

TEXTE

93/2023

Abschlussbericht

Digital Kreisläufe schließen am Beispiel des Recyclings von Sportbooten, Leichtflugzeugen sowie Bedarfsgegenständen aus Faserverbundwerkstoffen

von:

Maria Burgstaller, Felicitas Frick, Alexander Potrykus, Benjamin Schramm, Felix Strauss, Selina Scheer

Ramboll Deutschland GmbH, München
Franziska Link, Katharina Behringer, Wolfgang Pfuhl, Robin Schlenga

Ramboll Management Consulting Berlin

Peter Brantsch, Andreas Menrath, Torsten Müller

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie, Pfinztal

Martin Nieberl, Alexander Hofmann, Katharina Reh

Fraunhofer Institut für Energietechnik UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 93/2023

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

Forschungskennzahl 3721 34 302 0
FB001152

Abschlussbericht

Digital Kreisläufe schließen am Beispiel des Recyclings von Sportbooten, Leichtflugzeugen sowie Bedarfsgegenständen aus Faserverbundwerkstoffen

von

Maria Burgstaller, Felicitas Frick, Alexander Potrykus,
Benjamin Schramm, Felix Strauss, Selina Scheer
Ramboll Deutschland GmbH, München

Franziska Link, Katharina Behringer, Wolfgang Pfuhl,
Robin Schlenga
Ramboll Management Consulting Berlin

Peter Brantsch, Andreas Menrath, Torsten Müller
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie, Pfinztal

Martin Nieberl, Alexander Hofmann, Katharina Reh
Fraunhofer Institut für Energietechnik UMSICHT, Institutsteil
Sulzbach-Rosenberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
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://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Ramboll Deutschland GmbH
Werinherstraße 79
81541 München

Abschlussdatum:

März 2023

Redaktion:

Fachbereich III Fachstelle für den Rückbau und das Recycling von Windenergieanlagen
Dr. Petra Weißhaupt

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2023

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

Kurzbeschreibung: Digital Kreisläufe schließen am Beispiel des Recyclings von Sportbooten, Leichtflugzeugen sowie Bedarfsgegenständen aus Faserverbundwerkstoffen

Das Recycling von Faserverbundkunststoffen (FVK) ist technisch anspruchsvoll und bedingt die getrennte Erfassung sowie eine aufwendige Demontage. Es findet aktuell in Deutschland kaum statt. Hinzu kommt, dass die derzeitigen Abfallmengen an carbon- und glasfaserverstärkten Kunststoffabfällen (CFK und GFK-Abfälle) gering sind. Das Recycling der ressourceneffizienten Leichtbauwerkstoffe gilt als unwirtschaftlich.

Die durchgeführte Marktstudie für Sportboote und Leichtflugzeuge sowie Bedarfsgegenständen aus CFK legt den Verbleib der entsprechenden Altprodukte dar und zeigt, dass die FVK-haltigen Abfälle dieser Produktgruppen sowie teilweise auch die vollständigen Produkte der hochwertigen Verwertung verloren gehen. Das ist von erheblichem ökologischem Nachteil. Eine Bündelung und ein gemeinsames Recycling dieser drei Produktgruppen mit anderen FVK-haltigen Abfällen (z.B. Rotorblätter von Windenergieanlagen und bestimmte Bauprodukten) erscheint ökologisch sinnvoll und praktikabel im Sinne einer hochwertigen, schadlosen und wirtschaftlich zumutbaren Abfallverwertung.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel dieses Vorhabens, ein Kreislaufkonzept für Sportboote und Leichtflugzeuge sowie Bedarfsgegenständen aus CFK zu entwickeln. Um ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen, müssen Bauteile aus FVK separat erfasst werden. Hierzu wurden detaillierte Handlungsanweisungen für die Trockenlegung, Demontage und Zerkleinerung von Sportbooten und Leichtflugzeugen sowie Möglichkeiten zur Sammlung und Rücknahme von CFK-haltigen Bedarfsgegenständen erarbeitet. Das Konzept schließt die systematische Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung ein.

Aus Sicht des Umweltschutzes kritische Punkte der Abfallverwertung wurden erkannt, beschrieben und Vorschläge für den sicheren Umgang mit Abfällen erarbeitet. Diese umfassen neben grundlegend wichtigen Empfehlungen zur Verwertung und der Nutzung digitaler Konzepte auch die Berücksichtigung politischer und organisatorischer Instrumente. Die Instrumente umfassen die Einführung von technischen Standards basierend auf den im Rahmen der Studie entwickelten Handlungsanweisungen, die Fortentwicklung bestehender Recyclingverfahren, den digitalen Produktpasses für Sportboote und freiwillige Rücknahmesysteme für CFK-haltige Bedarfsgegenstände. Eine wichtige formale Voraussetzung für die spezialisierte Verwertung ist die Einführung entsprechender Abfallschlüssel, was eine Änderung des Europäischen Abfallverzeichnisses erfordert.

Abstract: Closing cycles digitally using the example of the recycling of sports boats, light aircraft and consumer goods made of fiber composite materials

Recycling products with fibre reinforced plastics (FRP) is technically demanding and requires separate collection as well as adjusted dismantling procedures. There is currently hardly any such recycling taking place in Germany. In addition, the quantities of carbon and glass fibre reinforced plastic waste (CFRP and GFRP waste) are low. Recycling of these resource efficient, lightweight materials is not regarded as economically viable.

The market study carried out in the course of the project for sports boats and light aircrafts as well as consumer goods made of CFRP shows the whereabouts of the end-of-life products and shows that the FRP-containing waste of these product groups, and actually the whole product, is currently lost to high-quality recycling. This is a considerable environmental burden. Bundling and joint recycling of these three product groups with other waste containing FRP (e.g. wind turbine blades and certain construction products) could be useful and feasible in establishing a high valuable, non-polluting and economical waste treatment.

Against this background, the aim of this project is to develop a circular concept for sports boats and light aircrafts with FRP as well as consumer goods made of CFRP. In order to enable high-quality recycling, components made of FRP must be collected separately. For this purpose, detailed guidelines for the draining, dismantling and shredding of sports boats and light aircrafts as well as possibilities for the collection and taking back of consumer goods containing CFRP were developed. The concepts include measures for reuse and preparation for reuse.

Critical issues of waste treatment procedures from the point of view of environmental protection were recognized and described, and measures for safe treatment were recommended. These are fundamentally important recommendations for recycling and the use of digital concepts but also the consideration of political and organizational instruments. These instruments include the introduction of standards based on the developed guidelines and further development of existing recycling processes, a digital product passport for sports boats and voluntary take-back systems for consumer goods containing CFRP. An important legal prerequisite for any specialized waste treatment are waste codes, which implies the need of the revision of the European List of Wastes.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	12
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	17
Gesetzesverzeichnis.....	20
Zusammenfassung.....	23
Summary.....	35
1 Einführung.....	46
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	46
1.2 Faserverbundwerkstoffe.....	47
1.2.1 Carbonfaserverstärkte Kunststoffe.....	48
1.2.1.1 Eigenschaften, Verwendung und Bedarfsmengen.....	48
1.2.1.2 Abfallmengen und Entsorgungswege.....	50
1.2.2 Glasfaserverstärkte Kunststoffe.....	52
1.2.2.1 Eigenschaften, Verwendung und Produktionsmengen.....	52
1.2.2.2 Abfallmengen und Entsorgungswege.....	54
2 Methodische Vorgehensweise.....	56
2.1 Marktstudie.....	56
2.1.1 Abbildung des Status Quo.....	56
2.1.2 Stakeholderbefragung.....	57
2.2 Abfalltechnische Aufbereitungsstandards.....	58
2.2.1 Erarbeitung Aufbereitungsstandards.....	58
2.2.2 Gespräche mit Experten und Expertinnen.....	59
2.3 Digitale und organisatorische Konzepte.....	59
2.3.1 Vorarbeiten zur Netzwerkanalyse.....	59
2.3.2 Gespräche mit Experten und Expertinnen.....	59
2.3.3 Desktop-Recherche.....	59
3 Marktstudie.....	60
3.1 Produktgruppe A: Sportboote.....	60
3.1.1 Definition und Kategorisierung von Sportbooten.....	60
3.1.2 Rechtliche Vorgaben Registrierung.....	63
3.1.3 Informationen zum Bestand und Aufbau von Sportbooten in Deutschland.....	63
3.1.3.1 Gesamtbestand der Sportboote in Deutschland.....	63
3.1.3.2 Aufbau Sportboote.....	67
3.1.3.3 Rumpfmateriale im Sportbootbau.....	75

3.1.3.4	Lebensdauer	76
3.1.4	Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland.....	78
3.1.4.1	Abfallaufkommen von Sportbooten	78
3.1.4.2	Abfallvermeidung	81
3.1.4.3	Erfassung.....	82
3.1.4.4	Demontage und Recycling	84
3.1.5	Herausforderungen im Umgang mit Altsportbooten	86
3.2	Produktgruppe B: Leichtflugzeuge.....	87
3.2.1	Definition und Kategorisierung von Leichtflugzeugen.....	87
3.2.2	Rechtliche Vorgaben Registrierung	88
3.2.3	Informationen zum Bestand und Aufbau von Leichtflugzeugen in Deutschland	88
3.2.3.1	Bestand Leichtflugzeuge	88
3.2.3.2	Aufbau Leichtflugzeuge	89
3.2.3.3	Lebensdauer	102
3.2.4	Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland.....	103
3.2.4.1	Abfallaufkommen von Leichtflugzeugen	103
3.2.4.2	Abfallvermeidung	103
3.2.4.3	Abfallmanagement	105
3.2.5	Herausforderungen im Umgang mit Altleichtflugzeugen.....	106
3.3	Produktgruppe C: Bedarfsgegenstände	107
3.3.1	Definition und Kategorisierung von Bedarfsgegenständen.....	107
3.3.2	Marktstudie zu Bedarfsgegenständen aus CFK im Sportbereich	111
3.3.2.1	Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Sportbereich	111
3.3.2.2	Fahrräder	112
3.3.2.3	Ski und Snowboards.....	116
3.3.2.4	Golfschläger	118
3.3.3	Marktstudie für Bedarfsgegenstände aus CFK im Freizeitbereich.....	120
3.3.3.1	Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Freizeitbereich.....	120
3.3.3.2	Saiteninstrumente	121
3.3.4	Marktstudie für Bedarfsgegenstände aus CFK im Medizinbereich.....	125
3.3.4.1	Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Medizinbereich.....	125
3.3.4.2	Prothesen und Orthesen	126
3.3.5	Zusammenfassung und Herausforderungen im Umgang mit Alt- Bedarfsgegenständen	128
3.4	Derzeitige Praxis und Verwertung der drei Produktgruppen in ausgewählten Ländern Europas	131

3.4.1	Rechtliche Instrumente.....	132
3.4.2	Projekte und Initiativen zur Förderung des Recyclings.....	134
3.4.3	Produktspezifische Recycling-Unternehmen.....	139
4	Abfalltechnische Aufbereitungsstandards	141
4.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	141
4.1.1	Grundsätzliche rechtliche Rahmenbedingungen.....	141
4.1.1.1	Schlüsseldefinitionen des Abfallrechts und Abfallhierarchie	141
4.1.1.2	Einstufung von Abfällen nach AVV und gefährliche Abfälle	142
4.1.1.3	Persistente organische Schadstoffe	143
4.1.1.4	Produkt- bzw. Abfallspezifische Regelungen.....	144
4.1.1.5	Ende der Abfalleigenschaft und Verknüpfung zum Produktrecht beim Recycling.....	146
4.1.1.6	Abfallrechtliche Produktverantwortung.....	147
4.1.2	Außerbetriebnahme, Abmeldung, Abwrackung von Sportbooten.....	148
4.1.3	Außerbetriebnahme, Abmeldung, Abwrackung von Leichtflugzeugen.....	149
4.1.4	Existierende rechtliche Regelungen Bedarfsgegenstände CFK.....	149
4.2	Abfallvermeidung.....	150
4.2.1	Sportboote	150
4.2.1.1	Wartung bei regelmäßiger Nutzung	150
4.2.1.2	Erstinspektion vor Reparatur, Re-fit oder Demontage.....	151
4.2.1.3	Wiederverwendung und Reparatur.....	156
4.2.2	Leichtflugzeuge	159
4.2.2.1	Erstinspektion vor Reparatur, Refit oder Demontage	159
4.2.2.2	Wiederverwendung und Reparatur.....	164
4.2.3	Bedarfsgegenstände mit CFK.....	166
4.3	Abfalltechnische Aufbereitung	166
4.3.1	Sportboote	166
4.3.1.1	Allgemeine Aspekte Demontage	166
4.3.1.2	Vorbereitende Arbeiten und Transport.....	171
4.3.1.3	Trockenlegung	174
4.3.1.4	Gefahrstoffentnahme	178
4.3.1.5	Demontage von Motoryachten	179
4.3.1.6	Demontage offener Sportboote und Daycruiser	185
4.3.1.7	Demontage von Segelyachten und Motorseglern.....	190
4.3.1.8	Demontage von Segeljollen und offenen Kielbooten.....	195
4.3.1.9	Demontage von Wassermotorrädern.....	198
4.3.1.10	Demontage von Kanus, Ruderbooten, Tretbooten	201

