr			0,0000	0,0000						0,0000		16,0672	18,4411	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							0,4954			0,0537		1,0132	4,2193	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4625		0,7255	0,4554				0,9728		0,3056		0,9270	1,7105	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,4296		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7378	0,7717	1,4419	2,4065	0,0000	0,0000	1,4460	0,2026	0,0000	3,1400	Ht_v1	1,4296	3,1400	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,5534	0,2458	0,4592	0,7664	0,0000	0,0000	0,4605	0,0645	0,0000		Ht_rel_max	0,4553		
Hs_rel_MAX	0,3079	0,1367	0,2555	0,4264	0,0000	0,0000	0,2562	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2533	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6921	0,8633	0,7445	0,5736	1,0000	1,0000	0,7438	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7467		
											Ht (\others)	1,6508	3,7690	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4380		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2925		
											RPRt_MAX(\others)	0,7075		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 77: RPR Berechnung M13

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC			0,0668				0,3849			0,0238		1,8554	5,3906	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS						1,0000	0,6151			0,1962		0,1104	2,3496	
PE		0,8081								0,3114		0,3073	1,6831	
PMMA		0,1147								0,0442		3,1241	4,4998	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0017		0,0001					0,0004		0,0005		9,2809	11,1004	
Al			0,0169							0,0011		5,8833	9,7727	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001					0,0004		0,0001		11,0866	12,7161	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0128							0,0009		6,2881	10,1775	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0121							0,0008		6,3732	10,2627	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0091							0,0006		6,7875	10,6770	
Cr			0,0592							0,0040		4,0778	7,9673	
Cu	0,2482		0,0016					0,0232		0,0630		2,0757	3,9879	
Fe	0,1542	0,0772	0,2483		1,0000				1,0000	0,1250		1,9790	3,0001	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	16,8742	
In			0,0001							0,0000		13,0636	16,9531	
K			0,0001							0,0000		13,5895	17,4790	
Li												0,0000	0,0000	
Mg			0,0034							0,0002		8,2006	12,0901	
Mn			0,0000							0,0000		15,8765	19,7660	
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	17,6263	
Na												0,0000	0,0000	
Nb			0,0000							0,0000		16,6888	20,5783	
Ni	0,0098		0,0255							0,0042		6,1029	7,9076	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0010							0,0001		10,0010	13,8904	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0613							0,0041		4,0271	7,9166	
Sn	0,0240		0,0014					0,0028		0,0062		5,5003	7,3319	
Sr			0,0013							0,0001		9,5667	13,4562	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0033		0,0003					0,0003		0,0009		8,3751	10,1745	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0008							0,0001		10,3680	14,2574	
Zn	0,0031									0,0008		8,3533	10,3558	
Zr			0,0001							0,0000		13,9439	17,8333	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5551		0,4777					0,9728		0,2117		0,7257	2,2400	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	0,9693		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,6553	0,8919	2,3082	0,0000	0,0000	0,0000	0,9614	0,2026	0,0000	2,6207	Ht_v1	0,9693	2,6207	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6316	0,3403	0,8807	0,0000	0,0000	0,0000	0,3668	0,0773	0,0000		Ht_rel_max	0,3699		
Hs_rel_MAX	0,2933	0,1580	0,4090	0,0000	0,0000	0,0000	0,1703	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,1718	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,7067	0,8420	0,5910	1,0000	1,0000	1,0000	0,8297	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,8282		
											Ht (\others)	1,0348	2,7230	Ht_max (\others)
										Ht_rel_max(\others)		0,3800		
										Ht_rel_MAX(\others)		0,1833		
										RPRt_MAX(\others)		0,8167		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 78: RPR Berechnung M14

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt			
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt		Hr	Hr_max
ABS		0,0733								0,0214		3,7702	5,5476
PC			0,0669							0,0043		3,9022	7,8782
PC+ GF20%												0,0000	0,0000
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000
PC/ABS		0,6347		0,1384		1,0000				0,3792		0,5319	1,3989
PE				0,0203						0,0041		5,6191	7,9171
PMMA		0,1409								0,0411		2,8276	4,6050
PVC												0,0000	0,0000
Ag	0,0016		0,0001					0,0004		0,0002		9,4824	12,1386
Al			0,0169	0,1145						0,0244		3,2487	5,3596
As												0,0000	0,0000
Au	0,0005		0,0001	0,0001				0,0004		0,0001		11,6812	13,2368
B												0,0000	0,0000
Ba			0,0128							0,0008		6,2881	10,2641
Be												0,0000	0,0000
Bi												0,0000	0,0000
C												0,0000	0,0000
Ca			0,0121	0,0008						0,0009		7,0401	10,0861
Cd												0,0000	0,0000
Co			0,0091	0,0703						0,0149		3,9455	6,0720
Cr			0,0592							0,0038		4,0775	8,0535
Cu	0,2337		0,0016	0,1385				0,0232		0,0580		2,5325	4,1074
Fe	0,2035	0,1202	0,2482		1,0000				1,0000	0,0955		2,0567	3,3881
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	16,8656
In			0,0001	0,0012						0,0003		9,7484	11,9073
K			0,0001	0,0001						0,0000		13,8075	15,7193
Li				0,0113						0,0023		6,4616	8,7595
Mg			0,0034							0,0002		8,2006	12,1766
Mn			0,0000	0,0314						0,0064		4,9938	7,2897
Mo			0,0001							0,0000		13,7368	17,7128
Na				0,0003						0,0001		11,8792	14,1771
Nb			0,0000	0,0001						0,0000		13,7094	15,8458
Ni	0,0092		0,0255	0,0174						0,0063		5,8686	7,3127
Pb												0,0000	0,0000
Pd			0,0010							0,0001		10,0011	13,9771
Pt												0,0000	0,0000
Sb												0,0000	0,0000
Si			0,0613							0,0039		4,0273	8,0033
Sn	0,0226		0,0014					0,0028		0,0030		5,7043	8,3850
Sr			0,0013							0,0001		9,5669	13,5429
Ta												0,0000	0,0000
Ti	0,0031		0,0003					0,0003		0,0004		8,5932	11,2162
V				0,0000						0,0000		18,1193	20,4172
W			0,0008							0,0000		10,3680	14,3440
Zn	0,0029									0,0004		8,4400	11,4621
Zr			0,0001	0,0000						0,0000		14,5560	17,6954
Nd												0,0000	0,0000
Silikon							1,0000			0,0904		0,0000	3,4672
Glass		0,0309								0,0090		5,0152	6,7926
Others	0,5228		0,4776	0,4554				0,9728		0,2285		0,8724	2,1300
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3250	
										Hs_max = Ht_max_v1			
Hs	1,7036	1,6135	2,3084	2,4065	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	2,7886	Ht_v1	1,3250	2,7886 Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6109	0,5786	0,8278	0,8630	0,0000	0,0000	0,0000	0,0726	0,0000		Ht_rel_max	0,4752	
Hs_rel_MAX	0,3018	0,2859	0,4090	0,4264	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2348	5,6439 Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6982	0,7141	0,5910	0,5736	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7652	
											Ht (\others)	1,4590	2,9836 Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4890	
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2585	
											RPRt_MAX(\others)	0,7415	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 79: RPR Berechnung M15

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	m-Kartenträg	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartent	cAbdeckung	cTasten	cElektroteile	cSchrauben	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+ GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+ GF2												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,8033		0,0095		1,0000				0,1959		0,3175	2,3516	
PE				0,0139						0,0045		6,1667	7,8003	
PMMA		0,1549								0,0254		2,6909	5,2973	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0015		0,0002					0,0004		0,0004		9,5529	11,2102	
Al			0,0051	0,2459						0,0797		2,0540	3,6500	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0001	0,0001				0,0004		0,0002		11,6647	12,5743	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0037							0,0003		8,0726	11,6537	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0327	0,0006						0,0029		5,3118	8,4173	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0013	0,0553						0,0179		4,2103	5,8021	
Cr			0,0004							0,0000		11,1393	14,7205	
Cu	0,2139		0,0040	0,1480				0,0232		0,1049		2,5144	3,2533	
Fe	0,2710	0,0419	0,0038						1,0000	0,0904		1,8511	3,4677	
Ga								0,0002		0,0000		12,3027	16,8712	
In			0,0002	0,0010						0,0003		10,1187	11,5417	
K			0,0031	0,0001						0,0003		8,7073	11,8379	
Li				0,0089						0,0029		6,8079	8,4415	
Mg			0,0120							0,0010		6,3863	9,9675	
Mn			0,0001	0,0247						0,0080		5,3436	6,9711	
Mo			0,0000							0,0000		15,4666	19,0478	
Na			0,0477	0,0002						0,0040		4,5214	7,9481	
Nb				0,0001						0,0000		13,9462	15,5798	
Ni	0,0084		0,0001	0,0137						0,0066		6,4363	7,2395	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0026							0,0002		8,6009	12,1821	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1532							0,0128		2,7068	6,2880	
Sn	0,0207		0,0012					0,0028		0,0056		5,7274	7,4742	
Sr												0,0000	0,0000	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0029		0,0003					0,0003		0,0008		8,6045	10,3160	
V				0,0000						0,0000		18,4655	20,0992	
W			0,0028							0,0002		8,4855	12,0667	
Zn	0,0026									0,0007		8,5676	10,5051	
Zr			0,0000	0,0000						0,0000		15,9489	18,2092	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon							1,0000			0,0533		0,0000	4,2292	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4785		0,7255	0,4781				0,9728		0,3806		0,8580	1,3935	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3984		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7350	0,8622	1,4419	2,0940	0,0000	0,0000	0,0000	0,2026	0,0000	2,7921	Ht_v1	1,3984	2,7921	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6214	0,3088	0,5164	0,7500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0725	0,0000		Ht_rel_max	0,5008		
Hs_rel_MAX	0,3074	0,1528	0,2555	0,3710	0,0000	0,0000	0,0000	0,0359	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2478	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6926	0,8472	0,7445	0,6290	1,0000	1,0000	1,0000	0,9641	1,0000		RPRt_MAX	0,7522		
											Ht (\others)	1,7305	3,6517	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4739		
											RPRt_max(\others)	~~0,5261~~		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,3066		
											RPRt_MAX(\others)	0,6934		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anhang B2 RPR-Berechnungen Smartphones S1–S15

Tabelle 80: RPR Berechnung S1

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträge	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartenträ	cAbdeckung	cTasten	cElektroteil	cSchrauben	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC		0,9820	0,0390			1,0000				0,1609		0,3957	2,6358	
PC+GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS+GF20%												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0183						0,0064		5,7693	7,2913	
PE				0,0896						0,0312		3,4803	5,0024	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0028		0,0003					0,0004		0,0005		9,2272	11,0525	
Al			0,1231	0,1694						0,1005		2,7514	3,3149	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0006		0,0001	0,0000				0,0003		0,0001		11,7716	13,1597	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0073	0,0000						0,0025		7,1172	8,6564	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0138	0,0002						0,0047		6,2620	7,7358	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0010	0,0034						0,0015		8,5755	9,3372	
Cr			0,0033							0,0011		8,2556	9,8247	
Cu	0,3366		0,0200	0,0340				0,0162		0,0628		2,6593	3,9930	
Fe	0,0898	0,0180	0,0204	0,0001	1,0000				1,0000	0,0314		2,8198	4,9930	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,1988	
In			0,0001							0,0000		13,7875	15,3566	
K			0,0029	0,0001						0,0010		8,5439	9,9694	
Li			0,0000	0,0074						0,0026		7,1029	8,5311	
Mg			0,1930							0,0651		2,3731	3,9422	
Mn			0,0015							0,0005		9,3486	10,9178	
Mo			0,0003	0,0000						0,0001		11,8485	13,3209	
Na			0,0381	0,0003						0,0130		4,7657	6,2708	
Nb				0,0000						0,0000		17,9388	19,5209	
Ni	0,0223		0,0027							0,0038		6,2122	8,0409	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0198							0,0067		5,6589	7,2280	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0947							0,0319		3,4000	4,9691	
Sn	0,0311		0,0027					0,0050		0,0051		5,6963	7,6250	
Sr			0,0109							0,0037		6,5154	8,0845	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0051		0,0004	0,0000				0,0003		0,0008		8,3124	10,2802	
V			0,0000	0,0000						0,0000		15,5742	16,1212	
W			0,0026	0,0009						0,0012		8,9834	9,7268	
Zn	0,0057		0,0064							0,0029		7,3258	8,4259	
Zr			0,0003	0,0000						0,0001		12,0019	13,4237	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5061		0,3953	0,6762				0,9776		0,4580		0,8226	1,1264	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,7050		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,7270	0,1302	2,7993	1,4975	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,7018	Ht_v1	1,7050	2,7018	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,6392	0,0482	1,0361	0,5542	0,0000	0,0000	0,0000	0,0671	0,0000		Ht_rel_max	0,6311		
Hs_rel_MAX	0,3060	0,0231	0,4960	0,2653	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3021	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6940	0,9769	0,5040	0,7347	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,6979		
											Ht (\others)	2,4508	4,0333	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,6077		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,4343		
											RPRt_MAX(\others)	0,5657		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 81: RPR Berechnung S2

