

TEXTE

88/2022

Abschlussbericht

Methoden und Normen zur Bewertung der Reparierbarkeit von Elektro- und Elektronikgeräten

**Stärkung der Materialeffizienz unter der Ökodesign-
Richtlinie**

von:

Michael Ritthoff, Anne Müller, Lucie Hopfensack
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Wuppertal und Berlin

Dr. Ralf Brüning, Julia Wolf, Florian Piehl
Dr. Brüning Engineering UG
Brake

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 88/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3717 37 318 0

UBA-FB 000840

Abschlussbericht

Methoden und Normen zur Bewertung der Reparierbarkeit von Elektro- und Elektronikgeräten

Stärkung der Materialeffizienz unter der Ökodesign-
Richtlinie

von

Michael Ritthoff, Anne Müller, Lucie Hopfensack
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Wuppertal und Berlin

Dr. Ralf Brüning, Julia Wolf, Florian Piehl
Dr. Brüning Engineering UG
Brake

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal

Abschlussdatum:

Oktober 2021 / November 2022: Die Lieferzeiten für Ersatzteile von LD3 wurden korrigiert. Dies führt zu Änderungen in Tabelle 27 auf Seite 100 verglichen mit der ursprünglichen Veröffentlichung. Die Beschreibung der eDiM wurde an die tabellarische Darstellung angeglichen. Dies führt zu Änderungen auf Seite 58 und Seite 59 verglichen mit der ursprünglichen Veröffentlichung.

Redaktion:

Fachgebiet III 1.3 Ökodesign, Umweltkennzeichnung, umweltfreundliche Beschaffung
Dr. Thomas Ebert, Dr. Ines Oehme
Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz
Andreas Halatsch

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Methoden und Normen zur Bewertung der Reparierbarkeit von Elektro- und Elektronikgeräten

Die Reparatur von energieverbrauchsrelevanten Produkten ist mit zahlreichen ökologischen, sozialen und ökonomischen Vorteilen verbunden, dennoch werden defekte Produkte in der Praxis bisher kaum repariert. Das Vorhaben zielt daher darauf ab, die Materialeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten zu stärken, wobei die Reparierbarkeit von defekten elektrischen und elektronischen Geräten im Fokus steht. In diesem Sinne wird zunächst ein konzeptioneller Rahmen zur Bewertung der Reparierbarkeit entwickelt. Darauf aufbauend werden, basierend auf bestehenden Ansätzen, Indikatoren identifiziert, welche die Reparierbarkeit beeinflussen. Anschließend wird die Anwendbarkeit der als zentral bewerteten Indikatoren beispielhaft anhand praktischer Fallstudien für mehrere Wäschetrockner und Drucker überprüft. Basierend auf den empirischen Erkenntnissen wird ein Bewertungssystem zur Reparierbarkeit von energieverbrauchsrelevanten Produkten entwickelt. Abschließend werden Empfehlungen formuliert, die in produktpolitische Instrumente integriert werden können, um die Reparierbarkeit und damit die Materialeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten zu stärken.

Abstract: Methods and standards for assessing the reparability of electrical and electronic devices

The repair of energy-related products is associated with numerous ecological, social, and economic benefits, yet defective products hardly ever get repaired in practice to date. The project therefore aims to strengthen the material efficiency of energy-related products, focusing on the reparability of electrical and electronic devices. Firstly, we develop a conceptual framework for assessing the reparability. Based on this, we secondly identify indicators that influence reparability, based on existing approaches. Subsequently, we test the applicability of those that were assessed as key indicators through practical case studies for several tumble dryers and printers. Based on the empirical findings, we develop an assessment system for the reparability of energy-related products. Finally, we recommend measures that can be integrated into the existing policy framework to strengthen the reparability and therefore the material efficiency of energy-related products.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung	15
Summary	29
1 Einleitung	41
1.1 Problemstellung	41
1.2 Zielsetzung	43
2 Konzeptioneller Rahmen	45
2.1 Reparierbarkeit	45
2.2 Prioritäre Teile	45
2.3 Indikatoren	46
2.4 Bewertungsrahmen	47
2.5 Mögliche Labels	47
3 Analyse bestehender Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit	49
3.1 Bestehende produktspezifische Ansätze	49
3.1.1 Bestehende qualitative Ansätze	49
3.1.1.1 Blauer Engel	49
3.1.1.2 EU Ecolabel	50
3.1.2 Bestehende semi-quantitative Ansätze	51
3.1.2.1 Österreichische Normungsregel	52
3.1.2.2 iFixit Scoring System	53
3.1.2.3 repairability.org	53
3.1.2.4 Repairability Indicator	53
3.1.2.5 Vergleich der Ansätze	54
3.1.3 Bestehende quantitative Ansätze	54
3.1.3.1 U-effort	55
3.1.3.2 Philips ECC	56
3.1.3.3 Desai & Mital	56
3.1.3.4 Kroll	57
3.1.3.5 eDiM	57
3.1.3.6 Vergleich der Ansätze	59
3.2 Bestehende generische Ansätze	60
3.2.1 Französischer Reparaturindex	60

3.2.2	Normungsarbeiten des Technischen Komitee CEN/CLC/JTC 10.....	61
3.2.3	Studie im Kontext von Benelux von Bracquené et al. (2018)	63
3.2.4	Studie des Joint Research Centre von Cordella et al. (2019).....	64
3.3	Ableitung potenzieller Reparierbarkeitsindikatoren aus bestehenden Ansätzen	64
3.4	Diskussion von Ansätzen zur Bewertung der Reparierbarkeit.....	70
4	Fallstudien zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Indikatoren für Drucker und Wäschetrockner	72
4.1	Auswahl von Produktgruppen	72
4.2	Auswahl von Indikatoren	72
4.3	Vorgehen.....	73
4.4	Drucker.....	76
4.4.1	Ausgewählte Geräte	76
4.4.2	Prioritäre Teile	77
4.4.3	Praktische Untersuchungen.....	77
4.4.3.1	Tintenstrahldrucker	78
4.4.3.2	Laserdrucker	83
4.4.3.3	Schlussfolgerungen für Indikatoren.....	90
4.4.4	Recherchen	91
4.4.4.1	Ersatzteile	92
4.4.4.2	Reparaturrelevante Informationen	103
4.4.4.3	Diagnoseschnittstellen.....	108
4.4.4.4	Wiederherstellung der Werkseinstellungen (Reset)	111
4.5	Wäschetrockner	112
4.5.1	Ausgewählte Geräte	112
4.5.2	Prioritäre Teile	113
4.5.3	Praktische Untersuchungen.....	114
4.5.3.1	Ablufttrockner und Kondentrockner.....	114
4.5.3.2	Wärmepumpentrockner	128
4.5.3.3	Schlussfolgerungen für Indikatoren.....	144
4.5.4	Recherchen	145
4.5.4.1	Ersatzteile	145
4.5.4.2	Reparaturrelevante Informationen	158
4.5.4.3	Schnittstellen	162
4.5.4.4	Software und Firmware	163

5	Ableitung der optimierten Reparierbarkeitsmatrix	164
5.1	Indikatoren, die aus den praktischen Untersuchungen folgen.....	164
5.1.1	Demontagetiefe	164
5.1.2	Befestigungsart	166
5.1.3	Werkzeuge	167
5.1.4	Lösbarkeit der Seitenwände	168
5.2	Indikatoren, die aus den Recherchen folgen	169
5.2.1	Ersatzteilpolitik des Herstellers.....	169
5.2.2	Verfügbarkeit von Ersatzteilen	171
5.2.3	Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen	172
5.2.4	Lieferzeit für Ersatzteile	173
5.2.5	Kosten für Ersatzteile	174
5.2.6	Verfügbarkeit von Informationen	176
5.2.7	Diagnoseschnittstellen.....	178
5.2.8	Dauer der Verfügbarkeit von aktualisierter Software und Firmware.....	179
5.2.9	Zurücksetzen auf Werkseinstellungen.....	180
6	Beispielhafte Bewertung von ausgewählten Druckern und Trocknern mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix.....	182
6.1	Auswahl von Geräten.....	182
6.2	Reparierbarkeitsmatrix in Form einer Nutzwertanalyse	182
6.3	Ergebnisse der Bewertung	184
7	Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur	188
7.1	Bestandsaufnahme Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur	188
7.1.1	Reparaturfördernde Maßnahmen im Abfallvermeidungsprogramm (AVP).....	188
7.1.2	Reparaturfördernde Maßnahmen im Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)	190
7.1.3	Reparaturfördernde Maßnahmen in der Ökodesign-Richtlinie.....	190
7.1.4	Zusammenfassende Betrachtung	191
7.2	Empfehlung für Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur	192
7.2.1	Empfehlungen für Anpassung der Norm DIN EN 45554.....	192
7.2.2	Empfehlungen für Fortschreibung des AVP und ProgRess	193
7.2.3	Empfehlungen für Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG	194
7.2.4	Empfehlungen für Vergabekriterien des Blauen Engels	195
8	Forschungsbedarf.....	197
9	Quellenverzeichnis	198

A	Zusätzliche Daten für die Bewertung von Geräten	201
B	Mittelwerte zur Bestimmung der Demontagetiefe.....	206
C	Beispielhafte Bewertung von ausgewählten Druckern und Trocknern mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix.....	208
C.1	Bewertung der Laserdrucker LD3 und LD4 des Herstellers 3	208
C.2	Bewertung der Wärmepumpentrockner WPT1 des Herstellers 1 und WPT8 des Herstellers 5	211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Optimierte Reparierbarkeitsmatrix	22
Tabelle 2:	Definitionen verschiedener Aufarbeitungsoptionen.....	45
Tabelle 3:	Prioritäre Teile eines Wasserkochers basierend auf der Ausfallhäufigkeit	46
Tabelle 4:	Umrechnungstabelle für Qualitätsstufen und Wertung der ONR 192102:2014.....	52
Tabelle 5:	Vergleich der semi-quantitativen Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit.....	54
Tabelle 6:	Übersicht über quantitative Methoden zur Berechnung der Zeit für Demontage	55
Tabelle 7:	Minimaler Lösekraftaufwand für verschiedene Verbinder nach U-effort	55
Tabelle 8:	Lösezeitaufwand für verschiedene Verbinder nach Philips ECC	56
Tabelle 9:	Demontageaufgaben nach Kroll.....	57
Tabelle 10:	Kalkulationsblatt nach eDIM	58
Tabelle 11:	Vergleich der quantitativen Methoden zur Berechnung der Zeit für Demontage und Remontage.....	59
Tabelle 12:	Zusammengefasstes Bewertungssystem nach DIN EN 45554 .	61
Tabelle 13:	Reparaturindikatoren klassifiziert nach Indikatorenart nach Braquené et al. (2018).....	63
Tabelle 14:	Bewertungsebenen der Reparierbarkeitsindikatoren der Studie des Joint Research Centers.....	64
Tabelle 15:	Übersicht über potenzielle Reparierbarkeitsindikatoren.....	65
Tabelle 16:	Untersuchte Indikatoren	73
Tabelle 17:	Für die Fallstudien ausgewählte Drucker	76
Tabelle 18:	Ausgewählte prioritäre Teile, Drucker	77
Tabelle 19:	Indikatoren für praktische Versuche, Tintenstrahldrucker	78
Tabelle 20:	Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Tintenstrahldrucker	82
Tabelle 21:	Indikatoren praktische Versuche, Laserdrucker	83
Tabelle 22:	Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Laserdrucker	89
Tabelle 23:	Auswahl der Ersatzteile	92
Tabelle 24:	Verfügbarkeit der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker	94
Tabelle 25:	Verfügbarkeit der Ersatzteile für Laserdrucker	95
Tabelle 26:	Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker	99
Tabelle 27:	Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile für Laserdrucker	99
Tabelle 28:	Preise (in Euro) der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker.....	100
Tabelle 29:	Preise (in Euro) der Ersatzteile für Laserdrucker.....	101

Tabelle 30:	Fehlercodetabellen und Diagnoseschnittstellen der untersuchten Druckermodelle	105
Tabelle 31:	Verfügbarkeit Treiber Tintenstrahldrucker	109
Tabelle 32:	Verfügbare Treiber Laserdrucker	109
Tabelle 33:	Möglichkeiten zur Durchführung des Reset	112
Tabelle 34:	Für die Fallstudien ausgewählte Trockner.....	113
Tabelle 35:	Ausgewählte prioritäre Teile, Trockner	113
Tabelle 36:	Indikatoren praktische Versuche, Ablufttrockner und Kondenstrockner	114
Tabelle 37:	Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Ablufttrockner	125
Tabelle 38:	Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Kondenstrockner	127
Tabelle 39:	Indikatoren prioritäre Teile, Wärmepumpentrockner	128
Tabelle 40:	Besonderheiten einiger Wärmepumpentrockner	141
Tabelle 41:	Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Wärmepumpentrockner	142
Tabelle 42:	Ausgewählte Ersatzteile	146
Tabelle 43:	Verfügbarkeit der Ersatzteile für Kondenstrockner	147
Tabelle 44:	Verfügbarkeit der Ersatzteile für Wärmepumpentrockner	148
Tabelle 45:	Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile bei Kondenstrocknern	152
Tabelle 46:	Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile bei Wärmepumpentrocknern.....	152
Tabelle 47:	Preise (in Euro) der Ersatzteile bei Ablufttrocknern.....	153
Tabelle 48:	Preise (in Euro) der Ersatzteile bei Kondenstrocknern.....	154
Tabelle 49:	Preise der Ersatzteile bei Wärmepumpentrocknern.....	156
Tabelle 50:	Verfügbarkeit Explosionszeichnung, Abluft- und Kondenstrockner	160
Tabelle 51:	Verfügbarkeit Explosionszeichnung, Wärmepumpentrockner	160
Tabelle 52:	Verfügbarkeit Reparaturanleitungen, Abluft- und Kondenstrockner	161
Tabelle 53:	Verfügbarkeit Reparaturanleitungen, Wärmepumpentrockner	161
Tabelle 54:	Indikator „Demontagetiefe“ im Bewertungssystem	165
Tabelle 55:	Indikator „Befestigungsart“ im Bewertungssystem	166
Tabelle 56:	Indikator „Werkzeuge“ im Bewertungssystem	167
Tabelle 57:	Indikator „Lösbarkeit von Seitenwänden“ im Bewertungssystem	169
Tabelle 58:	Indikator „Ersatzteilpolitik des Herstellers“ im Bewertungssystem	170

Tabelle 59:	Indikator „Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem	171
Tabelle 60:	Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem	173
Tabelle 61:	Indikator „Lieferzeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem	174
Tabelle 62:	Indikator „Kosten für Ersatzteile“ im Bewertungssystem	176
Tabelle 63:	Indikator „Verfügbarkeit von Informationen“ im Bewertungssystem	177
Tabelle 64:	Indikator „Schnittstellen“ im Bewertungssystem	178
Tabelle 65:	Indikator „Software und Firmware“ im Bewertungssystem ..	180
Tabelle 66:	Indikator „Wiederherstellung von Werksinformationen“ im Bewertungssystem	181
Tabelle 67:	Vergleich Nutzwerte Laserdrucker	184
Tabelle 68:	Vergleich Nutzwerte Wärmepumpentrockner	185
Tabelle 69:	Verfügbarkeit weiterer Ersatzteile, Wärmepumpentrockner	201
Tabelle 70:	Weitere Kosten von Ersatzteilen, Wärmepumpentrockner ...	203
Tabelle 71:	Weitere Lieferzeiten (in Tagen) von Ersatzteilen, Wärmepumpentrockner	204
Tabelle 72:	Arbeitsschritte bis zum Erreichen des prioritären Teils, Laserdrucker	206
Tabelle 73:	Arbeitsschritte bis zum Erreichen des prioritären Teils, Wärmepumpentrockner	206
Tabelle 74:	Bewertung Hersteller 3, LD3	208
Tabelle 75:	Bewertung Hersteller 3, LD4	210
Tabelle 76:	Bewertung Hersteller 1, WPT1	211
Tabelle 77:	Bewertung Hersteller 5, WPT8	214

Abkürzungsverzeichnis

AS	Arbeitsschritt
AMPT	Antriebsmotor für den Papiertransport
ARGR	Antriebsriemen Gebläserad
AVP	Abfallvermeidungsprogramm
Benelux	Belgien, Niederlanden, Luxemburg
BFE	Befestigungselement
BG	Baugruppen
BT	Bauteile
d. h.	das heißt
EoL	End-of-Life
ER SB	Einzugsrollen Stapelblatt
etc.	et cetera
FAQ	Frequently Asked Questions
FE	Fixiereinheit
FKR	Fachlich kompetente Reparatur*in
FKS	Feuchtigkeitssensor
FSS	Füllstandssensor
FW	Firmware
G	Gebläse
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde
HP P	Hauptplatine programmiert
HP UP	Hauptplatine unprogrammiert
i. d. R.	In der Regel
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
JRC	Joint Research Centre
k. A.	keine Angabe
k. g.	Kilogramm
k. V.	keine Verfügbarkeit
KMS	Kühlmittelsensor
KMS WT	Kühlmittelsensor Wärmetauscher
LE	Lasereinheit
M	Motor
MK	Motorkondensatoren
MOST	Maynard Operation Sequence Technique
MTM	Methods-Time Measurement

n. v.	nicht vorhanden
NI	Netzteil innen
ONR	Österreichische Normungsregel
P	Pumpe
PA	Papierablage
PLS	Prozessluftsensor
PP	Privatpersonen
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
RRP	recommended retail price
s	Sekunde
SF	Sensor Filterklappe
SP P	Steuerplatine programmiert
SP UP	Steuerplatine unprogrammiert
t	Tonne
T	Tür
TDH	Trommeldichtung hinten
TDV	Trommeldichtung vorne
TE	Trommeleinheit
TFR	Transferrollen
TL	Trommellager
TB	Treiber
TR	Trommelriemen
TSN	TürschlieÙnase
TSNÖ	TürschlieÙnasenöffnung
TVS	Türverriegelungssensor
UBG	Unterbaugruppen
VD	Verschlussdeckel
VP	Vertragspartner*in
WZE	Werkzeugeinsatz
WZW	Werkzeugwechsel
z. B.	zum Beispiel
ZG	Zielgruppen

Zusammenfassung

Elektrische und elektronische Geräte bilden einen der am schnellsten wachsenden Abfallströme. Die steigende Abfallmenge ist problematisch, da es sich bei diesen Geräten um komplexe Produkte handelt, die aus zahlreichen unterschiedlichen Stoffen, Bauteilen und Baugruppen bestehen, die mit teils hohem Ressourcen- und Energieaufwand gewonnen wurden. Diese Abfallströme können durch Lebensdauererweiterung mithilfe verstärkter Reparaturen deutlich reduziert werden. Gegenüber dem Recycling haben Reparaturen den zusätzlichen Vorteil, dass hierbei nicht die teils erheblichen Stoffverluste auftreten, die beim Recycling oft auch technisch unvermeidlich sind. Eine Reparatur ist neben den ökologischen auch mit ökonomischen Vorteilen verbunden. Die Reparatur kann positive Effekte auf lokaler Ebene für den Arbeitsmarkt und die regionale Wertschöpfung entfalten.

Bisher fehlt jedoch eine fundierte wissenschaftliche Basis, welche Faktoren eine Reparatur begünstigen und als Anforderung an Hersteller festgelegt und über eine Kennzeichnung an Kund*innen weitergegeben werden können. An dieser Stelle setzt das Vorhaben „Methoden und Normen zur Stärkung der Materialeffizienz unter der Ökodesign-Richtlinie“ an. Es werden für komplexe Produkte reparaturbegünstigende Faktoren im Wechselverhältnis zwischen Theorie und Empirie erarbeitet. Das Vorhaben verfolgt das übergeordnete Ziel, die Materialeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten zu stärken – unter der Ökodesign-Richtlinie und weiteren produktspezifischen Instrumenten.

Inwiefern ein defektes Gerät repariert werden kann, hängt von zahlreichen Faktoren ab. In diesem Vorhaben steht die technische Realisierbarkeit einer Reparatur im Mittelpunkt unter Berücksichtigung von damit verbundenen Aspekten, wie zum Beispiel ökonomischen und informationellen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden unterschiedliche Aspekte bearbeitet:

- ▶ Durch die Mitarbeit in mehreren Gremien im Rahmen des europäischen Normungsmandats M/543 auf nationaler und europäischer Ebene wurde unter anderem an der Erarbeitung von Kriterien zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte mitgearbeitet.
- ▶ Es wurde ein System zur Bewertung der Reparierbarkeit von energieverbrauchsrelevanten Produkten (eine sogenannte Reparierbarkeitsmatrix) entwickelt. Dieses zielt darauf ab, Konsumentinnen und Konsumenten Informationen zur Verfügung zu stellen, um auf dieser Basis eine bewusste Kaufentscheidung treffen zu können. Gleichzeitig wird ein Anreiz für Hersteller erzeugt, bereits beim Produktdesign die Reparierbarkeit zu berücksichtigen.
- ▶ Die Anwendbarkeit der Reparierbarkeitsmatrix wurde in Fallstudien anhand von Druckern und Wäschetrocknern¹ durch die Demontage ausgewählter Geräte überprüft. Die Erkenntnisse sollen wiederum in die Normungsarbeit und Reparierbarkeitsmatrix fließen – entsprechende Vorschläge wurden im Vorhaben erarbeitet.
- ▶ Basierend auf den zentralen Erkenntnissen des Vorhabens wurden abschließend Empfehlungen formuliert, wie diese Erkenntnisse in produktpolitische Instrumente überführt werden können.

¹ Die Begriffe „Wäschetrockner“ und „Trockner“ werden in diesem Bericht synonym verwendet.

Insgesamt wurden somit im Wechselverhältnis zwischen Empirie und Theorie Anforderungen erarbeitet, um die Materialeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten durch eine Reparatur zu fördern. Eine Reparatur ist ein „Prozess, bei dem ein fehlerhaftes Produkt wieder in einen Zustand gebracht wird, bei dem es seine bestimmungsgemäße Verwendung erfüllen kann“ (DIN EN 45554). Gemäß DIN EN 45554 unterscheidet sich eine Reparatur von einem Upgrade. Ein Upgrade ist ein „Prozess der Steigerung der Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik eines Produkts“ (DIN EN 45554).

Elektrische und elektronische Geräte sind komplexe Produkte, die sich oft aus zahlreichen Komponenten zusammensetzen. Zur Einstufung, inwiefern ein Gerät reparierbar ist, ist daher ein **konzeptioneller Rahmen** (Kapitel 2) erforderlich, der diese Komplexität reduziert. Er basiert auf vier Säulen:

- a) Prioritäre Teile,
- b) Indikatoren,
- c) Bewertungsklassen und
- d) finalem Label.

Zu a): **Prioritäre Teile** (Kapitel 2.2) sind jene Teile, die typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung eines Produkts ausfallen. Indem diese Teile bei der Bewertung der Reparierbarkeit im Fokus stehen, lässt sich der Bewertungsprozess deutlich zielgerichteter gestalten. Um prioritäre Teile zu identifizieren, gibt es verschiedene Optionen. Prioritäre Teile können zum Beispiel definiert werden über folgende Eigenschaften:

- ▶ Häufigkeit, mit der ein Teil defekt wird,
- ▶ funktionale Wichtigkeit eines Teils,
- ▶ ökonomischer Wert des Teils,
- ▶ ökologische Bedeutung des Teils oder
- ▶ die erforderlichen Schritte zur Demontage des Teils.

Die genannten Bewertungseigenschaften sind in der Regel nicht deckungsgleich, beispielsweise kann ein Produktteil den kleinsten ökonomischen Wert haben, aber die Umwelt am meisten belasten. In diesem Bericht sind prioritäre Teile jene Teile, die eine funktionale Wichtigkeit haben, aber typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung eines Produkts ausfallen. Dabei muss beachtet werden, dass erst nachdem ein Produkt über einen längeren Zeitraum auf dem Markt ist, ersichtlich wird, welche Teile oft ausfallen, sodass eine Identifikation dieser Teile vorab schwer umzusetzen ist.

Zu b): Inwiefern ein Produkt reparierbar ist, kann nicht direkt beobachtet werden. Reparierbarkeit ist zunächst ein theoretisches Konstrukt, das mithilfe von messbaren **Indikatoren** (Kapitel 2.3) operationalisiert werden muss. Zentrale Indikatoren, welche die Reparierbarkeit von Produkten beeinflussen, lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: Sie beziehen sich entweder auf das Produktdesign (sowohl auf Ebene der Teile als auch der Geräte, z. B. zerstörungsfreie Demontage) oder auf die Reparaturumgebung (z. B. Werkzeuge, Informationen) und beeinflussen die Reparatur somit mittelbar oder unmittelbar. Des Weiteren können generische und spezifische Indikatoren unterschieden werden. Generische Indikatoren sind allgemein gehalten und können daher horizontal, über diverse Produktgruppen hinweg, angewendet werden (z. B. Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen). Dem hingegen konkretisieren spezifische Indikato-

ren die generischen Indikatoren in Abhängigkeit von der Produktgruppe und sind dementsprechend nur produktgruppenspezifisch anwendbar (z. B. Anzahl der Demontageschritte).

Zu c): Die Bewertung der Reparierbarkeit setzt schlussendlich die Existenz eines **Bewertungssystems** (Kapitel 2.4) voraus, dass die Reparierbarkeit einstuft. Drei Systeme zur Bewertung der Reparierbarkeit können unterschieden werden:

- ▶ qualitative,
- ▶ semi-quantitative und
- ▶ quantitative Systeme.

Die Bewertungssysteme bauen mit zunehmender Komplexität aufeinander auf. Welches System verwendet wird, hängt von dem erwünschten Nutzen, der Datenverfügbarkeit und der praktischen Umsetzbarkeit ab. Bei **qualitativen Bewertungen** werden Indikatoren definiert, die zwingend erfüllt sein müssen, um ein Produkt als reparierbar einzustufen. Sie stellen somit eine Checkliste dar, mit deren Hilfe einzeln geprüft wird, ob das Gerät die Anforderung erfüllt oder nicht erfüllt. Bei einer **quantitativen Bewertung** werden mehrere Einzelindikatoren zu einem Index zusammengeführt, der den Grad der Reparierbarkeit des Produkts misst. Dabei ist zu entscheiden, welche Indikatoren in den Index eingehen sollen und wie die Dimensionen miteinander kombiniert werden (z. B. additiv oder multiplikativ).

Zu d): Unabhängig von der Art des Bewertungssystems ist ein sichtbar angebrachtes **Label** (Kapitel 2.5) erforderlich, das die erzielte Bewertung, inwiefern ein Produkt reparierbar ist, transparent an Kundinnen und Kunden kommuniziert. Denkbare Labels sind zum Beispiel eine alphabetische oder numerische Kennzeichnung. Es muss jedoch angemerkt werden, dass eine Kennzeichnungspflicht für mehr Transparenz sorgt, allerdings nicht zwangsläufig auch ein nachhaltigeres Kaufverhalten nach sich zieht.

In der Praxis existieren bereits mehrere Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit (Kapitel 3), die jedoch keine allumfassende Anwendung finden. Die bestehenden Ansätze lassen sich unterteilen in produktspezifische und generische Ansätze. Produktspezifische Ansätze beziehen sich entweder auf konkrete Produkte (z. B. Waschmaschinen, Radios) oder Produktgruppen (z. B. Weiße Ware, Braune Ware), während generische Ansätze produktgruppenübergreifend, folglich horizontal, anwendbar sind. Generell existieren die produktspezifischen Ansätze bereits seit längerer und die generischen Ansätze erst seit kurzer Zeit. Letztere bemühen sich ebenfalls um die Entwicklung eines übergeordneten Bewertungssystems – und fanden parallel zu diesem Vorhaben in Frankreich, Benelux und auf europäischer Ebene statt.

Die **produktspezifischen Ansätze** (Kapitel 3.1) variieren zwischen quantitativen und qualitativen Bewertungssystemen sowie einer Kombination aus diesen. Erstens: der *Blaue Engel* und das *EU Ecolabel* sind Beispiele für qualitative Ansätze zur Bewertung von Produkten, bei denen neben Umweltwirkungen wie dem Energieverbrauch auch deren Reparierbarkeit adressiert wird. Die Ansätze enthalten jeweils nur einzelne Indikatoren, die darauf verweisen, ob ein Produkt reparierbar ist oder nicht. Werden alle Kriterien insgesamt erfüllt, erhalten die geprüften Produkte das entsprechende Gütesiegel. Zweitens: Im Gegensatz zu den qualitativen Ansätzen besteht das vorrangige Ziel der semi-quantitativen Ansätze darin, speziell die Reparierbarkeit vergleichbar einzustufen und nicht die Umweltfreundlichkeit insgesamt unter Berücksichtigung von Reparaturaspekten. Unter semi-quantitative Ansätze fallen die *ONR 192102:2014*, das *iFixit Scoring System*, der *Repairability Indicator* und *repairability.org*. Drittens: Die existierenden quantitativen Ansätze adressieren überwiegend die Zeit, die für Demontage benötigt wird. Die Berechnungen wurden ursprünglich für standardisierte Produktionsverfahren entwickelt, was eine Übertrag-

barkeit auf individuelle Reparaturumgebungen erschwert. Zu diesen quantitativen Ansätzen zählen *U-effort*, *Philips ECC*, *Desai & Mital*, *Kroll*.

Zu den aktuellen **generische Ansätzen** (Kapitel 3.2) zählen eine Studie im Kontext der Benelux-Staaten von Bracquené et al. (2018), eine Studie des Joint Research Centre im Auftrag der Europäischen Kommission von Cordella et al. (2018b) sowie der in Frankreich entwickelte Reparatur-Index (Indice de réparabilité). Sie boten zu Beginn dieses Projekts eine erste hilfreiche Orientierung, jedoch handelt es sich überwiegend um theoretische Arbeiten, deren Anwendbarkeit zu Beginn des Projektes entweder nicht (Französischer Reparaturindex, Studie des Joint Research Centre) oder nur in geringem Umfang (Benelux-Studie) praktisch überprüft wurden.

Den bestehenden produktspezifischen und generischen Ansätzen werden **potenzielle Reparierbarkeitsindikatoren** (Kapitel 4) entnommen. Die Analyse zeigt, dass insgesamt 37 Indikatoren in folgenden 11 Dimensionen theoretisch verwendet werden können: Demontage, Befestigungen, Werkzeuge, Fehlerdiagnose, Informationen, Ersatzteile, Software/Firmware, Kenntnisse, Arbeitsumgebung, Daten und Passwort, Herstellerservice. Die einzelnen Indikatoren in diesen Dimensionen dürfen nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind vielmehr auf komplexe Art und Weise miteinander verwoben. Auch wenn jedes der genannten Systeme zur Bewertung der Reparierbarkeit ihre spezifischen Vor- und Nachteile hat, zeigt die Analyse dennoch mehrere Punkte, die bei der Erarbeitung von Reparaturindikatoren beachtet werden müssen:

Erstens: Zahlreiche Faktoren beeinflussen, inwiefern ein Produkt repariert werden kann. Sie adressieren unterschiedliche Aspekte einer Reparatur, wie zum Beispiel:

- ▶ **Ökonomische Faktoren**, z. B. Kosten für Ersatzteile, Kosten für Werkzeuge, Kosten für Arbeitsleistung.
- ▶ **Technische Faktoren**, z. B. Produktdesign, zerstörungsfreie Demontage, Zugang zu Informationen.
- ▶ **Rechtliche Faktoren**: z. B. Garantie, Gewährleistung, Verfügbarkeit von nicht sicherheitsrelevanten und sicherheitsrelevanten Ersatzteilen.
- ▶ **Organisatorische Faktoren**, z. B. Verfügbarkeit von Reparaturwerkstätten, Zeitaufwand für Abwicklung der Reparatur, Zugang zu Informationen, Verfügbarkeit von Ersatzteilen.
- ▶ **Verhaltensrelevante Faktoren**, z. B. emotionale Bedeutung eines Produkts, Bewusstsein für Reparaturmöglichkeiten, Entbehrlichkeit eines Produktes für Reparaturzeitraum.

Zweitens: die Bewertung der Reparierbarkeit sollte ausschließlich auf objektiven Kriterien beruhen, die verifizierbar sind. Obwohl einige Indikatoren für eine Reparatur theoretisch relevant sind, ist eine objektive Operationalisierung jedoch nicht immer möglich.

Drittens: es muss zum Zeitpunkt, an dem ein Produkt auf dem Markt platziert wird, eine Bewertung möglich sein. Dies stellt zum Beispiel eine besondere Herausforderung bei der Bewertung der Verfügbarkeit von Ersatzteilen dar, weil nachgewiesen werden muss, dass diese in Zukunft für den angegebenen Zeitraum gewährleistet werden kann.

Viertens: ökonomische Faktoren sind häufig zwar ein ausschlaggebendes Kriterium dafür, ob eine Reparatur überhaupt durchgeführt wird, allerdings stellt dies für ein einheitliches Bewertungssystem innerhalb der Europäischen Union eine Herausforderung dar, denn absolute Werte sind nicht sinnvoll, da beispielsweise die Kosten für Reparaturdienstleistungen zwischen den Mitgliedsstaaten stark variieren können.

Fünftens: es muss ein kontinuierliches Monitoring geben, bei dem überprüft wird, inwiefern die gemachten Angaben zutreffen, insbesondere sofern die Einstufung der Reparierbarkeit ausschließlich durch das herstellende Unternehmen erfolgt.

Als Teil dieses Projektes wurden **Fallstudien** an zwei Produktgruppen – Drucker und Wäschetrockner – durchgeführt, um zu überprüfen, ob und wenn ja, welche der theoretischen Indikatoren die Reparaturfähigkeit dieser und ggfs. weiterer energieverbrauchsrelevanter Geräte beschreiben und für eine Bewertung herangezogen werden können.

Innerhalb der beiden Produktgruppen wurden Tintenstrahl- und Laserdrucker sowie Abluft-, Kondens- und Wärmepumpentrockner untersucht. Für die beiden Produktgruppen der Fallstudien wurden aktuelle Modelle von Herstellern mit relevanten Marktanteilen ausgewählt, welche die Verkaufslisten der großen Internethändler anführten.

Die prioritären Teile wurden auf der Basis von Literaturrecherchen, einer informellen Befragung von Reparaturbetrieben und der Abstimmung mit dem Auftraggeber ausgewählt.

Für jede Produktgruppe wurden ein praktischer und ein theoretischer Teil der Fallstudien durchgeführt. Während der praktischen Arbeiten wurden alle prioritären Teile demontiert und Indikatoren soweit möglich quantitativ erfasst. Um Lerneffekte im Verlauf der Fallstudien auszuschließen, wurden die praktischen Arbeiten von erfahrenen Techniker*innen durchgeführt und von wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen konzipiert, begleitet und dokumentiert. Zu den Indikatoren, die im praktischen Teil der Fallstudien untersucht wurden, zählen:

- ▶ Demontagetiefe (Anzahl Arbeitsschritte),
- ▶ Demontagezeit,
- ▶ Art und Anzahl der Befestigungselemente (BFE),
- ▶ Sichtbarkeit der Befestigungselemente (stichprobenartig),
- ▶ Anzahl Werkzeuge,
- ▶ Anzahl Werkzeugwechsel,
- ▶ Werkzeugklasse,
- ▶ notwendige Kenntnisse und
- ▶ Arbeitsumgebung.

Die Indikatoren Arbeitsumgebung, Sichtbarkeit von Befestigungselementen und die Notwendigen Kenntnisse erwiesen sich im Rahmen der Fallstudien als nicht operationalisierbar, da keine sinnvollen bzw. quantifizierbaren Bewertungskriterien gefunden wurden. Daher werden diese Indikatoren nicht in die entwickelte optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen, auch wenn diese Indikatoren grundsätzlich relevant sein können.

In Bezug auf Werkzeuge wurde deutlich, dass Reparaturopoperationen fast immer mit einer Vielzahl möglicher Werkzeuge durchgeführt werden können. Eine generelle Einteilung von Werkzeugen in Klassen, die besser oder schlechter verfügbar oder geeignet sind, wird daher nicht empfohlen. Stattdessen sollte im Rahmen einer Reparierbarkeitsmatrix eine negative Bewertung erfolgen, wenn für eine Operation ein Werkzeug erforderlich ist, das nicht für alle Akteur*innen – also auch für Privatpersonen – im Handel zu beziehen ist. Die Indikatoren Werkzeugwechsel und -anzahl werden nicht in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen.

In Bezug auf die Befestigungselemente erwies sich die Art der gewählten Befestigung als relevant. Diese sollte wiederverwendbar oder entfernbar sein, wobei die Wiederverwendbarkeit besser bewertet werden sollte.

Sowohl bei der Anzahl der Befestigungselemente als auch bei der Zahl der Arbeitsschritte wurde im Rahmen der Fallstudien ein linearer Zusammenhang zur Demontagezeit festgestellt. Beide Indikatoren können daher potenziell in einem Bewertungssystem stellvertretend für die Demontagezeit stehen, um das Bewertungssystem anwendbar zu machen, ohne jedes Mal umfangreiche Reihenuntersuchungen an Geräten durchführen zu müssen. In die optimierte Reparierbarkeitsmatrix wird die Zahl der Arbeitsschritte übernommen, da der mathematische Zusammenhang mit der Demontagezeit bei einzelnen Produktgruppen stärker ist.

Als weiterer Indikator für Wäschetrockner wird aus den durchgeführten Fallstudien die Lösbarkeit der Seitenwände abgeleitet. Es hat sich gezeigt, dass die Demontagezeiten der Wäschetrockner geringer sind, bei denen möglichst viele Seitenwände unabhängig von jeder anderen Seitenwand entfernt werden können. Dies wird in dem Indikator bewertet.

Aufgrund der Ergebnisse der praktischen Untersuchungen werden die folgenden Indikatoren ausgewählt:

- ▶ Zahl der Arbeitsschritte (Demontagetiefe),
- ▶ Befestigungsart,
- ▶ Werkzeuge und
- ▶ Lösbarkeit der Seitenwände (für Haushalts Großgeräte / Wäschetrockner).

Die theoretischen Recherchen erfolgten zu ausgewählten Indikatoren, die nicht direkt an den Geräten getestet werden konnten.

Folgende Indikatoren wurden im Rahmen der theoretischen Recherchen untersucht:

- ▶ Verfügbarkeit von Reparaturinformationen (pro Zielgruppe),
- ▶ Art der Benutzeroberfläche / Schnittstelle zur Fehlerdiagnose,
- ▶ Identifizierbarkeit von Ersatzteilen,
- ▶ Ersatzteilverfügbarkeit (pro Zielgruppe) (stichprobenartig),
- ▶ Lieferzeit Ersatzteile (stichprobenartig),
- ▶ Kosten der Ersatzteile (stichprobenartig),
- ▶ Verfügbarkeit Software / Firmware (pro Zielgruppe) und
- ▶ Möglichkeit des Reset / Wiederherstellen der Werkseinstellungen.

Für die Recherchen wurden folgende Informationsquellen genutzt:

- ▶ Internetseiten von Herstellern oder von ihnen benannten Vertragspartnern,
- ▶ Produktdokumente (Benutzerhandbücher etc.) und
- ▶ schriftliche und telefonische Anfragen bei den Herstellern oder von ihnen benannten Vertragspartnern.

Die Informationsquellen wurden, wo immer sinnvoll, kaskadierend genutzt. D. h. Anfragen und Nachfragen erfolgten dann, wenn die entsprechenden Informationen nicht bereits öffentlich zur Verfügung gestellt wurden. Im Rahmen der Recherchen wurden nur Service- und Informationsangebote des Herstellers oder autorisierter Dritter betrachtet. Angebote von unabhängigen Dritten (z. B. unabhängige Internetplattformen, auf denen Reparaturanleitungen vertrieben werden) wurden nicht bewertet.

Weiterhin wurde sehr schnell deutlich, dass Hersteller und Vertragspartner Anfragen von verschiedenen Akteur*innen unterschiedlich behandeln. Daher werden Akteur*innen für die Fallstudien und die optimierte Bewertungsmatrix in drei Zielgruppen unterschieden:

- ▶ Privatpersonen: Laien, ohne elektrotechnische Ausbildung.
- ▶ Fachlich kompetente(r) Reparatur*in: Personen, mit elektrotechnischer Ausbildung, die nicht vertraglich mit dem Hersteller verbunden oder als Servicepartner benannt sind.
- ▶ Vertragspartner des Herstellers / der Hersteller: Personen mit elektrotechnischer Ausbildung, die mit dem Hersteller vertraglich verbunden sind oder als Servicepartner benannt sind.

Alle betrachteten Indikatoren haben sich im Rahmen der theoretischen Recherchen als relevant erwiesen und werden in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen. Die „Identifizierbarkeit von Ersatzteilen“ wird allerdings nicht als einzelner Indikator übernommen. Stattdessen wird die Verfügbarkeit von Explosionszeichnungen, durch die Ersatzteile identifiziert werden können, als ein Teilaspekt der „Verfügbarkeit von Informationen“ bewertet.

Aus den theoretischen Indikatoren werden zwei zusätzliche Indikatoren abgeleitet, welche die bisher ausgewählten Indikatoren ergänzen. Mit der „Ersatzteilpolitik des Herstellers“, wird bewertet, ob Hersteller Gruppen von Ersatzteilen für einzelnen Zielgruppen nicht verfügbar machen. Darüber hinaus wird die Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix aufgenommen.

Aufgrund der Ergebnisse der theoretischen Recherchen werden die folgenden Indikatoren ausgewählt:

- ▶ Verfügbarkeit von Ersatzteilen,
- ▶ Ersatzteilpolitik des Herstellers bzgl. des Modells,
- ▶ Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen,
- ▶ Lieferzeit für Ersatzteile,
- ▶ Kosten für Ersatzteile,
- ▶ Verfügbarkeit von Reparaturinformationen,
- ▶ Möglichkeit der Fehlerdiagnose,
- ▶ Verfügbarkeit aktualisierter Software / Firmware,
- ▶ Dauer der Verfügbarkeit aktualisierter Software / Firmware und
- ▶ Möglichkeit des Zurücksetzens auf Werkseinstellungen (für elektronische Geräte / Drucker).

Aus den Fallstudien wurden für die Indikatoren **Bewertungsklassen** abgeleitet, die die vorgefundenen Spannbreiten bei den untersuchten Geräten abbilden. Die optimierte Reparierbar-

keitsmatrix mit ihren Bewertungsklassen und der Bepunktung ist in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Optimierte Reparierbarkeitsmatrix

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Demontagetiefe	Teile	A: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei \leq als 70% des Mittelwerts B: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 70 bis $\leq 90\%$ des Mittelwerts C: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 90 bis $\leq 110\%$ des Mittelwerts D: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 110 bis $\leq 130\%$ des Mittelwerts E: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei $> 130\%$ des Mittelwerts	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1 E = 0
Befestigungsart	Teile	A: Wiederverwendbar B: Entfernbar C: Weder entfernbar noch wiederverwendbar	A = 10 B = 5 C = 0
Werkzeuge	Teile	A: Reparatur möglich ohne Werkzeuge, mit Standardwerkzeugen, die für Privatpersonen im Handel erhältlich sind oder mit mitgelieferten Werkzeugen B: Reparatur möglich mit spezifischem Werkzeug, das nicht mitgeliefert wird, aber von fachlich kompetenten Reparatur*innen erworben werden kann C: Reparatur möglich mit spezifischem Werkzeug, dass nicht mitgeliefert wird, aber von Vertragspartner*innen erworben werden kann D: Reparatur kann mit keinem Standardwerkzeug, mitgeliefertem Werkzeug oder erwerbbares Werkzeug durchgeführt werden	A = 10 B = 7 C = 3 D = 0
Lösbarkeit der Seitenwände	Gerät	A: Vier Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen B: Drei Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen C: Zwei Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen D: Eine Wand des Wäschetrockners lässt sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Ersatzteilpolitik des Herstellers bzgl. des Modells	Gerät	Für Privatpersonen: A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	A = 10 B = 5 C = 0
		Für fachlich kompetente Reparatur*innen: A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	A = 10 B = 5 C = 0
		Für Vertragspartner*innen des Herstellers / den Hersteller: A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	A = 10 B = 5 C = 0
Verfügbarkeit von Ersatzteilen	Teile	A: Das Ersatzteil ist für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar B: Das Ersatzteil ist für fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar C: Das Ersatzteil ist nur für Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar D: Das Ersatzteil ist nicht verfügbar	A = 10 B = 7 C = 3 D = 0
Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen	Gerät	A: Langfristige Verfügbarkeit (≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern, nachdem die letzte Einheit des Modells auf den Markt gebracht wurde) B: Mittelfristige Verfügbarkeit (> 2 bis < 10 Jahre bei Druckern und > 2 bis < 15 Jahre bei Trocknern, nachdem die letzte Einheit des Modells auf den Markt gebracht wurde) C: Kurzfristige Verfügbarkeit oder keine Verfügbarkeit (≤ 2 Jahre bei Druckern sowie Trocknern, nachdem die letzte Einheit des Modells auf den Markt gebracht wurde)	A = 10 B = 5 C = 0
Lieferzeit für Ersatzteile	Teile	A: ≤ 4 Werktage B: 5-14 Werktage C: 15-21 Werktage D: ≥ 22 Werktage	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Kosten für Ersatzteile	Teile	<p>Baugruppen:</p> <p>A: $\leq 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>B: > 20 bis $< 50\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>C: $\geq 50\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 1</p>
		<p>Unterbaugruppen:</p> <p>A: $\leq 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>B: > 10 bis $< 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>C: $\geq 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 1</p>
		<p>Bauteile:</p> <p>A: $\leq 5\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>B: > 5 bis $< 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p> <p>C: $\geq 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 1</p>
Verfügbarkeit von Informationen	Gerät	<p>Für Privatpersonen:</p> <p>A: Es sind umfassende Informationen verfügbar</p> <p>B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar</p> <p>C: Es sind keine Informationen verfügbar</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 0</p>
		<p>Für fachlich kompetente Reparatur*innen:</p> <p>A: Es sind umfassende Informationen verfügbar</p> <p>B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar</p> <p>C: Es sind keine Informationen verfügbar</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 0</p>
		<p>Für Vertragspartner*innen des Herstellers / den Hersteller:</p> <p>A: Es sind umfassende Informationen verfügbar</p> <p>B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p>

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
		verfügbar C: Es sind keine Informationen verfügbar	C = 0
Fehlerdiagnose	Gerät	A: Intuitive Schnittstelle: Fehler wird mit einem Signal kommuniziert, das ohne externe Begleitdokumentation verstanden wird B: Codierte Schnittstelle mit öffentlicher Referenztabelle: Fehler kann über Schnittstelle in Verbindung mit mitgelieferter oder öffentlich verfügbarer Begleitdokumentation (z. B. Fehlercodetabelle) ausgelesen werden. C: Öffentlich verfügbare Hardware- / Softwareschnittstelle: Es wird eine öffentlich verfügbare Hardware und / oder Software benötigt, um den Fehler auszulesen D: Proprietäre Schnittstelle: Um den Fehler auszulesen, wird eine proprietäre Hardware und / oder Software benötigt, die nicht mit dem Produkt mitgeliefert wird E: Mit keiner Schnittstellenart möglich	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1 E = 0
Firmware	Gerät	A: Notwendige Aktualisierung der Firmware für ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde B: Notwendige Aktualisierung der Firmware > 2 bis < 10 Jahre bei Druckern und > 2 bis < 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde C: Notwendige Aktualisierung der Firmware ≤ 2 Jahre bei Druckern sowie bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde	A = 10 B = 5 C = 0
Treiber (Nur für Drucker)	Gerät	A: Aktualisierung der Treiber für ≥ 10 Jahre für alle relevanten Betriebssysteme, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde (Windows, macOS, Linux) B: Aktualisierung der Treiber für alle ursprünglich unterstützten Betriebssysteme für ≥ 10 Jahre nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde C: Aktualisierung der Treiber für < 10 Jahre, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde	A = 10 B = 5 C = 0

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Zurücksetzen auf Werkseinstellungen und von Passwörtern (Nur für Drucker)	Gerät	A: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist mithilfe von im Gerät integrierter Funktion möglich	A = 10
		B: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist mithilfe frei zugänglicher Hard- oder Software möglich	B = 5
		C: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist nur Vertragspartnern des Herstellers / dem Hersteller möglich (Servicereset)	C = 1
		D: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist nicht möglich	D = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Um die Anwendbarkeit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix zu überprüfen, wurde diese an je zwei Laserdruckern und Wärmepumpentrocknern, die auch Teil der Fallstudien waren, getestet.

Um die Bewertungsklassen in einen **numerischen Wert für die Reparierbarkeit** zu überführen, wurde das Instrument einer Nutzwertanalyse gewählt. Mit diesem wurden zunächst für jeden Indikator ein Teilnutzen direkt abgelesen oder aus dem Mittel der Werte für die einzelnen prioritären Teile berechnet und diese dann zu Nutzwerten je Gerät zusammengefasst. Dabei wurden alle Indikatoren und Ersatzteile gleich gewichtet. Mit der eingesetzten Nutzwertanalyse ist es jederzeit möglich, den Indikatoren und Ersatzteilen ein unterschiedliches Gewicht zu geben.

Für die Überprüfung der Reparierbarkeitsmatrix wurden zwei relativ ähnliche Laserdrucker eines Herstellers ausgewählt. Es wurde erwartet, dass die Nutzwerte (als Werte für die Reparierbarkeit) dieser beiden Geräte eng beieinander liegen (Hypothese 1).

Um einen anderen Fall zu überprüfen, wurden zwei Wärmepumpentrockner unterschiedlicher Hersteller ausgewählt, die sich nach den Ergebnissen der Fallstudien in ihrer Reparaturfreundlichkeit stark unterscheiden. Für diese beiden Geräte wurde erwartet, dass der Unterschied zwischen den Nutzwerten größer sein würde als bei den Druckern (Hypothese 2). Weiterhin wurde erwartet, dass das Gerät, welches nach den Ergebnissen der Fallstudie reparaturfreundlicher ist (z. B. in Bezug auf geringe Demontagezeiten und eine großzügige Ersatzteilversorgung durch den Hersteller), einen höheren Nutzwert erzielen würde (Hypothese 3).

Durch die Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix wurden alle drei Hypothesen bestätigt. Es wird daher angenommen, dass die Matrix dazu geeignet ist, die Reparierbarkeit von Geräten zu bewerten. Dabei werden die erwarteten Unterschiede zwischen den Geräten abgebildet.

Basierend auf den vorausgegangenen theoretischen und empirischen Erkenntnissen dieses Vorhabens werden abschließend **Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur** (Kapitel 7) formuliert. Dazu wird zunächst eine **Bestandsaufnahme von Maßnahmen** (Kapitel 7.1) durchgeführt, inwiefern in zentralen politischen Programmen die Reparatur derzeit gefördert wird. Die Analyse verdeutlicht, dass in mehreren politischen Programmen bereits auf die Notwendigkeit verwiesen wird, die Materialeffizienz durch eine Förderung der Reparatur durch diverse Maßnahmen zu

erhöhen. Bisher fehlt es jedoch vor allem an einer Konkretisierung dieser Maßnahmen. Daher werden anschließend **Empfehlungen für Maßnahmen** (Kapitel 7.2) zur Förderung der Reparatur formuliert, die in produktpolitische Instrumente, wie z. B. dem Blauen Engel und der Ökodesign-Richtlinie integriert werden können. Die Anforderungen können dabei abhängig davon, ob es sich um Voraussetzungen für den Marktzutritt, oder um Label mit höheren Anforderungen handelt unterschiedlich anspruchsvoll ausfallen. Zu den empfohlenen Maßnahmen gehören unter anderem:

- ▶ Die Anzahl der benötigten **Arbeitsschritte** zur Demontage von Wäschetrocknern und Druckern muss bei $\leq 70\%$ des Mittelwerts liegen.
- ▶ Die verwendeten **Befestigungen** müssen wiederverwendbar sein.
- ▶ Eine Reparatur muss möglich sein ohne **Werkzeuge**, mit Standardwerkzeugen, die für Privatpersonen im Handel erhältlich sind, mit mitgelieferten Werkzeugen.
- ▶ Die Verfügbarkeit von **Ersatzteilen** muss ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Wäschetrocknern betragen, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde.
- ▶ Für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller müssen nicht sicherheitsrelevante **Ersatzteile** sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile verfügbar sein.
- ▶ **Ersatzteile** müssen innerhalb von 4 Werktagen geliefert werden.
- ▶ Hinsichtlich der **Ersatzteilpreise** dürfen Baugruppen maximal 20% der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten. Unterbaugruppen dürfen maximal 10% der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten. Bauteile dürfen maximal 5% der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten.
- ▶ Umfassende **Informationen** wie Fehlercodetabellen, Explosionszeichnungen, Schaltpläne und Reparaturanleitungen müssen für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen des Herstellers verfügbar sein. Zur **Fehlerdiagnose** muss der Fehler mit einem Signal kommuniziert werden, das ohne externe Begleitdokumente verstanden wird.
- ▶ Notwendige Aktualisierungen der **Firmware** müssen für ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern verfügbar sein, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde.
- ▶ Bei Druckern müssen die Wiederherstellung der **Werkseinstellungen und das Zurücksetzen von Passwörtern** mithilfe von im Gerät integrierten Funktionen möglich sein.
- ▶ Bei Druckern müssen Aktualisierung der **Treiber** für alle relevanten Betriebssysteme (Windows, macOS, Linux) für ≥ 10 Jahre, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde, möglich sein.
- ▶ Bei Wäschetrocknern müssen sich die vier **Seitenwände** jeweils unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen lassen.

Die in diesem Vorhaben erzielten Erkenntnisse zeigen weiteren **Forschungsbedarf** (Kapitel 8) auf, der abschließend benannt wird, wie zum Beispiel:

- ▶ Die Anwendbarkeit der erarbeiteten Reparaturmatrix sollte neben Wäschetrocknern und Druckern in weiteren Fallstudien überprüft werden.
- ▶ Für die für den Indikator „Arbeitsschritte“ ermittelten Bewertungsklassen sind Referenzwerte erforderlich, die über praktische Studien für weitere Produktgruppen ermittelt werden sollten.
- ▶ Hinsichtlich der prioritären Teile sollten in regelmäßigen Abständen Probeuntersuchungen durchgeführt werden, um zu ermitteln, welche Teile in den derzeit in den auf dem Markt befindlichen Geräten vorhanden sind.
- ▶ Neben den in diesem Vorhaben erarbeiteten technischen Aspekten, z. B. Befestigungsarten oder Werkzeuge, sollte analysiert werden, inwiefern ein Label für Reparierbarkeit die Kaufentscheidung beeinflusst und unter welchen Umständen Konsument*innen heutzutage defekte Geräte reparieren.

Summary

Electrical and electronic equipment is one of the fastest growing waste streams. The increasing amount of waste is problematic because these devices are complex products consisting of numerous different materials, components, and assemblies, some of which have been generated with a high input of resources and energy. These waste streams can be significantly reduced by extending the service life with the help of increased repairs. Compared with recycling, repairs have the additional advantage that they do not involve the considerable material losses that are often technically unavoidable in recycling. In addition to the ecological advantages, repairs also have economic benefits. Repair can have positive effects at the local level for the labor market and regional value creation.

So far, however, there is no sound scientific basis for determining which factors favor repair and can be defined as a requirement for manufacturers and passed on to customers via labeling. This is where the project "Methods and standards for strengthening material efficiency under the Ecodesign Directive" comes in. Factors favoring repair are being developed for complex products in an interrelationship between theory and empirics. The project pursues the overall objective of strengthening the material efficiency of energy-related products - under the Ecodesign Directive and other product-specific instruments.

The extent to which a defective appliance can be repaired depends on numerous factors. In this project, the focus is on the technical feasibility of a repair, also considering related aspects such as economic and informational aspects.

During the project, different aspects were worked on:

- ▶ By participating in several committees within the European standardization mandate M/543 at national and European level, this project contributed to the development of criteria for assessing the reparability, reusability, and upgradeability of energy-related products.
- ▶ A system for assessing the reparability of energy-related products (a so-called reparability matrix) has been developed. It aims at providing consumers with information to enable them to make a conscious purchase decision. At the same time, an incentive is created for manufacturers to take reparability into account from the product design stage on.
- ▶ The applicability of the reparability matrix has been tested in several case studies using printers and tumble dryers by disassembling selected appliances. The findings will in turn feed into the standardization work and reparability matrix - suggestions have been formulated accordingly.
- ▶ Based on the central findings of the project, recommendations have been formulated as to how these findings can be translated into product policy instruments.

Overall, requirements have been developed in the interrelationship between empirics and theory to promote the material efficiency of energy-related products through repair. A repair is a "process of returning a faulty product to a condition where it can fulfil its intended use" (DIN EN 45554). According to DIN EN 45554, a repair is different from an upgrade. An upgrade is a "process to enhance the functionality, performance, capacity or aesthetics of a product" (DIN EN 45554).

Electrical and electronic devices are complex products that are often made up of numerous components. To classify the extent to which a device is repairable, a **conceptual framework** (Chapter 2) is therefore required to reduce this complexity. It is based on four pillars:

- a) Priority parts,
- b) Indicators,
- c) assessment classes, and
- d) final label.

To a): **Priority parts** (chapter 2.2) are those parts that typically fail during the normal use of a product. By focusing on these parts when evaluating repairability, the evaluation process can be made much more targeted. There are several options for identifying priority parts. Priority parts can be defined, for example, by the following characteristics:

- ▶ frequency with which a part becomes defective,
- ▶ functional importance of a part,
- ▶ economic value of the part,
- ▶ ecological importance of the part, or
- ▶ the steps required to disassemble the part.

The mentioned valuation characteristics are usually not congruent. A product part may have the smallest economic value but impact the environment the most. In this report, priority parts are those parts that have functional importance but typically fail during the normal use of a product. It should be noted, however, that only after a product has been on the market for some time it becomes apparent which parts fail frequently, so identifying these parts in advance is difficult to implement.

To b): The extent to which a product is repairable cannot be observed directly. Repairability is primarily a theoretical construct that must be operationalized with the help of measurable **indicators** (chapter 2.3). Key indicators that influence the repairability of products can be divided into two categories: They either relate to the product design (on both: product level and part level, e. g. non-destructive disassembly) or to the repair environment (e. g., tools, information) and thus influence repair indirectly or directly. Furthermore, generic and specific indicators can be distinguished. Generic indicators are very general and can therefore be applied horizontally across various product groups (e. g. duration of availability of spare parts). In contrast, specific indicators concretize the generic indicators depending on the product group and can therefore only be applied to specific product groups (e. g. number of disassembly steps).

To c): The assessment of repairability requires the existence of a **rating system** (chapter 2.4) that classifies repairability. Three systems for assessing repairability can be distinguished:

- ▶ qualitative,
- ▶ semi-quantitative and
- ▶ quantitative systems.

The evaluation systems build on each other with increasing complexity. Which system is used depends on the desired benefit, data availability and practical feasibility. **Qualitative assessments** define indicators that must be fulfilled to classify a product as repairable. They thus represent a checklist that is used to check individually whether the device meets or does not meet the requirement. In a **quantitative assessment**, several individual indicators are combined to form an index that measures the degree to which the product is repairable. It must be decided

which indicators should be included in the index and how the dimensions are combined (e. g., additive or multiplicative).

To d): Regardless of the type of rating system, a visibly displayed **label** (chapter 2.5) is required that transparently communicates to customers the assessment achieved regarding the extent to which a product is repairable. Conceivable labels are, for example, an alphabetical or numerical marking. It should be noted, however, that mandatory labeling ensures greater transparency, but does not necessarily result in more sustainable purchasing behavior.

In practice, several approaches to assessing repairability already exist (chapter 3), but they are not universally applied. The existing approaches can be divided into product-specific and generic approaches. Product-specific approaches refer either to specific products (e. g., washing machines, radios) or product groups (e. g., white goods, brown goods), while generic approaches are applicable across product groups, hence horizontally. In general, the product-specific approaches have been in place for some time and the generic approaches only recently. The latter are also striving to develop an overarching evaluation system - and have taken place in parallel with this project in France, Benelux and at the European level.

The **product-specific approaches** (Chapter 3.1) vary between quantitative and qualitative rating systems, as well as a combination of these. First, the *Blue Angel* and the *EU Ecolabel* are examples of qualitative approaches to assessing products, generally addressing their repairability in addition to other environmental impact. The approaches therefore each contain only individual indicators that refer to whether a product is repairable or not. If all criteria are met, the products tested receive the corresponding seal of approval. Second, unlike qualitative approaches, the primary goal of semi-quantitative approaches is to specifically comparably rank repairability rather than overall environmental friendliness, considering repair aspects. Semi-quantitative approaches include *ONR 192102:2014*, the *iFixit scoring system*, the *Repair Index*, and *repairability.org*. Third, the existing quantitative approaches predominantly address the time required for disassembly. The calculations were originally developed for standardized production processes, which makes them difficult to transfer to individual repair environments. These quantitative approaches include *U-effort*, *Philips ECC*, *Desai & Mital*, *Kroll*.

Current **generic approaches** (Section 3.2) include a study in the context of Benelux by Bracquené et al. (2018), a study by the Joint Research Centre on behalf of the European Commission by Cordella et al. (2018b) and the repair indicator developed in France (French repair indicator). When this project started, these studies offered a first helpful guidance, but they are mostly theoretical works whose applicability has either not been tested in practice at the start of this study (French repair index, Joint Research Centre study) or only to a limited extent (Benelux study).

Potential repairability indicators (Chapter 4) are taken from the existing product-specific and generic approaches. The analysis shows that a total of 37 indicators can be theoretically used in the following 11 dimensions: Disassembly, Connections, Tools, Fault Diagnosis, Information, Spare Parts, Software / Firmware, Knowledge, Working Environment, Data and Password, Manufacturer Service. The individual indicators in these dimensions should not be considered in isolation, but rather are interwoven in complex ways. Although each of the systems for assessing repairability has its specific advantages and disadvantages, the analysis nevertheless reveals several points that must be considered when developing repair indicators:

First, numerous factors influence the extent to which a product can be repaired. They address different aspects of a repair, such as:

- ▶ Economic factors, e. g., cost of spare parts, cost of tools, cost of labor.