4.3.1.11	Demontage von Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP.....	203
4.3.1.12	Aufbereitung und Verwertung demontierter Teile, entnommener Flüssigkeiten und Rümpfe	205
4.3.2	Leichtflugzeuge	205
4.3.2.1	Allgemeine Aspekte Demontage	205
4.3.2.2	Trockenlegung	208
4.3.2.3	Demontage von Segelflugzeugen	209
4.3.2.4	Demontage von Motorseglern	211
4.3.2.5	Demontage von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t.....	213
4.3.2.6	Demontage von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t.....	216
4.3.2.7	Aufbereitung und Verwertung demontierter Teile, entnommener Flüssigkeiten und Rümpfe	219
4.3.3	Aufbereitung und Verwertung Bauteile und Flüssigkeiten Sportboote und Leichtflugzeuge	220
4.3.3.1	Thematik Abfallschlüsselnummer.....	220
4.3.3.2	Verwertung demontierter Teile und entnommener Flüssigkeiten	221
4.3.3.3	Aufbereitung Rümpfe	224
4.3.3.4	Verwertung Rumpfmateral.....	229
4.3.4	Bedarfsgegenstände mit CFK.....	232
4.3.5	Herausforderungen Sportboote und Leichtflugzeuge	232
4.3.6	Mögliche Lösungsansätze Sportboote und Leichtflugzeuge.....	233
4.3.6.1	System zur erweiterten Herstellerverantwortung (EPR-System).....	233
4.3.6.2	Registrierungs-, Melde- und Abmeldepflicht für Sportboote.....	233
4.3.6.3	Digitaler Produktpass.....	234
4.3.6.4	Abfallschlüsselnummer.....	234
4.3.6.5	Logistische Aspekte.....	236
4.3.6.6	Einführung von Standards zur Trockenlegung, Demontage und Zerkleinerung sowie Weiterentwicklung bestehender Recyclingverfahren und Entwicklung neuer Technologien	236
4.3.6.7	Fortbildungen und verbessertes Wissensmanagement	237
4.3.6.8	Verwertungsnachweis	237
4.3.6.9	Abwrackprämie.....	238
4.3.7	Herausforderungen und Lösungsansätze Bedarfsgegenstände mit CFK.....	238
4.3.7.1	Freiwillige Rücknahmesysteme der Hersteller	238
5	Digitale und organisatorische Konzepte.....	241
5.1	Netzwerke und Kommunikation	241

5.1.1	Sportboote	242
5.1.2	Leichtflugzeuge	247
5.1.3	Bedarfsgegenstände	254
5.1.4	Bewertung der verwendeten digitalen Kommunikationsinstrumente.....	258
5.2	Entwurf digitaler Konzepte	259
5.2.1	Sportboote	260
5.2.1.1	Inhaltliches Schema: Dienstleistungsplattform	260
5.2.1.2	Inhaltliches Schema: Datenkonzepte	263
5.2.1.3	Service Design	271
5.2.1.4	Exkurs: Das Konzept des Digitalen Produktpass	277
5.2.2	Leichtflugzeuge	282
5.2.3	Bedarfsgegenstände	286
5.3	Kriterien für die Umsetzung eines digitalen Konzepts.....	287
5.4	Ausblick digitale und organisatorische Konzepte	289
6	Fazit	291
7	Quellenverzeichnis	292
A	Anhang – Glossar.....	308
B	Anhang – Bauteillisten.....	310
B.1	Sportboote – Motorboote: Motoryachten und Offene Sportboote und Daycruiser	310
B.2	Sportboote – Segelboote: Segeljollen und offene Kielboote; Segelyachten und Motorsegler	321
B.3	Kleine Boote: Sportboote - Wassermotorräder & Kanu, Ruderboote, Tretboote & Surfbretter, SUP	332
B.4	Leichtflugzeuge – Segelflugzeuge und Motorsegler	336
B.5	Leichtflugzeuge E, F, G und I	340
C	Anhang – Checkliste für die Wiederinbetriebnahme von Flugzeugen mit einem Gewicht < 5,7 t	346
C.1	Allgemeine Informationen	346
C.2	Instandhaltungsprogramm	346
C.3	Berechtigung	346
C.4	Durchzuführende Aufgaben.....	346
C.5	Flugzeugaufbau	347
D	Anhang – Beispiele für Software-Lösungen aus anderen Branchen	353
D.1	Der Digitale Produktpass in der Baubranche	353
D.2	Software aus der Automobil-Branche.....	355

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Möglicher Ablauf der Sportbootsentsorgung.....	28
Abbildung 2:	Weltweiter Bedarf (in % und kt) an Carbon-FVW nach Anwendungsbereich im Jahr 2018	49
Abbildung 3:	Entwicklung Produktionsmengen an CFK von 2011 bis 2021 in Europa (in kt)	50
Abbildung 4:	Entwicklung der GFK-Produktionsmengen (in kt) in Europa für den Zeitraum 2011 - 2021	53
Abbildung 5:	Anwendungsbereiche für GFK für das Jahr 2021 (in % vom europäischen Gesamtmarkt)	53
Abbildung 6:	Darstellung des Lebenszyklus von Produkten und relevanten Akteur*innen	57
Abbildung 7:	Prozentuale Aufteilung der 482.520 Motor- und Segelboote Deutschland (Stand 2016)	65
Abbildung 8:	Darstellung einer Motoryacht	68
Abbildung 9:	Darstellung eines Daycruisers	69
Abbildung 10:	Darstellung eines Segelbootes	70
Abbildung 11:	Schematische Darstellung eines Wassermotorrads	72
Abbildung 12:	Bauteil- und Materialzusammensetzung eines kleinen Bootes in Finnland [in kg]	74
Abbildung 13:	Umgang von Bootseigner*innen mit ihrem Vorgängerboot....	79
Abbildung 14:	Anlagen zur Behandlung und Entsorgung von Sportbooten (schwarze Einträge) und Altschiffen (blaue Einträge)	83
Abbildung 15:	Entsorgungskonzept der ReBoat GmbH	85
Abbildung 16:	Prinzip der Spantenbauweise bei Rümpfen aus Holz oder Metall.....	90
Abbildung 17:	Prinzip des Stahlrohrumpfs	91
Abbildung 18:	Holmarten in der Holzbauweise	91
Abbildung 19:	Prinzip des Tragflügelbaus in Holzbauweise	92
Abbildung 20:	Schnitt durch einen Faserverbundwerkstoff-Flügel	92
Abbildung 21:	Leitwerkskomponenten eines Segelflugzeugs.....	93
Abbildung 22:	Fahrwerksarten	99
Abbildung 23:	Weltweiter Bedarf (in %) an Carbon-FVW nach Anwendungsbereich im Jahr 2018	108
Abbildung 24:	Einzelteile eines Fahrrads (typische Teile aus CFK sind pink hervorgehoben).....	113
Abbildung 25:	Vereinfachter Lebensweg ausgewählter Bedarfsgegenstände mit CFK.....	130
Abbildung 26:	Funktionsweise APER	133
Abbildung 27:	Angeschäftete Schadstelle (oben) und Auflaminieren der Glasfasermatten (unten)	157
Abbildung 28:	Möglicher Ablauf der Sportbootsentsorgung.....	167

Abbildung 29:	Aufbau der Demontageprotokolle (nach Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme).....	168
Abbildung 30:	Außerbetriebnahme, Demontage und Wiederverwendung von Luftfahrzeugen	205
Abbildung 31:	Ablauf Entsorgung Leichtflugzeuge	208
Abbildung 32:	Übersicht zu potentiellen Verfahrensrouten der Verwertung glasfaserhaltiger Abfälle inkl. der jeweils entstehenden Hauptprodukte, sowie der abfallrechtlichen und technologischen Einordnung.....	230
Abbildung 33:	Übersicht zu potentiellen Verfahrensrouten der Verwertung carbonfaserhaltiger Abfälle inkl. der jeweils entstehenden Hauptprodukte, sowie der abfallrechtlichen und technologischen Einordnung.....	231
Abbildung 34:	Netzwerkanalyse Sportboote	243
Abbildung 35:	Netzwerkanalyse Leichtflugzeuge	248
Abbildung 36:	Netzwerkanalyse Bedarfsgegenstände	255
Abbildung 37:	Verknüpfung der Datenkonzepte über Schlüsselinformationen	271

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der in Deutschland zugelassenen projektrelevanten Luftfahrtgeräte in 2020	25
Tabelle 2:	Kriterien und Funktionalitäten der digitalen Konzepte.....	31
Tabelle 3:	Übersicht der Rückmeldungen zur Stakeholderbefragung zu Bestand und Abfallmanagement.....	58
Tabelle 4:	Verschiedene Definitionen für „Sportboot/e“ und verwandte Begriffe	60
Tabelle 5:	Aktueller Bestand an Sportbooten in ausgewählten europäischen Ländern	64
Tabelle 6:	Bestand von Motor-, Segel- und kleinen Booten in Deutschland	66
Tabelle 7:	Verschiedene GFK-Anteile in Sportbooten.....	76
Tabelle 8:	Verbleib von Vorgängerbooten in den für das Abfallaufkommen als relevant eingestuften Kategorien „entsorgt“, „verloren“ und „außer Dienst“ in Deutschland	80
Tabelle 9:	Exemplarische Kosten für die Bootsentsorgung im Jahr 2016.	83
Tabelle 10:	Anzahl der in Deutschland zugelassenen projektrelevanten Luftfahrtgeräte in 2020	89
Tabelle 11:	Daten zu den neu zugelassenen und abgemeldeten Leichtflugzeugen in 2020.....	89
Tabelle 12:	Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Segelflugzeugs (nicht abschließend)	94

Tabelle 13:	Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Motorseglers der Kennzeichenklasse M (nicht abschließend).....	97
Tabelle 14:	Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Motorflugzeugs der Kennzeichenklasse E (nicht abschließend)	100
Tabelle 15:	Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Leichtflugzeugs der Klassen F, G oder I (nicht abschließend).....	102
Tabelle 16:	Rechercheergebnisse zu Bedarfsgegenständen mit Einsatz von CFK.....	109
Tabelle 17:	Überblick Fahrräder.....	115
Tabelle 18:	Überblick Ski und Snowboards.....	118
Tabelle 19:	Überblick Golfschläger	120
Tabelle 20:	Relevanz von Saiteninstrumenten und Anzahl an Musizierenden.....	122
Tabelle 21:	Überblick Saiteninstrumente.....	124
Tabelle 22:	Übersicht Prothesen und Orthesen.....	128
Tabelle 23:	Erweiterte Herstellerverantwortung (Frankreich)	132
Tabelle 24:	Italienische Norm UNI 11509 (Italien).....	133
Tabelle 25:	Zuschuss zur Rückgabe von Freizeitbooten (Norwegen)	134
Tabelle 26:	End-of-life Boats Project (EU).....	134
Tabelle 27:	boat DIGEST (EU)	135
Tabelle 28:	BOATCYCLE (EU)	136
Tabelle 29:	Recycling-Kampagne Boote (Finnland).....	137
Tabelle 30:	Swedish Boat Scrapping Scheme (Schweden).....	137
Tabelle 31:	PAMELA (EU)	138
Tabelle 32:	AiMeRe	138
Tabelle 33:	Boatbreakers (Großbritannien)	139
Tabelle 34:	Stichting Jacht Recycling (Niederlande)	139
Tabelle 35:	DESGUACEBARCOS – Bootsrecycling (Spanien)	139
Tabelle 36:	Datenblatt zur Erfassung des Produkts	151
Tabelle 37:	Datenblatt zur Erfassung des Leichtflugzeugs.....	160
Tabelle 38:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Motoryachten.....	179
Tabelle 39:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Motoryachten.....	181
Tabelle 40:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von offenen Sportbooten und Daycruisern.....	185
Tabelle 41:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage offene Sportboote und Daycruiser	187
Tabelle 42:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segelyachten und Motorseglern	190
Tabelle 43:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segelyachten und Motorsegler.....	192