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC						1,0000				0,1104		0,0000	3,1796	
PC+ GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+		1,0000								0,0763		0,0000	3,7122	
PC/ABS				0,0163						0,0045		5,8829	7,7894	
PE				0,0331						0,0088		4,3167	6,8233	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0029		0,0001					0,0015		0,0003		9,2407	11,6321	
Al			0,0552	0,2039				0,0279		0,0792		2,8984	3,6581	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0006		0,0001	0,0000				0,0018		0,0001		10,7522	12,7790	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0023	0,0000				0,0072		0,0013		8,4559	9,6417	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0123					0,0044		0,0055		6,3902	7,5148	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0006	0,0031				0,0123		0,0015		6,1262	9,3356	
Cr			0,0723					0,0030		0,0313		3,8067	4,9386	
Cu	0,3505		0,0094	0,0735				0,1346		0,0548		2,8327	4,1897	
Fe	0,3738		0,2862					0,0544	1,0000	0,1568		1,7270	2,6732	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	16,5550	
In			0,0003					0,0006		0,0001		11,6293	12,7808	
K			0,0075	0,0000				0,0005		0,0033		7,1039	8,2595	
Li				0,0053				0,0001		0,0014		7,5663	9,4501	
Mg			0,0163					0,0019		0,0071		5,9732	7,1419	
Mn			0,0048					0,0047		0,0022		7,7096	8,8030	
Mo			0,0001	0,0000				0,0151		0,0006		6,3791	10,7244	
Na			0,0357	0,0004				0,0015		0,0156		4,8700	6,0051	
Nb				0,0000						0,0000		18,0718	19,9783	
Ni	0,0232		0,0296					0,0120		0,0150		5,1565	6,0634	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0047							0,0020		7,7245	8,9384	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0830							0,0358		3,5910	4,8049	
Sn	0,0324		0,0023					0,0157		0,0040		6,0495	7,3632	
Sr			0,0045							0,0019		7,7906	9,0044	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0053		0,0007					0,0010		0,0008		8,8860	10,3774	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0008	0,0002				0,1493		0,0060		3,2608	7,3816	
Zn	0,0059							0,0006		0,0005		7,5638	11,0834	
Zr			0,0008	0,0000				0,0002		0,0003		10,4275	11,5056	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,2054		0,3706	0,6633				0,5494		0,3726		1,0368	1,4243	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,7624		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,9306	0,0000	2,6478	1,4752	0,0000	0,0000	0,0000	2,2312	0,0000	3,0321	Ht_v1	1,7624	3,0321	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6367	0,0000	0,8733	0,4865	0,0000	0,0000	0,0000	0,7359	0,0000		Ht_rel_max	0,5812		
Hs_rel_MA	0,3421	0,0000	0,4692	0,2614	0,0000	0,0000	0,0000	0,3953	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3123	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(!others)
RPR_MAX	0,6579	1,0000	0,5308	0,7386	1,0000	1,0000	1,0000	0,6047	1,0000		RPRt_MAX	0,6877		
											Ht (!others)	2,1933	3,9869	Ht_max (!others)
											Ht_rel_max(!others)	0,5501		
											Ht_rel_MAX(!others)	0,3886		
											RPRt_MAX(!others)	0,6114		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 82: RPR Berechnung S3

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckur	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC						1,0000				0,1890		0,0000	2,4034	
PC+ GF20		0,3724					1,0000			0,1064		1,3926	3,2319	
PC/ABS+												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0072						0,0014		7,1104	9,4576	
PE				0,0554						0,0109		4,1728	6,5200	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0020		0,0002					0,0003		0,0002		9,6165	12,1071	
Al			0,0300	0,0790						0,0213		4,0402	5,5554	
As			0,0000							0,0000		15,2258	17,6096	
Au	0,0004			0,0004				0,0004		0,0001		11,2528	12,8967	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0006							0,0001		10,7536	13,1434	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0060	0,0024						0,0016		7,7707	9,2748	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0002	0,1971						0,0388		2,3536	4,6888	
Cr			0,0019							0,0004		9,0360	11,4197	
Cu	0,2368		0,0104	0,0463				0,0162		0,0338		3,0315	4,8849	
Fe	0,3596	0,6276	0,0110	0,0003	1,0000				1,0000	0,2286		0,7972	2,1294	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	16,8880	
In			0,0002							0,0000		12,3979	14,7817	
K			0,0019	0,0001						0,0004		9,2162	11,3369	
Li				0,0217						0,0043		5,5258	7,8730	
Mg			0,0062	0,0005						0,0013		7,6171	9,6145	
Mn			0,0001							0,0000		12,7423	15,1261	
Mo			0,0001							0,0000		13,3037	15,6875	
Na			0,0344							0,0066		4,8596	7,2434	
Nb				0,0002						0,0000		12,4063	14,7541	
Ni	0,0157		0,0010	0,0005						0,0018		6,7006	9,1474	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0074							0,0014		7,0711	9,4549	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1281							0,0246		2,9643	5,3480	
Sn	0,0219		0,0016					0,0050		0,0025		6,1015	8,6341	
Sr			0,0159							0,0030		5,9777	8,3615	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0036		0,0006	0,0005				0,0003		0,0006		9,2074	10,8012	
V				0,0000						0,0000		18,0153	20,3625	
W			0,0021							0,0004		8,8886	11,2724	
Zn	0,0040									0,0004		7,9708	11,3810	
Zr			0,0020	0,0000						0,0004		9,0734	11,3050	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,3561		0,7379	0,5884				0,9776		0,3197		0,6298	1,6454	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,1018		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8508	0,9525	1,5194	1,8580	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,7130	Ht_v1	1,1018	2,7130	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6822	0,3511	0,5600	0,6848	0,0000	0,0000	0,0000	0,0668	0,0000		Ht_rel_max	0,4061		
Hs_rel_MA	0,3279	0,1688	0,2692	0,3292	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,1952	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(others)
RPR_MAX	0,6721	0,8312	0,7308	0,6708	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,8048		
											Ht (others)	1,3236	3,2147	Ht_max (others)
											Ht_rel_max(others)	0,4117		
											Ht_rel_MAX(others)	0,2345		
											RPRt_MAX(others)	0,7655		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 83: RPR Berechnung S4

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS								0,0000				0,0000	0,0000	
PC			0,0415			1,0000				0,0756		1,1522	3,7250	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+0												0,0000	0,0000	
PC/ABS		1,0000		0,0183			1,0000			0,0914		0,3304	3,4522	
PE				0,0896						0,0256		3,4803	5,2892	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0029		0,0002					0,0003		0,0003		9,3911	11,5320	
Al			0,3836	0,1694						0,2238		1,6370	2,1597	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0006		0,0000	0,0000				0,0004		0,0001		11,6754	13,7643	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0093	0,0000						0,0043		6,7608	7,8747	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0081	0,0002						0,0037		7,0249	8,0650	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0003	0,0034						0,0011		8,6130	9,8078	
Cr			0,0028							0,0013		8,4975	9,6262	
Cu	0,3505		0,0397	0,0340				0,0162		0,0595		3,0469	4,0708	
Fe	0,0521		0,0185	0,0001					1,0000	0,0157		4,3944	5,3956	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,2840	
In			0,0001							0,0001		13,1137	14,2424	
K			0,0211	0,0001						0,0097		5,5823	6,6932	
Li			0,0000	0,0074						0,0021		7,1288	8,8729	
Mg			0,0231							0,0106		5,4331	6,5618	
Mn			0,0008							0,0004		10,2705	11,3932	
Mo			0,0003	0,0000						0,0001		11,9858	13,0503	
Na			0,0399	0,0003						0,0183		4,6802	5,7716	
Nb				0,0000						0,0000		17,3989	19,8077	
Ni	0,0232		0,0015							0,0027		6,4037	8,5107	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0071							0,0033		7,1314	8,2601	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0857							0,0392		3,5447	4,6734	
Sn	0,0324		0,0006					0,0050		0,0033		5,5038	8,2588	
Sr			0,0070							0,0032		7,1562	8,2850	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0053		0,0001	0,0000				0,0003		0,0005		8,2949	10,8306	
V				0,0000						0,0000		15,6436	17,4525	
W			0,0029	0,0009						0,0016		8,7006	9,3129	
Zn	0,0059		0,0277							0,0132		5,2633	6,2442	
Zr			0,0032	0,0000						0,0015		8,3075	9,4249	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,5271		0,2750	0,6762				0,3776		0,3880		0,9984	1,3659	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,8285		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,6399	0,0000	2,7345	1,4975	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,8426	Ht_v1	1,8285	2,8426	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,5769	0,0000	0,9620	0,5268	0,0000	0,0000	0,0000	0,0637	0,0000		Ht_rel_max	0,6432		
Hs_rel_MA	0,2906	0,0000	0,4845	0,2653	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3240	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,7094	1,0000	0,5155	0,7347	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,6760		
											Ht (tothers)	2,3547	3,7789	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,6231		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,4172		
											RPRt_MAX(tothers)	0,5828		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 84: RPR Berechnung S5

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0	0	
PC						1				0,07841137		0	3,672733395	
PC+GF20		0,210917					1			0,05895002		2,109894	4,084363991	
PC/ABS+0												0	0	
PC/ABS				0,01928205						0,00618708		5,696598	7,336524529	
PE				0,04248302						0,01363165		4,55697	6,19689628	
PMMA												0	0	
PVC												0	0	
Ag	0,002055		0,00014125					0,000303		0,00023065		9,523147	12,08200052	
Al		0,789083	0,03357642	0,17820598						0,27137568		0,910648	1,881636649	
As												0	0	
Au	0,000412		2,7216E-05	1,6012E-05				0,000364		6,0072E-05		12,04571	14,02295562	
B												0	0	
Ba			0,01178939	2,2767E-05						0,00244625		6,433293	8,675214272	
Be												0	0	
Bi												0	0	
C												0	0	
Ca			0,01653381	0,00017228						0,00347573		6,023162	8,16846789	
Cd												0	0	
Co			0,00023926	0,0036145						0,00120929		8,272318	9,691623582	
Cr			0,00223939							0,00046328		8,802676	11,07583719	
Cu	0,248319		0,0057004	0,03577231				0,016154		0,03640018		3,119135	4,779310667	
Fe	0,328439		0,01307537	0,00011027					1	0,03799848		1,758542	4,717914499	
Ga								0,000277		8,1512E-06		11,81949	16,90455723	
In			6,7322E-05							1,3927E-05		13,85855	16,13171413	
K			0,00276979	6,4141E-05						0,00059359		8,684362	10,71825759	
Li			2,1141E-05	0,0078051						0,00250882		7,016235	8,63877707	
Mg			0,0063374							0,00131106		7,301894	9,575054884	
Mn			0,00015077							3,1191E-05		12,69537	14,96853108	
Mo			0,00033393	3,6491E-06						7,0253E-05		11,65677	13,7970792	
Na			0,03689915	0,00023231						0,00772754		4,845127	7,015775134	
Nb				4,0153E-06						1,2884E-06		17,32605	19,56598029	
Ni	0,016437		0,00121773							0,00179137		6,454786	9,124241562	
Pb												0	0	
Pd			0,00212804							0,00044024		8,876259	11,1494203	
Pt												0	0	
Sb												0	0	
Si			0,1555038							0,03217002		2,684978	4,958139555	
Sn	0,022954		0,00160848					0,005004		0,00263092		6,053266	8,570215501	
Sr			0,00524567							0,0010852		7,574657	9,847818526	
Ta												0	0	
Ti	0,003755		0,00016542	1,756E-05				0,00033		0,00040141		8,634713	11,28263693	
V			1,8367E-06	2,0545E-05						6,9724E-06		15,76068	17,12931861	
W			0,00253565	0,00089698						0,00081238		9,154581	10,2655584	
Zn	0,00418									0,00039165		7,902286	11,31814879	
Zr			0,0001111	5,7402E-06						2,4827E-05		13,45294	15,29775589	
Nd												0	0	
Silikon												0	0	
Glass												0	0	
Others	0,373449		0,70158026	0,71121016				0,977568		0,43713888		0,542338	1,193836379	
Gesamt	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	Ht_v2	1,151717		

										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,865968	0,743232	1,62642571	1,37085835	0	0	0	0,181179	0	2,44291134	Ht_v1	1,151717	2,442911337	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,76383	0,30424	0,66577353	0,56115764	0	0	0	0,074165	0		Ht_rel_max	0,471453		
Hs_rel_MA	0,330619	0,131689	0,28817632	0,24289392	0	0	0	0,032102	0		Ht_rel_MAX	0,204066	5,64385619	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,669381	0,868311	0,71182368	0,75710608	1	1	1	0,967898	1		RPRt_MAX	0,795934		
											Ht (tothers)	1,624984	3,412989424	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,476117		
											RPRt_max(tothers)	~~0,523883~~		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,287921		
											RPRt_MAX(tothers)	0,712079		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 85: RPR Berechnung S6

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+G												0,0000	0,0000	
PC/ABS												0,0000	0,0000	
PE				0,0527						0,0123		4,2457	6,3442	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0027		0,0001					0,0003		0,0004		9,3144	11,2139	
Al			0,0487	0,0967						0,0441		3,8529	4,5024	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005			0,0001				0,0004		0,0001		11,4230	13,1723	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0003	0,0000						0,0001		11,8904	12,9540	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0078	0,0005						0,0035		7,1412	8,1394	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0013	0,0440						0,0108		4,7754	6,5275	
Cr			0,0560							0,0247		4,1590	5,3369	
Cu	0,3263		0,0183	0,1201				0,0162		0,0781		2,6240	3,6778	
Fe	0,4592	1,0000	0,2294	0,0001			1,0000		1,0000	0,2913		0,9624	1,7792	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	15,7243	
In			0,0001							0,0000		13,5784	14,7563	
K			0,0039	0,0000						0,0017		8,0524	9,1828	
Li			0,0000	0,0097						0,0023		6,7636	8,7758	
Mg			0,0117	0,0001						0,0052		6,4520	7,5841	
Mn			0,0038							0,0017		8,0409	9,2188	
Mo			0,0002							0,0001		12,4844	13,6623	
Na			0,0440	0,0002						0,0195		4,5270	5,6800	
Nb				0,0001						0,0000		14,2782	16,3767	
Ni	0,0216		0,0229	0,0002						0,0128		5,4832	6,2822	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0128							0,0056		6,2304	7,4683	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb			0,0000							0,0000		14,5607	15,7386	
Si			0,0764							0,0337		3,7111	4,8890	
Sn	0,0302		0,0007					0,0050		0,0044		5,6174	7,8235	
Sr			0,0077							0,0034		7,0173	8,1952	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0043		0,0001	0,0000				0,0003		0,0007		8,1043	10,5390	
V			0,0000	0,0000						0,0000		18,2463	18,8558	
W			0,0054	0,0003						0,0024		7,6631	8,6743	
Zn	0,0055		0,0003							0,0008		8,1298	10,2858	
Zr			0,0012	0,0000						0,0006		9,6612	10,8221	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,1492		0,4470	0,6752				0,3776		0,4392		0,8477	1,1870	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,7496		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8320	0,0000	2,5751	1,5827	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,4402	Ht_v1	1,7496	2,4402	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,7508	0,0000	1,0553	0,6486	0,0000	0,0000	0,0000	0,0742	0,0000		Ht_rel_max	0,7170		
Hs_rel_MA	0,3246	0,0000	0,4563	0,2804	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3100	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,6754	1,0000	0,5437	0,7196	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,6900		
											Ht (tothers)	2,4559	3,4217	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,7177		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,4351		
											RPRt_MAX(tothers)	0,5649		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 86: RPR Berechnung S7