- ▶ Technical factors, e. g., product design, nondestructive disassembly, access to information.
- ▶ Legal factors, e. g., guarantee, warranty, availability of safety-related spare parts.
- ▶ Organizational factors, e. g., availability of repair shops, time required to complete repair, access to information, availability of spare parts.
- ▶ Behavioral factors, e. g., emotional importance of a product, awareness of repair options, dispensability of a product for repair period.

Second, the assessment of repairability should be based solely on objective criteria that can be verified - rather than subjective criteria. However, objective operationalization of some indicators of repairability is not always possible, although they are theoretically relevant.

Third, an evaluation must be possible at the time a product is placed on the market. This poses a particular challenge, for example, when evaluating the availability of spare parts, because it must be proven that this can be guaranteed in the future for the specified period.

Fourth, although economic factors are often a decisive criterion for whether a repair is carried out at all, this poses a challenge for a uniform evaluation system within the European Union. This is because absolute values are not meaningful, since the costs of repair services, for example, can vary greatly between different member states.

Fifth, there must be continuous monitoring to check the extent to which the information provided is accurate, especially if the classification of repairability is made exclusively by the manufacturing company.

As part of this project, case studies were carried out on two product groups – printers and tumble dryers – to check whether the theoretical indicators describe their repairability and, if so, which of them can be used for an assessment.

Within the two product groups, inkjet and laser printers as well as exhaust air, condensing and heat pump dryers were investigated. For the two product groups in the case studies, current models from manufacturers with relevant market shares that topped the sales lists of major Internet retailers were selected.

Priority parts were selected based on literature research, an informal survey of repairers, and consultation with the client.

For each product group, a practical and a theoretical part of the case studies were conducted. During the practical work, all priority parts were disassembled, and indicators were quantified. To exclude learning effects during the case studies, the practical work was carried out by experienced technicians and designed, accompanied and documented by scientific staff. Indicators examined in the practical part of the case studies included:

- ▶ Disassembly depth (number of work steps),
- ▶ Disassembly time,
- ▶ Type and number of fastening elements (BFE),
- ▶ Visibility of fastening elements (by random sample),
- ▶ Number of tools,
- ▶ Number of tool changes,

- ▶ Tool class,
- ▶ Necessary knowledge, and
- ▶ Working environment.

The indicators working environment, fastener visibility, and necessary knowledge could not be operationalized in the case studies, as no quantifiable indicator could be found. Therefore, these indicators are not included in the optimized repairability matrix even though these indicators may be relevant as well.

With regard to tools, it became clear that repair operations can almost always be performed with a variety of possible tools. A general classification of tools into classes that are more or less available or suitable is therefore not recommended. Instead, a negative evaluation should be made within the framework of a repairability matrix if an operation requires a tool that is not commercially available for all actors - i. e., also for private individuals. The indicators tool change and number of tools are not included in the optimized repairability matrix.

Regarding the fastening elements, the type of chosen fastener proved to be relevant. It should be reusable or removable, with reusability being rated better.

For both number of fasteners and number of steps, a linear relationship to disassembly time was found during the case studies. Both indicators can therefore potentially be used as a proxy for disassembly time in a rating system to make the rating system also applicable without having to perform extensive serial tests on equipment each time. In the optimized repairability matrix, the number of work steps is adopted because the mathematical relationship with disassembly time is stronger for individual product groups.

As a further indicator for tumble dryers, the detachability of the side panels is derived from the case studies conducted. It has been shown that the disassembly times of tumble dryers are lower whereas many side panels as possible could be removed independently of any other side panel. This is evaluated in the indicator.

Based on the results of practical investigations, the following indicators are selected:

- ▶ Number of work steps (disassembly depth),
- ▶ Type of fastening,
- ▶ Tools, and
- ▶ Detachability of side panels (for large household appliances / tumble dryers).

Theoretical research was conducted on selected indicators that could not be tested directly on the appliances.

The following indicators were examined as part of the theoretical research:

- ▶ Availability of repair information (per target group),
- ▶ Type of user interface / interface for fault diagnosis,
- ▶ Identifiability of spare parts,
- ▶ Availability of spare parts (per target group) (by random sample),
- ▶ Spare parts delivery time (by random sample),

- ▶ Spare parts costs (by random sample),
- ▶ Availability of software / firmware (per target group), and
- ▶ Reset / restore factory settings.

For the research the below-mentioned sources of information were used:

- ▶ Internet sites of manufacturers or their designated contractors,
- ▶ Product documents (user manuals, etc.), and
- ▶ Written and telephone inquiries to manufacturers or their designated contractors.

Information sources were used in a cascading fashion wherever appropriate. That is, inquiries and requests were made when the relevant information was not already publicly available.

Only service and information offers from the manufacturer or authorized third parties were considered in the research. Offers from independent third parties (e. g. independent Internet platforms on which repair manuals are sold) are not evaluated.

Furthermore, it soon became clear that manufacturers and contractors treat requests from different stakeholders differently. For this reason, actors are divided into three target groups for the case studies and the optimized evaluation matrix:

- ▶ Private individuals: Laypersons, without electrotechnical training.
- ▶ Competent repairers: persons with electrical engineering training who are not contractually affiliated with the manufacturer or designated as service partners.
- ▶ Contractual partner(s) of the manufacturer: persons with electrotechnical training who are contractually associated with the manufacturer or are designated as service partners.

All indicators considered have proven to be relevant in the theoretical research and will be included in the optimized repairability matrix. However, "Identifiability of spare parts" is not adopted as a single indicator. Instead, the availability of exploded views, which allow the identification of spare parts, is assessed as a sub-aspect of "availability of information".

Two additional indicators are derived from the theoretical indicators to complement the previously selected ones. With the "spare parts policy of the manufacturer", it is evaluated whether manufacturers make groups of spare parts unavailable for individual target groups or not. In addition, the duration of spare parts availability is included in the optimized repairability matrix.

Thus, based on the results of the theoretical research, the following indicators are selected:

- ▶ Availability of spare parts,
- ▶ Spare parts policy of the manufacturer with regard to the model,
- ▶ Duration of availability of spare parts,
- ▶ Delivery time for spare parts,
- ▶ Cost of spare parts,
- ▶ Availability of repair information,

- ▶ Possibility of fault diagnosis,
- ▶ Availability of updated software / firmware, and
- ▶ Possibility of resetting to factory settings (for electronic devices / printers).

Based on the case studies, rating classes were derived for the indicators, which represent the ranges found for the devices investigated. The optimized repairability matrix with its rating classes and scoring is summarized in Table 1 below.

Table 1: Optimized repairability matrix

Indicator	Assessment level	Valuation classes	Point scale
Disassembly depth	Parts	A: The number of work steps required is $\leq 70\%$ of the mean value	A = 10
		B: The number of work steps required is > 70 to $\leq 90\%$ of the mean value	B = 7
		C: The number of work steps required is > 90 to $\leq 110\%$ of the mean value	C = 4
		D: The number of work steps required is ≥ 110 to $\leq 130\%$ of the mean value	D = 1
		E: The number of work steps required is $> 130\%$ of the mean value	E = 0
Fastener type	Parts	A: Reusable	A = 10
		B: Removable	B = 5
		C: Neither reusable nor removable	C = 0
Tool type	Parts	A: Repair possible without tools, with standard tools commercially available to lay persons, or with tools supplied	A = 10
		B: Repair possible with specific tools that are not supplied but can be purchased by professional repairers	B = 7
		C: Repair possible with specific tools that are not supplied but can be purchased by authorised service partners	C = 3
		D: Repair cannot be carried out with any tool.	D = 0
Detachability of side panels	Device	A: Four panels of the tumble dryer can be removed individually	A = 10
		B: Three panels of the tumble dryer can be removed individually	B = 7
		C: Two panels of the tumble dryer can be removed individually	C = 4
		D: One panel of the tumble dryer can be removed individually	D = 1
Manufacturer's spare parts policy for the model	Device	For lay persons:	
		A: Non-safety-relevant spare parts and safety-relevant spare parts are available	A = 10
		B: Only non-safety-relevant spare parts are available	B = 5
	C: No spare parts are available	C = 0	
	For professional repairers:		

Indicator	Assessment level	Valuation classes	Point scale
		<p>A: Non-safety related spare parts and safety related spare parts are available</p> <p>B: Only non-safety related spare parts are available.</p> <p>C: No spare parts are available</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 0</p>
		<p>For authorised service partners of the manufacturer / the manufacturer:</p> <p>A: Non-safety related spare parts and safety related spare parts are available</p> <p>B: Only non-safety related spare parts are available</p> <p>C: No spare parts are available</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 0</p>
Availability of spare parts	Parts	<p>A: The spare part is available for lay persons, professional repairers, and authorised service partners / manufacturers</p> <p>B: The spare part is available for professional repairers and authorised service partners / manufacturers</p> <p>C: The spare part is only available for authorised service partners / manufacturers</p> <p>D: The spare part is not available</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 7</p> <p>C = 3</p> <p>D = 0</p>
Duration of availability of spare parts	Device	<p>A: Long-term availability (≥ 10 years for printers and ≥ 15 years for dryers after placing the last unit of a product model on the market)</p> <p>B: Medium-term availability (> 2 to < 10 years for printers and > 2 to < 15 years for dryers, after placing the last unit of a product model on the market)</p> <p>C: Short-term availability or no availability (≤ 2 years for printers as well as dryers after placing the last unit of a product model on the market)</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 0</p>
Delivery time for spare parts	Parts	<p>A: ≤ 4 working days</p> <p>B: 5-14 working days</p> <p>C: 15-21 working days</p> <p>D: ≥ 22 working days</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 7</p> <p>C = 4</p> <p>D = 1</p>
Cost of spare parts	Parts	<p>Assemblies:</p> <p>A: $\leq 20\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>B: > 20 to $< 50\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>C: $\geq 50\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>Subassemblies:</p> <p>A: $\leq 10\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>B: > 10 to $< 20\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>C: $\geq 20\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p> <p>Components:</p> <p>A: $\leq 5\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market</p>	<p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 1</p> <p>A = 10</p> <p>B = 5</p> <p>C = 1</p> <p>A = 10</p>

Indicator	Assessment level	Valuation classes	Point scale
		B: > 5 to < 10% of the RRP of the product at the time the device was placed on the market C: ≥ 10% of the RRP of the product at the time the device was placed on the market	B = 5 C = 1
Availability of information	Device	For lay persons: A: Comprehensive information is available B: Basic information is available C: No information is available For professional repairers: A: Comprehensive information is available B: Basic information is available C: No information is available For authorised service partners of the: manufacturer / the manufacturer A: Comprehensive information is available B: Basic information is available C: No information is available	A = 10 B = 5 C = 0 A = 10 B = 5 C = 0 A = 10 B = 5 C = 0
Fault diagnosis	Device	A: Intuitive interface: Error is communicated with a signal that is understood without external accompanying documentation. B: Coded interface with public reference table: Error can be read out via interface in conjunction with supplied or publicly available accompanying documentation, (e. g. error code table). C: Publicly available hardware/software interface: Publicly available hardware and/or software is required to read out the error. D: Proprietary interface: Proprietary hardware and/or software is required to read out the error and is not supplied with the product. E: Not possible with any interface type.	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1 E = 0
Firmware	Device	A: Updated firmware provided for ≥ 10 years for printers and ≥ 15 years for dryers after the placing on the market of the last unit of a product model B: Updated firmware provided for > 2 to < 10 years for printers and > 2 to < 15 years for dryers after the placing on the market of the last unit of a product model C: Updated firmware provided ≤ 2 years for printers and dryers after the placing on the market of the last unit of a product model	A = 10 B = 5 C = 0
Driver (Only for printers)	Device	A: Updated driver provided for ≥ 10 years for all relevant operating systems after the placing on the market of the last unit of a product model (Windows, macOS, Linux) B: Updated driver provided for ≥ 10 years for all originally supported operating systems after the placing on the market of the last unit of a product model	A = 10 B = 5 C = 0

Indicator	Assessment level	Valuation classes	Point scale
		C: Updated driver provided < 10 years after the placing on the market of the last unit of a product model	
Restoring of factory settings and resetting passwords (Only for printers)	Device	A: Restoring factory settings and resetting passwords is possible with the help of a function integrated in the device. B: Restoration of factory settings and resetting of passwords is possible with the help of freely accessible hardware or software. C: Restoration of factory settings and resetting of passwords is only possible with the help of the manufacturer's authorised service partners / the manufacturer (service reset). D: Restoration of factory settings and resetting of passwords is not possible.	A = 10 B = 5 C = 1 D = 0

Source: Own depiction

In order to check the applicability of the optimized reparability matrix, it was tested on two laser printers and two heat pump dryers, which were also part of the case studies.

In order to convert the evaluation classes into a numerical value for reparability, the instrument of a utility value analysis was chosen. This was first used to identify or calculate (as average value from the values of all priority parts) the partial benefits for each indicator, which were then combined into utility values for each appliance. All indicators and spare parts were weighted equally. With the utility analysis used, it is possible at any time to give different weights to the indicators and spare parts.

Two relatively similar laser printers from one manufacturer were selected for testing the reparability matrix. It was expected that the utility values (values indicating the reparability) of these two devices would be close to each other (Hypothesis 1).

To test a different case, two heat pump dryers from different manufacturers were selected, which, according to the results of the case studies, differed greatly in their reparability. For these two appliances, it was expected that the difference between the utility values would be larger than for the printers (Hypothesis 2). Furthermore, it was expected that whatever device was more repairable according to the case study results (e. g., in terms of low disassembly times and a generous supply of spare parts by the manufacturer) would achieve a higher utility value (Hypothesis 3).

By applying the reparability matrix, all three hypotheses were confirmed. Therefore, the optimized reparability matrix maps the results of the case studies. Therefore, it is stated that the matrix is suitable to evaluate the reparability of devices. Thereby, the expected differences between the devices are mapped.

Based on the preceding theoretical and empirical findings of this project, **measures to strengthen repair** (Chapter 7) are finally formulated. To this end, an **inventory of measures** (Chapter 7.1) is first conducted to determine the extent to which repair is currently promoted in key policy programs. The analysis clearly shows that several political programs already refer to the need to increase resource efficiency by promoting repair through various measures. So far, however, the main lack is a concretization of these measures. Therefore, **recommendations for measures** (Chapter 7.2) to promote repair that can be integrated into product policy instruments such as the Blue Angel and the Ecodesign Directive are then formulated. The

requirements can vary depending on whether they are needed for market entry or for labels with higher conditions. The recommended measures include for example:

- ▶ The number of **steps required** to dismantle tumble dryers and printers must be $\leq 70\%$ of the mean value.
- ▶ The **fasteners** used must be reusable.
- ▶ Repair must be possible without **tools**, with standard tools commercially available for lay persons, with tools provided.
- ▶ The duration of availability of **spare parts** shall be ≥ 10 years for printers and ≥ 15 years for tumble dryers after the last device has been placed on the market.
- ▶ Non-safety-relevant spare parts and safety-relevant spare parts must be available for private persons, professional repairers and contract partners/manufacturers.
- ▶ **Spare parts** must be delivered within 4 working days.
- ▶ With regard to **spare parts prices**, sub-assemblies must cost $\leq 20\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market. Subassemblies must cost $\leq 10\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market. Components must cost $\leq 5\%$ of the RRP of the product at the time the device was placed on the market.
- ▶ Comprehensive **information** shall be available for lay persons, professional repairers and authorised service partners of the manufacturer. Comprehensive information includes error code tables, exploded views, circuit diagrams and repair manuals.
- ▶ For **fault diagnosis**, the error must be communicated with a signal that can be understood without external accompanying documents.
- ▶ Necessary **firmware** updates must be available for ≥ 10 years for printers and ≥ 15 years for dryers after the last model has been placed on the market.
- ▶ For printers, **driver updates** must be provided for all originally supported operating systems for ≥ 10 years after the last model was launched after the last model has been put on the market.
- ▶ For printers, it must be possible to **restore factory settings and reset passwords** using the built-in functions of the device.
- ▶ For tumble dryers, each of the four **side panels** must be detachable independently of all other side panels.

The findings obtained in this project point to further research needs (Chapter 8), which are identified in conclusion, such as:

- ▶ The applicability of the developed repair matrix should be verified in further case studies other than tumble dryers and printers.
- ▶ The assessment classes determined for the "work steps" indicator require reference values, which should be determined for further product groups via practical studies.
- ▶ With regard to the priority parts, sample studies should be carried out at regular intervals to determine which parts are currently present in the equipment on the market.

- ▶ In addition to the technical aspects developed in this project, e. g. types of fastening and tools, it should be analyzed to what extent a label for reparability influences the purchase decision and under which circumstances consumers repair defective devices today.

1 Einleitung

Die Reparatur bildet eine zentrale Maßnahme der Abfallvermeidung und ist somit zum einen auf der ersten Stufe der im Kreislaufwirtschaftsgesetz verankerten Abfallhierarchie (§6 KrWG) zu verorten. Zum anderen spielt sie auch bei der zweiten Stufe der Abfallhierarchie, der sog. (Vorbereitung zur) Wiederverwendung eine zentrale Rolle (§3 Abs. 24 KrWG). Denn statt Produkte aufgrund eines Defekts während der Nutzung zu entsorgen, wird durch eine Reparatur die Lebensdauer des Produkts verlängert. Dadurch fallen zum einen weniger Abfälle an, zum anderen werden auch Ressourcen eingespart, die ansonsten für die Neuproduktion erforderlich wären. Ob ein defektes Produkt repariert wird, hängt im Allgemeinen von zahlreichen verschiedenen Faktoren ab. Darunter fällt unter anderem die technische Umsetzbarkeit (z. B. Verfügbarkeit von Ersatzteilen, zerstörungsfreie Demontage), die ökonomische Rentabilität (u. a. Reparaturdauer, Ersatzteilkosten) und informatorische Situation (z. B. Verfügbarkeit von Reparaturanleitungen, Transparenz hinsichtlich Reparierbarkeit auf Käuferseite).

Auf Seite der Kaufenden führen fehlende Informationen zur Reparierbarkeit zu einer Informationsasymmetrie. Ob ein Produkt reparierbar ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht als Kriterium für eine bewusste Kaufentscheidung herangezogen werden, da diesbezügliche Informationen für Kaufinteressierte nicht verfügbar sind. Betont wird daher die Notwendigkeit mehr Transparenz zu schaffen, insbesondere auch auf europäischer Ebene in der Abfallrahmenrichtlinie (2018/851/EU), sowie auf nationaler Ebene im Kreislaufwirtschaftsgesetz (§ 23 KrWG). Ein Bewertungssystem für Reparierbarkeit könnte einerseits dieser Informationsasymmetrie auf Seite der Kaufenden entgegenwirken, andererseits aber auch einen Anreiz für herstellende Unternehmen darstellen, reparaturfähige Produkte herzustellen.

Auf der Herstellerseite sind hierfür jedoch auch verbindliche Vorgaben für ein reparaturbegünstigendes Produktdesign, inklusive entsprechender Rahmenbedingungen erforderlich. Solche Richtlinien dienen herstellenden Unternehmen nicht nur als Orientierung, wie Produkte reparaturfreundlich konstruiert werden können, sondern verpflichten sie dazu ein solches Design tatsächlich in die Praxis umzusetzen. Dies ist erforderlich, da das Produktdesign häufig eine Reparatur hindert – wie auch die praktischen Fallstudien in diesem Vorhaben zeigen werden. Ein Instrument zur Festlegung verbindlicher Vorgaben bildet die Ökodesign-Richtlinie. Im Ökodesign-Arbeitsplan (2016-2019) benennt die Europäische Kommission zum Beispiel produktspezifische oder horizontale Anforderungen, die produktübergreifend angewendet werden können, im Bereich der Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Nachrüstbarkeit, Demontierbarkeit und Informationsweitergabe.

Insgesamt fehlt bisher eine fundierte wissenschaftliche Basis, welche Faktoren einzeln und insgesamt eine Reparatur begünstigen und somit als Anforderung an herstellende Unternehmen festgelegt sowie über eine entsprechende Kennzeichnung an die Kundschaft weitergegeben werden können. An dieser Stelle setzt das geplante Vorhaben an. Im Rahmen dieses Vorhabens werden für komplexe Produkte, allen voran Elektro- und Elektronikgeräte, reparaturbegünstigende Faktoren im Wechselverhältnis zwischen Theorie und Empirie erarbeitet.

1.1 Problemstellung

Speziell in Deutschland wurden im Jahr 2018 rund 853.124 t Elektroaltgeräte gesammelt. Davon stammt mit rund 772.934 t der Großteil aus privaten Haushalten (Löhle et al. 2020), was rund 9,3 kg Elektroschrott pro Einwohner*in entspricht. Eine Studie von Prakash et al. (2016) verdeutlicht zudem, dass die durchschnittliche Erstnutzungsdauer, d. h. der Zeitraum der Nutzung durch die*den Erstnutzenden, von Haushaltsgroßgeräten, die aufgrund eines Defekts ausgetauscht wurden, zwischen 2004 und 2013 um ein Jahr abnahm und bei 12,5 Jahren liegt.

Ein Defekt bildet noch immer die Hauptursache des Austauschs (Prakash et al. 2016). Besonders kritisch ist dabei, dass zwischen 2004 und 2013 der Anteil der Geräte, die innerhalb von unter 5 Jahren wegen eines Defekts ersetzt wurden, von 3,5 auf 8,3 Prozent Gesamtersatzkäufe anstieg. Analysen für weitere Elektro- und Elektronikgeräte (z. B. Waschmaschinen, Fernsehgeräte, Geschirrspüler, Kühlgeräte) bestätigten ebenfalls den Trend einer abnehmenden Erstnutzungsdauer. Die Gründe für den Austausch der Geräte sind vielfältig. Generell wirken funktionelle, werkstoffliche, psychologische und ökonomische Obsoleszenzarten zusammen und bilden hochkomplexe Muster (Prakash et al. 2016).

Die steigende Abfallmenge ist deshalb problematisch, weil Elektro- und Elektronikgeräte komplexe Produkte sind. Sie bestehen aus zahlreichen unterschiedlichen Stoffen, Bauteilen und Baugruppen. Die Stoffe sind zwar in kleinen Mengen, aber hohen Konzentrationen, verglichen mit ihrem Vorkommen in natürlichen Lagerstätten, in den Geräten verbaut. Einige der verarbeiteten Stoffe sind toxisch, sodass von ihnen bei einem nicht sachgerechten Umgang eine erhebliche Gefahr für Mensch und Umwelt ausgeht. Andere sind dagegen wirtschaftlich sehr bedeutsam. Statt die Geräte als Abfall zu entsorgen, besteht daher hohes Potential darin, die Geräte in die Wirtschaft zurückzuführen. Dies ist zudem eine zwingende Notwendigkeit, um dem steigenden Ressourcenverbrauch und der Belastung der Ablagerungsmöglichkeiten entgegenzuwirken.

Eine Reparatur ist einem Recycling nicht nur hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Aspekte vorzuziehen, sondern weitere Vorteile resultieren aus den technischen Grenzen eines Recyclings. Eine Reparatur ist insbesondere bei Elektro- und Elektronikgeräten einer stofflichen Verwertung vorzuziehen, da der Rückgewinnung vieler Stoffe bisher technische Grenzen gesetzt sind. In den Geräten sind meist zahlreiche Metalle mit ähnlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften in hoher Reinheit im Vergleich zu natürlichen Lagerstätten, aber in sehr geringen Mengen verbaut (Hagelücken 2006). Dies erschwert eine sortenreine Rückgewinnung der einzelnen Metallfraktionen und ist nur unter einem hohen Einsatz von Energie möglich. Nach Hagelücken (2006) besteht beim Recycling insbesondere eine inverse Beziehung zwischen Ertrag und Reinheit der zurückgewonnenen Metalle. Dies wird auch als „Konzentrationsdilemma“ (Hagelücken 2006) bezeichnet. Konkret bedeutet das, je höher die Reinheit der zurückgewonnenen Metallfraktion ist, desto geringer ist der Ertrag, da alle nicht reinen Fraktionen vollständig abgetrennt werden. Hinzu kommt, dass die Wirtschaftlichkeit des Recyclings durch die zunehmende Miniaturisierung von elektrischen und elektronischen Geräten unter Druck gerät (Hagelücken 2018).

Insgesamt sind mit einer Reparatur zahlreiche ökonomische und ökologische Vorteile verbunden. Eine Reparatur verbraucht deutlich weniger Energie und Ressourcen als für eine Neuproduktion erforderlich sind, weil die funktionellen Einheiten des Geräts erhalten bleiben und weiterhin genutzt werden (von Gries 2020, Gutowski et al. 2011). Sie kann zudem positive Effekte auf lokaler Ebene für den Arbeitsmarkt und die regionale Wertschöpfung entfalten, da zusätzlich Arbeitsplätze geschaffen werden. Laut einer Studie der Europäischen Kommission (2018) entstehen je nach Umgang mit Abfallprodukten unterschiedlich viele Arbeitsplätze. Für 10.000 t gebrauchter Produkte kann bei der Müllverbrennung ein Arbeitsplatz geschaffen werden. Bei der Mülldeponierung entstehen sechs Arbeitsplätze, wobei in Deutschland seit 2005 eine unbehandelte Deponierung von Siedlungsabfällen nicht mehr zulässig ist. Wenn die Produkte recycelt werden, können 36 Arbeitsplätze geschaffen werden und bei der Wiederaufbereitung und Wiederverwendung von Produkten sind es bis zu 296 Arbeitsplätze.

Jedoch muss der Energieverbrauch der reparierten Geräte in der anschließenden Nutzungsphase differenziert betrachtet werden. Da neue Geräte in der Regel energieeffizienter als alte Geräte sind, stehen die genannten Energieeinsparungen, die sich durch die Aufarbeitung ergeben, möglicherweise einem höheren Energieverbrauch in der Nutzungsphase, verglichen mit einem

entsprechenden Neugerät, gegenüber. Eine Studie von Prakash et al. (2016), in der Lebenszyklusanalysen für langlebige und kurzlebige Waschmaschinen, Fernsehgeräte und Notebooks durchgeführt wurden, zeigt jedoch, dass bei den untersuchten Geräten die langlebige Variante in allen untersuchten Umweltkategorien besser abschnitt als die kurzlebige Variante und damit eine Verlängerung der Nutzungsdauer durch Reparatur vorteilhaft ist.

Trotz der politischen Priorisierung und der zahlreichen Vorteile, die mit einer Reparatur verbunden sind, fristet sie derzeit eher ein Nischendasein. Produkte werden momentan selten repariert. Nach Poppe (2014) kann davon ausgegangen werden, dass die Reparatur in den letzten Jahren sogar zurückgegangen ist. Dies hat mehrere Ursachen. Es mangelt zum Beispiel an reparaturfreundlichen Produktdesigns, Rahmenbedingungen, die eine Reparatur begünstigen sowie an Transparenz auf Seite der Kaufenden hinsichtlich der Reparierbarkeit eines Produkts. Nicht zuletzt ist es auch eine Frage des Preises, denn sofern eine Reparatur im selben Preisspektrum liegt oder teurer ist als der Neukauf eines Produkts, wird der Neukauf aus wirtschaftlichen Gründen häufig vorgezogen.

1.2 Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund ist das übergeordnete Ziel dieses Vorhabens, einen Beitrag zur Erhöhung der Reparierbarkeit von energieverbrauchsrelevanten Produkten zu leisten und die Vermeidung von Abfällen in der Kreislaufwirtschaft umsetzen. Dies soll durch die Entwicklung von Maßnahmen und Normen, welche die Reparatur adressieren geschehen. Dabei steht die technische Machbarkeit unter Berücksichtigung einer ökonomischen Rentabilität im Fokus. Nicht im Fokus stehen dem hingegen weitere soziale Faktoren, die eine Reparatur auf elementare Weise beeinflussen, wie zum Beispiel die Verbreitung von Praktiken des Reparierens (Krebs et al. 2018) oder einer Reparaturkultur (Jaeger-Erben 2017). Sie bedürfen einer gesonderten gesellschafts- und sozialwissenschaftlichen Analyse.

Im Rahmen des Vorhabens werden erstens durch die Mitarbeit in mehreren Gremien² (Normungsmandat M/543) auf nationaler und europäischer Ebene horizontale Anforderungen definiert. Sie betreffen vor allem die Haltbarkeit (Working Group 2) sowie Reparierbarkeit, Aufrüstbarkeit und Wiederverwendung (Working Group 3) von Produkten. Die Normungsarbeiten sind nicht in diesem Bericht aufgeführt. Die Bearbeitung erfolgt durch Dr. Brüning Engineering.

Zweitens wird ein System zur Bewertung der Reparierbarkeit von energieverbrauchsrelevanten Produkten entwickelt, eine sog. Reparierbarkeitsmatrix. Sie zielt einerseits darauf ab, Kaufinteressierten zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen, um auf dieser Basis eine bewusste Kaufentscheidung treffen zu können. Andererseits wird dadurch gleichzeitig ein Anreiz für herstellende Unternehmen erzeugt, bereits beim Produktdesign die Reparierbarkeit zu berücksichtigen. Die Bearbeitung erfolgt durch das Wuppertal Institut.

Parallel wird drittens die Anwendbarkeit der Reparierbarkeitsmatrix in mehreren Fallstudien anhand von Druckern und Wäschetrocknern durch die Demontage ausgewählter Geräte praktisch überprüft. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen wiederum in die Normungsarbeit und Reparierbarkeitsmatrix ein. Die Bearbeitung erfolgt durch Dr. Brüning Engineering.

Basierend auf den zentralen Ergebnissen des Vorhabens werden an vierter Stelle abschließend Empfehlungen formuliert, wie diese Erkenntnisse in produktpolitische Instrumente überführt werden können, insbesondere im Rahmen des Abfallvermeidungsprogramms (AVP) und des

² NA 172-00-14 GA, CENCENELEC TC10 WG2 (Haltbarkeit), WG3 (Aufrüstbarkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit), WG5 (Recyclingfähigkeit, Verwertbarkeit, Einsatz rezyklierter Materialien)

Ressourceneffizienzprogramms (ProgRes). Die Bearbeitung erfolgt durch das Wuppertal Institut und Dr. Brüning Engineering.

Im Wechselverhältnis zwischen Empirie und Theorie werden Anforderungen erarbeitet, um die Materialeffizienz von energieverbrauchsrelevanten Produkten durch eine bessere Reparierbarkeit und damit längere Nutzungsdauer zu fördern. Es leistet einen Beitrag, um eine Kreislaufwirtschaft auf einer der höchsten Stufen der Abfallhierarchie, nämlich der Abfallvermeidung, umzusetzen.

2 Konzeptioneller Rahmen

Zunächst wird definiert, was unter Reparierbarkeit zu verstehen ist. Anschließend werden die zentralen Bestandteile eines Systems zur Bewertung der Reparierbarkeit näher erläutert. Ein solches System basiert nach einer Studie von Cordella et al. (2019) für das Joint Research Centre (JRC) auf mehreren Säulen: a) prioritäre Teile, b) Indikatoren, c) Bewertungsklassen sowie d) einem finalen Label, das die Bewertung an Verbrauchende kommuniziert.

2.1 Reparierbarkeit

Der Begriff *Reparatur* wird definiert gemäß DIN EN 45554. Demnach ist unter Reparatur zu verstehen ein „Prozess, bei dem ein fehlerhaftes Produkt wieder in einen Zustand gebracht wird, bei dem es seine bestimmungsgemäße Verwendung erfüllen kann“ (DIN EN 45554). Produkte sind somit reparierbar, wenn sie sich nach einem Defekt zurück in einen funktionsfähigen Zustand setzen lassen. Dies bedeutet, dass bei einer Reparatur nicht mehr funktionsfähige Komponenten, zu denen sowohl Bauteile als auch Baugruppen zählen, durch andere Komponenten ersetzt werden. Bei diesen kann es sich um neue, aufgearbeitete oder gebrauchte Komponenten handeln. Somit sind von einer Reparatur ausschließlich die defekten Komponenten betroffen, sodass beispielsweise auch keine Prüfung anderer Komponenten stattfindet. Jedoch kann zum anderen auch eine Reparatur ohne den Austausch von Komponenten erfolgen, beispielsweise wenn es ausreicht Befestigungen, die sich gelöst haben, wieder zu schließen, um das Gerät wieder in einen funktionsfähigen Zustand zu setzen. Gemäß DIN EN 45554 unterscheidet sich eine Reparatur von einem Upgrade. Upgrade ist ein „Prozess der Steigerung der Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik eines Produkts“ (DIN EN 45554). Die jeweiligen Definitionen listet Tabelle 2 auf.

Tabelle 2: Definitionen verschiedener Aufarbeitungsoptionen

Begriff	DIN EN 45553 und DIN EN 45554
Reparatur	Prozess, bei dem ein fehlerhaftes Produkt wieder in einen Zustand gebracht wird, in dem es seine bestimmungsgemäße Verwendung erfüllen kann
Upgrade	Prozess der Steigerung der Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik eines Produkts

Quelle: Eigene Darstellung nach DIN EN 45554

2.2 Prioritäre Teile

Bei komplexen Produkten, die sich aus zahlreichen verschiedenen Komponenten zusammensetzen, ist eine Auswahl prioritärer Teile elementar. Indem diese Teile bei der Bewertung der Reparierbarkeit im Fokus stehen, lässt sich die Komplexität des Bewertungsprozesses deutlich reduzieren. Unter prioritären Teilen (Synonym: vorrangige Teile) sind zentrale Teile eines Produkts zu verstehen. Es existieren jedoch verschiedene Kriterien, um zu bewerten, ob ein Teil prioritär ist oder nicht, wie zum Beispiel: a) Häufigkeit, mit der ein Teil defekt wird, b) funktionale Wichtigkeit eines Teils, c) ökonomischer Wert des Teils, d) ökologische Bedeutung des Teils oder e) erforderliche Schritte zur Demontage des Teils. Diese Kriterien sind in der Regel nicht deckungsgleich. Beispielsweise kann ein Produktteil den kleinsten ökonomischen Wert haben, aber die Umwelt am meisten belasten.

Eine Stakeholderumfrage³ des Joint Research Centers von Corella et al. (2018a) ergab, dass über 80 Prozent der Befragten die Häufigkeit des Ausfalls von Teilen als wichtigsten Aspekt ansehen, um prioritäre Teile zu bestimmen. Dementsprechend werden als prioritäre Teile jene definiert, die typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung eines Produkts ausfallen. Jedoch muss beachtet werden, dass erst nachdem ein Produkt über einen längeren Zeitraum auf dem Markt ist, ersichtlich wird, welche Teile oft ausfallen, sodass eine Identifikation vorab schwer umzusetzen ist. Nichtsdestotrotz zeigt Tabelle 3 beispielhaft die prioritären Teile eines Wasserkochers, die in der Regel häufig ausfallen. Sie wurden im Rahmen einer Studie des Waste and Resources Action Programme (2014) identifiziert.

Tabelle 3: Prioritäre Teile eines Wasserkochers basierend auf der Ausfallhäufigkeit

Komponente	Fehlermodus
Schalter	Wasserkocher schaltet nicht automatisch ab, ist zu langsam zum Abschalten oder schaltet sich nicht ein
Deckel	Deckel des Wasserkochers bleibt nicht geschlossen oder kann nicht geöffnet werden
Heizelement	Heizelemente des Wasserkochers können vorzeitig ausfallen oder verursachen laute Geräusche
Wasserdampfrohr	Wasserkocher ist zu langsam zum Abschalten verursacht durch Fehlallokation des Wasserdampfrohrs
Wasserstandsfenster	Wasser tritt durch Wasserstandsfenster des Wasserkochers aus wegen Leck in der Dichtung

Quelle: Eigene Darstellung nach Waste and Resources Action Programme (2014)

2.3 Indikatoren

Inwiefern ein Produkt reparierbar ist, kann nicht direkt beobachtet werden. Reparierbarkeit ist somit zunächst ein theoretisches Konstrukt, das mithilfe von messbaren Indikatoren operationalisiert werden muss. Sie müssen alle Dimensionen, die darauf verweisen inwiefern ein Produkt reparierbar ist, abdecken. Zentrale Indikatoren, welche die Reparierbarkeit von Produkten beeinflussen, lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: Sie beziehen sich entweder auf das Produktdesign (z. B. zerstörungsfreie Demontage) oder auf die Reparaturumgebung (z. B. Reparaturanleitung) und beeinflussen die Reparatur somit mittelbar oder unmittelbar.

Generell können generische und spezifische Indikatoren unterschieden werden. Generische Indikatoren sind sehr allgemein gehalten und können daher horizontal, über diverse Produktgruppen hinweg, angewendet werden. Häufig unterscheiden sich diese Indikatoren nicht von Indikatoren zur Evaluation von ähnlichen Formen der Aufarbeitung, wie Remanufacturing, Upgrading und Refurbishing. Sie können somit ebenfalls zu deren Bewertung verwendet werden. So fallen zum Beispiel Informationen zur Reparatur, ohne diese näher zu benennen, unter generische Indikatoren. Dem hingegen konkretisieren spezifische Indikatoren die generischen Indikatoren in Abhängigkeit von der Produktgruppe und sind dementsprechend nur produktgruppenspezifisch anwendbar. Ein Beispiel für einen produktspezifische Indikatoren bildet zum Beispiel eine Anleitung mit Demontageschritten zum Austausch des Heizelements eines Wasserkochers.

³ An der Umfrage nahmen folgende Vertreter teil: 15 Industrieunternehmen oder Industrieorganisationen, 3 Regierungsbehörden, 3 Nichtregierungsorganisationen, 2 unabhängige Reparaturbetriebe, 1 Wissenschaftsinstitution, 1 Handelsunternehmen. Sie sind in folgenden Ländern ansässig: 6 aus Belgien, 4 aus Frankreich, 3 aus Deutschland, jeweils 2 aus Italien, Spanien und Niederlande sowie jeweils 1 aus der Tschechischen Republik, Dänemark, Irland, Schweden und UK.

2.4 Bewertungsrahmen

Die Bewertung der Reparierbarkeit setzt die Existenz eines Bewertungssystems voraus, das die Reparierbarkeit einstuft. Grundsätzlich lassen sich nach Cordella et al. (2018a) drei **Bewertungssysteme** voneinander unterscheiden: a) qualitative Bewertungen, b) semi-qualitative Bewertungen und c) quantitative Bewertungen. Die Bewertungssysteme bauen mit zunehmender Komplexität aufeinander auf. Welches System verwendet wird, hängt von dem erwünschten Nutzen, der Datenverfügbarkeit und der praktischen Umsetzbarkeit ab.

Bei **qualitativen Bewertungen** werden dichotome Indikatoren definiert, die erfüllt sein müssen, um ein Produkt als reparierbar einzustufen. Sie stellen somit eine Checkliste (z. B. Prioritäre Teile können einfach demontiert werden) dar, mit deren Hilfe einzeln geprüft wird, ob das Gerät die Anforderung erfüllt oder nicht erfüllt.

Die Checkliste mit den Parametern der qualitativen Bewertung dient als Basis für **semi-quantitative Bewertungen**. Statt nur zu prüfen, ob die Indikatoren zutreffen oder nicht, werden jeweils mehrere Alternativen für die einzelnen Indikatoren definiert, die einer abgestuften Bewertung zugewiesen werden (z. B. Reparaturanleitung ist frei zugänglich (1), Reparaturanleitung ist nur für Vertragswerkstätten frei zugänglich (0,5), Reparaturanleitung ist nicht frei zugänglich (0)). Für die einzelnen Indikatoren kann eine numerische Skala, wie im vorangegangenen Beispiel, verwendet werden, aber auch alphabetische (z. B. A, B, C) oder anderweitige (z. B. rot, gelb, grün) Skalen sind möglich. Die Mehrheit der derzeit bestehenden und in der Praxis verwendeten Ansätze funktioniert nach diesem Prinzip. Beispiele hierfür sind die iFixit Scorecard oder die ONR 192 102:2014. Sind einige Indikatoren relevanter als andere, können diese auch gewichtet werden. Die Mehrheit an Stakeholdern, die an einer Umfrage und einem Meeting des Joint Research Centre teilnahmen, sprach sich dafür aus, die einzelnen Indikatoren entsprechend ihrer Wichtigkeit zu gewichten. Neben einer Gewichtung ist ebenso eine Aggregation und Normalisierung der einzelnen Indikatoren möglich, sodass daraus letztendlich die finale Wertung der Reparierbarkeit resultieren kann.

Bei einer **quantitativen Bewertung** werden mehrere Einzelindikatoren einer oder mehrerer Dimensionen zu einem Index zusammengeführt, der den Grad der Reparierbarkeit des Produkts misst. Dabei ist zu entscheiden, welche Dimensionen in den Index eingehen sollen und wie die Dimensionen miteinander kombiniert werden (z. B. additiv, multiplikativ). Die *ease of Disassembly Metric* (eDIM) berechnet zum Beispiel die Demontagefreundlichkeit von Produkten basierend auf der für Demontage und Remontage benötigten Zeit.

2.5 Mögliche Labels

Unabhängig von der Art des Bewertungssystem ist ein sichtbar angebrachtes Label erforderlich, das die erzielte Bewertung, inwiefern ein Produkt reparierbar ist, transparent an Kaufinteressierte kommuniziert. Für die Gestaltung eines solches Label eröffnen sich verschiedene Möglichkeiten, die im Rahmen der Stakeholderumfrage des Joint Research Centre (2018) ebenfalls evaluiert wurden mit den Antworten 0 als nicht passend, 1 als wenig passend, 2 als mittelmäßig passend und 3 als sehr passend.

1. Binär (reparierbar - nicht reparierbar)

Bei einem binären System kann der Grad der Reparierbarkeit nicht kommuniziert werden, allerdings dürften sich kaufende Personen eher dafür interessieren, ob ein Produkt reparierbar ist – unabhängig von einer prozentualen Angabe.

Einschätzung der Stakeholder: $\emptyset = 1.1$

2. Ampel (grün – orange – rot)

Ein Ampelsystem ist für Kaufinteressierte leicht verständlich, ebenfalls aufgrund von Analogien zum Energieeffizienzlabel. Es erlaubt allerdings auch keine ausreichende Differenzierung zwischen Produkten, da nur zwischen drei Kategorien unterschieden werden kann.

Einschätzung der Stakeholder: $\emptyset = 1$

3. Sterne (z. B. * - ** - *** - ****)

Mehr als drei Sterne erlauben eine angemessene Differenzierung zwischen den Produkten und sind leicht verständlich. Andere Symbole als Sterne, die einen direkten Bezug zur Reparatur haben, wie beispielsweise Schraubenschlüssel, könnten für Kaufinteressierte intuitiv verständlicher sein.

Einschätzung der Stakeholder: $\emptyset = 2$

4. Alphabetisch (z. B. A, C, D, E, F)

Ein ähnliches Label wie das für Energieeffizienz könnte für Kaufinteressierte entweder sehr schlüssig sein oder aber auch zu Verwirrungen führen. Die Positionen der Stakeholder gehen hier weit auseinander.

Einschätzung der Stakeholder: $\emptyset = 1.4$

5. Numerisch (z. B. 0-1, 1-10, 0-100)

Ein numerisches Label ermöglicht eine angemessene Differenzierung zwischen den Produkten, allerdings könnte es sich auch als zu detailliert herausstellen. Unterscheidet sich zum Beispiel die Punktzahl zwischen zwei Produkten, wenn auch nur minimal, korreliert dies nicht zwangsläufig auch mit einem bemerkbaren Unterschied in der Praxis.

Einschätzung der Stakeholder: $\emptyset = 1.9$

3 Analyse bestehender Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit

Die bestehenden Ansätze lassen sich unterteilen in produktspezifische und generische Ansätze. Produktspezifische Ansätze beziehen sich entweder auf konkrete Produkte (z. B. Waschmaschinen, Radio) oder Produktgruppen (z. B. Weiße Ware, Braune Ware)⁴, während generische Ansätze produktgruppenübergreifend, folglich horizontal, anwendbar sind. Generell existieren die produktspezifischen Ansätze bereits seit längerer und die generischen Ansätze erst seit kurzer Zeit. Letztere bemühen sich ebenfalls um die Entwicklung eines übergeordneten Bewertungssystems – und fanden parallel zu diesem Vorhaben in Frankreich, Benelux und auf Europäischer Ebene statt. Die bestehenden Ansätze werden im Hinblick darauf ausgewertet, inwiefern sie Indikatoren enthalten, die für die Einstufung der Reparatur zentral sind, sowie welches Bewertungssystem am praktikabelsten ist. Die Ansätze werden nachfolgend im Einzelnen systematisch erläutert sowie abschließend zusammenfassend diskutiert.

3.1 Bestehende produktspezifische Ansätze

In der Praxis gibt es bereits verschiedene Ansätze, um die Reparierbarkeit von Produkten zu bewerten. Die bestehenden Ansätze variieren zwischen quantitativen und qualitativen Bewertungssystemen sowie einer Kombination aus diesen. Sie werden im Folgenden einzeln näher erläutert und abschließend, zumindest bei den semi-quantitativen und quantitativen Ansätzen, in tabellarischer Form anhand zentraler Dimensionen miteinander verglichen.

3.1.1 Bestehende qualitative Ansätze

Der *Blaue Engel* und das *EU Ecolabel* sind Beispiele für qualitative Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit von Produkten, wobei vorrangig die Umweltwirkung von Produkten im Allgemeinen und nur teilweise deren Reparierbarkeit adressiert wird. Die Ansätze enthalten daher jeweils nur einzelne Indikatoren, die darauf verweisen, ob ein Produkt reparierbar ist oder nicht. Werden alle Kriterien insgesamt erfüllt, erhalten die geprüften Produkte das entsprechende Gütesiegel.

3.1.1.1 Blauer Engel

Das Umweltzeichen *Blauer Engel* ist ein Zeichen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Es zeichnet Produkte und Dienstleistungen aus, die umweltfreundlicher als vergleichbare Produkte und Dienstleistungen sind. Bisher wurden von rund 1.600 Unternehmen über 20.000 Produkte und Dienstleistungen mit dem Umweltzeichen versehen (Blauer Engel 2021). Für jede Produktgruppe werden Kriterien erarbeitet und in regelmäßigen Abständen aktualisiert, die erfüllt sein müssen, um das Umweltzeichen zu erhalten. Unter den Vergabekriterien für einzelne Produkte befinden sich vereinzelt Anforderungen an deren Reparierbarkeit.

Einige Anforderungen⁵ (Stand 2018), die sich unmittelbar oder mittelbar auf die Reparatur beziehen, wurden durch eine stichprobenartige Sichtung der Vergabekriterien identifiziert, ebenso wie einige relevante Definitionen zentraler Begriffe, wie zum Beispiel Ersatzteil und Universalwerkzeug. Eine nicht erschöpfende Auswahl der identifizierten Kriterien, die bei einigen, jedoch

⁴ Unter Weiße Ware fallen Küchengeräte, wie Kühlschränke und Waschmaschinen, während Geräte der Unterhaltungselektronik, wie Fernseher und Computer, zu Brauner Ware zählen.

⁵ Die Anforderungen wurden den jeweiligem Produktblättern entnommen (Stand 2018).

nicht bei allen Produkten vorkommen, wird nachfolgend erläutert und mit entsprechenden Produktbeispielen versehen:

Die Ersatzteilversorgung muss für einen definierten Zeitraum, der von der Produktgruppe abhängt, nach Produktionseinstellung vom Hersteller sichergestellt sein, wobei dieser Zeitraum vom jeweiligen Produkt abhängt und sich an der durchschnittlichen Lebensdauer bemisst. Unter Ersatzteilen werden Funktionsteile verstanden (DE-UZ 147), die als diejenigen Teile definiert sind, die typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung eines Produkts ausfallen können (DE-UZ 136, DE-UZ 188, DE-UZ 131). Andere, regelmäßig die Lebensdauer des Produkts überdauernde Teile sind nicht als Ersatzteile anzusehen (DE-UZ 136, DE-UZ 188). Ersatzteile müssen zu einem angemessenen Preis vom herstellenden Unternehmen oder von einer dritten Person angeboten werden (DE-UZ 78). Für Kaffeemaschinen gilt zum Beispiel, dass Ersatzteile für Vollautomaten und Siebträger mindestens 10 Jahre und für andere Kaffeemaschinen für mindestens 5 Jahre, nachdem das letzte Produkt auf dem Markt platziert wurde, verfügbar sein müssen.

Anforderungen an das Produktdesign sehen vor allem eine recyclinggerechte Konstruktion vor, was bedeutet, dass Geräte so entworfen sind, dass ein möglichst hoher Recyclinganteil realisiert werden kann. Dennoch lassen sich die Kriterien ebenso auf eine Reparatur übertragen, da sie insbesondere den Demontageprozess adressieren, wie die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen:

- ▶ Geräte sind demnach so zu konstruieren, dass funktionelle Einheiten problemlos voneinander getrennt werden können (DE-UZ 78, DE-UZ 196), bei Computern beispielsweise in Gehäuseteile, Chassis, Batterien, Bildschirmeinheiten und Leiterplatten, um diesen dann werkstofflich zu verwerten (DE-UZ 78). Ebenso müssen Akkus und Elektrobaugruppen vom Gehäuse entnommen werden können.
- ▶ Für eine leichte und schnelle Demontage müssen zudem Befestigungen mit herkömmlichen Werkzeugen lösbar und Befestigungselemente leicht zugänglich sein (DE-UZ 136, DE-UZ 174, DE-UZ 188). Unter Universalwerkzeugen, die für die Zerlegung notwendig sind, werden allgemein übliche, im Handel erhältliche Werkzeuge verstanden (DE-UZ 78, DE-UZ 205, DE-UZ 196).
- ▶ Die Zerlegung muss entweder von einem Fachbetrieb manuell und von einer einzelnen Person durchgeführt werden können (DE-UZ 196, DE-UZ 78, DE-UZ 78c).
- ▶ Eine Demontageanleitung muss vorhanden sein, wenn auch nur für Behandelnde mit dem Ziel, die stoffliche Rückgewinnung zu fördern (DE-UZ 136, DE-UZ 188) oder die Produktunterlagen müssen Informationen dazu enthalten (DE-UZ 183).

Neben den Kriterien zur Ersatzteilversorgung und demontagefreundlichen Produktkonstruktion sind speziell die Anforderungen an einer recyclinggerechten Demontierbarkeit (12 Anforderungen) und an die Wiederverwendbarkeit von Komponenten und Baugruppen (5 Anforderungen) bei Druckern in Gestalt von Muss- und Soll-Kriterien hervorzuheben, weil sie vergleichbar spezifisch sind (DE-UZ 205). Beispielsweise dürfen bei Druckern aufgearbeitete Baugruppen oder Bauteile eingesetzt werden und die Hälfte der Bauteile eines Geräts muss baugleich mit anderen Geräten desselben herstellenden Unternehmens sein.

3.1.1.2 EU Ecolabel

Das *EU Ecolabel* ist ein von den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union sowie einigen europäischen Nicht-EU-Staaten anerkanntes Umweltsiegel, welches 1992 als freiwilliges Zeichen entwi-

ckelt wurde. Das Siegel⁶ kennzeichnet Produkte und seit 2002 auch Dienstleistungen mit geringerer Umweltauswirkung als vergleichbare Produkte und Dienstleistungen, um den Kaufinteressierten umweltbewusste Kaufentscheidungen zu erleichtern. Bisher tragen rund 40.000 Produkte verschiedener Kategorien das EU Ecolabel.

Das Label kann von herstellenden, importierenden, vertreibenden oder Dienstleistungsunternehmen beantragt werden. Die Beantragung erfolgt in dem Mitgliedsstaat, in dem das Produkt hergestellt, als erstes vermarktet oder aus einem Drittstaat importiert wurde. Die zuständige Organisation prüft den Antrag auf vorgegebene Kriterien und vergibt, sofern alle Anforderungen erfüllt sind, einen Vertrag für die Nutzung des Labels. Dieses ist für die Zeit der jeweiligen Vergabegrundlage gültig. Die Kriterien werden alle drei bis fünf Jahre erneuert, um sie Innovationen anzupassen und den Qualitätsstandard zu wahren. Bestehende Verträge müssen dann den neuen Standards angepasst werden.

Die Antragsteller erhalten eine Liste von Anforderungen, die sie durch Erklärungen und Prüfberichte nachweisen müssen. Die Kriterien werden von Fachleuten gemeinsam mit den wichtigsten Interessengruppen entwickelt. Dabei werden die bedeutendsten Umweltauswirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet. Dadurch sind die Kriterien auf die besonderen Merkmale jedes Produkttyps ausgerichtet und nicht für alle Produkte allgemeingültig.

Es gibt einige Kriterien, welche die Verwendung von recycelten Materialien oder die mögliche Recyclbarkeit des Produkts bzw. der Verpackungen ansprechen. Insbesondere Kriterien, die auf Demontage zur einfacheren Rezyklierbarkeit abzielen, können im übertragenen Sinne auch für eine einfachere Reparaturfähigkeit sprechen, analog zum *Blauen Engel*. Obwohl das EU Ecolabel momentan 32 Produktkategorien unterteilt, beziehen sich nur die Kriterien von zwei Produkten direkt auf die Reparierbarkeit:

- ▶ Computer und Tablets (EU 2016/1371) sollen so konstruiert sein, dass sie einfach zu reparieren, aktualisieren und recyceln sind. Das bedeutet konkret, dass dem Produkt eine klare Anweisung in Form eines Handbuchs beigelegt wird, um grundlegende Reparaturen durchführen zu können. Ersatzteile müssen ab dem Ende der Produktion des Notebooks mindestens fünf Jahre lang verfügbar sein. Außerdem muss das herstellende Unternehmen die Demontage von Vorrichtungen innerhalb des Computers und Tablets ermöglichen und den Austausch von Speicher- und Grafikkarten gewähren. (EU Ecolabel 2018b, EU Ecolabel 2018c)
- ▶ Bei Fernsehgeräten (EU 2009/300/EG) sehen die erforderlichen Kriterien vor, dass diese leicht zu reparieren und recyceln sind. Dem Verbrauchenden werden Informationen zur Verfügung gestellt, wer qualifiziert ist, den Fernseher zu reparieren. Das Siegel verspricht eine Funktionsfähigkeit des Fernsehers für zwei Jahre und Ersatzteile müssen ab dem Ende der Produktion sieben Jahre zur Verfügung stehen. Außerdem ist eine Rücknahmegarantie nach dem Gebrauch verpflichtend, um die Recyclingquote zu fördern. Wie auch bei Computern und Tablets soll eine einfache Demontage gewährleistet werden. (EU Ecolabel 2018d)

3.1.2 Bestehende semi-quantitative Ansätze

Im Gegensatz zu den qualitativen Ansätzen besteht das vorrangige Ziel der semi-quantitativen Ansätze darin, speziell die Reparierbarkeit einzustufen und nicht die Umweltfreundlichkeit insgesamt unter Berücksichtigung von Reparaturaspekten. Unter semi-quantitative Ansätze fallen

⁶ Die Informationen basierend auf der Webseite des EU Ecolabels (Stand Oktober 2018)

die ONR 192102:2014, das iFixit Scoring System, der Repairability Indicator und repairability.org. Sie werden zunächst einzeln erläutert und anschließend tabellarisch verglichen.

3.1.2.1 Österreichische Normungsregel

Die **ONR 192102:2014** ist ein österreichisches Gütezeichen für langlebige, reparaturfreundlich konstruierte elektrische und elektronische Geräte. Es handelt sich hierbei nicht um eine Norm, sondern um eine Regel, die bei Bedarf zu einer Norm weiterentwickelt werden kann. Die ONR richtet sich ausschließlich an **Braune Ware** und **Weißer Ware**. Um die Reparierbarkeit der Geräte zu bewerten, sind für Weißer Ware 40 Kriterien und für Braune Ware 53 Kriterien vorgegeben, die sich inhaltlich nahezu decken. Bei diesen Kriterien handelt es sich entweder um Soll-Kriterien, bei denen eine bestimmte Punktzahl erreicht werden soll, oder um Muss-Kriterien, die zwingend erfüllt werden müssen. Würde das Gütezeichen ausschließlich aus Muss-Kriterien bestehen, würde es sich um einen qualitativen Ansatz handeln, da er aber ebenso Soll-Kriterien umfasst für die die eine bestimmte Punktzahl erreicht werden kann, zählt er zu den semi-quantitativen Ansätzen.

Die **Muss-Kriterien** decken essenzielle Anforderungen ab, um die Langlebigkeit und Reparaturfreundlichkeit der Geräte sicherzustellen. Zu diesen gehören beispielsweise, dass die Geräte eine definierte Mindestlebensdauer erreichen, ein Bezugsquellenverzeichnis für Ersatzteile sowie Ersatzteile selbst über einen bestimmten Zeitraum verfügbar sind. Wird ein Muss-Kriterium nicht erfüllt, erhält das getestete Gerät kein Gütezeichen.

Dem hingegen ist bei **Soll-Kriterien** eine bestimmte Mindestpunktzahl zu erreichen zwischen maximal 5 oder maximal 10 Punkten, wobei die Einschätzung durch die*den Prüfenden erfolgt. Sind zum Beispiel die wesentlichen Teile des Geräts ohne Spezialwerkzeug zerlegbar, kann dies mit maximal 10 Punkten bewertet werden. Die erreichten Punkte der einzelnen Soll-Kriterien werden anschließend aufsummiert und anhand einer Umrechnungstabelle in Qualitätsstufen zwischen 5 und 10 überführt. Darauf basierend erfolgt die finale Bewertung von Reparierbarkeit und Langlebigkeit in einer abgestuften Skala (gut, sehr gut, ausgezeichnet) und wird auf dem Gütezeichen vermerkt. Tabelle 4 zeigt die Umrechnungstabelle der Punktzahl für Qualitätsstufen und Wertung.

Tabelle 4: Umrechnungstabelle für Qualitätsstufen und Wertung der ONR 192102:2014

Erreichte Punktzahl	Qualitätsstufe	Wertung
45 bis 69	5	Gut
70 bis 94	6	Gut
95 bis 119	7	Sehr gut
120 bis 144	8	Sehr gut
145 bis 175	9	Ausgezeichnet
175 bis 205	10	Ausgezeichnet

Quelle: Eigene Darstellung nach ONR 192102:2014

3.1.2.2 iFixit Scoring System

iFixit ist eine weltweite Gemeinschaft von Menschen, die sich gegenseitig unterstützen, Dinge zu reparieren mit besonderem Fokus auf Elektro- und Elektronikgeräten. Die verschiedenen Aktivitäten von iFixit werden auf einer interaktiven Plattform gebündelt.⁷

iFixit testet in regelmäßigen Abständen die Reparierbarkeit von Tablets, Smartphones und Laptops. Zur Analyse werden die Geräte von technischen Fachkräften demontiert und mit einer sogenannten Scorecard⁸ bewertet. Die Scorecard enthält verschiedene Kriterien. Sie umfasst unter anderem die Schwierigkeit beim Öffnen des Gerätes, der innen verwendeten Befestigungselemente und die Komplexität beim Austauschen von Hauptkomponenten. Zusätzliche Punkte gibt es für die Aufrüstbarkeit, Verwendung gängiger Schrauben und Modularität bei Komponenten. Für jedes Kriterium kann ein Gerät entweder 5 oder 10 Punkte erhalten.

Insgesamt können maximal 100 Punkte erreicht werden. Die erreichte Punktzahl wird durch 10 dividiert, um die finale Wertung auf einer Skala zwischen 0 (rot) und 10 (grün) auszuzeichnen, wobei nicht zu reparierende Geräte eine 0 und sehr leicht zu reparierende Geräte eine 10 erhalten. In erster Linie dient die Bewertung zur Information von Verbrauchenden. Sie ist kostenlos online abrufbar.

Darüber hinaus können Nutzende über die Plattform von iFixit sowohl Reparaturanleitungen einstellen als auch abrufen, in denen der Schwierigkeitsgrad, Zeitaufwand, die notwendigen Werkzeuge sowie die einzelnen Schritte der Reparatur systematisch beschrieben werden. Das erforderliche Werkzeug und passende Ersatzteile können ebenso über die Plattform direkt käuflich erworben werden. Auf diese Weise wurden bisher 67.453 Handbücher kostenlos zur Verfügung gestellt und 169.935 Anleitungen für 31.448 Geräte erstellt (Stand September 2020).

3.1.2.3 repairability.org

Das sogenannte *Design for Repairability* ist ein interaktives Tool, das von iFixit im Rahmen eines Projekts der Europäischen Union zur Entwicklung einer Methodik für Reparierbarkeit entwickelt wurde. Nachfolgend wird ein vorläufiger Zwischenstand dieser Arbeit beschrieben, der zeitweise online unter repairability.org abgerufen werden konnte.

Das Tool definiert Kriterien für ein reparaturfreundliches Design Brauner Waren. Diese sind beim Produktdesign zu berücksichtigen, wenn es möglich sein soll, dass Verbrauchende ein Produkt selbst reparieren. Das Tool umfasst insgesamt 20 Kriterien, die auf einer Skala von 0 bis 2 bewertet werden - mit 0 als kritische, 1 als mittelmäßige und 2 gute Leistung. Insgesamt können maximal 40 Punkte erreicht werden, wobei die erreichte Punktzahl durch 4 dividiert wird, so dass die finale Wertung, wie bei der Methodik von iFixit, auf einer Skala zwischen 0 und 10 erfolgt.

3.1.2.4 Repairability Indicator

Der von Flipsen et al. (2016) entwickelte *Repairability Indicator* für Elektro- und Elektronikgeräte baut auf der Scorecard von iFixit auf. Flipsen et al. (2016) testeten in einem Experiment, ob die iFixit Scorecards auch von unerfahrenen Nutzenden angewendet werden konnten. Hierzu wurde ihnen zunächst das Reparaturvideo eines Smartphones gezeigt und anschließend sollten sie die Reparierbarkeit des gezeigten Smartphones selbst einstufen. Für das gezeigte Smartphone vergab iFixit einen Score von 7, die Teilnehmenden durchschnittlich einen Score 5,85, allerdings mit einer ungewöhnlich breiten Streuung zwischen 2,5 und 9,5.

⁷ Internetseite von iFixit Deutschland, siehe: <https://de.ifixit.com>

⁸ Die Informationen basieren auf der Webseite von iFixit und einer Präsentation von ihnen (Stand: September 2020).