Tabelle 44:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segeljollen und offene Kielboote	195
Tabelle 45:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segeljollen und offene Kielboote	196
Tabelle 46:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Wassermotorrädern	199
Tabelle 47:	Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Wassermotorräder	200
Tabelle 48:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Kanus, Ruderbooten, Tretbooten.....	202
Tabelle 49:	Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Kanus, Ruderbootes oder Tretbootes.....	202
Tabelle 50:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP	203
Tabelle 51:	Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP	204
Tabelle 52:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segelflugzeugen.....	209
Tabelle 53:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segelflugzeuge.....	210
Tabelle 54:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Motorseglern.....	211
Tabelle 55:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Motorsegler	212
Tabelle 56:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t	213
Tabelle 57:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage einmotoriger Flugzeuge bis 2 t	215
Tabelle 58:	Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t	216
Tabelle 59:	Checkliste und Handlungsanweisung Demontage von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t	218
Tabelle 60:	Verwertung von Fraktionen, die bei der Demontage von Sportbooten und Leichtflugzeugen generiert werden	221
Tabelle 61:	Vorschlag für neu einzuführende Abfallschlüsselnummern ..	235
Tabelle 62:	Bewertung bestehender digitaler Kommunikationsinstrumente	259
Tabelle 63:	Datenkonzept 1: Serienspezifische Merkmale	263
Tabelle 64:	Datenkonzept 2: Registrierung.....	264
Tabelle 65:	Datenkonzept 3: Rechtliche Vorgaben der Materialverwertung	266

Tabelle 66:	Datenkonzept 4: Expertise von Verwertern, Rücknahmestellen und Recyclingbetrieben.....	266
Tabelle 67:	Datenkonzept 5: Reparatur und Demontage	267
Tabelle 68:	Datenkonzept 6: Individuelle Veränderungen an Booten.....	268
Tabelle 69:	Datenkonzept 7: Ersatzteile (Primär- und Sekundärmarkt) ...	269
Tabelle 70:	Vergleich der Leichtflugzeuge-Branche und den abgeleiteten Bedarfen mit den definierten Datenkonzepten in der Sportboote-Branche	284
Tabelle 71:	Kriterien und Funktionalitäten der digitalen Konzepte.....	287

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
AFRA	Association for Recycling Aircraft
AiMeRe	Aircraft Metal Recycling
APER	Association pour la Plaisance Eco-Responsable
API	Application Programming Interface (Programmierschnittstelle)
ARA	Ausschuss für Abfallrecht
ASN	Abfallschlüsselnummer
ASR	Technischen Regeln für Arbeitsstätten
ATA	Ausschuss für Abfalltechnik
AvGas	Aviation Gas, auf Deutsch: Flugbenzin
AVK	Industrievereinigung verstärkte Kunststoffe e.V.
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BIPAD	Best Industry Practices for Aircraft Decommissioning
BMP	Best Management Practice
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BRZ	Bruttoraumzahl
BSON	Binary JavaScript Object Notation
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
CAD	Computer-Aided Design (Rechnerunterstütztes Konstruieren)
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organisation
CFC	Carbon fiber composites (Kohlenstofffaserverstärkte Kohlenstoffe)
CFK	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe
CFKW	Chlorfluorkohlenwasserstoffe
CMC	Ceramic Matrix Composites (Keramische Faserverbundwerkstoffe)
DBSV	Deutscher Boots- und Schiffbauverband
EAG	Elektro- und Elektronikaltgeräten
EASA	Europäische Luftfahrtbehörde (European Aviation Safety Authority)
EBA	European Boating Association
EBI	European Boating Industry
EBS	Ersatzbrennstoff
EPR	Extended producer responsibility (Erweiterte Herstellerverantwortung)
EuCIA	European Composites Industry Association
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
Fe-Metalle	Eisen-Metalle
FVK	Faserverbundkunststoffe

Abkürzung	Beschreibung
FVSF	Forschungsvereinigung für die Sport- und Freizeitschifffahrt e.V.
FVW	Faserverbundwerkstoffe
GFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
HATEOAS	Hypermedia as the Engine of Application State (Hypermedia als Motor des Anwendungs-Zustands)
HBCDD	Hexabromcyclododecan
HFCKW	Teilhaletierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (Hypertext-Übertragungsprotokoll)
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization)
ICOMIA	International Council of Marine Industry Associations
IMO	International Maritime Organization
IPA	Informationsportal Abfallbewertung
JPN	Japan
JSON	JavaScript Object Notation
KMF	Künstliche Mineralfasern
KSH	Kieler Schrotthandel GmbH
LAGA	Bund-Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall
LBA	Luftfahrt-Bundesamt
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LoW	List of Waste (Abfallverzeichnis)
MIC	Manufacturer Identification Code (Hersteller-Identifikationsnummer)
MIP	Mindestinspektionsprogramm
MMC	Metal Matrix Composites (Metallmatrix-Verbundwerkstoff)
MoGas	Motor Gasoline, auf Deutsch: Kraftfahrzeugbenzin
MVA	Müllverbrennungsanlage
NFC	Near Field Communication (Nahfeldkommunikation)
örE	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBB	Polybromierte Biphenyle
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PC	Polycarbonat
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PE	Polyethylen
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
POP	Persistente organische Schadstoffe (engl. Persistent Organic Pollutants)
PP	Polypropylen
Prepreg	preimpregnated fibers (vorimprägnierte Fasern)

Abkürzung	Beschreibung
PVC	Polyvinylchlorid
QR	Quick Response (Schnelle Antwort)
REST	Representational State of Transfer (Deutsch in etwa: Übergang vom aktuellen Zustand zum nächsten Zustand einer Applikation)
RFID	Radio-frequency identification (Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen)
RIB	Rigid Inflatable Boat (Festrumpfschlauchboot)
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymere
SG	Sammelgruppe
SUP (board)	Stand-up paddling board
SWOT	Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Risiken)
TBT	Tributylzinn
TLS	Transport Layer Security (Transportschichtsicherheit)
TMG	Touring Motor Glider
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRL	Technology Readiness Level
UK	United Kingdom (Vereinigtes Königreich)
URI	Uniform Resource Identifier (Einheitlicher Ressourcenzeiger)
UVV	Unfallverhütungsvorschriften
WHO	World Health Organisation
WIN	Wasserfahrzeug-Identifikationsnummer

Gesetzesverzeichnis

Abkürzung	Titel
Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)	Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)
Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV)	Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (AltfahrzeugVerordnung - AltfahrzeugV)
AltholzV	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV)
Altölverordnung (AltöIV)	Altölverordnung (AltöIV)
Batteriegelgesetz (BattG)	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegelgesetz - BattG)
Binnenschiffahrt-Sportbootvermietungsverordnung (BinSch-SportbootVermV)	Verordnung über die gewerbsmäßige Vermietung von Sportbooten sowie deren Benutzung auf den Binnenschiffahrtsstraßen (Binnenschiffahrt-Sportbootvermietungsverordnung - BinSch-SportbootVermV)
BFR Recycling	Baufachliche Richtlinien Recycling
Chemikaliengesetz (ChemG)	Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz - ChemG)
EG-Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL)	Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle
EG-Ökodesign-Richtlinie	Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
EG-Sportbootverwaltungsvorschrift	Richtlinie 94/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Juni 1994 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Sportboote (Nicht mehr in Kraft)
Elektro- und Elektronik-Altgeräte Behandlungsverordnung – (EAG-BehandV)	Verordnung über Anforderungen an die Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (Elektro- und Elektronik-Altgeräte Behandlungsverordnung - EAG-BehandV)
Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG)
Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung (ElektroStoffV)	Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung - ElektroStoffV)
EU-F-Gas Verordnung	Verordnung (EU) 517/2014 über fluorierte Treibhausgas
EU-Medizinproduktverordnung (MDR)	Verordnung EU 2017/745 über Medizinprodukte
EU-POP-Verordnung	Verordnung (EU) 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe

Abkürzung	Titel
EU-Schiffsrecycling-Verordnung	Verordnung (EU) Nr. 1257/2013 über das Recycling von Schiffen
EU-Sportbootrichtlinie	Richtlinie 2013/53/EU über Sportboote und Wassermotorräder
EU-Verordnung zu Luftfahrzeugen	Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 über die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen und luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Teilen und Ausrüstungen und die Erteilung von Genehmigungen für Organisationen und Personen, die diese Tätigkeiten ausführen
EU-Verordnung zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen Luftfahrzeuge	Verordnung (EU) Nr. 748/2012 zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen für die Erteilung von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen für Luftfahrzeuge und zugehörige Produkte, Bau- und Ausrüstungsteile sowie für die Zulassung von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben
Fahrzeug-Zulassungsverordnung – (FZV)	Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung – FZV)
Flugunfall-Untersuchungsgesetz (FIUUG)	Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (Flugunfall-Untersuchungsgesetz - FIUUG)
FR-Dekret Erweiterte Herstellerverantwortung	Décret n° 2021-1213 du 22 septembre 2021 relatif aux filières de responsabilité élargie des producteurs portant sur les jouets, les articles de sport et de loisirs, et les articles de bricolage et de jardin
FR-Gesetz zur Energiewende für grünes Wachstum	LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV)
Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV	Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen ¹ (Gewerbeabfallverordnung - GewAbfV)
Hongkonger Übereinkommen	Internationales Übereinkommen von Hongkong über das sichere und umweltgerechte Recycling von Schiffen
Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG)
LuftBo	Betriebsordnung für Luftfahrtgerät (LuftBO)
LuftGerPV	Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät (LuftGerPV)
Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO)	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO)
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung (POP-AbfallüberwV)	Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen

Abkürzung	Titel
	Schadstoffen (POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung - POP-Abfall-ÜberwV)
SchRegO	Schiffsregisterordnung
See-Sportbootverordnung (SeeSpbootV)	Verordnung über die Inbetriebnahme von Sportbooten und Wassermotorrädern sowie deren Vermietung und gewerbsmäßige Nutzung im Küstenbereich (See-Sportbootverordnung - SeeSpbootV)
Sportbootführerscheinverordnung (SpFV)	Verordnung über das Führen von Sportbooten (Sportbootführerscheinverordnung - SpFV)
Umweltgesetzbuch Frankreich	Code de l'environnement, Version 05. Januar 2022
Verpackungsgesetz (VerpackG)	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG)
Vorschlag 2022/0095 (COD)	Vorschlag für eine Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG
Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV)	Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin (20. BImSchV)

Zusammenfassung

Das Recycling von Faserverbundwerkstoffen (FVW) und speziell Faserverbundkunststoffen (FVK) ist technisch anspruchsvoll. Es findet aktuell in Deutschland kaum statt. Hinzu kommt, dass die Mengen an Abfällen von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) und glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) zu gering sind, um Recyclingverfahren wirtschaftlich zu gestalten. Eine Bündelung unterschiedlicher CFK- und GFK-Abfälle zu einem gemeinsamen Recyclingverfahren könnte hier Abhilfe schaffen. Dies erscheint für CFK- bzw. GFK-Abfälle von Rotorblättern, bestimmten Bauprodukten, Sportbooten, Leichtflugzeugen oder Bedarfsgegenständen sinnvoll, da in diesen Produkten vergleichsweise große Mengen an FVK eingesetzt werden und das mit steigender Tendenz. Im Mittelpunkt dieses Vorhabens steht nun das Recycling von Sportbooten, Leichtflugzeugen und Bedarfsgegenständen.

Die Datenlage zum Verbleib von Altbooten und Altflugzeugen ist jedoch mangelhaft. Gleiches gilt für Bedarfsgegenstände mit CFK. Ziel ist es folglich, Transparenz über den gesamten Lebenszyklus zu schaffen und möglichst viele sortenreine FVK aus der Behandlung der spezifischen Produktgruppen für die Wiederverwendung oder ein gebündeltes Recycling zu gewinnen.

Dies schließt neben digitalen Konzepten (Informationsbereitstellung bzw. -plattformen z.B. zur Verbesserung des Sekundärmarktes für Ersatzteile oder Gebrauchtboote) auch die Berücksichtigung politischer und organisatorischer Instrumente mit ein.

Dieses Vorhaben besteht daher aus drei Teilen:

1. Marktstudie
2. Abfalltechnische Aufbereitungsstandards
3. Digitale und organisatorische Konzepte

Marktstudie

Sportboote

Sportboote umfassen in diesem Vorhaben sämtliche Boote, welche für Sport- und Erholungszwecke, mit oder ohne Motor, mit oder ohne Übernachtungsgelegenheit sowie für die See- und Binnenschifffahrt konzipiert sind und eine Länge von < 24 m vorweisen. Dies schließt folgende Sportboottypen ein:

- ▶ Motorboote:
 - Motoryachten
 - Offene Sportboote und Daycruiser
- ▶ Segelboote:
 - Segeljollen, offene Kielboote
 - Segelyachten und Motorsegler
- ▶ Kleine Boote:
 - Wassermotorräder
 - Kanus, Ruderboote, Tretboote

- Surfbretter, Stand-Up-Paddle-Boards (SUP).