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC		1,0000	0,0485				1,0000			0,0869		1,0458	3,5249	
PC+ GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0263						0,0060		5,2490	7,3763	
PE				0,0796						0,0182		3,6517	5,7790	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0022		0,0001					0,0003		0,0002		9,4696	12,0777	
Al			0,0423	0,2275						0,0702		2,7633	3,8322	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0000	0,0000				0,0004		0,0001		12,2718	13,8170	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0009	0,0000						0,0004		10,2097	11,4143	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0201							0,0086		5,6377	6,8582	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0011	0,0041						0,0014		8,5785	9,4640	
Cr			0,0673							0,0289		3,8930	5,1134	
Cu	0,2705		0,0074	0,1274				0,0162		0,0567		2,7616	4,1396	
Fe	0,2684		0,2797			1,0000			1,0000	0,3082		0,8626	1,6981	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,2761	
In			0,0001							0,0000		13,0690	14,2895	
K			0,0164	0,0000						0,0071		5,9351	7,1463	
Li			0,0000	0,0039						0,0009		8,0521	10,1160	
Mg			0,0246							0,0106		5,3434	6,5639	
Mn			0,0046							0,0020		7,7763	8,9967	
Mo			0,0002	0,0000						0,0001		12,3651	13,5476	
Na			0,0453	0,0004						0,0195		4,4975	5,6785	
Nb				0,0000						0,0000		17,7645	19,8918	
Ni	0,0179		0,0288							0,0139		5,1979	6,1655	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0055							0,0024		7,4337	8,7142	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0734							0,0315		3,7683	4,9887	
Sn	0,0250		0,0006					0,0050		0,0026		5,9472	8,5365	
Sr			0,0034							0,0015		8,1820	9,4024	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0041		0,0003	0,0000				0,0003		0,0005		9,0445	10,9097	
V				0,0000						0,0000		17,6444	19,7717	
W			0,0044	0,0002						0,0019		7,9485	9,0199	
Zn	0,0046									0,0004		7,7788	11,2721	
Zr			0,0024	0,0000						0,0010		8,7273	9,9431	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4068		0,3227	0,5305				0,9776		0,3183		1,2084	1,6516	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,8490		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8770	0,0000	2,9236	1,8503	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,8339	Ht_v1	1,8490	2,8339	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6623	0,0000	1,0316	0,6529	0,0000	0,0000	0,0000	0,0639	0,0000		Ht_rel_max	0,6524		
Hs_rel_MA	0,3326	0,0000	0,5180	0,3278	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3276	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6674	1,0000	0,4820	0,6722	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,6724		
											Ht (\others)	2,1480	3,3860	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,6344		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,3806		
											RPRt_MAX(\others)	0,6194		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 87: RPR Berechnung S8

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC		0,2115				1,0000	1,0000			0,2409		0,3587	2,0535	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+0												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0169						0,0035		5,8828	8,1388	
PE				0,0331						0,0069		4,3166	7,1726	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0021		0,0002					0,0003		0,0003		9,8355	11,9481	
Al			0,0235	0,2039						0,0497		2,7360	4,3296	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0001	0,0000				0,0004		0,0001		12,2755	14,0246	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0004	0,0000						0,0001		11,5331	13,0659	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0372							0,0112		4,7482	6,4858	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0003	0,0031						0,0007		8,7407	10,3856	
Cr			0,0370							0,0111		4,7567	6,4943	
Cu	0,2481		0,0140	0,0735				0,0162		0,0416		3,1019	4,5875	
Fe	0,3289	0,7885	0,1559						1,0000	0,2224		0,9331	2,1685	
Ga								0,0003		0,0000		11,8135	17,8456	
In			0,0001							0,0000		12,7061	14,4437	
K			0,0019	0,0000						0,0006		3,0323	10,7337	
Li			0,0000	0,0053						0,0011		7,6016	9,7943	
Mg			0,0181							0,0054		5,7887	7,5262	
Mn			0,0024							0,0007		8,6822	10,4198	
Mo			0,0002	0,0000						0,0000		12,6339	14,3023	
Na			0,0448	0,0004						0,0135		4,5250	6,2092	
Nb				0,0000						0,0000		18,0718	20,3278	
Ni	0,0164		0,0163							0,0063		5,3332	7,3007	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0021							0,0006		8,8663	10,6038	
Pr												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1206							0,0362		3,0517	4,7893	
Sn	0,0229		0,0008					0,0050		0,0023		6,0269	8,7418	
Sr			0,0011							0,0003		9,7757	11,5133	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0038		0,0004					0,0003		0,0005		8,9644	11,0810	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0034	0,0002						0,0011		8,3648	9,8606	
Zn	0,0042									0,0004		7,9034	11,4148	
Zr			0,0003	0,0000						0,0001		11,7320	13,3139	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,3732		0,5186	0,6633				0,9776		0,3421		0,8085	1,5475	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3232		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8658	0,7443	2,3751	1,4752	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,5718	Ht_v1	1,3232	2,5718	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,7255	0,2894	0,9235	0,5736	0,0000	0,0000	0,0000	0,0704	0,0000		Ht_rel_max	0,5145		
Hs_rel_MA	0,3306	0,1319	0,4208	0,2614	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2344	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(!others)
RPR_MAX	0,6694	0,8681	0,5792	0,7386	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,7656		
											Ht (!others)	1,5308	3,1044	Ht_max (!others)
											Ht_rel_max(!others)	0,5124		
											Ht_rel_MAX(!others)	0,2819		
											RPRt_MAX(!others)	0,7181		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 88: RPR Berechnung S9

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC		0,5703								0,0339		0,8103	4,8834	
PC+GF20		0,4297					1,0000			0,0262		1,1857	5,2522	
PC/ABS+(												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0025						0,0008		8,6654	10,2488	
PE				0,0320						0,0107		4,3653	6,5487	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0018		0,0001					0,0003		0,0002		10,1545	12,3516	
Al			0,3903	0,0736						0,1807		1,6842	2,4682	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0000	0,0000				0,0004		0,0001		12,7245	14,1648	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0003	0,0000						0,0001		11,7882	13,0252	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0081							0,0033		6,3428	8,2644	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0001	0,0062						0,0021		7,4828	8,8760	
Cr			0,0017							0,0007		9,1886	10,5102	
Cu	0,2170		0,0141	0,0751				0,0162		0,0479		3,4972	4,3834	
Fe	0,4131		0,0145		1,0000				1,0000	0,0433		1,7650	4,5311	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,2928	
In			0,0001							0,0000		13,5768	14,8983	
K			0,0122	0,0000						0,0049		6,3729	7,6696	
Li			0,0000	0,0060						0,0020		7,4337	8,3590	
Mg			0,0124							0,0050		6,3338	7,6554	
Mn			0,0012							0,0005		9,7551	11,0766	
Mo			0,0001	0,0000						0,0001		13,0406	14,2453	
Na			0,0492	0,0006						0,0199		4,4118	5,6522	
Nb				0,0000						0,0000		17,1512	18,7346	
Ni	0,0144		0,0013							0,0016		7,2305	9,2453	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0067							0,0027		7,2243	8,5459	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1048							0,0419		3,2537	4,5753	
Sn	0,0201		0,0018					0,0050		0,0024		6,7876	8,6933	
Sr			0,0008							0,0003		10,2463	11,5679	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0033		0,0003	0,0000				0,0003		0,0004		9,4719	11,3952	
V				0,0000						0,0000		17,0311	18,6145	
W			0,0015	0,0003						0,0007		9,6803	10,4267	
Zn	0,0037		0,0042							0,0020		7,3344	9,0018	
Zr			0,0021	0,0000						0,0008		8,3396	10,2494	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass						1,0000				0,1006		0,0000	3,3137	
Others	0,3264		0,3719	0,8036				0,9776		0,4643		0,7292	1,1069	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,4464		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8107	0,9857	2,1956	1,0931	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,6437	Ht_v1	1,4464	2,6437	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6849	0,3729	0,8305	0,4135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0685	0,0000		Ht_rel_max	0,5471		
Hs_rel_MA	0,3208	0,1747	0,3890	0,1937	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2563	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,6792	0,8253	0,6110	0,8063	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,7437		
											Ht (tothers)	2,0680	3,3756	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,5202		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,3664		
											RPRt_MAX(tothers)	0,6336		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 89: RPR Berechnung S10

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+ GF20		1,0000				1,0000	1,0000			0,1103		0,0000	3,1802	
PC/ABS+0												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0183						0,0058		5,7691	7,4282	
PE				0,0896						0,0284		3,4804	5,1394	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0026		0,0002					0,0003		0,0004		9,5166	11,2539	
Al			0,1763	0,1694						0,1272		2,5253	2,9745	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001	0,0000				0,0004		0,0001		12,0015	13,1670	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0007	0,0000						0,0003		10,7006	11,8093	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0132	0,0002						0,0055		6,3022	7,4949	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0000	0,0034						0,0011		8,2463	9,8316	
Cr			0,0037							0,0016		8,0613	9,3269	
Cu	0,3096		0,0205	0,0340				0,0162		0,0562		2,9418	4,1539	
Fe	0,1627		0,0223	0,0001					1,0000	0,0321		3,1543	4,3616	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	16,6081	
In			0,0001							0,0000		14,0105	15,2761	
K			0,0019	0,0001						0,0008		9,1683	10,2799	
Li			0,0000	0,0074						0,0024		7,1105	8,7269	
Mg			0,1886							0,0785		2,4062	3,6718	
Mn			0,0016							0,0007		9,2548	10,5203	
Mo			0,0005	0,0000						0,0002		11,0771	12,2955	
Na			0,0421	0,0003						0,0176		4,6054	5,8275	
Nb				0,0000						0,0000		17,3988	19,6579	
Ni	0,0205		0,0037							0,0039		6,5723	7,9337	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0357							0,0148		4,8087	6,0742	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1015							0,0422		3,3008	4,5663	
Sn	0,0286		0,0019					0,0050		0,0043		5,9443	7,8555	
Sr			0,0176							0,0073		5,8301	7,0957	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0047		0,0002	0,0000				0,0003		0,0006		8,4266	10,6079	
V				0,0000						0,0000		15,6436	17,3027	
W			0,0001	0,0009						0,0003		10,6284	11,6222	
Zn	0,0052		0,0073							0,0036		7,1825	8,1021	
Zr			0,0004	0,0000						0,0002		11,4154	12,5996	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4656		0,3593	0,6762				0,3776		0,4535		0,8884	1,1409	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,8323		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8285	0,0000	2,7344	1,4975	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,7763	Ht_v1	1,8323	2,7763	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6586	0,0000	0,9849	0,5394	0,0000	0,0000	0,0000	0,0653	0,0000		Ht_rel_max	0,6600		
Hs_rel_MA	0,3240	0,0000	0,4845	0,2653	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,3247	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,6760	1,0000	0,5155	0,7347	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,6753		
											Ht (tothers)	2,6155	4,1333	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,6328		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,4634		
											RPRt_MAX(tothers)	0,5366		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 90: RPR Berechnung S11

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträge	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterpla	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartenträ	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+ GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0527						0,0090		4,2456	6,7937	
PE												0,0000	0,0000	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0020		0,0001					0,0003		0,0003		9,2192	11,6885	
Al			0,0479	0,0975		0,2742				0,0698		2,6017	3,8407	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004			0,0001				0,0004		0,0001		11,6798	13,6028	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0000	0,0000						0,0000		14,9281	16,5028	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0131	0,0006						0,0030		6,4085	8,3346	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0000	0,0504						0,0086		4,3171	6,8639	
Cr			0,0032							0,0007		8,2942	10,4779	
Cu	0,2454		0,0014	0,1209				0,0162		0,0556		2,4780	4,1695	
Fe	0,3364	1,0000	0,0187	0,0001	1,0000				1,0000	0,3377		0,2891	1,5660	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	16,9869	
In			0,0000							0,0000		14,5292	16,7129	
K			0,0054	0,0001						0,0012		7,5781	9,7027	
Li			0,0000	0,0111						0,0019		6,5265	9,0432	
Mg			0,0031	0,0001						0,0007		8,5071	10,4811	
Mn			0,0002							0,0000		12,1683	14,3520	
Mo			0,0003							0,0001		11,7753	13,9536	
Na			0,0539	0,0003						0,0119		4,2433	6,3326	
Nb				0,0001						0,0000		14,0817	16,6358	
Ni	0,0162		0,0015	0,0002						0,0026		6,4585	8,5669	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0068							0,0015		7,2097	9,3934	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1555							0,0342		2,6851	4,8687	
Sn	0,0227		0,0011					0,0050		0,0035		5,8420	8,1423	
Sr			0,0014							0,0003		9,4456	11,6293	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0037		0,0003	0,0000				0,0003		0,0006		8,6292	10,6815	
V				0,0000						0,0000		18,6645	21,2186	
W				0,0004						0,0001		11,4388	13,9328	
Zn	0,0041									0,0006		7,3194	10,7614	
Zr			0,0011	0,0000						0,0002		9,8855	12,0376	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass						0,7258				0,1130		0,4623	3,1461	
Others	0,3690		0,6851	0,6655				0,9776		0,3428		0,6528	1,5446	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,0326		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8627	0,0000	1,6338	1,6228	0,0000	0,8474	0,0000	0,1612	0,0000	2,4369	Ht_v1	1,0326	2,4369	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,7644	0,0000	0,6704	0,6659	0,0000	0,3477	0,0000	0,0743	0,0000		Ht_rel_max	0,4237		
Hs_rel_MA	0,3300	0,0000	0,2895	0,2875	0,0000	0,1501	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,1830	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6700	1,0000	0,7105	0,7125	1,0000	0,8493	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,8170		
											Ht (\others)	1,2307	2,3023	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4241		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2181		
											RPRt_MAX(\others)	0,7819		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 91: RPR Berechnung S12