Daraufhin entwickelten Flipsen et al. (2016) einen neuen Indikator speziell für die Selbstreparatur und testeten diesen mit Studenten. Daraus resultierte eine Liste mit 20 Reparierbarkeitskriterien, die jeweils auf einer Skala von 0 bis 2 eingeordnet werden, wobei 0 als negativ, 1 als neutral und 2 als positiv bewertet werden. Eine finale Scala zur Bewertung der Reparatur insgesamt fehlt jedoch gänzlich. Die Kriterien entsprechen denen von repairability.org, allerdings werden unterschiedliche Akteur*innen sowie Produkte adressiert. Während die Systematik von iFixit für Experten entwickelt wurde, überprüft ihn dieser Ansatz für die Selbstreparaturen und jener von repairability.org richtet sich an Designschaffende.

3.1.2.5 Vergleich der Ansätze

Die semi-quantitativen Ansätze haben mehrere Gemeinsamkeiten, insbesondere die drei zuletzt genannten Ansätze sind inhaltlich miteinander verwoben. Sie unterscheiden sich allerdings auch in mehreren Dimensionen, beispielsweise anhand der Person, von der die Reparatur durchgeführt wird oder die Gesamtzahl der Indikatoren, die geprüft werden müssen. Tabelle 5 zeigt einen Vergleich der semi-quantitativen Ansätze.

Tabelle 5: Vergleich der semi-quantitativen Ansätze zur Bewertung der Reparierbarkeit

Ansatz	Durchführende Person	Produktkategorie	Anzahl der Indikatoren	Ausprägung der Indikatoren	Finale Wertung
ONR	Reparaturbetriebe	Braune Ware	53, davon 22 Muss-Kriterien	Soll Kriterien: max. 5	Ausgezeichnet Sehr gut Gut
		Weißer Ware	40, davon 17 Muss-Kriterien	Soll Kriterien: max. 10	
iFixit	Techniker*innen	Tablets Smartphones Laptops	15	5 oder 10 Punkte	0 bis 10
Repairability.org	Designer*innen	Braune Ware	20	Kritisch: 0 Mittel: 1 Gut: 2	0 bis 10
Repairability Indicator	Selbstreparatur	Elektro- und Elektronikgeräte	20	Negativ: 0 Neutral: 1 Positiv: 2	- (Keine finale Wertung)

Quelle: Eigene Darstellung

3.1.3 Bestehende quantitative Ansätze

Die existierenden quantitativen Ansätze adressieren überwiegend die Zeit, die für Demontage benötigt wird. Die Demontage bildet einen wesentlichen Teil des Reparaturprozesses, unter anderem auch, weil zahlreiche weitere Indikatoren einfließen, wie beispielsweise die Art der Befestigungen oder die interne Montage der Bauteile. Zwei unterschiedliche Zeiten können betrachtet und mit verschiedenen Methoden berechnet werden, die in Tabelle 6 aufgelistet sind. Die erste ist die Zeit, die für die Demontage jeder einzelnen Befestigung benötigt wird (U-Aufwand), und die zweite ist die Zeit, die für die Durchführung der verschiedenen Demontageverfahren benötigt wird (Philips EEC, Desai & Mital, Kroll). Die Berechnungen wurden ursprünglich für standardisierte Produktionsverfahren entwickelt, was eine Übertragbarkeit auf individuelle Reparaturumgebungen erschwert. Bei der Demontagezeit handelt es sich jedoch nur um einen unter mehreren quantitativen Ansätzen zur Bewertung der Reparierbarkeit eines Produkts.

Tabelle 6: Übersicht über quantitative Methoden zur Berechnung der Zeit für Demontage

Betrachtete Zeit	Berechnungsmethode
Zeit, die für die Demontage jeder einzelnen Befestigung benötigt wird	U-effort
Zeit, die für die Durchführung der verschiedenen Demontearbeiten benötigt wird	Philips ECC, Desai & Mital, Kroll

Quelle: Eigene Darstellung nach Vanegas et al. (2016)

3.1.3.1 U-effort

Im Vordergrund steht bei der U-effort Methode die Ermittlung der Zeit, die für das Lösen von Befestigungen benötigt wird. Als erstes muss der sogenannte Öffnungsaufwandindex (UFI) anhand der Formel 1 ermittelt werden, um im nachfolgenden Schritt die Demontagezeit pro Verbinder ($T_{U\text{-effort}}$) (Formel 2) berechnen zu können. Die Angabe der Zeit bezieht sich dabei auf einen durchschnittlichen Arbeiter und ist abhängig von den spezifischen Eigenschaften der Befestigungen, wie Größe und Form.

$$UFI_i = \Psi_i + \beta_a * A_i + \beta_b * B_i + \beta_c * C_i + \beta_d * D_i \quad [1]$$

$$T_{U\text{-effort}} = 5 + 0.04 * (UFI)^2 \quad [2]$$

- Ψ_i Minimaler Lösekraftaufwand, der für die verschiedenen Befestigungen aus **Tabelle 7** entnommen werden kann
- i Nummer der Befestigung
- A_i, B_i, C_i, D_i Verschiedene kausale Attribute, beispielsweise umfassen die kausalen Eigenschaften bei einer Schraube Kopfform, Länge, Durchmesser und Verwendung von Unterlegscheiben
- $\beta_a, \beta_b, \beta_c, \beta_d$ Gewichtung der Attribute

Tabelle 7: Minimaler Lösekraftaufwand für verschiedene Verbinder nach U-effort

Befestigungselement	Ψ_i
Bolzen	30
Schnappverschluss (Cantilever)	20
Schnappverschluss (Cylindrical)	36
Nagel	15
Schraube und Mutter	40
Entriegelungsclips	10
Sicherungs-/ Halterungsringe	25
Schraube	25
Klammer	20
Klett- /Reisverschluss	0

Quelle: Eigene Darstellung nach Vanegas et al. (2016)

Studien von Duflou et al. (2008) und Peeters et al. (2015) zeigen jedoch, dass zum Lösen von Befestigungen weniger als 50 Prozent der gesamten Demontagezeit benötigt wird (Vanegas et al. 2016). Somit ist die mit dieser Methode berechnete Demontagezeit nicht valide, da die Zeiten für weitere notwendige Demontearbeiten, wie das Trennen der Befestigung, dem Werkzeugwechsel und der Identifizierung von Befestigungselementen, nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren ist die Flexibilität der Methode begrenzt, da für jeden neuen Befestigungstyp die spezifischen Eigenschaften ermittelt werden müssen (Vanegas et al. 2016).

3.1.3.2 Philips ECC

Bei der von Boks et al. (1996) beschriebenen Philips ECC Methode wird zur Berechnung der Demontagezeit auf eine Datenbank zurückgegriffen, die standardisierte Zeiten für die Trennung von Steckbefestigungen und die gängigen Demontageaufgaben enthält, wie beispielsweise die für einen Werkzeugwechsel benötigte Zeit.

Tabelle 8 zeigt beispielhaft den Lösezeitaufwand für verschiedene Verbinder. Die in der Datenbank enthaltenden Zeiten wurden mit Hilfe von realen Zeitmessungen während realen Demontearbeiten, beziehungsweise durch Analyse von Videos, ermittelt. Nachdem zuerst die Demontagerihenfolge und die Art der Anschlüsse festgelegt werden muss, ermittelt das Modell anschließend automatisch die Demontagezeiten, die erforderliche Handhabung, die Werkzeugbedienung und die Trennzeit, indem es auf die in der Datenbank hinterlegten Zeiten zurückgreift, bei denen es sich um Durchschnittswerte für bestimmte Produktkategorien handelt (Vanegas et al. 2016).

Tabelle 8: Lösezeitaufwand für verschiedene Verbinder nach Philips ECC

Befestigung	Time [s]
Schraube	6,5
Feste Schraube	10,5
Klick	3,5
Fester Klick	7,5
Kabel-/ Draht-Befestigung	2,0
Wechsel des Schraubendrehers	4,0
Schraube und Mutter	11,5

Quelle: Eigene Darstellung nach Vanegas et al. (2016)

3.1.3.3 Desai & Mital

Die von Desai und Mital (2003) entwickelte Konstruktionsmethode für die Demontage berechnet die Demontagezeit unter Berücksichtigung von fünf Faktoren: Kraft, Materialhandling, Werkzeugnutzung, Zugänglichkeit von Bauteilen und Befestigungselementen sowie Werkzeugpositionierung (Vanegas et al. 2016). Für die Durchführung der Analyse werden verschiedene Demontageaufgaben nach ihrem Schwierigkeitsgrad bewertet, wobei bei einer grundlegenden Demontageaufgabe ein leicht zu greifender Gegenstand von Hand entfernt werden kann, ohne dass eine geschulte Arbeitskraft viel Kraft dafür benötigt. Für diese grundlegende Aufgabe wird eine Punktzahl von 73 Time Measurement Units (TMUs) vergeben, was ungefähr 2 Sekunden entspricht. Die Zeitangaben für weitere gängige Demontageaufgaben

basieren auf detaillierten Zeitstudien (Vanegas et al. 2016). Vorbereitende Arbeiten, wie zum Beispiel das Greifen, Aufnehmen und Zurücksetzen von Werkzeug, werden in dieser Methode nicht berücksichtigt, sodass die Schätzung der Demontagezeit als unvollständig angesehen werden kann (Vanegas et al. 2016).

3.1.3.4 Kroll

Die Kroll-Methode berechnet die erforderliche Demontagezeit basierend auf manuellen Demontageversuchen an Computern, Tastaturen, Monitoren und Druckern (Kroll / Hanft 1998). Hierbei wird zwischen einer Basiszeit für sechzehn grundlegende Demontageaufgaben, die in Tabelle 9 dargestellt sind, und vier Schwierigkeitskategorien unterschieden (Vanegas et al. 2016). Zu diesen Schwierigkeitskategorien gehören Zugänglichkeit, Positionierung, Kraft und Sonstiges, wobei die letzte Kategorie nicht standardisierte Aspekte berücksichtigt, die sich ebenfalls auf die Demontagezeit auswirken (Vanegas et al. 2016). Darauf aufbauend kann die Zeit der Demontage eines Produktes mithilfe der Formel 3 berechnet werden.

Tabelle 9: Demontageaufgaben nach Kroll

1. abschrauben, herausdrehen	2. drehen, wenden	3. festklemmen/ aufbrechen, aufhebeln	4. schneiden, kürzen
5. entfernen, entnehmen	6. umdrehen	7. verformen, deformieren	8. drücken, schieben/ ziehen
9. halten, festhalten/ greifen	10. sägen	11. bohren	12. hämmern, klopfen
13. schälen, abziehen	14. säubern, reinigen	15. schleifen, mahlen	16. prüfen, untersuchen, kontrollieren, inspizieren

Quelle: Eigene Darstellung nach Vanegas et al. (2016) basieren auf Kroll / Hanft (1998)

$$T_{Kroll} = (D - 5 * R) * 1,04 + M * 0,9 [3]$$

- D Summe der Schwierigkeitswerte für die vier Kategorien und der Basiszeit
- R Anzahl der Aufgabenwiederholungen
- M Anzahl der Werkzeugverwendungen

3.1.3.5 eDiM

Neben diesen Methoden gibt es die ease of Disassembly Metric, kurz eDiM, die einen quantitativen Hinweis auf die Zeit und damit auf die Schwierigkeit der Demontage und Remontage eines Produkts gibt. Ursprünglich wurde eDiM für standardisierte Arbeitsverfahren bei der Produktion entwickelt. Daher muss geprüft werden, ob eine Anwendung bei der Reparatur, die in der Regel weniger standardisiert abläuft, sinnvoll ist.

Bei dieser Methode werden beide Zeiten, d. h. die Zeit für die Demontage der Befestigungen und die Zeit für die Durchführung, berücksichtigt. Die Aufgaben, die für die De- und Remontage eines bestimmten Produkts erforderlich sind, werden aufgelistet und jedem von ihnen sind Referenzzeitwerte zugeordnet, die den Aufwand für die Durchführung dieses Vorgangs darstellen. Die Referenzzeitwerte werden aus MOST (Maynard Operation Sequence Technique) verwendet. MOST wurde von dem Unternehmen H.B. Maynard (heute: Accenture) entwickelt, um für die Ausführung von Arbeitsschritten, z. B. Montagezeiten verschiedener Produkte, standardisierte

Zeiten zur Verfügung zu haben. Die mit MOST gemessenen Zeiten stellen die Leistung einer durchschnittlichen Fachkraft dar, die unter angemessener Aufsicht, unter durchschnittlichen Arbeitsbedingungen und im normalen Tempo arbeitet.

Die Ermittlung der Demontagezeit nach eDiM erfolgt mit Hilfe eines Kalkulationsblattes, das Tabelle 10 zeigt. Es gliedert sich in zwei Hauptbestandteile, die nacheinander ausgefüllt werden. Sie werden im Folgenden beschrieben.

Tabelle 10: Kalkulationsblatt nach eDIM

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Demontagefolge der Komponenten	Demontagefolge der Befestigungselemente	Anzahl der Befestigungen	Anzahl der Produkthandhabung	Identifizierbarkeit (0,1)	Art des Werkzeuges	Werkzeugwechsel	Identifizierung	Handhabung	Positionierung	Trennung	Ausbau / Entfernen	eDIM
1...												
2...												
...												
...												
N												
-----Bereitstellung-----						-----Berechnung-----						

Quelle: Eigene Darstellung

In den ersten sechs Spalten (1 bis 6) werden die grundlegenden Informationen des Produkts eingetragen. Sechs Parameter werden dabei berücksichtigt. Sie beschreiben die einzelnen Schritte der Demontage und umfassen:

- 1. Demontagefolge der Komponenten:** Bei diesem Parameter werden die zu demontierenden Komponenten in der entsprechenden Reihenfolge aufgelistet.
- 2. Demontagefolge der Befestigungselemente:** Bei diesem Parameter werden die Befestigungselemente in der entsprechenden Reihenfolge aufgelistet.
- 3. Anzahl der Befestigungen:** Für jede Komponente wird die Anzahl der Befestigungsarten ermittelt und aufgelistet. Dabei kann eine Komponente mehrere und/oder unterschiedliche Arten von Befestigung besitzen.
- 4. Anzahl der Produkthandhabung:** Anzahl der Handgriffe, die für die einzelnen Tätigkeiten (z. B. Lösen der Befestigungen) benötigt werden.
- 5. Identifizierbarkeit:** Einstufung der Fähigkeit zur Identifikation der Befestigungen. Man unterscheidet zwischen sichtbar und verdeckt.
- 6. Art des Werkzeuges:** Angabe über das verwendete Werkzeug, mit dem die unterschiedlichen Befestigungen gelöst werden können.

Darauf aufbauend werden in den darauffolgenden sieben Spalten (7 bis 13) die geschätzten Standardzeiten basierend auf den zuvor eingetragenen Informationen der ersten sechs Spalten und den MOST-Referenzzeitwerten, eingetragen:

7. **Werkzeugwechsel:** Zeit, die für das Wechseln der Werkzeuge benötigt wird (Bezug zu Spalte 6).
8. **Identifizierung:** Zeit, die für die Identifikation der Befestigungen benötigt wird, abhängig vom Verdecktheitsgrad (Bezug zu Spalte 5).
9. **Handhabung:** Zeit für die zuvor eigetragenen erforderlichen Handgriffe (Bezug zu Spalte 4).
10. **Positionierung:** Zeit, die für die unterschiedliche Positionierung des Produktes benötigt wird. Ergibt sich aus der Multiplikation der in Spalte 3 eingetragenen Anzahl an Befestigungen, mit den Standardzeiten für die notwendigen Werkzeug- bzw. Produkt-Positionierung.
11. **Trennung:** Zeit, die für das Lösen einzelner Befestigung benötigt wird. Ergibt sich aus der Multiplikation der in Spalte 3 eingetragenen Anzahl an Befestigungen mit den Standardzeiten für die Trennung der entsprechenden Befestigung.
12. **Ausbau / Entfernen:** Zeit für den Ausbau der einzelnen Komponenten.
13. **eDiM:** Der Parameter in Spalte 13 gibt die insgesamt benötigt Zeit an. Die Summe aller Zeiten in der gleichen Zeile ergibt die Zeit, die für die einzelnen Schritte benötigt wird. Die Summe aller Zeilen der Spalte 13 ergibt die Zeit, die für die Demontage bis zu Schritt N benötigt wird. N gibt dabei die Anzahl der Schritte an, die benötigt werden, bis entweder das defekte Element ausgebaut wird oder das Produkt komplett demontiert ist.

3.1.3.6 Vergleich der Ansätze

Die vier Methoden, U-effort, Philips ECC, Desai & Mital und Kroll, zur Berechnung der Demontagezeit werden nachfolgend zur Übersicht in tabellarischer Form nach Vanegas et al. (2016) dargestellt, ergänzt um die eDiM Methode. Sie werden anhand ihres Hauptziels, des Berechnungsansatzes und ihrer zentralen Beschränkungen miteinander verglichen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass quantitative Ansätze mit einer deutlich höheren Komplexität verbunden sind als qualitative und semi-quantitative Ansätze, wie anhand der Ausführungen zur Berechnung der Demontagezeit deutlich wurde. Daher ist auch das Joint Research Centre davon abgekommen, in seiner aktuellen Studie einen quantitativen Ansatz zur Bewertung der Reparierbarkeit von Produkten zu verfolgen.

Tabelle 11: Vergleich der quantitativen Methoden zur Berechnung der Zeit für Demontage und Remontage

Ansätze	Hauptziel	Berechnungsansatz	Hauptbeschränkungen
U-effort	Unterstützungskonzept für Demontage	Basierend auf den Eigenschaften von Steckverbindern	Ausschließlich Berücksichtigung der Zeit für die Trennung der Befestigungen; nicht exakt genug; hoher Modellierungsaufwand für neue Steckverbinder
Philips ECC	Berechnung der EoL-Kosten	Datenbank mit aktuellen Demontagezeiten	Begrenzt auf bestimmte Produktkategorien; es wird erwartet, dass die Genauigkeit bei breiter Anwendung gering ist
Desai & Mital	Unterstützungskonzept für Demontage	Faktoren, die Demontagefreundlichkeit beeinflussen, werden mit dem MTM-Zeitsystem bewertet	Vorbereitende Arbeiten nicht enthalten

Ansätze	Hauptziel	Berechnungsansatz	Hauptbeschränkungen
Kroll	Unterstützungskonzept für das Recycling	Basiszeit für Befestigungselemente und Schwierigkeitswerte basierend auf MOST	Übermäßig detailliert für die Produktpolitik; Die Zuordnung von Schwierigkeitsgraden kann als subjektiv angesehen werden
eDIM	Quantitative Aussage über die Zerlegbarkeit von Produkten	Basiszeit für Befestigungselemente, deren Anzahl, Schwierigkeit und weitere Demontearbeiten basierend auf MOST	Erheblicher Rechenaufwand, sofern keine Software entwickelt wird

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Vanegas et al. (2016)

3.2 Bestehende generische Ansätze

Neben den produktspezifischen Ansätzen versuchen aktuelle Arbeiten, parallel zu diesem Vorhaben, ebenfalls generische Reparaturindikatoren zu entwickeln. Dazu zählen eine Studie im Kontext von Benelux von Bracquené et al. (2018), eine Studie des Joint Research Centre im Auftrag der Europäischen Kommission von Cordella et al. (2018b) sowie der in Frankreich entwickelte Reparaturindikator (französischer Reparaturindex). Sie bieten eine erste hilfreiche Orientierung, jedoch handelt es sich überwiegend um theoretische Arbeiten, deren Anwendbarkeit entweder nicht (Französischer Reparaturindex, Studie des Joint Research Centre) oder nur in geringem Umfang (Benelux-Studie) praktisch überprüft wurden. Sie werden nachfolgend im Detail erläutert.

3.2.1 Französischer Reparaturindex

In Frankreich ist 2021 eine Kennzeichnungspflicht in Kraft getreten die herstellende Unternehmen verpflichtet über ein Label zu kennzeichnen, inwiefern ein Gerät bei einem Defekt repariert werden kann. Der Reparaturindex bildet eine Maßnahme der praktischen Umsetzung des sog. Anti-Abfallgesetzes für eine Kreislaufwirtschaft (2018). Es zielt darauf ab, dass in Frankreich in den nächsten fünf Jahren rund 60 Prozent der Elektro- und Elektronikgeräte repariert werden – derzeit sind es rund 40 Prozent (Ministerium für die ökologische und solidarische Transition 2020).

Bei dem Reparaturindex⁹ (Stand September 2020) handelt es sich generell um einen generischen Index, der jedoch vorerst für fünf Geräte produktspezifisch angepasst wurde und angewendet wird. Dazu gehören Smartphones, Waschmaschinen, Laptops, Fernseher und Rasenmäher. Perspektivisch soll mit diesen praktischen Erkenntnissen der Reparaturbarkeitsindex im Jahr 2024 in einen Haltbarkeitsindex überführt werden.

Der Score muss am Verkaufsort direkt auf dem Produkt oder der Verpackung sichtbar sein. Maximal können 10 Punkte erreicht werden. Der Index besteht aus den folgenden fünf Kriterien mit Unterkriterien, die nachfolgend erläutert werden:

► Informationen

Festgelegte Informationen (z. B. Explosionszeichnung, elektrische Schalttafeln, Gebrauchsanweisungen, Fehlercodes, Werkzeuge) müssen für einen bestimmten Zeitraum (< 3

⁹ Alle Angaben basieren auf einer Präsentation der französischen Umweltbehörde (2019) und einem Factsheet des Runden Tisch Reparatur (2020), weshalb sich noch Änderungen bis zur Einführung ergeben können.

Jahre, 3 Jahre, zwischen 3 und 6 Jahren, zwischen 6 und 9 Jahren), nachdem das letzte Gerät auf den Markt gebracht wurde, vorgehalten werden. Zudem ist relevant für wen (Vertragswerkstatt, unabhängige Werkstatt, Privatperson) diese Informationen verfügbar sind.

► Demontage

Unter die Demontage fällt einerseits sowohl der Aufwand für die Demontage als auch für die Remontage von Teilen (Anzahl der Arbeitsschritte) und andererseits die dafür erforderlichen Werkzeuge (ohne Werkzeuge, Standardwerkzeuge, Spezialwerkzeug, Ausbau nicht möglich).

► Ersatzteile

Bei den Ersatzteilen ist die Verfügbarkeit für bestimmte Akteur*innen (Vertragswerkstatt, unabhängige Werkstatt, Privatperson) relevant sowie die Dauer der Verfügbarkeit nach der Markteinführung des letzten Geräts (3 Jahre, 6 Jahre, 9 Jahre) und die Lieferzeit (< 2 Werktagen, zwischen 2 und 5 Werktagen, zwischen 5 und 15 Werktagen, > 15 Werktagen).

► Ersatzteilpreis

Der Preis des teuersten Ersatzteils im Verhältnis zum Marktpreis des Produkts zum Berechnungszeitpunkt. Je höher der prozentuale Anteil, desto schlechter schneidet das Produkt ab.

► Produktspezifisches Kriterium, das sich von Produktgruppe zu Produktgruppe unterscheidet.

3.2.2 Normungsarbeiten des Technischen Komitee CEN/CLC/JTC 10

Das Technische Komitee erarbeitete parallel zu diesem Vorhaben die europäische Norm „Allgemeine Verfahren zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradebarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte“ (DIN EN 45554). Sie enthält Anhang A zu informativem Zweck ein Bewertungsverfahren, das neben der Reparatur auch für die Wiederverwendung und das Upgrade verwendet werden können. Das System ist übersichtsartig in Tabelle 12 aufgelistet.

Das Bewertungsverfahren beinhaltet insgesamt 13 Indikatoren. Für die konkrete Bewertung eines Produkts oder einer Produktgruppe sind jene Indikatoren auszuwählen, die anwendbar, angemessen und relevant sind. Dies muss in einem produktspezifischen Bewertungsverfahren erfolgen.

Als Bewertungsklassen dient ein alphabetisches System, wobei sich die Anzahl der Bewertungsklassen von Indikator zu Indikator unterscheidet. Jeder Bewertungsklasse sollte ein numerischer Wert zugewiesen werden, der die Buchstaben ersetzt, wobei einzelne Werte auch gewichtet werden können: Je höher der Wert desto größer ist die Reparierbarkeit eines Produkts.

Für die finale Bewertung ist kein System vorgegeben. Es kann alphabetisch, numerisch oder auf sonstige Weise angegeben werden.

Tabelle 12: Zusammengefasstes Bewertungssystem nach DIN EN 45554

Indikator	Klassifizierungen
Befestigungselemente und Befestigungsstücke	A: wiederverwendbar B: entfernbar C: weder entfernbar noch wiederverwendbar

Indikator	Klassifizierungen
Werkzeuge	A: durchführbar: - ohne die Verwendung von Werkzeugen, oder - mit einem Werkzeug oder Werkzeugsatz das/der mit dem Produkt oder Ersatzteil geliefert wird, oder - mit grundlegenden Werkzeugen, wie in Tabelle A.3 von DIN EN 45554 angegeben B: mit produktgruppenspezifischen Werkzeugen durchführbar C: mit sonstigen handelsüblichen Werkzeugen durchführbar D: mit proprietären Werkzeugen durchführbar E: mit keinen bestehenden Werkzeugen durchführbar
Arbeitsumgebung	A: Einsatzumgebung B: Werkstattumgebung C: produktionsäquivalente Umgebung
Fähigkeitsniveau	A: Laie B: Generalist C: Experte D: Hersteller oder anerkannter Experte E: mit keiner bestehenden Fähigkeit durchführbar
Diagnose-Support und -Schnittstellen	A: intuitive Schnittstelle B: codierte Schnittstelle mit öffentlicher Referenztafel C: öffentlich verfügbare Hardware- / Softwareschnittstelle D: proprietäre Schnittstelle E: mit keiner Schnittstelle möglich
Verfügbarkeit von Ersatzteilen nach Zielgruppe	A: öffentlich verfügbar B: für unabhängige Reparaturdienstleister verfügbar C: für von Herstellern autorisierte Reparaturdienstleister verfügbar D: nur für den Hersteller verfügbar E: keine Ersatzteile verfügbar
Verfügbarkeit von Ersatzteilen nach Schnittstelle von Ersatzteilen	A: Standardteil mit Standardschnittstelle B: prioritäres Teil mit Standardschnittstelle C: proprietäres Teil mit Nicht-Standardschnittstelle
Verfügbarkeit von Ersatzteilen nach Dauer der Verfügbarkeit	A: langfristige Verfügbarkeit B: mittelfristige Verfügbarkeit C: kurzfristige Verfügbarkeit D: keine Informationen zur Dauer der Verfügbarkeit
Arten und Verfügbarkeit von Informationen nach Umfang	A: umfassende Informationen verfügbar B: grundlegende Informationen verfügbar C: keine Informationen verfügbar

Indikator	Klassifizierungen
Arten und Verfügbarkeit von Informationen nach Zielgruppe	A: öffentlich verfügbar B: für unabhängige Reparaturdienstleister verfügbar C: für von Herstellern autorisierte Reparaturdienstleister verfügbar D: nur für den Hersteller verfügbar
Rückgabeoptionen	A: umfassende Rückgabeoptionen B: grundlegende Rückgabeoptionen C: keine Rückgabeoptionen
Datenmanagement	A: integriert oder keine Datenspeicherung B: auf Anforderung C: nicht verfügbar
Zurücksetzen von Passwörtern und auf Werkseinstellungen für die Wiederverwendung	A: integriertes zurücksetzen B: externes Zurücksetzen C: Zurücksetzen durch Dienstleister D: kein Zurücksetzen

Quelle: Eigene Darstellung nach DIN EN 45554

3.2.3 Studie im Kontext von Benelux von Bracquené et al. (2018)

Eine Studie im Kontext von Benelux von Bracquené et al. (2018) erarbeitet generische Reparaturindikatoren auf Basis der bestehenden Ansätze. Sie unterteilen den Reparaturprozess in mehrere operative Arbeitsschritte (horizontal): a) Produktidentifikation, b) Fehlerdiagnose, c) De- und Remontage, d) Austausch von Ersatzteilen, e) Wiederherstellung des Betriebszustands. Den einzelnen Arbeitsschritten ordnen sie Indikatoren zu, die in drei Gruppen (vertikal) unterteilt werden: a) Informationen (z. B. Demontageanleitung), b) Produktdesign (z. B. Arbeitsaufwand für Demontage), c) Service des herstellenden Unternehmens (z. B. Ersatzteilverfügbarkeit). Durch die Kombination der Arbeitsschritte mit den Indikatoren entsteht eine Matrix zur Bewertung der Reparierbarkeit. Tabelle 13 listet die einzelnen Indikatoren auf.

Tabelle 13: Reparaturindikatoren klassifiziert nach Indikatorenart nach Braquené et al. (2018)

Anforderungen an Verfügbarkeit von Informationen	Anforderungen an Produktdesign	Anforderungen an Verfügbarkeit von Service
Wartungsanleitungen	Haltbarkeit	Ersatzteilverfügbarkeit
Fehleridentifikation	Testsoftware, Testmodus	Garantieleistung
Reparaturanleitung	Upgradebarkeit	Rücknahmesystem
Ersatzteilm Informationen	Prioritäre Teile, Schlüsselkomponenten Demontageschwierigkeit (Werkzeuge, Befestigungen, Kraft, Standardisierung, Modularität, Zugänglichkeit, Zeit, Fähigkeiten)	

Quelle: Eigene Darstellung nach Braquené et al. (2018)

Die Indikatoren sind unterschiedlich gewichtet. Insgesamt können 164 Punkte erzielt werden. Für einzelne Indikatoren können maximal 2 (z. B. Schwierigkeit Reset), 5 (z. B. Technischer

Support), 12 (z. B. Informationen für 3D-Druck), 15 (z. B. Zugänglichkeit und Robustness des Produktdesigns) oder 20 (z. B. modulares Design) Punkte vergeben werden.

Die Reparaturmatrix wurde anhand einer Waschmaschine und eines Staubsaugers getestet aus der Perspektive einer Privatperson und der eines professionellen Reparaturbetriebs. Nähere Informationen zu den Gerätemodellen sind nicht bekannt. Die Waschmaschine erreichte insgesamt 127 Punkten und der Staubsauger 111 Punkte. Für beide Geräte zeigte sich, dass die Punktzahl einzelner Indikatoren für einen professionellen Reparaturbetrieb höher ist als für eine Privatperson, d. h. eine Reparatur leichter von einem Reparaturbetrieb durchgeführt werden kann. Dies ist teilweise auf die mangelnde Verfügbarkeit von Informationen für Privatpersonen und die bessere Verfügbarkeit von Ersatzteilen für Reparaturbetriebe zurückzuführen. Sie empfehlen abschließend die Indikatoren auf weitere Produkte anzuwenden, um deren Anwendbarkeit zu testen.

3.2.4 Studie des Joint Research Centre von Cordella et al. (2019)

Im Auftrag der Europäischen Kommission haben Cordella et al. (2019) für das Joint Research Center zunächst ein horizontales Bewertungssystem für Reparierbarkeit erarbeitet und dieses anschließend produktspezifisch für Laptops, Staubsauger und Waschmaschinen angepasst. Die produktspezifische Anpassung erfolgte ausschließlich theoretisch.

Der Ansatz basiert vor allem auf den Erkenntnissen des CEN-CENELEC-JTC10 während der Erarbeitung von der Norm EN 45554. Teilweise weichen die Indikatoren und Bewertungsklassen jedoch leicht davon ab. Das System besteht aus insgesamt 12 Parametern. Sie beziehen sich entweder auf prioritäre Teile oder das gesamte Produkt, wie in Tabelle 14 dargestellt. Bei den Parametern handelt es sich zum einen um Muss-Kriterien, die bewerten, ob ein Produkt reparierbar ist und zum anderen um Soll-Kriterien, die einstufen, inwiefern das Produkt reparierbar ist. Die „Muss-Kriterien“ müssen in einem ersten Schritt erfüllt sein, um das Produkt im zweiten Schritt einer weiteren Bewertung durch die „Soll-Kriterien“ zu unterziehen.

Tabelle 14: Bewertungsebenen der Reparierbarkeitsindikatoren der Studie des Joint Research Centers

Bewertungsebene	Indikator
Prioritäres Teil	Demontagetiefe und -sequenz (1), Befestigungen (2), Werkzeuge (3), Demontagezeit (4), Ersatzteile (7), Sicherheit (9), Kenntnisse und Arbeitsumgebung (9)
Gesamtes Produkt	Diagnoseunterstützung und Bedienoberfläche (5), Art und Verfügbarkeit von Informationen (6), Software und Firmware (8), Datentransfer und -löschung (10), Zurücksetzung des Passworts und Wiederherstellung der Werkseinstellungen (11), Garantie (12)

Quelle: Eigene Darstellung nach Cordella et al. (2018b)

Die Kriterien sind sowohl anwendbar, um die Reparierbarkeit als auch auf Upgradebarkeit zu testen. Sie adressieren entweder das Produktdesign (1-4) oder den Reparaturprozess (5-11), so dass verschiedene Facetten der Reparierbarkeit miteinfließen. Ökonomische Indikatoren, wie der Preis für Ersatzteile, werden berücksichtigt.

3.3 Ableitung potenzieller Reparierbarkeitsindikatoren aus bestehenden Ansätzen

Basierend auf den bestehenden Ansätzen zur Bewertung der Reparierbarkeit wird eine Übersicht über die darin enthaltenen Indikatoren erstellt. Sie bieten eine erste Orientierung für po-

tenzielle Reparierbarkeitsindikatoren. Die Indikatoren der bestehenden Ansätze werden dazu in thematische Dimensionen klassifiziert, sodass inhaltlich ähnliche Indikatoren unter dieselbe Dimension fallen. Indikatoren, die einer anderen Logik folgen, wie z. B. „modularer Aufbau“, oder produktspezifische Designanforderungen, wie z. B. „gut zugängliche Messpunkte am Platinenrand“, werden jedoch nicht berücksichtigt. Das Ergebnis, wie in Tabelle 15 ersichtlich, bilden 37 Indikatoren in 11 Dimensionen, die sich entweder auf das Produkt oder eine Komponente des Produkts beziehen.

Tabelle 15 illustriert Übersicht mit 37 Indikatoren in 11 Dimensionen, die sich entweder auf das Produkt oder eine Komponente des Produkts beziehen. Ferner wird die erarbeitete Übersicht den Indikatoren der DIN EN 45554 gegenübergestellt, da deren praktische Anwendbarkeit im weiteren Projektverlauf überprüft werden soll.

Die einzelnen Indikatoren dürfen nicht als isoliert betrachtet werden, sondern sind vielmehr auf komplexe Art und Weise miteinander verwoben. Die Demontagezeit kann z. B. reduziert werden, indem ausführliche Informationen zu der Sequenz der Demontageschritte vorliegen. Zudem können mehrere Indikatoren durch die Ausformulierung der jeweiligen Bewertungsklassen kombiniert werden, z. B. eine Reparatur kann von einem Generalisten mit einem entsprechenden Kenntnisstand durchgeführt werden. Ferner sind logischerweise nicht alle Indikatoren auf alle Produkte zutreffend, vielmehr sind die auf ein Produkt anwendbaren Indikatoren auszuwählen. Indikatoren, welche die Software und Firmware betreffen, sind äquivalent zu den Ersatzteilen. Dieser Indikator ist vor allem für Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT-Geräte) relevant.

Tabelle 15: Übersicht über potenzielle Reparierbarkeitsindikatoren

Dimension	Indikator	Ansatz (Quelle)	Bewertungs-ebene		Abgleich mit DIN EN 45554
			Produkt	Teil	
D: Demontage					
	D1: Schritte (Tiefe)	Cordella et al. (2019), Repairability Indicator, repairability.org, eDiM, Kroll	X		Demontage-tiefe
	D2: Zeit (Akteur*in)	U-effort, Philips ECC, Desai&Mital, Kroll, eDiM	X		
	D3: Zugänglichkeit	Cordella et al. (2019), Repairability Indicator, repairability.org	X		
	D4: Öffnen & Austauschen	iFixit	X		
V: Befestigungen					
	V5: Anzahl	eDiM	X		
	V6: Art	Cordella et al. (2019), iFixit, repairability.org, U-effort, Philipps ECC	X		Arten von Befestigungs-elementen

Dimension	Indikator	Ansatz (Quelle)	Bewertungs-ebene		Abgleich mit DIN EN 45554
	V7: Sichtbarkeit	Repairability Indicator, repairability.org, Blauer Engel, eDiM	X		
W: Werkzeuge					x
	W8: Akteur*in		X		
	W9: Art	Bracquené et al. (2018), Repairability Indicator, ONR 192192:2014, repairability.org, Blauer Engel, eDiM, Cordella et al. (2019)	X		Benötigte Werkzeuge
	W10: Anzahl	Bracquené et al. (2018), Cordella et al. (2019)	X		
	W11: Kosten		X		
F: Fehlerdiagnose					
	F12: Art	Bracquené et al. (2018), ONR 192102:2014	X		Diagnose-Support und Schnittstellen
	F13: Schnittstelle	Cordella et al. (2019), Bracquené et al. (2018), ONR 192102:2014	X		
	F14: Equipment	Repairability Indicator, repairability.org	X		
I: Informationen					
	I15: Akteur*in	Cordella et al. (2019), ONR 192192:2014	X	X	Verfügbarkeit von Informationen nach Zielgruppe
	I16: Art	Bracquené et al. (2018), Repairability Indicator, repairability.org, ONR 192102:2014, Cordella et al. (2019)	X	X	
	I17: Umfang	Cordella et al. (2019)	X	X	Verfügbarkeit von Informationen nach Umfang
E: Ersatzteile					
	E18: Akteur*in	Bracquené et al. (2018), ONR 192102:2014, Repairability Indicatpr,	X		Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Dimension	Indikator	Ansatz (Quelle)	Bewertungs-ebene		Abgleich mit DIN EN 45554
		repairability.org, Cordella et al. (2019)			nach Zielgruppe
	E19: Art	Cordella et al. (2019), Benelux, ONR 192102:2014	X		Schnittstelle von Ersatzteilen
	E20: Verfügbarkeitsdauer	Cordella et al. (2019), Bracquené et al. (2018), Blauer Engel, ONR 192102:2014, EU Ecolabel	X		Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen
	E21: Kosten	Bracquené et al. (2018), Repairability Indicator, repairability.org			
	E22: Lieferzeit (Beschaffungsdauer)	Repairability Indicator, repairability.org, ONR 192102:2014			
SF: Software/ Firmware					
	SF23: Akteur*in				Datenmanagement
	SF24: Installations- effekte				
	SF25: Kosten				
	SF26: Verfügbarkeits- dauer				
K: Kenntnisse					
	K27: Akteur*in	Cordella et al. (2019)		X	Fähigkeits- niveaus
	K28: Erfahrungslevel	Repairability Indicator, repairability.org		X	
A: Arbeits- umgebung					
	A29: Ort	Cordella et al. (2019)		X	Arbeits- umgebung
	A30: Sicherheit	Repairability Indicator, repairability.org		X	

Dimension	Indikator	Ansatz (Quelle)	Bewertungs-ebene		Abgleich mit DIN EN 45554
	A31: Entsorgungsweg defekter Teile	Repairability Indicator, repairability.org, ONR 192102:2014			
DP: Daten/ Passwort					
	DP32: Datenlöschung	Cordella et al. (2019)	X		Zurücksetzen von Passwörtern und auf Werks-einstellungen
	DP33: Passwort-rücksetzung	Cordella et al. (2019), ONR 192102:2014	X		
H: Hersteller-service					
	H34: Rückgabeoptionen	Cordella et al. (2019), Bracquené et al. (2018), EU Ecolabel		X	Rückgabe-optionen
	H35: Dauer der Herstellergarantie	Bracquené et al. (2018)			
	H36: Effekte Reparatur auf Garantie	Repairability Indicator, repairabilit.org			
	H37: Herstellersupport	Bracquené et al. (2018), ONR 192102:2014			

Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden einzelne zentrale Aspekte der in Tabelle 15 genannten Dimensionen sowie teilweise einzelne Indikatoren ausführlicher beschrieben:

► Demontage

Die Demontagetiefe ist die absolute Anzahl der Arbeitsschritte, die erforderlich ist, um ein defektes Teil aus einem Gerät zu entnehmen. Die Analyse der Demontagetiefe ist fundamental, um den Aufwand für den Austausch eines defekten Teils zu bewerten. Hierzu ist eine Definition erforderlich, was unter einem Arbeitsschritt zu verstehen ist, d. h. wann der Schritt beginnt und wann er endet. So könnte zum Beispiel ein Werkzeugwechsel oder die Entnahme eines Teils als ein Demontageschritt bewertet werden. Die Bestimmung der einzelnen Bewertungsklassen hängt von der minimalen und maximalen Anzahl der Demontageschritte der auf dem Markt befindlichen Produkte ab. Ebenfalls eine Rolle spielt die Zeit, die für die Demontage erforderlich ist. Sie hängt nicht nur von der Demontagetiefe ab, sondern auch von dem*der Akteur*in, von dem*der die Reparatur durchgeführt wird und zahlreichen weiteren Faktoren, z. B. Identifizierbarkeit von Teilen. Eine Reparatur dürfte demont-

sprechend von einem professionellen Reparaturbetrieb deutlich schneller als von einer Privatperson durchgeführt werden können. Indirekt fließt die Zugänglichkeit zu einem Teil in diese beiden Indikatoren mit ein, da sich logischerweise bei schwer zugänglichen Teilen wahrscheinlich die Anzahl der Demontageschritte als auch die Demontagezeit insgesamt erhöht und durch diese beiden Indikatoren somit objektiv statt subjektiv bewertet werden kann. Selbstverständlich muss eine Demontage immer reversibel (zerstörungsfrei) sein, so dass nach der Demontage eine Remontage möglich ist.

► Befestigungen

Befestigungselemente verbinden die einzelnen Komponenten eines Geräts. Diese spielen eine zentrale Rolle bei der Demontage eines Produkts. Klebefestigungen, um ein Beispiel zu nennen, können eine reversible Demontage hindern. Neben der Befestigungsart spielt aber auch die Anzahl, sowie ihre Sichtbarkeit eine Rolle, da sie insgesamt die Dauer einer Reparatur beeinflussen.

► Werkzeuge

Die für eine Reparatur erforderliche Art und Anzahl an Werkzeugen kann vom herstellenden Unternehmen einfach beeinflusst werden, da in Abhängigkeit von den verarbeiteten Befestigungen unterschiedliche Werkzeuge erforderlich sind. Was jedoch zum Beispiel unter einem gängigen Werkzeug zu verstehen ist, hängt auch von dem*der reparierenden Akteur*in ab. So haben professionelle Reparaturbetriebe in der Regel eine andere Ausstattung als Privatpersonen.

► Fehlerdiagnose

Eine Fehlerdiagnose erleichtert die Identifikation des Defekts. Für sie ist in der Regel eine darauf ausgelegte Produktoberfläche notwendig, damit der Fehler, zum Beispiel über einen Zahlencode, angezeigt wird.

► Informationen

Informationen können den Reparaturprozess erleichtern. Dabei spielt eine Rolle, ob sie kostenlos oder kostenpflichtig sind, welche Art von Informationen vorliegen, in welchem Umfang sie vorhanden sind, für welchen Zeitraum und für welche Akteur*innen sie verfügbar sind. Die Art und der Umfang der Informationen stehen in Relation zu einer Vielzahl anderer Indikatoren, zum Beispiel welche Werkzeuge für die Reparatur erforderlich sind, über welche Kanäle Ersatzteile beschafft werden können, wie die Demontagesequenz aussieht und welche Arbeitsumgebung erforderlich ist. Konflikte können allerdings entstehen, wenn bestimmte Informationen, vor allem in Bezug auf das Produktdesign, seitens der herstellenden Unternehmen als vertraulich, und somit nicht öffentlich zugänglich, behandelt werden.

► Ersatzteile

Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen ist eine zentrale Voraussetzung, um ein Produkt erfolgreich zu reparieren. Der Ersatzteilpreis ist häufig ein ausschlaggebendes Kriterium, ob eine Reparatur von einem Reparaturbetrieb rentabel durchgeführt werden kann. Absolute Preise sind innerhalb der Europäischen Union aufgrund verschiedener Preisniveaus jedoch nicht sinnvoll. Eine Alternative bilden zum Beispiel relative Preise, wie die Kosten für Ersatzteile in Relation zum landesspezifischen Produktneupreis. Der Zeitraum für die Ersatzteilverfügbarkeit hängt in der Regel von der Produktlebensdauer ab. Beispielsweise fällt bei einem üblichen Gebrauch eine Waschmaschine zu einem deutlich späteren Zeitpunkt aus als ein Staub-

sauger. Sofern beim Austausch eines Teils Sicherheitsrisiken, entstehen, kann es ggf. sinnvoll sein dieses Teil nur für bestimmte Reparaturakteur*innen zugänglich zu machen - bevor alle anderen Ersatzteile aufgrund dieser Sicherheitsbedenken ebenfalls nicht zugänglich wären.

► Software/Firmware

Indikatoren, welche die Software oder Firmware betreffen sind nahezu äquivalent zu den Ersatzteilindikatoren, beziehen sich jedoch nur auf bestimmte Geräte, darunter vor allem IKT-Geräte.

► Kenntnisse

Die Durchführung jeder Reparatur erfordert technische Kenntnisse, zum Beispiel um den Fehler zu identifizieren, Zugang zum defekten Teil zu bekommen und der richtige Umgang mit Werkzeugen. Um die Reparatur zu fördern, sollten defekte Produkte durch ein möglichst breites Spektrum von Akteur*innen repariert werden können, darunter ebenfalls Repair Cafés, die einen zentralen Beitrag zur Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung leisten. Nichtsdestotrotz dürfen Risiken, die während oder durch die Reparatur entstehen, nicht außer Acht gelassen werden.

► Arbeitsumgebung

Die Arbeitsumgebung legt fest, welche Umgebung für eine Reparatur erforderlich ist. Zwar kann für einige Reparaturen aufgrund von Sicherheitsrisiken eine spezielle Arbeitsumgebung notwendig sein. Sofern ein Sicherheitsrisiko besteht, sollte das herstellende Unternehmen durch entsprechende Informationen darauf aufmerksam machen. Was jedoch ein Risiko darstellt, muss produktspezifisch definiert werden.

► Daten/Passwort

Die Datenlöschung und Passwortrücksetzung spielt vor allem dann eine zentrale Rolle, wenn nach der Reparatur ein Benutzer*innenwechsel stattfindet, z. B. durch den Wechsel des Dienstlaptops innerhalb einer Organisation oder den Verkauf eines Smartphones an ein Handelsunternehmen.

3.4 Diskussion von Ansätzen zur Bewertung der Reparierbarkeit

Jedes der genannten Systeme zur Bewertung der Reparierbarkeit hat seine spezifischen Vor- und Nachteile, dennoch verdeutlicht die Analyse insgesamt mehrere Punkte, die bei der Erarbeitung von Reparaturindikatoren beachtet werden müssen:

Erstens beeinflussen zahlreiche Dimensionen, ob ein Produkt repariert wird oder werden kann. Sie adressieren unterschiedliche Aspekte einer Reparatur, wie zum Beispiel:

- verhaltensrelevante Faktoren, z. B. emotionale Bedeutung eines Produkts, Bewusstsein für Reparaturmöglichkeiten, Entbehrlichkeit eines Produktes für Reparaturzeitraum,
- ökonomische Faktoren, z. B. Kosten für Ersatzteile, Kosten für Werkzeuge, Kosten für Arbeitsleistung, ggf. Kosten für Anfahrt,
- technische Faktoren, z. B. Produktdesign, zerstörungsfreie Demontage, Verfügbarkeit von Ersatzteilen,
- organisatorische Faktoren, z. B. Verfügbarkeit von Reparaturwerkstätten, Zeitaufwand für Abwicklung der Reparatur, Zugang zu Informationen und

- rechtliche Faktoren, z. B. Garantie, Gewährleistung, Sicherheit.

Im Fokus stehen bei den analysierten Ansätzen bisher vor allem ökonomische, technische und organisatorische Aspekte der Reparatur. Rechtliche und verhaltensrelevante Faktoren werden kaum konkretisiert.

Die Bewertung der Reparierbarkeit darf zweitens ausschließlich auf objektiven Kriterien beruhen, die verifizierbar sind – und nicht auf subjektiven Kriterien. Insbesondere bei der Ausformulierung der Bewertungsklassen muss dies beachtet werden. Obwohl einige Indikatoren für eine Reparatur theoretisch relevant sind, ist eine objektive Operationalisierung jedoch nicht immer möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Zugänglichkeit zu Teilen. Diese ist objektiv schwer zu definieren, da sie zum Beispiel subjektiv vom Erfahrungslevel der reparierenden Person abhängt.

Drittens muss zum Zeitpunkt, an dem ein Produkt auf dem Markt platziert wird, eine Bewertung möglich sein. Dies stellt zum Beispiel eine besondere Herausforderung bei der Bewertung der Verfügbarkeit von Ersatzteilen dar, weil nachgewiesen werden muss, dass diese in Zukunft für den angegebenen Zeitraum gewährleistet werden kann. Zudem stellt sich in diesem Kontext die Frage, inwiefern eine Lagerhaltung, auf die ggf. nicht zurückgegriffen wird, aus Ressourcenschutzaspekten gerechtfertigt werden kann.

Ökonomische Faktoren sind viertens häufig ein ausschlaggebendes Kriterium, ob eine Reparatur überhaupt durchgeführt wird. Allerdings stellt dies für ein einheitliches Bewertungssystem innerhalb der Europäischen Union eine Herausforderung dar. Denn absolute Werte sind nicht sinnvoll, da beispielsweise die Kosten für Reparaturdienstleistungen zwischen den Mitgliedsstaaten stark variieren können. Für Ersatzteile könnten stattdessen relative Werte in Relation zum Neupreis eines Produkts herangezogen werden, wie es auch beim französischen Reparaturindex der Fall ist. Denkbar ist selbstverständlich auch, dass relative Werte für Reparaturkosten insgesamt verwendet werden, wie zum Beispiel „Die Behebung des Defekts X darf maximal Y Prozent des Neupreises kosten“.

Fünftens muss es ein kontinuierliches Monitoring geben, bei dem überprüft wird, inwiefern die gemachten Angaben zutreffen, insbesondere sofern die Einstufung der Reparierbarkeit ausschließlich durch das herstellende Unternehmen erfolgt. Bei Verstößen ist ein Sanktionsmechanismus erforderlich, der spürbare (finanzielle) Konsequenzen nach sich zieht im Fall einer Falschangabe des herstellenden Unternehmens.

Abschließend muss angemerkt werden, dass eine Kennzeichnungspflicht zwar für mehr Transparenz auf Seiten der Kaufinteressierten sorgt, jedoch nicht zwangsläufig auch ein nachhaltigeres Kaufverhalten nach sich zieht. Zahlreiche neuere sozialwissenschaftliche Studien verdeutlichen, dass selbst wenn ein Bewusstsein für ein bestimmtes Umweltproblem vorhanden ist, dieses Bewusstsein nicht in ein entsprechendes Handeln überführt werden kann (sog. *Attitude-Behaviour-Gap*). Diese Kluft zwischen Wissen und Handeln könnte, wenn auch noch nicht empirisch überprüft, ebenfalls auf den Kauf und die Reparatur zutreffen. Somit kann eine Kennzeichnung ausschließlich eine unter mehreren Maßnahmen (neben z. B. reduzierter Mehrwertsteuersatz¹⁰, Schaffung von leicht zugänglichen Reparaturangeboten, Etablierung einer Reparaturkultur) sein, um die Reparatur als eine Maßnahme der Abfallvermeidung an sich zu fördern.

¹⁰ Siehe hierzu zum Beispiel Schulze et al. (2017)

4 Fallstudien zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Indikatoren für Drucker und Wäschetrockner

In diesem Projekt sollten praktische Fallstudien an Elektro(nik)geräten durchgeführt werden. Die Zielstellung der Fallstudien umfasst die nachfolgend genannten Kernpunkte:

- ▶ Die unter dem Normungsmandat M/543 entwickelte Norm EN 45554 sollte, insbesondere das informativ vorgestellte Bewertungssystem, auf seine Praxistauglichkeit hin geprüft werden, um Erkenntnisse zur Fortschreibung der Norm zu gewinnen.
- ▶ Die in diesem Projekt erarbeiteten, theoretisch möglichen Reparaturindikatoren sollten auf ihre praktische Anwendbarkeit hin überprüft werden und die Erstellung der finalen Reparaturmatrix durch die praktischen Arbeiten unterstützt werden.
- ▶ Anforderungen und Indikatoren, die zukünftig in produktpolitischen Instrumenten, wie dem Blauen Engel und der Ökodesign-Richtlinie, eingesetzt werden können, sollten mit Hilfe der Fallstudien identifiziert bzw. überarbeitet werden, um diese zukünftig optimiert in produktpolitischen Instrumenten einsetzen zu können. Darüber hinaus unterstützen die Fallstudien die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen an den Auftraggeber.

Im Folgenden werden die Auswahl der zu untersuchenden Produktgruppen und einzubeziehender Indikatoren, sowie das Vorgehen vorgestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Fallstudien an Druckern (s. Kapitel 4.4) und Trocknern (s. Kapitel 4.5) erläutert.

4.1 Auswahl von Produktgruppen

Die Produktgruppen für die Fallstudien wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber ausgewählt. Festgelegt wurden die Produktgruppen **Wäschetrockner** und **Drucker**. Durch diese Auswahl von Produktgruppen aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik sowie Haushaltsgeräte soll eine breite Abdeckung von Designaspekten erreicht werden.

Wäschetrocknern wird im 3. Arbeitsplan zur Ökodesignrichtlinie (2016-2019) ein großes Ressourceneinsparungspotential zugesprochen. Darüber hinaus lief zu den Wäschetrocknern zum Zeitpunkt der Produktgruppenauswahl eine Revisionsstudie auf EU-Ebene.

Drucker und **Multifunktionsgeräte** gehören zur Produktwelt des Umweltzeichen „Blauer Engel“ und haben für das Umweltzeichen eine hohe Relevanz.

4.2 Auswahl von Indikatoren

Welche Indikatoren in den Fallstudien betrachtet werden, wurde Produktgruppen übergreifend festgelegt. Festgelegt wurden sowohl Indikatoren, die während praktischer Untersuchungen überprüft wurden als auch Indikatoren, die recherchiert wurden.

Eine Übersicht über die festgelegten Indikatoren gibt Tabelle 16. Die Analyse wurde aus forschungspraktischen Gründen in Abstimmung mit dem Auftraggeber auf diese Indikatoren beschränkt. Ein Fokus liegt zum einen auf Indikatoren, die im Beispiel für ein Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 enthalten sind. Zum anderen werden auch Indikatoren berücksichtigt, die Teil der weiteren bestehenden Ansätze zur Bewertung von Reparierbarkeit sind (s. Kapitel 3).

Tabelle 16: Untersuchte Indikatoren

Indikator	Überprüfung	Bewertungsebene
Demontagetiefe (Anzahl Arbeitsschritte)	Praktische Untersuchung	Bis zum prioritären Teil
Demontagezeit	Praktische Untersuchung	Bis zum prioritären Teil
Befestigungselemente (BFE)	Praktische Untersuchung	Bis zum prioritären Teil
Sichtbarkeit Befestigungselemente (stichprobenartig)	Praktische Untersuchung	Produkt
Anzahl Werkzeuge	Praktische Untersuchung	Bis zum prioritären Teil
Anzahl Werkzeugwechsel	Praktische Untersuchung	Bis zum prioritären Teil
Werkzeugklasse	Praktische Untersuchung	Produkt
Notwendige Kenntnisse	Praktische Untersuchung	Produkt
Arbeitsumgebung	Praktische Untersuchung	Produkt
Verfügbarkeit von Reparaturinformationen (pro Zielgruppe)	Recherchen	Produkt
Art der Benutzeroberfläche / Schnittstelle zur Fehlerdiagnose	Recherchen	Produkt
Identifikation von Ersatzteilen	Recherchen	Produkt
Ersatzteilverfügbarkeit (pro Zielgruppe) (stichprobenartig)	Recherchen	Produkt
Lieferzeit Ersatzteile (stichprobenartig)	Recherchen	Produkt
Ersatzteilkosten (stichprobenartig)	Recherchen	Produkt
Verfügbarkeit Software / Firmware (pro Zielgruppe)	Recherchen	Produkt
Reset / Wiederherstellen der Werkseinstellungen	Recherchen	Produkt

Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Vorgehen

Wie bereits beschrieben, umfassten die Fallstudien **praktische Untersuchungen** sowie **Recherchen**.

Während der praktischen Untersuchungen wurden die ausgewählten prioritären Teile (s. Kapitel 4.4.2) demontiert und die in Tabelle 16 gezeigten Indikatoren dokumentiert.

Die **praktischen Arbeiten** wurden sowohl bei Druckern als auch bei Trocknern von routinierten Reparateuren durchgeführt, die auf die jeweilige Produktgruppe spezialisiert sind. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um „Lerneffekte“ in Bezug auf die Demontagezeiten auszuschließen. Bei weniger routinierten Reparateuren führen Lerneffekten i. d. R. dazu, dass die Demontagezeiten von Gerät zu Gerät immer geringer werden und dann nicht mehr vergleichbar sind. Die hier eingesetzten Techniker verfügten bereits über so viel Routine aus der täglichen Praxis, dass die im Projekt untersuchten Geräteanzahlen nicht zu weiteren Lerneffekten oder Zeitgewinn führten. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes von routinierten Reparateuren ist, dass die ermittelten Demontagezeiten annähernd als praxisrelevant angesehen werden können. Als eine Einschränkung in Bezug auf die Praxisrelevanz ist allerdings zu sehen, dass die praktischen Arbeiten in Werkstätten durchgeführt wurden und die Geräte dort von allen Seiten zugänglich waren. Dies ist in der Reparaturpraxis beim Kunden nicht immer gegeben.

1. Produktgruppenübergreifend wurden folgende Tätigkeiten, die auf dem Weg zum prioritären Teil ausgeführt werden, als ein Arbeitsschritt gewertet:
 - Entnehmen eines Bauteils,
 - Aushängen oder beiseite ziehen bzw. legen eines Bauteils,
 - Lösen eines Schraubensatzes, das notwendig ist, um zum nächsten Arbeitsschritt zu gelangen,
 - Lösen von gleichartigen Befestigungselementen, das notwendig ist, um zum nächsten Arbeitsschritt zu gelangen,
 - Kippen oder Anwinkeln von Geräten, um an der Unterseite zu arbeiten und
 - Gerät an den Rand der Arbeitsfläche schieben, um an der Unterseite zu arbeiten.
2. Produktgruppenübergreifend wurden folgende Elemente, die auf dem Weg zum prioritären Teil gelöst werden, als Befestigungselemente gewertet:
 - Schrauben, die auf dem Weg zum prioritären Teil gelöst werden,
 - Nasen, die auf dem Weg zum prioritären Teil aktiv gelöst werden (z. B. durch herunter-, oder zusammendrücken),
 - Kabelbefestigungen, die auf dem Weg zum prioritären Teil gelöst werden,
 - Haken oder Stifte von denen etwas aktiv heruntergenommen oder –gezogen wird,
 - Sprengringe / E-Ringe und
 - Federn, die unter Zug stehen.

Einige ähnliche Bauteile wurden nicht als Befestigungselemente gewertet, die keine Kräfte übertragen. Dazu zählen z. B. Unterlegscheiben, Federn, die unter Druck stehen, oder Führungsnasen/-stifte, die kein bewusstes Lösen erfordern.

Abweichende Festlegungen von Arbeitsschritten und Befestigungselementen können zu anderen Ergebnissen von Reparatur – und Demontageversuchen führen. Nur Versuche mit einer einheitlichen Festlegung von Arbeitsschritten und Befestigungselementen können direkt miteinander verglichen werden.

Die zentralen Ergebnisse der praktischen Untersuchungen sind in den Unterkapiteln 4.4.3 (Drucker) und 4.5.3 (Trockner) beschreiben.

Weitere **Recherchen** zu den untersuchten Geräten erfolgten zu Indikatoren, die nicht direkt an den Geräten getestet werden konnten. Diese bezogen sich z. B. auf Ersatzteile, Informationsverfügbarkeit etc. Als generelle Informationsquellen wurden genutzt:

- ▶ Internetseiten von Hersteller oder von ihnen benannten Vertragspartnern,
- ▶ Produktdokumente (Benutzerhandbücher etc.) und
- ▶ schriftliche und telefonische Anfragen bei den Herstellern oder von ihnen benannten Vertragspartnern.

Die Informationsquellen wurden, wo immer sinnvoll, kaskadierend genutzt. Das heißt, Anfragen und Nachfragen erfolgten dann, wenn die entsprechenden Informationen nicht bereits öffentlich, z. B. im Internet, zur Verfügung gestellt wurden. Wenn es Besonderheiten oder Abweichungen von diesem generellen Vorgehen bei der Informationsbeschaffung gab, werden diese in den Unterkapiteln 4.4.4 und 4.5.4 zu den jeweiligen Indikatoren kurz beschrieben.

Im Rahmen der Recherchen und Anfragen wurde sehr schnell deutlich, dass viele Hersteller für Deutschland autorisierte Vertragspartner benennen, die in vielen Fällen einen Teil des Kundendienstes übernehmen, für Anfragen zur Verfügung stehen und auf ihren Internetseiten Informationen veröffentlichen. Alle Auskünfte oder Teile, die über Hersteller oder ihre autorisierten Vertragspartner erteilt werden oder bezogen werden konnten, werden für diese Fallstudien als „verfügbar“ eingestuft und führen zu einer positiven Bewertung von Produkten. Im Gegensatz dazu fließt ein Leistungsangebot unabhängiger Dritter (z. B. Ersatzteilverkauf, Erstellung von Reparaturdokumentationen) nicht in die Bewertung eines Produkts ein.