Rechtlich geregelt sind Sportboote unter der Richtlinie EU 2013/53/EU über Sportboote und Wassermotorräder (EU- Sportbootrichtlinie) bzw. der See-Sportbootverordnung (SeeSpBootV). Darin enthalten sind unter anderem Kennzeichnungspflichten für bestimmte Boote. Nicht enthalten sind hier jedoch Vorgaben zur Außerbetriebnahme, Abmeldung oder Abwrackung von Sportbooten. Unter der Schiffsregisterordnung (SchRegO) ist eine Registrierungspflicht für Sportboote ab einer Länge von 15 m enthalten. Einige Bundesländer haben Bestimmungen zu Zulassung bzw. Genehmigung zum Befahren eines bestimmten Gewässers. Dies betrifft allerdings nur einen Bruchteil aller Boote. Folglich gibt es in Deutschland keine statistische Erfassung des gesamten Bestands der Sportboote.

Aufschlussreiche Zahlen zum Bestand der Motor- und Segelboote in Deutschland beschrieb Mell (2016) . Demzufolge gibt es 482.520 Segel- und Motorboote in Deutschland. Die Anzahl der kleinen Boote wird von den Autoren und Autorinnen auf circa 1,4 Mio. geschätzt. Der Massenanteil von GFK pro Boot liegt bei Motorbooten zwischen 25 und 40 %, bei Segelbooten bei ca. 50 % und bei kleinen Booten zwischen 50 und 90 %. Der Einsatz von GFK entspricht dem Standard im Bootsbau. Kanus, Tretboote, Ruderboote oder bestimmte SUPs können ebenfalls zu einem sehr hohen Anteil aus GFK/CFK bestehen. Bei Surfbrettern wird GFK/CFK-Gewebe teilweise zu Beschichtungs- und Verstärkungszwecken genutzt.

Basierend auf diesen Daten kann das Abfallaufkommen sowie das Potential an GFK-Abfallmengen grob abgeschätzt werden.

- ▶ Zwischen 2006 und 2015 wurden ca. 2.160 Motor- und Segelbooten laut Mell (2016) in Deutschland entsorgt. Diese Zahl basiert auf empirischen Erhebungen.
- ▶ Das Potential an GFK-Mengen der ca. 216 pro Jahr tatsächlich entsorgten Motorbooten und Segelbooten liegt bei ca. 166 t pro Jahr (unter der Annahme, dass durchschnittlich pro demontiertem Sportboot ca. 0,77 t GFK-Abfälle anfallen (European Boating Industry, 2023)). Zählt man die große Anzahl kleiner Boote (wie bspw. Wassermotorräder, Kanus und Tretboote) hinzu, liegen die jährlichen GFK-Mengen deutlich darüber.
- ▶ Laut dem Bootsrecycling Unternehmen reBoat lagern ca. 20.000 bis 30.000 nicht mehr genutzte Sportboote in Deutschland (Motorbootonline.de, 2021). Bis zu 10.000 Stück davon haben möglicherweise ungeklärte Besitzverhältnisse und sind auch aus diesem Grund schwer zu entsorgen.
- ▶ Das Potential an GFK-Mengen der ca. 20.000 bis 30.000 nicht mehr genutzte Sportboote in Deutschland liegt zwischen 15.400 t und 23.100 t (unter der Annahme, dass durchschnittlich pro demontiertem Sportboot ca. 0,77 t GFK-Abfälle anfallen (European Boating Industry, 2023)). Zählt man auch ungenutzte kleine Boote (wie bspw. Wassermotorräder, Kanus und Tretboote) hinzu, liegen die potentiell zu entsorgenden und verwertenden GFK-Mengen deutlich darüber.
- ▶ Basierend auf der aktuellen Zahl der Surfer*innen und der Lebensdauer von Surfbrettern, könnten jährlich circa 390.000 Surfbretter in Deutschland zur Entsorgung anfallen. Hier ist allerdings mit sehr geringen Einsatz- bzw. Abfallmengen an GFK zu rechnen.

Die fehlende Registrierungs- und Abmeldepflicht für Sportboote in Deutschland erschwert nicht nur die Abschätzung von Bestand und Abfallmengen, sondern führt zu dem Umstand, dass es keine Informationen dazu gibt, wie viele Boote (als Abfall) exportiert, illegal entsorgt werden

oder an Flüssen, Seen oder auf Privatgrundstücken lagern. Die Zahlen von Mell verdeutlichen jedoch, dass nur sehr wenige Sportboote einer fachgerechten Entsorgung zugeführt werden.

Es gibt drei übliche Entsorgungswege. (1) Der*die Bootsbesitzer*in hat das Boot bereits selbst zerkleinert (z.B. GFK-Rumpf zersägt) und gibt die Teile als Haushalts- oder gemischten Gewerbeabfall ab. GFK-Teile werden somit derzeit wahrscheinlich direkt oder indirekt der energetischen Verwertung zugeführt. (2) Der*die Bootsbesitzer*in gibt das Boot (kostenpflichtig) an ein zertifiziertes Entsorgungsunternehmen ab. Dieses verkauft die werthaltigen Teile (Recycling, Wiederverwendung) und führt die restlichen Bestandteile einer gesetzeskonformen Verwertung zu. Entsorgungsunternehmen mit Fokus auf Sportboote gibt es jedoch kaum in Deutschland. (3) In Einzelfällen werden kleine Sportboote auch in Altauto-Demontageanlagen oder in kleineren Werften rückgebaut.

Die Wiederverwendung wird allerdings in den meisten Fällen bevorzugt. Ein funktionierender Gebrauchtmrkt sowie eine Reparaturkultur für Boote sind etabliert.

Leichtflugzeuge

In Deutschland werden die Flugzeuge nach der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) kategorisiert. In diesem Vorhaben sind folgende Leichtflugzeuge im Fokus der Betrachtung:

- ▶ Einmotorige Flugzeuge bis 2 t (Kategorie E nach LuftVZO)
- ▶ Einmotorige Flugzeuge von 2 bis 5,7 t (Kategorie F nach LuftVZO)
- ▶ Mehrmotorige Flugzeuge bis 2 t (Kategorie G nach LuftVZO)
- ▶ Mehrmotorige Flugzeuge von 2 bis 5,7 t (Kategorie I nach LuftVZO)
- ▶ Motorsegler (Kategorie K nach LuftVZO)
- ▶ Segelflugzeuge.

Alle genannten Leichtflugzeuge müssen in Deutschland zugelassen und registriert werden. Folglich liegen genaue Daten zum Bestand der registrierten Leichtflugzeuge vor.

Tabelle 1: Anzahl der in Deutschland zugelassenen projektrelevanten Luftfahrtgeräte in 2020

Kennzeichenklasse (Beschreibung)	Anzahl der Zulassungen
E (einmotorig bis 2 t)	6.549
F (einmotorig von 2 bis 5,7 t)	215
G (mehrmotorig bis 2 t)	221
I (mehrmotorig von 2 bis 5,7 t)	391
K (Motorsegler)	3.781
Segelflugzeuge	7.150

Quelle: (Deutscher Aero Club, 2020; Luftfahrt-Bundesamt, 2021)

Ab den 1960er Jahren wurde vermehrt GFK und ab 1980 auch CFK für Leichtflugzeuge eingesetzt. Bauteile die aus GFK und/oder CFK bestehen sind vor allem Rumpf, Flossen, Ruder und Leitwerke. Segelflugzeuge können aus bis zu circa 90 % GFK/CFK, Motorsegler bis zu ~85 % und Leichtflugzeuge der Kategorie E, F, G und I bis zu circa 75 % bestehen.

Aufgrund des großen wirtschaftlichen Wertes werden Leichtflugzeuge stets repariert oder zur erneuten Nutzung weiterverkauft/weitergegeben (Gebrauchtmarkt). Eine Entsorgung findet lediglich bei irreparablen Schäden statt. Die Reparaturen werden dabei sowohl von Privatpersonen und Vereinen als auch von zertifizierten Reparaturbetrieben und zum Teil auch von herstellenden Unternehmen durchgeführt. In der EU-Verordnung zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen Luftfahrzeuge werden die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Reparatur eines Flugzeugs festgelegt. Falls ein Flugzeug irreparabel beschädigt ist, wird es entsorgt. Dabei ist der*die Besitzer*in des Flugzeugs selbst für die Entsorgung verantwortlich. Zwar gibt es im Bereich der Großraumflugzeuge Firmen, welche sich auf das Abfallmanagement spezialisiert haben, jedoch existieren solche Firmen für Leichtflugzeuge nicht, was wahrscheinlich auf die geringe Anzahl an jährlich zu entsorgenden Altflugzeugen und hohen Reparaturanteil zurückgeführt werden kann.

Es gibt zwar keine genauen Daten zu den jährlich anfallenden Abfallmengen, Expert*innen gehen jedoch von einer einstelligen bis niedrigen zweistelligen Anzahl an Altflugzeugen pro Jahr in Deutschland für jeweils Segelflugzeuge und Motorsegler und Flugzeuge der Kategorie E, F, G und I aus. So kann man bei den betrachteten Leichtflugzeugen insgesamt mit ca. 29 bis 58 t GFK/CFK Abfällen pro Jahr rechnen.

Bedarfsgegenstände

Unter diese Gruppe fallen Bedarfsgegenstände, welche CFK enthalten können¹ und üblicherweise als Hausmüll bzw. hausmüllähnlicher Abfall entsorgt werden. Damit beschränkt sich diese Produktgruppe auf Produkte aus dem Sport-, Freizeit- und Medizinbereich, welche vorrangig von Privatpersonen genutzt werden. Ausgeschlossen sind Elektrogeräte und Fahrzeuge mit CFK-Anteilen, da diese unter das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) bzw. die Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV) fallen. Des Weiteren sind Produkte mit Carbonfaseroptik ausgeschlossen.

CFK erlangt im Bereich der Bedarfsgegenstände eine gewisse Marktdurchdringung und wird in Produkten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Anwendungsbereichen eingesetzt. Eine große Rolle in dieser Entwicklung spielen technische Vorteile von CFK, wie geringes Gewicht, hohe Belastbarkeit oder Korrosionsbeständigkeit, aber auch Marketing.

In diesem Projekt ging es um den Bestand, den Einsatz von CFK und die Entsorgung von Fahrrädern, Golfschlägern, Ski und Snowboards, Saiteninstrumenten sowie Prothesen und Orthesen. Unterschiedliche Lebensdauern und Einsatzmengen an CFK machen allgemeingültige Aussagen für die gesamte Produktgruppe der Bedarfsgegenstände schwer. Deutlich wird, dass es auch hier eine etablierte Reparaturkultur (jedoch kein flächendeckendes Angebot für Reparaturen von CFK-Bauteilen) und einen etablierten Gebrauchtmittelmarkt (mit Ausnahme von Prothesen und Orthesen) gibt. Findet statt der Wiederverwendung eine Entsorgung der Produkte statt, geschieht dies über die Sperrmüllsammlung oder die Abgabe auf dem Wertstoffhof. Auf einzelnen Wertstoffhöfen werden bestimmte Produkte aussortiert, um diese zum Beispiel zu spenden oder die Metalle zu verwerten. Der Großteil der Produkte wird zusammen mit dem Sperrmüll energetisch verwertet. Eine Separation von CFK-Bauteilen findet dabei nicht statt, weshalb davon ausgegangen werden muss, dass diese ebenfalls energetisch verwertet werden.

¹ Aufgrund der mengenmäßigen Relevanz fokussiert sich das Forschungsvorhaben auf CFK; Bedarfsgegenstände aus GFK wurden damit nicht explizit berücksichtigt.

Abfalltechnische Aufbereitungsstandards:

Ein Ergebnis der Studie sind Maßnahmen zur Abfallvermeidung sowie zur Förderung des Recyclings von Sportbooten, Leichtflugzeugen und Bedarfsgegenständen mit CFK bzw. deren Bauteile. Da Bedarfsgegenstände mit CFK eine Vielzahl an unterschiedlichsten Produkten vereinen, wird auf die Erarbeitung von einheitlichen Aufbereitungsstandards verzichtet. Der Fokus dieses Kapitels liegt damit auf der Erarbeitung von Aufbereitungsstandards für Sportboote und Leichtflugzeuge.