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartenträger	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+GF20						1,0000				0,1572		0,0000	2,6695	
PC/ABS+												0,0000	0,0000	
PC/ABS		1,0000		0,0169						0,1173		0,1853	3,0917	
PE				0,0331						0,0072		4,3167	7,1145	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0024		0,0002					0,0003		0,0004		9,2540	11,1384	
Al			0,0443	0,2039						0,0587		2,8294	4,0904	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0002	0,0000				0,0004		0,0002		11,6533	12,6278	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0018	0,0000						0,0006		9,1883	10,7612	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0225							0,0073		5,4718	7,1067	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0005	0,0031						0,0008		8,8336	10,2054	
Cr			0,0727							0,0234		3,7824	5,4172	
Cu	0,2853		0,0377	0,0735				0,0162		0,0728		2,7503	3,7808	
Fe	0,2285		0,3025		1,0000				1,0000	0,1422		1,7121	2,8142	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,1451	
In			0,0001							0,0000		13,1076	14,7424	
K			0,0075	0,0000						0,0024		7,0860	8,6899	
Li			0,0000	0,0053						0,0012		7,6073	9,7348	
Mg			0,0195							0,0063		5,6768	7,3116	
Mn			0,0050							0,0016		7,6451	9,2739	
Mo			0,0004	0,0000						0,0001		11,3984	12,9395	
Na			0,0457	0,0004						0,0148		4,4945	6,0783	
Nb				0,0000						0,0000		18,0718	20,2695	
Ni	0,0189		0,0310							0,0129		5,1746	6,2765	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0038							0,0012		8,0406	9,6754	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,0799							0,0257		3,6454	5,2802	
Sn	0,0264		0,0027					0,0050		0,0051		5,8628	7,6254	
Sr			0,0043							0,0014		7,8763	9,5112	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0043		0,0012					0,0003		0,0011		8,5563	9,8794	
V			0,0006							0,0002		10,6803	12,3157	
W				0,0002						0,0001		12,0758	14,2735	
Zn	0,0048									0,0007		7,7020	10,3925	
Zr			0,0012	0,0000						0,0004		9,7130	11,2954	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4291		0,3147	0,6633				0,3776		0,3368		0,9934	1,5701	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,5251		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8698	0,0000	2,8239	1,4752	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,9695	Ht_v1	1,5251	2,9695	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,6297	0,0000	0,9510	0,4968	0,0000	0,0000	0,0000	0,0610	0,0000		Ht_rel_max	0,5136		
Hs_rel_MA	0,3313	0,0000	0,5004	0,2614	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2702	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,6687	1,0000	0,4996	0,7386	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,7298		
											Ht (tothers)	1,7920	3,6801	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,4869		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,3175		
											RPRt_MAX(tothers)	0,6825		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 92: RPR Berechnung S13

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplat	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartenträger	cAbdeckur	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+												0,0000	0,0000	
PC/ABS				0,0183						0,0059		5,7633	7,4018	
PE		1,0000		0,0896						0,1282		0,7844	2,9632	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0024		0,0005					0,0003		0,0004		9,3170	11,1748	
Al			0,0752	0,1694						0,0875		3,0011	3,5146	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005		0,0001	0,0000				0,0004		0,0001		12,2200	13,4517	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0130	0,0000						0,0057		6,2804	7,4623	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0160	0,0002						0,0071		6,0113	7,1459	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0000	0,0034						0,0011		8,2398	9,8067	
Cr			0,0042							0,0018		7,8974	9,0923	
Cu	0,2880		0,0233	0,0340				0,0162		0,0479		3,3358	4,3824	
Fe	0,2211		0,0262	0,0001					1,0000	0,0354		2,9432	4,8207	
Ga								0,0003		0,0000		11,8135	16,2322	
In			0,0001							0,0000		14,0904	15,2854	
K			0,0026	0,0001						0,0011		8,6322	9,7694	
Li			0,0000	0,0074						0,0024		7,1371	8,6941	
Mg			0,1105							0,0482		3,1784	4,3733	
Mn			0,0010							0,0005		9,9186	11,1136	
Mo			0,0006	0,0000						0,0002		10,8430	11,9378	
Na			0,0417	0,0003						0,0183		4,6185	5,7709	
Nb				0,0000						0,0000		17,9388	19,6313	
Ni	0,0131		0,0042							0,0036		6,8380	8,1350	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0127							0,0056		6,2934	7,4884	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1044							0,0456		3,2600	4,4549	
Sn	0,0266		0,0024					0,0050		0,0037		6,3716	8,0790	
Sr			0,0033							0,0015		8,2247	9,4197	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0044		0,0002	0,0000				0,0003		0,0005		8,7827	10,9824	
V				0,0000						0,0000		15,6436	17,2761	
W				0,0009						0,0003		10,1954	11,8279	
Zn	0,0048		0,0040							0,0022		7,9075	8,8349	
Zr			0,0002	0,0000						0,0001		12,6851	13,7278	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4331		0,5537	0,6762				0,9776		0,5450		0,6933	0,8756	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,6885		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8671	0,0000	2,3537	1,4974	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,4196	Ht_v1	1,6885	2,4196	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,7716	0,0000	0,9728	0,6189	0,0000	0,0000	0,0000	0,0749	0,0000		Ht_rel_max	0,6979		
Hs_rel_MA	0,3308	0,0000	0,4170	0,2653	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2992	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
RPR_MAX	0,6692	1,0000	0,5830	0,7347	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,7008		
											Ht (tothers)	2,8802	4,2694	Ht_max (tothers)
											Ht_rel_max(tothers)	0,6746		
											Ht_rel_MAX(tothers)	0,5103		
											RPRt_MAX(tothers)	0,4837		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 93: RPR Berechnung S14

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplat	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Kartenträger	cAbdeckur	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+(												0,0000	0,0000	
PC/ABS												0,0000	0,0000	
PE				0,0527						0,0133		4,2456	6,2284	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0023		0,0003					0,0003		0,0005		9,2627	11,1060	
Al			0,0283	0,0971		1,0000				0,1040		1,1547	3,2660	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0005			0,0001				0,0004		0,0001		11,5769	13,2887	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0003	0,0000						0,0001		11,7792	13,5361	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0026	0,0005						0,0008		8,9454	10,2581	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0000	0,0471						0,0119		4,4165	6,3906	
Cr			0,0040							0,0010		7,9827	9,9431	
Cu	0,2838		0,0012	0,1205				0,0162		0,0763		2,3578	3,7123	
Fe	0,2324	1,0000	0,0254	0,0001	1,0000				1,0000	0,2851		0,3961	1,8103	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,6950	
In			0,0001							0,0000		14,1024	16,0628	
K			0,0023	0,0000						0,0006		8,8540	10,6755	
Li			0,0000	0,0104						0,0026		6,6278	8,5691	
Mg			0,0044	0,0001						0,0012		7,9334	9,7532	
Mn			0,0003							0,0001		11,7815	13,7419	
Mo			0,0003							0,0001		11,5749	13,5353	
Na			0,0407	0,0002						0,0105		4,6609	6,5632	
Nb				0,0001						0,0000		14,1799	16,1627	
Ni	0,0188		0,0025	0,0002						0,0037		6,3194	8,0905	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0022							0,0006		8,8061	10,7665	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb			0,0000							0,0000		15,5452	17,5057	
Si			0,1143							0,0294		3,1289	5,0893	
Sn	0,0262		0,0006					0,0050		0,0044		5,4818	7,8242	
Sr			0,0075							0,0019		7,0654	9,0259	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0043		0,0002	0,0000				0,0003		0,0007		8,2723	10,3867	
V			0,0000	0,0000						0,0000		18,0930	19,1459	
W				0,0003						0,0001		11,5370	13,5197	
Zn	0,0048									0,0008		7,7095	10,3593	
Zr			0,0004	0,0000						0,0001		11,2341	13,1141	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,4268		0,7620	0,6705				0,3776		0,4501		0,5747	1,1516	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,0583		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8711	0,0000	1,3687	1,6023	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,2103	Ht_v1	1,0583	2,2103	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,8465	0,0000	0,6192	0,7249	0,0000	0,0000	0,0000	0,0820	0,0000		Ht_rel_max	0,4788		
Hs_rel_MA	0,3315	0,0000	0,2425	0,2839	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,1875	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6685	1,0000	0,7575	0,7161	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,8125		
											Ht (\others)	1,4542	3,0769	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4726		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2577		
											RPRt_MAX(\others)	0,7423		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 94: RPR Berechnung S15

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	n-Kartenträ	Abdeckung	Tasten	Elektroteile	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
	ci,Leiterplatte	c,Gehäuse	cBildschirm	cBatterie	cSim-Karte	cAbdeckun	cTasten	cElektroteil	cSchraube	cGesamt				
ABS												0,0000	0,0000	
PC												0,0000	0,0000	
PC+GF20												0,0000	0,0000	
PC/ABS+(												0,0000	0,0000	
PC/ABS		0,1743				1,0000				0,2655		0,2238	1,3134	
PE				0,0765						0,0103		3,7079	6,6011	
PMMA												0,0000	0,0000	
PVC												0,0000	0,0000	
Ag	0,0021		0,0001					0,0003		0,0003		9,2390	11,5537	
Al			0,0504	0,1014						0,0288		3,8317	5,1189	
As												0,0000	0,0000	
Au	0,0004		0,0000	0,0001				0,0004		0,0001		11,8459	13,5254	
B												0,0000	0,0000	
Ba			0,0001							0,0000		12,7039	14,4407	
Be												0,0000	0,0000	
Bi												0,0000	0,0000	
C												0,0000	0,0000	
Ca			0,0201	0,0004						0,0061		5,6831	7,3626	
Cd												0,0000	0,0000	
Co			0,0008	0,0289						0,0041		5,4124	7,3198	
Cr			0,0029							0,0009		8,4365	10,1733	
Cu	0,2509		0,0192	0,0595			0,0000	0,0162		0,0514		2,7633	4,2815	
Fe	0,3215	0,8257	0,0842		1,0000		1,0000		1,0000	0,2006		0,9333	2,3179	
Ga								0,0003		0,0000		11,8195	17,2109	
In			0,0001							0,0000		12,8540	14,5909	
K			0,0126	0,0000						0,0038		6,3181	8,0423	
Li			0,0000	0,0062						0,0008		7,4107	10,2103	
Mg			0,0215							0,0064		5,5425	7,2754	
Mn			0,0029							0,0009		8,4401	10,1769	
Mo			0,0008							0,0002		10,2392	12,0361	
Na			0,0523							0,0157		4,2563	5,9931	
Nb				0,0000						0,0000		14,7374	17,6307	
Ni	0,0166		0,0995							0,0323		3,5266	4,9517	
Pb												0,0000	0,0000	
Pd			0,0027							0,0008		8,5435	10,2863	
Pt												0,0000	0,0000	
Sb												0,0000	0,0000	
Si			0,1131							0,0339		3,1444	4,8813	
Sn	0,0232		0,0017					0,0050		0,0041		5,9731	7,9342	
Sr			0,0078							0,0024		6,9333	8,7301	
Ta												0,0000	0,0000	
Ti	0,0038		0,0005	0,0000				0,0003		0,0007		8,7114	10,4368	
V												0,0000	0,0000	
W			0,0023	0,0009						0,0008		8,9416	10,2543	
Zn	0,0042		0,0006							0,0008		8,5121	10,2806	
Zr			0,0002							0,0001		12,0567	13,7935	
Nd												0,0000	0,0000	
Silikon												0,0000	0,0000	
Glass												0,0000	0,0000	
Others	0,3773		0,5034	0,7261				0,9776		0,3281		0,8358	1,6077	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	1,3251		
										Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	1,8685	0,6674	2,5462	1,4043	0,0000	0,0000	0,0000	0,1812	0,0000	2,6322	Ht_v1	1,3251	2,6322	Ht_max_v2
Hs_rel_ma	0,7098	0,2535	0,9673	0,5335	0,0000	0,0000	0,0000	0,0688	0,0000		Ht_rel_max	0,5034		
Hs_rel_MA	0,3311	0,1182	0,4511	0,2488	0,0000	0,0000	0,0000	0,0321	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2348	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(\others)
RPR_MAX	0,6689	0,8818	0,5489	0,7512	1,0000	1,0000	1,0000	0,9679	1,0000		RPRt_MAX	0,7652		
											Ht (\others)	1,5640	3,1325	Ht_max (\others)
											Ht_rel_max(\others)	0,4993		
											Ht_rel_MAX(\others)	0,2771		
											RPRt_MAX(\others)	0,7229		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anhang B3 RPR-Berechnungen Smartphones S16–S22