Im Rahmen der Recherchen wurde weiterhin sehr schnell deutlich, dass Hersteller und Vertragspartner Anfragen von verschiedenen Akteur*innen unterschiedlich behandeln. Zum Beispiel können bestimmte Informationen, wie ein Schaltplan, ggf. nur von Akteur*innen bezogen werden, die eine Kompetenz für Reparaturen nachweisen. Insbesondere Privatleute werden von Herstellern in den meisten Fällen anders behandelt als die eigenen Vertragspartner. Daher werden Akteur*innen für die Fallstudien in drei Zielgruppen unterschieden:

3. Privatpersonen: Laien, ohne elektrotechnische Ausbildung.
4. Fachlich kompetente(r) Reparateur*in: Personen, mit elektrotechnischer Ausbildung, die nicht vertraglich mit dem Hersteller verbunden oder als Servicepartner benannt sind.
5. Vertragspartner*in des Herstellers/ der Hersteller: Personen mit elektrotechnischer Ausbildung, die mit dem Hersteller vertraglich verbunden sind oder als Servicepartner*in benannt sind.

Für die Unterscheidung zwischen den Zielgruppen 1 und 2 ist es immer ausschlaggebend inwieweit Reparateur*innen eine persönliche elektrotechnische Ausbildung haben und ggf. nachweisen können. Dies bedeutet z. B., dass ein(e) ausgebildete(r) Elektriker*in immer als fachlich kompetente(r) Reparateur*in eingestuft wird, auch wenn eine Anfrage bei einem Hersteller auch als Privatperson erfolgen könnte. Dies bedeutet z. B. auch, dass ein Repair-Café, in welchem ausschließlich Laien ohne elektrotechnische Ausbildung mitarbeiten, unter die Zielgruppe Privatperson fällt. Dagegen fällt ein Repair-Café, bei dem ein(e) Elektriker*in Reparaturen durchführt unter die Zielgruppe fachlich kompetente(r) Reparateur*in.

Es ist möglich, dass ein Hersteller einen hausinternen Kundenservice selbst betreibt. Daher werden herstellende Unternehmen und ihre Vertragspartner*innen in der dritten Zielgruppe zusammengefasst.

Diese Zielgruppeneinteilung werden nachfolgend bei der Darstellung von Ergebnissen, der Diskussion und auch bei der Bewertung der Reparierbarkeit von Geräten unterschieden, wenn dies sinnvoll ist.

4.4 Drucker

Im nachfolgenden Kapitel werden die Auswahl von Geräten und prioritären Teilen sowie die Ergebnisse der praktischen Untersuchungen und Recherchen für die Produktgruppe Drucker beschrieben.

4.4.1 Ausgewählte Geräte

Nachdem die zu untersuchenden Produktgruppen abgestimmt wurden, wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt, welche Geräte in den Fallstudien untersucht werden sollten. Da das Projekt einen Fokus auf die aktuellen produktpolitischen Instrumente, z. B. zur Regelung des Marktzugangs bzw. Qualitätssiegel für aktuell vertriebene Geräte hat, wurden Drucker ausgewählt, die zum Zeitpunkt der Untersuchungen in Deutschland vertrieben wurden. Darüber hinaus lag der Fokus der Fallstudien auf Geräten, die auch in Privathaushalten genutzt werden können.

Bei der Auswahl von Druckern wurden die drei marktführenden Hersteller berücksichtigt, um einen möglichst großen Anteil der in Verkehr gebrachten Geräte abzudecken. Darüber hinaus wurden je Hersteller Geräte der relevantesten Technologien (Tintenstrahldrucker und Laserdrucker) berücksichtigt.

Je Technologie wurde jeweils ein Gerät im unteren und mittleren Qualitäts- bzw. Preissegment ausgewählt, um ggfs. bestehende Designunterschiede während der Fallstudien identifizieren zu können. Von dieser Art der Auswahl wurde dann abgewichen, wenn ein Hersteller in dem jeweiligen Segment keinen Drucker auf dem Markt anbot. Bei der Auswahl der konkreten Modelle wurden die Drucker berücksichtigt, die von den großen Onlineplattformen als Bestseller angezeigt wurden. Geräte, die den Blauen Engel führen, wurden dabei bevorzugt berücksichtigt. Da sich die Modellauswahl nach den Marktanteilen richtete, handelte es sich bei den untersuchten Druckern um Multifunktionsgeräte, die auch über eine Scanfunktion verfügen. In Tabelle 17 wird eine Übersicht über die ausgewählten Geräte je Hersteller und Technologie gegeben.

Tabelle 17: Für die Fallstudien ausgewählte Drucker

Technologie	Hersteller	Modell	Blauer Engel	UVP (€)
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 3	TSD5	Nein	73,11
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 3	TSD6	Nein	349,95
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 1	TSD1	Nein	89,99
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 1	TSD2	Nein	569,99
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 2	TSD3	Nein	59,99
Farb-Tintenstrahldrucker	Hersteller 2	TSD4	Ja	659,00
Monochrom-Laserdrucker	Hersteller 3	LD3	Nein	249,00

Technologie	Hersteller	Modell	Blauer Engel	UVP (€)
Farb-Laserdrucker	Hersteller 3	LD4	Ja	629,00
Monochrom-Laserdrucker	Hersteller 2	LD1	Ja	130,00
Farb-Laserdrucker	Hersteller 2	LD2	Ja	480,00

Quelle: Eigene Darstellung

4.4.2 Prioritäre Teile

Um prioritäre Teile für die praktischen Untersuchungen auszuwählen, wurden die folgenden Informationsquellen genutzt:

- ▶ Angebote von Ersatzteilen in Onlineshops,
- ▶ Literatursichtung und
- ▶ Kurzbefragung unter ausgewählten Reparatur*innen.

Die Erkenntnisse wurden anschließend mit den Experten*innen vom UBA abgestimmt und die in Tabelle 18 genannten prioritären Teile festgelegt.

Tabelle 18: Ausgewählte prioritäre Teile, Drucker

Tintenstrahldrucker	Laserdrucker
Druckköpfe	Antriebsmotor für Papiertransport
Internes Netzteil	Arbeitsspeicher
Externes Netzteil	Einzugsrollen
Teile für Blatteinzug	Fixiereinheit
Tintenschwämmchen	Lasereinheit
	Papierablage
	Separationsrollen, -pads
	Steuerplatine und Display
	Externes Netzteil
	Internes Netzteil
	Transferband
	Transfereinheit
	Trommeleinheit
	Verschlussdeckel

Quelle: Eigene Darstellung

4.4.3 Praktische Untersuchungen

In diesem Unterkapitel sind die zentralen Daten zu den praktischen Versuchen tabellenartig zusammengefasst und zentrale Erkenntnisse dargestellt.

Zunächst kann festgehalten werden, dass die externen Netzteile für Tintenstrahldrucker sowie ein (einzeln verbauter) Arbeitsspeicher für Laserdrucker in keinem der untersuchten Drucker vorkamen. Die Netzteile befanden sich ausschließlich in den Geräten und der Arbeitsspeicher war in allen Fällen fest auf den Platinen verbaut. Für die nachfolgenden Auswertungen werden diese Teile daher nicht weiter betrachtet.

Für zukünftige Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass diese Bauteile bei neu in Verkehr gebrachten Geräten keine herausragende Rolle mehr spielen. Ihre Nennung durch die Reparatur*innen in der Befragung könnte dadurch zustande gekommen sein, dass die Befragten in ihrer Praxis an etwas älteren Geräten arbeiten.

4.4.3.1 Tintenstrahldrucker

Für die untersuchten **Tintenstrahldrucker** sind die Daten zu den verbleibenden prioritären Teilen in Tabelle 19 dargestellt. Wenn Bauteile in einem Druckermodell nicht vorhanden sind, ist „n. v.“ für „nicht vorhanden“ angegeben.

Tabelle 19: Indikatoren für praktische Versuche, Tintenstrahldrucker

	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe
Anzahl BFE	0	0	12	11	0	79
davon Schrauben	0	0	4	4	0	40
Anzahl Werkzeuge	0	0	3	3	0	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	0	5	5	0	18
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	3	3	0	6
Anzahl Arbeitsschritte	2	3	14	15	3	59
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:00:20	00:00:20	00:05:00	00:08:00	00:00:15	01:30:00
	Einzugsrolle Vorlageneinzug					
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	n. v.	0	n. v.	1
davon Schrauben	n. v.	n. v.	n. v.	0	n. v.	1
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	n. v.	1	n. v.	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	n. v.	1	n. v.	3

	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	n. v.	0	n. v.	1
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	n. v.	5	n. v.	8
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	n. v.	00:01:00	n. v.	00:03:00
	Einzugs-rolle Sonderformat-einzug					
	n. v.					
	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben)	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben)	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben))	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben)	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben)	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (oben)
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	7	n. v.	n. v.	n. v.
davon Schrauben	n. v.	n. v.	3	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	2	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	4	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	2	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	12	n. v.	n. v.	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	00:03:00	n. v.	n. v.	n. v.
	Einzugs-rolle Stapel-platteinzug (unten)					
Anzahl BFE	10	48	2	2	30	3
davon Schrauben	2	19	1	0	30	1
Anzahl Werkzeuge	3	2	2	0	3	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	3	13	2	0	8	3

	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Anzahl Werkzeugwechsel	2	5	1	0	3	1
Anzahl Arbeitsschritte	11	37	6	7	22	8
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:05:00	00:30:00	00:01:30	00:01:30	00:20:00	00:02:00
	Separationspad Vorlageneinzug					
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	n. v.	6	n. v.	8
davon Schrauben	n. v.	n. v.	n. v.	4	n. v.	2
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	n. v.	2	n. v.	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	n. v.	2	n. v.	4
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	n. v.	1	n. v.	2
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	n. v.	6	n. v.	8
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	n. v.	00:03:00	n. v.	00:01:30
	Separationspad Sonderformat-einzug					
	n. v.					
	Separationspad Stapelblatteinzug					
Anzahl BFE	n. v.	1				
davon Schrauben	n. v.	1				
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1				
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	1				
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0				

	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	4				
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:01:30				
	Internes Netzteil					
Anzahl BFE	2	1	10	10	3	46
davon Schrauben	0	0	2	3	2	14
Anzahl Werkzeuge	0	0	2	2	1	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	0	5	3	1	9
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	3	1	0	2
Anzahl Arbeitsschritte	4	3	13	8	5	27
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:00:10	00:00:10	00:05:00	00:03:00	00:00:45	00:25:00
	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen
Anzahl BFE	10	47	1	1	2	4
davon Schrauben	3	18	1	1	2	4
Anzahl Werkzeuge	2	2	1	1	1	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	3	12	1	1	1	1
Anzahl Werkzeugwechsel	2	5	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	11	34	3	3	3	4
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:03:00	00:27:00	00:01:00	00:00:30	00:01:00	00:01:30

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt zunächst auf, dass die ausgewählten prioritären Teile „Teile für Blatteinzug“ prinzipiell bei den untersuchten Druckern für drei Einzugsformate vorkommen. Alle drei Einzüge können jeweils Einzugsrollen und Separationspads bzw. -einheiten aufweisen. Allerdings kommen alle drei Blatteinzugsformate gleichzeitig nur in wenigen Druckermodellen vor. Das liegt auch daran, dass in einigen Fällen nur der „normale“ Stapelblatt-

einzig von dem Drucker unterstützt wird. Nachfolgend wird daher nur der Stapelblatteinzug näher betrachtet, um die Druckermodelle untereinander vergleichbar zu machen und die Geräte mit mehr Funktionen nicht negativ zu bewerten, weil sie über mehr Funktionen verfügen.

Als grober Anhaltspunkt für einen Vergleich zwischen den Druckern können die betrachteten Indikatoren von mehreren prioritären Teilen addiert werden. Sinnvoll möglich ist dies nur für prioritäre Teile, die in allen Druckermodellen vorkommen. Das bedeutet generell auch, dass Druckermodelle mit unterschiedlichem Leistungsangebot, z. B. hinsichtlich Sonderformaten, relativ schlecht miteinander vergleichbar sind. In diesem Fall kommen folgende prioritäre Teile in allen untersuchten Druckermodellen vor:

- ▶ Druckköpfe,
- ▶ Einzugsrolle unten für den Stapelblatteinzug,
- ▶ internes Netzteil und
- ▶ Tintenschwämmchen.

Für diese vier prioritären Teile sind die Summen der Indikatoren in der Tabelle 20 wiedergegeben.

Tabelle 20: Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Tintenstrahldrucker

Summe Indikatoren	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Summe BFE	22	96	25	24	35	132
Summe Schrauben	5	37	8	8	34	59
Summe Werkzeuge	5	4	8	6	5	8
Summe Werkzeugsätze	6	25	13	9	10	31
Summe Werkzeugwechsel	4	10	7	4	3	9
Summe Arbeitsschritte	28	77	36	33	33	98
Summe Entnahmezeit	00:08:30	00:57:30	00:12:30	00:13:00	00:22:00	01:58:30
UVP (€)	73,11	349,95	89,99	569,99	59,99	659,00

Quelle: Eigene Darstellung

Die Summen der Entnahmezeiten liegen zwischen ca. 8 Minuten und ca. 2 Stunden. Bei dieser vereinfachten Betrachtung hat der Drucker TSD5 des Herstellers 3 die geringste Summe bei den Entnahmezeiten, gefolgt vom Drucker TSD1 des Herstellers 1, Drucker TSD2 des Herstellers 1 und Drucker TSD3 des Herstellers 2.

Beim Drucker mit der vierbesten Summe der Entnahmezeiten liegt diese nicht ganz drei Mal so hoch, wie beim Drucker mit der geringsten Summe der Entnahmezeit. Die Modelle TSD6 des Herstellers 3 und TSD4 des Herstellers 2 folgen mit deutlichem Abstand. Die Summe der Entnahmezeiten beträgt ca. dem Siebenfachen (TSD6 des Herstellers 3) bzw. ca. dem Vierzehnfachen (TSD4 des Herstellers 2) der Summe der Entnahmezeiten des Druckers mit der geringsten Summe.

In Bezug auf den Drucker TSD6 des Herstellers 3 wirkt sich ungünstig aus, dass das Tintenschwämmchen erst nach weitgehender Demontage des Druckers zugänglich ist. Beim Drucker TSD4 des Herstellers 2 wirkt sich insbesondere aus, dass die Druckköpfe nicht, wie bei vielen anderen Modellen, in den Tintenpatronen, sondern in der Druckeinheit integriert sind. Bei diesem Druckermodell wurde kurzfristig eine zweite Person für die Arbeiten eingesetzt.

Von den untersuchten Tintenstrahldruckern führt das Modell TSD4 des Herstellers 2 das Umweltzeichen Blauer Engel. Während der Untersuchung wurde nicht deutlich, dass dies zu Vorteilen bei der Reparierbarkeit führt. Beachtet werden muss in diesem Zusammenhang, dass in den Kriterien des Blauen Engels die Reparaturfähigkeit nicht explizit adressiert wird.

Bei den Tintenstrahldruckern besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Summe der Entnahmezeiten und den Arbeitsschritten. Der Korrelationskoeffizient¹¹ ist $r = 0,967$. Weiterhin korreliert Summen der Entnahmezeiten mit der Summe der Befestigungselemente ($r = 0,976$). In Bezug auf die Bildung des Korrelationskoeffizienten muss beachtet werden, dass nur eine geringe Anzahl von Werten miteinander verglichen wird. Insgesamt kann allerdings festgehalten werden, dass bei den praktischen Versuchen mit den hier untersuchten Tintenstrahldruckern, eine höhere Zahl an Arbeitsschritten sowie Befestigungselementen auch zu höheren tatsächlichen Entnahmezeiten führte.

Zwischen dem UVP der einzelnen Tintenstrahldrucker und der Summe der Entnahmezeiten lässt sich kein Zusammenhang feststellen ($r = 0,257$).

4.4.3.2 Laserdrucker

Für die untersuchten **Laserdrucker** sind die Daten zu den verbleibenden prioritären Teilen in Tabelle 21 dargestellt. Wenn Bauteile in einem Druckermodell nicht vorhanden sind, wurde „n. v.“ für „nicht vorhanden“ angegeben.

Tabelle 21: Indikatoren praktische Versuche, Laserdrucker

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit
Anzahl BFE	0	0	0	0
Davon Schrauben	0	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	0	0	0	0
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	0	0	0
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	0	0

¹¹ Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für den Grad eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Er kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Wenn der Korrelationskoeffizient null ist, hängen zwei Merkmale nicht linear voneinander ab. Wenn der Korrelationskoeffizient -1 bzw. 1 ist, hängen zwei Merkmale vollständig linear voneinander ab.

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl Arbeitsschritte	6	5	2	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:00:30	00:00:10	00:00:15
	Einzugsrollen Vorlageneinzug	Einzugsrollen Vorlageneinzug	Einzugsrollen Vorlageneinzug	Einzugsrollen Vorlageneinzug
Anzahl BFE	n. v.	2	n. v.	n. v.
Davon Schrauben	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	3	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	16	n. v.	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:02:30	n. v.	n. v.
	Einzugsrollen Sonderformat	Einzugsrollen Sonderformat	Einzugsrollen Sonderformat	Einzugsrollen Sonderformat
Anzahl BFE	n. v.	2	n. v.	0
Davon Schrauben	n. v.	0	n. v.	0
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1	n. v.	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	0	n. v.	1
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	n. v.	0
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	5	n. v.	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:00:30	n. v.	00:00:30
	Einzugsrollen Stapelblatt	Einzugsrollen Stapelblatt	Einzugsrollen Stapelblatt	Einzugsrollen Stapelblatt
Anzahl BFE	2	0	0	0
Davon Schrauben	0	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	1	0	1	0
Anzahl Werkzeugeinsätze	1	0	1	0
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	8	13	3	11
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:30	00:02:00	00:01:00	00:01:30
	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl BFE	1	4	2	4
Davon Schrauben	0	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	1	1	1	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	1	0	1	1
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	8	9	4	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:01:00	00:01:00	00:01:00
	Transfereinheit	Transfereinheit	Transfereinheit	Transfereinheit
Anzahl BFE	52	39	n. v.	3
Davon Schrauben	17	9	n. v.	1
Anzahl Werkzeuge	2	3	n. v.	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	9	7	n. v.	2
Anzahl Werkzeugwechsel	4	5	n. v.	1
Anzahl Arbeitsschritte	38	22	n. v.	5
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:18:00	00:05:30	n. v.	00:01:30
	Separationspad Vorlageneinzug	Separationspad Vorlageneinzug	Separationspad Vorlageneinzug	Separationspad Vorlageneinzug
Anzahl BFE	n. v.	2	n. v.	n. v.
Davon Schrauben	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	1	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	4	n. v.	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:00:10	n. v.	n. v.
	Separationsrollen Vorlageneinzug	Separationsrollen Vorlageneinzug	Separationsrollen Vorlageneinzug	Separationsrollen Vorlageneinzug
Anzahl BFE	n. v.	5	n. v.	n. v.
Davon Schrauben	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	3	n. v.	n. v.

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	n. v.	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	18	n. v.	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:03:00	n. v.	n. v.
	Separationspad Sonderformat	Separationspad Sonderformat	Separationspad Sonderformat	Separationspad Sonderformat
Anzahl BFE	n. v.	2	n. v.	0
Davon Schrauben	n. v.	0	n. v.	0
Anzahl Werkzeuge	n. v.	1	n. v.	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	1	n. v.	1
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	n. v.	0
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	5	n. v.	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:00:30	n. v.	00:00:30
	Separationsrollen Stapelblatt	Separationsrollen Stapelblatt	Separationsrollen Stapelblatt	Separationsrollen Stapelblatt
Anzahl BFE	2	4	n. v.	0
Davon Schrauben	2	0	n. v.	0
Anzahl Werkzeuge	1	1	n. v.	0
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	1	n. v.	0
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	n. v.	0
Anzahl Arbeitsschritte	11	14	n. v.	9
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:02:30	n. v.	00:01:30
	Papierablage	Papierablage	Papierablage	Papierablage
Anzahl BFE	20	69	11	60
Davon Schrauben	3	28	4	21
Anzahl Werkzeuge	3	2	2	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	6	18	3	17
Anzahl Werkzeugwechsel	5	10	2	10
Anzahl Arbeitsschritte	26	49	15	51
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:08:00	00:23:00	00:07:00	00:25:00
	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl BFE	30	49	0	32
Davon Schrauben	5	16	0	4
Anzahl Werkzeuge	2	2	1	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	8	7	1	8
Anzahl Werkzeugwechsel	5	4	0	6
Anzahl Arbeitsschritte	26	24	4	26
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:08:00	00:15:00	00:00:20	00:12:00
	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit
Anzahl BFE	46	110	36	73
Davon Schrauben	13	53	24	27
Anzahl Werkzeuge	3	2	2	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	9	31	5	21
Anzahl Werkzeugwechsel	6	13	2	11
Anzahl Arbeitsschritte	42	84	26	66
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:15:00	00:45:00	00:12:00	00:30:00
	Transferband	Transferband	Transferband	Transferband
Anzahl BFE	n. v.	47	n. v.	30
Davon Schrauben	n. v.	13	n. v.	6
Anzahl Werkzeuge	n. v.	2	n. v.	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	8	n. v.	10
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	4	n. v.	7
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	33	n. v.	29
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:11:00	n. v.	00:20:00
	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit
Anzahl BFE	61	114	48	74
Davon Schrauben	21	48	34	26
Anzahl Werkzeuge	2	2	2	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	11	22	8	18
Anzahl Werkzeugwechsel	6	10	2	10

	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl Arbeitsschritte	44	65	33	54
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:21:00	00:50:00	00:15:00	00:26:00
	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil
Anzahl BFE	28	29	43	46
Davon Schrauben	9	12	26	14
Anzahl Werkzeuge	2	2	2	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	6	5	8	10
Anzahl Werkzeugwechsel	4	2	3	6
Anzahl Arbeitsschritte	25	17	31	30
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:09:00	00:09:00	00:15:00	00:22:00
	Display und Steuerplatine	Display und Steuerplatine	Display und Steuerplatine	Display und Steuerplatine
Anzahl BFE	9	16	n. v.	61
Davon Schrauben	3	8	n. v.	19
Anzahl Werkzeuge	2	2	n. v.	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	2	7	n. v.	17
Anzahl Werkzeugwechsel	1	5	n. v.	9
Anzahl Arbeitsschritte	6	19	n. v.	48
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:30	00:05:00	n. v.	00:25:00
	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport
Anzahl BFE	90	53	58	49
Davon Schrauben	37	17	40	15
Anzahl Werkzeuge	2	2	2	2
Anzahl Werkzeugeinsätze	15	8	12	12
Anzahl Werkzeugwechsel	8	4	4	8
Anzahl Arbeitsschritte	58	25	43	35
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:25:00	00:12:00	00:21:00	00:24:00

Quelle: Eigene Darstellung

Wiederum fällt auf, dass sich die Druckermodelle hinsichtlich vorhandener prioritärer Teile unterscheiden. Dies gilt insbesondere für Einzugsrolle und Separationspads bzw. -einheiten.

Wie bei den Tintenstrahldruckern kann ein vereinfachter Vergleich von Summen nur bei den prioritären Bauteilen sinnvoll erfolgen, die in allen untersuchten Laserdruckern vorkommen. Dies sind in diesem Fall:

- ▶ Trommeleinheit,
- ▶ Einzugsrollen (Stapelblatteinzug),
- ▶ Transferrolle,
- ▶ Papierablage,
- ▶ Verschlussdeckel,
- ▶ Lasereinheit,
- ▶ Fixiereinheit,
- ▶ Internes Netzteil und
- ▶ Antriebsmotor.

Für diese neun prioritären Teile sind die Summen der betrachteten Indikatoren in Tabelle 22 wiedergegeben.

Tabelle 22: Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Laserdrucker

Druckermodell - Summe Indikatoren	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Anzahl BFE	278	428	198	338
Davon Schrauben	88	174	128	107
Anzahl Werkzeuge	16	13	13	15
Anzahl Werkzeugeinsätze	57	91	39	87
Anzahl Werkzeugwechsel	34	43	13	51
Anzahl Arbeitsschritte	243	291	161	279
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	01:29:30	02:37:30	01:12:30	02:21:45
UVP (€)	249,00	629,00	130,00	480,00

Quelle: Eigene Darstellung

Die Summen der Entnahmezeiten liegen zwischen ca. 1 Stunde und 12 Minuten und 2 Stunden und 37 Minuten.

Der Drucker LD1 des Herstellers 2 weist die geringste Summe an Entnahmezeiten auf und auch die geringste Anzahl an Befestigungselementen und Arbeitsschritten. Bei der Betrachtung der weiteren Laserdrucker bestätigt sich ein Zusammenhang zwischen höherer Summe der Befestigungselemente und höherer Summe der Entnahmezeiten ebenfalls. In Bezug auf die Befesti-

gungselement besteht ein linearer Zusammenhang zur Demontagezeit. Wenn man den Korrelationskoeffizienten bildet, liegt dieser bei $r = 0,96$. Der Korrelationskoeffizient zwischen der Summe der Arbeitsschritte und der Summe der Entnahmezeiten liegt bei $r = 0,789$. Der Drucker mit den meisten Arbeitsschritten weist auch die höchste Demontagezeit auf. Während dieser lineare Zusammenhang etwas weniger stark ist, sind die Rangfolgen (Platz 1, Platz 2...) der Drucker in Bezug auf Arbeitsschritte und Entnahmezeiten identisch.

In Bezug auf die Bildung des Korrelationskoeffizienten und die Betrachtung der Rangfolgen muss beachtet werden, dass nur eine sehr geringe Anzahl von Werten miteinander verglichen wird.

Insgesamt kann allerdings festgehalten werden, dass bei den praktischen Versuchen mit den hier untersuchten Laserdruckern eine höhere Zahl an Arbeitsschritten sowie Befestigungselementen auch zu höheren tatsächlichen Entnahmezeiten führte.

Zwischen dem UVP der einzelnen Laserdrucker und der Summe der Entnahmezeiten lässt sich ein Zusammenhang feststellen. Der günstigste Laserdrucker weist die geringste Summe der Entnahmezeiten auf und der teuerste Laserdrucker die höchste Summe der Entnahmezeiten. Der Korrelationseffizient liegt bei $r = 0,957$. Für die Laserdrucker in dieser Untersuchung gilt daher, dass die Summe der Entnahmezeiten mit höherem UVP steigt. Das könnte damit zusammenhängen, dass Geräte mit steigendem UVP komplexer werden. Allerdings muss auch hier beachtet werden, dass die Zahl der betrachteten Werte sehr klein ist. Darüber hinaus tritt ein Zusammenhang zwischen UVP und Entnahmezeiten nur bei Laserdruckern auf und nicht bei anderen Gerätegruppen dieser Fallstudien.

4.4.3.3 Schlussfolgerungen für Indikatoren

Anhand der Ergebnisse der Fallstudien können Schlüsse gezogen werden, welche Indikatoren in eine optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen werden sollen. Im Zusammenhang mit den praktischen Untersuchungen wurden die in der Tabelle 16 dargestellten neun Indikatoren untersucht. Nachfolgend wird diskutiert, welche dieser Indikatoren in die optimierte Bewertungsmatrix aufgenommen werden.

Eine wichtige Frage ist, ob es Indikatoren gibt, bei denen ein (möglichst linearen) Zusammenhang zur tatsächlichen Demontagezeit festgestellt wird. Ein solcher Indikator könnte in einer Reparierbarkeitsmatrix stellvertretend für die Demontagezeit stehen. So müssen für die Anwendung der Matrix keine Reihenuntersuchungen mit Zeitaufnahmen an Geräten durchgeführt werden. Bei den Druckern ergibt sich, wie zuvor beschrieben, sowohl für die Befestigungselemente als auch für die Arbeitsschritte ein linearer Zusammenhang zur Demontagezeit. Beide sind potenziell für eine Aufnahme in die Reparierbarkeitsmatrix geeignet. Bei den Laserdruckern ist allerdings der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Befestigungselemente und der Demontagezeit geringer, als der Zusammenhang zwischen der Anzahl Arbeitsschritte und der Demontagezeit.

Aufgrund der praktischen Erfahrungen aus den Versuchen mit Druckern, wird der Indikator Arbeitsschritte (bzw. Demontagetiefe) für die Aufnahme in ein Bewertungssystem favorisiert. In Bezug auf die Befestigungselement ist es bei den praktischen Arbeiten immer wieder vorgekommen, dass mehrere Befestigungselemente (z. B. sechs Plastiknasen) durch einen einzigen Bewegungsablauf gelöst werden konnten. Während dieses Phänomen bei Schrauben nicht relevant ist, tritt es bei Klickverbindungen immer wieder auf. Der Indikator Arbeitsschritte (bzw. Demontagetiefe) kann dieses Phänomen viel besser abbilden, solange eine zielführende Definition eines Arbeitsschritts zugrunde gelegt wird.

In Bezug auf die Befestigungselemente, sollte nach den Ergebnissen für Drucker deren Art in eine optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen werden. Durch den Indikator sollte abgebildet werden, ob Befestigungen zu lösen sind und ob die verwendeten Befestigungselemente wieder eingesetzt werden können.

Die Sichtbarkeit von Befestigungselementen ist dagegen nach den Ergebnissen für Drucker kein relevanter Indikator. Alle Befestigungselemente waren gut sichtbar und identifizierbar. Versteckte Befestigungselemente oder Besonderheiten sind nicht aufgefallen. Darüber hinaus ist nicht klar, wie eine objektive Bewertung von Sichtbarkeit erfolgen soll. Ein Indikator zur Sichtbarkeit von Befestigungselementen sollte daher nach den Erkenntnissen zu Druckern nicht in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix aufgenommen werden.

In Bezug auf Werkzeuge wurden deren Klassen, Anzahl und die Anzahl der Werkzeugwechsel untersucht. Die praktischen Erfahrungen aus den Drucker Demontagen haben in Bezug auf Werkzeuge gezeigt, dass viele Operationen mit einer großen Anzahl von unterschiedlichen Werkzeugen durchführbar sind, z. B. mit vielen unterschiedlichen Hebelwerkzeugen. Ein Kriterium, um Werkzeuge allgemein in gute oder weniger gute Werkzeuge einzuteilen, kann aus den Fallstudien nicht abgeleitet werden. In der optimierten Reparierbarkeitsmatrix sollte daher nur bewertet werden, ob für die Reparatur Werkzeuge notwendig sind, die einzelnen Zielgruppen (z. B. Privatpersonen) nicht zur Verfügung stehen. Dies würde Reparaturen behindern. Die Möglichkeit viele unterschiedliche Arten von Werkzeugen für eine Operation einzusetzen, führt auch dazu, dass die Anzahl der Werkzeuge oder die Anzahl der Werkzeugwechsel nach den Erfahrungen mit Druckern nicht in die optimierte Bewertungsmatrix übernommen werden sollten. Bei einer Anwendung dieser Indikatoren könnte es zu Zielkonflikten kommen. Ein Hersteller könnte z. B. in einer Reparaturanleitung vorschlagen einen Sprengring mit einem Schlitzschraubendreher zu lösen, um die Anzahl der Werkzeuge und Werkzeugwechsel zu minimieren. Das ist nicht zwingend zielführend, weil die Wahrscheinlichkeit den Sprengring zu beschädigen geringer ist, wenn eine Sprengringzange verwendet wird.

Eine besondere Arbeitsumgebung war für die ausgeführten Arbeiten an Druckern nicht notwendig. Es ist davon auszugehen, dass alle Arbeiten i. d. R. auch beim Kunden durchgeführt werden können. Die Arbeitsumgebung als Indikator erscheint nach den Ergebnissen für Drucker nicht sinnvoll. Sie sollte nicht in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix aufgenommen werden, da sie keine Unterschiede zwischen Herstellern abbildet. Unter der Voraussetzung, dass an alle Drucker die Anforderung gestellt wird, dass sie auch im privaten Haushalt zu reparieren sind, kann auf die Arbeitsumgebung in einer optimierten Reparaturmatrix verzichtet werden.

In Bezug auf die für die Reparatur notwendigen Kenntnisse ist zu sagen, dass die durchgeführten Arbeiten zumindest theoretisch auch von Laien durchzuführen gewesen wären. Dann wäre ggf. mit längeren Entnahmezeiten zu rechnen. Es wurde kein sinnvolles Bewertungssystem gefunden, das misst ab wann eine Reparatur für bestimmte Akteursgruppen als nicht mehr möglich gilt. Ein Indikator zu notwendigen Kenntnissen ist nach den Erkenntnissen zu Druckern nicht sinnvoll und sollte nicht in eine Reparierbarkeitsmatrix aufgenommen werden.

4.4.4 Recherchen

Neben den praktischen Untersuchungen wurden Informationen zu mehreren möglichen Indikatoren, beispielsweise in Benutzerhandbüchern, auf Internetseiten und durch Anfragen bei Herstellern, recherchiert und ausgewertet. Das generelle Vorgehen ist im Kapitel 4.3 beschrieben. Besonderheiten beim Vorgehen und bei der Informationsbeschaffung sind in den nachfolgenden Unterkapiteln einleitend beschrieben. Weiterhin sind die Rechercheergebnisse zu möglichen Indikatoren dargestellt. Abschließend wird eine kurze Einschätzung gegeben, ob die erlangten Er-

gebnisse für Drucker die Relevanz eines möglichen Indikators für die Aufnahme in ein Bewertungssystem für die Reparierbarkeit unterstützen oder nicht.

4.4.4.1 Ersatzteile

Im Rahmen der Drucker-Fallstudien wurde generell der Prozess nachgestellt, verschiedene Ersatzteile für Reparaturen zu beziehen. Die dafür benötigten Informationen wurden beschafft und dokumentiert. Dazu gehören in Bezug auf die Ersatzteile insbesondere Verfügbarkeiten, Lieferzeiten und Kosten. Besondere Herausforderungen und Unterschiede zwischen Herstellern und Modellen wurden dabei festgehalten. In diesem Kapitel werden die Recherchen zu Ersatzteilen vorgestellt.

4.4.4.1.1 Auswahl von Ersatzteilen

Bei der Auswahl der Ersatzteile für die Recherchen wurde sich auf die zuvor identifizierten prioritären Teile beschränkt.

In diesem Zusammenhang wurde darauf geachtet, Teile und Verbrauchsmaterialien mit verschiedenen Eigenschaften auszuwählen. In der nachfolgenden Tabelle 23 wird eine Übersicht über die ausgewählten Teile gegeben.

Tabelle 23: Auswahl der Ersatzteile

Ausgewähltes Teil	Eigenschaften
Tintenpatronen (bei Tintenstrahldruckern) bzw. Trommeleinheiten (bei Laserdruckern)	Verbrauchsmaterialien, die regelmäßig von Verbraucher*innen gewechselt werden und diesen verfügbar sein sollten.
Einzugsrollen Stapelblatteinzug	I. d. R. zugänglich, ohne das Gehäuse des Druckers zu öffnen und mit relativ wenig technischem Wissen zu wechseln. Ist ein sogenanntes „Austauschteil“, dass nach den Kriterien des Blauen Engels für Nutzer*innen verfügbar sein muss.
Druckköpfe (bei Tintenstrahldruckern)	In Abhängigkeit, ob der Druckkopf in den Tintenpatronen integriert ist oder nicht, erfordert der Austausch i. d. R. mehr Aufwand oder ist leicht durchzuführen.
Internes Netzteil	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand, inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Tintenschwämmchen (bei Tintenstrahldruckern)	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand, inkl. Öffnung des Gehäuses, und relativ mehr technisches Wissen.
Transferrolle (bei Laserdruckern)	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand, inkl. Öffnung des Gehäuses, und relativ mehr technisches Wissen.
Papierablage (bei Laserdruckern)	I. d. R. zugänglich, ohne das Gehäuse des Druckers zu öffnen und mit relativ wenig technischem Wissen zu wechseln.
Verschlussdeckel (bei Laserdruckern)	I. d. R. zugänglich, ohne das Gehäuse des Druckers zu öffnen und mit relativ wenig technischem Wissen zu wechseln.
Lasereinheit (bei Laserdruckern)	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand und relativ mehr technisches Wissen.
Fixiereinheit (bei Laserdruckern)	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand und relativ mehr technisches Wissen.

Ausgewähltes Teil	Eigenschaften
Antriebsmotor für den Papiertransport (bei Laserdruckern)	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand und relativ mehr technisches Wissen.

Quelle: Eigene Darstellung

4.4.4.1.2 Informationsbeschaffung

Um die Verfügbarkeiten, Lieferzeiten, Preise und Kosten der ausgewählten Druckerersatzteile zu überprüfen, wurden folgende Rechreeschritte durchgeführt:

- ▶ Recherche auf Internetseiten (Hersteller und autorisierte Vertragspartner),
- ▶ schriftliche Anfragen (E-Mail und ggf. Chat-Anfragen) bei Herstellern und autorisierten Vertragspartner*innen und
- ▶ telefonische Nachfragen bei Herstellern und autorisierten Vertragspartner*innen.

Wie im Kapitel 4.3 beschrieben, wurden die Informationsquellen kaskadierend abgearbeitet. D. h. in diesem Fall wurden Anfragen gestartet, wenn Informationen zu Verfügbarkeit, Lieferzeit und Kosten nicht bereits öffentlich in einem Internetshop für Ersatzteile ersichtlich waren. Die telefonische Kontaktaufnahme zu den Herstellern bzw. autorisierten Vertragspartnern erfolgte bei stetigem Ausbleiben von Antworten oder gänzlich unklaren Antworten bezüglich des Anliegens.

Die Kontaktaufnahmen der Schritte 2 und 3 erfolgten zum einen als Privatkunde sowie als kompetenter Reparateur, welcher Ersatzteile zwecks Selbstreparatur beziehen möchte. Zudem erfolgte die Anfrage im Rahmen der simulierten Inanspruchnahme der Reparaturdienstleistung bei den Vertragspartnern der Hersteller. Letzt Genanntes bildet die Ersatzteilverfügbarkeit für die Zielgruppe der Vertragspartner ab.

Darüber hinaus erfolgte im Hinblick auf den möglichen Indikator „Dauer der Verfügbarkeit“ die Kontaktaufnahme als Privatperson, die evtl. das jeweilige Druckermodell kaufen möchte. Inhaltlich wurde angefragt, ob der Hersteller die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für das Modell eine bestimmte Zeitdauer garantieren kann.

Die Antworten wurden dokumentiert und sind in den nachfolgenden Unterkapiteln dargestellt.

4.4.4.1.3 Identifizierbarkeit von Ersatzteilen

Erste Voraussetzung zur Beschaffung von Ersatzteilen ist immer, dass diese eindeutig identifiziert werden und dem richtigen Druckermodell zugeordnet werden können. Die Überwindung dieser ersten Hürde war zum Teil sehr herausfordernd. Es wurde schnell deutlich, dass die eindeutige Identifizierbarkeit von Ersatzteilen davon abhängt, ob eine Explosionszeichnung zur Verfügung steht, in der die Ersatzteile und ihr Verbau im Gerät deutlich werden. Diese Explosionszeichnung gehört zu den Informationen, die ggf. zu einem Druckermodell zur Verfügung gestellt werden. Der Aspekt der Identifizierbarkeit von Ersatzteilen wird daher in dem Kapitel 4.4.4.2 behandelt.

4.4.4.1.4 Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Es wurde untersucht, ob die ausgewählten Ersatzteile (s. Tabelle 23) für Reparaturen zur Verfügung stehen. Dies gilt zunächst unabhängig von den Ersatzteilkosten oder den Lieferzeiten. Dabei wurde jeweils angefragt und unterschieden, ob die Teile den drei Zielgruppen Privatpersonen, fachlich kompetenten Reparateur*innen und Vertragspartner*innen (vgl. Kapitel 4.3) zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse für die Tintenstrahldrucker sind in der nachfolgenden Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Verfügbarkeit der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker

Zielgruppe	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Info	Ist in Tintenpatronen integriert.	/	/	/	Ist in Tintenpatronen integriert.	/
	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug
Privatpersonen	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil
Privatpersonen	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen

Zielgruppe	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Privatpersonen	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Tabelle 24 fällt auf, dass von den Druckerherstellern fast keine Unterschiede zwischen den drei Zielgruppen gemacht werden. Nur bei einem Druckermodell wird ein Ersatzteil (der Druckkopf) für einen Vertragspartner zur Verfügung gestellt aber nicht für Privatpersonen oder fachlich kompetente Reparatur*innen. Alle anderen Ersatzteile stehen völlig unabhängig von der Zielgruppe entweder zur Verfügung oder nicht.

Bei der Betrachtung der Tabelle 24 wird weiterhin deutlich, dass nur die Tintenpatronen als Verbrauchsmaterial durchgängig für alle Tintenstrahldrucker zur Verfügung gestellt werden.

Für zwei Druckermodelle (Hersteller 3, TSD5 und Hersteller 2, TSD3) sind, außer den Tintenpatronen (mit den integrierten Druckköpfen), keine der weiteren ausgewählten Ersatzteile zu beziehen. Bei zwei weiteren Modellen (Hersteller 3, TSD6 und Hersteller 1, TSD1) werden alle betrachteten Ersatzteile (für alle Zielgruppen) zur Verfügung gestellt. Bei den übrigen Modellen sind die betrachteten Ersatzteile zum Teil verfügbar und zum Teil nicht.

Insgesamt fällt also auf, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen stark vom Druckermodell abhängt. Bei einigen Modellen gibt es eine sehr gute Ersatzteilversorgung und bei anderen Modellen gar keine.

Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen wird den Herstellern nicht für alle ihre Modelle gleich gehandhabt. Es kommt vor, dass von einem Hersteller für einen Tintenstrahldrucker alle betrachteten Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden und für einen anderen Tintenstrahldrucker nur die Tintenpatronen und die darin integrierten Druckköpfe. Zudem gibt es einen Zusammenhang mit dem UVP der Geräte. Bei günstigeren Geräten ist die Verfügbarkeit der Ersatzteile schlechter als bei teureren. Die beiden Tintenstrahldrucker, für die nur die Tintenpatronen zur Verfügung gestellt werden (Hersteller 3, TSD5 und Hersteller 2, TSD3), sind auch die beiden Tintenstrahldrucker mit den niedrigsten UVP.

Ergebnisse zur Verfügbarkeit der ausgewählten Ersatzteile (s. Tabelle 23) bei Laserdruckern sind in der nachfolgenden Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Verfügbarkeit der Ersatzteile für Laserdrucker

Zielgruppe	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Ja	Ja

Zielgruppe	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja
	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Ja	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja
	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen
Privatpersonen	Ja	Nein	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein	Ja	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Nein	Ja	Ja
	Papierablage	Papierablage	Papierablage	Papierablage
Privatpersonen	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Nein	Ja
	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel
Privatpersonen	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Nein	Ja
	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit
Privatpersonen	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Nein	Ja
	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit

Zielgruppe	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Privatpersonen	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Nein	Ja
	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil
Privatpersonen	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Nein	Ja
	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport
Privatpersonen	Nein	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*in	Nein	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Nein	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Tabelle 25 fällt auf, dass von den Druckerherstellern keine Unterschiede zwischen den drei Zielgruppen gemacht werden. Die ausgewählten Ersatzteile für Laserdrucker werden einheitlich für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparateur*innen und Vertragspartner*innen zur Verfügung gestellt oder nicht zur Verfügung gestellt. Das untermauert diese Beobachtung im Hinblick auf Tintenstrahldrucker.

Wie die Betrachtung der Tabelle 25 weiterhin zeigt, werden die Trommeleinheiten und Einzugsrollen für den Stapelblatteinzug für alle betrachteten Laserdrucker zur Verfügung gestellt. Für das Modell LD1 des Herstellers 2 sind nur diese beiden betrachteten Ersatzteile verfügbar und bei einem Modell sind alle betrachteten Ersatzteile verfügbar. Bei den anderen beiden Laserdruckern ist die Mehrzahl der Teile verfügbar. Genau wie bei den Tintenstrahldruckern, scheint sich die Verfügbarkeit nach dem Druckermodell zu richten und nicht nach dem Hersteller. Wie bei den Tintenstrahldruckern, sind für den günstigsten Laserdrucker (Hersteller 2, LD1) die wenigsten Ersatzteile verfügbar.

Keines der ausgewählten Ersatzteile bei Tintenstrahl- oder Laserdruckern sticht dadurch hervor, dass es von den Herstellern gar nicht zur Verfügung gestellt wird. Die Hersteller machen auch keine generellen Aussagen zu sicherheitsrelevanten oder nicht-sicherheitsrelevanten Ersatzteilen, die zu einer unterschiedlichen Politik bei der Ersatzteilverfügbarkeit führen. (Dies ist dagegen bei den Trocknern der Fall, vgl. dazu Kapitel 4.5.4.1.4).

Die Aussage, dass die Ersatzteilverfügbarkeit stark modellabhängig ist, kann also für Tintenstrahl- sowie Laserdrucker verallgemeinert werden und wurde im Laufe der Anfragen auch von Servicemitarbeiter*innen bestätigt. Mehrfach wurde angesprochen, dass die Verfügbarkeit vom

Preis des Modells, von den Verkaufszahlen des Modells sowie von der Qualität des Modells abhängt (vgl. dazu auch Kapitel 4.4.4.1.5).

Während es bei den Druckern einige Modelle mit sehr guter und mit mittlerer Ersatzteilverfügbarkeit gibt, kommen auch Modelle vor, bei denen keine Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden. Diese Modelle können schon beim Ausfall eines Teils nicht repariert werden. Es scheint also Modelle zu geben, bei denen ganz grundsätzlich keine Reparaturen, zumindest solche mit einem Ersatzteiltausch, vorgesehen sind. Die Untersuchungen bei Druckern zeigen daher, dass der Indikator Ersatzteilverfügbarkeit sehr relevant ist und in die Bewertung von Reparierbarkeit mit eingehen sollte.

4.4.4.1.5 Dauer der Verfügbarkeit

Neben der Frage, welche Ersatzteile die Hersteller für welche Zielgruppen zur Verfügung stellen, wurden die Hersteller auch dazu befragt, ob sie die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für eine bestimmte Dauer, nachdem das Gerät auf den Markt gekommen ist, garantieren.

Die besondere Bedeutung dieser Fragestellung stellte sich im Laufe der Fallstudien heraus, da die Druckerhersteller mehrfach die Aussage machten, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen u.a. von den Verkaufszahlen von verschiedenen Modellen abhängt. Die Verfügbarkeit der Ersatzteile ist also, insbesondere ohne eine Garantie des Herstellers, zeitlich flexibel und kann vom Hersteller je nach Marktgeschehen angepasst werden.

In Übereinstimmung mit diesen Aussagen ist ein Ergebnis der Fallstudien, dass kein Druckerhersteller für eines der untersuchten Druckermodelle eine Aussage dazu macht, wie lange die Ersatzteilverfügbarkeit garantiert wird. Die Politik der Hersteller ist an dieser Stelle homogen.

Wenn Ersatzteile bereits nach wenigen Monaten oder Jahren nicht mehr bezogen werden können, schränkt dies die Reparierbarkeit von Geräten stark ein. Wenn von Herstellern keine Aussagen oder Garantien für die Verfügbarkeit von Ersatzteilen gegeben wird, haben darüber hinaus Kund*innen keine verlässlichen Informationen darüber, ob ein Gerät, welches sie kaufen möchten, in einigen Monaten überhaupt mit Ersatzteilen versorgt wird. Die Ergebnisse zur Produktgruppe Drucker zeigen daher, wie wichtig es ist, diesen möglichen Indikator in die Bewertung von Reparierbarkeit aufzunehmen.

4.4.4.1.6 Lieferzeit

Neben der Verfügbarkeit von Ersatzteilen für verschiedene Zielgruppen, kann auch deren Lieferzeit in der Praxis beeinflussen, ob diese Teile tatsächlich für Reparaturen zur Verfügung stehen. Sollte es Ersatzteile geben, die theoretisch verfügbar sind, aber erst nach z. B. drei Monaten geliefert werden können, ist deren tatsächliche Verfügbarkeit kaum gegeben. Derart lange Lieferzeiten können darüber hinaus die Reparaturscheidungen von Kund*innen beeinflussen.

Die Lieferzeiten für Privatpersonen wurden für die ausgewählten Ersatzteile von den Druckerherstellern und autorisierten Vertragspartnern erfragt. Die Lieferzeitangaben beziehen sich daher hier auf die Zielgruppen der fachlich kompetenten Reparatoren sowie der Privatpersonen. Es ist möglich, dass diese bei ausgewiesenen Vertragspartnern unterschritten wird.

Die Lieferzeiten für die ausgewählten Ersatzteile von Tintenstrahldruckern sind in der nachfolgenden Tabelle 26 aufgeführt. Dabei steht k. V.“ für keine Verfügbarkeit und „k. A.“ für keine Angabe.

Tabelle 26: Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker

Ersatzteil	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Tintenpatronen	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Druckköpfe	1 - 2	10 – 12	1 – 2	k. V.	1 - 2	1 – 2
Einzugsrollen Stapelblatteinzug	k. V.	7 – 10	k. A.	14	k. V.	k. A.
Internes Netzteil	k. V.	7 – 10	k. A.	14	k. V.	k. V.
Tintenschwämmchen	k. V.	10 – 12	1 – 2	1 – 2	k. V.	1 – 2

Quelle: Eigene Darstellung

Für alle Druckermodelle liegt die Lieferzeit für die Tintenpatronen als Verbrauchsmaterialien bei nur 1-2 Tagen. Bei weiteren Ersatzteilen, die keine Verbrauchsmaterialien sind, liegt sie in fast allen Fällen deutlich höher. Dabei kommen Spannen von 7-10 Tagen bzw. 14 Tagen vor. Insgesamt liegen die Lieferzeiten, für die verfügbaren Ersatzteile außer Verbrauchsmaterialien also bei bis zu zwei Wochen. Nicht in allen Fällen wurden von den Herstellern oder Vertragspartnern Angaben zu Lieferzeiten gemacht.

Die Lieferzeiten für die ausgewählten Ersatzteile von Laserdruckern sind in der nachfolgenden Tabelle 27 aufgeführt.

Tabelle 27: Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile für Laserdrucker

Ersatzteil	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Trommeleinheit	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Einzugsrollen Stapelblatteinzug	1 – 2	1 – 2	1 – 2	2
Transferrollen	12 – 14	k. V.	k. A.	56 – 70
Papierablage	14-20	12 – 14	k. V.	3 – 4
Verschlussdeckel	12 – 14	12 – 14	k. V.	14
Lasereinheit	14-20	12 – 14	k. V.	3 – 4
Fixiereinheit	12 – 14	12 – 14	k. V.	42
Internes Netzteil	12 – 14	14	k. V.	56 – 70
Antriebsmotor für Papiertransport	k. V.	12 – 14	k. V.	2 – 14

Quelle: Eigene Darstellung

Wie schon bei den Tintenstrahldruckern sind die Verbrauchsmaterialien (hier: Tonerkartuschen) durchgängig in 1-2 Tagen lieferbar. Weiterhin können die Einzugsrollen für den Stapelblatteinzug in bis zu 2 Tagen bezogen werden. Bei den weiteren ausgewählten Ersatzteilen liegen die Lieferzeiten zum Teil deutlich darüber. Viele weitere Teile haben Lieferzeiten in der Größenordnung von ca. zwei Wochen. Bei einem Druckermodell werden für die Transferrollen und Internes Netzteil Lieferzeiten von ca. acht bis zehn Wochen angegeben. Das sind Größenordnungen bei denen Ersatzteile nur theoretisch verfügbar sind. Für Kund*innen, deren Geräte während dieser Zeit ausfallen, sind die Teile dagegen in der Praxis nicht zielführend zu beziehen.

Solche Ergebnisse in der Fallstudie zu Druckern verdeutlichen, warum der mögliche Indikator Lieferzeit von Ersatzteilen in die Bewertung von Reparierbarkeit mit eingehen sollte.

4.4.4.1.7 Kosten

So wie sehr lange Lieferzeiten für Ersatzteile, können auch sehr hohe Kosten für Ersatzteile deren tatsächliche Verfügbarkeit für Kund*innen einschränken. Für die Fallstudie wurden die Kosten der ausgewählten Ersatzteile (Tabelle 23) erfragt. Die Ersatzteilpreise sind in der nachfolgenden Tabelle 28 dargestellt.

Weiterhin wird in der nachfolgenden Tabelle 28 der Preis jedes Ersatzteils als Prozentsatz von der UVP des jeweiligen Tintenstrahldruckers angegeben, um Ersatzteilpreise in Abhängigkeit vom Gerätepreis einschätzen zu können. (Bei allen angegebenen Preisen, handelt es sich um Bruttopreise.)

Es ist dabei zu beachten, dass Angebotspreise sehr veränderlich sein können. Zum Beispiel lagen die Anschaffungspreise für die Drucker für diese Fallstudien z. T. deutlich unter der UVP. Daher wird der Preis der Ersatzteile in der Tabelle 28 als Prozentsatz von der UVP angegeben.

Tabelle 28: Preise (in Euro) der Ersatzteile für Tintenstrahldrucker

Kosten	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD 3	Hersteller 2, TSD 4
UVP (€)	73,11	349,95	89,99	569,99	59,99	659,00
	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen	Tintenpatronen
Kosten in €	18,00	9,99	9,49	9,99	14,99	95,99
in % von UVP	24,62	2,85	10,55	1,74	24,99	14,57
	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe	Druckköpfe
Kosten in €	18,00	31,55	66,62	k. V.	14,99	84,08
in % von UVP	24,62	9,02	74,03	k. V.	24,99	12,76
	Einzugsrollen Stapelblatteinzug					
Kosten in €	k. V.	19,99	3,71	5,73	k. V.	24,30

Kosten	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD 3	Hersteller 2, TSD 4
in % von UVP	k. V.	5,71	4,12	1,01	k. V.	3,69
	Internes Netzteil	Internes Netzteil				
Kosten in €	k. V.	20,74	23,90	25,00	k. V.	k. V.
in % von UVP	k. V.	5,93	26,56	4,39	k. V.	k. V.
	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen	Tintenschwämmchen
Kosten in €	k. V.	5,00	3,60	6,53	k. V.	56,59
in % von UVP	k. V.	1,43	4,00	1,15	k. V.	8,59

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Tintenstrahldruckern schwankt insgesamt die Mehrzahl der Ersatzteilpreise in Prozent der UVP zwischen einem und 25 Prozent. Einen Ausreißer stellt der Preis eines Druckkopfes dar, der absolut bei ca. 66 € liegt. Der Ersatzteilpreis liegt damit bei ca. 75% der UPV für das Druckermodell. Das ist eine Größenordnung, bei der eine Reparatur in der Praxis mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht durchgeführt wird, da man für den Ersatzteilpreis annähernd ein neues Gerät erwerben könnte.

Die verfügbaren Einzugsrollen und für den Stapelblatteinzug und Tintenschwämmchen weisen vergleichsweise etwas niedrigere Ersatzteilpreise (in Prozent der UVP). Hier liegt das Maximum bei unter neun Prozent der UVP. Dies bedeutet bei einem hochpreisigen Modell, einen absoluten Preis von ca. 56 € Euro für ein Tintenschwämmchen.

Die Ersatzteilpreise für die ausgewählten Ersatzteile für Laserdrucker sind, absolut und in Prozent der UVP, in der nachfolgenden Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Preise (in Euro) der Ersatzteile für Laserdrucker

Ersatzteil	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
UVP (€)	249,00	629,00	130,00	480,00
	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit	Trommeleinheit
Kosten in €	75,00	89,00	56,49	97,98
in % von UVP	30,12	14,15	43,45	20,41
	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug	Einzugsrollen Stapelblatteinzug
Kosten in €	9,75	1,76	23,31	14,04

Ersatzteil	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
in % von UVP	3,92	0,28	17,93	2,93
	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen	Transferrollen
Kosten in €	29,07	k. V.	23,31	19,75
in % von UVP	11,67	k. V.	17,93	4,11
	Papierablage	Papierablage	Papierablage	Papierablage
Kosten in €	6,78	64,23	k. V.	109,22
in % von UVP	2,72	10,21	k. V.	22,75
	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel	Verschlussdeckel
Kosten in €	36,38	91,09	k. V.	552,68
in % von UVP	14,61	14,48	k. V.	115,14
Info	/	/	/	Nur zusammen mit Scannereinheit verfügbar
	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit	Lasereinheit
Kosten in €	60,57	271,78	k. V.	273,96
in % von UVP	24,33	43,21	k. V.	57,08
	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit	Fixiereinheit
Kosten in €	160,70	323,76	k. V.	339,25
in % von UVP	64,54	51,47	k. V.	79,68
	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil	Internes Netzteil
Kosten in €	215,00	238,16	k. V.	192,75
in % von UVP	86,35	37,86	k. V.	40,16
	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport	Antriebsmotor Papiertransport
Kosten in €	k. V.	49,08	k. V.	28,60
in % von UVP	k. V.	7,80	k. V.	5,96

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Laserdruckern gibt es einige Ersatzteile, die bei allen Herstellern zu eher höheren bzw. niedrigeren Kosten bezogen werden können. So verursachen Lasereinheit, Fixiereinheit und internes Netzteil vergleichsweise hohe Kosten, wenn Sie zur Verfügung stehen. Einzugsrollen, Transferrollen, Papierablage und Antriebsmotor für den Papiertransport sind durchgängig vergleichsweise günstiger zu beziehen. Die Preise scheinen hier von den Ersatzteilen abzuhängen und für Bauteile niedriger zu liegen als für Einheiten oder Baugruppen.

Es kommen mehrere Ersatzteilpreise, die bei mehr als 30% der UVP liegen. Sechs (von 28) Ersatzteilpreise liegen sogar höher als 50% der UVP, in 3 Fällen werden ca. 80% oder mehr als 80% der UVP erreicht. Ein Ersatzteil kann nur als Einheit mit einem weiteren Teil bezogen werden. Die Kosten für diese Baugruppe übersteigen sogar die UVP des Geräts. Ersatzteilpreise in diesen Dimensionen behindern die Reparatur von Geräten, auch wenn die Ersatzteilpreise von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse für Drucker zeigen, dass Ersatzteilpreise in Dimensionen, die Reparaturen verhindern können, in vielen Fällen vorkommen und daher praxisrelevant sind. Ersatzteilkosten sollten nach den Erfahrungen zu dieser Produktgruppe in eine Bewertung von Reparierbarkeit dringend einfließen. Ggf. kann geprüft werden, inwieweit für Einheiten oder Baugruppen etwas höhere Kosten berechtigt sein könnten als für Bauteile.

4.4.4.2 Reparaturrelevante Informationen

In diesem Kapitel werden kurz die Rechercheergebnisse zur Verfügbarkeit von Informationen, die für Reparaturen und Fehlerbehebungen relevant sind, dargestellt.

4.4.4.2.1 Informationsbeschaffung

Um zu recherchieren, welche reparaturrelevanten Informationen die Hersteller welchen Zielgruppen anbieten, wurden die nachfolgenden Rechenschritte durchgeführt:

- ▶ Suche auf den Internetseiten des Herstellers und Auswertung der Informationen,
- ▶ schriftliche Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartnern,
- ▶ telefonische Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartnern und
- ▶ Recherche auf weiteren Internetseiten und Auswertung der Informationen zur Einschätzung der Bedeutung von Informationsmaterialien.

Die Suche auf den Internetseiten diente einleitend dazu, zu überprüfen, welche Handbücher und Dokumentationen sowie weiteren Informationen dort angeboten werden. Die gefundenen Handbücher und Dokumentationen wurden anschließend nach Informationen, die Reparaturen dienen, durchsucht.

Schriftliche und telefonische Anfragen erfolgten in allen Fällen in Bezug auf Reparaturanleitungen und Schaltpläne, da diese nicht öffentlich verfügbar waren. Telefonische Anfragen wurden durchgeführt, wenn schriftliche Anfragen nicht zu Ergebnissen führten.

Über die Informationsbeschaffung bei den Herstellern hinaus, wurde auf Internetseiten von Drittanbietern nach reparaturrelevanten Informationen gesucht. Diese wurden ausgewertet, um die Bedeutung der Informationsmaterialien einschätzen zu können. Für die Ergebnisdarstellung und die Bewertung gelten diese Materialien als nicht verfügbar, da sie nicht über den Hersteller bezogen werden konnten.

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird erläutert, inwieweit reparaturrelevante Informationen zu den untersuchten Druckermodelle von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden und ob es Unterschiede zwischen Herstellern und Druckermodellen gibt. Wenn relevant, wird kurz aufgezeigt, ob sich die Informationen im Rahmen der Fallstudien als notwendig und hilfreich erweisen haben und welche Herausforderungen ggf. auftreten, wenn diese Informationen nicht zur Verfügung stehen.

4.4.4.2 Benutzerhandbücher und Einrichtungsanweisungen

Es wurde untersucht, welche Informationen von den Herstellern standardmäßig auf Internetseiten zur Verfügung gestellt werden. Alle Hersteller stellen für alle untersuchten Druckermodelle auf ihren Internetseiten Benutzerhandbücher, Kurzanleitungen, und Einrichtungsanweisungen zur Verfügung. (Der Begriff „Benutzerhandbuch“ wird nachfolgend als Synonym für ähnliche von den Herstellern verwendete Begriffe gebraucht, wie z. B. Online-Handbuch, Benutzerhandbuch, Bedienungsanleitung etc.). Die standardmäßig zur Verfügung gestellten Dokumente wurden untersucht und festgestellt, dass diese Dokumente kaum bis keine reparaturrelevanten Informationen enthalten. Eine Ausnahme bilden zum Teil Fehlercodetabellen, die in einigen Benutzerhandbüchern mit enthalten sind.

Nach den Erfahrungen mit Druckern, sollten die Verfügbarkeit von „Standardinformationsmaterialien“ Kurzanleitungen, Einrichtungsanweisungen und Benutzerhandbüchern nicht in die Bewertung von Reparierbarkeit eingehen, da sie wenig reparaturrelevante Informationen enthalten. Sie sollten lediglich darauf überprüft werden, ob in ihnen die Informationen enthalten sind, die als relevant eingestuft werden (Explosionszeichnungen, Fehlercodetabellen, Reparaturanleitungen, Schaltpläne).