Unter Berücksichtigung der grundsätzlichen rechtlichen Rahmenbedingungen der Abfallströme Sportboote und Leichtflugzeuge wurden dabei Demontageanleitungen mit abfallspezifischen Verwertungshinweisen in tabellarischer Form für die unterschiedlichen Typen der Sportboote sowie der Leichtflugzeuge aufbereitet. Weiter wird auf die Aufbereitung und Verwertung von Rumpfmateriale eingegangen.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) setzt dabei den rechtlichen Rahmen und regelt den Beginn, das Ende der Abfalleigenschaft, definiert die Abfallhierarchie sowie Kriterien der schadlosen und zumutbaren Verwertung.

Als weiterer Komplementär dient die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV). In der AVV werden gefährliche (mit einem Sternchen (*) versehen) von ungefährlichen Abfällen unterschieden. Zu erkennen ist, dass es keine spezifischen Abfallschlüsselnummer für Sportboote oder Leichtflugzeuge gibt. Alternativ werden deshalb in der Praxis häufig die Abfallschlüsselnummer für Altfahrzeuge verwendet, was jedoch zu statistischen Schwierigkeiten führt. Sind in den Abfällen persistente organische Schadstoffe enthalten gilt es die Regelungen der Verordnung (EU) 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe zu berücksichtigen. Des Weiteren sind produkt- und abfallspezifische Regelungen zu beachten (z.B. für Altholz, Altöl, Batterien, Elektro- und Elektronikgeräte etc.).

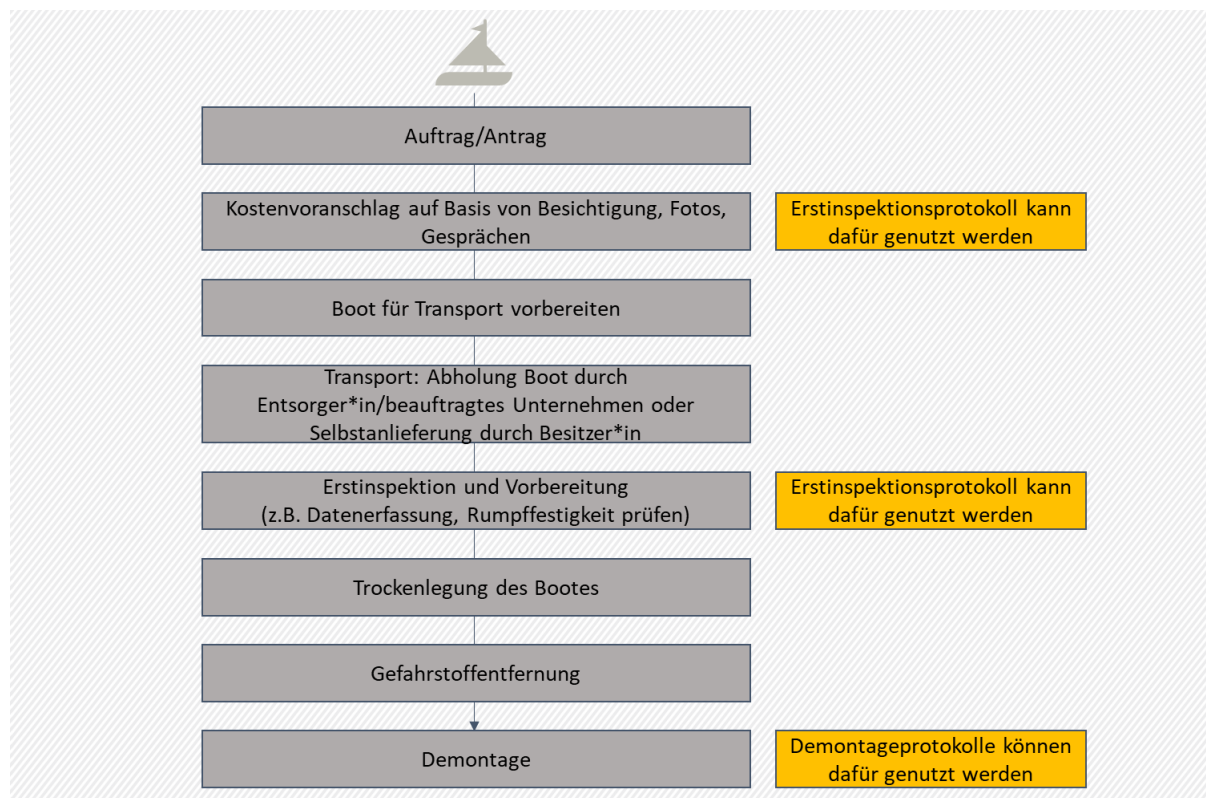
Für die Abfallgruppen im Fokus sowie zur Entsorgung von FVK gibt es bislang keine solch spezifischen Gesetze bzw. Vorschriften. So gibt es auch keine abfallrechtliche Produktverantwortung. Das Prinzip der Produktverantwortung basiert auf dem Gedanken, bereits in der Entwicklung und Herstellung von Produkten Aspekte der Kreislaufwirtschaft zu berücksichtigen. Neben der gesetzlich vorgeschrieben Produktverantwortung nach § 23 KrWG existiert die Möglichkeit der freiwilligen Rücknahme durch Hersteller und Inverkehrbringer und wird unter § 26 KrWG geregelt.

Sportboote und Leichtflugzeuge

Für die Außerbetriebnahme, Abmeldung und Abwrackung von Sportbooten greift derzeit nur die allgemeine Abfallgesetzgebung. Für Leichtflugzeuge gibt es hingegen Regeln zur Außerbetriebnahme und Abmeldung, die in der allgemeinen Luftfahrt dem Luftfahrtbundesamt unterliegen.

Vor einer Reparatur, Re-fit oder Demontage bietet es sich an, eine Erstinspektion durchzuführen. Diese dient der Identifizierung der wesentlichen Bestandteile und Hintergrundinformationen eines Produktes, um für die angehenden Arbeiten, z.B. einer Demontage als Vorbereitung zur Entsorgung einen Überblick des Ist-Zustand des Sportbootes oder Leichtflugzeug zu erhalten. Eine erste Vorlage für Sportboote (siehe Kapitel 4.2.1.2) und Leichtflugzeuge (siehe Kapitel 4.2.2.1) findet sich in dieser Arbeit. Unterschiedliche Methoden und Ansätze der Abfallvermeidung werden eingeführt (Wiederverwendung, Reparatur, Re-fit, Refabrikation, Weiterverwendung, Re-Design) und erklärt, wie zum Beispiel eine Reparatur von Beschädigungen auf der Rumpfaußenhaut mittels regenerativem Auflaminieren.

Abbildung 1: Möglicher Ablauf der Sportbootsentsorgung



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

Die Untersuchung des aktuellen Standes der Entsorgung von Sportbooten in Deutschland hat ergeben, dass eine vollständige Demontage von Booten noch unüblich ist, auch wenn es einzelne Unternehmen gibt, die bereits Demontagen durchführen und werthaltige Bauteile und Rumpfteile versuchen hochwertig zu verwerten. Dies ist aber nicht als allgemeiner Stand der Praxis anzusehen. In Abbildung 1 wird ein möglicher Ablauf der Sportbootentsorgung aufgezeigt, der genauso auf ein Leichtflugzeug übertragbar ist. Dieser beginnt mit dem Auftrag oder Antrag. Es folgen ein Kostenvoranschlag, die Vorbereitung zum Transport, der Transport, die Erstinspektion und Vorbereitung, die Trockenlegung des Bootes, die Gefahrstoffentfernung und am Ende die Demontage. Erstinspektionsprotokolle können für den Schritt des Kostenvoranschlags, die Erstinspektion sowie Demontageprotokolle für die Demontage genutzt werden.

Demontageprotokolle stellen den Ablauf der Separation einzelner Bauteile dar. Diese sind unter den Kapiteln 4.3.1.5 – 4.3.1.11 für Sportboote und Kapiteln 4.3.2.3 – 4.3.2.6 für Leichtflugzeuge zu finden. Zusätzlich beinhalten diese Informationen zu typischen Materialien der Bauteile, zur möglichen Wiederverwendbarkeit, zu den enthaltenden Fraktionen und Entsorgungspflichten.

Zu beachten bei den Demontageprotokollen ist, dass jedes Sportboot oder Leichtflugzeug individuell zu handhaben ist, da eine Demontage nur zu einem gewissen Maße standardisiert und anhand des Protokolls durchgeführt werden kann.

Allgemein sind folgende Schritte bei der Trockenlegung von Sportbooten oder Leichtflugzeugen zu durchzuführen:

1. Öle und Treibstoff absaugen/abpumpen
2. Weitere Flüssigkeiten entnehmen

3. Tanks reinigen, entgasen und entsorgen
4. Gefahrstoffentnahme

Bei der Demontage sind generell diese Schritte zu planen:

1. Entnahme von Ausrüstungsgegenständen
2. Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen
3. Entfernen und Abschneiden weiterer Strukturen oder Bauteile

Für die Wartung und Instandsetzung sowie Außerbetriebnahme und Wiederinbetriebnahme von Flugzeugen gibt es EASA-Standards. Diese umfassen auch die Demontage und den Ersatz von Bauteilen (nach EASA Part 145). Sobald diese Standards nicht mehr erfüllt sind, muss eine dauerhafte Außerbetriebnahme folgen. Fragen des vollständigen Abwrackens liegen anschließend außerhalb dieser Standards. Es gilt dann die allgemeine Abfallgesetzgebung. Nach der Offenlegung der Strukturen bei den Sportbooten und Leichtflugzeugen, können diese an zugewiesenen Zerlegestellen der Marina oder am Flugplatz des Demontage- oder Recyclingunternehmens zerlegt bzw. weiter zu einem Recyclingunternehmen transportiert werden.

Im Vergleich zu Materialdicken bei Rotorblättern um bis zu 8 cm wird davon ausgegangen, dass bei Sportbooten und Leichtflugzeugen dünnere Wandstärken vorherrschen und die Zerkleinerung verschleißarmer sein könnte. Verbunden ist jedoch ein größerer Aufwand in der vorangestellten Demontage der Bauteile oder einer mechanischen Sortierung. Zu den möglichen Zerlegungsverfahren gehören Schrottscheren oder Greifer, Kreis- oder Seilsägen, Wasserstrahlschneider, und alternativ bei Stahlrümpfen Brennschneider, bzw. bei Rümpfen aus Aluminium, Plasma- oder Laserschneider. Die Zerkleinerung und Sortierung erfolgt mit gängigen Zerkleinerungsapparaten für FVW und Sortier- oder Trennapparaten für das Entfernen restlicher Metalle aus den Abfallströmen.

Grundsätzlich erfolgt die Verwertung von GFK derweil größtenteils über die Zementroute, wobei die Matrix energetisch und der Glasanteil stofflich verwertet wird. Alternative Verfahren sind entweder in der Optimierung und weiteren Entwicklung oder konnten sich wirtschaftlich großflächig bisher nicht durchsetzen. Bei der Verwertung von CFK wird die Pyrolyse als Stand der Technik angesehen mit in Europa mehreren industriellen Pyrolyseanlagen. Der Carbidroute, wo der Kohlenstoffanteil als rohstoffliche Nutzung angesehen werden kann, wird ein sehr hohes „Technology Readiness Level“, also eine hohe technische Reife zugeschrieben. Die Herausforderungen für eine hochwertige Verwertung von Sportbooten und Leichtflugzeugen sind ausführlich beschrieben und sollen durch digitale und organisatorische Konzepte begegnet werden. Verschiedene Lösungsansätze werden erarbeitet und kurz diskutiert. Diese sind unter anderem:

- ▶ Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung,
- ▶ Einführung einer Registrierungs-, Melde- und Abmeldepflicht für Sportboote,
- ▶ Einführung eines Digitalen Produktpasses,
- ▶ Vergabe von konkreten Abfallschlüsselnummern für Altsportboote und Altleichtflugzeugen und deren Bauteile,
- ▶ Verbesserung von logistischen Aspekten (zum Beispiel mobile Demontagestationen),

- ▶ Einführung von Standards zur Trockenlegung, Demontage und Zerkleinerung sowie Weiterentwicklung bestehender Recyclingverfahren und Entwicklung neuer Technologien,
- ▶ Förderung von Fortbildungen und verbessertem Wissensmanagement,
- ▶ Einführung eines Verwertungsnachweises,
- ▶ Möglichkeit der Abwrackprämie.

Mit den vielversprechendsten Lösungsansätze wird sich unter Kapitel 5 - Digitale und organisatorische Konzepte intensiv auseinandergesetzt.