Tabelle 95: RPR Berechnung S16 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträge	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
ABS															0,0000	0,0000	
PC		0,0437							0,1039				0,0213		4,1132	5,5563	
PC+GF															0,0000	0,0000	
PC/ABS+GF															0,0000	0,0000	
PC/ABS															0,0000	0,0000	
PE				0,0650									0,0146		3,9434	6,0977	
PMMA															0,0000	0,0000	
PVC															0,0000	0,0000	
Ag	0,0015		0,0001	0,0000			0,0001	0,0007	0,0003	0,0000			0,0002		10,4081	12,4420	
Al	0,0100		0,0054	0,1195	1,0000		0,0008	0,0143	0,0017	0,0001			0,0332		3,0038	4,9106	
As															0,0000	0,0000	
Au	0,0008			0,0000			0,0001	0,0007	0,0001				0,0001		10,7104	13,3214	
B									0,0066	0,0080			0,0005		7,1078	11,0283	
Ba	0,0174		0,0002	0,0000			0,0001	0,0036	0,0001				0,0015		6,3471	9,4094	
Be															0,0000	0,0000	
Bi															0,0000	0,0000	
C															0,0000	0,0000	
Ca	0,0117		0,0001	0,0002			0,0004	0,0025	0,0010	0,0000			0,0011		7,1847	9,8766	
Cd															0,0000	0,0000	
Co	0,0015		0,0005	0,0038			0,0012	0,0069	0,0028	0,0001			0,0015		8,2651	9,4161	
Cr	0,0089		0,0076	0,0002			0,0019	0,0805	0,0241	0,0421			0,0076		5,0810	7,0436	
Cu	0,2976		0,0161	0,0447			0,0295	0,0777	0,0665	0,0283	1,0000		0,0569		2,2866	4,1367	
Fe	0,0948	0,1492	0,0423	0,0013			0,9135	0,3015	0,4688	0,6035			0,1270		2,1480	2,9766	
Ga															0,0000	0,0000	
In	0,0001							0,0003	0,0000				0,0000		12,2470	15,3944	
K	0,0002		0,0002	0,0001				0,0003	0,0000				0,0001		12,5705	13,5208	
Li	0,0002		0,0046	0,0079				0,0001	0,0001				0,0028		7,2396	8,4703	
Mg	0,0013		0,0003	0,0000			0,0001	0,0010	0,0001				0,0002		10,4892	12,2285	
Mn	0,0009		0,0009	0,0000			0,0002	0,0111	0,0026	0,0047			0,0009		7,9810	10,0869	
Mo	0,0011		0,0012	0,0000			0,0001	0,0206	0,0036	0,0070			0,0015		7,0480	9,4088	
Na				0,0003				0,0008					0,0001		11,3098	13,3518	
Nb	0,0007			0,0000									0,0001		10,5732	14,1994	
Ni	0,0449	0,0052		0,0003			0,0025	0,0681	0,0211	0,0329			0,0095		5,0977	6,7188	
Pb															0,0000	0,0000	
Pd			0,0024										0,0005		8,6814	10,8677	
Pt															0,0000	0,0000	
Sb			0,0001										0,0000		13,4932	15,6795	
Si			0,0472					0,0058	0,0140	0,0023			0,0112		4,5715	6,4832	
Sn	0,0325		0,0002	0,0001			0,0011	0,0061	0,0026	0,0001			0,0028		5,5048	8,4906	
Sr			0,0004										0,0001		11,1650	13,3513	
Ta															0,0000	0,0000	
Ti	0,0041		0,0001	0,0000			0,0000	0,0004	0,0001				0,0004		8,6330	11,4832	
V				0,0000									0,0000		15,5463	17,7005	
W	0,0179		0,0020	0,0024			0,0125	0,0821	0,0282	0,0012			0,0066		5,1339	7,2495	
Zn	0,0130		0,0001	0,0000			0,0002	0,0004	0,0004	0,0000			0,0010		6,6755	9,9468	
Zr	0,0011		0,0040	0,0000			0,0001	0,0001	0,0001				0,0010		8,1828	9,9932	
Nd									0,1647	0,1937			0,0120		2,4639	6,3850	
Silikon															0,0000	0,0000	
Glass		0,7959											0,2757		0,3294	1,8586	
Others	0,4376		0,8638	0,7538			0,0356	0,3145	0,0804	0,0698			0,4083		0,4586	1,2324	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	Ht_v2	1,2453		
													Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	2,3422	0,3264	0,9305	1,2686	0,0000	0,0000	0,6063	2,6992	2,5110	1,8517	0,0000	0,0000	2,4926	Ht_v1	1,2357	2,4926	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,3397	0,3717	0,3733	0,5090	0,0000	0,0000	0,2432	1,0829	1,0074	0,7429	0,0000	0,0000		Ht_rel_max	0,4957		
Hs_rel_MAX	0,4150	0,1641	0,1649	0,2248	0,0000	0,0000	0,1074	0,4783	0,4449	0,3281	0,0000	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2189	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(!others)
RPR_MAX	0,5850	0,8359	0,8351	0,7752	1,0000	1,0000	0,8926	0,5217	0,5551	0,6719	1,0000	1,0000		RPRt_MAX	0,7811		
														Ht (!others)	1,7881	3,3207	Ht_max (!others)
														Ht_rel_max(!others)	0,5385		
														Ht_rel_MAX(!others)	0,3168		
														RPRt_MAX(!others)	0,6832		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 96: RPR Berechnung S16 auf Sub-Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie				Sim-Kartenträger	Bildschirm	Tasten		Kamera			Lautsprecher			Vibrationsmotor			Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
				Kathode	Anode	Separator/Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Tasten	Div.	Linse	Beleuchtungseinheit	Linse	Gehäuse	Div.	Magnet	Trockungsmittel	Gehäuse	Div.	Magnet	Gehäuse	Div.	Leiterplatte	Magnet		
ABS																									0,0213
PC	0,9437																	0,5000							
PC+GF																									
PC/ABS+GF																									
PE						1,0000																			
PMMA																									0,0146
PVC																									
Ag	0,0015	0,0001				0,0001	1,0000	0,0015	0,0080	0,0015	0,0008		0,0007							0,0015					0,0002
Al	0,0100	0,0054	1,0000					0,0080	0,0182	0,0080	0,0182		0,0123							0,0080					0,0332
As						0,0000																			
Au	0,0008							0,0006		0,0006	0,0009		0,0006												
B																0,0120									
Ba	0,0174	0,0002				0,0000		0,0006		0,0006	0,0047		0,0023							0,0006	0,0075				0,0095
Be																									
Bi																									
C																									
Ca	0,0117	0,0001				0,0002		0,0045	0,0023	0,0045	0,0023		0,0024							0,0045					0,0011
Cd																									
Co	0,0015					0,0051		0,0126	0,0090	0,0126	0,0090		0,0067												
Cr	0,0076	0,0075						0,0047	0,0047	0,0047	0,0047		0,0047		0,1800	0,0900	0,0167			0,0167					0,0076
Cu	0,2376	0,0161				0,0001		0,3849	0,0471	0,3849	0,0471		0,0395			0,0047	0,0335	0,1800	0,3857	1,0000					0,0526
Fe	0,0348	0,0423	1,0000			0,0002		0,1050	0,2515	0,1051	0,2515		0,3227		0,8200	0,3100	0,1050	0,6047	0,8200	0,1054		1,0000			0,1270
Ga	0,1432																								
In	0,0001																								
K	0,0002	0,0002				0,0001		0,0002					0,0003			0,0001									
Li	0,0002	0,0046				0,0110		0,0003		0,0003			0,0002			0,0003									
Mg	0,0013	0,0003						0,0006	0,0012	0,0006	0,0012		0,0007												
Mn	0,0011	0,0009						0,0015	0,0030	0,0015	0,0030		0,0014		0,0200	0,0100	0,0019	0,0200	0,0019						
Mo		0,0002				0,0000		0,0019	0,0030	0,0019	0,0030		0,0007		0,0300	0,0050	0,0015	0,0300	0,0015						
Na	0,0007					0,0004		0,0015	0,0030	0,0015	0,0030		0,0006												
Ni	0,0443	0,0052				0,0000																			
Pb								0,0260	0,0566	0,0260	0,0566		0,0731		0,1400	0,0700	0,0260	0,1400	0,0261						
Pd		0,0024																							
Pt																									
Sb		0,0001																							
Si	0,0325	0,0472						0,0119	0,0070	0,0119	0,0070		0,0035		0,0700	1,0000	0,0050		0,0119						
Sn		0,0002											0,0035												
Ta		0,0004																							
Ti	0,0041					0,0000		0,0004	0,0005	0,0004	0,0005		0,0003							0,0004					
V	0,0001					0,0000																			
W	0,0179					0,0000																			
Zn	0,0020					0,0013		0,1250	0,0972	0,1251	0,0972		0,0776							0,1250					
Zr	0,0130	0,0001						0,0021	0,0004	0,0021	0,0004		0,0005							0,0021					
Nd	0,0011	0,0040				0,0000		0,0006	0,0001	0,0006	0,0001														
Silikon																				0,2637					
Sonstiges	0,7353																								
Others	0,4376	0,0000	0,6838																						
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle 97: RPR Berechnung S16 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 98: RPR Berechnung S17 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
ABS													
PC		0,0500							0,1099				0,0215
PC+GF													
PC/ABS+GF													
PC/ABS													
PE				0,0650									0,0147
PMMA													
PVC													
Ag	0,0015		0,0001	0,0000			0,0001	0,0018	0,0003	0,0001			0,0002
Al	0,0100		0,0053	0,1195	1,0000		0,0008	0,0003	0,0017	0,0003			0,0348
As													
Au	0,0008			0,0000			0,0001	0,0407	0,0001				0,0001
B									0,0066				0,0005
Ba	0,0174		0,0002	0,0000			0,0001	0,1572	0,0001				0,0015
Be													
Bi													
C													
Ca	0,0118		0,0001	0,0002			0,0004	0,0002	0,0010	0,0002			0,0011
Cd													
Co	0,0015		0,0005	0,0038			0,0012	0,0067	0,0028	0,0005			0,0014
Cr	0,0089		0,0075	0,0002			0,0019	0,0342	0,0241	0,1737			0,0071
Cu	0,2982		0,0160	0,0447			0,0295	0,0131	0,0665	0,0120	1,0000		0,0541
Fe	0,0950	0,1500	0,0419	0,0013			0,3135	0,0767	0,4688	0,5397		1,0000	0,1304
Ga													
In	0,0001								0,0000				0,0000
K	0,0002		0,0002	0,0001				0,0000	0,0000				0,0001
Li	0,0002		0,0046	0,0079				0,0000	0,0001				0,0028
Mg	0,0013		0,0003	0,0000			0,0001	0,0000	0,0001				0,0002
Mn	0,0009		0,0009	0,0000			0,0002	0,0046	0,0026	0,0193			0,0009
Mo	0,0011		0,0012	0,0000			0,0001	0,0078	0,0036	0,0289			0,0013
Na				0,0003									0,0001
Nb				0,0000									0,0000
Ni	0,0450		0,0081	0,0003			0,0025	0,0177	0,0211	0,1355			0,0091
Pb													
Pd			0,0020										0,0005
Pt													
Sb			0,0001										0,0000
Si			0,0468					0,0012	0,0140	0,0096			0,0112
Sn	0,0325		0,0002	0,0001			0,0012	0,0005	0,0026	0,0005			0,0028
Sr			0,0004										0,0001
Ta													
Ti	0,0042		0,0001	0,0000			0,0000	0,6108	0,0001				0,0004
V				0,0000									0,0000
W	0,0179		0,0019	0,0024			0,0125	0,0053	0,0282	0,0051			0,0061
Zn	0,0130		0,0001	0,0000			0,0002	0,0001	0,0004	0,0001			0,0010
Zr			0,0040	0,0000			0,0001	0,0000	0,0001				0,0009
Nd									0,1647				0,0125
Silikon													
Glass		0,8000											0,2757
Others	0,4385		0,8572	0,7538			0,0356	0,0211	0,0804	0,0146			0,4070
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Hs	2,3254	0,8842	0,9877	1,2687	0,0000	0,0000	0,6064	2,0154	2,5110	1,8167	0,0000	0,0000	2,4883
Hs_rel_max	0,3345	0,3553	0,3369	0,5099	0,0000	0,0000	0,2437	0,8100	1,0091	0,7301	0,0000	0,0000	
Hs_rel_MAX	0,4120	0,1567	0,1750	0,2248	0,0000	0,0000	0,1074	0,3571	0,4449	0,3219	0,0000	0,0000	
RPR_MAX	0,5880	0,8433	0,8250	0,7752	1,0000	1,0000	0,8926	0,6429	0,5551	0,6781	1,0000	1,0000	