4.4.4.2.3 Fehlercodetabellen

Die Auswertung der für alle Druckermodelle standardmäßig zur Verfügung gestellten Benutzerhandbücher hat gezeigt, dass in einigen Fehlercodetabellen enthalten sind. Darüber hinaus wurde bei der Auswertung der Internetseiten der Hersteller deutlich, dass diese für einige Druckermodelle Fehlercodetabellen online zur Verfügung stellen. Dabei kommen sowohl Listen, oder Tabellen als auch Suchfeldeingaben vor. In vielen Fällen sind die Fehlercodetabellen sowohl in den Benutzerhandbüchern als auch an weiteren Stellen im Internet verfügbar.

Es kann für jedes untersuchte Druckermodell die Frage beantwortet werden „Ist eine Fehlercodetabelle vorhanden, ja oder nein?“ Im Gesamtzusammenhang der Fallstudie wurde allerdings deutlich, dass die isolierte Beantwortung dieser Frage, die Situation nicht zufriedenstellend abbildet. Stattdessen muss das Vorhandensein von Fehlercodetabellen in Abhängigkeit von der Art der Diagnoseschnittstelle gesehen werden. Bei den betrachteten Druckermodellen kommen zwei Fälle von Diagnoseschnittstellen vor, für die keine zusätzliche Hardware oder Software benötigt wird.

Der erste Fall ist, dass Fehlerinformationen in Klarsprache (hier schriftlich) im Display angezeigt werden. Diese Diagnoseschnittstelle ist nicht codiert und die ausgegebene Information wird direkt verstanden. Dementsprechend sind Fehlercodetabellen für diese Druckermodelle nicht notwendig bzw. können nicht existieren, da es keine Codes gibt, die decodiert werden müssen. Solche Schnittstellen werden auch als intuitiv bezeichnet. Wenn es eine Bewertung der Verfügbarkeit von Fehlercodetabellen geben soll, muss also sichergestellt sein, dass Geräte mit nicht codierten Diagnoseschnittstellen dadurch nicht benachteiligt werden. (Zu einer möglichen Umsetzung s. Kapitel 4.4.4.3.)

Der zweite Fall ist, dass Fehlerinformationen codiert ausgegeben werden. Bei den untersuchten Druckermodellen, werden dazu in allen Fällen Blinkzeichenabfolgen einer LED am Drucker ein-

gesetzt. Für alle Druckermodelle, bei denen so eine codierte Schnittstelle vorkommt, werden auch Fehlercodetabellen zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel für einen Eintrag in einer solchen Tabelle ist: X Blinkzeichen – Der Druckkopf könnte beschädigt sein.

Der Fall einer codierten Schnittstelle tritt bei zwei untersuchten Tintenstrahl- und einem untersuchten Laserdrucker auf. Die anderen untersuchten Druckermodelle haben intuitive Diagnoseschnittstellen, bei denen keine Fehlercodetabellen notwendig sind. Dieser Fall dominiert also. Eine Übersicht über Fehlercodetabellen und Diagnoseschnittstellen wird in der nachfolgenden Tabelle 30 gegeben.

Tabelle 30: Fehlercodetabellen und Diagnoseschnittstellen der untersuchten Druckermodelle

Technologie	Modell	Fehlercodetabelle	Diagnoseschnittstelle
Tintenstrahldrucker	Hersteller 3, TSD5	Vorhanden	Codiert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 3, TSD6	Vorhanden	Codiert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 1, TSD1	Nicht notwendig	Intuitiv
Tintenstrahldrucker	Hersteller1, TSD2	Nicht notwendig	Intuitiv
Tintenstrahldrucker	Hersteller 2, TSD3	Nicht notwendig	Intuitiv
Tintenstrahldrucker	Hersteller 2, TSD4	Nicht notwendig	Intuitiv
Laserdrucker	Hersteller 3, LD3	Nicht notwendig	Intuitiv
Laserdrucker	Hersteller 3, LD4	Nicht notwendig	Intuitiv
Laserdrucker	Hersteller 2, LD1	Vorhanden	Codiert
Farb-Laserdrucker	Hersteller 2, LD2	Nicht notwendig	Intuitiv

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Druckern werden Fehler also in den meisten Fällen schriftlich im Display ausgegeben. Alternativ stehen Fehlercodetabellen zur Verfügung. Der Umfang der vorhandenen Fehlercodetabellen ist zum Teil unterschiedlich. Grundlegende Fehler, wie leeres Verbrauchsmaterial aber auch Herausforderungen mit Papierstaus, Einzügen und Tintenschwämmchen sind Teil aller Fehlercodetabellen. Einige Fehlercodes werden allerdings nicht vollständig aufgelöst. Ein Beispiel für einen solchen Eintrag ist: X Blinkzeichen – Es ist ein Druckerfehler aufgetreten, der eine Reparatur notwendig macht. Wenden Sie sich an unser Servicecenter.

Die Auswertung der angegebenen Fehlercodes legt nahe, dass die Fehlercodetabellen insbesondere Privatleuten zur ersten Identifikation eines möglichen Fehlers und zur Festlegung des weiteren Vorgehens dienen können. Sie ermöglichen den ersten Schritt in Richtung einer möglichen Reparaturrentscheidung und gehören, nach den Ergebnissen zu Druckern, zu den reparaturrelevanten Informationen, die bei der Bewertung von Reparierbarkeit einfließen sollten.

4.4.4.2.4 Explosionszeichnungen

Nach der Identifikation eines möglichen Fehlers, geht es in vielen Fällen darum, Informationen zu einem betroffenen Ersatzteil zu bekommen und diese ggf. zu beziehen. Erste Voraussetzung zur Beschaffung von Ersatzteilen ist, dass diese überhaupt leicht und eindeutig identifiziert werden können. Dies wurde bei den Anfragen zu Ersatzteilen (s. Kapitel 4.4.4.1.4) eindrücklich deutlich. Zum Teil waren mehrfache telefonische oder schriftliche Anfragen bei den Herstellern notwendig, um zu klären welches Ersatzteil für welches Druckermodell bestellt werden soll bzw.

um zu verifizieren, ob ein im Internet zu Verkauf angebotenes Teil mit dem untersuchten Druckermodell kompatibel ist.

Bei der Möglichkeit, Ersatzteile eindeutig zu identifizieren, wurden deutliche Unterschiede zwischen den drei Druckerherstellern festgestellt. Dabei machte es keinen Unterschied, ob es sich um Tintenstrahldrucker oder Laserdrucker handelte.

Für Hersteller 1 macht ein autorisierter Vertriebspartner auf seinen Internetseiten detaillierte Explosionszeichnungen zu den untersuchten Modellen verfügbar. Diese werden von eindeutigen Teilenummern begleitet und erlauben eine eindeutige Identifizierung der benötigten Ersatzteile. Eine Explosionszeichnung ist in diesem Zusammenhang eine grafische Darstellung, aus der sowohl das Aussehen einzelner Ersatzteile hervorgeht, als auch der Ort, an dem sie in dem Gerät verbaut sind. Es muss sich nicht notwendigerweise um eine Gesamtzeichnung handeln. Es kann vorkommen, dass Geräte in mehreren Ebenen dargestellt werden und zwei oder drei Abbildungen zusammengenommen alle Ersatzteile und den Ort, an dem sie verbaut sind, enthalten.

Auf den Internetseiten von Hersteller 2 wird ein Ersatzteillshop zur Verfügung gestellt. Auf die Eingabe der Seriennummern des betrachteten Druckermodells, erfolgt eine Auflistung von Ersatzteilen, z. T. mit der Aufforderung diese bei autorisierten Vertriebspartner*innen anzufragen. In der Liste wird zwar für die Ersatzteile eine Nummer angegeben, es bleibt allerdings unklar, inwieweit es sich um eine eindeutige Teile-/Artikelnummer handelt. Wie auch bereits beschreiben, kam bei den Anfragen an Vertriebspartner*innen mehrfach die Antwort vor, dass Teile nicht geliefert werden können, weil keine Artikelnummer bekannt ist. Darüber hinaus werden weder Zeichnungen noch Fotos der Ersatzteile zur Verfügung gestellt. Ohne eine grafische Darstellung von Teilen sowie ihrer Anordnung im Gerät, war es zum Teil schwierig im Ersatzteillshop die richtigen Teile zu finden, da Hersteller zum Teil unterschiedliche Bezeichnungen / Übersetzungen verwenden oder Teile mehrfach im Gerät vorkommen können. Ein Beispiel dafür sind Teile (wie Rollen / Gummis) für Blatteinzüge. Explosionszeichnungen wurden auch nicht auf Anfrage vom Hersteller oder autorisierten Vertriebspartnern zur Verfügung gestellt. Die eindeutige Identifizierung und Anfrage der richtigen Ersatzteile war daher sehr aufwendig und umfasste für viele Teile mehrfache telefonische und schriftliche Anfragen.

Von Hersteller 3 oder seinen autorisierten Vertriebspartner*innen wurden keine Explosionszeichnungen, keine Internetshop mit einer Datenbank oder Teilelisten oder vergleichbare Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Die eindeutige Identifizierung und Anfrage der richtigen Ersatzteile war bei den Druckermodellen dieses Herstellers am aufwendigsten und umfasste für viele Teile mehrfache telefonische und schriftliche Anfragen.

Nach den Ergebnissen zu Druckern, wird daher eine Explosionszeichnung mit einer Darstellung der Ersatzteile und dem Ort, an dem sie verbaut sind, als sehr reparaturrelevant eingestuft. Die Verfügbarkeit einer Explosionszeichnung sollte in die Bewertung von Reparierbarkeit eingehen. Die Explosionszeichnung muss von einer eindeutigen Auflistung von Teile-/Artikelnummern oder -codes begleitet werden.

4.4.4.2.5 Reparaturanleitungen

Reparaturanleitungen wurden bei keinem Hersteller und bei keiner der Internetseiten des Herstellers oder in den Handbüchern gefunden. Alle Hersteller wurden auch dazu befragt, ob sie die Reparaturanleitungen für die drei Zielgruppen Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen zur Verfügung stellen. Alle drei Hersteller gaben übereinstimmend und für alle Modelle an, dass Reparaturanleitungen existieren, die ausschließlich autorisierten Vertragspartner*innen zur Verfügung gestellt werden. Für die anderen beiden Zielgruppen stehen die Reparaturanleitungen also für kein betrachtetes Modell zur Verfügung.

Nach den Aussagen des Reparaturbetriebs, mit dem die praktischen Untersuchungen durchgeführt wurden, sind Reparaturanleitungen sehr relevant. Sie werden insbesondere eingesetzt, wenn Druckermodelle neu auf den Markt kommen und sich Reparatur*innen mit diesen vertraut machen.

Reparaturanleitungen konnten im Rahmen der Fallstudien für die Mehrzahl der Druckermodelle von Drittanbietern bezogen werden. Da es sich dabei nicht um ein Angebot der Hersteller handelt, wird diese Möglichkeit im Rahmen der Fallstudien und der Anwendung der Reparaturmatrix (s. Kapitel 6) nicht als Verfügbarkeit von Reparaturanleitungen gewertet.

Ihre Auswertung bestätigt allerdings die Aussagen des Reparaturbetriebs. Die Reparaturanleitungen enthalten Schritt für Schritt Anweisungen Behebung von Fehlern an Geräten. Sie zeigen die einzelnen Arbeitsschritte auf, die zur Demontage und Remontage von verbauten Ersatzteilen durchgeführt werden sollen und die vom Hersteller vorgesehene Reihenfolge ab. Dies ist insbesondere deswegen von Vorteil, da die ausgewählten Druckermodelle nicht sehr standardisiert aufgebaut sind, d. h. Ersatzteile sind nicht typischerweise an denselben Orten in den Geräten verbaut. Die Reparaturanleitung hilft also z. B. dabei festzulegen, von welcher Seite her ein Gehäuse geöffnet werden sollte, das Ersatzteil zu erreichen. Darüber hinaus transportieren sie z. B. die Information wie Geräte für bestimmte Arbeitsschritte orientiert werden sollten und welche Kabel(stränge) gelöst werden müssen, Sie ermöglichen die schnelle Identifikation von Befestigungselementen und erleichtern das korrekte Lösen von Klickverbindungen. In einigen Fällen sind in den Reparaturanleitungen auch Informationen zur Anzahl Befestigungselemente oder Hinweise zu geeigneten Werkzeugen enthalten.

Nach den Erfahrungen mit Druckern, können Reparaturanleitungen die Reparaturen von Geräten erleichtern und ggf. zu Kosten und Zeitersparnissen führen. Geeignete Anleitungen müssen dazu empfohlene Schrittfolgen für einzelne Reparaturen / Demontagen enthalten. Die Verfügbarkeit von Reparaturanleitungen sollte daher in ein Bewertungssystem eingehen.

4.4.4.2.6 Schaltpläne

Als hilfreiche relevante Informationen wurden, von dem Reparaturbetrieb, mit dem die praktischen Untersuchungen durchgeführt wurden, Schaltpläne genannt.

Die Verfügbarkeit von Schaltplänen bei den Druckerherstellern oder autorisierten Vertragspartnern entspricht der Verfügbarkeit von Reparaturanleitungen. Auch Schaltpläne werden laut der Hersteller sowohl Privatpersonen als auch fachlich kompetenten Reparatur*innen für keines der betrachteten Modelle zur Verfügung gestellt. Für autorisierte Vertragspartner*innen dagegen, sind die Schaltpläne laut Aussagen der Hersteller für alle Modelle verfügbar.

Schaltpläne sind, während der Reparatur am Gerät, sowohl für die Fehlerlokation und -identifikation als auch für die Überprüfung, ob ein Fehler durch eine Reparatur behoben werden konnte, relevant.

In einem Schaltplan wird der Verlauf von Strömen und Spannungen in einem Gerät dargestellt. Er zeigt für alle verbauten Teile, welche Spannung dort während des fehlerfreien Betriebs anliegen muss und welche Stromstärke das Teil aufnehmen muss. Liegt der Schaltplan vor, können Reparatur*innen an den Anschlussklemmen von jedem verbauten Teilen messen, ob die vorgesehene Spannung dort ankommt. Ist dies nicht der Fall, liegt der Fehler zwischen dem letzten Teil, an dem die vorgesehene Spannung anliegt und dem ersten Teil, an dem sie nicht anliegt (Beispiel: Ein Kabel oder Kondensator vor einem Motor ist defekt). Nimmt ein Teil nicht die vorgesehene Stromstärke auf, liegt der Fehler in diesem Teil selbst (Beispiel: Beispiel ein Prozessor ist defekt und sollte ausgetauscht werden). Die in Schaltplänen enthaltenen Informationen dienen weniger der ersten Reparatursentscheidung, sondern sind während der begonnenen Reparatur hilfreich.

Damit sind sie besonders für die Zielgruppen fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen von Bedeutung. Ihre Verfügbarkeit sollte in eine Bewertung von Reparierbarkeit einfließen.

Die Möglichkeiten die in diesem Unterkapitel genannten reparaturrelevanten Informationen in einem Bewertungssystem zu berücksichtigen, werden im Kapitel 5.2.6 diskutiert.

4.4.4.3 Diagnoseschnittstellen

In diesem Kapitel werden die Recherchen und Ergebnisse zu Schnittstellen beschrieben. Die Arten der Diagnoseschnittstellen wurde aus den Benutzerhandbüchern und von den Internetseiten der Hersteller zusammengetragen.

4.4.4.3.1 Arten von Diagnoseschnittstellen

Diagnoseschnittstellen dienen dazu, aufgetretene Fehler zu identifizieren und sind daher für Reparaturen, insbesondere erste Reparaturentscheidungen, relevant. Die Arten von Diagnoseschnittstellen bei den betrachteten Druckermodellen sind bereits ausführlich im Unterkapitel 4.4.2.3 und in der Tabelle 30 beschrieben. Es kommen drei Mal codierte Diagnoseschnittstellen und sieben Mal intuitive Diagnoseschnittstellen vor. Wichtig bei der Bewertung ist, wie dort erläutert, dass Diagnosetabellen und Fehlercodetabellen gemeinsam betrachtet werden. Eine mögliche Umsetzung in einem Bewertungssystem wird im Kapitel 5.2.7 gezeigt.

Neben diesen Benutzerschnittstellen haben alle Druckermodelle einen USB-Anschluss als Datenschnittstelle. Dabei handelt es sich um öffentlich zugängliche Schnittstellen, auf die mit Hilfe des Treibers zugegriffen werden kann.

Nach den Erfahrungen mit Druckern sind Diagnoseschnittstellen und Fehlercodetabellen in Abhängigkeit voneinander zu bewerten. Eine Bewertung von Schnittstellen sollte nach den Erfahrungen mit Druckern mindestens intuitive und codierte Schnittstelle sowie öffentliche Hardwareschnittstellen abbilden.

4.4.4.3.2 Software und Firmware

In diesem Kapitel wird beschrieben, ob und wie die Hersteller Software, die für den Betrieb und die Reparatur von Druckern relevant ist, zur Verfügung stellen.

4.4.4.3.3 Informationsbeschaffung

Um zu recherchieren, welche Software die Hersteller welchen Zielgruppen anbieten, wurden drei Rechenschritte durchgeführt:

- ▶ Suche auf den Internetseiten des Herstellers und Auswertung der Informationen,
- ▶ schriftliche Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartnern und
- ▶ telefonische Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartnern.

Die Verfügbarkeit der Software wurde vorrangig auf den Internetseiten der Hersteller recherchiert. Die Schritte zwei und drei wurden dann durchgeführt, wenn Software nicht bereits zur Verfügung gestellt wurde. Weiterhin wurden alle Hersteller dazu angefragt, ob die Software für einen garantierten Zeitraum zur Verfügung steht.

4.4.4.3.4 Verfügbarkeit von Software (Treiber)

Relevante Software in Bezug auf Drucker sind Druckertreiber. Diese werden zum einen zum Betrieb der Geräte benötigt und zum anderen werden sie von Reparatur*innen eingesetzt, um den Reparaturserfolg zu überprüfen.

Die Recherchen haben gezeigt, dass viele Druckertreiber öffentlich über die Internetseiten der Hersteller heruntergeladen werden können. Treiber, die dort nicht verfügbar sind, konnten auch nicht von den Herstellern oder autorisierten Vertragspartnern bezogen werden. Einige Angesprochene haben die Aussage gemacht, dass diese Treiber nicht existieren, andere machten dazu keine Aussage.

In Tabelle 31 ist zusammengefasst welche Druckertreiber für die untersuchten Tintenstrahldrucker verfügbar sind.

Tabelle 31: Verfügbarkeit Treiber Tintenstrahldrucker

System	Hersteller 3, TSD5	Hersteller 3, TSD6	Hersteller 1, TSD1	Hersteller 1, TSD2	Hersteller 2, TSD3	Hersteller 2, TSD4
Windows 10	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Windows 8	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Windows 7	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Windows älter	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
macOS 10.15	Verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS 10.14	Verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS 10.13	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS älter	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Linux	Nicht verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar

Quelle: Eigene Darstellung

Für alle Druckermodelle werden Treiber für aktuelle Windows Betriebssysteme zur Verfügung gestellt. Für ältere Apple Betriebssysteme kann ebenfalls für alle Geräte ein Treiber genutzt werden. Bei einem Gerät sind für neuere Versionen des Apple Betriebssystems keine Treiber verfügbar. Ein Linux Treiber wird nur für zwei der vier Modelle angeboten.

In Tabelle 32 ist zusammengefasst welche Druckertreiber für die untersuchten Laserdrucker zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 32: Verfügbare Treiber Laserdrucker

System	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Windows 10	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Windows 8	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Windows 7	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar

System	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2
Windows älter	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
macOS 10.15	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS 10.14	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS 10.13	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
macOS älter	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar	Verfügbar
Linux	Verfügbar	Verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar

Quelle: Eigene Darstellung

Bei allen Druckermodellen wird ein Treiber angeboten, der für aktuelle Windows Betriebssysteme genutzt werden kann. Nur ältere Systeme als Windows 7 werden von keinem Hersteller bedient. Ein Linux Treiber wird für zwei von vier der untersuchten Modelle angeboten.

Wenn man Tintenstrahl- und Laserdrucker gemeinsam betrachtet, ist die Verfügbarkeit der Windows und macOS (Apple) Treiber gut. Linux Treiber werden von einem Hersteller für keines seiner Modelle angeboten. Bei den beiden anderen Herstellern ist dies modellabhängig. Einige Befragte äußerten am Telefon, dass Linux Treiber nicht zur Verfügung gestellt werden, da es zu viele Versionen dieses Betriebssystems gibt, andere äußerten sich nicht.

Die Software, die von den Herstellern zur Verfügung gestellt wird, ist in allen Fällen kostenlos zu beziehen. Lieferzeiten sind nicht relevant, da die Software heruntergeladen wird.

Neben der generellen Verfügbarkeit wurden die Hersteller dazu befragt, ob sie die Verfügbarkeit von aktualisierten Treibern für zukünftige Betriebssysteme für einen definierten Zeitraum zusagen. Dies ist bei keinem Hersteller der Fall. Dies deckt sich mit den Ergebnissen zur Versorgung mit Ersatzteilen, für die ebenfalls von keinem Druckerhersteller ein Zeitraum der Verfügbarkeit garantiert wird. Auch bei Nachfragen in Bezug auf Treiber führten einige Befragte aus, dass die Entscheidung diese zur Verfügung zu stellen flexibel in Abhängigkeit von den Verkaufszahlen von Modellen angepasst wird.

Die generelle Verfügbarkeit von Treibern zum Zeitpunkt der Fallstudien war also insgesamt gut. Garantierte Zeiträume, für die neue Betriebssysteme garantiert bedient werden, gibt es aber nicht. Der Aspekt einer garantierten Verfügbarkeit von Treibern für Betriebssysteme, die ggf. erst nach dem ursprünglichen Verkauf des Druckermodells erscheinen, ist bei diesem Indikator für Betrieb und Reparatur von Geräten besonders relevant. Es kann vorkommen, dass ansonsten funktionsfähige Drucker nicht mehr betrieben oder repariert werden können, wenn Nutzer*innen sich neue Computer mit aktuellen Betriebssystemen kaufen, an denen diese Drucker betrieben werden sollen. Weiterhin kann dieser Fall auftreten, wenn Nutzer*innen auf neuere Betriebssysteme für ihre Computer umsteigen (müssen). Aufgrund der regelmäßigen neuen Versionen von Betriebssystemen treten solche Fälle in der Praxis regelmäßig auf. Im Gegensatz dazu müssen Ersatzteile nur neu bezogen werden müssen, wenn bei verbauten Teilen ein Fehler auftritt. Eine garantierte Aktualisierungsdauer für Treiber, ist also bei Druckern besonders wichtig und sollte gegenüber der reinen Verfügbarkeit von Treibern priorisiert für ein Bewertungssystem herangezogen werden. Nach den Ergebnissen zu Druckern, sind Kosten und Lieferzeiten Druckern nicht relevant.

4.4.4.3.5 Verfügbarkeit von Firmware

So wie die Verfügbarkeit von Treibern, wurde auch die Verfügbarkeit von Firmware geprüft. Firmware bezeichnet hier das Betriebssystem der Drucker.

Die Recherchen haben ergeben, dass alle Druckerhersteller Firmware für alle untersuchten Druckermodelle verfügbar machen, die an Geräten mit Windows oder Apple Betriebssystemen betrieben werden. Für Linux wird dagegen keine Firmware zur Verfügung gestellt. Einschränkung ist hier zu beachten, dass Firmware nur aktualisiert werden muss, wenn Fehler oder Sicherheitslücken auftreten. Ein Neuaufspielen von Firmware ist darüber hinaus für die Zielgruppe der Privatpersonen wenig relevant.

Bei einem Hersteller kann die Firmware von der Internetseite heruntergeladen werden. Die anderen Hersteller geben an, dass die Firmware bei den Vertragspartnern vorhanden ist und fachlich kompetenten Reparatur*innen auf Anfrage per Downloadlink kostenlos verfügbar gemacht wird.

So wie für Software wird allerdings von keinem Hersteller ein Zeitraum garantiert, in dem Firmware aktualisiert und zur Verfügung gestellt wird. Wenn Firmware in ein Bewertungssystem einbezogen wird, sollte dieser Aspekt bewertet werden, da die Verfügbarkeit an sich für die relevanten Zielgruppen gegeben ist und keine Kosten oder Lieferzeiten auftreten.

4.4.4.4 Wiederherstellung der Werkseinstellungen (Reset)

In diesem Kapitel werden die Rechercheergebnisse zur Wiederherstellung der Werkseinstellungen dargestellt. Die Möglichkeiten die Werkseinstellungen wiederherzustellen, wurden auf den Internetseiten der Hersteller sowie in den Benutzerhandbüchern recherchiert. Da bei allen Geräten Informationen zur Wiederherstellung der Werkseinstellungen gefunden werden konnten, waren keine weiteren Rechenschritte notwendig.

4.4.4.4.1 Möglichkeiten Geräte auf Werkseinstellungen zurückzusetzen

Die Wiederherstellungen von Werkseinstellungen (Reset) kann notwendig sein, um Geräte nach dem Auftreten eines Fehlers in einen Zustand zurückzusetzen, bevor der Fehler aufgetreten ist. Darüber hinaus kann ein Reset, mit dem Zurücksetzen des Passworts, sinnvoll sein, wenn Geräte an neue Nutzer*innen weitergegeben werden.

Alle untersuchten Druckermodelle können auf ihre Werkseinstellungen zurückgesetzt werden. Bei allen Modellen kann dieser Reset von den Nutzer*innen (Privatpersonen) durchgeführt werden. Sogenannte „Service Resets“, die ausschließlich von den Herstellern oder Vertragspartnern als Serviceleistung vorgenommen werden können, sind nicht notwendig. Es ist möglich dass diese Dienstleistung angeboten wird, da jedoch einfachere Möglichkeiten zur Verfügung stehen, ist dies für eine Bewertung der Möglichkeiten des Resets nicht relevant.

Es kommen zwei Möglichkeiten vor, wie Nutzer*innen die Drucker auf Werkseinstellungen zurücksetzen können. Im ersten Fall erfolgt der Reset am Drucker ohne weitere Hilfsmittel und man spricht von einem „integrierten Reset“. Bei den untersuchten Druckermodellen ist dies durch die Eingabe von Tastenfolgen oder Eingaben auf dem Display möglich. Im zweiten Fall wird eine zusätzliche Software eingesetzt, um den Reset durchzuführen. Dieser Fall wird als „externer Reset“ bezeichnet. Bei den untersuchten Druckermodellen, werden externe Resets über den Treiber an dem Computer durchgeführt wird, an den der Drucker angeschlossen ist.

Externe Resets sind bei zwei untersuchten Druckern, einem Tintenstrahl- und einem Laserdrucker notwendig. Bei den anderen untersuchten Druckermodelle ist die Möglichkeit die Werkseinstellungen zurückzusetzen im Gerät integriert. Dieser Fall dominiert also. Eine Übersicht über die Möglichkeiten den Reset durchzuführen, wird in der nachfolgenden Tabelle 33 gegeben.

Tabelle 33: Möglichkeiten zur Durchführung des Reset

Technologie	Modell	Durchführung des Reset
Tintenstrahldrucker	Hersteller 3, TSD5	Extern
Tintenstrahldrucker	Hersteller 3, TSD6	Integriert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 1, TSD1	Integriert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 1, TSD2	Integriert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 2, TSD3	Integriert
Tintenstrahldrucker	Hersteller 2, TSD4	Integriert
Laserdrucker	Hersteller 3, LD3	Integriert
Laserdrucker	Hersteller 3, LD4	Integriert
Laserdrucker	Hersteller 2, LD1	Extern
Laserdrucker	Hersteller 2, LD2	Integriert

Quelle: Eigene Darstellung

Die fehlende Möglichkeit ein Gerät auf seine Werkseinstellungen zurückzusetzen, würde vergleichsweise einfache Reparaturen verhindern und die Weitergabe von Geräten an neue Nutzer*innen einschränken. Der Indikator sollte in die Bewertung von Reparierbarkeit einfließen.

4.5 Wäschetrockner

Im nachfolgenden Kapitel werden die Auswahl von Geräten und prioritären Teilen sowie die Ergebnisse der praktischen Untersuchungen und Recherchen beschrieben.

4.5.1 Ausgewählte Geräte

Nachdem die zu untersuchenden Produktgruppen abgestimmt wurden, wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt, welche Geräte in den Fallstudien untersucht werden sollten. Da das Projekt einen Fokus auf die aktuellen produktpolitischen Instrumente z. B. zur Regelung des Marktzugangs legt, wurden Trockner ausgewählt, die zum Zeitpunkt der Untersuchungen in Deutschland vertrieben wurden. Darüber hinaus lag der Fokus der Fallstudien auf Geräten, die auch in Privathaushalten genutzt werden können.

Bei Auswahl der Trockner wurden die marktführenden Hersteller berücksichtigt, um einen möglichst großen Anteil der in Verkehr gebrachten Geräte abzudecken. Daneben wurden Hersteller aus dem nicht-europäischen Ausland mit einbezogen, um zu untersuchen, ob, und wenn ja welche Unterschiede sich bzgl. der Reparaturfähigkeit zeigen. Untersucht wurden Trockner mit den relevanten technischen Prinzipien Ablufttrockner, Kondentrockner und Wärmepumpentrockner. In Trocknern der drei Technologien sind teilweise unterschiedliche Komponenten verbaut.

Ein Schwerpunkt wurde auf Wärmepumpentrockner, als zukunftsweisende Technologie, gelegt. Wo möglich, wurde von jedem Hersteller zu jeder Technologie ein Gerät im unteren und mittleren Qualitäts- / bzw. Preissegment ausgewählt. Von dem Prinzip wurde abgewichen, wenn ein Hersteller in dem jeweiligen Marktsegment keinen Trockner am Markt anbot. Bei der Auswahl der Trocknermodelle wurden die Geräte berücksichtigt, die von den großen Onlineplattformen als Bestseller angezeigt wurden.

In der

Tabelle 34 wird eine Übersicht über die ausgewählten Geräte je Hersteller und Technologie gegeben.

Tabelle 34: Für die Fallstudien ausgewählte Trockner

Technologie	Hersteller	Modell	UVP (€)
Ablufttrockner	Hersteller 1	ALT1	589,00
Ablufttrockner	Hersteller 4	ALT2	778,86
Kondentrockner	Hersteller 6	KDT2	439,00
Kondentrockner	Hersteller 6	KDT3	467,01
Kondentrockner	Hersteller 1	KDT1	679,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 6	WPT9	1049,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 6	WPT10	648,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 1	WPT1	889,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 1	WPT2	999,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 2	WPT3	799,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 3	WPT4	549,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 4	WPT5	955,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 4	WPT6	869,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 5	WPT7	681,00
Wärmepumpentrockner	Hersteller 5	WPT8	1022,55

Quelle: Eigene Darstellung

4.5.2 Prioritäre Teile

So wie bei den Druckern, wurden folgende Informationsquellen genutzt, um die prioritären Teile für die praktischen Untersuchungen auszuwählen:

- ▶ Kurzbefragung unter ausgewählten Reparatur*innen,
- ▶ Literatursichtung und
- ▶ Angebote von Ersatzteilen in Onlineshops.

Die Erkenntnisse wurden anschließend mit den Experten*innen vom UBA abgestimmt und die in Tabelle 35 genannten prioritären Teile festgelegt.

Tabelle 35: Ausgewählte prioritäre Teile, Trockner

Ablufttrockner	Kondentrockner	Wärmepumpentrockner
Filzauflagen Trommel	Filzauflagen Trommel	Filzauflagen Trommel
Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine

Ablufttrockner	Kondenstrockner	Wärmepumpentrockner
Heizung	Heizung	Lüfter / Gebläse
Lüfter / Gebläse	Lüfter / Gebläse	Motor
Motor	Motor	Motorkondensatoren
Motorkondensatoren	Motorkondensatoren	Motorkonverter / Steuerung
Motorkonverter / Steuerung	Motorkonverter / Steuerung	Pumpe (Kondensat)
Relais	Pumpe (Kondensat)	Relais
Riemen	Relais	Riemen
Sensoren	Riemen	Sensoren
Spannrolle	Sensoren	Spannrolle
Trommellager	Spannrolle	Trommellager
Türverriegelung	Trommellager	Türverriegelung
	Türverriegelung	Wärmepumpe
		Wärmetauscher

Quelle: Eigene Darstellung

4.5.3 Praktische Untersuchungen

In diesem Unterkapitel sind die zentralen Daten zu den praktischen Versuchen tabellenartig zusammengefasst und zentrale Erkenntnisse dargestellt.

Zunächst kann festgehalten werden, dass Relais, in keinem der untersuchten Trocknermodelle vorhanden waren. In der nachfolgenden Auswertung werden sie daher nicht weiter betrachtet.

Für zukünftige Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass Relais bei neu In-Verkehr-gebrachten Geräten keine Rolle spielen. Ihre Nennung durch die befragten Reparateure, könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Befragten in ihrer Praxis auch an ggfs. älteren Geräten arbeiten, in denen diese Bauteile ggfs. vorkommen.

4.5.3.1 Ablufttrockner und Kondenstrockner

Für die untersuchten Ablufttrockner und Kondenstrockner sind die Daten zu den verbleibenden prioritären Teilen in Tabelle 36 dargestellt. Wenn Bauteile in einem Trocknermodell nicht vorhanden sind, wurde n. v. für „nicht vorhanden“ angegeben.

Tabelle 36: Indikatoren praktische Versuche, Ablufttrockner und Kondenstrockner

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	n. v.	10	31
davon Schrauben	n. v.	n. v.	n. v.	1	16
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	n. v.	3	5

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	n. v.	2	11
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	n. v.	1	8
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	n. v.	10	23
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	n. v.	00:03:00	00:13:00
	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager
Anzahl BFE	6	12	26	26	18
davon Schrauben	2	9	23	23	14
Anzahl Werkzeuge	2	3	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	3	5	6	6	9
Anzahl Werkzeugwechsel	2	3	3	3	5
Anzahl Arbeitsschritte	6	11	11	11	15
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:30	00:08:30	00:08:00	00:08:00	00:08:00
	Flusensieb	Flusensieb	Flusensieb	Flusensieb	Flusensieb
Anzahl BFE	0	0	0	0	0
davon Schrauben	0	0	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	0	0	0	0	0
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	0	0	0	0
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	2	2	2	2	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:00:10	00:00:05	00:00:05	00:00:05	00:00:10
	Dichtung	Dichtung	Dichtung	Dichtung	Dichtung
Anzahl BFE	0	10	0	0	0
davon Schrauben	0	10	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	0	2	0	0	0

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeugeinsätze	0	5	0	0	0
Anzahl Werkzeug- echsel	0	2	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	0	11	0	0	0
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:00:10	00:07:00	00:00:10	00:00:10	00:00:10
	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür
Anzahl BFE	2	2	2	2	2
Davon Schrauben	2	2	2	2	2
Anzahl Werkzeuge	1	1	1	1	1
Anzahl Werkzeug- einsätze	1	1	1	1	1
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	3	3	3	3	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:01:30	00:00:30	00:00:30	00:01:00
	Scharnier	Scharnier	Scharnier	Scharnier	Scharnier
Anzahl BFE	2	5	21	21	2
davon Schrauben	2	5	5	5	2
Anzahl Werkzeuge	1	2	2	2	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	1	4	3	3	1
Anzahl Werkzeugwechsel	0	1	1	1	0
Anzahl Arbeitsschritte	3	10	7	7	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:05:00	00:04:00	00:04:00	00:01:00
	Schließnase	Schließnase	Schließnase	Schließnase	Schließnase
Anzahl BFE	2	5	22	22	2
davon Schrauben	2	5	5	5	2
Anzahl Werkzeuge	1	1	2	2	1

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeugeinsätze	1	3	3	3	1
Anzahl Werkzeugwechsel	0	0	1	1	0
Anzahl Arbeitsschritte	3	6	8	8	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:03:00	00:04:30	00:04:00	00:01:00
	Türschließ- nasenöffnung	Türschließ- nasenöffnung	Türschließ- nasenöffnung	Türschließ- nasenöffnung	Türschließ- nasenöffnung
Anzahl BFE	31	30	61	63	2
Davon Schrauben	17	17	32	33	2
Anzahl Werkzeuge	4	4	2	2	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	12	11	11	11	1
Anzahl Werkzeugwechsel	10	9	1	1	0
Anzahl Arbeitsschritte	27	26	43	44	4
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:13:00	00:12:00	00:18:00	00:19:00	00:01:00
	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff
Anzahl BFE	2	14	23	23	2
Davon Schrauben	2	13	5	5	2
Anzahl Werkzeuge	1	3	2	2	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	1	4	3	3	1
Anzahl Werkzeugwechsel	0	2	1	1	0
Anzahl Arbeitsschritte	3	8	6	6	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:01:00	00:08:30	00:04:30	00:04:00	00:01:00
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
Anzahl BFE	n. v.	0	0	0	0
Davon Schrauben	n. v.	0	0	0	0
Anzahl Werkzeuge	n. v.	0	0	0	0

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	0	0	0	0
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	0	0	0	0
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	4	3	3	3
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:00:30	00:00:10	00:00:10	00:00:15
	Steuerplatine	Steuerplatine	Steuerplatine	Steuerplatine	Steuerplatine
Anzahl BFE	21	13	27	24	23
Davon Schrauben	3	4	6	7	5
Anzahl Werkzeuge	3	3	2	2	4
Anzahl Werkzeug- einsätze	6	6	4	4	4
Anzahl Werkzeug- wechsel	5	5	1	1	3
Anzahl Arbeitsschritte	14	14	13	12	12
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:06:00	00:07:00	00:07:00	00:07:00	00:06:00
	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine
Anzahl BFE	40	13	27	24	42
davon Schrauben	11	4	6	7	15
Anzahl Werkzeuge	5	3	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	11	6	4	4	7
Anzahl Werkzeugwechsel	11	5	1	1	6
Anzahl Arbeitsschritte	23	14	13	12	19
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:11:00	00:07:00	00:07:00	00:07:00	00:09:00
	Heizung	Heizung	Heizung	Heizung	Heizung
Anzahl BFE	39	16	31	31	32
Davon Schrauben	24	9	22	22	27
Anzahl Werkzeuge	3	4	2	2	3

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeugeinsätze	12	8	4	4	8
Anzahl Werkzeugwechsel	10	6	1	1	4
Anzahl Arbeitsschritte	26	15	13	13	19
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:15:00	00:08:00	00:08:00	00:08:00	00:11:00
	Motorkon- densatoren	Motorkon- densatoren	Motorkon- densatoren	Motorkon- densatoren	Motorkon- densatoren
Anzahl BFE	26	25	32	33	26
Davon Schrauben	13	22	27	18	16
Anzahl Werkzeuge	3	4	3	3	5
Anzahl Werkzeugeinsätze	9	11	9	9	9
Anzahl Werkzeugwechsel	8	7	3	3	7
Anzahl Arbeitsschritte	20	18	21	22	17
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:09:00	00:13:00	00:11:00	00:11:00	00:08:00
	Trommel- riemen	Trommel- riemen	Trommel- riemen	Trommel- riemen	Trommel- riemen
Anzahl BFE	61	50	72	76	73
davon Schrauben	41	36	49	52	47
Anzahl Werkzeuge	7	5	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	22	17	14	15	23
Anzahl Werkzeugwechsel	19	12	6	6	17
Anzahl Arbeitsschritte	50	42	41	46	55
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:24:00	00:21:00	00:21:00	00:24:00	00:24:00
	Spannrollen- riemen	Spannrollen- riemen	Spannrollen- riemen	Spannrollen- riemen	Spannrollen- riemen
Anzahl BFE	n. v.	22	75	87	n. v.
Davon Schrauben	n. v.	22	51	54	n. v.

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeuge	n. v.	2	4	4	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	9	18	19	n. v.
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	5	9	9	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	17	54	59	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:12:00	00:28:00	00:31:00	n. v.
	Spannrolle	Spannrolle	Spannrolle	Spannrolle	Spannrolle
Anzahl BFE	67	n. v.	76	88	78
Davon Schrauben	43	n. v.	51	54	47
Anzahl Werkzeuge	7	n. v.	4	4	6
Anzahl Werkzeugeinsätze	24	n. v.	20	20	27
Anzahl Werkzeugwechsel	19	n. v.	10	10	20
Anzahl Arbeitsschritte	54	n. v.	56	61	62
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:25:00	n. v.	00:28:00	00:31:00	00:28:00
	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor
Anzahl BFE	67	69	77	89	79
Davon Schrauben	43	48	51	54	47
Anzahl Werkzeuge	7	7	4	4	7
Anzahl Werkzeugeinsätze	24	26	20	21	29
Anzahl Werkzeugwechsel	19	18	11	11	22
Anzahl Arbeitsschritte	54	62	58	63	65
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:25:00	00:34:00	00:29:00	00:32:00	00:29:00
	Füllstands- sensor	Füllstands- sensor	Füllstands- sensor	Füllstands- sensor	Füllstands- sensor
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	6	7	31
Davon Schrauben	n. v.	n. v.	0	1	15

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	1	2	5
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	1	2	11
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	0	1	8
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	6	7	23
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	00:02:00	00:02:00	00:13:00
	Feuchtigkeits- sensor	Feuchtigkeits- sensor	Feuchtigkeits- sensor	Feuchtigkeits- sensor	Feuchtigkeits- sensor
Anzahl BFE	34	5	6	6	4
Davon Schrauben	18	2	4	4	2
Anzahl Werkzeuge	4	2	2	2	1
Anzahl Werkzeugeinsätze	13	4	2	2	1
Anzahl Werkzeugwechsel	11	3	1	1	0
Anzahl Arbeitsschritte	30	8	5	5	7
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:14:00	00:04:00	00:03:00	00:03:00	00:03:00
	Türverriege- lungssensor	Türverriege- lungssensor	Türverriege- lungssensor	Türverriege- lungssensor	Türverriege- lungssensor
Anzahl BFE	31	30	61	63	40
Davon Schrauben	17	17	32	33	19
Anzahl Werkzeuge	4	4	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	12	11	11	11	12
Anzahl Werkzeugwechsel	10	8	1	1	8
Anzahl Arbeitsschritte	27	26	43	44	31
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:13:00	00:12:00	00:18:00	00:19:00	00:13:00
	Prozessluft- sensor	Prozessluft- sensor	Prozessluft- sensor	Prozessluft- sensor	Prozessluft- sensor
Anzahl BFE	n. v.	16	5	5	24

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Davon Schrauben	n. v.	15	1	1	14
Anzahl Werkzeuge	n. v.	2	2	1	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	8	2	1	7
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	5	1	0	5
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	15	6	6	16
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	00:10:00	00:01:30	00:02:00	00:07:00
	Heizungstem- peratursensor	Heizungstem- peratursensor	Heizungstem- peratursensor	Heizungstem- peratursensor	Heizungstem- peratursensor
Anzahl BFE	39	10	22	22	34
Davon Schrauben	25	7	18	18	27
Anzahl Werkzeuge	4	2	2	2	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	13	3	2	2	9
Anzahl Werkzeugwechsel	11	1	1	1	4
Anzahl Arbeits- schritte	30	7	5	5	23
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:17:00	00:04:00	00:04:00	00:04:00	00:14:00
	Heizungs- temperatur- sicherung 1				
Anzahl BFE	16	11	22	22	23
Davon Schrauben	12	7	18	18	14
Anzahl Werkzeuge	3	3	2	2	3
Anzahl Werkzeugeinsätze	6	4	2	2	3
Anzahl Werkzeugwechsel	3	2	1	1	2
Anzahl Arbeitsschritte	6	7	5	5	7
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:03:00	00:04:30	00:04:00	00:04:00	00:04:00

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
	Heizungs- temperatur- sicherung 2				
Anzahl BFE	16	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Davon Schrauben	12	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeuge	3	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugeinsätze	6	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Werkzeugwechsel	3	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Anzahl Arbeitsschritte	6	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:04:00	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
	Trommeldich- tung hinten				
Anzahl BFE	61	62	78	77	64
Davon Schrauben	41	45	55	56	44
Anzahl Werkzeuge	7	6	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	22	22	15	15	21
Anzahl Werkzeugwechsel	17	16	6	6	15
Anzahl Arbeitsschritte	48	54	41	46	47
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:24:00	00:31:00	00:22:00	00:24:00	00:23:00
	Trommeldich- tung vorne				
Anzahl BFE	61	41	72	76	64
Davon Schrauben	41	27	49	52	44
Anzahl Werkzeuge	7	5	2	2	4
Anzahl Werkzeugeinsätze	23	17	14	16	21
Anzahl Werkzeugwechsel	18	12	7	7	15
Anzahl Arbeitsschritte	51	40	43	48	52

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:25:00	00:21:00	00:24:00	00:25:00	00:25:00
	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse
Anzahl BFE	38	42	19	19	40
Davon Schrauben	23	28	18	18	29
Anzahl Werkzeuge	3	5	2	2	5
Anzahl Werkzeugeinsätze	12	17	2	2	11
Anzahl Werkzeugwechsel	9	11	1	1	9
Anzahl Arbeitsschritte	23	40	4	4	21
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	00:11:00	00:19:00	00:04:00	00:04:00	00:10:00
	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter
Anzahl BFE	n. v.	n. v.	76	88	79
Davon Schrauben	n. v.	n. v.	51	54	47
Anzahl Werkzeuge	n. v.	n. v.	4	3	7
Anzahl Werkzeugeinsätze	n. v.	n. v.	19	20	29
Anzahl Werkzeugwechsel	n. v.	n. v.	10	10	22
Anzahl Arbeitsschritte	n. v.	n. v.	55	60	65
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	n. v.	n. v.	00:29:00	00:31:00	00:29:00
Besonderheiten	Es waren drei Kabelbinder als nicht wiederverwendungsfähige BFE eingesetzt, die die Demontage nicht nennenswert beeinflusst haben.	Es waren drei Kabelbinder als nicht wiederverwendungsfähige BFE eingesetzt, die die Demontage nicht nennenswert beeinflusst haben.	/	/	/

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung von Ablufttrocknern und Kondenstrocknern fällt auf, dass einige ausgewählte prioritäre Teile, z. B. die Spannrolle, konstruktionsbedingt nicht in allen Modellen vorhanden sind. Darüber hinaus fällt auf, dass viele Türkomponenten nur als Modul gewechselt werden können. Die Bauweise der Türen ist daher schwer vergleichbar. Daher werden Türkomponenten sowie andere nicht in allen Modellen vorkommende prioritäre Teile aus einer vergleichenden Betrachtung ausgeklammert. Die gesamte Tür wird dagegen in den Vergleich einbezogen.

Als grober Anhaltspunkt für einen Vergleich zwischen den Trocknern können die betrachteten Indikatoren von mehreren prioritären Teilen addiert werden. Sinnvoll möglich ist dies für prioritäre Teile, die in allen Trocknermodellen vorkommen. Für die Ablufttrockner sind dies:

- ▶ Trommellager,
- ▶ Tür,
- ▶ Türschließnasenöffnung,
- ▶ Steuerplatine,
- ▶ Hauptplatine,
- ▶ Heizung,
- ▶ Kondensatoren,
- ▶ Trommelriemen,
- ▶ Motor,
- ▶ Feuchtigkeitssensoren,
- ▶ Türverriegelungssensor,
- ▶ Heizungstemperatursensor,
- ▶ Heizungstemperatursicherung,
- ▶ Trommeldichtung hinten,
- ▶ Trommeldichtung vorne und
- ▶ Gebläse.

Für diese prioritären Teile sind die Summen der Indikatoren in der Tabelle 37 wiedergegeben.

Tabelle 37: Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Ablufttrockner

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2
Anzahl BFE	573	431
Davon Schrauben	333	284
Summe Werkzeuge	67	61
Summe Werkzeugeinsätze	201	169

	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2
Summe Werkzeugwechsel	163	118
Summe Arbeitsschritte	438	387
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	03:32:30	03:27:30
UVP (€)	589,00	778,86

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Entnahmezeiten, ist ersichtlich, dass die Summe bei dem Trocknermodell ALT1 des Hersteller 1 sowie beim dem Trocknermodell ALT2 des Hersteller 4 nur eine Abweichung von 5 Minuten aufweisen. Es zeigt sich nicht, dass eine größere Anzahl Arbeitsschritte oder Befestigungselement notwendigerweise zu einer höheren Entnahmezeit führt. Dies gilt auch für die weiteren Indikatoren. Relevant könnte die Einbausituation einiger prioritärer Teile sein. Z. B. ist das Gebläse in dem Trocknermodell ALT2 des Hersteller 4 innen verbaut und nicht von hinten zugänglich. Bei der Interpretation der Zahlen muss beachtet werden, dass nur zwei Geräte untersucht werden. Die Untersuchung von mathematischen Zusammenhängen bei diesen zwei Geräten ist nicht sinnvoll.

Für die Kondentrockner können die Indikatoren der folgenden prioritären Teile für einen vereinfachten Vergleich addiert werden:

- ▶ Trommellager,
- ▶ Tür,
- ▶ Türschließnasenöffnung,
- ▶ Filter,
- ▶ Steuerplatine,
- ▶ Hauptplatine,
- ▶ Heizung,
- ▶ Kondensatoren,
- ▶ Trommelriemen,
- ▶ Motor,
- ▶ Spannrolle,
- ▶ Füllstandssensor,
- ▶ Feuchtigkeitssensoren,
- ▶ Türverriegelungssensor,
- ▶ Prozessluftsensor,
- ▶ Heizungstemperatursensor,
- ▶ Heizungstemperatursicherung,

- ▶ Trommeldichtung hinten,
- ▶ Trommeldichtung vorne,
- ▶ Gebläse und
- ▶ Lüfter.

Für diese prioritären Teile sind die Summen der Indikatoren in der Tabelle 38 wiedergegeben.

Tabelle 38: Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Kondens trockner

Summen	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Anzahl BFE	798	841	778
Davon Schrauben	515	527	477
Anzahl Werkzeuge	45	44	78
Anzahl Werkzeugeinsätze	163	168	243
Anzahl Werkzeugwechsel	66	66	172
Anzahl Arbeitsschritte	488	520	566
Entnahmezeit (hh:mm:ss)	04:09:10	04:25:40	04:26:15
UVP (€)	439,00	467,01	679,00

Quelle: Eigene Darstellung

Die Summe der Entnahmezeiten stellt sich bei den drei Kondens trocknern relativ ähnlich dar. Für das Modell KDT2 des Herstellers 6 ergibt sich eine Summe von ca. 4 Stunden und 10 Minuten. Die Summen der beiden anderen Modelle liegen ca. 15 Minuten darüber und ist sehr ähnlich. Der Trockner mit der höchsten bzw. niedrigsten Summe der Arbeitsschritte, weist auch die höchste bzw. niedrigste Summe der Entnahmezeit auf. Für die Summe der Befestigungselement und die Summe der Entnahmezeit gilt diese nicht. Auch hier muss beachtet werden, dass nur eine geringe Anzahl an Geräten untersucht wurde. Eine mathematische Untersuchung der Zusammenhänge wird daher nicht vorgenommen.

Auffällig ist eine relativ hohe Anzahl an Werkzeugen, Werkzeugeinsätzen sowie Werkzeugwechseln bei dem Modell KDT1 des Herstellers 1. Dies kann darin begründet sein, dass in allen untersuchten Trocknermodellen des Herstellers 1 Torx Schrauben unterschiedlicher Größen (vorrangig 15 und 20) verbaut sind. Dies führt bei der verwendeten Zählweise auch zu einer etwas höheren Zahl Arbeitsschritte. Die praktischen Versuche haben jedoch gezeigt, dass sich durch die unterschiedlichen Schraubengrößen und dadurch bedingten Werkzeugwechsel die Entnahmezeiten nicht entscheidend erhöhen. Einschränkend ist zu beachten, dass es in diesem Fall i. d. R. um den Wechsel zwischen nur zwei Werkzeugen, die ggfs. in den Händen behalten werden können. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine noch größere Schrauben- und Werkzeugvielfalt sich negativ auf Entnahmezeiten auswirken würde.

4.5.3.2 Wärmepumpentrockner

Für die untersuchten **Wärmepumpentrockner** sind die Daten zu den prioritären Teilen in Tabelle 39 dargestellt. Wenn Bauteile in einem Trocknermodell nicht vorhanden sind, wurde n. v. für „nicht vorhanden“ angegeben.

Tabelle 39: Indikatoren prioritäre Teile, Wärmepumpentrockner

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe
BFE	10	11	5	5	28	16	53	53	7	7
Davon Schrau- ben	1	1	0	0	18	4	41	41	2	2
Werk- zeuge	2	3	2	2	2	3	5	5	2	2
WZE	2	3	2	2	6	4	13	13	2	2
WZW	1	2	1	1	1	3	7	7	1	1
AS	10	10	6	6	21	12	40	40	8	8
Zeit (hh: mm:ss)	00:03:0 0	00:03:0 0	00:03:0 0	00:02:3 0	00:13:0 0	00:05:0 0	00:27:0 0	00:27:0 0	00:04:0 0	00:04:0 0
	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger	Trom- mella- ger
BFE	25	21	23	25	28	19	50	50	55	54
Davon Schrau- ben	24	20	23	25	28	15	41	41	45	49
Werk- zeuge	2	2	4	3	1	3	6	6	3	3
WZE	5	5	6	5	5	5	14	14	11	13
WZW	3	3	5	3	0	2	8	8	4	4
AS	13	9	10	10	12	8	36	36	27	28

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Zeit (hh: mm:ss)	00:09:0 0	00:05:0 0	00:05:0 0	00:05:0 0	00:08:0 0	00:03:3 0	00:25:0 0	00:25:0 0	00:20:0 0	00:20:0 0
	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb	Flusen- sieb
BFE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Davon Schrau- ben	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Werk- zeuge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WZE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WZW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AS	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2
Zeit (hh: mm:ss)	00:00:1 0	00:00:0 5	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:0 5	00:00:1 0	00:00:1 5	00:00:1 5	00:00:1 0	00:00:1 0
	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung	Dich- tung
BFE	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Davon Schrau- ben	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Werk- zeuge	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
WZE	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
WZW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AS	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Zeit (hh: mm:ss)	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0	00:01:2 0	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0
	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung	Gegen- dich- tung

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
BFE	40	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Davon Schrau- ben	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Werk- zeuge	1	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
WZE	4	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
WZW	0	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
AS	12	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
Zeit (hh: mm:ss)	00:11:0 0	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.
	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür
BFE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Davon Schrau- ben	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Werk- zeuge	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
WZE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
WZW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
AS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Zeit (hh: mm:ss)	00:00:3 0	00:00:3 0	00:01:0 0	00:01:2 0	00:01:0 0	00:01:0 0	00:01:3 0	00:00:3 0	00:01:0 0	00:02:0 0
	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier	Schar- nier
BFE	12	27	2	2	15	16	14	14	26	27
Davon Schrau- ben	12	5	2	2	13	13	13	13	14	15
Werk- zeuge	1	2	1	1	1	1	3	3	1	3

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
WZE	4	3	1	1	2	2	4	4	2	6
WZW	0	1	0	0	0	0	2	2	0	3
AS	11	7	3	3	7	7	9	9	6	11
Zeit (hh: mm:ss)	00:05:0 0	00:05:0 0	00:01:0 0	00:01:2 0	00:04:0 0	00:04:3 0	00:09:0 0	00:09:0 0	00:05:0 0	00:09:0 0
	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase	Schließ -nase
BFE	9	28	2	2	15	14	14	14	2	2
Davon Schrau- ben	8	5	2	2	13	13	13	13	2	2
Werk- zeuge	2	2	1	1	1	1	3	3	1	1
WZE	4	3	1	1	2	2	4	4	1	1
WZW	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0
AS	10	8	3	3	7	6	9	9	3	3
Zeit (hh: mm:ss)	00:04:3 0	00:05:0 0	00:01:0 0	00:01:2 0	00:04:0 0	00:04:0 0	00:09:0 0	00:09:0 0	00:00:3 0	00:00:3 0
	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ	TSNÖ
BFE	66	62	2	3	28	51	2	2	2	2
Davon Schrau- ben	40	33	2	2	26	28	2	2	2	2
Werk- zeuge	2	2	1	1	3	2	1	1	1	1
WZE	14	11	1	1	7	4	1	1	1	1
WZW	4	1	0	0	2	2	0	0	0	0
AS	46	44	4	5	18	28	3	3	3	3

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Zeit (hh: mm:ss)	00:19:0 0	00:18:0 0	00:01:4 0	00:01:0 0	00:11:0 0	00:15:0 0	00:01:0 0	00:01:0 0	00:00:3 0	00:00:3 0
	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff	Griff
BFE	2	27	2	2	15	14	14	14	18	21
Davon Schrau- ben	2	5	2	2	13	13	13	13	14	7
Werk- zeuge	1	2	1	1	1	1	3	3	2	3
WZE	1	3	1	1	2	2	4	4	3	6
WZW	0	1	0	0	0	0	2	2	1	2
AS	3	5	3	3	6	5	8	8	7	10
Zeit (hh: mm:ss)	00:00:3 0	00:04:0 0	00:01:0 0	00:01:2 0	00:04:0 0	00:04:0 0	00:08:3 0	00:08:0 0	00:05:0 0	00:07:0 0
	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
BFE	0	0	0	n. v.	0	0	0	0	0	0
Davon Schrau- ben	0	0	0	n. v.	0	0	0	0	0	0
Werk- zeuge	0	0	0	n. v.	0	0	0	0	0	0
WZE	0	0	0	n. v.	0	0	0	0	0	0
WZW	0	0	0	n. v.	0	0	0	0	0	0
AS	3	3	3	n. v.	3	3	4	4	3	3
Zeit (hh: mm:ss)	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:1 0	n. v.	00:00:1 0	00:00:1 0	00:00:3 0	00:00:3 0	00:00:1 0	00:00:1 0
	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine	Steuer- platine
BFE	24	28	24	21	20	24	12	12	35	35

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Davon Schrauben	7	9	5	5	6	7	3	3	13	13
Werkzeuge	2	2	4	3	1	2	3	3	2	2
WZE	4	4	4	3	2	4	5	5	5	5
WZW	1	1	3	2	0	1	4	4	1	1
AS	12	12	12	12	10	11	14	14	16	16
Zeit (hh:mm:ss)	00:07:00	00:07:00	00:06:00	00:05:00	00:06:00	00:06:00	00:07:00	00:07:00	00:09:00	00:09:00
	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine	Hauptplatine
BFE	24	28	45	44	34	24	21	21	26	26
Davon Schrauben	7	9	13	12	20	7	11	11	9	9
Werkzeuge	2	2	5	4	2	2	2	2	1	1
WZE	4	4	9	8	7	4	5	5	3	3
WZW	1	1	7	6	1	1	3	3	0	0
AS	12	12	20	19	17	11	11	11	12	12
Zeit (hh:mm:ss)	00:07:00	00:07:00	00:09:00	00:07:30	00:10:00	00:06:00	00:07:00	00:10:00	00:07:00	00:06:00
	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK
BFE	22	32	28	25	31	27	23	23	88	94
Davon Schrauben	13	18	13	11	18	14	12	12	58	65
Werkzeuge	1	2	4	4	3	2	3	3	5	4
WZE	5	6	8	7	9	6	6	6	21	18

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
WZW	0	1	7	5	5	2	4	4	9	6
AS	16	22	19	19	20	18	16	16	53	50
Zeit (hh: mm:ss)	00:08:0 0	00:10:0 0	00:09:0 0	00:09:0 0	00:13:0 0	00:10:0 0	00:13:0 0	00:13:0 0	00:36:0 0	00:37:0 0
	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men	Trom- melrie- men
BFE	76	71	70	68	82	58	42	42	80	87
Davon Schrau- ben	52	52	50	49	68	41	34	34	57	63
Werk- zeuge	3	2	5	4	2	5	5	5	5	4
WZE	14	14	19	17	16	13	12	12	17	16
WZW	4	6	17	14	2	9	7	7	7	6
AS	41	37	43	42	45	36	36	36	47	46
Zeit (hh:m m:ss)	00:25:0 0	00:19:0 0	00:20:0 0	00:19:0 0	00:25:0 0	00:18:0 0	00:25:0 0	00:27:0 0	00:34:0 0	00:35:0 0
	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen	Spann- rollen- riemen
BFE	83	79	n. v.	n. v.	22	20	16	16	80	87
Davon Schrau- ben	56	54	n. v.	n. v.	16	12	12	12	57	63
Werk- zeuge	5	3	n. v.	n. v.	3	2	2	2	6	4
WZE	18	18	n. v.	n. v.	4	4	5	5	17	16
WZW	9	4	n. v.	n. v.	0	1	3	3	7	6
AS	52	48	n. v.	n. v.	14	12	12	11	46	46

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Zeit (hh: mm:ss)	00:29:0 0	00:23:0 0	n. v.	n. v.	00:08:0 0	00:08:0 0	00:09:0 0	00:09:0 0	00:34:0 0	00:36:0 0
	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR	ARGR
BFE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	21	n. v.				
Davon Schrau- ben	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	21	n. v.				
Werk- zeuge	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	1	n. v.				
WZE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	2	n. v.				
WZW	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	0	n. v.				
AS	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	5	n. v.				
Zeit (hh: mm:ss)	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	00:04:0 0	n. v.				
	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle	Spann- rolle
BFE	84	80	77	76	52	64	n. v.	n. v.	89	94
Davon Schrau- ben	56	54	52	51	41	43	n. v.	n. v.	62	68
Werk- zeuge	5	4	7	7	6	6	n. v.	n. v.	6	4
WZE	19	19	24	23	13	18	n. v.	n. v.	20	18
WZW	10	5	22	18	7	12	n. v.	n. v.	9	7
AS	54	50	53	56	34	44	n. v.	n. v.	57	56
Zeit (hh: mm:ss)	00:30:0 0	00:24:0 0	00:24:0 0	00:23:0 0	00:21:0 0	00:22:0 0	n. v.	n. v.	00:38:0 0	00:40:0 0
	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor
BFE	84	80	77	76	52	64	63	63	89	94

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Davon Schrauben	56	54	52	51	41	43	48	48	62	68
Werkzeuge	5	4	7	7	6	6	6	6	6	4
WZE	19	19	24	23	13	18	14	14	20	18
WZW	10	5	22	18	7	12	9	9	9	7
AS	54	50	53	56	34	44	45	45	57	56
Zeit (hh:mm:ss)	00:30:00	00:24:00	00:24:00	00:23:00	00:21:00	00:22:00	00:28:00	00:28:00	00:38:00	00:40:00
	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS	FSS
BFE	6	7	5	5	27	16	53	53	7	7
Davon Schrauben	1	1	0	0	18	4	41	41	2	2
Werkzeuge	2	2	2	2	2	3	5	5	2	2
WZE	2	2	2	2	6	4	13	13	2	2
WZW	1	1	1	1	1	3	7	7	1	1
AS	8	7	6	7	22	12	40	40	8	8
Zeit (hh:mm:ss)	00:02:30	00:02:00	00:03:00	00:02:30	00:14:00	00:05:00	00:27:00	00:27:00	00:04:00	00:04:00
	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS
BFE	117	6	4	3	4	7	6	6	82	91
Davon Schrauben	77	4	2	2	2	2	3	3	57	65
Werkzeuge	3	2	1	1	2	2	2	2	6	5
WZE	26	2	1	1	2	2	5	5	19	20

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
WZW	13	1	0	0	1	1	3	3	9	9
AS	70	5	8	8	5	6	9	9	52	55
Zeit (hh: mm:ss)	00:37:0 0	00:03:0 0	00:03:0 0	00:02:3 0	00:03:0 0	00:02:0 0	00:04:0 0	00:04:0 0	00:45:0 0	00:47:0 0
	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS	TVS
BFE	67	62	41	45	28	51	10	10	38	32
Davon Schrau- ben	40	33	19	20	16	28	2	2	19	13
Werk- zeuge	2	2	4	3	3	2	3	3	2	2
WZE	14	11	12	9	7	7	5	5	7	5
WZW	4	1	8	5	2	1	4	4	1	2
AS	45	44	31	25	18	28	15	15	25	19
Zeit (hh: mm:ss)	00:19:0 0	00:18:0 0	00:12:0 0	00:10:0 0	00:11:0 0	00:15:0 0	00:06:0 0	00:06:0 0	00:15:0 0	00:16:0 0
	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS	KMS
BFE	20	21	33	21	22	22	16	16	49	49
Davon Schrau- ben	12	12	15	12	16	12	12	12	28	29
Werk- zeuge	1	1	3	3	1	2	2	2	3	2
WZE	4	4	7	6	4	4	5	5	10	7
WZW	0	0	7	4	0	1	3	3	3	2
AS	15	15	16	16	14	13	12	12	31	24
Zeit (hh: mm:ss)	00:07:0 0	00:07:0 0	00:08:0 0	00:07:0 0	00:07:0 0	00:06:0 0	00:08:0 0	00:07:3 0	00:24:0 0	00:22:0 0

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT	KMS WT
BFE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	24	n. v.				
Davon Schrau- ben	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	16	n. v.				
Werk- zeuge	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	2	n. v.				
WZE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	5	n. v.				
WZW	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	1	n. v.				
AS	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	15	n. v.				
Zeit (hh:m m: ss)	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	00:07:0 0	n. v.				
	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
BFE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	36	31
Davon Schrau- ben	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	19	13
Werk- zeuge	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	2	2
WZE	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	7	5
WZW	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	1	2
AS	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	24	18
Zeit (hh: mm:ss)	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	00:15:0 0	00:17:3 0
	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS	PLS
BFE	5	5	n. v.	36	32					

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
Davon Schrauben	1	1	n. v.	19	13					
Werkzeuge	2	2	n. v.	2	3					
WZE	2	2	n. v.	7	6					
WZW	1	1	n. v.	1	3					
AS	6	6	n. v.	24	19					
Zeit (hh:mm:ss)	00:02:00	00:02:00	n. v.	00:14:00	00:16:00					
	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH	TDH
BFE	82	72	70	68	82	58	50	50	54	57
Davon Schrauben	58	56	50	49	68	41	42	42	44	48
Werkzeuge	3	2	5	4	2	5	5	5	3	3
WZE	15	14	18	17	14	15	14	14	11	12
WZW	6	4	17	14	2	9	8	8	4	4
AS	41	35	41	41	43	33	36	36	27	28
Zeit (hh:mm:ss)	00:27:00	00:19:00	00:19:00	00:19:00	00:32:00	00:30:00	00:24:00	00:24:00	00:20:00	00:19:00
	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV	TDV
BFE	76	71	70	71	82	58	42	42	80	87
Davon Schrauben	52	52	50	49	68	41	34	34	57	63
Werkzeuge	3	2	5	5	3	5	5	5	5	5
WZE	15	15	19	19	17	15	12	12	18	18

	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
WZW	7	5	19	15	3	9	7	7	8	9
AS	42	39	46	48	46	35	36	36	47	47
Zeit (hh: mm:ss)	00:27:0 0	00:21:0 0	00:23:0 0	00:22:0 0	00:27:0 0	00:30:0 0	00:29:0 0	00:26:0 0	00:40:0 0	00:41:0 0
	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse
BFE	19	18	46	36	25	12	9	9	19	19
Davon Schrau- ben	18	17	33	30	24	11	9	9	16	16
Werk- zeuge	2	2	5	5	2	2	2	2	2	2
WZE	2	2	10	9	4	2	2	2	2	
WZW	1	1	9	7	1	1	1	1	1	1
AS	4	4	20	18	9	4	4	4	5	5
Zeit (hh: mm:ss)	00:03:0 0	00:03:3 0	00:10:0 0	00:09:0 0	00:06:0 0	00:03:0 0	00:04:0 0	00:04:0 0	00:04:0 0	00:06:0 0
	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter
BFE	9	6	7	13	n. v.	9	15	15	39	33
Davon Schrau- ben	3	1	3	3	n. v.	1	12	12	20	14
Werk- zeuge	2	2	2	2	n. v.	2	2	2	2	3
WZE	3	2	4	4	n. v.	2	5	5	9	7
WZW	1	1	3	3	n. v.	1	3	3	2	3
AS	9	7	7	7	n. v.	8	11	11	26	20
Zeit (hh: mm:ss)	00:02:3 0	00:02:0 0	00:03:3 0	00:04:0 0	n. v.	00:02:3 0	00:10:0 0	00:10:0 0	00:16:0 0	00:17:0 0

Quelle: Eigene Darstellung

Bei einigen Wärmepumpentrocknern treten konstruktionsbedingte, besonders relevante Besonderheiten auf, die die Unterschiede bei den Entnahmezeiten der prioritären Teile zum Teil erklären können. Diese sind in der Tabelle 40 nachfolgenden zusammengefasst.