Bedarfsgegenstände mit CFK

Als größtes Problem im Umgang mit Bedarfsgegenständen mit CFK wird die fehlende Reparaturinfrastruktur für CKF-Bauteile sowie die fehlende getrennte Erfassung der Altprodukte und folglich der Bauteile aus CFK betrachtet. Die Folge ist die Mitverbrennung von Bauteilen aus CFK in Müllverbrennungsanlagen, was mit technischen und gesundheitlichen Risiken verbunden ist (siehe dazu Informationen im Bericht „Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter“ (Kühne et al., 2022) sowie im Bericht der LAGA zur „Entsorgung faserhaltiger Abfälle“ (LAGA, 2019)).

Daher gilt es vor allem, Abfälle zu vermeiden, Reparaturkonzepte für Bauteile aus CFK weiterzuentwickeln und flächendeckend anzubieten. Weiter kann über eine Erhöhung der Transparenz durch Produktdeklarierung von CFK-Bauteilen nachgedacht werden. Auch die Einführung freiwilliger Rücknahmesysteme der herstellenden Unternehmen oder herstellerepezifischen Rücknahmesystemen sind mögliche Ansätze, welche zu einem CFK-Recycling führen könnten (Kapitel 4.3.7).

Digitale und organisatorische Konzepte:

Digitale Kommunikationswege, digitale Instrumente und die Archivierung, Analyse und Verknüpfung von relevanten Informationen als Entscheidungsgrundlage und Wissensbasis für Akteur*innen entlang des Lebenszyklus der Produkte können Instrumente für Stoffstromlenkung sein. Digitalisierung ermöglicht die Speicherung, Archivierung, Bereitstellung und Auswertung von Daten über eine lange Dauer. Dadurch können Informationen zu Produkten mit langer Lebensdauer (wie Sportboote und Leichtflugzeuge) auch zeitlich nachhaltig zur Verfügung gestellt werden und bieten damit eine zukunftsweisende Möglichkeit zur Stoffstromlenkung. Digitalisierung ermöglicht außerdem den geographisch unabhängigen Informationsaustausch zwischen diversen Akteur*innen, die im vorliegenden Zusammenhang zunächst für Deutschland betrachtet wurden und generell auf europäische Initiativen oder internationale Regulierungen ausgeweitet werden könnte (siehe strategische Initiativen zum Digitalen Produktpass in der EU in Kapitel 5.2.1.4).

Um digitale und organisatorische Konzepte für die genannten Produktgruppen zu entwickeln, müssen zunächst die relevanten Akteur*innen entlang des Lebenszyklus abgebildet werden. Diese sind abstrahierte, natürliche und juristische Personen, die im Lebenszyklus der betrachteten Produkte von Herstellung bis Lebensende eine relevante Rolle innehaben (sprich: ein Nutzungsinteresse an bereitgestellten Informationen besteht), wenn es um Informationsaustausch zum Recycling und Abfall der Produkte geht. Dazu gehören bspw. Herstellungsbetriebe und Recyclingbetriebe ebenso wie Vereine oder Eigentümer*innen. Kommunikationswege beschreiben die Beziehung zwischen mindestens zwei Kommunikationsinstitutionen (hier: Akteur*innen). Über Kommunikationswege werden in unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit Informationen ausgetauscht. Dieser

Informationsaustausch kann analog oder digital stattfinden, sowie direkt (informell) oder indirekt (institutionell) über Kommunikationsinstrumente. Kommunikationsinstrumente sind Datenträger, über die Informationen zwischen Akteur*innen ausgetauscht werden.

Die Netzwerkanalyse für **Sportboote** ergab dabei folgende Schlussfolgerungen zum Status quo:

1. Herstellungsbetriebe von Einzelteilen kommunizieren nur unzureichend Informationen über die Verwendung von GFK/CFK in den Bauteilen an die Bootsbauer*innen; durch fehlende rechtliche Verpflichtungen, die als Anreiz dienen könnten, fordern Bootsbauer*innen diese Informationen auch nicht ein.
2. Bootsbauer*innen, sowohl aus der Industrie als auch aus dem Bereich Manufaktur, teilen meist keine oder wenige Daten bzw. detaillierte Angaben zur Verwendung von GFK/CFK in ihren Produkten mit Händler*innen und damit indirekt mit Endnutzer*innen. Somit haben Eigentümer*innen keine Einsicht über das Vorhandensein von GFK/CFK in den von ihnen erworbenen oder gemieteten Booten.
3. Eigentümer*innen können somit keine oder wenige Informationen über GFK/CFK an Reparatur- und Wartungsbetriebe, Recyclingbetriebe oder Anlagen zur Beseitigung und Verwertung von Booten mitteilen. Ebenso erhalten sie keine oder unzureichende Informationen über verwendetes GFK/CFK von Verkäufer*innen von Ersatzteilen, die ggf. in ihre Boote nachträglich verbaut werden.
4. Demontagebetriebe und Recyclingbetriebe haben keine direkten Kommunikationswege zu Herstellungsbetrieben von Einzelteilen oder Bootsbauer*innen und können vorgenommene Veränderung an den Booten, bei denen ggf. GFK/CFK verwendet wurde nicht dokumentiert nachvollziehen, außer nach augenscheinlicher Inspektion.

Auf Grundlage der Netzwerkanalyse werden deshalb zwei Empfehlungen abgegeben, die die Stoffstromlenkung positiv beeinflussen können.

Ein erster Optimierungshebel zur Stoffstromlenkung und zum fachgerechten Recycling von Sportbooten, die bereits heute am Ende des Lebenszyklus angelangt sind, besteht in der Bündelung der für Eigentümer*innen von Sportbooten relevanten Informationen auf einer zentralen digitalen Kommunikationsplattform (bspw. Webseite). Diese Informationen können dann sowohl von Nutzer*innen von Altbooten als auch von Kaufinteressierten von Neubooten abgerufen werden. Das inhaltliche Schema der Webseite besteht im Wesentlichen aus einer Informationskategorie, nämlich einer Übersicht der Recyclingunternehmen, die Dienstleistungen im Bereich des Sportboote-Recyclings anbieten. Weitere Kategorien sind denkbar, beispielsweise Hinweise zum Recyclingverfahren, sowie ggf. rechtliche Voraussetzungen und Vorgaben, die bspw. durch Behörden zur Verfügung gestellt werden und regelmäßig von diesen an die aktuellen Vorschriften angepasst werden; eine Sammlung von Literatur über Bootspflege, um die Langlebigkeit der Boote entsprechend zu fördern und ein Bewusstsein unter den Stakeholdern für Umweltaspekte zu schaffen; die Integration einer Plattform zur Bündelung des Sekundärmarkts.

Ein zweiter Optimierungshebel besteht in der Einführung eines modularen Datenkonzepts. Dabei sind die folgenden Kriterien in verschiedenen Konzepten abzubilden:

Tabelle 2: Kriterien und Funktionalitäten der digitalen Konzepte

Konzepte	Technische, funktionale und organisatorische Kriterien zur Bewertung von Eignung der Lösung
Datenbankkonzept 1: Produkttypenspezifische Merkmale	Erfassung der Produktbasisdaten; Erfassung der verwendeten Materialien.

Konzepte	Technische, funktionale und organisatorische Kriterien zur Bewertung von Eignung der Lösung
Datenbankkonzept 2: Registrierung	Dokumentation der persönlichen Daten von Eigentümer*innen; Erfassung von Änderungen des/der Eigentümer*in.
Datenbankkonzept 3: Rechtliche Vorgaben der Materialverwertung	Dokumentation von Texten zu aktuellen Verwertungsvorschriften, ggf. Abfallschlüsselnummern.
Datenbankkonzept 4: Expertise von Verwerter*innen, Rücknahmestellen und Recyclingbetrieben	Verfügbarkeit von Verwerter*innen, Rücknahmestellen, Recyclingnetzwerken; Darstellung eines fachlichen Expertiseprofils von Verwerter*innen, Rücknahmestellen, Recyclingbetrieben.
Datenbankkonzept 5: Demontage und Reparatur	Verfügbarkeit von Handbüchern; Verfügbarkeit von Reparaturhinweisen der Herstellungsbetriebe; Verfügbarkeit von Demontageprotokollen.
Datenbankkonzept 6: Veränderungen an individuellen Booten	Eintragung von hinzugefügten Teilen; Austragung von entfernten Teilen; Dokumentation von baulichen / relevanten Veränderungen an Teilen.
Datenbankkonzept 7: Verfügbare Ersatzteile (Sekundärmarkt)	Erfassung des Bestands; Erfassung der Produkte zur Reparatur und Wiederverwendung; Erfassung der Produkte für Aufbereitung und Recycling; Erfassung von Ersatzteilen für den Sekundärmarkt; Austragungen verkaufter Teile.
Technische Kriterien	Begrenzte Zugriffsfunktionen; Anbindung möglicher Schnittstellen (bspw. Referenzdatenbanken); Garantie der Datensicherheit; Konzepte zur Aktualisierbarkeit und Pflege der Datenbank.
Verknüpfung mit weiteren organisatorischen Konzepten	Abbildung weiterer Merkmale, die bspw. für den Digitalen Produktpass relevant sind; Register der Verwertungsnachweise oder ähnliches.

Der Digitale Produktpass wurde für den Bereich der Sportboote gesondert betrachtet. Der Digitale Produktpass kann für komplexe Produkte wie Sportboote eine machbare Lösung zum verbesserten Datenmanagement und damit schlussendlich zur Förderung des Recyclings und der Stoffstromlenkung darstellen. Bei der Umsetzung bestünde im Zusammenhang mit Sportbooten weiterer Forschungsbedarf zu folgenden Aspekten:

- ▶ Fälschungssicherheit;
- ▶ Abfallrelevante Veränderung am Produkt;
- ▶ Nachhaltige Anbringung unter produkttypischen Umständen;
- ▶ Lange Lebensdauer von Sportbooten.

Für **Leichtflugzeuge** gestaltet sich der Status quo und die Suche nach einer digitalen Lösung durch die strengen rechtlichen Regulierungen deutlich anders:

1. Durch den hohen Reglementierungsgrad in der Luftfahrtbranche herrscht eine hohe Transparenz über alle Akteur*innen in der Luftfahrtbranche, deren Strukturen, Organisation und Prozesse streng überwacht und reglementiert sind, inkl. der verwendeten Bauteile und Materialien.

2. Der etablierte Reparaturmarkt und verpflichtende Inspektionsprogramme führen zu langen Lebenslaufzeiten und einem geringem Abfallvorkommen.
3. Daten (Informationen) über verbaute Materialien werden nur beim Herstellungsbetrieb aufbewahrt. Jedoch können diese Daten bei Bedarf, bspw. für Wartungs- oder Reparaturarbeiten, angefragt und eingeholt werden.
4. Durch die Jahrzehnte aufgebaute Expertise in Reparatur- oder Wartungsprozessen hat sich eine de facto Standard-Prozess etabliert, sodass aktuell eine hohe Stabilität in diesem Bereich gewährleistet ist.

Folglich ist im Bereich der Leichtflugzeuge von einem modularen Datenkonzept ggf. abzusehen, da die Gefahr einer doppelten Buchhaltung bestünde.

Für **Bedarfsgegenstände** mit CFK ergibt sich ein sehr gemischtes Bild des Status quo:

1. Herstellungsbetriebe von Einzelteilen kommunizieren nur bedingt bzw. nur oberflächlich detaillierte Informationen über die Verwendung von FVW in den Bauteilen an die Produktherstellungsbetriebe.
2. Produktherstellungsbetriebe teilen nur bedingt bzw. nur oberflächlich detaillierte Daten zur Verwendung von FVW in ihren Produkten an Händler*innen und weitere Verkäufer*innen und Vermieter*innen. Somit haben Nutzer*innen keine oder wenig Einsicht über das Vorhandensein von FVW in den von ihnen erworbenen oder gemieteten Produkten.
3. Eigentümer*innen können somit keine Informationen über FVW an Wertstoffhöfe, Reparatur- und Wartungsbetriebe, Recyclingbetriebe oder Entsorgungsanlagen teilen. Ebenso erhalten sie keine oder unzureichende Informationen über verwendetes FVW von Verkäufer*innen von Ersatzteilen, die ggf. in ihre Produkte nachträglich verbaut werden.

Ein Digitaler Produktpass könnte für die getrennte Erfassung und Abfallbehandlung maßgebenden Informationen beinhalten.