	Hr	Hr_max	
	0,0000	0,0000	
	4,0962	5,5395	
	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0000	
	3,9434	6,0867	
	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0000	
	9,9331	12,4628	
	2,8379	4,8429	
	0,0000	0,0000	
	4,8801	13,3829	
	7,2460	10,9714	
	3,2888	9,4168	
	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0000	
	7,0864	9,8804	
	0,0000	0,0000	
	8,2682	9,4495	
	5,3481	7,1373	
	2,3018	4,2079	
	2,2927	2,9390	
	0,0000	0,0000	
	12,9045	15,5284	
	12,6791	13,5408	
	7,2988	8,4609	
	10,6121	12,2620	
	8,4223	10,1983	
	7,7423	9,5443	
	11,7127	13,4272	
	17,9015	20,0448	
	5,1606	6,7750	
	0,0000	0,0000	
	8,9408	11,1081	
	0,0000	0,0000	
	13,5049	15,6722	
	4,5385	6,4834	
	5,3788	8,4324	
	11,1767	13,3440	
	0,0000	0,0000	
	0,8201	11,4554	
	15,5463	17,6896	
	6,5343	7,3612	
	6,6248	9,3306	
	8,0335	10,1117	
	2,6021	6,3275	
	0,0000	0,0000	
	0,3219	1,8590	
	0,4236	1,2968	
Ht_v2	1,2452		
Hs_max = Ht_max_v1			
Ht_v1	1,1965	2,4883	Ht_max_v2
Ht_rel_max	0,4808		
Ht_rel_MAX	0,2120	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(others)
RPRt_MAX	0,7880		
Ht (others)	1,8091	3,3061	Ht_max (others)
Ht_rel_max(others)	0,5472		
Ht_rel_MAX(others)	0,3205		
RPRt_MAX(others)	0,6795		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 99: RPR Berechnung S17 auf Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 100: RPR Berechnung S17 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 101: RPR Berechnung S18 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträge	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
ABS															0,0000	0,0000	
PC		0,0500							0,1099				0,0022		4,0825	8,8031	
PC+GF															0,0000	0,0000	
PC/ABS+GF													0,0086		0,0000	6,8551	
PC/ABS															0,0000	0,0000	
PE				0,0650											0,0000	0,0000	
PMMA													0,0001		0,0000	13,4724	
PVC							0,4768						0,0548		1,0687	4,1906	
Ag	0,0015		0,0001	0,0000			0,0001	0,0006	0,0003	0,0000			0,0000		10,2821	15,3179	
Al	0,0100	0,1500	0,0053	0,1195	1,0000		0,0004	0,4489	0,0987	0,2110			0,0175		2,3345	5,8374	
As															0,0000	0,0000	
Au	0,0008			0,0000			0,0000	0,0006	0,0001				0,0009		10,7429	10,1123	
B									0,0066	0,0082	0,0035		0,0003		7,2078	11,6662	
Ba	0,0174		0,0002	0,0000			0,0000	0,0030	0,0001				0,0001		6,2704	13,5737	
Be															0,0000	0,0000	
Bi													0,0006		0,0000	10,6608	
C															0,0000	0,0000	
Ca	0,0117		0,0001	0,0002			0,0002	0,0022	0,0010	0,0000			0,0007		7,1018	10,4452	
Cd													0,0012		0,0000	9,6579	
Co	0,0015		0,0005	0,0038			0,0006	0,0061	0,0028	0,0001			0,0224		8,2703	5,4786	
Cr	0,0089		0,0075	0,0002			0,0009	0,0043	0,0046	0,0009			0,0094		7,2526	6,7378	
Cu	0,2976		0,0160	0,0447			0,0142	0,0838	0,0687	0,0078	0,7075		0,0115		2,4371	6,4482	
Fe	0,0948		0,0419	0,0013			0,0049	0,0335	0,4012	0,5402	0,2012	1,0000	0,0240		1,9787	5,3802	
Ga													0,0000		0,0000	14,6568	
In	0,0001							0,0003	0,0000				0,0015		12,4186	9,3399	
K	0,0002		0,0002	0,0001				0,0002	0,0000				0,0001		12,6458	13,2265	
Li	0,0002		0,0046	0,0079				0,0001	0,0001				0,0001		7,2693	12,8068	
Mg	0,0013		0,0003	0,0000			0,0000	0,0152	0,0033	0,0069			0,0008		7,0721	10,3556	
Mn	0,0009		0,0009	0,0000			0,0001	0,0021	0,0004	0,0000			0,0001		9,9675	13,2343	
Mo	0,0011		0,0012	0,0000			0,0001	0,0063	0,0003	0,0000			0,0002		8,7000	12,2169	
Na				0,0003				0,0006					0,0031		11,4035	8,3358	
Nb	0,0007			0,0000											0,0000	0,0000	
Ni	0,0449		0,0081	0,0003			0,0012	0,0071	0,0057	0,0003			0,0005		5,4474	10,8755	
Pb															0,0000	0,0000	
Pd			0,0020												8,3408	16,7904	
Pt													0,0000		0,0000	7,7017	
Sb			0,0001										0,0048		13,5049	9,2563	
Si			0,0468						0,0129				0,0016		4,5126	11,6691	
Sn	0,0325		0,0002	0,0001			0,0006	0,0054	0,0026	0,0001			0,0003		5,4451	12,2571	
Sr			0,0004										0,0002		11,1767	12,1481	
Ta													0,0002		0,0000	18,4580	
Ti	0,0041		0,0001	0,0000			0,0000	0,0003	0,0001				0,0000		8,4947	9,4714	
V				0,0000									0,0014		15,5463	10,5785	
W	0,0179		0,0019	0,0024			0,0060	0,0717	0,0282	0,0013			0,0007		5,2013	8,3620	
Zn	0,0130		0,0001	0,0000			0,0001	0,0306	0,0072	0,0146			0,0030		5,8409	9,6992	
Zr	0,0011		0,0040	0,0000			0,0000	0,0001	0,0001				0,0012		8,2774	17,2551	
Nd									0,1647	0,2049	0,0877		0,0000		2,5639	2,8177	
Silikon													0,1418		0,0000	2,2545	
Glass		0,8000					0,4768						0,2096		0,4649	1,1049	
Others	0,4376		0,8572	0,7538			0,0171	0,2772	0,0804	0,0036			0,0093		0,3565	6,7547	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	0,4908	1,1232	
													Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	2,3422	0,8842	0,9877	1,2686	0,0000	0,0000	1,3348	2,3237	2,7008	1,7303	1,1552	0,0000	2,4695	Ht_v1	1,2695	2,4695	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,9485	0,3580	0,3999	0,5137	0,0000	0,0000	0,5405	0,9410	1,0937	0,7007	0,4678	0,0000		Ht_rel_max	0,5222		
Hs_rel_MAX	0,4150	0,1567	0,1750	0,2248	0,0000	0,0000	0,2365	0,4117	0,4785	0,3066	0,2047	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2285	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(others)
RPR_MAX	0,5850	0,8433	0,8250	0,7752	1,0000	1,0000	0,7635	0,5883	0,5215	0,6934	0,7953	1,0000		RPRt_MAX	0,7715		
														Ht (others)	1,1351	2,4294	Ht_max (others)
														Ht_rel_max(others)	0,4672		
														Ht_rel_MAX(others)	0,2011		
														RPRt_MAX(others)	0,7989		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 102: RPR Berechnung S18 auf Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 103: RPR Berechnung S18 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 104: RPR Berechnung S19 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotc	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
ABS													
PC		0,0500							0,1099				0,0022
PC+GF													
PC/ABS+GF													0,0076
PC/ABS													
PE				0,0650									
PMMA													0,0001
PVC													0,0175
Ag	0,0015		0,0001	0,0000			0,0001	0,0007	0,0003	0,0000			0,0000
Al	0,0100		0,0053	0,1195	1,0000		0,0008	0,0144	0,0017	0,0001			0,0006
As													
Au	0,0008			0,0000			0,0001	0,0007	0,0001				0,0009
B								0,0000	0,0066	0,0080	0,0035		0,0003
Ba	0,0174		0,0002	0,0000			0,0001	0,0036	0,0001				0,0001
Be													
Bi													0,0006
C													
Ca	0,0117		0,0001	0,0002			0,0004	0,0025	0,0010	0,0000			0,0007
Cd													0,0011
Co	0,0015		0,0005	0,0038			0,0012	0,0069	0,0028	0,0001			0,0212
Cr	0,0089		0,0075	0,0002			0,9052	0,0806	0,0241	0,0422			0,0486
Cu	0,2976		0,0160	0,0447			0,0295	0,0778	0,0665	0,0282	0,7075		0,0127
Fe	0,0948	0,1500	0,0419	0,0013			0,0102	0,3019	0,4688	0,6698	0,2012	1,0000	0,0376
Ga													0,0000
In	0,0001							0,0003	0,0000				0,0013
K	0,0002		0,0002	0,0001				0,0003	0,0000				0,0001
Li	0,0002		0,0046	0,0079			0,0000	0,0001	0,0001				0,0001
Mg	0,0013		0,0003	0,0000			0,0001	0,0010	0,0001				0,0002
Mn	0,0009		0,0009	0,0000			0,0002	0,0111	0,0026	0,0047			0,0006
Mo	0,0011		0,0012	0,0000			0,0001	0,0206	0,0036	0,0070			0,0010
Na				0,0003				0,0008					0,0029
Nb	0,0007			0,0000									
Ni	0,0449		0,0081	0,0003			0,0025	0,0682	0,0211	0,0329			0,0037
Pb													
Pd			0,0020										0,0000
Pt													0,0039
Sb			0,0001										0,0016
Si			0,0468					0,0043	0,0140	0,0023			0,0005
Sn	0,0325		0,0002	0,0001			0,0011	0,0061	0,0026	0,0001			0,0003
Sr			0,0004										0,0002
Ta													0,0000
Ti	0,0041		0,0001	0,0000			0,0000	0,0004	0,0001				0,0013
V				0,0000									0,0006
W	0,0173		0,0019	0,0024			0,0125	0,0823	0,0282	0,0012			0,0042
Zn	0,0130		0,0001	0,0000			0,0002	0,0004	0,0004	0,0000			0,0000
Zr	0,0011		0,0040	0,0000			0,0001	0,0001	0,0001				0,0000
Nd									0,1647	0,1937	0,0877		0,1711
Silikon													0,1802
Glass		0,8000											0,4604
Others	0,4376		0,8572	0,7538			0,0356	0,3151	0,0804	0,0035			0,0139
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

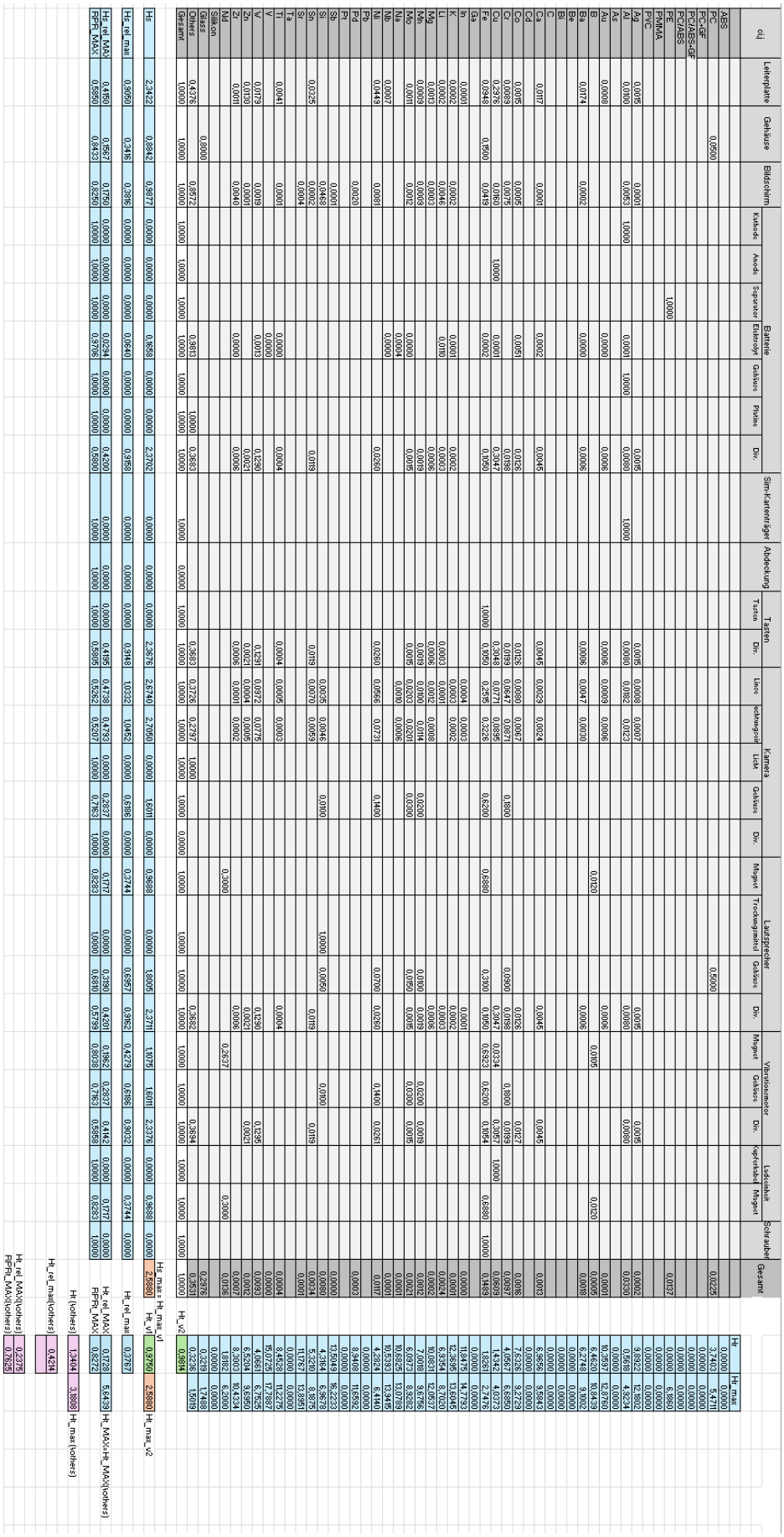
	Hr	Hr_max
	0,0000	0,0000
	4,1230	8,8478
	0,0000	0,0000
	0,0000	7,0490
	0,0000	0,0000
	0,0000	0,0000
	0,0000	13,5429
	0,0000	5,8342
	10,2066	14,8153
	2,3177	10,6276
	0,0000	0,0000
	10,6020	10,1318
	7,2409	11,7069
	6,3341	12,7854
	0,0000	0,0000
	0,0000	10,7049
	0,0000	0,0000
	7,1274	10,5267
	0,0000	9,8530
	8,0833	5,5629
	2,3573	4,3640
	2,3736	6,3035
	2,0775	4,7340
	0,0000	14,8672
	12,0871	9,5558
	12,5566	13,2782
	7,2638	12,9887
	10,2524	12,3396
	7,4713	10,7321
	6,5031	9,3513
	11,1011	8,4236
	0,0000	0,0000
	4,6432	8,0601
	0,0000	0,0000
	8,3408	17,0863
	0,0000	7,9375
	13,5049	9,2933
	4,6328	10,3219
	5,5010	11,7410
	11,1767	12,1976
	0,0000	18,6516
	8,5095	9,5673
	15,5462	10,6164
	4,6589	7,8937
	6,6138	15,2126
	8,3442	16,9532
	2,5971	2,5473
	0,0000	2,4722
	0,3219	1,1190
	0,5360	6,1676
Ht_v2	1,1717	