Tabelle 40: Besonderheiten einiger Wärmepumpentrockner

Trocknermodell und Besonderheiten

Hersteller 1, WPT2

Es waren vier Kabelbinder als nicht wiederverwendete Befestigungselemente eingesetzt, die die Demontage nicht nennenswert beeinflusst haben.

Hersteller 3, WPT4

Die Trommeldichtungen vorne und hinten konnten nicht zerstörungsfrei entnommen werden.

Hersteller 4, WPT5

Es waren mehrere Kabelbinder als nicht wiederverwendete Befestigungselemente eingesetzt, die die Demontage nicht nennenswert beeinflusst haben.

Die Pumpe konnte erst nach dem Ausbau des Motors entnommen werden.

Das Trommellager konnte erst nach dem Ausbau der Trocknerrückwand entnommen werden.

Hersteller 4, WPT6

Es waren mehrere Kabelbinder als nicht wiederverwendete Befestigungselemente eingesetzt, die die Demontage nicht nennenswert beeinflusst haben.

Die Pumpe konnte erst nach dem Ausbau des Motors entnommen werden.

Das Trommellager konnte erst nach dem Ausbau der Trocknerrückwand entnommen werden.

Die Kabelsteckverbindungen an der Hauptplatine waren schwer zu lösen, was zu einer längeren Entnahmezeit führte.

Hersteller 5, WPT7

Der Feuchtigkeitssensor konnte erst nach dem Ausbau der Trocknertrommel entnommen werden.

Die Kondensatoren konnten erst nach dem Ausbau der Trommel entnommen werden.

Die Seitenwände konnten erst nach dem Ausbau der Frontblende entnommen werden.

Das Trommellager konnte erst nach dem Ausbau der Trocknerrückwand entnommen werden.

Hersteller 5, WPT8

Der Feuchtigkeitssensor konnte erst nach dem Ausbau der Trocknertrommel entnommen werden.

Trocknermodell und Besonderheiten

Die Seitenwände konnten erst nach dem Ausbau der Frontblende entnommen werden.

Das Trommellager konnte erst nach dem Ausbau der Trocknerrückwand entnommen werden.

Quelle: Eigene Darstellung

Wie schon bei Abluft- und Kondenstrocknern kommen konstruktionsbedingt nicht alle prioritären Teile in allen Wärmepumpentrocknern vor. Darüber hinaus werden einige Türen als Module gewechselt. Die Türkomponenten werden daher wiederum nicht für einen vereinfachten Vergleich herangezogen. In Bezug auf die Wärmepumpentrockner, können die Indikatoren der folgenden prioritären Teile für den vereinfachten Vergleich addiert werden:

- ▶ Pumpe,
- ▶ Trommellager,
- ▶ Tür,
- ▶ Türschließnasenöffnung,
- ▶ Steuerplatine,
- ▶ Hauptplatine,
- ▶ Kondensatoren,
- ▶ Trommelriemen,
- ▶ Motor,
- ▶ Füllstandssensor,
- ▶ Feuchtigkeitssensoren,
- ▶ Türverriegelungssensor,
- ▶ Kühlmittelsensor,
- ▶ Trommeldichtung hinten,
- ▶ Trommeldichtung vorne und
- ▶ Gebläse.

Für diese prioritären Teile sind die Summen der Indikatoren in der Tabelle 41 wiedergegeben.

Tabelle 41: Summe Indikatoren für vergleichbare prioritäre Teile, Wärmepumpentrockner

Summen	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
BFE	720	592	545	518	575	509	454	454	713	743

Summen	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Davon Schrauben	460	373	329	319	439	300	337	337	473	509
Werkzeuge	36	33	58	52	36	47	56	56	49	44
WZE	146	117	143	130	120	108	127	127	150	142
WZW	58	31	123	95	28	57	75	75	58	54
AS	432	348	338	335	337	302	356	356	421	408
Zeit (hh:m m:ss)	03:51:00	02:47:00	02:36:40	02:25:20	03:28:00	02:57:30	03:56:30	03:57:00	05:01:30	05:08:30
UVP (€)	1049,00	648,00	889,00	999,00	799,00	549,00	955,00	869,00	681,00	1022,55

Quelle: Eigene Darstellung

Die Summen der Entnahmezeiten für die Wärmepumpentrockner zeigen größere Abweichungen. Sie schwanken zwischen ca. 2 Stunden und 25 Minuten (Hersteller1, WPT2) und etwas über 5 Stunden (WPT7 sowie WPT8 des Herstellers 5). Insgesamt schneiden die beiden Modelle des Hersteller 1 am besten ab, gefolgt von dem Modell WPT10 des Herstellers 6. Die weiteren Modelle des Hersteller 6 sowie die Modelle der Hersteller 2, Hersteller 3 und Hersteller 4 liegen im Mittelfeld. Die beiden Modelle des Hersteller 5 weisen auffällig hohe Summen der Entnahmezeiten auf.

Die großen Abweichungen bei den Summen der Entnahmezeiten, kommen durch die Einbausituationen von prioritären Teilen zu Stande. Wenn diese Teile nicht über die Trocknerseite zugänglich sind, hinter der sie verbaut sind, oder es wurden keine Klappen o.ä. für den Zugang vorgesehen, führt dies zu höheren Entnahmezeiten. Die hohen Zeiten bei den Modellen des Herstellers 5 erklären sich z. B. zum Teil dadurch, dass das Trommellager nicht von hinten / von der Rückwand aus zugänglich ist. Die Trocknerrückwand wiederum, kann nicht entnommen werden, ohne dass vorher die Seitenwände gelöst werden. Darüber hinaus konnten bei diesen Modellen die Feuchtigkeitssensoren nicht durch die Trocknertrommel entnommen werden. Stattdessen musste die Frontblende entfernt werden.

Darüber hinaus hat es sich als günstig erwiesen, wenn Bauteile über Wartungsklappen gesondert zu erreichen sind. Dies war mehrfach für Filter, Lüfter oder Pumpen umgesetzt und wird als günstig bewertet. Umgekehrt kommt es bei Modellen, die keine Wartungsklappen haben zu höheren Entnahmezeiten bei den genannten Teilen.

Zwischen der Summe der Entnahmezeiten und der Summe der Arbeitsschritte ist bei den Wärmepumpentrocknern ein linearer Zusammenhang erkennbar. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,759$. Wenn man die Summe der Befestigungselement und die Summe der Entnahmezeiten betrachtet, beträgt der Korrelationseffizient $r = 0,573$. Dieser lineare Zusammenhang ist also schwächer. Bei den Wärmepumpentrocknern in dieser Untersuchung erscheinen daher nur

die Arbeitsschritte als Indikator geeignet die Entnahmezeiten annähernd abzubilden. Wie bei den anderen Druckern und Trocknern, muss dabei beachtet werden, dass die Zahl der untersuchten Geräte gering ist.

Zwischen dem UVP der einzelnen Wärmepumpentrockner und der Summe der Entnahmezeiten lässt sich kein Zusammenhang feststellen ($r = 0,182$).

4.5.3.3 Schlussfolgerungen für Indikatoren

Die Ergebnisse der praktischen Untersuchungen zu Trocknern bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse zu den Druckern.

Auch hier ist die Frage relevant, bei welchen Indikatoren es einen (möglichst linearen) Zusammenhang zur Demontagezeit gibt. Bei den Abluft- und Kondentrocknern kann diese Frage aufgrund der geringen Gerätezahl nicht beantwortet werden. Bei den Wärmepumpentrocknern gibt es, wie zuvor beschrieben, sowohl für die Befestigungselemente als auch für die Arbeitsschritte ein linearer Zusammenhang zur Demontagezeit. Allerdings der Zusammenhang zwischen Anzahl Arbeitsschritte und der Demontagezeit stärker. Dies war auch bei den Laserdruckern der Fall (s. dazu Kapitel 4.4.3.3).

Nach einer Gesamtbetrachtung der Drucker und Trockner, die in diesen Fallstudien untersucht wurden, wird daher die Zahl der Arbeitsschritte favorisiert, um als Indikator in einem Bewertungssystem stellvertretend für die Demontagezeit zu stehen. Dies ist in der optimierten Reparierbarkeitsmatrix (s. Kapitel 5.1.1) umgesetzt.

Die Sichtbarkeit von Befestigungselementen ist nach den Ergebnissen für Trockner kein relevanter Indikator. Alle Befestigungselemente waren gut sichtbar und identifizierbar. Das war auch für die Drucker der Fall. Dieser potentielle Indikator sollte daher nach den Erkenntnissen für beide Gerätegruppen nicht in die optimierte Reparierbarkeitsmatrix aufgenommen werden.

Bei den Trocknern hat sich ebenfalls bestätigt, dass viele Operationen mit vielen unterschiedlichen Werkzeugen durchgeführt werden können. Daher sollte nach den Erkenntnissen zu Druckern und Trocknern, in der Reparaturmatrix bewertet werden, ob für die Reparatur Werkzeuge notwendig sind, die einzelnen Zielgruppen nicht verfügbar sind.

Eine besondere Arbeitsumgebung war für die ausgeführten Arbeiten an Trocknern nicht erforderlich. Alle Arbeiten hätten auch beim Kunden durchgeführt werden können. Auch nach den Ergebnissen für Trockner, bietet sich die Arbeitsumgebung nicht als Indikator für eine optimierte Reparierbarkeitsmatrix an, da sie keine Unterschiede zwischen den Herstellern abbildet. Allerdings sollte generell die Anforderung gestellt werden, dass Trockner auch im Privathaushalt repariert werden können.

Zu notwendigen Kenntnisse ist zu sagen, dass die durchgeführten Arbeiten auch von Laien hätten erledigt werden können. Dann wäre ggf. mit längeren Entnahmezeiten zu rechnen. Dies entspricht der Situation bei den Druckern. Nach den Erkenntnissen für beide Gerätegruppen erscheint die Aufnahme des Indikators Kenntnisse in ein Bewertungssystem daher nicht zielführend.

In eine optimierte Reparaturmatrix aufgenommen werden sollten dagegen die Indikatoren Arbeitsschritte (bzw. Demontagetiefe), Befestigungsart (Art der verwendeten Befestigungselemente) und Art des Werkzeugs. Mit Art des Werkzeugs ist in diesem Zusammenhang gemeint, welcher Zielgruppe es zur Verfügung steht.

Aus den Fallstudien zu Trocknern wird zusätzliche ein weiterer Indikator für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix abgeleitet: Die Lösbarkeit von Seitenwänden. In Bezug auf die Trockner kann allerdings festgehalten werden, dass bei einem vereinfachten Vergleich der Entnahmezei-

ten über alle prioritären Teile, die in allen Modellen vorhanden sind, die Trockner gut abschneiden bei denen alle Seiten unabhängig voneinander zugänglich sind. Daher wird es als günstig für Reparaturen von Trocknern angesehen, wenn sich jede Seitenwand sowie Frontblende und Rückwand entnehmen lassen, ohne dass zuvor eine andere Seitenwand (bzw. Frontblende, Rückwand) gelöst werden muss. Nach den Ergebnissen der Fallstudien, erscheint es sinnvoll, einen derartigen Indikator in eine Reparierbarkeitsmatrix für Trockner aufzunehmen. Der Indikator sollte also bewerten wie viele Seitenwände des Trockners unabhängig von allen anderen Seitenwänden gelöst werden können. Der Indikator sollte für Trockner und ähnliche Haushalts- großgeräte angewendet werden.

4.5.4 Recherchen

Neben den praktischen Untersuchungen wurden Informationen zu mehreren möglichen Indikatoren recherchiert und ausgewertet, z. B. in Benutzerhandbüchern, auf Internetseiten und durch Anfragen bei Herstellern.

Das allgemeine Vorgehen bei den Recherchen ist im Kapitel 4.3 beschrieben. Besonderheiten beim Vorgehen und bei der Informationsbeschaffung sind in den nachfolgenden Unterkapiteln einleitend beschrieben. Weiterhin sind die Rechercheergebnisse zu möglichen Indikatoren dargestellt. Darüber hinaus wird zu den möglichen Indikatoren eine kurze Bewertung gegeben, ob die Ergebnisse für Trockner eine Aufnahme in ein Bewertungssystem für die Reparierbarkeit unterstützen oder nicht. Eine Gesamtbewertung nach den Ergebnissen von Druckern und Trocknern wird im Kapitel 5 gegeben.

4.5.4.1 Ersatzteile

So wie bei den Druckern, wurde auch bei den Trocknern der Prozess nachgestellt, verschiedene Ersatzteile für Reparaturen zu beziehen. Die dafür benötigten Informationen wurden beschafft und dokumentiert. Dazu gehören insbesondere Verfügbarkeiten, Lieferzeiten und Kosten. Besondere Herausforderungen und Unterschiede zwischen Herstellern und Modellen wurden festgehalten und sind nachfolgend in diesem Unterkapitel dargestellt.

4.5.4.1.1 Auswahl der Ersatzteile

Um die große Zahl möglicher Ersatzteile einzuschränken, wurden für die weiteren Recherchen gezielt einige Teile ausgewählt.

Für zwei ausgewählte Wärmepumpentrockner wurden Informationen zu allen Ersatzteilen recherchiert, um die optimierte Reparierbarkeitsmatrix konkret auf diese Geräte anzuwenden. Die Informationen zu den Ersatzteilen sind im Anhang A dargestellt. Die Ergebnisse der Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix ist im Kapitel 6 dargestellt. Um alle Trockner anhand der optimierten Bewertungsmatrix bewerten zu können, wären Informationen zu prioritären Teilen für alle Geräte notwendig.

An dieser Stelle erfolgte die Auswahl der Ersatzteile nach technischen Eigenschaften. Es wurde darauf geachtet, dass Teile mit verschiedenen Eigenschaften ausgewählt wurden, deren Austausch mehr oder weniger Aufwand und technisches Wissen bedingt. Mit Tabelle 42 wird eine Übersicht über die ausgewählten Teile gegeben.

Tabelle 42: Ausgewählte Ersatzteile

Ausgewähltes Teil	Eigenschaften
Kondenswasserpumpe (bei Wärmepumpentrocknern)	I. d. R. zugänglich, ohne das Gehäuse des Trockners zu öffnen (über eine Klappe an der Trocknerrückseite). Austausch erfordert i. d. R. relativ mehr technisches Wissen. Laut Kurzbefragung der Reparateure wird dieses Ersatzteil relativ häufig repariert.
Trommellager	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. teilweiser Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Tür	I. d. R. zugänglich, ohne das Gehäuse des Trockners zu öffnen und mit relativ wenig technischem Wissen zu wechseln.
Motorkondensatoren	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Trommelriemen	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Motor	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Feuchtigkeitssensor	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.
Gebläse	Austausch erfordert i. d. R. mehr Aufwand inkl. Öffnung des Gehäuses und relativ mehr technisches Wissen.

Quelle: Eigene Darstellung

4.5.4.1.2 Informationsbeschaffung

Um die Verfügbarkeit, Lieferzeiten und Kosten der ausgewählten Trocknerersatzteile zu überprüfen, wurden diese Rechenschritte kaskadierend durchgeführt:

- ▶ Recherche auf Internetseiten (Hersteller und autorisierte Vertragspartner*innen),
- ▶ Schriftliche Anfragen (E-Mail und ggf. Chat-Anfragen) bei Herstellern und autorisierten Vertragspartner*innen und
- ▶ Telefonische Nachfragen bei Herstellern und autorisierten Vertragspartner*innen.

4.5.4.1.3 Identifizierbarkeit von Ersatzteilen

Wie bei Druckern beschrieben, ist die erste Voraussetzung zur Beschaffung von Ersatzteilen, dass diese eindeutig identifiziert werden und mittels einer eindeutigen (Artikel)-nummer bestellt werden können. Die Identifizierung war bei den Trocknern genauso herausfordernd wie bei den Druckern. Auch hier hängt die Identifizierbarkeit von Ersatzteilen im Wesentlichen davon ab, ob eine Explosionszeichnung inkl. eindeutiger (Artikel)nummern zur Verfügung gestellt wird. Diese Explosionszeichnung gehört zu den Informationen, die für einige Geräte zur Verfügung gestellt werden. Dieser Aspekt wird daher in dem Kapitel 4.5.4.2.4 näher ausgeführt.

4.5.4.1.4 Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Es wurde untersucht, ob die ausgewählten Ersatzteile (s. Tabelle 42) für Reparaturen zur Verfügung stehen. Dies gilt zunächst unabhängig von den Ersatzteilkosten oder den Lieferzeiten. Dabei wurde jeweils angefragt und unterschieden, ob die Teile den drei Zielgruppen Privatperso-

nen, fachlich kompetenten Reparatur*innen und Vertragspartner*innen (vgl. Kapitel 4.3) zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse für Ablufttrockner zeigen, dass für die beiden Modelle ALT1 (Hersteller 1) und ALT2 (Hersteller 4) alle der betrachteten Ersatzteile für alle drei Zielgruppen zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse zur Verfügbarkeit der ausgewählten Ersatzteile für Kondensrockner sind in der Tabelle 43 zusammengefasst.

Tabelle 43: Verfügbarkeit der Ersatzteile für Kondensrockner

Zielgruppe	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
	Trommellager	Trommellager	Trommellager
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Nein	Nein	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Tür	Tür	Tür
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Ja	Ja	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Motorkondensatoren	Motorkondensatoren	Motorkondensatoren
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Nein	Nein	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Nein	Nein	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Motor	Motor	Motor
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja

Zielgruppe	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Fachlich kompetente Reparateur*innen	Nein	Nein	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Feuchtigkeitssensor	Feuchtigkeitssensor	Feuchtigkeitssensor
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*innen	Ja	Ja	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja
	Gebläse	Gebläse	Gebläse
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparateur*innen	Nein	Nein	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Die Betrachtung der Tabelle zeigt, dass nur die Tür und der Feuchtigkeitssensor von allen Herstellern für alle Modelle und Zielgruppen zur Verfügung gestellt wird. Der Hersteller 1 macht auch alle weiteren Ersatzteile für alle Zielgruppen verfügbar. Der Hersteller 6 stellt die weiteren Ersatzteile nur Vertragspartnern zur Verfügung. Hier zeichnet sich ab, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen von dem jeweiligen Hersteller abhängt. Alle betrachteten Ersatzteile sind mindestens für Vertragspartner*innen verfügbar.

Die Ergebnisse zur Verfügbarkeit der ausgewählten Ersatzteile für Wärmepumpentrockner sind in der Tabelle 44 zusammengefasst.

Tabelle 44: Verfügbarkeit der Ersatzteile für Wärmepumpentrockner

Zielgruppe	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein

Zielgruppe	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja
Vertragspartner*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein

Zielgruppe	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS
Privatpersonen	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse	Gebläse
Privatpersonen	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*in	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*in	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Die Betrachtung der Tabelle 44 zeigt, dass keines der betrachteten Ersatzteile über alle Modelle für alle Zielgruppen zu Verfügung steht. Die Kondenswasserpumpe, das Trommellager, der Trommelriemen und der Motor sind die Teile, die immerhin für alle Vertragspartner*innen zur Verfügung gestellt werden. Mit dem WPT9 des Herstellers 6 fällt ein Trocknermodell dadurch auf, dass selbst für Vertragspartner nur vier der ausgewählten Ersatzteile zur Verfügung stehen.

Weiterhin fällt auf, dass zwei Hersteller für ihre Wärmepumpentrockner alle ausgewählten Ersatzteile allen drei Zielgruppen zur Verfügung stellen. In der Gesamtbetrachtung wird klar, dass diese sehr gute Ersatzteilversorgung von genau diesen Herstellern auch bei den Kondens- und Ablufttrocknern umgesetzt wird.

Auch bei weiteren Herstellern fällt auf, dass die Verfügbarkeit eines Ersatzteils häufiger bei verschiedenen Modellen für die drei Zielgruppen gleich ist. Das gilt auch bei der gemeinsamen Betrachtung von Kondens- und Wärmepumpentrocknern.

Es bestätigt sich also, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen bei den Trocknern, anders als bei Druckern, in erster Linie von der Politik der Hersteller und nur nachrangig vom Modell abhängig ist.

Im Laufe der Anfragen wurden von Servicemitarbeiter*innen Gründe für die zum Teil restriktive Ersatzteilmolitik angegeben. Mehrfach wurde mitgeteilt, dass der Hersteller keine sicherheitsrelevanten Ersatzteile für Privatpersonen oder Reparatur*innen, die nicht Vertragspartner sind, verfügbar machen würde. Drei Trocknerhersteller fügen übereinstimmend das Argument an, dass sich Privatpersonen durch Reparaturen gefährden würden, wenn sie Zugriff auf mehr Ersatzteile haben. Klare Definitionen solcher sicherheitsrelevanten Teile konnten nicht gegeben werden. Einige Mitarbeiter*innen sagten, dass alle „inneren“ Ersatzteile nicht zur Verfügung gestellt werden. Die Begründung ist wenig einsichtig, da auch Ersatzteile betroffen sind, an denen keine 220 V Spannung anliegt. Zudem können Privatpersonen, die Ersatzteile auch für andere Akteure beziehen, z. B. von Ihnen beschäftigte fachlich kompetente Reparatur*innen. Diese sind in der Lage alle Arten von Reparaturen durchzuführen. Außerdem zeigen einige Hersteller, dass eine kund*innenfreundliche Ersatzteilmolitik umgesetzt werden kann, ohne sich auf eine Sicherheitsrelevanz zu berufen. Da das Argument einer Sicherheitsrelevanz systematisch verwendet wird, um eine restriktive Ersatzteilversorgung zu begründen, sollte angedacht werden, die Ersatzteilmolitik des Herstellers in ein Bewertungssystem für Reparierbarkeit zu integrieren (zur möglichen Umsetzung s.).

4.5.4.1.5 Dauer der Verfügbarkeit

Wie bereits erläutert, ergab die Fallstudie bei Druckern, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zeitlich sehr flexibel gehandhabt wird und stark von den Verkaufszahlen von Druckermodellen abhängt. Daher wurden die Hersteller auch dazu befragt, ob sie die Verfügbarkeit von Ersatzteilen für eine bestimmte Dauer, nachdem das Gerät auf den Markt gekommen ist, garantieren. Diese Anfrage wurde auch bei den Trocknern durchgeführt.

Im Gegensatz zu den Druckerherstellern, bei denen kein Hersteller eine Verfügbarkeitsdauer garantiert, kommen solche Garantien bei Trocknerherstellern vor. Dabei gibt es große Unterschiede zwischen den Herstellern. Hersteller 4 sagt zu, dass die Ersatzteile, die zur Verfügung gestellt werden, 15 Jahre lang zu beziehen sind. Hersteller 1 sagt dies für zehn Jahre zu. Bei den weiteren vier Herstellern beträgt die garantierte Verfügbarkeit jeweils zwei Jahre. Bei den beiden Herstellern mit einer längeren zugesagten Ersatzteilverfügbarkeit, handelt es sich um die Hersteller, die auch eine umfassende Verfügbarkeit von Ersatzteilen für Privatpersonen umsetzen.

Die Ergebnisse zu Trockner zeigen noch einmal, dass die Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen in ein Bewertungssystem für Reparierbarkeit eingehen sollte. Wenn bereits nach kurzer Zeit, keine Ersatzteile mehr bezogen werden können, schränkt dies die Reparierbarkeit von Geräten stark ein. Bei der Bewertung von Reparierbarkeit sollte daher das Gerät, für das ein Hersteller eine Ersatzteilverfügbarkeit über einen längeren Zeitraum zusagt, für diese Zusage besser bewertet werden als ein Gerät, bei dem keine oder nur eine kurze Ersatzteilverfügbarkeit garantiert wird (zur möglichen Umsetzung in einer Reparierbarkeitsmatrix s. Kapitel 5.2.3).

4.5.4.1.6 Lieferzeit

Wie zu den Druckern erläutert, kann neben der Verfügbarkeit von Ersatzteilen auch deren Lieferzeit beeinflussen, ob sie in der Praxis zur Verfügung stehen.

Die Lieferzeiten für Privatpersonen wurden für die ausgewählten Ersatzteile von den Trocknerherstellern und autorisierten Vertragspartnern erfragt.

Die Ergebnisse für Ablufttrockner zeigen, dass die Lieferzeiten für der ausgewählten Ersatzteile alle bei ein bis zwei Tagen liegen. Dies scheint darin begründet, dass die beiden betrachteten Ablufttrockner von den beiden Herstellern produziert werden, die insgesamt die kundenfreundlichsten Ersatzteilstrategien haben.

Die Ergebnisse für Kondenstrockner sind in der Tabelle 45 zusammengestellt. Dabei steht „k. V.“ für keine Verfügbarkeit und „k. A.“ für keine Angabe.

Tabelle 45: Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile bei Kondenstrocknern

Ersatzteil	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Trommellager	k. A.	k. A.	1 – 2
Tür	7	7	1 – 2
Motorkondensatoren	k. A.	k. A.	1 – 2
Trommelriemen	k. A.	k. A.	1 – 2
Motor	k. A.	k. A.	1 – 2
Feuchtigkeitssensor	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Gebläse	k. A.	k. A.	1 – 2

Quelle: Eigene Darstellung

Die Lieferzeiten für das Modell des kundenfreundlichen Herstellers liegen auch hier bei ein bis zwei Tagen. Bei dem weiteren Hersteller sind es ein bis zwei Tage oder eine Woche. Dieser Hersteller hat zu vielen Lieferzeiten keine Angaben gemacht, was damit zusammenhängen kann, dass diese Teile nicht für Privatpersonen verfügbar sind.

Die Lieferzeiten (für Privatpersonen) für ausgewählte Ersatzteile von Wärmepumpentrocknern sind in der Tabelle 46 angegeben.

Tabelle 46: Lieferzeiten (in Tagen) der Ersatzteile bei Wärmepumpentrocknern

Ersatzteil	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Kondenswasserpumpe	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Trommellager	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Tür	k. v.	k. v.	1 – 2	14 – 21	k. v.	k. A.	1 – 2	1 – 2	14 – 21	14 – 21
Motorkondensatoren	k. v.	k. A.	1 – 2	1 – 2	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Trommelriemen	k. A.	k. A.	14 – 21	1 – 2	2 – 3	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2

Ersatzteil	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Motor	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	k. A.	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Feuchtigkeitssensor	k. v.	1 - 2	1 - 2	1 - 2	2 - 3	k. A.	1 – 2	1 – 2	1 - 2	1 - 2
Gebläse	k. v.	k. A.	1 - 2	1 - 2	k. A.	k. A.	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Lieferzeiten liegen die Modelle der Hersteller durchgängig bei ein bis zwei Tagen, die auch eine gute Ersatzteilverfügbarkeit haben. Weitere Hersteller geben bei einigen Ersatzteilen ebenfalls ein bis zwei Tage an, bei anderen liegen sie bei zwei bis drei Wochen. Auffällig ist, dass drei Hersteller bei mehreren Ersatzteilen keine Angaben zur Lieferzeit gemacht haben.

Im Vergleich mit den Druckern gibt es bei den Lieferzeiten von Ersatzteilen für Trockner weniger große Ausreißer nach oben. Lieferzeiten von acht bis zehn Wochen kommen bei den Trocknern nicht vor. Dennoch zeigen sich deutliche Unterschiede bei den Lieferzeiten der verschiedenen Trocknermodelle. Dies gilt insbesondere bei Wärmepumpentrocknern, bei denen Modelle von mehreren verschiedenen Herstellern Teil der Fallstudie sind.

Es ist ein Unterschied, ob Trockner mindestens ein bis zwei Tage oder zwei bis drei Wochen länger ausfallen, da ein Ersatzteil geliefert werden muss. Dieser Indikator sollte daher auch nach den Ergebnissen für Trockner in einer Reparierbarkeitsmatrix bewertet werden.

4.5.4.1.7 Kosten

Neben sehr langen Lieferzeiten können auch sehr hohe Kosten für Ersatzteile deren tatsächliche Verfügbarkeit einschränken. Für die Fallstudie wurden die Kosten der ausgewählten Trocknerersatzteile (s. Tabelle 42) erfragt.

Die Kosten für Ablufttrockner sind in der nachfolgenden Tabelle 47 dargestellt. Angegeben werden die absoluten Kosten in Euro sowie die Kosten in Prozent der UVP. (Bei allen angegebenen Preisen, handelt es sich um Bruttopreise.) Die UVP wird in der Tabelle 47 herangezogen, da Angebotspreise veränderlich sein können.

Tabelle 47: Preise (in Euro) der Ersatzteile bei Ablufttrocknern

Ersatzteil	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2
UVP (€)	589,00	778,86
	Trommellager	Trommellager
Brutto (€)	17,90	33,20
in % von UVP	3,04	4,26
	Tür	Tür

Ersatzteil	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2
Brutto (€)	57,60	206,71
in % von UVP	9,78	26,54
	Motorkondensatoren	Motorkondensatoren
Brutto (€)	6,99	17,37
in % von UVP	1,19	2,23
	Trommelriemen	Trommelriemen
Brutto (€)	19,60	39,03
in % von UVP	3,33	5,01
	Motor	Motor
Brutto (€)	124,60	428,40
in % von UVP	21,15	55,00
	Feuchtigkeitssensor	Feuchtigkeitssensor
Brutto (€)	6,05	36,60
in % von UVP	1,03	4,70
	Gebläse	Gebläse
Brutto (€)	6,76	40,10
in % von UVP	1,15	5,15

Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Ersatzteilen der Ablufttrockner gibt es große Schwankungsbreiten. Die meisten der betrachteten Teile kosten bis zu ca. 5% der UVP. Die Tür und der Motor sind die Teile, die bei beiden Herstellern mehr kosten. Besonders hoch ist der Preis für den Motor beim ALT2 von Hersteller 4, der absolut ca. 430 € kostet. Dies sind 55% von der UVP dieses Trockners.

Die Kosten für Kondentrockner sind in der nachfolgenden Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48: Preise (in Euro) der Ersatzteile bei Kondentrocknern

Ersatzteil	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
UVP (€)	439,00	467,01	679,00

Ersatzteil	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
	Trommellager	Trommellager	Trommellager
Brutto (€)	13,70	13,70	17,90
in % von UVP	3,12	2,93	2,64
	Tür	Tür	Tür
Brutto (€)	37,84	37,84	71,33
in % von UVP	8,62	8,10	10,51
	Motorkondensatoren	Motorkondensatoren	Motorkondensatoren
Brutto (€)	13,70	13,70	6,69
in % von UVP	3,12	2,93	0,99
	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen
Brutto (€)	15,72	15,72	11,60
in % von UVP	3,58	3,37	1,71
	Motor	Motor	Motor
Brutto (€)	82,81	82,81	124,93
in % von UVP	18,86	17,73	18,40
	Feuchtigkeitssensor	Feuchtigkeitssensor	Feuchtigkeitssensor
Brutto (€)	11,90	11,90	7,25
in % von UVP	2,71	2,55	1,07
	Gebläse	Gebläse	Gebläse
Brutto (€)	12,68	12,68	6,50
in % von UVP	2,89	2,72	0,96

Quelle: Eigene Darstellung

Die Preise der ausgewählten Ersatzteile für Kondentrockner haben eine geringere Schwankungsbreite als die für Ablufttrockner. Die Türen und Motoren sind wieder die Ersatzteile mit vergleichsweise höheren Preisen. In Prozent der UVP werden bei den Türen bis zu ca. 10% und bei den Motoren knapp unter 20% der UVP erreicht.

Die Kosten für die ausgewählten Ersatzteile für Wärmepumpentrockner sind in der nachfolgenden Tabelle 49 aufgeführt.

Tabelle 49: Preise der Ersatzteile bei Wärmepumpentrocknern

Preis	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
UVP (€)	1049,00	648,00	889,00	999,00	799,00	549,00	955,00	869,00	681,00	1022,55
	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe	Pumpe
Brutto (€)	43,69	45,71	30,45	56,50	125,00	159,00	112,69	112,69	58,78	58,92
in % von UVP	4,16	7,05	3,43	5,66	15,64	28,96	11,80	12,97	8,63	5,76
	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager	Trommellager
Brutto (€)	16,76	16,96	14,45	17,90	190,00	159,00	14,64	14,64	49,95	40,28
in % von UVP	1,60	2,62	1,63	1,79	23,78	28,96	1,53	1,68	7,33	3,94
	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür	Tür
Brutto (€)	k. v.	k. v.	49,36	93,71	k. v.	159,00	197,54	197,54	121,13	451,93
in % von UVP	k. v.	k. v.	5,55	9,38	k. v.	28,96	20,68	22,73	17,79	44,20
	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK	MK
Brutto (€)	k. v.	29,16	7,21	6,69	20,43	159,00	31,06	31,06	33,95	15,26
in % von UVP	k. v.	4,50	0,81	0,67	2,56	28,96	3,25	3,57	4,99	1,49
	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen	Trommelriemen
Brutto (€)	25,17	15,37	14,45	16,20	23,57	159,00	39,03	39,03	59,95	49,41

Preis	Her- steller 6, WPT9	Her- steller 6, WPT10	Her- steller 1, WPT1	Her- steller 1, WPT2	Her- steller 2, WPT3	Her- steller 3, WPT4	Her- steller 4, WPT5	Her- steller 4, WPT6	Her- steller 5, WPT7	Her- steller 5, WPT8
in % von UVP	2,40	2,37	1,63	1,62	2,95	28,96	4,09	4,49	8,80	4,83
	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor	Motor
Brutto (€)	92,39	79,00	140,31	140,31	109,20	159,00	337,96	337,96	176,95	127,81
in % von UVP	8,81	12,19	15,78	14,05	13,67	28,96	35,39	38,89	25,98	12,50
	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS	FKS
Brutto (€)	k. v.	11,90	6,51	7,25	30,13	159,00	33,70	33,70	12,95	10,06
in % von UVP	k. v.	1,84	0,73	0,73	3,77	28,96	3,53	3,88	1,90	0,98
	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse	Ge- bläse
Brutto (€)	k. v.	16,96	7,06	7,06	33,57	159,00	47,01	47,01	39,95	29,62
in % von UVP	k. v.	2,62	0,79	0,71	4,20	28,96	4,92	5,41	5,87	2,90

Quelle: Eigene Darstellung

Bezüglich der angegebene Ersatzteilpreise für den Vertragspartner von Hersteller 3 ist anzumerken, dass dieser grundsätzlich und unabhängig vom defekten Bauteil eine Kostenpauschale in Höhe von 159,00 € veranschlagt. Die Befragung ergab, dass der Vertragspartner über keine Ersatzteilpreislise verfügt und stattdessen mit dem Pauschalpreis arbeitet. Daher ist für jedes Ersatzteil für das entsprechende Modell ein Preis von fast 30% der UVP angegeben. In den meisten Fällen ist dies der deutlich höchste Preis im Vergleich mit den anderen Modellen. Bei dem Motor wird allerdings von zwei weiteren Modellen ein Preis von fast 40% der UVP erreicht. Bei der Tür liegt ein Modell über dem prozentualen Preis (fast 30%) des Trockners WPT4 von Hersteller 3. Bei WPT8 von Hersteller 5 werden 44% der UVP für eine Tür fällig. Türen erreichen außerdem bei zwei weiteren Modellen mehr als 20% der UVP.

Über alle Trocknertypen betrachtet, sind Türen und Motoren tendenziell die Ersatzteile mit den absoluten, sowie als Prozent der UVP, höchsten Kosten. Bei diesen Ersatzteilen, kommen auch bei Trocknern Ersatzteilpreise in Dimensionen vor, die Reparaturen verhindern können. Ersatzteilkosten sollten nach den Erfahrungen zu dieser Produktgruppe in eine Bewertung von Reparierbarkeit einfließen. Bei den Trocknern werden allerdings nicht die Dimensionen erreicht, die zum Teil bei den Druckern festgestellt wurden.

4.5.4.2 Reparaturrelevante Informationen

In diesem Kapitel werden kurz die Rechercheergebnisse zur Verfügbarkeit von Informationen, die für Reparaturen und Fehlerbehebungen relevant sind, dargestellt.

4.5.4.2.1 Informationsbeschaffung

Um zu recherchieren, welche reparaturrelevanten Informationen die Hersteller welchen Zielgruppen anbieten, wurden, wie schon bei den Druckern, folgende Rechschritte durchgeführt:

- ▶ Suche auf den Internetseiten des Herstellers und Auswertung der Informationen,
- ▶ schriftliche Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartner*innen,
- ▶ telefonische Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartner*innen und
- ▶ Recherche auf weiteren Internetseiten und Auswertung der Informationen zur Einschätzung der Bedeutung von Informationsmaterialien.

Die Suche auf den Internetseiten diente einleitend dazu, zu überprüfen, welche Handbücher und Dokumentationen sowie weiteren Informationen dort angeboten werden. Die gefundenen Benutzerhandbücher und Dokumentationen wurden anschließend nach Informationen, die Reparaturen dienen, durchsucht. Der Begriff „Benutzerhandbuch“ wird nachfolgend synonym für ähnliche von den Herstellern verwendete Begriffe gebraucht, wie z. B. Online-Handbuch, Benutzerhandbuch, Bedienungsanleitung etc.). Schriftliche und telefonische Anfragen erfolgten in allen Fällen in Bezug auf Reparaturanleitungen und Schaltpläne, da diese nicht öffentlich verfügbar waren. Telefonische Anfragen wurden durchgeführt, wenn schriftliche Anfragen nicht zu Ergebnissen führten. Über die Informationsbeschaffung bei den Herstellern hinaus, wurde auf Internetseiten von Drittanbietern nach reparaturrelevanten Informationen gesucht. In Bezug auf die Trockner brachte diese Suche keine Treffer.

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird erläutert, inwieweit reparaturrelevante Informationen zu den untersuchten Trocknermodelle von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden und ob es Unterschiede zwischen Herstellern und Trocknermodellen gibt. Wenn relevant, wird kurz aufgezeigt, ob sich die Informationen im Rahmen der Fallstudien als notwendig und hilfreich erwiesen haben und welche Herausforderungen ggfs. auftreten, wenn diese Informationen nicht zur Verfügung stehen.

4.5.4.2.2 Benutzerhandbücher und Einrichtungsanweisungen

Es wurde untersucht, welche Informationen von den Herstellern standardmäßig auf Internetseiten zur Verfügung gestellt werden. Fast alle Hersteller stellen für alle untersuchten Trocknermodelle auf ihren Internetseiten Benutzerhandbücher und Kurzanleitungen zur Verfügung.

Wie schon bei den Druckern, ergab die Auswertung dieser Dokumente, dass diese kaum oder keine reparaturrelevanten Informationen enthalten. Eine Ausnahme bilden zum Teil Fehlercodetabellen, die in einigen Benutzerhandbüchern mit enthalten sind.

Auch nach den Ergebnissen zu Trocknern, sollte daher die Verfügbarkeit Benutzerhandbüchern nicht in die Reparierbarkeitsmatrix eingehen. Sie sollten lediglich darauf überprüft werden, ob in ihnen die Informationen enthalten sind, die als relevant eingestuft werden (Explosionszeichnungen, Fehlercodetabellen, Reparaturanleitungen, Schaltpläne).

4.5.4.2.3 Fehlercodetabellen

Wie schon bei den Druckern beschrieben, muss der Indikator Fehlercodetabellen im Zusammenhang mit dem Indikator Schnittstelle gesehen werden. Eine Betrachtung der Schnittstellen für die Fehlerdiagnose zeigt zunächst, dass bei allen Trocknern Fehlerinformationen codiert ausgegeben werden. Bei 14 von 15 Geräten werden die Fehlercodes über Blinkzeichen von LED und im Display des Trockners angezeigt. In vielen Fällen wird ein „F“ gefolgt von einer Zahl ausgegeben. Bei dem WPT4 des Herstellers 3 werden Fehlermeldungen nur über Blinkzeichen einer LED ausgegeben. Da alle untersuchten Trockner über codierte Schnittstellen verfügen, ist auch für alle eine Fehlercodetabelle notwendig. Ist dies nicht der Fall, sollte diese in einem Bewertungssystem zu Punktabzug führen.

Für fast alle Trocknermodelle waren Fehlercodetabellen öffentlich, im Benutzerhandbuch oder auf den Internetseiten, verfügbar. Sie stehen also allen drei Zielgruppen zur Verfügung. Nur beim WPT4 des Herstellers 3 war keine Fehlercodetabelle öffentlich verfügbar. Nach mehreren Anfragen konnte in diesem Fall mit einem autorisierten Vertragspartner geklärt werden, dass dem Betrieb die Fehlercodetabelle zur Verfügung steht. Für Privatpersonen oder fachlich kompetente Reparatur*innen wird sie allerdings nicht zur Verfügung gestellt. Die Verfügbarkeit ist hier nur für eine Zielgruppe gegeben.

Eine genauere Betrachtung der Fehlercodetabellen zeigt, dass deren Umfang zum Teil unterschiedlich ist. Bei zwei Wärmepumpentrockner (WPT 5 und WPT 6, Hersteller 4) fallen Fehlercodetabellen auf, die vergleichsweise umfangreich und informativ sind. Diese beiden Tabellen haben mehr als 80 Einträge. Viele Fehlercodes werden so vergleichsweise genau erläutert, z. B. mit dem Eintrag: Elektronikfehler/Motorantrieb defekt. Die anderen Fehlercodetabellen sind deutlich kürzer und erläutern Fehler zum Teil weniger genau. Mehrfach werden z. B. „Elektronikfehler“ ohne weiteren Zusatz angegeben.

Das Beispiel der Modelle mit den umfangreichen Fehlercodetabellen zeigt, dass es möglich ist, auch Privatpersonen über die Tabellen bereits vor der Reparatursentscheidung Informationen anzubieten, welche Ersatzteile betroffen sein könnten. Auch die Ergebnisse zu Trocknern zeigen, dass die Verfügbarkeit von Fehlercodetabellen, in die bei der Bewertung von Reparierbarkeit einfließen sollten.

4.5.4.2.4 Explosionszeichnungen

Wie schon bei den Druckern beschrieben, ist es die erste Voraussetzung für die Beschaffung von Ersatzteilen ist, dass diese überhaupt leicht und eindeutig identifiziert werden können. Wie schon bei den Druckern waren auch bei den Trocknern zum Teil mehrfache telefonische oder schriftliche Anfragen bei den Herstellern notwendig, um zu klären welches Ersatzteil für welches Modell bestellt werden soll. Bei einigen Ersatzteilen in Trocknern ist zwar deren Benennung relativ eindeutig und sie kommen im Gerät nur einmal vor (z. B. Pumpe Trommelriemen etc.). Auch bei solchen Ersatzteilen konnte aber z. B. in Internetshops nicht immer eindeutig zugeordnet werden, ob ein angebotenes Teil zu dem untersuchten Trocknermodell passt. Bei den Sensoren, von denen mehrere in einem Trockner vorkommen, war es in einigen Fällen besonders herausfordernd den gesuchten Sensor (hier Feuchtigkeitssensor) für das untersuchte Modell zu identifizieren.

Wie schon bei den Druckern war die Identifizierung der Ersatzteile nur zufriedenstellend möglich, wenn von den Herstellern oder autorisierten Vertriebspartner*innen Explosionszeichnungen verfügbar gemacht wurden. Eine Explosionszeichnung ist in diesem Zusammenhang eine grafische Darstellung, aus der sowohl das Aussehen einzelner Ersatzteile hervorgeht, als auch der Ort an dem sie in dem Gerät verbaut sind. Darüber hinaus müssen in der Explosionszeichnung auch eindeutige Artikel- oder Teilenummern angegeben werden.

In der Tabelle 50 ist wiedergegeben, für welche Abluft- und Kondenstrockner je Zielgruppen von den Herstellern Explosionszeichnungen zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 50: Verfügbarkeit Explosionszeichnung, Abluft- und Kondenstrockner

Zielgruppe	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Privatpersonen	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Bei den Abluft- und Kondenstrocknern machen die Hersteller die Explosionszeichnungen recht umfassend verfügbar. Nur Hersteller 4 macht die Aussage, dass Explosionszeichnungen gegen die Vorlage eines elektrotechnischen Ausbildungsnachweises zur Verfügung gestellt werden. Privatpersonen ohne diesen Ausbildungsnachweis können die Explosionszeichnung dagegen nicht beziehen.

In der Tabelle 51 ist wiedergegeben, für welche Wärmepumpentrockner je Zielgruppe von den Herstellern Explosionszeichnungen zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 51: Verfügbarkeit Explosionszeichnung, Wärmepumpentrockner

Zielgruppe	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Privatpersonen	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Die Gesamtbetrachtung der Tabelle 50 und Tabelle 51 zeigt, dass die Verfügbarkeit der Explosionszeichnung vom Hersteller, jedoch nicht von Trocknermodellen abhängt. Hersteller 1 und Hersteller 6 machen Explosionszeichnungen auch für Privatpersonen und damit allen betrachteten Zielgruppen für alle untersuchten Trocknermodelle verfügbar. In einem Fall gibt es die umfangreichen Explosionszeichnungen öffentlich im Internet. In dem zweiten Fall, werden diese vom Kundenservice sehr schnell und unkompliziert auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Die Explosionszeichnungen dieser Hersteller ermöglichen die eindeutige Identifizierung von Ersatzteilen und enthalten eindeutige Artikelnummern. Hersteller 4 stellt Explosionszeichnungen nach Vorlage eines elektrotechnischen Ausbildungsnachweises zur Verfügung. Die Hersteller 3, 4 und 6 machen die Zeichnungen nur Vertragspartner*innen zugänglich.

Auch die Ergebnisse für Trockner zeigen, dass die Verfügbarkeit einer Explosionszeichnung in die Bewertung von Reparierbarkeit eingehen sollte. Die Explosionszeichnung muss von einer eindeutigen Auflistung von Teile- / Artikelnummern oder -codes begleitet werden.

4.5.4.2.5 Reparaturanleitungen

Reparaturanleitungen zeigen Arbeitsschritte auf, die zur Behebung von Fehlern durchgeführt werden müssen und geben auch deren vorgesehene Reihenfolge an.

Reparaturanleitungen wurden bei keinem Hersteller und bei keinem Vertragspartner öffentlich auf den Internetseiten des Herstellers oder in den Handbüchern gefunden.

Alle Hersteller wurden zur Verfügbarkeit von Reparaturanleitungen befragt. Die Antworten zu den Abluft- und Kondenstrocknern sind in der nachfolgenden Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Verfügbarkeit Reparaturanleitungen, Abluft- und Kondenstrockner

Zielgruppe	Hersteller 1, ALT1	Hersteller 4, ALT2	Hersteller 6, KDT2	Hersteller 6, KDT3	Hersteller 1, KDT1
Privatpersonen	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Die Antworten für die Abluft- und Kondenstrockner zeigen, dass die Verfügbarkeit der Reparaturanleitungen nicht von einzelnen Trocknermodellen abhängt, sondern vom jeweiligen Hersteller. Der Hersteller 4 gibt an, dass Reparaturanleitungen gegen die Vorlage eines elektrotechnischen Ausbildungsnachweises zur Verfügung gestellt werden. Privatpersonen können die Anleitung nicht beziehen. Die weiteren Hersteller machen Reparaturanleitungen weder für Privatpersonen noch für fachlich kompetente Reparatur*innen verfügbar.

In der Tabelle 53 wird gezeigt, für welche Wärmepumpentrockner Reparaturanleitungen von den Herstellern verfügbar gemacht werden bzw. nicht verfügbar gemacht werden.

Tabelle 53: Verfügbarkeit Reparaturanleitungen, Wärmepumpentrockner

Zielgruppe	Hersteller 6, WPT9	Hersteller 6, WPT10	Hersteller 1, WPT1	Hersteller 1, WPT2	Hersteller 2, WPT3	Hersteller 3, WPT4	Hersteller 4, WPT5	Hersteller 4, WPT6	Hersteller 5, WPT7	Hersteller 5, WPT8
Privatpersonen	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Fachlich kompetente Reparatur*innen	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
Vertragspartner*innen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Auch bei den Wärmepumpentrockner gibt nur der Hersteller 4 an, dass fachlich kompetente Reparatur*innen die Reparaturanleitungen bei Vorlage eines elektrotechnischen Ausbildungsnachweises zur Verfügung gestellt werden. Alle weiteren Hersteller machen die Reparaturanleitungen nur ihren Vertragspartner*innen verfügbar.

Die Anleitungen werden nach Herstelleraussagen i. d. R. elektronisch zur Verfügung gestellt. Vertragspartner*innen von Herstellern greifen typischerweise auf eine Datenbank zu, die

Reparaturanleitungen für mehrere Modelle enthält. Reparaturanleitungen, Schaltpläne und umfangreiche Fehlercodetabellen sind typischerweise gemeinsam in der Datenbank abgelegt. Die Vertragspartner*innen zahlen für den Zugriff auf die Datenbank meist eine jährliche Gebühr.

Laut Aussagen des Reparaturbetriebs, mit dem die praktischen Untersuchungen durchgeführt wurden, sind Reparaturanleitungen auch bei Trocknern hilfreich. Ihre Verfügbarkeit sollte daher in ein Bewertungssystem eingehen.

4.5.4.2.6 Schaltpläne

Als sehr hilfreiche relevante Informationen wurden, von dem Reparaturbetrieb, mit dem die praktischen Untersuchungen durchgeführt wurden, Schaltpläne genannt. In einem Schaltplan wird der Verlauf von Strömen und Spannungen in einem Gerät dargestellt. Er zeigt für alle verbauten Teile, welche Spannung dort während des fehlerfreien Betriebs anliegen muss und welche Stromstärke das Teil aufnehmen muss. Schaltpläne dienen der Identifikation von Fehlern (vgl. auch Kapitel 4.4.4.2.6).

Schaltpläne sind bei keinem Hersteller für kein Modell öffentlich verfügbar. Auf Nachfrage machen die Hersteller dieselben Angaben wie zu den Reparaturanleitungen. Hersteller 4 gibt bei allen Modellen an, dass Schaltpläne gegen Vorlage eines elektrotechnischen Ausbildungsnachweises, also für fachlich kompetente Reparatur*innen, zur Verfügung gestellt werden. Alle weiteren Hersteller geben bei allen Modellen an, dass Schaltpläne nur Vertragspartner*innen verfügbar gemacht werden.

Wie zuvor beschrieben werden Schaltpläne typischerweise gemeinsam mit Reparaturanleitungen und ausführlichen Fehlercodetabellen in einer Datenbank den Vertragspartner*innen zur Verfügung gestellt, die dafür eine jährliche Gebühr zahlen.

Schaltpläne sind für die Lokalisation und Identifikation von Fehlern während der Reparatur sehr relevant. Daneben dienen sie auch der Überprüfung, ob Fehler mit der Reparatur behoben wurden. Ihre Verfügbarkeit sollte in eine Bewertung von Reparierbarkeit einfließen.

Die Möglichkeiten, die in diesem Unterkapitel genannten reparaturrelevanten Informationen in einem Bewertungssystem zu berücksichtigen, werden im siehe Kapitel 5.2.6 diskutiert.

4.5.4.3 Schnittstellen

In diesem Kapitel werden die Recherchen und Ergebnisse zu Schnittstellen kurz beschrieben. Die Art der Schnittstellen wurde aus den Benutzerhandbüchern und von den Internetseiten der Hersteller zusammengetragen und an den Geräten überprüft. In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse je Hersteller zusammengefasst.

4.5.4.3.1 Arten von Diagnoseschnittstellen

Wie beschrieben dienen Diagnoseschnittstellen dazu aufgetretene Fehler zu identifizieren. Sie sind daher für Reparaturen, insbesondere erste Reparaturscheidungen, relevant.

Die Arten von Diagnoseschnittstellen bei den betrachteten Trocknermodellen wurden bereits im Kapitel 4.5.4.2.3 kurz beschrieben. Alle Trockner verfügen über codierte Schnittstellen. Bei den Geräten ALT1, Hersteller 1 und ALT2, Hersteller 4 werden dazu Blinkzeichen einer LED eingesetzt. Bei den anderen Geräten werden codierte Fehlermeldungen auf einem Display ausgegeben. In vielen Fällen erfolgt dies in der Form des Buchstabens „F“ gefolgt von einer Nummer.

Wie bereits zu den Druckern und im 4.5.4.2.3 erläutert, ist es wichtig Diagnoseschnittstellen und Fehlercodetabellen, mit deren Hilfe die codierten Fehler übersetzt werden können, gemeinsam zu betrachten. (Eine mögliche Umsetzung in einem Bewertungssystem wird im 5.2.7 gezeigt.)

Neben den codierten Schnittstellen, setzen zwei Hersteller bei den Wärmepumpentrocknern, die von diesen Herstellern untersucht wurden, zusätzlich auch Datenschnittstellen ein. Bei Hersteller 4 handelt es sich um optische Schnittstellen und bei einem Hersteller 5 um USB-Anschlüsse. In beiden Fällen ist die Software, die zum Auslesen der Schnittstelle nicht öffentlich verfügbar. Die Schnittstellen sind daher proprietäre Schnittstellen. Die Software steht laut der Aussagen der Hersteller ihren Vertragspartner*innen kostenpflichtig zur Verfügung.

Nach den Ergebnissen zu Trockner sollte eine Bewertung von Schnittstellen mindestens codierte Schnittstelle und proprietäre Hardwareschnittstellen abbilden.

4.5.4.4 Software und Firmware

Bei den Trocknern ist nur der Indikator Firmware relevant. Ergebnisse zu seiner Verfügbarkeit sind nachfolgend festgehalten. Auf die Software zur Bedienung vernetzter Geräte wird nicht weiter eingegangen, da die Geräte auch ohne die Funktion zur Vernetzung funktionieren sollten.

4.5.4.4.1 Informationsbeschaffung

Um zu recherchieren, ob Firmware von den Herstellern für welche Zielgruppen angeboten wird, wurden drei Rechenschritte durchgeführt:

- ▶ Suche auf den Internetseiten des Herstellers und Auswertung der Informationen,
- ▶ schriftliche Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartner*innen und
- ▶ telefonische Anfragen beim Hersteller und autorisierten Vertragspartner*innen.

Angaben zur Verfügbarkeit von Firmware wurden von Herstellern und Vertragspartner nur bei den schriftlichen und telefonischen Anfragen gemacht.

4.5.4.4.2 Verfügbarkeit von Firmware

Keiner der Trocknerhersteller macht die Firmware für Privatpersonen oder kompetente Reparatur*innen verfügbar. In Bezug auf die Vertragspartner*innen garantieren fast alle Hersteller, dass die Firmware für dieselbe Dauer aktualisiert zur Verfügung gestellt wird, wie die physischen Ersatzteile. Hersteller 3 macht dazu keine Angaben. Die Dauer liegt also bei Hersteller 4 bei 15 Jahren und bei Hersteller 1 bei zehn Jahren. Die Hersteller 2, 5 und 6 sagen die Verfügbarkeit für zwei Jahre zu. Aufgrund der großen Unterschiede bei der Verfügbarkeitsdauer, zeigen auch die Ergebnisse zu den Trocknern, dass dieser mögliche Indikator in die Reparierbarkeitsmatrix eingehen sollte (zur möglichen Umsetzung s. Kapitel 5.2.8).

5 Ableitung der optimierten Reparierbarkeitsmatrix

In diesem Kapitel werden die Indikatoren, die gewählten Bewertungsklassen und die Bepunktung einer optimierten Reparierbarkeitsmatrix vorgestellt. Eine wichtige Basis für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix bildet das Beispiel für ein Kennzahlensystem, das in der Norm EN 45554 enthalten ist. Teil der optimierten Reparierbarkeitsmatrix sind aber auch Indikatoren die aus den Fallstudien (s. Kapitel 4) abgeleitet werden oder aus weiteren bestehenden Ansätzen zur Bewertung von Reparierbarkeit stammen (s. Kapitel 3). Wie sich die hier gewählten Indikatoren und Bewertungsklassen, insbesondere zu denen aus dem Kennzahlensystem aus der Norm EN 45554 verhalten, wird jeweils kurz erläutert.

Für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix wird mit einer Punkteskala von null bis zehn Punkten gearbeitet. Die Bepunktung beginnt bei null Punkten, wenn Reparaturen durch einen Sachverhalt verhindert werden und bei einem Punkt, wenn sie erschwert aber nicht verhindert werden. Es ist dabei zu beachten, dass die Punkteskala entsprechend angepasst werden muss, wenn Mindestanforderungen an die Reparierbarkeit existieren, welche z. B. die Verfügbarkeit von Ersatzteilen garantieren. Außerdem werden Hinweise für die Anwendung der einzelnen Indikatoren bei der Bewertung von Reparierbarkeit sowie Hinweise für notwendige Angaben von Herstellern gegenüber einer überwachenden Stelle vorgestellt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass es eine überwachende Stelle geben sollte, wenn die Reparierbarkeitsmatrix breit angewendet werden soll. In diesem Fall müssen Hersteller gegenüber dieser Stelle bestimmte Angaben machen, um einzelne Indikatoren der optimierten Reparierbarkeitsmatrix anwendbar zu machen. Welche Angaben notwendig sind, wird nachfolgend zu den einzelnen Indikatoren mit angegeben. Durch dieses Vorgehen kann die Reparierbarkeit von Geräten bewertet werden, ohne an allen Geräten Reihenuntersuchungen vornehmen zu müssen. Stattdessen könnte eine überwachende Stelle die Herstellerangaben (stichprobenhaft) kontrollieren. Grundsätzlich wird weiterhin davon ausgegangen, dass die Reparierbarkeit von Geräten einmalig bewertet wird, i. d. R., wenn Sie erstmalig in Verkehr gebracht werden. Wie einzelne Indikatoren eingesetzt werden können, um dies zu ermöglichen ist in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

Zu jedem Indikator wird nachfolgend vorgeschlagen, ob die Bewertung auf Geräteebene oder Teileebene erfolgen sollte. Wo es praktikabel erscheint, wird vorgeschlagen eine Bewertung auf der Geräteebene vorzunehmen, um den administrativen Aufwand für die Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix zu minimieren.

Wie die Punkte, die einzelne Geräte bei der Bewertung von Reparierbarkeit auf Geräte- oder Teileebene für jeden Indikator erhalten zu einem Gesamtpunktwert zusammengerechnet werden können, wird im Kapitel 6 vorgestellt.

5.1 Indikatoren, die aus den praktischen Untersuchungen folgen

5.1.1 Demontagetiefe

Die Demontagetiefe jedes Teils ist die Zahl der Arbeitsschritte, die durchzuführen sind, um das Teil zu demontieren. Die Zahl der Arbeitsschritte hat sich als ein Indikator erwiesen, mit dem die Demontagezeit von Ersatzteilen annähernd abgebildet werden kann. Der Indikator Demontagetiefe wird auf der Teileebene bewertet, also für jedes prioritäre Teil.

Die Zahl der Arbeitsschritte ist bereits eine numerische Zahl, man kann also Arbeitsschritte von Geräten untereinander vergleichen. Das hilft allerdings nicht weiter, wenn zu einem Zeitpunkt nur die Reparierbarkeit von einem Gerät bewertet werden soll. Die Zahl der Arbeitsschritte ist

besonders im Vergleich mit anderen Geräten aussagekräftig. Darüber hinaus, kann zwar aus der Zahl der Arbeitsschritte eine Rangfolge von Geräten gebildet werden, aber es ist unklar, wie der Abstand von Geräten untereinander in die Bewertung eingehen soll. Es kann z. B. die Zahl von Arbeitsschritten bis zur Demontage eines Motors bei zwei Geräten sehr ähnlich sein und bei einem weiteren Gerät kann ca. die doppelte Anzahl Arbeitsschritte notwendig sein. Eine Bewertung nach Rangfolge (Platz 1, Platz 2, Platz 3) würde dann das Gerät mit dem Platz 2 benachteiligen und nicht abbilden, wie weit das Gerät mit Platz 3 abfällt.

Ein Ansatz, um diese beiden Herausforderungen zu lösen, ist das Heranziehen von Referenzwerten. Dann kann bewertet werden, wie weit eine Anzahl an Arbeitsschritte von diesem Referenzwert abweicht. Der Ansatz mit Referenzwerten zu arbeiten, ist auch Teil des in der Norm EN 45554 vorgeschlagenen Bewertungssystems.

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Anzahl Arbeitsschritte für die Demontage aller prioritären Teile für alle Geräte, die Teil der Fallstudie sind, ermittelt. Der Mittelwert bis zu einem prioritären Teil über alle Geräte einer Gerätegruppe (z. B. alle Laserdrucker, Wärmepumpentrockner) kann als Referenzwert dienen. Die Mittelwerte der Arbeitsschritte für Laserdrucker und Wärmepumpentrockner wurden für die beispielhafte Bewertung von Geräten herangezogen (s. Kapitel 6) und sind im Anhang B dargestellt.

Für die optimierte Bewertungsmatrix wird der Ansatz gewählt, verschiedene Abweichungen vom Mittelwert in Bewertungsklassen einzuteilen. Die Verwendung von Bewertungsklassen entspricht dem Vorgehen bei den weiteren Indikatoren und macht die Indikatoren untereinander vergleichbar. Für die Umsetzung der Bewertung wurde eine Nutzwertanalyse gewählt (s. dazu Kapitel 6.2).

Die Abstände für die Bewertungsklassen wurden so gewählt, dass sie Spannbreiten bei den Geräten abbilden, die Teil der Fallstudien waren. Die ausgewählten Bewertungsklassen A bis E für den Indikator Demontagetiefe werden in der nachfolgenden Tabelle 54 gezeigt. Für die Bewertungsklassen A bis E werden die Punkte 0 bis 10 vergeben (s. Tabelle 54).

Tabelle 54: Indikator „Demontagetiefe“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Demontagetiefe	Teile	A: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei $\leq 70\%$ des Mittelwerts B: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 70 bis $\leq 90\%$ des Mittelwerts C: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 90 bis $\leq 110\%$ des Mittelwerts D: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei > 110 bis $\leq 130\%$ des Mittelwerts E: Die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte liegt bei $> 130\%$ des Mittelwerts	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1 E = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Hersteller müssen an eine überwachende Stelle Reparaturanleitungen einreichen, die die Arbeitsschritte bis zur Demontage jedes prioritären Teils abbilden. Dies ermöglicht es einer überwachenden Stelle, die Demontagetiefe anhand von Unterlagen zu prüfen, ohne dass aufwändige Untersuchungen an jedem Gerät vorgenommen werden müssen. Stichprobenhafte Überprüfun-

gen der Angaben sind ebenfalls möglich. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass eine eindeutige Festlegung getroffen wird, was als ein Arbeitsschritt gezählt wird.

Zur Anwendung des Indikators werden Referenzwerte benötigt. Diese können in stichprobenhaften Reihenuntersuchungen festgestellt oder von einer überwachenden Stelle oder einem Gremium festgelegt werden. Referenzwerte sollten regelmäßig angepasst werden, um dem technischen Fortschritt abzubilden.

5.1.2 Befestigungsart

Mit dem Indikator Befestigungsart wird bewertet, wie zwei verbundenen Teile voneinander gelöst werden können. Die günstigste Befestigungsart im Hinblick auf Reparaturen sind wiederverwendbare Befestigungselemente, die bei einer Remontage nicht ersetzt werden müssen.

Diese Befestigungsart, wie z. B. Schrauben oder Klickverbindungen, wurden bei den in den Fallstudien untersuchten Geräten weit überwiegend verwendet. Dennoch sind Befestigungsarten, die nicht entfernt werden können (z. B. vergossene Teile) denkbar. Dies kann den Austausch von Teilen unmöglich machen. Daher werden auch weitere Befestigungsarten bei den Bewertungsklassen zu diesem Indikator berücksichtigt.

In dem beispielhaften Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 ist ebenfalls ein Indikator für Befestigungselemente enthalten. Die dort gewählten Klassen A bis C (wiederverwendbar, entfernbar und weder wiederverwendbar noch entfernbar) decken die denkbaren Fälle gut ab. Sie werden daher für eine optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen. Die Bewertungsklassen A bis C zum Indikator Befestigungsart werden in der nachfolgenden Tabelle 55 gezeigt. Für Befestigungen, die weder entfernbar noch wiederverwendbar sind, werden null Punkte vergeben, da dies den Austausch von Teilen unmöglich macht. Die Punkteskala ist der Tabelle 55 zu entnehmen.

Tabelle 55: Indikator „Befestigungsart“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Befestigungsart	Teile	A: Wiederverwendbar B: Entfernbar C: Weder entfernbar noch wiederverwendbar	A = 10 B = 5 C = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Der Indikator Befestigungsart wird auf der Teileebene bewertet. Dabei wird für jedes prioritäre Teil, die ungünstigste Befestigung gewertet. D. h. die Bewertungsklasse A wird vergeben, wenn alle Befestigungen bei der Demontage eines Teils wiederverwendbar sind. Wenn mindestens eine Befestigung entfernt aber nicht wiederverwendet werden kann wird die Bewertungsklasse B vergeben.

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Wie bereits zuvor beschrieben, müssen Hersteller einer überwachenden Stelle Reparaturanleitungen zur Verfügung stellen, die die vorgesehenen Arbeitsschritte zur Demontage jedes prioritären Teils abbilden. Aus den Reparaturanleitungen und Arbeitsschritten müssen die Arten der zu lösenden Befestigungen hervorgehen.

5.1.3 Werkzeuge

Mit dem Indikator Werkzeuge wird die Art der Werkzeuge bewertet, die zum Lösen von Befestigungen benötigt werden.

Bei der Art des Werkzeugs geht es insbesondere darum, für welche Akteur*innen Werkzeuge zur Verfügung stehen. Reparaturen können von den meisten Akteur*innen durchgeführt werden, wenn Werkzeuge öffentlich / also auch für Privatpersonen zur Verfügung stehen. Wenn proprietäre Werkzeuge benötigt werden, die ggf. nur von Akteur*innen einzelner Zielgruppen erworben werden können, kann dies Reparaturen behindern.

In den Fallstudien hat sich gezeigt, dass die dort durchgeführten Operationen mit frei verkäuflichen und üblichen Werkzeugen durchgeführt werden konnten. Es sind jedoch Fälle denkbar, in denen für Reparaturen Spezialwerkzeug benötigt wird, das nicht allen Akteur*innen zur Verfügung steht.

Daher bilden die für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix ausgewählten Bewertungsklassen A bis D ab, ob Werkzeuge benötigt werden, die für alle oder nur für einzelne der im Projekt betrachteten Zielgruppen (Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen, Vertragspartner*innen / Hersteller) zur Verfügung stehen. Wenn die Reparatur mit keinem vorhandenen Werkzeug durchgeführt werden kann, werden null Punkte vergeben. Die Bewertungsklassen und die zugehörige Punkteskala werden in der nachfolgenden Tabelle 59 gezeigt.

Tabelle 56: Indikator „Werkzeuge“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Werkzeuge	Teile	A: Reparatur möglich ohne Werkzeuge, mit Standardwerkzeugen, die für Privatpersonen im Handel erhältlich sind oder mit mitgelieferten Werkzeugen	A = 10
		B: Reparatur möglich mit spezifischem Werkzeug, das nicht mitgeliefert wird aber von fachlich kompetenten Reparatur*innen erworben werden kann	B = 7
		C: Reparatur möglich mit spezifischem Werkzeug, das nicht mitgeliefert wird aber von Vertragspartner*innen erworben werden kann	C = 3
		D: Reparatur kann mit keinem Standardwerkzeug, mitgeliefertem Werkzeug oder erwerbbares Werkzeug durchgeführt werden	D = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Der Indikator Werkzeuge wird auf der Teileebene bewertet. Dabei wird für jedes prioritäre Teil, das Werkzeug bewertet, das am wenigsten gut bezogen werden kann. D. h. die Bewertungsklasse A wird vergeben, wenn bei der Demontage eines Teils nur Werkzeuge benötigt werden, die von Privatpersonen erworben werden können. Sobald zur Demontage eines Teils ein Werkzeug benötigt wird, das nur von einem Vertragspartner bezogen werden kann, wird die Bewertungsklasse C vergeben.

In dem beispielhaften Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 ist ein Indikator für die Art des Werkzeugs vorgesehen. Die dort gewählten Bewertungsklassen wurden nicht für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen. Ein wesentlicher Unterschied ist, dass in der Norm sogenannte grundlegende Werkzeuge definiert werden. Wenn diese Werkzeuge benötigt werden, wird die Bewertungsklasse A erreicht, während andere handelsübliche Werkzeuge zur Bewertungsklasse B führen. Eine solche kleinteilige Bewertung von Werkzeugen wird nicht für sinnvoll gehalten. Zum einen stehen keine eindeutigen Daten zur tatsächlichen Verbreitung von Werkzeugen zur Verfügung. Zum anderen haben die Fallstudien gezeigt, dass Operationen in den allermeisten Fällen mit verschiedenen Werkzeugen durchgeführt werden können (z. B. mit einem Schlitzschraubendreher oder mit Hebelwerkzeugen (unterschiedlicher Bauformen) oder mit einer Chipkarte etc.). Wenn die Bewertungsklassen wie in der Norm gewählt werden, müsste für jede Operation geklärt werden, ob sie auch mit einem Werkzeug der Klasse A durchgeführt werden kann. Es kann auch Fälle geben, in denen dies umstritten oder unklar ist. Zum Lösen von Sprengringen ist es z. B. sinnvoll und vorgesehen eine Sprengringzange zu verwenden. Dennoch ist das Lösen in vielen Fällen auch mit einem Schlitzschraubendreher oder Nageleisen möglich. Das Risiko den Sprengring zu beschädigen, ist dann im zweiten Fall ggf. höher. Um derartige Detailfragestellungen zu vermeiden, wird hier der Ansatz gewählt, dass die Bewertungsklasse B nur vergeben wird, wenn eine Reparaturoperation ein Werkzeug erfordert, das nur von einem/r kompetenten Reparatur*in bezogen werden kann.

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Hersteller müssen in der Reparaturanleitung, die sie einreichen, für jede Operation ein empfohlenes Werkzeug angeben. Wenn der Einsatz eines Werkzeugs, das nur von kompetenten Reparatur*innen oder Vertragspartner*innen bezogen werden kann, unumgänglich ist, ist darauf hinzuweisen.

5.1.4 Lösbarkeit der Seitenwände

Mit dem Indikator „Lösbarkeit von Seitenwänden“ wird bewertet, wie viele Seitenwände eines Geräts (Trockners) entfernt werden können, ohne dass zuvor eine andere Seitenwand entfernt wurde.

Dieser Indikator stammt nicht aus bereits bestehenden Ansätzen zur Bewertung von Reparierbarkeit (s. Kapitel 3), sondern, wird aus den in diesem Projekt durchgeführten Fallstudien abgeleitet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Trocknermodelle, bei denen sich möglichst viele Seitenwände unabhängig von allen anderen Seitenwänden lösen lassen, in der Summe aller prioritärer Teile geringere Demontagezeiten und -tiefen aufweisen.

Wenn z. B. bei einem Gerät die rechte Seitenwand entnommen werden soll, um die Motorkondensatoren zu erreichen, ist es ungünstig, wenn zuerst die Frontblende entfernt werden muss, um danach die rechte Seitenwand entfernen zu können. Geräte, bei denen sich die rechte Seitenwand direkt entfernen lässt, werden dagegen eine geringere Demontagezeit und -tiefe in Bezug auf die Motorkondensatoren aufweisen. Die Seitenwände unabhängig voneinander lösen zu können, ist in der Praxis besonders dann wichtig, wenn die Platzsituation bei Kund*innen vor Ort beengt ist. In beengten Platzsituationen ist es schwieriger Trockner ggf. mehrfach so zu orientieren, dass alle Seitenwände, die entfernt werden müssen, gut erreicht werden können.

Die Lösbarkeit von Seitenwänden wird auf Geräteebene bewertet. Die ausgewählten Bewertungsklassen und die Punkteskala zum Indikator „Lösbarkeit von Seitenwänden“ werden in der nachfolgenden Tabelle 57 gezeigt. Die Punkteskala beginnt mit null Punkten, wenn nur eine Seitenwand unabhängig von den anderen gelöst werden kann, da dieser Fall von allen Trocknermodellen konstruktionsbedingt immer erreicht wird.

Tabelle 57: Indikator „Lösbarkeit von Seitenwänden“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Lösbarkeit der Seitenwände	Gerät	A: Vier Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen	A = 10
		B: Drei Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen	B = 7
		C: Zwei Wände des Wäschetrockners lassen sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen	C = 4
		D: Eine Wand des Wäschetrockners lässt sich unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen	D = 1

Quelle: Eigene Darstellung

Der Indikator „Lösbarkeit der Seitenwände“ ist als produktspezifischer Indikator für Trockner zu sehen. Es ist davon auszugehen, dass er auf (Hauhaltsgroß)geräte übertragen werden kann, die Wäschetrocknern in ihrem Grundaufbau ähnlich sind, z. B. Waschmaschinen oder Spülmaschinen. Nach aktuellem Wissensstand ist die Anwendung des Indikators allerdings nur für Produktgruppen sinnvoll, die klar voneinander abgegrenzte Seitenwände haben. Dies ist z. B. bei Druckern nicht der Fall. Sie bestehen in vielen Fällen nicht aus Gehäuseteilen, die eindeutig als rechte Seitenabdeckung, linke Seitenabdeckung etc. bezeichnet werden können. Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Als Seitenwand im Sinne dieses Indikators gelten die rechte und linke Gehäusewand, die Frontblende und die Rückwand des Trockners. Der Trocknerdeckel gilt nicht als Seitenwand. Trocknerdeckel müssen i. d. R. bei in Europa geläufigen Trocknermodellen abgenommen werden, bevor eine Seitenwand entfernt werden kann. Wie bereits zuvor beschrieben, müssen Hersteller einer überwachenden Stelle Reparaturanleitungen zur Verfügung stellen, die die vorgesehenen Arbeitsschritte zur Demontage jedes prioritären Teils abbilden. Aus den Reparaturanleitungen muss ersichtlich sein, wie viele Seitenwände unabhängig von allen anderen Seitenwänden entfernt werden können.

5.2 Indikatoren, die aus den Recherchen folgen

5.2.1 Ersatzteilpolitik des Herstellers

Mit dem Indikator Ersatzteilpolitik des Herstellers wird bewertet, ob Hersteller bestimmte Arten von Ersatzteilen von einer Verfügbarkeit für bestimmte Zielgruppen ausschließen. Der Indikator stammt nicht aus einem der in Kapitel 3 zusammengefassten bestehenden Ansätze zur Bewertung von Reparierbarkeit, sondern beruht auf den Ergebnissen der Fallstudien. Im Rahmen der Fallstudien ist aufgefallen, dass einige Hersteller grundsätzlich sogenannte sicherheitsrelevante Ersatzteile nicht für Privatpersonen oder sogar nicht für fachlich kompetente Reparatur*innen zur Verfügung stellen. Auffällig war dabei, dass in vielen Fällen keine Definition eines sicherheitsrelevanten Teils mit angegeben wurde. Mehrfach wurde darunter alle „inneren“ Teile gefasst. Für die Anwendung des Indikators wird vorgeschlagen, dass die Teile als sicherheitsrelevant gelten können, die mit einer Spannung von 220 V betrieben werden.

Die Ersatzteilpolitik des Herstellers wird auf Geräteebene bewertet, da sie i. d. R. mindestens auf der Modellebene konsistent ist. In vielen Fällen verfolgt ein Hersteller sogar dieselbe Ersatzteilpolitik für alle Geräte einer Produktgruppe. Die nachfolgende Tabelle 58 zeigt die Bewertungsklassen und die Punkteskala für den Indikator „Ersatzteilpolitik des Herstellers“.

Die Ersatzteilpolitik des Herstellers wird zunächst auf Geräteebene bewertet. Dabei geht es nicht um die Verfügbarkeit jedes Teils, sondern um die globale Aussage, ob alle Teile allen Akteur*innen zur Verfügung gestellt werden oder eine ganze Gruppe ausgenommen wird. Die Politik alle Teile allen Akteursgruppen zur Verfügung zu stellen, ist die kundenfreundliche und erhält daher den höchsten Punktwert (10 Punkte). Um das Argument einer Sicherheitsrelevanz, besonders für Privatleute, nicht völlig von der Hand zu weisen, werden 5 Punkte für den Fall vergeben, wenn es die Politik ist, dass immerhin die nicht sicherheitsrelevanten Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden.

Bei der Berechnung des Teilnutzens „Ersatzteilpolitik des Herstellers“ wird die Summe der erreichten Punktzahlen für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen durch die maximal erreichbare Punktzahl für diesen Indikator geteilt. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt in diesem Fall 30 (3*10) (s. dazu auch Kapitel 6.2).

Tabelle 58: Indikator „Ersatzteilpolitik des Herstellers“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Ersatzteilpolitik des Herstellers bzgl. des Modells	Gerät	Für Privatpersonen:	
		A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	A = 10
		B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	B = 5
		C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	C = 0
		Für fachlich kompetente Reparatur*innen:	
		A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	A = 10
		B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	B = 5
		C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	C = 0
		Für Vertragspartner*innen des Herstellers / den Hersteller:	
A: Nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	A = 10		
B: Nur nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar	B = 5		
C: Es sind keine Ersatzteile verfügbar	C = 0		

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Für eine effektive Bewertung sollte ein Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle Angaben zu seiner Ersatzteilpolitik je Zielgruppe machen.

5.2.2 Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Mit dem Indikator „Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ wird bewertet, ob prioritäre Teile für einzelne Zielgruppen als Ersatzteile zu beziehen sind. Nicht verfügbare Ersatzteile können die Reparierbarkeit von Geräten stark einschränken. Die Fallstudien haben gezeigt, dass nicht alle Ersatzteile zur Verfügung stehen und dass Hersteller zum Teil unterschiedlich kundenfreundliche Strategien bzgl. des Ersatzteilbezugs haben. Dem Indikator kommt daher eine hohe Bedeutung zu.

Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen wird in der optimierten Reparierbarkeitsmatrix für die drei im Projekt betrachteten Zielgruppen (Privatleute, kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*in/Hersteller) unterschieden.

Die Verfügbarkeit der Ersatzteile wird auf Teileebene, also für jedes Ersatzteil einzeln, bewertet. Bei der Berechnung des Teilnutzens „Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ wird daher die Summe der erreichten Punktzahlen durch die maximal erreichbare Punktzahl geteilt (s. dazu auch Kapitel 6.2).

Der Indikator kommt auch in dem Beispiel für ein Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 vor. Die vorgeschlagenen Bewertungsklassen lehnen sich an denen der Norm an.

In diesem Indikator wird die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zunächst möglichst unabhängig von weiteren Aspekten wie den Ersatzteilkosten, -lieferzeiten etc. bewertet. Für diese Aspekte folgen weitere Indikatoren. Wie Indikatoren, die sich auf ein Thema beziehen (hier: Ersatzteile) auch mathematisch möglichst unabhängig voneinander berechnet werden können, wird im Kapitel 6.2 adressiert.

In der nachfolgende Tabelle 59 werden die Bewertungsklassen und die Punkteskala für den Indikator gezeigt. Wenn ein Ersatzteil nicht verfügbar ist, und daher ein Austausch des Teils nicht stattfinden kann werden null Punkte vergeben.

Tabelle 59: Indikator „Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Verfügbarkeit von Ersatzteilen	Teile	A: Das Ersatzteil ist für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar	A = 10
		B: Das Ersatzteil ist für fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar	B = 7
		C: Das Ersatzteil ist nur für Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar	C = 3
		D: Das Ersatzteil ist nicht verfügbar	D = 0

Quelle: Eigene Darstellung

In Bezug auf die Verfügbarkeitsmachung von Ersatzteilen hat sich in den Fallstudien herausgestellt, dass das Suchen und die Bestellung über einen Internetseite oder eine Anfrage an einen guten Kundenservice im selben Maße zielführend sind. In diesem Indikator wird hier daher nicht bewertet wo oder wie etwas verfügbar gemacht wird.

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Für eine effektive Bewertung sollte vom Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle definiert werden, für welche Zielgruppe (Privatpersonen, kompetente Reparatur*innen, Vertragspartner*innen/Hersteller) welche prioritären Teile als Ersatzteile zur Verfügung gestellt werden. Die Angabe wird zum Zeitpunkt des erstmaligen Inverkehrbringens eines Gerätemodells gemacht. Der Aspekt, wie lange das Ersatzteil zur Verfügung gestellt wird, wird in dem Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ bewertet (s. Kapitel 5.2.3).

5.2.3 Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen

Mit dem Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ wird bewertet für welchen Zeitraum die Verfügbarkeit derjenigen Teile, die der Hersteller für eine Zielgruppe zur Verfügung stellt, zugesagt wird.

Ein Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ ist auch Teil des Beispiels für ein Kennzahlensystem in der Norm EN 45554. Dort werden als Bewertungsklassen keine Informationen zur Dauer der Verfügbarkeit sowie kurzfristige, mittelfristige und langfristige Verfügbarkeit vorgeschlagen. Die Ausgestaltung wird dem Anwender des Dokuments überlassen. Ebenso wird dem Anwender überlassen, welcher Zeitraum bewertet werden sollte (z. B. Zeitraum nach Markteinführung eines Produkts, Zeitraum nach Verkauf eines Produkts etc.). Die Norm schlägt auch vor, die Bewertung anhand einer Herstelleraussage für das Modell vorzunehmen.

Im Rahmen der Fallstudien wurde festgestellt, dass die Verfügbarkeit von Ersatzteilen von vielen Herstellern (zeitlich) sehr flexibel gehandhabt wird. Sie hängt z. B. von den (aktuellen) Verkaufszahlen einzelner Modelle ab. Diese Flexibilität kommt insbesondere bei den Druckern vor. Andere Hersteller geben dagegen an, dass Ersatzteile, die sie zur Verfügung stellen, für Mindestzeiträume von mehreren Jahren verfügbar bleiben.

Aufgrund der flexiblen Handhabung der Ersatzteilverfügbarkeit durch die Hersteller, sollte in dem Indikator die Zusage des Herstellers bewertet werden, da sich die tatsächliche Verfügbarkeit am Markt wöchentlich ändern kann und die Reparierbarkeit von Geräten immer neu bewertet werden müsste. Das Prinzip sich nach einer Aussage des Herstellers zu richten, entspricht dem Ansatz, der auch zum Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 vorgeschlagen wird. Die Zusage des Herstellers muss mit einbeziehen, für welche Zielgruppen der Hersteller Ersatzteile als verfügbar definiert hat (s. Kapitel 5.2.2) und sollte für einen Zeitraum nach dem Inverkehrbringen des letzten Gerätemodells gelten. Wenn ein Hersteller z. B. angibt, dass Einzugsrollen für ein Druckermodell für Privatpersonen zur Verfügung stehen, wird dies zunächst im Indikator „Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ bewertet.

Im Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ können Punkte dann erzielt werden, wenn der Hersteller zusagt, dass die Verfügbarkeit dieses Teils für Privatpersonen für einen Mindestzeitraum an Jahren nach dem Inverkehrbringen des letzten Gerätemodells aufrecht erhalten bleibt. Wenn keine Zusage erfolgt, können in diesem Indikator auch keine Punkte erzielt werden.

Es wird vorgeschlagen, den Indikator Dauer der Verfügbarkeit auf der Geräteebene zu bewerten da Zusagen von Herstellern i. d. R. mindestens für ein Modell und in vielen Fällen auch für alle Modelle eines Herstellers getätigt werden. Die nachfolgende Tabelle 60 zeigt die Bewertungsklassen und die Punkteskala für den Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“.

Um die Ergebnisse der Fallstudien abzubilden, werden Bewertungsklassen mit drei Zeitfenstern gebildet. Die Formulierungen (kurz-, mittel-, langfristig) aus dem Kennzahlensystem der Norm EN 45554 erscheinen sinnvoll und werden daher übernommen. Aufgrund der Ergebnisse der Fallstudien, werden jedoch auch konkrete Zeiträume für Drucker und Trockner vorgeschlagen. Die Zeiträume sind dabei unterschiedlich gewählt, um dem i. d. R. schnelleren technischen

Fortschritt in der Informationstechnik Rechnung zu tragen (s. Tabelle 60). Es wird davon ausgegangen, dass die Bewertungsklassen auf einige weitere Produktgruppen von Haushaltsgroßgeräten und Informationstechnik übertragen werden können.

Als Beginn des Zeitraums, für den die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zugesagt werden muss, wird in der optimierten Reparierbarkeitsmatrix das Inverkehrbringen des letzten Geräts eines Modells gewählt, da auch dieses letzte Gerät reparierbar sein muss.

In der nachfolgenden Tabelle 60 sind die Bewertungsklassen und die Punkteskala der optimierten Reparierbarkeitsmatrix für Trockner und Drucker dargestellt.

Tabelle 60: Indikator „Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen	Gerät	A: Langfristige Verfügbarkeit (≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde) B: Mittelfristige Verfügbarkeit (> 2 bis < 10 Jahre bei Druckern und > 2 bis < 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde) C: Kurzfristige Verfügbarkeit oder keine Verfügbarkeit (≤ 2 Jahre bei Druckern sowie Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde)	A = 10 B = 5 C = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Wie zuvor beschrieben, wird mit diesem Indikator die Zusage des Herstellers bzgl. der Verfügbarkeit von Ersatzteilen für ein Modell bewertet. Für eine effektive Bewertung, sollte daher der Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle einen Mindestzeitraum für die Verfügbarkeit der Ersatzteile zusagen oder nicht zusagen.

5.2.4 Lieferzeit für Ersatzteile

Mit diesem Indikator wird bewertet, wie schnell Ersatzteile, die vom Hersteller verfügbar gemacht werden, zur Verfügung stehen. Dieser Aspekt wird in der optimierten Reparierbarkeitsmatrix mit bewertet, da eine extrem lange Lieferzeit von mehreren Wochen dazu führt, dass das Ersatzteil faktisch nicht verfügbar ist und eine Reparatur verhindert wird. Im Rahmen der Fallstudien kamen vereinzelt sehr lange Lieferzeiten vor. Daher wird dieser Aspekt bewertet.

Die Lieferzeit von Ersatzteilen wird in dem Beispiel eines Kennzahlensystems in der Norm EN 45554 nicht als Indikator vorgeschlagen. Zur Verfügbarkeit von Ersatzteilen ist dort vermerkt: „Bei der Festlegung produktspezifischer Bewertungsverfahren kann der Anwender dieses Dokuments gegebenenfalls den Aspekt der Lieferzeit von Ersatzteilen berücksichtigen.“

Analog zu der Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen, soll in der optimierten Reparaturmatrix eine Zusage von Herstellern bewertet werden. Sinnvollerweise sollte sich die Zusage auf die Zeitspanne zwischen Bestelleingang und dem Zeitpunkt beziehen, an dem das Ersatzteil das Lager des Herstellers oder eines Dienstleisters verlässt. Das schließt aus, dass Auslieferungs-

schwierigkeiten bei externen Logistikdienstleistern die Bewertung von Geräten beeinflussen. Um den administrativen Aufwand des Indikators, der bereits auf Teileebene bewertet wird einzuschränken, erfolgt keine Einteilung nach Zielgruppen. Die Fallstudien haben gezeigt, dass Lieferzeiten für Privatpersonen oder kompetente Reparatur*innen nicht abweichen.

Für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix wird, dort wo es möglich ist, das Prinzip angewendet Indikatoren unabhängig voneinander zu bewerten. Für die Lieferzeit von Ersatzteilen bedeutet dies, dass die Lieferzeit eines Teils, welches nicht verfügbar ist, nicht mit in die Bewertung eingeht. So soll eine doppelte negative Bewertung eines Sachverhalts verhindert werden. Wie dies bei der Anwendung der Matrix mathematisch umgesetzt wird, wird im Kapitel 6.2 erläutert.

Der Indikator wird auf Teileebene bewertet, da in den Fallstudien große Unterschiede bei der Lieferzeit von verschiedenen Ersatzteilen deutlich wurden. Die nachfolgende Tabelle 61 zeigt die Bewertungsklassen und die Punkteskala für den Indikator „Lieferzeit von Ersatzteilen“. Für die Bewertungsklasse D wird ein Punkt vergeben, da ein nach langer Zeit lieferbares Ersatzteil immer noch lieferbar ist. Die Abstände für die Bewertungsklassen wurden so gewählt, dass sie Spannbreiten bei den Geräten abbilden, die Teil der Fallstudien waren.

Tabelle 61: Indikator „Lieferzeit von Ersatzteilen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Lieferzeit für Ersatzteile	Teile	A: ≤ 4 Werktag B: 5-14 Werktag C: 15-21 Werktag D: ≥ 22 Werktag	A = 10 B = 7 C = 4 D = 1

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Wie zuvor beschrieben, wird mit diesem Indikator die Zusage des Herstellers bzgl. der Lieferzeit von Ersatzteilen bewertet. Für eine effektive Bewertung, sollte daher der Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle je Teil einen Zeitraum zusagen, nachdem dieses das Lager verlässt. Dies gilt für die Ersatzteile, die für mindestens eine Zielgruppe verfügbar definiert wurden. Wenn der Hersteller keine Zusage für die Lieferzeit trifft, wird die schlechteste Bewertungsklasse angenommen.

5.2.5 Kosten für Ersatzteile

Mit dem Indikator „Kosten für Ersatzteile“ werden die Kosten der verfügbar gemachten Ersatzteile bewertet. Im Rahmen der Fallstudien kamen einige Teile vor, deren Ersatzteilpreis fast so hoch lag wie der Preis für das gesamte Gerät. Solche Kosten können in der Praxis dazu führen, dass Ersatzteile nur theoretisch verfügbar sind und Reparaturen nicht durchgeführt werden.

Der Indikator „Kosten für Ersatzteile“ ist nicht im Beispiel für ein Kennzahlensystem der Norm EN45554 enthalten. Im Rahmen der Fallstudien hat sich allerdings gezeigt, dass eine große Spannbreite bezüglich der Ersatzteilkosten existiert. Daher sollte ein solcher Indikator in Bezug auf Reparierbarkeit bewertet werden. Dies wird z. B. auch im französischen Reparaturindex umgesetzt (s. Kapitel 3.2.1). Bei diesem werden Ersatzteilkosten in Prozent des Gerätepreises bewertet. Diese Vorgehensweise wurde hier ebenfalls gewählt.

Ebenso wie die Verfügbarkeit von Ersatzteilen könnten auch die Kosten von Ersatzteilen zeitlich flexibel sein. Um ein Gerät einmalig bei dem ersten Inverkehrbringen bewerten zu können, wird daher die Zusage des Herstellers bewertet, dass ein Ersatzteil bis zu einem bestimmten Maximalpreis verfügbar ist. Die Zusage muss für die Dauer der Verfügbarkeit gelten, die der Hersteller zusagt.

Die Fallstudien haben gezeigt, dass Ersatzteile in unterschiedlichen Ausführungen und Komplexitäten zur Verfügung gestellt werden. In diesem Zusammenhang ist es i. d. R. so, dass einzelne Ersatzteile kostengünstiger sind als Bauteilgruppen. Aus Umweltsicht erfordert der Tausch einzelner Bauteile i. d. R. weniger Ressourceneinsatz als der Tausch von Baugruppen. Allerdings kann der Tausch einer Baugruppen für Privatpersonen in vielen Fällen einfacher durchführbar sein, während der Tausch von einzelnen Bauteilen ggf. deutlich schwieriger ist. Durch Bauteilgruppen oder -sets werden Reparaturen daher in vielen Fällen ressourcenintensiver und teurer, aber einfacher.

Um abzubilden, dass komplexere Ersatzteile (d. h. Baugruppen) mehr Materialeinsatz erfordern und mehr kosten können als einfache Ersatzteile (z. B. Dichtungen), erfolgt eine Untergliederung des Indikators nach drei Ersatzteilklassen. Diese werden wie folgt definiert:

1. **Baugruppen** werden zur Erfüllung einer bestimmten Funktion aus mehreren Einzelteilen bzw. Bauteilen zusammengesetzt (DIN EN ISO 10209:2012; ISO 7573:2008; Neudörfer 2005).
2. Baugruppen können selbst auch aus Baugruppen bestehen (Pahl/Beitz 1993), diese werden in diesem Projekt als **Unterbaugruppen** bezeichnet (DIN 199-3:1978).
3. **Bauteile** sind Einzelteile, die nicht weiter zerlegt werden können, ohne grundlegende Eigenschaften zu verlieren (DIN EN ISO 10209:2012; ISO 14617-1:2005).

So wie bei der Lieferzeit von Ersatzteilen wird wieder das Ziel verfolgt, Indikatoren möglichst unabhängig voneinander zu bewerten. Es gehen daher nur Kosten von Ersatzteilen in eine Bewertung ein, die mindestens für eine Zielgruppe verfügbar sind. Zur mathematischen Umsetzung s. Kapitel 6.2. Eine zusätzliche Untergliederung nach Zielgruppen erfolgt nicht, da die Fallstudien keine Preisabweichungen zwischen Zielgruppen gezeigt haben.

Die Kosten der Ersatzteile werden auf Teileebene bewertet. In der nachfolgenden Tabelle 64Tabelle 62 sind die Bewertungsklassen und die Punkteskala für den Indikator „Kosten für Ersatzteile“ dargestellt. Für die Bewertungsklasse C wird ein Punkt vergeben, da ein sehr teures Ersatzteil immer noch verfügbar ist. Die Abstände für die Bewertungsklassen wurden so gewählt, dass sie Spannbreiten bei den Geräten abbilden, die Teil der Fallstudien waren.

Tabelle 62: Indikator „Kosten für Ersatzteile“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Kosten für Ersatzteile	Teile	Baugruppen A: $\leq 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde B: > 20 bis $< 50\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde C: $\geq 50\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde	A = 10 B = 5 C = 1
		Unterbaugruppen: A: $\leq 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde B: > 10 bis $< 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde C: $\geq 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde	A = 10 B = 5 C = 1
		Bauteile A: $\leq 5\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde B: > 5 bis $< 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde C: $\geq 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde	A = 10 B = 5 C = 1

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Wie zuvor beschrieben, wird mit diesem Indikator die Zusage des Herstellers bzgl. Ersatzteilkosten bewertet. Für eine effektive Bewertung, sollte daher der Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle zusagen, dass ein Ersatzteil bis zu einem Maximalpreis zur Verfügung steht. Dies gilt für die Ersatzteile, die vom Hersteller als für mindestens eine Zielgruppe verfügbar definiert wurden. Die Zusage muss für den Zeitraum gelten, für den der Hersteller die Verfügbarkeit des Ersatzteils zusagt. Wenn ein Hersteller keine Zusage macht, wird die schlechteste Bewertungsklasse angenommen.

5.2.6 Verfügbarkeit von Informationen

Mit dem Indikator wird bewertet, ob und für wen Reparaturinformationen, von Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen der Fallstudien hat sich gezeigt, dass solche Informationen Reparaturvorgänge vereinfachen können.

Die Verfügbarkeit von Informationen ist in dem Beispiel eines Kennzahlensystems in der Norm EN 45554 als Indikator enthalten. Dort wird zum einen die Art der verfügbaren Information bewertet. Als Bewertungsklassen werden grundlegende, umfassende und keine Informationen vorgeschlagen. Die Begriffe werden in der horizontalen Norm nicht ausgeführt. Daher ist es dem Anwender überlassen, zu definieren was grundlegende oder umfassende Informationen sind. Darüber hinaus wird in der Norm bewertet für welche Zielgruppe die Informationen verfügbar sind.

Die grundlegenden Ansätze aus der Norm werden für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen (s. Tabelle 63). Die Bewertungsklassen werden auf der Basis der Fallstudien definiert. Als grundlegende Informationen werden Explosionszeichnungen, Fehlercodetabellen und Schaltpläne definiert, da diese insbesondere dazu dienen können, die Entscheidung für eine Reparatur zu treffen. Wenn zusätzlich Reparaturanleitungen zur Verfügung gestellt werden, wird dies als umfassende Informationen gewertet. Eine Bewertungsklasse wird erreicht, wenn die beiden geforderten Informationen verfügbar sind. Um die Klasse A zu erreichen, müssen also grundlegende und umfassende Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Der Indikator ist nach den im Projekt betrachteten Zielgruppen untergliedert und wird auf Geräteebene bewertet. Die nachfolgende Tabelle 63 zeigt die Bewertungsklassen und Punkteskala für den Indikator Verfügbarkeit von Informationen. Die Vergabe von null Punkten erfolgt, wenn die grundlegenden Informationen nicht verfügbar gemacht werden.

Tabelle 63: Indikator „Verfügbarkeit von Informationen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Verfügbarkeit von Informationen	Gerät	Für Privatpersonen:	
		A: Es sind umfassende Informationen verfügbar	A = 10
		B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar	B = 5
		C: Es sind keine Informationen verfügbar	C = 0
		Für fachlich kompetente Reparatur*innen:	
		A: Es sind umfassende Informationen verfügbar	A = 10
		B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar	B = 5
		C: Es sind keine Informationen verfügbar	C = 0
		Für Vertragspartner*innen des Herstellers / den Hersteller:	
A: Es sind umfassende Informationen verfügbar	A = 10		
B: Es sind grundlegende Informationen verfügbar	B = 5		
C: Es sind keine Informationen verfügbar	C = 0		

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Für eine effektive Bewertung sollte vom Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle definiert werden, für welche Zielgruppe (Privatpersonen, kompetente Reparatur*innen, Vertrags-

partner*innen / Hersteller) welche Informationen zur Verfügung gestellt werden. Die Informationsverfügbarkeit muss definiert und für dieselbe Dauer zugesagt werden, für die der Hersteller die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zusagt (s. Kapitel 5.2.3). Trifft ein Hersteller keine Aussage zur Informationsverfügbarkeit wird die schlechteste Bewertungsklasse angenommen.

In Bezug auf die Fehlercodetabellen wird bewertet, ob sie zur Verfügung gestellt werden. Der Umfang wird nicht bewertet, da aus den Fallstudien kein objektives Maß für die Güte der Fehlercodetabelle abgeleitet werden konnte. Anhand der Explosionszeichnung müssen die prioritären Teile, einschließlich des Orts, an dem sie im Gerät verbaut sind, eindeutig identifizierbar sein. Als begleitende Information müssen eindeutige Teilenummern enthalten sein. Schaltpläne müssen aufzeigen, welche Spannung an prioritären Teilen während des fehlerfreien Betriebs anliegen muss und welche Stromstärke das Teil aufnehmen muss. Aus den Reparaturanleitungen müssen die vorgeschlagenen Arbeitsschritte zum Entfernen der prioritären Teile hervorgehen, einschließlich der Befestigungsarten, die zu lösen sind. Wenn für die Durchführung einer Operation ein Werkzeug benötigt wird, dass nicht von allen Zielgruppen frei im Handel erworben werden kann, ist darauf hinzuweisen.

In Bezug auf die Fehlercodetabellen muss beachtet werden, dass die Verfügbarkeit in Verbindung mit der Bewertung der Diagnoseschnittstelle erfolgen muss. Wenn ein Gerät bei der Diagnoseschnittstelle die Bewertungsklasse A (intuitive Schnittstelle) erreicht, gilt die Fehlercodetabelle als verfügbar.

5.2.7 Diagnoseschnittstellen

Mit dem Indikator wird bewertet, wie ein Gerät mögliche Fehler kommuniziert bzw. wie diese ausgelesen werden können. Nach den Ergebnissen der Fallstudien sollten als Bewertungsklassen mindestens intuitive und codierte Benutzerschnittstellen, nicht proprietäre und proprietäre Datenschnittstellen abgebildet werden.

Diagnose-Support und Schnittstellen sind in dem Beispiel eines Kennzahlensystems in der Norm EN 45554 als Indikator enthalten. Die dort vorgestellten Bewertungsklassen bilden die Ergebnisse der Fallstudien gut ab und werden daher für die optimierte Reparierbarkeitsmatrix übernommen (s. Tabelle 64).

Der Indikator wird auf Geräteebene bewertet. Die nachfolgende Tabelle 64 zeigt die Bewertungsklassen und Punkteskala für den Indikator Diagnoseschnittstellen. Wenn ein Gerät mehr als eine Schnittstelle hat, wird die beste erreichte Bewertungsklasse gewertet.

Tabelle 64: Indikator „Schnittstellen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Fehlerdiagnose	Gerät	A: Intuitive Schnittstelle: Fehler wird mit einem Signal kommuniziert, dass ohne externe Begleitdokumentation verstanden wird.	A = 10
		B: Codierte Schnittstelle mit öffentlicher Referenztafel: Fehler kann über Schnittstelle in Verbindung mit mitgelieferter oder öffentlich verfügbarer Begleitdokumentation, (z. B. Fehlercodetabelle) ausgelesen werden.	B = 7

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
		C: Öffentlich verfügbare Hardware- / Softwareschnittstelle: Es wird eine öffentlich verfügbare Hardware und / oder Software benötigt, um den Fehler auszulesen.	C = 4
		D: Proprietäre Schnittstelle: Um den Fehler auszulesen, wird eine proprietäre Hardware und / oder Software benötigt, die nicht mit dem Produkt mitgeliefert wird.	D = 1
		E: Mit keiner Schnittstellenart möglich.	E = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Für eine effektive Bewertung sollten vom Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle Angaben zu Diagnoseschnittstellen gemacht werden. Die Fallstudien haben gezeigt, dass diese Information in den Bedienungsanleitungen von Geräten enthalten ist. I. d. R. reicht es daher aus, die Bedienungsanleitungen einer überwachenden Stelle zur Verfügung zu stellen.

5.2.8 Dauer der Verfügbarkeit von aktualisierter Software und Firmware

Mit dem Indikator wird bewertet für welchen Zeitraum die Verfügbarkeit von aktualisierter Software und Firmware vom Hersteller zugesagt wird. Aktualisiert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Hersteller zusagt, dass die Software / Firmware für eine Anzahl an Jahren an neue Gegebenheiten, wie z. B. neue Betriebssysteme angepasst wird. Die Fallstudien haben gezeigt, dass bei Software und Firmware deren Verfügbarkeit das entscheidende Kriterium war. Weitere Aspekte, wie Kosten oder Lieferzeiten waren nicht relevant, da Software jeweils kostenlos herunterzuladen war. Es wird daher nur die Verfügbarkeit von aktualisierter Software und Firmware fokussiert, um den administrativen Aufwand für eine optimierte Reparierbarkeitsmatrix zu begrenzen. Die Anpassung der Matrix für eine detailliertere Bewertung von verschiedenen Indikatoren für Software analog zu Ersatzteilen ist jedoch bei Bedarf möglich.

Der Aspekt von Software und Firmware wird in dem Beispiel eines Kennzahlensystems in der Norm EN 45554 betrachtet. Dort wird der Ansatz gewählt, dass Software als Ersatzteil gelten kann und mit den Ersatzteilen über deren Indikatoren abgedeckt wird.

In der optimierten Reparierbarkeitsmatrix werden Software und Firmware in einem eigenen Indikator bewertet, um den Aspekt der Aktualisierung abzubilden. Bei Dauer der Verfügbarkeit geht es nicht nur darum, dass z. B. ein Treiber für eine Anzahl von Jahren im Internet zum Download angeboten wird. Zusätzlich muss für eine positive Bewertung in diesem Indikator vom Hersteller zugesagt werden, dass ein angebotener Treiber für eine Anzahl von Jahren aktualisiert wird. Dies umfasst, dass der Treiber für gängige Betriebssysteme angeboten wird, die innerhalb dieser Anzahl Jahre neu auf den Markt kommen.

Der Indikator wird auf Geräteebene bewertet und in die Punkte Software (hier Treiber) und Firmware untergliedert. Der Punkt Treiber ist ggf. nur bei Geräten der Informationstechnik relevant (hier Drucker). Die nachfolgende Tabelle 65 zeigt die Bewertungsklassen und Punkteskala für den Indikator Treiber und Firmware.

Tabelle 65: Indikator „Software und Firmware“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Firmware	Gerät	A: Notwendige Aktualisierung der Firmware für ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde B: Notwendige Aktualisierung der Firmware > 2 bis < 10 Jahre bei Druckern und > 2 bis < 15 Jahre bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde C: Notwendige Aktualisierung der Firmware ≤ 2 Jahre bei Druckern sowie bei Trocknern, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde	A = 10 B = 5 C = 0
Treiber (Nur für Drucker)	Gerät	A: Aktualisierung der Treiber für ≥ 10 Jahre für alle relevante Betriebssysteme, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde (Windows, macOS, Linux) B: Aktualisierung der Treiber für alle ursprünglich unterstützten Betriebssysteme für ≥ 10 Jahre nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde C: Aktualisierung der Treiber für < 10 Jahre nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde	A = 10 B = 5 C = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Wie zuvor beschrieben, wird mit diesem Indikator die Zusage des Herstellers bzgl. der Verfügbarkeit von aktualisierter Firmware und Treibern bewertet. Für eine effektive Bewertung, muss daher der Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle einen Mindestzeitraum für diese Verfügbarkeit zusagen oder nicht zusagen. Wenn keine Zusage erfolgt, wird die schlechteste Bewertungsklasse erreicht. Die überwachende Stelle muss periodisch überprüfen und festlegen welche Betriebssysteme als relevant gelten.

5.2.9 Zurücksetzen auf Werkseinstellungen

In dem Indikator wird bewertet, ob und wie ein Gerät in seinen Auslieferungszustand zurückversetzt werden kann. Der Indikator ist i. d. R. nur bei elektronischen Geräten relevant (hier: Bei Druckern).

Das „Zurücksetzen von Passwörtern und auf Werkseinstellungen“ ist ein Indikator, der im Beispiel für ein Kennzahlensystem in der Norm EN 45554 enthalten ist. Die dort vorgestellten vier Bewertungsklassen decken die Möglichkeiten zum Zurücksetzen auf Werkseinstellungen ab und werden daher sinngemäß übernommen.

Der Indikator wird auf Geräteebene bewertet. Die nachfolgende Tabelle 66 zeigt die Bewertungsklassen und Punkteskala für den Indikator „Wiederherstellung von Werksinformationen“. Wenn ein Zurücksetzen nicht möglich ist, werden null Punkte vergeben.

Tabelle 66: Indikator „Wiederherstellung von Werksinformationen“ im Bewertungssystem

Indikator	Bewertungsebene	Bewertungsklassen	Punkteskala
Zurücksetzen auf Werkseinstellungen und von Passwörtern (Nur für Drucker)	Gerät	A: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist mithilfe von im Gerät integrierter Funktion möglich	A = 10
		B: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist mithilfe frei zugänglicher Hard- oder Software möglich	B = 5
		C: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist nur Vertragspartnern des Herstellers / dem Hersteller möglich (Servicereset)	C = 1
		D: Wiederherstellung der Werkseinstellungen und Zurücksetzen von Passwörtern ist nicht möglich	D = 0

Quelle: Eigene Darstellung

Hinweise für die Anwendung und Überwachung des Indikators:

Für eine effektive Bewertung sollten vom Hersteller gegenüber einer überwachenden Stelle Angaben zum Zurücksetzen auf Werkseinstellungen gemacht werden. Die Fallstudien haben gezeigt, dass diese Information in den Bedienungsanleitungen von Geräten enthalten sind. I. d. R. reicht es daher aus, die Bedienungsanleitungen einer überwachenden Stelle zur Verfügung zu stellen.

6 Beispielhafte Bewertung von ausgewählten Druckern und Trocknern mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix

In diesem Kapitel wird die im Kapitel 5 optimierte Reparierbarkeitsmatrix an jeweils zwei Druckern und zwei Trocknern auf Ihre Tauglichkeit hin überprüft. Zum einen wird durch die Bewertung der Geräte beispielhaft demonstriert, dass die Reparierbarkeitsmatrix anwendbar ist. Zum anderen wird durch dieses Vorgehen überprüft, ob die Reparierbarkeitsmatrix Punktwerte erzeugt, die nach den Ergebnissen der Fallstudien sinnvoll erscheinen. Für die Überprüfung der Reparierbarkeitsmatrix wurden Geräte ausgewählt, die Teil der Fallstudien waren.

6.1 Auswahl von Geräten

Für die Überprüfung der optimierten Reparierbarkeitsmatrix an den Druckern wurden mit den Laserdruckern LD3 und LD4 des Herstellers 3 zwei Geräte ausgewählt, die von demselben Hersteller stammen. Darüber hinaus haben die Ergebnisse der Fallstudie gezeigt, dass die Geräte sich relativ ähnlich sind (z. B. beim Indikator Ersatzteilverfügbarkeit). Daher wurde erwartet, dass die beiden Drucker bei der Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix Punktwerte erzielen würden, die relativ nah beieinander liegen. Die Drucker wurden derart ausgewählt, um zu überprüfen, ob dies tatsächlich der Fall ist. (Zum Ergebnis s. Kapitel 6.3.)

Für die Überprüfung der optimierten Reparierbarkeitsmatrix an den Trocknern wurden mit WPT 1 (Hersteller 1) und WPT 8 (Hersteller 5) zwei Wärmepumpentrockner von unterschiedlichen Herstellern ausgewählt. Darüber hinaus haben die Fallstudien gezeigt, dass die beiden Geräte sich bzgl. vieler Indikatoren vergleichsweise stark voneinander unterscheiden. WPT1 weist z. B. mit 02:36:40 die zweitniedrigste Demontagezeit auf. Dagegen hat der WPT8 mit 05:08:30 die höchste Demontagezeit aller Wärmepumpentrockner der Fallstudie. Darüber hinaus bietet der Hersteller 1 eine sehr gute und der Hersteller 5 eine eingeschränkte Ersatzteilverfügbarkeit an. Daher wurde erwartet, dass der WPT1 des Herstellers 1 einen besseren Punktwert erzielen wird als der Wärmepumpentrockne WPT8 des Herstellers 5. Weiterhin wurde erwartet, dass die Punktwerte der beiden Trockner nach einer Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix weiter auseinander liegen würden als die Punktwerte der beiden Drucker. Die Geräte wurden derart ausgewählt, um zu überprüfen, ob die erwarteten Ergebnisse zutreffen. (Zum Ergebnis s. Kapitel 6.3.)

6.2 Reparierbarkeitsmatrix in Form einer Nutzwertanalyse

Die Indikatoren, Bewertungsklassen und die Punkteverteilung der optimierten Reparierbarkeitsmatrix werden im Kapitel 5 vorgestellt. Nach der Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix soll ein numerischer Punktwert für die Reparierbarkeit eines bewerteten Geräts ausgegeben werden. Dieser Gesamtpunktwert setzt sich aus Teilpunktwerten für die einzelnen Indikatoren zusammen, die für die Reparierbarkeit eines Gerätes wichtig sind.

Um numerische Teilpunktwerte zu berechnen und diese geeignet zum Gesamtpunktwert zu addieren, wurde als Instrument eine Nutzwertanalyse ausgewählt. Zangemeister (1976) definiert die Nutzwertanalyse als:

„(...) die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“

Hierbei stellen die Nutzwerte jeweils das Ergebnis einer ganzheitlichen Bewertung sämtlicher Zielerträge einer Alternative dar. Nachfolgend wird die prinzipielle Vorgehensweise beschrieben.

In diesem Anwendungsfall findet, wie im Kapitel 5 beschrieben, die Bewertung einiger Indikatoren auf der Geräteebene und anderer Indikatoren auf der Teileebene statt. In beiden Fällen können Teilnutzen für die Indikatoren berechnet werden.

Ein Beispiel für die Bewertung eines Indikators auf Geräteebene ist der Indikator Fehlerdiagnose. Die beste Bewertungsklasse, die erreicht werden kann, ist die Bewertungsklasse A. Die Bewertungsklasse A entspricht zehn Punkten. Wenn ein Drucker beim Indikator Fehlerdiagnose die Bewertungsklasse B erreicht, bekommt der sieben von zehn Punkten zugesprochen. Um den Teilnutzen für den Indikator zu berechnen, wird die von einem Gerät erreichte Punktzahl durch die maximal erreichbare Punktzahl geteilt. Dieser Wert wird anschließend mit dem Faktor 10 multipliziert. So wird erreicht, dass jeder Teilnutzen zwischen eins und zehn liegt und von Nutzer*innen schneller erfasst werden kann. Bei einem Drucker, der beim Indikator Fehlerdiagnose ein B erreicht, beträgt der Teilnutzen also $7 / 10 * 10 = 7$.

Das Prinzip der Teilnutzenberechnung bleibt auch dann gleich, wenn die Bewertung eines Indikators nicht auf Geräteebene, sondern auf Teileebene erfolgt. Ein Beispiel für einen Indikator, der auf Teileebene bewertet wird, ist die Ersatzteilverfügbarkeit.

Bei den Laserdruckern wurden z. B. neun prioritäre Teile, also auch neun Ersatzteile betrachtet. Für jedes Ersatzteil wird eine Bewertungsklasse erreicht. Der besten Bewertungsklasse A sind jeweils zehn Punkte zugeteilt. Der maximal erreichbare Punktwert bei der Ersatzteilverfügbarkeit beträgt also $9 * 10 = 90$ Punkte. Wenn bei einem Drucker z. B. acht Mal die Bewertungsklasse A erreicht wird, aber ein Ersatzteil nicht verfügbar ist (entspricht null Punkten) erreicht dieser Drucker 80 von 90 möglichen Punkten. Der Teilnutzen für die Ersatzteilverfügbarkeit ist dann $80 / 90 * 10 = 8,89$.

Neben den beschriebenen Grundprinzipien für die Berechnung der Teilnutzen, ergeben sich bei der durchgeführten Nutzwertanalyse einige Besonderheiten. So wurde im Kapitel 5 bereits beschrieben, dass die Indikatoren, nach Möglichkeit, unabhängig voneinander bewertet werden sollen. Dies wird mit Hilfe der Nutzwertanalyse umgesetzt. Als ein Beispiel hierfür ist der Indikator „Lieferzeit für Ersatzteile“ zu nennen. Bei diesem Indikator geht nur die Lieferzeit der Ersatzteile in den Teilnutzen ein, die für ein Gerät auch tatsächlich verfügbar sind. Die beste Bewertungsklasse A entspricht auch hier zehn Punkten. Wenn z. B. bei einem Laserdrucker acht von neun Ersatzteilen verfügbar sind, aber ein Ersatzteil nicht verfügbar ist, dann werden als maximal erreichbarer Punktwert bei diesem Indikator $8 * 10 = 80$ Punkte angesetzt und nicht 90 Punkte. Der von einem Gerät erreichte Punktwert wird also durch 80 geteilt und anschließend mit zehn multipliziert, um den Teilnutzen zu erhalten.

Auf diese Art und Weise wird verhindert, dass ein betrachtetes Gerät bei einem nicht verfügbaren Ersatzteil null Punkte für eine unendlich lange Lieferzeit bekommt. Dies ist sinnvoll, da ein nicht verfügbares Ersatzteil bereits bei dem Indikator „Ersatzteilverfügbarkeit“ mit null Punkte bewertet wird. Beim Indikator „Lieferzeit“ noch einmal null Punkte zu vergeben, wäre eine doppelte Negativbewertung desselben Sachverhalts. Daher wird im Indikator „Lieferzeit für Ersatzteile“ nur bewertet, wie schnell Ersatzteile geliefert werden können, die tatsächlich verfügbar sind. Dasselbe Prinzip wird auch bei dem Indikator „Kosten von Ersatzteilen“ angewendet.

Eine weitere Besonderheit bei der Nutzwertanalyse ist, dass einige Indikatoren in mehrere Kategorien untergliedert sind. Beispielsweise werden einige Indikatoren je Zielgruppe (Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen, Vertragspartner*innen) bewertet. Ein Beispiel für

einen nach Zielgruppen untergliederten Indikator ist der Indikator „Ersatzteilpolitik des Herstellers“. Dieser Indikator wird auf Geräteebene bewertet. Der Bewertungsklasse A sind unabhängig von der Zielgruppe jeweils zehn Punkte zugeschrieben. Für die Bewertungsklassen B und C werden fünf Punkte oder null Punkte vergeben. Bei der Bewertung erreicht ein Gerät für jede Zielgruppe eine Bewertungsklasse. Der maximal erreichbare Punktwert für den Indikator ist also $3 * 10 = 30$. Wenn ein Gerät zehn Punkte erreicht, weil sicherheitsrelevante Ersatzteile nur für Vertragspartner*innen verfügbar sind, dann wird dieser erreichte Punktwert durch den maximal erreichbaren Punktwert geteilt und anschließend mit dem Faktor zehn multipliziert, um den Teilnutzen für den Indikator zu erhalten: $10 / 30 * 10 = 3,33$. Dasselbe Prinzip der Untergliederung eines Indikators wird auch bei dem Indikator „Kosten von Ersatzteilen“ angewendet.

Die nach den vorgestellten Grundprinzipien und Besonderheiten berechneten Teilnutzen für einzelne Indikatoren werden anschließend zu einem Nutzwert (Gesamtpunktwert) je Gerät zusammengefasst. Wie bei der Nutzwertanalyse üblich, werden dazu zunächst die Teilnutzen in gewichtete Teilnutzen umgerechnet. Dazu werden die Teilnutzen mit einer Prozentzahl multipliziert. Die Summe aller Prozentzahlen, mit denen die Teilnutzen multipliziert werden, muss dabei 100% betragen (vgl. Tabelle 67 und Tabelle 68). Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass der Nutzwert (hier: Punktwert für die Reparierbarkeit) immer zwischen eins und zehn liegt, und von Nutzer*innen schnell erfasst werden kann. Darüber hinaus können Indikatoren unterschiedlich gewichtet werden. Ein höherer Nutzwert bedeutet, dass ein Gerät besser reparierbar ist.

6.3 Ergebnisse der Bewertung

Wie beschrieben wurden je zwei Laserdrucker und Wärmepumpentrockner mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix in Verbindung mit dem zuvor beschriebenen Instrument der Nutzwertanalyse bewertet. Die Nutzwertanalysen sind im Anhang C dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle 67 zeigt die Teilnutzen und die gewichteten Teilnutzen aller Indikatoren sowie die Nutzwerte (Summe der gewichteten Teilnutzen) der Laserdrucker LD3 und LD4 des Herstellers 3.