	Hs	Hs_rel_max	Hs_rel_MAX	RPR_MAX
	2,3422	0,9400	0,4150	0,5850
	0,8842	0,3549	0,1567	0,8433
	0,3877	0,3964	0,1750	0,8250
	1,2686	0,5091	0,2248	0,7752
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	0,6675	0,2679	0,1183	0,8817
	2,6921	1,0804	0,4770	0,5230
	2,5108	1,0077	0,4449	0,5551
	1,5538	0,6260	0,2764	0,7236
	1,1552	0,4636	0,2047	0,7953
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Hs_max = Ht_max_v1			
2,4917	Ht_v1	1,3058	2,4917 Ht_max_v2
	Ht_rel_max	0,5241	
	Ht_rel_MAX	0,2314	5,6439 Ht_MAX=Ht_MAX(tothers)
	RPRt_MAX	0,7686	
	Ht (tothers)	1,1607	2,4398 Ht_max (tothers)
	Ht_rel_max(tothers)	0,4839	
	Ht_rel_MAX(tothers)	0,2092	
	RPRt_MAX(tothers)	0,7908	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 105: RPR Berechnung S19 auf Sub-Komponentenebene



TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 106: RPR Berechnung S19 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 107: RPR Berechnung S20 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max	
ABS													0,0017		0,0000	9,1680	
PC						1,0000			0,1650				0,0558		0,1478	4,1632	
PC+GF					1,0000								0,0020		0,0000	8,9785	
PC/ABS+GF		0,7000											0,0188		0,5146	5,7326	
PC/ABS				0,0107											0,0000	0,0000	
PE				0,1016											0,0000	0,0000	
PMMA													0,0001		0,0000	13,1170	
PVC													0,0476		0,0000	4,3936	
Ag	0,0015		0,0000	0,0001				0,0007					0,0000		10,2677	15,2404	
Al	0,0100	0,3000	0,0105	0,1088				0,4454	0,1620	0,1936			0,0211		2,2330	5,5660	
As															0,0000	0,0000	
Au	0,0008		0,0000	0,0001				0,0007					0,0015		10,9432	9,3743	
B									0,0078	0,0034			0,0002		6,9093	12,1293	
Ba	0,0174		0,0037	0,0000				0,0037					0,0001		6,6537	12,8502	
Be															0,0000	0,0000	
Bi													0,0014		0,0000	3,4432	
C															0,0000	0,0000	
Ca	0,0117		0,0051	0,0008				0,0024					0,0084		7,3684	6,8892	
Cd													0,0008		0,0000	10,2105	
Co	0,0015		0,0001	0,0445				0,0068					0,0294		4,6286	5,0883	
Cr	0,0089		0,0007	0,0012				0,0025					0,0075		7,3993	7,0538	
Cu	0,2376		0,0018	0,0587				0,0745		0,0165	1,0000		0,0061		2,5206	7,3464	
Fe	0,0948		0,0041	0,0066				0,0341	0,4500	0,5416		1,0000	0,0169		2,1351	5,8903	
Ga													0,0001		0,0000	13,0424	
In	0,0001		0,0000	0,0000				0,0003					0,0018		12,6316	9,1080	
K	0,0002		0,0009	0,0001				0,0003					0,0003		10,8262	11,5195	
Li	0,0002		0,0000	0,0096				0,0001					0,0001		6,7517	13,4929	
Mg	0,0013		0,0020	0,0002				0,0049	0,0015	0,0018			0,0003		8,8607	11,6161	
Mn	0,0009		0,0000	0,0001				0,0024					0,0014		9,8451	9,4515	
Mo	0,0011		0,0001	0,0001				0,0077					0,0003		7,3960	11,5349	
Na			0,0115	0,0002				0,0008					0,0031		6,6894	8,3215	
Nb	0,0007			0,0001											0,0000	0,0000	
Ni	0,0449		0,0004	0,0018				0,0073					0,0003		5,2275	11,5026	
Pb															0,0000	0,0000	
Pd			0,0007												0,0000	0,0000	
Pt													0,0055		0,0000	7,5166	
Sb													0,0022		0,0000	8,8523	
Si			0,0484					0,0026	0,0177	0,0012			0,0006		4,5233	10,6280	
Sn	0,0325		0,0005	0,0007				0,0060					0,0002		5,6253	12,1448	
Sr			0,0016										0,0003		9,2577	11,8608	
Ta													0,0000		0,0000	21,3013	
Ti	0,0041		0,0001	0,0001				0,0004					0,0027		8,4641	8,5188	
V				0,0000									0,0008		18,8682	10,2691	
W	0,0179		0,0008	0,0083				0,0816					0,0031		5,0208	8,3381	
Zn	0,0130			0,0001				0,0004					0,0000		6,5469	16,0691	
Zr	0,0011		0,0000	0,0000				0,0001					0,0000		10,6534	17,8877	
Nd									0,1960	0,2359			0,0056		2,2654	7,4860	
Silikon													0,2483		0,0000	2,0096	
Glass													0,4315		0,0000	1,0247	
Others	0,4376		0,9071	0,6454				0,3143					0,0116		0,5421	6,4300	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	0,5431		
													Hs_max = Ht_max_v1				
Hs	2,3422	0,8813	0,6788	1,8306	0,0000	0,0000	0,0000	2,1787	2,0052	1,6180	0,0000	0,0000	2,4719	Ht_v1	1,3529	2,4719	Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,9475	0,3565	0,2746	0,7405	0,0000	0,0000	0,0000	0,8814	0,8112	0,6545	0,0000	0,0000		Ht_rel_max	0,5473		
Hs_rel_MAX	0,4150	0,1562	0,1203	0,3243	0,0000	0,0000	0,0000	0,3860	0,3553	0,2867	0,0000	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2397	5,6439	Ht_MAX=Ht_MAX(Iothers)
RPR_MAX	0,5850	0,8438	0,8797	0,6757	1,0000	1,0000	1,0000	0,6140	0,6447	0,7133	1,0000	1,0000		RPRt_MAX	0,7603		
														Ht (Iothers)	0,5432	2,4255	Ht_max (Iothers)
														Ht_rel_max(Iothers)	0,2239		
														Ht_rel_MAX(Iothers)	0,0962		
														RPRt_MAX(Iothers)	0,9038		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 108: RPR Berechnung S20 auf Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Kathode	Anode	Separator	Elektrolyt	Gehäuse	Platine	Div.	Sim-Kartenträger	Abdeckung	Tasten	Linse	Kamera	Gehäuse	Div.	Magnet	Lautsprecher	Gehäuse	Div.	Magnet	Vibrationsmotor	Gehäuse	Div.	Kopfhörer	Ladeanschluss	Magnet	Schraube	Gesamt		
ABS																													0,0969	Hs_max	
PE												1,0000							0,5000									0,0969	0,0969	3,2232	
PC/GF																													0,0969	0,1031	3,2232	0,1008
PC/ABS+GF		0,7000									1,0000																		0,0937	0,0937	0,5445	3,1452	
PC/ABS						1,0000		0,0685																					0,0035	0,0035	3,8676	8,1456	
PMMA								0,3350																							0,0000	0,0000	
PVC										0,0015				0,0008	0,0007														0,0002		0,0000	0,0000	
Ag	0,0015	0,0000																												0,0002	9,7294	11,9860	
Al	0,0100	0,3000	0,0095	1,0000			0,0078	0,5985		0,0080		1,0000		0,3603	0,4556	0,3815			0,4908			0,3815						0,1222	1,3868	3,0324	
As																															0,0000	0,0000	
Au	0,0008		0,0000				0,0001			0,0006				0,0009	0,0006														0,0002	10,7809	12,4940	
B																													0,0004	0,0004		
Ba	0,0174		0,0027				0,0000			0,0006				0,0047	0,0030			0,0120					0,0118					0,0029	6,6123	8,4495		
Be																														0,0000	0,0000	
Bi																														0,0000	0,0000	
C																														0,0000	0,0000	
C_1	0,0017		0,0051				0,0007			0,0045				0,0023	0,0024														0,0027	7,2838	8,9223	
C_4	0,0015		0,0001				0,0650			0,0126				0,0080	0,0067														0,0000	4,1328	6,0289	
Co	0,0089		0,0007				0,0198			0,0020				0,0020	0,0040														0,0017	6,9844	9,2284	
Cr	0,2376		0,0018		1,0000		0,3047			0,0771				0,0366	0,0379	0,0035		0,8880	0,0018			0,0205	0,0035		1,0000			0,0433	18,520	4,5311	
Cu	0,0948		0,0041				0,0002			0,0050				0,0004	0,0003														0,0000	12,3296	14,5209	
Fe										0,0001				0,0003	0,0002														0,0002	10,7522	12,0897	
Ga	0,0001		0,0000				0,0001			0,0002				0,0001															0,0002	6,1958	8,2823	
In	0,0002		0,0009				0,0143			0,0003				0,0043	0,0050				0,0045				0,0090						0,0010	8,8499	9,9827	
K	0,0002		0,0000				0,0002			0,0006				0,0030	0,0021														0,0003	9,2768	11,6542	
Li	0,0013		0,0020							0,0019				0,0090	0,0063														0,0007	7,5770	10,5319	
Mg	0,0009		0,0000							0,0015				0,0098	0,0096														0,0024	5,6748	8,8623	
Mn	0,0011		0,0001											0,0078	0,0094														0,0060	9,2768	11,6542	
Mo	0,0007		0,0095				0,0003																						0,0007	5,6748	8,8623	
Na	0,0449		0,0004				0,0001																						0,0001	10,0795	13,3758	
Nb							0,0002			0,0260																			0,0000	0,0000	0,0000	
Pb																													0,0001	10,5563	12,5749	
Pd			0,0007																											0,0000	0,0000	
Pt																														0,0000	0,0000	
Sb																														0,0000	0,0000	
Si			0,0434							0,0119				0,0021	0,0028	0,0060			0,0030				0,0060						0,0095	4,2127	6,5700	
Sn	0,0325		0,0005											0,0070	0,0059														0,0042	5,3635	7,8791	
Sr			0,0016											0,0090	0,0096														0,0024	6,6748	8,8623	
Ta														0,0078	0,0094														0,0060	9,2768	11,6542	
Ti	0,0041		0,0001				0,0001			0,0004				0,0005	0,0003														0,0005	9,2577	11,5723	
V							0,0000																						0,0000	0,0000	0,0000	
W	0,0179		0,0008				0,0005			0,0290				0,0072	0,0776														0,0082	3,9256	6,6861	
Zn	0,0130									0,0021				0,0004	0,0005														0,0005	6,4149	9,4096	
Zr	0,0001									0,0006				0,0001	0,0001														0,0001	10,3263	12,7068	
Nd			0,0000				0,0000											0,3000					0,2939						0,0009	1,7446	6,8531	
Silikon																														0,0000	0,0000	
Glass	0,4376																													0,0000	0,0000	
Others	0,0000		0,0071				0,0006																							0,0000	0,0000	
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,4530	Hs_v2	0,9300
																														Hs_max = Hr_max_v1		
Hs	2,3422	0,8813	0,6788	0,0000	0,0000	0,0000	0,6233	1,2382	0,0000	2,3711	0,0000	0,0000	0,0000	2,2787	2,1940	0,0000	0,1604	0,0000	0,0000	1,0802	0,0000	0,0000	0,1604	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,7477	Hr_v1	0,9254	2,7477
																																Hr_max_v2
Hs_rel_max	0,8524	0,3207	0,2471	0,0000	0,0000	0,0000	0,2268	0,4506	0,0000	0,8630	0,0000	0,0000	0,0000	0,8293	0,7985	0,0000	0,0584	0,0000	0,3521	0,0000	0,0000	0,3679	0,0584	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	Hr_rel_max		0,3868
Hs_rel_MAX	0,4150	0,1562	0,1203	0,0000	0,0000	0,0000	0,1103	0,2194	0,0000	0,4201	0,0000	0,0000	0,0000	0,4037	0,3887	0,0000	0,0284	0,0000	0,1914	0,0000	0,0000	0,1937	0,0284	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4530	Hr_rel_MAX	0,1840	0,5429
RPR_MAX	0,5950	0,8438	0,8797	1,0000	1,0000	1,0000	0,8897	0,7906	1,0000	0,7799	1,0000	1,0000	1,0000	0,9863	0,8113	1,0000	0,9716	1,0000	0,8233	1,0000	0,8086	1,0000	0,9716	1,0000	0,8963	0,9716	1,0000	1,0000	1,0000	RPR_MAX	0,9360	

Hr_rel_MAX=(others) 0,2571
RPR_MAX=(others) 0,7429

Hr_rel_max=(others) 0,3469

Hr (others) 1,4500 4,1592 Hr_max (others)

Hr_rel_MAX=Hr_MAX=(others) 5,6429

Tabelle 109: RPR Berechnung S20 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 110: RPR Berechnung S21 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Kartentr.	Abdeckun	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmot	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt		Hr	Hr_max
ABS													0,0011		0,0000	9,8145
PC									0,1650				0,0091		2,5993	6,7803
PC+GF					1,0000								0,0017		0,0000	9,1660
PC/ABS+GF		0,0500											0,0165		4,3219	5,9200
PC/ABS				0,0107											0,0000	0,0000
PE				0,1015											0,0000	0,0000
PMMA													0,0001		0,0000	13,3376
PVC													0,0335		0,0000	4,8936
Ag	0,0015		0,0000	0,0001				0,0007					0,0000		10,2951	15,8253
Al	0,0100	0,1500	0,0105	0,1088				0,3987	0,1464	0,1750			0,0157		2,7572	5,9936
As															0,0000	0,0000
Au	0,0008		0,0000	0,0001				0,0007					0,0013		11,0124	9,5605
B									0,0078	0,0094			0,0003		6,9426	11,6053
Ba	0,0174		0,0037	0,0000				0,0036					0,0001		6,6835	13,4770
Be															0,0000	0,0000
Bi													0,0013		0,0000	9,5915
C															0,0000	0,0000
Ca	0,0117		0,0051	0,0008				0,0025					0,0074		7,3747	7,0807
Cd													0,0007		0,0000	10,4134
Co	0,0015		0,0001	0,0445				0,0069					0,0252		4,6093	5,3091
Cr	0,0089		0,0007	0,0012				0,0032	0,0005	0,0006			0,0065		8,0777	7,2658
Cu	0,2376		0,0018	0,0588				0,0865	0,0033	0,0204	1,0000		0,0210		1,6655	5,5743
Fe	0,0948		0,0041	0,0067				0,0336	0,4494	0,5409		1,0000	0,0220		1,8410	5,5093
Ga													0,0001		0,0000	13,1081
In	0,0001		0,0000	0,0000				0,0003					0,0016		12,8288	9,2982
K	0,0002		0,0003	0,0001				0,0003					0,0003		10,7510	11,6263
Li	0,0002		0,0000	0,0096				0,0001					0,0001		6,7483	13,7123
Mg	0,0013		0,0020	0,0002				0,0135	0,0048	0,0057			0,0006		7,7458	10,6899
Mn	0,0009		0,0000	0,0001				0,0024					0,0014		10,0421	9,5218
Mo	0,0011		0,0001	0,0001				0,0076					0,0002		8,2542	12,0897
Na			0,0115	0,0002				0,0008					0,0027		6,6571	8,5548
Nb	0,0007			0,0001											0,0000	0,0000
Ni	0,0449		0,0004	0,0018				0,0076					0,0003		5,2220	11,9289
Pb															0,0000	0,0000
Pd			0,0007												0,0000	0,0000
Pt													0,0053		0,0000	7,5522
Sb													0,0018		0,0000	9,0823
Si			0,0484						0,0167				0,0007		4,5116	10,4213
Sn	0,0325		0,0005	0,0007				0,0061					0,0001		5,6133	12,7323
Sr			0,0016										0,0002		9,2577	12,0333
Ta													0,0000		0,0000	21,4887
Ti	0,0041		0,0001	0,0001				0,0004					0,0024		8,4588	8,7184
V				0,0000									0,0007		18,8688	10,5060
W	0,0179		0,0008	0,0084				0,0823					0,0021		5,2304	8,9228
Zn	0,0130			0,0001				0,0268	0,0101	0,0120			0,0011		6,0321	9,8601
Zr	0,0011		0,0000	0,0000				0,0001					0,0000		10,6711	18,4718
Nd									0,1960	0,2359			0,1225		2,2988	3,0297
Silikon													0,2272		0,0000	2,1377
Glass		0,8000				1,0000							0,4574		0,1651	1,1284
Others	0,4376		0,9071	0,6453				0,3153					0,0076		0,5105	7,0340
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	Ht_v2	0,9354	

													Hs_max = Ht_max_v1			
Hs	2,3422	0,8842	0,6788	1,8314	0,0000	0,0000	0,0000	2,3809	2,1035	1,7145	0,0000	0,0000	2,5767	Ht_v1	1,2904	2,5767 Ht_max_v2
Hs_rel_max	0,9090	0,3431	0,2635	0,7107	0,0000	0,0000	0,0000	0,9240	0,8164	0,6654	0,0000	0,0000		Ht_rel_max	0,5008	
Hs_rel_MAX	0,4150	0,1567	0,1203	0,3245	0,0000	0,0000	0,0000	0,4219	0,3727	0,3038	0,0000	0,0000		Ht_rel_MAX	0,2286	5,6439 Ht_MAX=Ht_MAX(!others)
RPR_MAX	0,5850	0,8433	0,8797	0,6755	1,0000	1,0000	1,0000	0,5781	0,6273	0,6962	1,0000	1,0000		RPRt_MAX	0,7714	
														Ht (!others)	0,3387	2,5425 Ht_max (!others)
														Ht_rel_max(!others)	0,3692	
														Ht_rel_MAX(!others)	0,1663	
														RPRt_MAX(!others)	0,8337	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 111: RPR Berechnung S21 auf Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 112: RPR Berechnung S21 auf Sub-Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 113: RPR Berechnung S22 auf Komponentenebene

ci,j	Leiterplatte	Gehäuse	Bildschirm	Batterie	Sim-Kartenträge	Abdeckung	Tasten	Kamera	Lautsprecher	Vibrationsmotor	Ladeeinheit	Schrauben	Gesamt
ABS													
PC		0,3900				1,0000		0,5354	0,4806				0,0211
PC+GF													0,0365
PC/ABS+GF													0,0029
PC/ABS				0,2184									
PE				0,0176									
PMMA													0,0001
PVC													0,0092
Ag	0,0015		0,0000					0,0003	0,0000				0,0000
Al	0,0100		0,0236	0,0288				0,1753	0,0002	0,1750			0,0054
As													
Au	0,0008		0,0000	0,0000				0,0003	0,0000				0,0013
B									0,0060	0,0094			0,0001
Ba	0,0174		0,0006	0,0000				0,0013	0,0000				0,0000
Be													
Bi													0,0030
C													
Ca	0,0117		0,0141					0,0011	0,0001				0,0010
Cd													0,0008
Co	0,0015		0,0003	0,0051				0,0032	0,0003				0,0304
Cr	0,0089		0,0013					0,0021	0,0005	0,0006			0,0090
Cu	0,2976		0,0047	0,0585				0,0521	0,0070	0,0204			0,0016
Fe	0,0948	0,0100	0,0087					0,0205	0,3440	0,5410		1,0000	0,0100
Ga													0,0018
In	0,0001		0,0001					0,0001					0,0008
K	0,0002		0,0115	0,0000				0,0001					0,0021
Li	0,0002		0,0000	0,0049				0,0000					0,0001
Mg	0,0013		0,0128					0,0004	0,0000	0,0057			0,0001
Mn	0,0009		0,0001					0,0010	0,0000				0,0051
Mo	0,0011		0,0001	0,0000				0,0027	0,0000				0,0001
Na			0,0317	0,0005				0,0003					0,0031
Nb	0,0007			0,0000									
Ni	0,0449		0,0008					0,0042	0,0006				0,0007
Pb													
Pd			0,0039										
Pt													0,0079
Sb													0,0022
Si			0,0502					0,0234					0,0010
Sn	0,0325		0,0004					0,0028	0,0003				0,0001
Sr			0,0024										0,0003
Ta													0,0000
Ti	0,0041		0,0002	0,0000				0,0002					0,0017
V				0,0000									0,0009
W	0,0179		0,0031	0,0003				0,0363	0,0029				0,0014
Zn	0,0130							0,0003	0,0000	0,0120			0,0000
Zr	0,0011		0,0017	0,0000				0,0001	0,0000				0,0000
Nd									0,1490	0,2359			0,0027
Silikon													0,2705
Glass													0,5588
Others	0,4376		0,8276	0,6658				0,1361	0,0084		1,0000		0,0060
Gesamt	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

	Hr	Hr_max
	0,0000	0,0000
	0,1161	5,5689
	0,0000	4,7778
	0,0000	8,4115
	0,0000	0,0000
	0,0000	0,0000
	0,0000	13,2037
	0,0000	6,7656
	9,8734	16,6717
	4,3066	7,5387
	0,0000	0,0000
	10,3747	9,6303
	7,2186	13,1689
	6,3079	14,7766
	0,0000	0,0000
	0,0000	8,3830
	0,0000	0,0000
	6,2593	9,3328
	0,0000	10,2856
	8,0211	5,0397
	7,6576	6,7961
	2,7407	9,3118
	2,6868	6,6409
	0,0000	9,0954
	13,1996	10,2201
	6,5138	8,8889
	7,7771	13,5960
	6,4519	13,0109
	10,5627	7,6139
	9,6666	12,9773
	5,0886	8,3195
	0,0000	0,0000
	4,8444	10,4133
	0,0000	0,0000
	0,0000	0,0000
	0,0000	6,9833
	0,0000	8,8113
	4,3984	9,9410
	5,2478	13,6042
	8,6959	11,6267
	0,0000	19,9006
	8,5332	9,1811
	17,3175	10,1771
	6,0226	9,5169
	6,3226	14,4779
	9,4047	18,6687
	2,5747	8,5250
	0,0000	1,8861
	0,0000	0,8396
	0,5314	7,3823

Ht_v2 0,5478

	Hs	Hs_rel_max	Hs_rel_MAX	RPR_MAX
	2,3422	1,1319	0,4150	0,5850
	0,0808	0,0390	0,0143	0,9857
	1,2021	0,5809	0,2130	0,7870
	1,4462	0,6989	0,2562	0,7438
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	2,1350	1,0318	0,3783	0,6217
	1,6484	0,7966	0,2921	0,7079
	1,7144	0,8285	0,3038	0,6962
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Hs_max = Ht_max_v1 2,0692

	Ht_v1	Ht_max_v2
	1,1223	2,0692
Ht_rel_max	0,5424	
Ht_rel_MAX	0,1988	5,6439
RPRt_MAX	0,8012	
Ht (!others)	0,5479	2,0372
Ht_rel_max(!others)	0,2689	
Ht_rel_MAX(!others)	0,0971	
RPRt_MAX(!others)	0,9029	

Ht_max (!others)

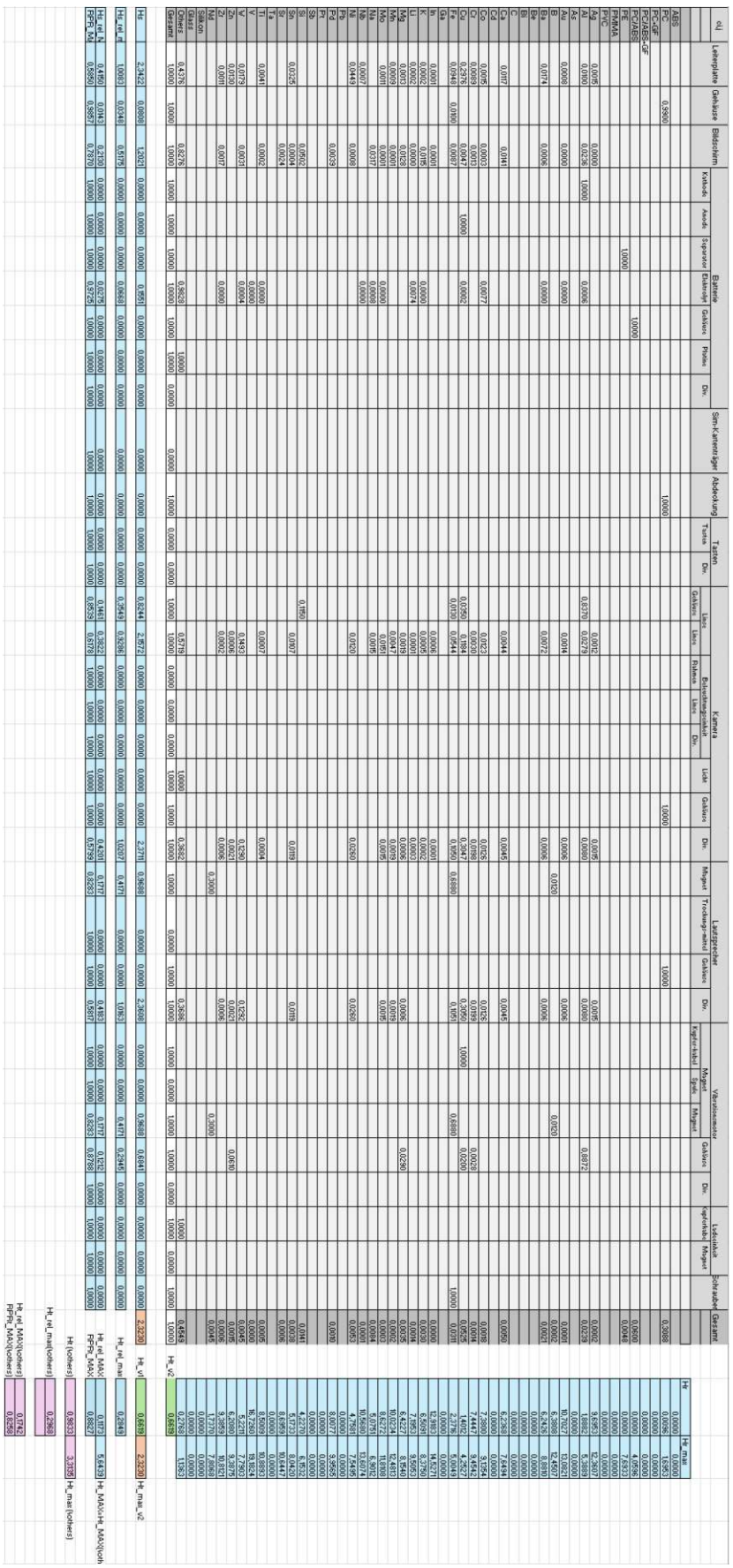
Ht_MAX=Ht_MAX(!others)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 114: RPR Berechnung S22 auf Sub-Komponentenebene

TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 115: RPR Berechnung S22 auf Sub-Sub-Komponentenebene



TU Bibliothek Your knowledge hub
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang C Probenübersicht Einwaagen

Tabelle 116: Übersicht der Einwaagen der analysierten Proben

Gruppe	Probe	Einwaage (g)	Gruppe	Probe	Einwaage (g)
1	BS1	0,5045	3	BiP	0,4996
	BS2	0,4959		KabiP	0,2493
	BS3	0,4944		KiP	0,2500
	BS4	0,4965		LPiP	0,2495
	BS5	0,4999		SP1	0,2498
	BS6	0,4957		SP2	0,2497
	BS7	0,4965		SP3	0,2499
	BS8	0,4961		SP4	0,2495
	BS9	0,4987		SP5	0,2497
	BS10	0,4978		SP6	0,2497
2	BS11	0,5004	4	SP7	0,2502
	BS12	0,5015		MT1	0,1792
	BS13	0,4995		MT2	0,2497
	BS14	0,5030		176 R A	0,2498
	BS15	0,4987		176 R B	0,2517
	BM3	0,4986		SRE Blind 1	2 ml HNO_3 6ml HCl
	BM5	0,5015		SRE Blind 2	2 ml HNO_3 6ml HCl
	BM7	0,4979			
	BM8	0,4983			
	BM12	0,4971			

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.