Tabelle 67: Vergleich Nutzwerte Laserdrucker

Indikatoren	Gewichtung	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 3, LD3	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 3, LD4	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 3, LD3	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 3, LD4
Fehlerdiagnose	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Verfügbarkeit von Informationen	8,33%	3,33	3,33	0,28	0,28
Ersatzteilpolitik des Herstellers bzgl. des Modells	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Verfügbarkeit von Ersatzteilen	8,33%	8,89	8,89	0,74	0,74
Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen	8,33%	0,00	0,00	0,00	0,00
Lieferzeit für Ersatzteile	8,33%	7,00	7,75	0,58	0,65

Indikatoren	Gewichtung	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 3, LD3	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 3, LD4	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 3, LD3	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 3, LD4
Kosten für Ersatzteile	8,33%	3,75	3,75	0,31	0,31
Befestigungsart	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Werkzeuge	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Zurücksetzen von Werkseinstellungen und Passwort	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Software	8,33%	0,00	0,00	0,00	0,00
Demontagetiefe	8,33%	3,33	2,44	0,28	0,20
Summe	100,00%			6,34	6,33

Quelle: Eigene Darstellung

Wie der Spalte „Gewichtung“ zu entnehmen ist, wurden alle Indikatoren gleich gewichtet. Es wäre aber prinzipiell möglich einzelnen Indikatoren ein stärkeres Gewicht zu geben.

Der errechnete Nutzwert des Druckers LD3 des Herstellers 3 beträgt 6,34 und der Nutzwert für den Drucker LD4 des Herstellers 3 beträgt 6,33. Die Nutzwerte liegen also sehr nah beieinander.

Damit entspricht das Ergebnis der Erwartung, dass diese beiden ähnlichen Drucker eines Herstellers bei der Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix Punktwerte erzielen würden, die relativ nah beieinander liegen (s. Kapitel 6.1).

Die Teilnutzwerte der beiden Laserdrucker bei den einzelnen Indikatoren sind häufig identisch. Ausnahmen bilden lediglich die Indikatoren „Lieferzeit für Ersatzteile“ und „Demontagetiefe“. Hier erreichen beide untersuchten Laserdrucker unterschiedliche Teilnutzen. Der LD3 schneidet bei der Demontagetiefe etwas besser ab als der LD4. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den Ergebnissen der Fallstudie überein. Dafür weist der LD4 eine kürzere Lieferzeit für Ersatzteile auf als der LD3. Die Differenzen bei diesen beiden Teilnutzen gleichen sich bei der Bildung der Nutzwerte für die beiden Geräte fast aus, so dass die resultierenden Nutzwerte eng beieinander liegen.

Die nachfolgende Tabelle 68 zeigt die Teilnutzen und die gewichteten Teilnutzen aller Indikatoren sowie die Nutzwerte (Summe der gewichteten Teilnutzen) der Wärmepumpentrockner WPT1 des Herstellers 1 und WPT8 des Herstellers 5.

Tabelle 68: Vergleich Nutzwerte Wärmepumpentrockner

Indikatoren	Gewichtung	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 1, WPT1	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 5, WPT8	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 1, WPT1	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 5, WPT8
Fehlerdiagnose	8,33%	7,00	7,00	0,58	0,58
Verfügbarkeit von Informationen	8,33%	3,33	3,33	0,28	0,28

Indikatoren	Gewichtung	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 1, WPT1	Teilnutzen Skala 1 – 10 Hersteller 5, WPT8	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 1, WPT1	Gewichteter Teilnutzen Hersteller 5, WPT8
Ersatzteilpolitik des Herstellers bzgl. des Modells	8,33%	10,00	6,67	0,83	0,56
Verfügbarkeit von Ersatzteilen	8,33%	10,00	3,06	0,83	0,25
Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen	8,33%	5,00	0,00	0,42	0,00
Lieferzeit für Ersatzteile	8,33%	9,00	9,63	0,75	0,80
Kosten für Ersatzteile	8,33%	9,72	9,69	0,81	0,81
Befestigungsart	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Werkzeuge	8,33%	10,00	10,00	0,83	0,83
Software	8,33%	5,00	0,00	0,42	0,00
Lösbarkeit der Seitenwände	8,33%	7,00	4,00	0,58	0,33
Demontagetiefe	8,33%	5,19	4,31	0,43	0,36
Summe	100,00%			7,59	5,63

Quelle: Eigene Darstellung

Der Wärmepumpentrockner WPT1 des Herstellers 1 schneidet mit einem errechneten Nutzwert von 7,59 deutlich besser ab als der Wärmepumpentrockner WPT8 des Herstellers 5, der einen Nutzwert von 5,63 erreicht. Der WPT1 erreicht bei fast allen Indikatoren einen höheren oder gleichen Teilnutzen wie der WPT8. Lediglich beim Indikator „Lieferzeit für Ersatzteile“ erreicht der WPT8 einen geringfügig besseren Wert. Die Ergebnisse für die Teilnutzen entsprechen den Ergebnissen der Fallstudien, in denen der WPT1 sowohl eine geringere Demontagezeit aufwies als auch eine gute Versorgung im Hinblick auf Ersatzteile.

Auch das Ergebnis bei den Wärmepumpentrocknern entspricht damit der Erwartung, dass der WPT1 bei der Anwendung der Reparierbarkeitsmatrix ein besseres Ergebnis erzielen würde als der WPT8 (s. Kapitel 6.1). Es zeigt, sich auch, dass die Differenz zwischen den Nutzwerten der Wärmepumpentrockner mit unterschiedlichen Herstellern und Geräteeigenschaften deutlich größer ist als bei den ähnlichen Laserdruckern eines Herstellers. Dies entspricht ebenfalls den Erwartungen (s. Kapitel 6.1).

Insofern bildet die optimierte Reparierbarkeitsmatrix die Ergebnisse der Fallstudien ab. Es wird daher konstatiert, dass die Matrix dazu geeignet ist, die Reparierbarkeit von Geräten zu bewerten, auch ohne an den Geräten praktische Untersuchungen durchführen zu müssen. Dabei werden die erwarteten Unterschiede zwischen den Geräten abgebildet.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte beachtet werden, dass bei der hier durchgeführten Bewertung keine Gewichtung von Indikatoren oder von Ersatzteilen vorgenommen wurde. Bei den Laserdruckern und Wärmepumpentrocknern wurde jeder Indikator mit 8,3% gleich stark gewichtet. (Bei jeweils 12 Indikatoren ergibt die Summe der Gewichtungen $12 * 8,3\% = 100\%$). Es ist jederzeit möglich einem Indikator, der als besonders wichtig erachtet wird, eine höhere Gewichtung zuzuteilen. Dazu könnte die Gewichtung (der Prozentwert) eines Indikators erhöht und im Gegenzug die Gewichtung (die Prozentwerte) der anderen Indikatoren verringert werden, solange die Summe der Gewichtungen weiterhin 100% beträgt. Nach demselben Prinzip wäre auch die Einführung einer Gewichtung für Ersatzteile möglich.

7 Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur

Inwiefern ein defektes Produkt repariert werden kann, hängt von einem komplexen Geflecht an Faktoren in verschiedenen Dimensionen ab, z. B. technische und informatorische. Um die Reparatur zu fördern, können diese mithilfe von politischen Instrumenten bewusst verändert werden. Generell umfassen diese Maßnahmen sowohl *harte* Maßnahmen (regulatorisch, ökonomisch) als auch *weiche* Maßnahmen (informatorisch, kooperativ). Zunächst erfolgt eine Bestandsaufnahme, wie inwiefern in zentralen politischen Programmen die Reparatur gefördert wird. Anschließend werden, basierend auf den zentralen Erkenntnissen der theoretischen und praktischen Arbeiten, Empfehlungen zur Förderung der Reparatur formuliert. Dabei stehen vor allem Maßnahmen im Vordergrund, die zum einen in das Abfallvermeidungsprogramm und das Ressourceneffizienzprogramm integriert werden können und sich zum anderen für eine Integration in die Durchführungsmaßnahmen der Ökodesign-Richtlinie eignen. Diese beziehen sich vorrangig auf die technische Umsetzbarkeit unter Berücksichtigung der ökonomischen Rentabilität– ohne dabei die Relevanz von Faktoren in anderen Dimensionen auszublenden.

7.1 Bestandsaufnahme Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur

Zunächst erfolgt eine Bestandsaufnahme, inwiefern in bestehenden produktpolitischen Instrumenten bereits reparaturbegünstigende Anforderungen enthalten sind. Gemäß Auftragsstellung wird auf europäischer Ebene die Ökodesign-Richtlinie und die entsprechenden Durchführungsmaßnahmen analysiert sowie auf nationaler Ebene das Abfallvermeidungsprogramm und das Ressourceneffizienzprogramm. Dadurch wird ersichtlich, an welcher Stelle bestehende Maßnahmen einer Konkretisierung bedürfen, und an welcher Stelle gänzlich neue Maßnahmen aufgegriffen werden müssen, die im Sinne der zentralen Projektergebnisse die Reparatur fördern.

7.1.1 Reparaturfördernde Maßnahmen im Abfallvermeidungsprogramm (AVP)

Die europäische Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) verpflichtet in Artikel 29 Absatz 1 die Mitgliedstaaten dazu, Abfallvermeidungsprogramme zu erarbeiten. Auf nationaler Ebene findet sich die rechtliche Basis entsprechend dieser Vorgabe im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) in § 33 Absatz 3. Das erste deutsche Abfallvermeidungsprogramm (AVP) des Bundes unter Mitwirkung der Länder wurde im Jahr 2013 erstellt. Es umfasst unter anderem konkrete Maßnahmen zur Abfallvermeidung. Diese Maßnahmen befassen sich jedoch ausschließlich mit Abfallvermeidung der öffentlichen Hand, wobei sich einzelne Maßnahmen mittelbar oder unmittelbar auf verschiedene Akteure auswirken, wie zum Beispiel Konsumenten oder Produzenten. Ferner beziehen sich die Maßnahmen des Abfallvermeidungsprogramms nur auf die Abfallvermeidung im rechtlichen Sinne, d. h. „jede Maßnahme, die ergriffen wird, bevor ein Stoff, Material, oder Erzeugnis zu Abfall geworden sind, und dazu dient, die Abfallmenge, die schädlichen Auswirkungen des Abfalls auf Mensch und Umwelt oder den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen zu verringern“ (§ 3 Absatz 20 KrWG).

Bisher sind im Abfallvermeidungsprogramm die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen aufgegriffen, die einen Bezug zur Reparatur im engeren und weiteren Sinne aufweisen:

Einsatz von Planungsmaßnahmen oder sonstigen wirtschaftlichen Instrumenten, welche die Effizienz der Ressourcennutzung fördern:

- Maßnahme 1: Entwicklung von Abfallvermeidungskonzepten und –plänen durch Kommunen, z. B. Hinweise auf Reparaturwerkstätten.

Förderung von Ökodesign:

- ▶ Maßnahme 7: Identifizierung produktspezifischer Anforderungen an eine abfallvermeidende Produktgestaltung im Rahmen von Durchführungsmaßnahmen der EU-Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG), z. B. Möglichkeit der Reparatur von Produkten.
- ▶ Maßnahme 8: Verbreitung von Informationen und Stärkung der Aufmerksamkeit für die Abfall vermeidende Produktgestaltung, z. B. Wettbewerb für reparaturfreundliches Design.
- ▶ Maßnahme 10: Normung, die eine Abfall vermeidende und ressourcenschonende Produktgestaltung unterstützt.
- ▶ Maßnahme 27: Nutzung von Produktkennzeichen für ressourcensparende und somit „Abfall vermeidende“ Produkte.

Förderung der Wiederverwendung und Reparatur geeigneter entsorgter Produkte:

- ▶ Maßnahme 31: Unterstützung von Reparaturnetzwerken, z. B. Schaffung von Qualitätsnetzwerken für Reparatur.
- ▶ Maßnahme 32: Entwicklung von Qualitätsstandards für die Wiederverwendung, z. B. für Reparaturwerkstätten.
- ▶ Maßnahme 34: Unterstützung von Forschung und Entwicklung von Lebensdauer verlängernden Maßnahmen, z. B. Reparatur.

Die praktische Umsetzung des Abfallvermeidungsprogramm ist alle sechs Jahre auszuwerten und bei Bedarf fortzuschreiben. Dementsprechend wurden im Rahmen eines Vorhabens von Wilts et al. (2020) Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Abfallvermeidungsprogramms formuliert. Darin werden zum einen Elektro- und Elektronikgeräte als prioritär zu adressierender Abfallstrom benannt und folgende Empfehlungen formuliert:

- ▶ Ausweis der technischen Lebensdauer und Vorhalt von Ersatzteilen durch die Hersteller, Open-Source-Lösungen, z. B. für den 3D-Druck von Ersatzteilen.
- ▶ Unterstützung freier Soft- und Hardwarelösungen.
- ▶ Nachweispflicht für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger mit eigenen oder externen Re-Use-Einrichtungen.

Zum anderen wird die Reparatur (und Wiederverwendung)¹² als eine zu priorisierende Maßnahme der Abfallvermeidung formuliert, zu deren Förderung folgende Empfehlungen formuliert werden, die ebenfalls auf elektrische und elektronische Geräte zutreffen:

- ▶ Unterstützung der Verbreitung einer Dachmarke und Qualitätsstandards für Wiederverwendungs- und Reparaturlösungen, inkl. Unterstützung der Entwicklung von Versicherungspaketen für Reparaturbetriebe.
- ▶ Einführung eines reduzierten Mehrwertsteuersatzes für Reparaturdienstleistungen durch kleine und mittelständische Unternehmen.
- ▶ Unterstützung der Normung im Bereich reparaturfreundlicher Produkte.

¹² Für eine weiterführende Übersicht zu praxiserprobten Maßnahmen zur Stärkung der Wiederverwendung und deren mengenmäßige Potentiale siehe Fischer et. (2019).

Die Fortschreibung des Abfallvermeidungsprogramms, welche im Januar 2021 veröffentlicht wurde, wurde in diesem Vorhaben nicht mehr ausgewertet.

7.1.2 Reparaturfördernde Maßnahmen im Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes)

Das Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) ist zentraler Bestandteil zur Umsetzung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Es wurde erstmals im Jahr 2012 implementiert und wird alle vier Jahre aktualisiert. Es definiert Ziele, Leitlinien und Handlungsansätze zum Schutz natürlicher Ressourcen. Insbesondere soll einerseits das Wirtschaftswachstum vom Ressourceneinsatz entkoppelt und die damit verbundenen Umweltbelastungen reduziert werden. Andererseits soll die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland gestärkt werden.

Das mittlerweile dritte Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes III) definiert mehrere Handlungsfelder für die Jahre 2020 bis 2023, von denen sich unter anderem folgende explizit auf eine Stärkung der Materialeffizienz durch Reparatur beziehen.

Verlängerung der Lebensdauer der Produkte:

- ▶ Maßnahme 19: Diskriminierungsfreie Bereitstellung von Ersatzteilen und Konstruktions- / Reparaturinformationen untersuchen.
- ▶ Maßnahme 20: Bewertungssystem für Reparierbarkeit in der Praxis als verpflichtende Information entwickeln (prioritäre Maßnahme).

Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung:

- ▶ Maßnahme 50: Marktakteure bei der Setzung von Qualitätsstandards für Prüfung, Reinigung und Reparatur unterstützen.

7.1.3 Reparaturfördernde Maßnahmen in der Ökodesign-Richtlinie

Die Ökodesign-Richtlinie auf europäischer Ebene verfolgt das Ziel, die Umweltwirkungen von energieverbrauchsrelevanten Produkten entlang ihres gesamten Lebenszyklus zu reduzieren. Umgesetzt wird die Richtlinie in nationales Recht durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG). Die Richtlinie dient als Rahmen zur Festlegung von Anforderungen an ein umweltfreundliches Produktdesign. Für die Definition von produktspezifischen Anforderungen sind zwei Mechanismen vorgesehen: Selbstregulierungsinitiativen der Industrie oder Durchführungsmaßnahmen. Erst wenn Anforderungen an das Produktdesign im Rahmen einer produktspezifischen Durchführungsmaßnahme definiert sind, sind sie verpflichtend. Die Europäische Kommission legt in einem Arbeitsprogramm fest, welche Produktgruppen zukünftig behandelt werden.

Bisher umfassen die produktspezifischen Durchführungsmaßnahmen vor allem Anforderungen an die Energieeffizienz, jedoch kaum Anforderungen die Ressourceneffizienz. Im Oktober und Dezember 2019 wurden erstmals Durchführungsmaßnahmen mit spezifischen Materialeffizienzanforderungen implementiert, die im März und bei Lichtquellen im September 2021 in Kraft getreten sind. Sie umfassen folgende Produktgruppen: Kühlgeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, elektronische Displays (inkl. Fernsehgeräte), Lichtquellen und separate Betriebsgeräte, externe Netzteile, Elektromotoren, Kühlgeräte mit Direktverkaufsfunktion (z. B. Verkaufsautomaten für Kaltgetränke, Kühlgeräte im Supermarkt), Transformatoren und Schweißgeräte. Die Maßnahmen adressieren Ersatzteile, Werkzeuge und Reparaturanleitungen:

- ▶ Ersatzteile müssen nach dem Inverkehrbringen des letzten Exemplars des Modells je nach Produktgruppe zwischen sieben oder zehn Jahren zur Verfügung stehen.
- ▶ Es wird unterschieden zwischen Ersatzteilen, die Hersteller den Endnutzerinnen und Endnutzern sowie fachlich kompetenten Reparateuren zur Verfügung stellen müssen und Ersatzteilen, die Hersteller mindestens den fachlich kompetenten Reparateuren zur Verfügung stellen müssen, aber auch den anderen Akteuren geliefert werden können.
- ▶ Die Ersatzteile müssen innerhalb von fünfzehn Arbeitstagen nach Bestelleingang geliefert werden.
- ▶ Ersatzteile müssen mit allgemein erhältlichen Werkzeugen ausgetauscht werden können, ohne das Gerät dauerhaft zu beschädigen.
- ▶ Es müssen vom Hersteller bei Ersatzteilen, die auch Endnutzer*innen zur Verfügung gestellt werden, die Verfahren für deren Bestellung sowie Reparaturanleitungen ab dem Zeitpunkt des Inverkehrbringens des erstens Exemplars eines Modells und bis zum Ende des Verfügbarkeitszeitraums dieser Ersatzteile auf einer frei zugänglichen Webseite des Herstellers, Importeurs oder Bevollmächtigten verfügbar sein.
- ▶ Fachlich kompetenten Reparatur*innen müssen umfassende Reparaturinformationen, inkl. z. B. Explosionsansicht oder Zerlegungsplan, Informationen über Bauteile und Diagnose, zugänglich gemacht werden, unabhängig davon, ob sie Vertragspartner*innen des Herstellers sind oder nicht.

7.1.4 Zusammenfassende Betrachtung

In mehreren politischen Programmen wird bereits auf die Notwendigkeit verwiesen, die Ressourceneffizienz durch eine Förderung der Reparatur durch diverse Maßnahmen zu erhöhen. Neben dem Ökodesign-Arbeitsplan (2016-2019), dem Abfallvermeidungsprogramm und dem Ressourceneffizienzprogramm betont zum Beispiel auch die umweltpolitische Digitalagenda (2020) als erste von fünf Maßnahmen, dass Produkte durch verbindliche Regelungen, zum Beispiel für Updates, Ersatzteile, den Austausch von Akkus, Displays und weiteren Hardwarekomponenten, nachhaltiger werden sollen.

Bisher fehlt es jedoch vor allem an einer Konkretisierung einiger Maßnahmen, sowie teilweise auch an umfassenden strategisch ausgerichteten Maßnahmen, um die konkreten Anforderungen im politischen Rahmen integrieren zu können. Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus eines Produkts, dann können die in diesem Vorhaben erzielten Erkenntnisse Anforderungen in folgenden Phasen konkretisieren:

- ▶ Designphase: Reparaturfreundliches Produktdesign
- ▶ Verkaufsphase: Informationen für bewusste Kaufentscheidung
- ▶ Nutzungsphase: Reparaturbegünstigende Voraussetzungen

Sie stehen logischerweise in einem Wechselverhältnis zueinander und sind unter anderem ökonomischer, technischer und organisatorischer Art. So ermöglichen zum Beispiel Schraubverbindungen eine zerstörungsfreie Reparatur (Produktion). Dies wird dem Kunden über ein Label ersichtlich (Kauf) und erlaubt bei einem Defekt eine einfachere Reparatur (Nutzung).

7.2 Empfehlung für Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur

Basierend auf den vorausgegangenen theoretischen und empirischen Erkenntnissen dieses Vorhabens, werden abschließend Empfehlungen für Maßnahmen zur Stärkung der Reparatur formuliert.

7.2.1 Empfehlungen für Anpassung der Norm DIN EN 45554

Die Fallstudien, in denen die Anwendbarkeit von DIN EN 45554 überprüft wurde, verdeutlichen im Allgemeinen, dass das in der Norm entwickelte Bewertungsverfahren sinnvoll ist. Die Fallstudien haben im Spezifischen folgende Aspekte verdeutlicht, die in die Fortschreibung der Norm einfließen sollten:

- ▶ **Werkzeuge:** Die Norm enthält eine Liste mit zahlreichen Werkzeugen, die als „grundlegende Werkzeuge“ eingestuft werden. Sie können unabhängig von den zu reparierenden Produkten verwendet werden. Die Fallstudien haben jedoch verdeutlicht, dass ein und derselbe Demontageschritt häufig mit unterschiedlichen Werkzeugen durchgeführt werden kann. Beispielsweise kann ein Sprengring sowohl mit einer Strengringzange als auch mit einem Schlitzschraubendreher gelöst werden. Die Gefahr den Sprengring zu beschädigen ist allerdings bei der Verwendung der Spezialzange geringer. Eine Liste, so wie sie aktuell in der Norm vorgesehen ist, könnte zu ungewollten Zielkonflikten führen, wenn Hersteller z. B. in der Reparaturanleitung die Verwendung von wenig geeigneten Werkzeugen empfehlen, die Teil der Positivliste sind. Es wird daher empfohlen in einer Reparierbarkeitsmatrix nur zu bewerten, ob für die Reparatur Werkzeuge notwendig sind, die einzelnen Zielgruppen (z. B. Privatpersonen) nicht zur Verfügung stehen.
Die Liste könnte dahingehend überarbeitet werden, dass unter „grundlegende Werkzeuge“ alle Werkzeuge fallen, die für Privatpersonen im Handel frei erhältlich sind. Alternativ könnte angedacht werden, eine Liste mit „grundlegenden Werkzeugen“ nur für Schraubverbindungen anzuwenden. Dies würde die Zahl möglicher Zielkonflikte reduzieren, da sich definierte Typen von Schraubendrehern i. d. R. definierten Schraubenköpfen zuordnen lassen, während Klickverbindungen i. d. R. mit einer sehr großen Anzahl unterschiedlicher Hebelwerkzeuge gelöst werden können.
- ▶ **Arbeitsumgebung:** Die für eine Reparatur erforderliche Arbeitsumgebung ist nur schwerlich definierbar und die Fallstudien haben gezeigt, dass zumindest für Drucker und Trockner alle Arbeiten auch in privaten Haushalten auszuführen gewesen wären. Daher ist davon auszugehen, dass ein Indikator „Arbeitsumgebung“ bei vielen Gerätegruppen keine Unterschiede zwischen Herstellern abbildet. Es wird daher empfohlen, bei einer Weiterentwicklung der Norm zu prüfen, ob dieser Indikator sinnvoll ist. Es muss allerdings sichergestellt sein, dass dies nicht dazu führt, dass Geräte nicht mehr in Privathaushalten reparierbar sind. Ggf. sollte die Anforderung, dass Reparaturen in Privathaushalten durchführbar sein müssen, in der Norm generell gestellt werden.
- ▶ **Kenntnisse:** Die für eine Reparatur erforderlichen Kenntnisse können kaum objektiv operationalisiert werden. Viele Reparaturen sind zumindest theoretisch auch von Privatpersonen oder weniger erfahrene Reparatur*innen durchzuführen, wenn dafür in Kauf genommen wird, dass die Reparatur länger dauert. Welche Gruppen von Personen Reparaturen durchführen können, kann in einer Reparierbarkeitsmatrix auch dadurch abgebildet werden, dass die Bewertung anderer Indikatoren für verschiedene definierte Zielgruppen erfolgt. In der optimierten Reparierbarkeitsmatrix werden Indikatoren z. B. für die drei Zielgruppen „Privatpersonen, kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller“ be-

wertet. Es sollte daher überlegt werden, den Indikator „Kenntnisse“ aus der Norm zu streichen.

- ▶ **Rückgabeoptionen:** Rückgabeoptionen sind nicht zwangsläufig für eine Reparatur relevant. Es sollte daher überlegt werden, diesen Indikator aus der Norm zu streichen.
- ▶ **Informationen:** Die verfügbaren Informationen beeinflussen, inwiefern eine Reparatur durchgeführt werden kann. Die Fallstudien zeigen, dass es nicht nur ausreicht, dass Hersteller darauf verweisen, dass diese Informationen überhaupt verfügbar sind, vielmehr sollte über die Norm sichergestellt werden, dass Hersteller diese Informationen selbst zur Verfügung stellen. Die Norm definiert zudem nicht, welche konkreten Informationen verfügbar sein sollen. Wir empfehlen, dass unter „grundlegende Informationen“ Fehlercodetabellen, Explosionszeichnungen und Schaltpläne fallen sollten und unter „umfassende Informationen“ zusätzlich auch Reparaturanleitungen.
- ▶ **Arbeitsschritt:** Bisher definiert die Norm nicht klar, was unter einem Arbeitsschritt zu verstehen ist. Eine Definition muss generell erfolgen, bevor eine Zahl von Arbeitsschritten als Indikator oder als Teil eines anderen Indikators herangezogen werden kann. In den Fallstudien hat sich als praktikabel erwiesen folgende Tätigkeiten als Arbeitsschritt zu werten, die ebenfalls in die Norm aufgenommen werden könnten (s. dazu Kapitel 4.3): (a) Entnehmen eines Bauteils; (b) Aushängen oder beiseite ziehen bzw. legen eines Bauteils; (c) Lösen eines Schraubensatzes, das notwendig ist, um zum nächsten Arbeitsschritt zu gelangen; (d) Lösen von gleichartigen Befestigungselementen, das notwendig ist, um zum nächsten Arbeitsschritt zu gelangen, (e) Kippen oder Anwinkeln von Geräten, um an der Unterseite zu arbeiten, (f) Gerät an den Rand der Arbeitsfläche schieben, um an der Unterseite zu arbeiten.

7.2.2 Empfehlungen für Fortschreibung des AVP und ProgRes

Um die Reparatur zu stärken, bieten sich zahlreiche Optionen. Sie können die bestehenden Maßnahmen im Abfallvermeidungsprogramm und im Ressourceneffizienzprogramm bei deren Fortschreibung erweitern. Basierend auf den Erkenntnissen in diesem Vorhaben werden folgende Vorschläge unterbreitet:

Designphase:

- ▶ Überarbeitung der Norm DIN EN 45554 entsprechend den Vorschlägen in Kapitel 7.2.1.
- ▶ Einführung einer Durchführungsmaßnahme für Drucker zur Verbesserung der Reparierbarkeit und Aufnahme von reparaturrelevanten Indikatoren in die Durchführungsmaßnahmen der Ökodesign-Richtlinie Wäschetrockner entsprechend den Empfehlungen im nachfolgenden Kapitel 7.2.3.
- ▶ Verbreitung der identifizierten Anforderungen an ein reparaturfreundliches Produktdesign bei Herstellern sowie Verankerung eines reparaturfreundlichen Produktdesigns in entsprechenden Studiengängen.

Verkaufsphase:

- ▶ Aufnahme von reparaturrelevanten Kriterien in den Vergabekriterien des Blauen Engel entsprechend den Vorschlägen im nachfolgenden Kapitel 7.2.4.
- ▶ Förderung von Forschungsvorhaben zum Konsumverhalten, um zu identifizieren, inwiefern ein (separates) Label für Reparatur sinnvoll ist.

Nutzungsphase:

- ▶ Bereitstellung von Informationen zur regelmäßigen Wartung von Geräten, um einen ggf. daraus resultierenden Defekt zu verhindern.
- ▶ Bereitstellung von Informationen, damit Servicebetriebe einfach vor Ort gefunden werden können.
- ▶ Förderung von Repair Cafés, um die Hemmschwelle einer ersten eigenständigen Reparatur zu überwinden.

7.2.3 Empfehlungen für Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG

Im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie werden in den sog. **Durchführungsverordnungen** bereits Anforderungen an ein umweltfreundliches Produktdesign formuliert. Es wird empfohlen weitere reparaturspezifische Mindestanforderungen, die eine Bedingung für den Markteintritt darstellen, in die entsprechenden **Durchführungsmaßnahmen** aufzunehmen, beziehungsweise diese folgendermaßen anzupassen:

- ▶ Bei Wäschetrocknern, sowie auch denkbar für andere Haushaltsgroßgeräte (z. B. Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen), müssen die Seitenwände unabhängig voneinander lösbar sein.
- ▶ Es wird als realistisch angesehen die Lieferzeit für Ersatzteile von fünfzehn auf zehn Tage zu verkürzen: Die Ersatzteile müssen innerhalb von **zehn** Arbeitstagen nach Bestelleingang geliefert werden.
- ▶ Für Privatpersonen sollten mindestens alle nicht sicherheitsrelevanten Teile zur Verfügung gestellt werden. Als sicherheitsrelevant gelten in diesem Zusammenhang Teile, die mit einer Spannung von 220 V betrieben werden.
- ▶ Es sollte ein öffentlich sichtbares **Reparierbarkeitslabel** für Geräte eingeführt werden, analog zum Energieeffizienzlabel. Das Reparierbarkeitslabel sollte sich an den Indikatoren und Bewertungsklassen der optimierten Reparierbarkeitsmatrix orientieren. Die vorgeschlagenen Indikatoren umfassen:
 - Demontagetiefe,
 - Befestigungsart,
 - Werkzeuge,
 - Lösbarkeit von Seitenwänden (bei Haushaltsgroßgeräten),
 - Ersatzteilpolitik des Herstellers,
 - Verfügbarkeit von Ersatzteilen,
 - Dauer der Verfügbarkeit von Ersatzteilen,
 - Lieferzeit für Ersatzteile,
 - Kosten für Ersatzteile,
 - Verfügbarkeit von Informationen,
 - Fehlerdiagnose,

- Dauer der Verfügbarkeit von aktualisierter Software und Firmware und
- Zurücksetzen auf Werkseinstellungen.

7.2.4 Empfehlungen für Vergabekriterien des Blauen Engels

Das Umweltzeichen Blauer Engel sollte in seine Vergabekriterien weitere Anforderungen an ein reparaturfreundliches Produktdesign aufnehmen. Da der Blaue Engel ausschließlich an umweltfreundliche Produkte vergeben wird, bietet es sich an, dass sich diese Kriterien an den in der optimierten Reparierbarkeitsmatrix erarbeiteten Indikatoren und den oberen Bewertungsklassen orientieren. Basierend auf der jeweils besten Bewertungsklasse (A) könnten diese Kriterien zum Beispiel wie folgt lauten:

- ▶ Die Anzahl der benötigten **Arbeitsschritte** zur Demontage von Wäschetrocknern und Druckern muss bei $\leq 70\%$ des Mittelwerts liegen.
- ▶ Die verwendeten **Befestigungen** müssen wiederverwendbar sein.
- ▶ Eine Reparatur muss möglich sein ohne **Werkzeuge**, mit Standardwerkzeugen, die für Privatpersonen im Handel erhältlich sind oder mit mitgelieferten Werkzeugen.
- ▶ Die Verfügbarkeit von **Ersatzteilen** muss ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Wäschetrocknern betragen, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde.
- ▶ Ersatzteile müssen für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller verfügbar sein.
- ▶ Für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen / Hersteller müssen nicht sicherheitsrelevante Ersatzteile sowie sicherheitsrelevante Ersatzteile sind verfügbar sein.
- ▶ **Ersatzteile** müssen innerhalb von 4 Werktagen geliefert werden.
- ▶ Hinsichtlich der **Ersatzteilpreise** müssen Baugruppen $\leq 20\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten. Unterbaugruppen müssen $\leq 10\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten. Bauteile müssen $\leq 5\%$ der UVP des Produkts zu dem Zeitpunkt, zu dem das Gerät auf dem Markt platziert wurde, kosten.
- ▶ Für Privatpersonen, fachlich kompetente Reparatur*innen und Vertragspartner*innen des Herstellers müssen umfassende **Informationen** verfügbar sein. Dazu gehören Fehlercodetabellen, Explosionszeichnungen, Schaltpläne und Reparaturanleitungen.
- ▶ Zur **Fehlerdiagnose** muss der Fehler mit einem Signal kommuniziert werden, das ohne externe Begleitdokumente verstanden wird.
- ▶ Notwendige Aktualisierungen der **Firmware** müssen für ≥ 10 Jahre bei Druckern und ≥ 15 Jahre bei Trocknern verfügbar sein, nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde.
- ▶ Bei Druckern müssen die **Wiederherstellung der Werkseinstellungen und das Zurücksetzen von Passwörtern** mithilfe vom im Gerät integrierten Funktionen möglich sein.

- ▶ Bei Druckern müssen Aktualisierung der **Treiber** für ≥ 10 Jahre für alle relevante Betriebssysteme (Windows, macOS, Linux), nachdem das letzte Modell auf den Markt gebracht wurde, möglich sein.
- ▶ Bei Wäschetrocknern müssen sich die vier **Seitenwände** jeweils unabhängig von allen anderen Wänden abnehmen lassen.

Es ist denkbar die Vergabekriterien des Blauen Engels an eine potenziell zukünftig überarbeitete Norm EN 45554 bzw. an ein Reparierbarkeitslabel unter der Ökodesign-Richtlinie anzulehnen. Bei einem solchen Ansatz könnten einzelne Vergabekriterien entweder der jeweils besten Bewertungsklasse bei einzelnen Indikatoren entsprechen oder es könnten für den Blauen Engel noch Bewertungsklasse oberhalb der jeweils besten Bewertungsklasse formuliert werden.

8 Forschungsbedarf

Im Rahmen des Vorhabens konnten fundierte Erkenntnisse theoretischer und empirischer Art zur Reparierbarkeit von elektrischen und elektronischen Geräten identifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen weiteren Forschungsbedarf auf.

- ▶ Die Anwendbarkeit der **Reparaturmatrix** wurde anhand von Wäschetrocknern und Druckern beispielhaft überprüft. Die Erkenntnisse liefern erste zentrale Einblicke, wie die Reparierbarkeit operationalisiert werden kann, allerdings haben sie angesichts der begrenzten Anzahl untersuchter Geräte nur eine begrenzte Aussagekraft. Es wird daher empfohlen die Anwendbarkeit für möglichst unterschiedliche Geräte in unterschiedlichen Preisklassen zu untersuchen, um ein tiefergehendes Verständnis zu entwickeln, inwiefern die Indikatoren und Bewertungsklassen horizontal – über verschiedene Produktgruppen hinweg – angewendet werden können.
- ▶ Für die Festlegung der Anzahl von **Arbeitsschritten**, die ein Indikator der optimierten Reparaturmatrix bilden, sind Referenzwerte erforderlich, die jeweils gerätespezifisch ermittelt werden müssen. Sie wurden in diesem Vorhaben über praktische Untersuchungen identifiziert. Darauf aufbauend wurde zum Beispiel für Wäschetrockner und Drucker beispielhaft als beste Option definiert, dass die Anzahl der benötigten Arbeitsschritte bei $\leq 70\%$ des Mittelwerts liegen darf. Da die zugrundeliegenden Referenzwerte jedoch produktspezifisch sind, wird empfohlen, weitere Untersuchungen für ein breites Produktspektrum durchzuführen, um in der Lage zu sein Referenzwerte für weitere Geräte festzulegen und diese miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus sollten Reihenuntersuchungen an Produktgruppen periodisch wiederholt werden, damit die Referenzwerte den technischen Fortschritt abbilden.
- ▶ Die **prioritären Teile** haben sich als hilfreich erwiesen, um die mit einer Reparatur verbundene Komplexität zu reduzieren. Es zeigt sich dabei, dass sich die prioritären Teile eines Gerätes von Zeit zu Zeit aufgrund technischer Innovationen ändern. Beispielsweise wurde bei den untersuchten Geräten von Reparaturbetrieben genannte Teile aktuell nicht mehr in den Geräten verbaut, wie sich während der praktischen Demontagen zeigte. Es wird daher empfohlen in regelmäßigen Abständen zu untersuchen, welche Teile derzeit in den auf dem Markt befindlichen Geräten vorhanden sind, um die prioritären Teile zu bestimmen.
- ▶ Die in diesem Vorhaben erarbeiteten, überwiegend technischen Aspekte, z. B. Befestigungsarten, Werkzeuge, beeinflussen auf entscheidende Weise, inwiefern ein Gerät repariert werden kann. Sie bilden somit eine notwendige Voraussetzung für eine Reparatur. Allerdings muss beachtet werden, dass nicht nur technische Faktoren generell beeinflussen, ob ein Gerät repariert wird, sondern vielmehr spielen auch **soziale Faktoren** eine Rolle, die in der heutigen Konsumkultur verortet sind, wie zum Beispiel die Wahrnehmung von defekten Geräten als wertlos. Daher sollte analysiert werden, welche Faktoren dafür verantwortlich sind, dass defekte Geräte heutzutage selten repariert werden. Es steht die Vermutung im Raum, dass allein eine Produktkennzeichnung nicht ausreicht, um zu fördern, dass Verbraucherinnen und Verbraucher defekte Geräte tatsächlich reparieren.

9 Quellenverzeichnis

Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder (2013)

Blauer Engel (2021): Blauer Engel. Unser Zeichen für die Umwelt. <https://www.blauer-engel.de/de/blauer-engel/unser-zeichen-fuer-die-umwelt> (10.11.2021)

BMU (2017): Elektro- und Elektronikgeräte in Deutschland – Daten 2017 zur Erfassung, Behandlung und Vorbereitung zur Wiederverwendung. Berichterstattung an die Kommission. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/elektronikgeraete_daten_2017_bf.pdf (26.05.2020)

Boks, C. B.; Kroll, E.; Brouwers, W.C.J.; Stevels, A.L.N. (1996): Disassembly modeling - Two applications to a Philips 21" television set. In: Electronics and the Environment, 1996. ISEE-1996, Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on. S. 224–229. Bracquené, E.; Brusselaers, J.; Dams, Y.; Peeters, J.; De Schepper, K.; Dufloy, J.; Dewulf, W. (2018): Repairability criteria for energy related products – Study. In: the BeNeLux context to evaluate the options to extend the product life time. http://www.benelux.int/files/7915/2896/0920/FINAL_Report_Benelux.pdf (17.10.2018)

Cordella, M.; Sanfeliu J.; Alfieri F. (2018a): Development of an Approach for Assessing the Repairability and Upgradeability of Energy-related Products. *Procedia CIRP* 69:888-892

Cordella, M.; Sanfeliu, J.; Alfieri, F.; Bennett, M. (2018b): Investigating alignment and potential synergies on circular economy requirements between sustainable product policy instruments. JRC Technical Report. European Commission, Seville

Cordella, M.; Alfieri F.; Sanfeliu J. (2019): Analysis and development of a scoring system for repair and upgrade of products. Final report. EUR 29711 EN. Publication Office of the European Union, Luxemburg

Desai, A.; Mital, A. (2003): Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. *Int. J. Ind. Ergon.* 32, 265–281. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141\(03\)00067-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141(03)00067-2)

Europäische Kommission (2018a): Impacts of circular economy policies on the labour market. Final Report and Annexes. Luxembourg

Europäische Kommission (2016): Waste electrical and electronic equipment (WEEE). http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm (08.04.2017)

Europäische Kommission (2019): Verordnung (EU) 2019/2023 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Haushaltswaschmaschinen und Haushaltswäschetrockner gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 1015/2010 der Kommission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32019R2023>

EU Ecolabel (2018a): Über das EU Ecolabel – Geschichte und Zielsetzung. <https://www.eu-ecolabel.de/ueber-das-eu-ecolabel.html> (08.10.2018)

EU Ecolabel (2018b): The European Ecolabel for Personal Computers – The official EU mark for Greener Products. <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/personal.pdf> (05.09.2018)

EU Ecolabel (2018c): The European Ecolabel for Portable Computers – The official EU mark for Greener Products. <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/portable.pdf> (05.09.2018)

EU Ecolabel (2018d): The European Ecolabel for Televisions – The official EU mark for Greener Products. <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/portable.pdf> (05.10.2018)

Flipsen, B.; Bakker, C.; van Bohemen, G. (2016): Developing a repairability indicator for electronic products. In: Electronics Goes Green Conference 2016. Berlin

- Fischer, S.; Müller, A.; Wilts, H.; Meissner, m.; Schwilling, T.; Schulze, I. (2019): Re-Use Berlin – Mit konzertierten Maßnahmen die Wiederverwendung von Gebrauchsgütern stärken. In: Müll und Abfall, 51, 19. S. 440-448
- Französische Umweltbehörde (CDGG/ADEME) (2019): Presentation of detailed generic grids and proposals for discussion points - Working group on reparability index. Präsentation beim Runden Tisch Reparatur. Berlin, 17.07.2019
- Giudice, F.; Kassem, M. (2009): End-of-life impact reduction through analysis and redistribution of disassembly depth - A case study in electronic device redesign. In: Computers & Industrial Engineering. 57 (3). S. 677-690
- Gutowski, T.; Sahni, S.; Boustani, A.; Graves, S. (2011): Remanufacturing and energy savings. In: Environmental Science and Technology, 45 (10). S. 4540–4547
- Hagelücken, C. (2018): Herausforderungen Elektronikschrott-Recycling. Konferenzpaper. 2. Europäische Ressourcenkonferenz in Kooperation mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) und Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). München
- Hagelücken, C. (2006): Improving metal return and eco-efficiency in electronics recycling - A holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining. In: Proceedings of the 2006 International Symposium on Electronics and the Environment, San Francisco. S. 218–223
- Jaeger-Erben (2017): Geplanter oder hervorgebrachter Verschleiß? Das Potential (umwelt)soziologischer Praxistheorien zum Verstehen von Obsoleszenz bei Konsumgütern. Verhandlungen des 38. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie. Band 38/2017
- Joint Research Centre (2018): Analysis and development of a scoring system for repair and upgrade of products. Draft version 1. Sevilla
- Krebs, S.; Schabacher, G.; Weber, H. (2018): Kulturen des Reparierens – Dinge, Wissen, Praktiken. Transcript Verlag: Blielesfeld
- King, A.; Burgess, S.; Ijomah, W.; McMahon, C. (2006): Reducing waste - Repair, recondition, remanufacture or recycle? In: Sustainable Development, 14 (4). S. 257–267
- Kroll, E.; Hanft, T. (1998): Quantitative evaluation of product disassembly for recycling. Research in Engineering Design 10, 1–14. doi:10.1007/bf01580266
- Löhle, S.; Schmiedel, U.; Bartnik, S. (2020): Analyse der Datenerhebung nach ElektroG und UStatG über das Berichtsjahr 2018 zur Vorbereitung der EU-Berichtspflicht 2020. Teilbericht
- Poppe, E. (2014): Reparaturpolitik in Deutschland. Zwischen Produktverschleiß und Ersatzteilnot. SUSTAINUM – Institut für zukunftsfähiges Wirtschaften. Berlin. UBA Texte 135/2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Prakash, S.; Günther, D.; Martin, G.; Tobias, S.; Rainer, S. (2016): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung. Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. Umweltbundesamt. UBA-Texte, 11/2016. Dessau-Roßlau
- Maya-Drysdale, L., Iversen, N.; Gydesen, A. Hansen (2019): Review study on household tumble driers. Final report. Brussels: European Commission
- Ministerium für die ökologische und solidarische Transition (2020): The anti-waste law in the daily lives of the french people – What does that mean in practice? https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/en_DP%20PJL.pdf (21.04.2021)
- Runder Tisch Reparatur (2020): Der französische Reparaturindex – ein Modell für Deutschland und die EU? RTR Factsheet, <https://runder-tisch-reparatur.de/wp-content/uploads/2020/04/RTR-Factsheet-Reparaturindex-April-2020.pdf> (05.05.2020)

Schulze, K; Sydow, J. (2017): Steuerpolitische Instrumente zur Förderung der Reparatur – Eine umwelt- und sozialpolitische Maßnahme. Hintergrundpapier. Berlin: Germanwatch

Vanegas, P.; Peeters, J.; Cattrysse, D.; Tecchio, P.; Ardente, f.; Matthieu, F.; Dewulf; W., Duflou, J. (2018): Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. Resources, Conservation and Recycling, 135. S. 323-334

Vanegas P.; Peeters J.R.; Cattrysse D.; Duflou J.R.; Tecchio P.; Mathieux F.; Ardente F. (2016): Study for a method to assess the ease of disassembly of electrical and electronic equipment. Method development and application in a flat panel display case study. EUR 27921 EN. doi:10.2788/130925

Von Gries, N.: Ressourceneinsparpotentiale der „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ von Elektro- und Elektronikgeräten. Eine vergleichende Analyse in Flandern und Nordrhein-Westfalen. Dissertation. Kassel: Kassel University Press

Waste and Resources Action Programme (2014): Kritische Komponenten von Wasserkochern. <https://eproducttechguide.wrap.org.uk/products/kettles/> (15.08.2018)

Wilts et al. (2020): Fortschreibung Abfallvermeidungsprogramm – Erarbeitung der Grundlagen für die Fortschreibung des Abfallvermeidungsprogramms auf Basis einer Analyse und Bewertung des Umsetzungsstandes. Texte 00/2018. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

A Zusätzliche Daten für die Bewertung von Geräten

Im Kapitel 6 dieses Berichts werden jeweils zwei Laserdrucker und zwei Wärmepumpentrockner beispielhaft mit der im Kapitel 5 vorgestellten optimierten Reparierbarkeitsmatrix bewertet.

Viele der für die Bewertung notwendigen Informationen wurden bereits im Verlauf der Fallstudien für alle Geräte recherchiert, die im Projekt betrachtet wurden. Diese Informationen sind in den Kapiteln 4.4.4 und 4.5.4 bereits dargestellt.

In Bezug auf Ersatzteile (Verfügbarkeit, Lieferzeit und Kosten) war die Betrachtung in den Fallstudien allerdings bei einigen Gerätegruppen auf eine Auswahl prioritärer Teile eingeschränkt worden.

Für die Durchführung der Bewertung bei den Wärmepumpentrocknern, mussten daher für die zwei betrachteten Geräte (WPT1 des Herstellers 1 und den Trockner WPT8 des Herstellers 5) noch zusätzliche Informationen zu Ersatzteilen eingeholt werden.

Diese zusätzlichen Daten sind nachfolgend aufgeführt. In der Tabelle 69 werden die zusätzlichen Informationen zur Verfügbarkeit von Ersatzteilen gezeigt. Der Tabelle 70 sind die Ersatzteilkosten zu entnehmen und der Tabelle 71 die Lieferzeiten für die Ersatzteile.

Tabelle 69: Verfügbarkeit weiterer Ersatzteile, Wärmepumpentrockner

Zielgruppe	WPT1	WPT8
	Türschließenöffnung	Türschließenöffnung
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Steuerplatine unprogrammiert	Steuerplatine unprogrammiert
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Nein
	Steuerplatine programmiert	Steuerplatine programmiert
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Hauptplatine unprogrammiert	Hauptplatine unprogrammiert

Zielgruppe	WPT1	WPT8
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Nein
	Hauptplatine programmiert	Hauptplatine programmiert
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Füllstandssensor	Füllstandssensor
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Türverriegelungssensor	Türverriegelungssensor
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Kühlmittelsensor	Kühlmittelsensor
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Trommeldichtung hinten	Trommeldichtung hinten
Privatperson	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein

Zielgruppe	WPT1	WPT8
Vertragspartner*in	Ja	Ja
	Trommeldichtung vorne	Trommeldichtung vorne
Privatpersonen	Ja	Nein
Fachlich kompetente Reparateur*in	Ja	Nein
Vertragspartner*in	Ja	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 70: Weitere Kosten von Ersatzteilen, Wärmepumpentrockner

Preis	WPT1	WPT8
UVP (€)	889,00	1022,55
	Türschließnasenöffnung	Türschließnasenöffnung
Brutto (€)	12,30	12,29
in % von UVP	1,38	1,20
	Steuerplatine unprogrammiert	Steuerplatine unprogrammiert
Brutto (€)	61,50	k. V.
in % von UVP	6,92	k. V.
	Steuerplatine programmiert	Steuerplatine programmiert
Brutto (€)	112,60	66,45
in % von UVP	12,67	6,50
	Hauptplatine unprogrammiert	Hauptplatine unprogrammiert
Brutto (€)	148,96	k. V.
in % von UVP	16,76	k. V.
	Hauptplatine programmiert	Hauptplatine programmiert
Brutto (€)	178,96	67,69
in % von UVP	20,13	6,62

Preis	WPT1	WPT8
	Füllstandssensor	Füllstandssensor
Brutto (€)	30,45	37,32
in % von UVP	3,43	3,65
	Türverriegelungssensor	Türverriegelungssensor
Brutto (€)	5,31	29,04
in % von UVP	0,60	2,84
	Kühlmittelsensor	Kühlmittelsensor
Brutto (€)	15,95	24,66
in % von UVP	1,79	2,41
	Trommeldichtung hinten	Trommeldichtung hinten
Brutto (€)	19,59	49,48
in % von UVP	2,20	4,84
	Trommeldichtung vorne	Trommeldichtung vorne
Brutto (€)	25,16	22,34
in % von UVP	2,83	2,19

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 71: Weitere Lieferzeiten (in Tagen) von Ersatzteilen, Wärmepumpentrockner

Ersatzteil	WPT1	WPT8
Türschließnasenöffnung	1 - 2	1 - 2
Steuerplatine unprogrammiert	1 - 2	k. V.
Steuerplatine programmiert	14 - 21	1 - 2
Hauptplatine unprogrammiert	1 - 2	k. V.
Hauptplatine programmiert	14 - 21	1 - 2
Füllstandssensor	1 - 2	1 - 2

Ersatzteil	WPT1	WPT8
Türverriegelungssensor	1 - 2	1 - 2
Kühlmittelsensor	1 - 2	1 - 2
Trommeldichtung hinten	1 - 2	1 - 2
Trommeldichtung vorne	1 - 2	1 - 2

Quelle: Eigene Darstellung

B Mittelwerte zur Bestimmung der Demontagetiefe

Wie im Kapitel 5.1.1 beschrieben, wird für die Bewertung des Indikators Demontagetiefe die prozentuale Abweichung von einem Referenzwert herangezogen.

Als Referenzwerte für die Bewertung von jeweils zwei Laserdruckern und Wärmepumpentrocknern, werden für jedes prioritäre Teil die arithmetischen Mittelwerte der benötigten Arbeitsschritte bei allen Laserdruckern bzw. Wärmepumpentrocknern, die in den Fallstudien untersucht wurden.

In der nachfolgenden Tabelle 72 werden Arbeitsschritte und Mittelwerte bis zum Erreichen der prioritären Teile bei Laserdruckern dargestellt. Der Tabelle 73 sind Arbeitsschritte und Mittelwerte bis zum Erreichen der prioritären Teile bei Wärmepumpentrocknern zu entnehmen.

Tabelle 72: Arbeitsschritte bis zum Erreichen des prioritären Teils, Laserdrucker

Prioritäres Teil	Hersteller 3, LD3	Hersteller 3, LD4	Hersteller 2, LD1	Hersteller 2, LD2	Mittelwert Arbeitsschritte
Trommeleinheit (TE)	6	5	2	3	4
Einzugsrollen Stapelblatt (ERSB)	8	13	3	11	8,75
Transferrolle (TFR)	8	9	4	3	6
Papierablage (PA)	26	49	15	51	35,25
Verschlussdeckel (VD)	26	24	4	26	20
Lasereinheit (LE)	42	84	26	66	54,5
Fixiereinheit (FE)	44	65	33	54	49
Netzteil innen (NI)	25	17	31	30	25,75
Antriebsmotor für den Papiertransport (AMPT)	58	25	43	35	40,25

Tabelle 73: Arbeitsschritte bis zum Erreichen des prioritären Teils, Wärmepumpentrockner

Prioritäres Teil	H 6, WPT 10	H 6, WPT 9	H 1, WPT 1	H 1, WPT 2	H 2, WPT 3	H 3, WPT 4	H 4, WPT 5	H 4, WPT 6	H 5, WPT 7	H 5, WPT 8	Mittelwert Arbeitsschritte
Pumpe (P)	10	10	6	6	21	12	40	40	8	8	16,1
Trommellager (TL)	9	13	10	10	12	8	36	36	27	28	18,9
Tür (T)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Türschließenaspenöffnung (TSNÖ)	44	46	4	5	18	28	3	3	3	3	15,7

Prioritäres Teil	H 6, WPT 10	H 6, WPT 9	H 1, WPT 1	H 1, WPT 2	H 2, WPT 3	H 3, WPT 4	H 4, WPT 5	H 4, WPT 6	H 5, WPT 7	H 5 WPT 8	Mittel- wert Arbeits- schritte
Steuerplatine (SP)	12	12	12	12	10	11	14	14	16	16	12,9
Hauptplatine (HP)	12	12	20	19	17	11	11	11	12	12	13,7
Motorkonden- satoren (MK)	22	16	19	19	20	18	16	16	53	50	24,9
Trommelriemen (TR)	37	41	43	42	45	36	36	36	47	46	40,9
Motor	50	54	53	56	34	44	45	45	57	56	49,4
Füllstandssensor (FSS)	7	8	6	7	22	12	40	40	8	8	15,8
Feuchtigkeitssensor (FKS)	5	70	8	8	5	6	9	9	52	55	22,7
Türverriegelungs- sensor (TVS)	44	45	31	25	18	28	15	15	25	19	26,5
Kühlmittelsensor (KMS)	15	15	16	16	14	13	12	12	31	24	16,8
Trommeldichtung hinten (TDH)	35	41	41	41	43	33	36	36	27	28	36,1
Trommeldichtung vorne (TDV)	39	42	46	48	46	35	36	36	47	47	42,2
Gebläse (G)	4	4	20	18	9	4	4	4	5	5	7,7

C Beispielhafte Bewertung von ausgewählten Druckern und Trocknern mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix

Die Vorgehensweise bei der Bewertung von zwei ausgewählten Laserdruckern und Wärmepumpentrocknern mit der optimierten Reparierbarkeitsmatrix ist im Kapitel 6.2 beschrieben. Die Ergebnisse (gewichtete Teilnutzen) werden im Kapitel 6.3 dargestellt und diskutiert. Den nachfolgenden Tabellen ist die detaillierte Bewertung aller Indikatoren auf Geräte- bzw. Teileebene zu entnehmen.

C.1 Bewertung der Laserdrucker LD3 und LD4 des Herstellers 3

Tabelle 74: Bewertung Hersteller 3, LD3

Indikator	Zielgruppe (ZG), Baugruppe (BG)	H3 LD3	TE	ERSB	TFR	PA	VD	LE	FE	NI	AMPT	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Fehlerdiagnose		A										10	10	10
Verfügbarkeit von Informationen	Privatperson (PP)	C										0		
Verfügbarkeit von Informationen	Fachlich kompetente Reparatur*in (FKR)	C										0	30	3,33
Verfügbarkeit von Informationen	Vertragspartner*in (VP)	A										10		
Ersatzteilpolitik	PP	A										10		
Ersatzteilpolitik	FKR	A										10	30	10
Ersatzteilpolitik	VP	A										10		

Indikator	Zielgruppe (ZG), Baugruppe (BG)	H3 LD3	TE	ERSB	TFR	PA	VD	LE	FE	NI	AMPT	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Verfügbarkeit Ersatzteile			A	A	A	A	A	A	A	A	D	80	90	8,89
Dauer Verfügbarkeit Ersatzteile		C										0	10	0
Lieferzeit Ersatzteile			A	A	B	C	B	C	B	B		56	80	7
Kosten Ersatzteile	Baugruppe (BG)							B	C			6		
Kosten Ersatzteile	Unterbaugruppe (UBG)									C		1	80	3,75
Kosten Ersatzteile	Bauteil (BT)		C	A	C	A	C					23		
Befestigungsart			A	A	A	A	A	A	A	A	A	90	90	10
Werkzeuge			A	A	A	A	A	A	A	A	A	90	90	10
Reset		A										10	10	10
Software	Firmware	C										0		
Software	Treiber	C										0	20	0
Demontagetiefe			E	C	E	B	D	B	B	C	E	30	90	3,33

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 75: Bewertung Hersteller 3, LD4

Indikator	Zielgruppe (ZG), Baugruppe (BG)	H3, LD4	TE	ER SB	TFR	PA	VD	LE	FE	SV I	AMPT	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Fehlerdiagnose		A										10	10	10
Verfügbarkeit von Informationen	PP	C										0		
Verfügbarkeit von Informationen	FKR	C										0	30	3,33
Verfügbarkeit von Informationen	VP	A										10		
Ersatzteilpolitik	PP	A										10		
Ersatzteilpolitik	FKR	A										10	30	10
Ersatzteilpolitik	VP	A										10		
Verfügbarkeit Ersatzteile			A	A	D	A	A	A	A	A	A	80	90	8,89
Dauer Verfügbarkeit Ersatzteile		C										0	10	0
Lieferzeit Ersatzteile			A	A		B	B	B	B	B	B	62	80	7,75
Kosten Ersatzteile	BG							B	C			6		
Kosten Ersatzteile	UBG									C		1	80	3,75
Kosten Ersatzteile	BT		C	A		C	C				A	23		

Indikator	Zielgruppe (ZG), Baugruppe (BG)	H3, LD4	TE	ER SB	TFR	PA	VD	LE	FE	SV I	AMPT	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Befestigungsart			A	A	A	A	A	A	A	A	A	90	90	10
Werkzeuge			A	A	A	A	A	A	A	A	A	90	90	10
Reset		A										10	10	10
Software / Firmware	Firmware (FW)	C										0		
Software / Firmware	Treiber (TR)	C										0	20	0
Demontagetiefe			D	E	E	E	D	E	E	A	A	22	90	2,4

Quelle: Eigene Darstellung

C.2 Bewertung der Wärmepumpentrockner WPT1 des Herstellers 1 und WPT8 des Herstellers 5

Tabelle 76: Bewertung Hersteller 1, WPT1

Indikator	ZG, BG	H1, WP T1	P	TL	T	TS NÖ	SP UP	SP P	HP UP	HP P	MK	TR	M	FSS	FKS	TV S	KM S	TD H	TD V	G	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Fehlerdiagnose		B																			7	10	7

Indikator	ZG, BG	H1, WP T1	P	TL	T	TS NÖ	SP UP	SP P	HP UP	HP P	MK	TR	M	FSS	FKS	TV S	KM S	TD H	TD V	G	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen	
Verfügbarkeit von Informationen	PP	C																				0		
Verfügbarkeit von Informationen	FKR	C																				0	30	3,33
Verfügbarkeit von Informationen	VP	A																				10		
Ersatzteilpolitik	PP	A																				10		
Ersatzteilpolitik	FKR	A																				10	30	10
Ersatzteilpolitik	VP	A																				10		
Verfügbarkeit Ersatzteile			A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		180	180	10
Dauer Verfügbarkeit Ersatzteile		B																				5	10	5
Lieferzeit Ersatzteile			A	A	A	A	A	C	A	C	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A		162	180	9

Indikator	ZG, BG	H1, WP T1	P	TL	T	TS NÖ	SP UP	SP P	HP UP	HP P	MK	TR	M	FSS	FKS	TV S	KM S	TD H	TD V	G	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Kosten Ersatzteile	BG				A		A	A	A	B			A								55		
Kosten Ersatzteile	UB G		A											A	A	A					40	180	9,72
Kosten Ersatzteile	BT			A		A					A	A					A	A	A	A	80		
Befestigungsart			A	A	A	A		A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	160	160	10
Werkzeuge			A	A	A	A		A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	160	160	10
Reset																					0	10	0
Software / Firmware	FW	A																			10	10	10
Lösbarkeit Seitenwände		B																			7	10	7
Demontage-tiefe			A	A	C	A		C		E	B	C	C	A	A	D	C	D	C	E	83	160	5,19

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 77: Bewertung Hersteller 5, WPT8

Indikator	ZG, BG	H5, WP T8	P	TL	T	TS NÖ	SP UP	SP P	HP UP	HP P	MK	TR	M	FSS	FKS	TV S	KM S	TD H	TD V	G	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Fehlerdiagnose		B																			7	10	7
	PP	C																			0		
Verfügbarkeit von Informationen	FKR	C																			0	30	3,33
Verfügbarkeit von Informationen	VP	A																			10		
Verfügbarkeit von Informationen	PP	B																			5		
Ersatzteilpolitik	FKR	B																			5	30	6,67
Ersatzteilpolitik	VP	A																			10		
Verfügbarkeit von Ersatzteilen			C	C	A	C	D	C	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	55	180	3,06
Dauer Verfügbarkeit Ersatzteile		C																			0	10	0

Indikator	ZG, BG	H5, WP T8	P	TL	T	TS NÖ	SP UP	SP P	HP UP	HP P	MK	TR	M	FSS	FKS	TV S	KM S	TD H	TD V	G	Erreichte Punkte	Max. mögl. Punkte	Teilnutzen
Lieferzeit Ersatzteile			A	A	C	A		A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	154	160	9,63
Kosten Ersatzteile	BG				B			A		A			A								35		
Kosten Ersatzteile	UB G		A											A	A	A					40	160	9,69
Kosten Ersatzteile	BT			A		A					A	A					A	A	A	A	80		
Verbindungsart			A	A	A	A		A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	160	160	10
Werkzeuge			A	A	A	A		A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	160	160	10
Reset																					0	10	0
Software / Firmware	FW	C																			0	10	0
Lösbarkeit Seitenwände		C																			4	10	4
Demon- tagetiefe			A	E	C	A		D		B	E	D	D	A	E	B	E	B	D	A	69	160	4,3125

Quelle: Eigene Darstellung