Fazit:

Die Studie beschreibt mehrere Instrumente, welche das Recycling von Sportbooten, Leichtflugzeugen und CFK-Bedarfsgegenständen fördern könnten. Damit geht die Studie weit über den Status quo hinaus, bei dem der Verbleib der betreffenden Abfälle oftmals ungeklärt ist. Vorrangige Notwendigkeit für die sorgfältige Aufbereitung von Altsportbooten, Altleichtflugzeugen sowie CFK-Bedarfsgegenständen sind Abfallschlüssel gemäß des europäischen Abfallverzeichnisses. Ihre Einführung wird stark empfohlen. Sie erlauben einerseits die Ausweisung recyclingtechnischer Kompetenzen durch Entsorgungsfachbetriebe und andererseits die statistische Erfassung von Abfällen. Die Studie beinhaltet Vorschläge für geeignete Abfallschlüssel. Anschließend können Personalschulungen erfolgen sowie Demontageprotokolle und Verwertungstechniken fortentwickelt werden, wozu fundierte Grundlagen erarbeitet wurden.

Ohne Zweifel besteht eine Herausforderung in der Komplexität und dem hohen Individualisierungsgrad der Produkte. Aus diesem Grund wird weiterhin die Einführung eines Digitalen Produktpasses für Sportboote befürwortet. Die rechtliche Implementierung könnte in der EU-Sportbootrichtlinie erfolgen. Für zulassungspflichtige Leichtflugzeuge gibt es bereits ein zuverlässiges System der Informationsweitergabe. Auf diesem Gebiet bleiben, wie bei den Sportbooten, offene Demontage- und Verwertungsfragen sowie die Forderung nach einem Abfallschlüssel für Demontagebetriebe. Die Aufbereitung von Verbundwerkstoffen durch pyrolysebasierte Verfahren erfordert ebenfalls Abfallschlüssel für unterschiedliche FVK-Abfälle

als Edukte und Faserabfälle als Produkte pyrolytischer Aufarbeitung. GFK und CFK sind dabei getrennt zu verwerten.

Auf dem Gebiet der Bedarfsgegenstände besteht die grundsätzliche Empfehlung in der nachhaltigen Nutzung, sprich der Pflege, Reparatur und Wiederverwendung, gleichzusetzen mit einer Abfallvermeidung. Abfälle hingegen sind in aller Regel Sperrmüllabfälle und ihre Sortierung ist erfahrungsgemäß begrenzt wirtschaftlich und nicht mit Blick auf die Positivsortierung von geringen Mengen an CFK-Bedarfsgegenständen. Gleichwohl ist das Standardverwertungsverfahren der Hausmüllverbrennung ungeeignet für die CFK-Verwertung, so dass bei steigenden Mengen von CFK-Produkten und ihren Abfällen eine getrennte Erfassung zweckmäßig wäre. Freiwillige Rücknahmesysteme könnten das Recycling gewährleisten.

Summary

The recycling of fibre-reinforced composites (FRC) and especially fibre-reinforced plastics (FRP) is technically demanding. There is currently almost no such recycling taking place in Germany. In addition, the quantities of waste from carbon fibre-reinforced plastics (CFRP) and glass fibre-reinforced plastics (GFRP) are too small to make recycling economically viable.

Bundling different CFRP and GFRP waste into a common recycling process could provide a solution. This seems reasonable for CFRP and GFRP waste from rotor blades, certain building products, sports boats, light aircrafts or consumer goods, as comparatively large quantities of FRP are used in these products and with an increasing trend. The focus of this project is on the recycling of sports boats, light aircrafts and consumer goods.

However, the data on the whereabouts of end-of-life boats and aircrafts is inadequate. The same applies to consumer goods with CFRP. Consequently, the goal is to create transparency over the entire life cycle and to generate as much as separately collected FRPs as possible from the treatment of the specific product groups for reuse or bundled recycling.

In addition to digital concepts (information provision or platforms, e.g., to improve the secondary market for spare parts or used boats), this also includes the consideration of political and organisational instruments.

This project therefore consists of three parts:

- ▶ Market study
- ▶ Waste technical processing standards
- ▶ Digital and organisational concepts

Market study

Sports boats

In this project, sports boats include all boats designed for sports and recreational purposes, with or without a motor, with or without overnight accommodation, and for maritime and inland navigation, and which have a length of < 24 metres. This includes the following types of sports boats:

Motorboats:

- ▶ Motor yachts
- ▶ Open sports boats, day cruisers

Sailing boats:

- ▶ yawls, open keel boats
- ▶ sailing yachts and motor gliders

Small boats:

- ▶ Jet skis
- ▶ Canoes, rowing boats, pedal boats
- ▶ Surfboards, stand-up-paddleboards (SUP).

Sports boats are legally regulated under the EU Directive 2013/53/EU on recreational craft and personal watercraft (EU Sportboats-Directive) or the See-Sportbootverordnung (SeeSpBootV). Among other things, these contain labelling requirements for certain boats. However, it does not include requirements for the decommissioning, deregistration or dismantling of sports boats. Under the Schiffsregisterordnung (SchRegO), there is a registration obligation for sports boats over 15 m in length. Some federal states have regulations on authorisation or permission to navigate a particular body of water. However, this only affects a few boats. Consequently, there is no statistical register of the entire stock of sports boats in Germany.

Informative figures on the number of motor and sailing boats in Germany are included in Mell (2016). According to his paper, there are 482,520 sailing boats and motorboats in Germany. The number of small boats is estimated by the author at around 1.4 million.

The mass proportion of GFRP per boat is between 25 and 40 % for motorboats, about 50 % for sailing boats and between 50 and 90 % for small boats. Using GFRP is standard in boat building. Canoes, pedal boats, rowing boats or certain SUPs can also be made of a very high proportion of GFRP/CFRP. For surfboards, GFRP /CFRP fabric is partly used for coating and reinforcement purposes.

Based on these data, the amount of waste and the potential of GFRP waste can be roughly estimated.

- ▶ Between 2006 and 2015, approximately 2,160 motor and sailing boats were disposed of in Germany, according to Mell (2016). This figure is based on empirical surveys.
- ▶ The potential of GFRP quantities of the approx. 216 motorboats and sailboats actually disposed of per year is approx. 166 t per year (assuming that on average approx. 0.77 t of GFRP-waste is generated per dismantled sports boat (European Boating Industry, 2023)). Adding the large number of small boats (such as jet skis, canoes and pedal boats), the annual quantities of GFRP are significantly higher.
- ▶ According to the boat recycling company reBoat, there are approximately 20,000 to 30,000 sports boats in Germany that are no longer in use. Up to 10,000 of these may have unclear ownership and are also difficult to dispose of for this reason.
- ▶ The potential of GFRP quantities of the approx. 20,000 to 30,000 sports boats no longer in use in Germany is between 15,400 t and 23,100 t (assuming that on average approx. 0.77 t of GFRP-waste is generated per dismantled sports boat (European Boating Industry, 2023)). If unused small boats (such as jet skis, canoes and pedal boats) are also included, the potential quantities of GFRP to be expected are significantly higher.
- ▶ Based on the current number of surfers and the lifespan of surfboards, approximately 390,000 surfboards could be disposed of in Germany each year. However, very small quantities of GFRP are to be expected here.

The lack of compulsory registration and deregistration for sports boats in Germany not only makes it difficult to estimate the stock and quantities of waste, but also leads to the fact that there is no information on how many boats are exported (as waste), illegally disposed of or left on rivers, lakes or private property. However, Mell's figures make it clear that very few sports boats are sent for proper disposal.

There are three common disposal methods. (1) The boat owners already dismantled the boat themselves (e.g., sawn up the GFRP hull) and disposes the parts as household or mixed municipal waste. GFRP parts are therefore currently likely to be sent directly or indirectly for

energy recovery. (2) The boat owner hands over the boat (for a fee) to a certified disposal company. This company sells the valuable parts (recycling, reuse) and recycles the remaining parts in accordance with the law. However, there are hardly any disposal companies in Germany that focus on sports boats. (3) In individual cases, small sports boats are also dismantled in end-of-life vehicle dismantling plants or in smaller shipyards.

However, reuse is preferred in most cases. A functioning second-hand market and a repair culture for sports boats are well established.

Light aircrafts

In Germany, aircrafts are categorised according to the Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO). In this project, the following light aircraft are in focus:

- ▶ Single-engine aircraft up to 2 t (Category E according to LuftVZO).
- ▶ Single-engine aircraft from 2 to 5.7 t (Category F according to LuftVZO)
- ▶ Multi-engine aircraft up to 2 t (Category G according to LuftVZO)
- ▶ Multi-engine aircraft from 2 to 5.7 t (Category I according to LuftVZO)
- ▶ Motor gliders (Category K according to LuftVZO)
- ▶ Gliders

All the light aircraft mentioned must be authorised and registered in Germany. Consequently, precise data on the stock of registered light aircraft is available.

Table 1: Number of project-relevant aircraft registered in Germany in 2020

Registration Class (description)	Numbers of registrations
E (Single-engine up to 2 t)	6,549
F (Single-engine from 2 up to 5.7 t)	215
G (Multi-engine up to 2 t)	221
I (Multi-engine from 2 up to 5.7 t)	391
K (Motor gliders)	3,781
Gliders	7,150

Source: (Deutscher Aero Club, 2020; Luftfahrt-Bundesamt, 2021)

From the 1960s onwards, GFRP and, from 1980 onwards, CFRP were increasingly used for light aircraft. Components made of GFRP and/or CFRP are mainly the hull, fins, rudders and tail surfaces. Gliders can be made of up to approx. 90 % GFRP/CFRP, motor gliders up to ~85 % and light aircraft in categories E, F, G and I up to approx. 75 %.

Due to their high economic value, light aircraft are always repaired or resold/passed on for reuse (second-hand market). Disposal only takes place in the case of irreparable damage. The repairs are carried out by private individuals and clubs as well as by certified repair companies and partly also by manufacturing companies. The EU Regulation on implementing rules for the airworthiness and environmental certification of aircraft sets out the legal requirements regarding the repair of an aircraft. If an aircraft is irreparably damaged, it is disposed of. The owner of the aircraft is responsible for its disposal. Although there are companies specialising in

waste management for large aircraft, there are no such companies for light aircraft, which is probably due to the small number of end-of-life aircraft to be disposed of each year and the high proportion of repairs.

Although there is no exact data on the amount of waste produced annually, experts assume a single-digit to low double-digit number of end-of-life light aircraft per year in Germany for gliders and motor gliders as well as aircraft of categories E, F, G and I. Thus, for the light aircrafts a total of approx. 29-58 t of GFRP/CFRP waste per year can be expected.

Consumer goods

This group includes consumer goods that may contain CFRP² and are usually disposed of as household waste or waste similar to household waste. This product group is thus limited to products from the sports, leisure and medical sectors that are primarily used by private individuals. Electrical appliances and vehicles with CFRP components are excluded, as these fall under the Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) and the Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV). Furthermore, products with carbon fibre optics are excluded.

CFRP is achieving a certain market penetration in the area of consumer goods and is used in products with very different properties and areas of application. The technical advantages of CFRP, such as low weight, high load-bearing capacity or corrosion resistance, as well as marketing plays a major role in this development.

This project focused on the inventory, use of CFRP and disposal of bicycles, golf clubs, skis and snowboards, stringed instruments as well as prostheses and orthoses. Different lifetimes and quantities of CFRP make it difficult to make general statements for the entire product group of consumer goods. It is clear that here, too, an established repair culture (but no comprehensive offer for repairs of CFRP components) and an established second-hand market (with the exception of prostheses and orthoses) exist. If the products are disposed of instead of reused, this is done via the bulky waste collection or drop-off at the recycling centre. At individual recycling centres, for example, certain products are sorted out in order to donate them or recycle the metals. The majority of the products are energetically recovered together with the bulky waste. Since CFRP components are not separated, it must be assumed that they are also energetically recovered.

Waste technical processing standards:

One result of the study is measures to avoid waste and to promote the recycling of sports boats, light aircrafts and consumer goods with CFRP or their components. Since consumer goods with CFRP combine a large number of very different products, the development of uniform processing standards is exempted. The focus of this chapter is therefore on the development of processing standards for sports boats and light aircrafts.

Taking into account the legal framework conditions of the waste streams sports boats and light aircrafts, dismantling guidelines with waste-specific recycling information were prepared in a tabular form for the different types of sports boats and light aircrafts. Furthermore, the preparation and recycling of hull materials is dealt with.

The German Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) sets the legal framework and regulates the beginning and end of the waste status in addition to defining the waste hierarchy and criteria for harmless and reasonable recovery.

² Due to the quantitative relevance, the research project focuses on CFRP; Consumer products made of GFRP were not explicitly taken into account.

The Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) serves as a complement to the KrWG. In the AVV, hazardous waste (marked with an asterisk (*)), is distinguished from non-hazardous waste. In it, there is no specific waste code for sports boats or light aircrafts. Because of this, the waste code used for end-of-life vehicles is therefore often used in practice for these waste groups, which leads to statistical difficulties. If the waste contains persistent organic pollutants, the regulations of Regulation (EU) 2019/1021 on persistent organic pollutants must be considered. Furthermore, product- and waste-specific regulations must be respected (e.g., for waste wood, waste oil, batteries, electrical and electronic equipment, etc.).

For the waste groups in focus and for the disposal of FRP, there are no specific laws or regulations to date. Thus, there is also no product responsibility under waste law. The principle of product responsibility is based on the idea of already taking aspects of the circular economy into account in the development and manufacture of products. In addition to the legally prescribed product responsibility according to § 23 KrWG, the possibility of voluntary take-back systems by manufacturers and distributors exists and is regulated under § 26 KrWG.

Sports boats and light aircrafts

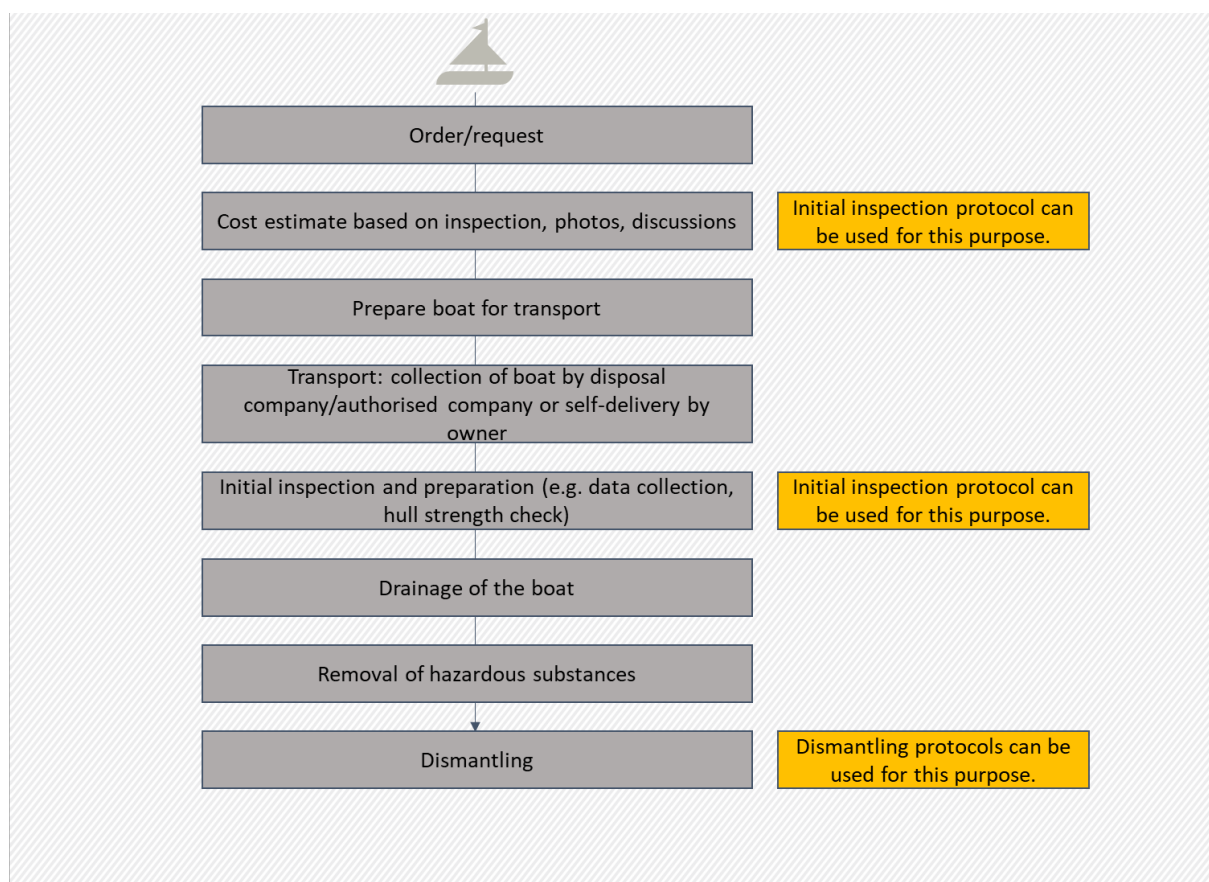
For the decommissioning, deregistration and dismantling of sports boats, only general waste legislation currently applies. For light aircrafts, on the other hand, there are rules on decommissioning and deregistration, since in general aviation units are subject to the Federal Aviation Authority.

Before a repair, retrofit or disassembly, it is advisable to carry out an initial inspection. This serves to identify the essential components and background information of a product in order to obtain an overview of the actual condition of the sports boat or light aircraft for the prospective work, e.g., dismantling in preparation for disposal. An initial template for sports boats (see chapter 4.2.1.2) and light aircrafts (see chapter 4.2.2.1) can be found in this report. Different methods and approaches to waste prevention are introduced (reuse, repair, retrofit, remanufacture, further use, re-design) and explained, such as repairing damage to the outer skin of the hull by regenerative laminating.

The investigation of the current state of disposal of sports boats in Germany has shown that complete dismantling of boats is still unusual, even though there are individual companies that already carry out dismantling and attempt to recycle valuable components and hull parts in a high-quality manner. However, this is not to be regarded as the general state of practice. Figure 1 shows a possible procedure for the disposal of sports boats, which can also be applied to light aircrafts. This begins with the order or application and is followed by a cost estimate, preparation for transport, transport, initial inspection and preparation, draining of the boat, removal of hazardous materials and finally dismantling. Initial inspection protocols can be used for the cost estimate step, and the initial inspection and dismantling protocols for dismantling.

Dismantling protocols represent the process of separating individual components. These are described in the chapters 4.3.1.5-4.3.1.11 for sports boats and chapters 4.3.2.3-4.3.2.6 for light aircrafts. In addition, these contain information on typical materials of the components, on possible reusability, on the fractions contained and disposal obligations.

Figure 1: Possible process for the disposal of sports boats



Source: Own figure Ramboll

With regard to the dismantling protocols it should be noted that each sports boat or light aircraft has to be handled individually, as dismantling can only be standardised to a certain extent and carried out on the basis of the protocol.

In general, the following steps are to be carried out when dismantling sports boats or light aircrafts:

1. Drain/pump out oils and fuel
2. Remove other liquids
3. Clean, degas and dispose of tanks
4. Remove hazardous substances

When dismantling, generally plan these steps:

1. Removal of equipment
2. Removal of (possibly) reusable and easily removable components
3. Removal and cutting of other structures or components

There are EASA standards for the maintenance and repair as well as decommissioning and recommissioning of aircraft. These also include the dismantling and replacement of components (according to EASA Part 145). However, as soon as these standards are no longer met, permanent decommissioning occurs. Issues of the complete scrapping lie outside these standards and in that instance, general waste legislation applies. After the structures are exposed in the case of sports boats and light aircrafts, these can be dismantled at assigned

dismantling points at the marina or at the airfield of the dismantling or recycling company, or further transported to a recycling company.

Compared to material thicknesses of up to 8 cm for rotor blades, it is assumed that thinner wall thicknesses prevail for sports boats and light aircrafts and that there is less wear and shredding of these parts. However, this is associated with greater effort in the preliminary dismantling of the components or mechanical sorting. Possible dismantling methods include scrap shears or grabs, circular or wire saws, water jet cutters, and alternatively flame cutters for steel hulls or plasma or laser cutters for aluminium hulls. Shredding and sorting are carried out with common shredding equipment for FRP and sorting or separating equipment for removing residual metals from the waste streams.

In principle, the recycling of GFRP is now largely carried out via the cement route, whereby the matrix is recycled energetically and the glass component is recycled materially. Alternative processes are either being optimised and further developed or have not yet been able to establish themselves economically on a large scale. For the recycling of CFRP, pyrolysis is considered state of the art with several industrial pyrolysis plants in Europe. The carbide route, where the carbon component can be considered and used as feedstock, is considered to have a very high technology readiness level. The challenges for high-quality recycling of sports boats and light aircrafts are described in detail and are to be met by digital and organisational approaches. Various approaches to solutions are elaborated and briefly discussed. These include:

- ▶ Introduction of extended producer responsibility,
- ▶ Introduction of a registration, notification and deregistration obligation for sports boats,
- ▶ Introduction of a digital product passport,
- ▶ Introduction of specific waste codes for end-of-life sports boats and end-of-life light aircraft and their components,
- ▶ Improvement of logistical aspects (for example mobile dismantling stations),
- ▶ Introduction of standards for drainage, dismantling and shredding as well as further development of existing recycling processes and development of new technologies,
- ▶ Promotion of training and improved knowledge management,
- ▶ Introduction of a certificate of destruction,
- ▶ possibility of a scrapping bonus.

The most promising approaches are discussed in chapter 5 - Digital and organisational concepts.

Consumer goods with CFRP

The lack of repair infrastructure for CFRP components and the lack of separate collection of end-of-life products and consequently of CFRP components are considered to be the biggest problems in dealing with CFRP consumer goods. The consequence is the co-incineration of components made of CFRP in waste incineration plants, which is associated with technical and health risks (see information on this in the report "Development of deconstruction and recycling standards for rotor blades" (Kühne et al., 2022) as well as in the LAGA report on "Disposal of waste containing fibres" (LAGA, 2019)).

Therefore, the main task is to avoid waste, to further develop repair concepts for components made of CFRP and to offer them nationwide. Consideration can also be given to increasing transparency through product declaration of CFRP components. The introduction of voluntary take-back systems by manufacturing companies or manufacturer-specific take-back systems are also possible approaches that could lead to CFRP recycling (chapter 4.3.7).

Digital and organisational concepts:

Digital communication channels, digital tools and the archiving, analysis and connecting of relevant information as a basis for decision-making and know-how for stakeholders along the life cycle of products can be instruments for material flow management. Digitisation enables the storage, archiving, provision and evaluation of data over a long period of time. This means that information on products with a long life cycle (such as sports boats and light aircraft) can also be made available over the long term, thus offering a forward-looking opportunity for material flow management. Digitalisation also enables the geographically independent exchange of information between various stakeholders, which was initially considered for Germany in the present context and could generally be extended to European initiatives or international regulations (see strategic initiatives on the Digital Product Passport in the EU in chapter 5.2.1.4).

To develop digital and organisational concepts for the product groups mentioned, the relevant stakeholders along the life cycle must first be mapped. These are abstracted, natural and legal persons who have a relevant role in the life cycle of the products from production to end of life (i.e. who have an interest in using the information provided) when it comes to the exchange of information on recycling and waste. This includes, for example, manufacturing companies and recycling companies as well as business associations or owners. Communication channels describe the relationship between at least two communication institutions (stakeholders). Information is exchanged via communication channels with varying intensity and frequency. This information exchange can take place analogue or digitally, as well as directly (informally) or indirectly (institutionally) via communication instruments. Communication tools are thus data carriers through which information is exchanged between stakeholders.

The network analysis for **sport boats** resulted in the following conclusions on the status quo:

1. Component manufacturers do not communicate enough information about the use of GFRP/CFRP in their components to boat builders; due to the lack of legal obligations that could serve as an incentive, boat manufacturer do not demand this information either.
2. Boat manufacturers, both from the industry and the manufacturing sector, share little or no detailed data on the use of GFRP/CFRP in their products with distributors and thus indirectly with end users. Thus, owners have no insight into the presence of GFRP/CFRP in the boats they buy or rent.
3. Owners can therefore provide little or no information about GFRP/CFRP to repair and maintenance companies, recyclers or boat disposal and recovery facilities. Likewise, they receive no or insufficient information about GFRP/CFRP used from sellers of spare parts that may be retrofitted to their boats.
4. Dismantling companies and recycling companies have no direct communication channels to manufacturers of components or boat builders and cannot document changes made to the boats in which GFRP/CFRP may have been used, except after an apparent inspection.

Based on the network analysis, two recommendations are therefore made that can positively influence material flow management.

A first lever for optimising the material flow and the proper recycling of sports boats that have already reached the end of their life is the bundling of information relevant to owners of sports boats on a central digital communication platform (e.g. website). This information can then be accessed by both users of old boats and those interested in buying new boats. The content of the website essentially consists of one information category, namely an overview of recycling companies that offer services in the field of sports boat recycling. Including further categories is possible, for example information on the recycling process, as well as legal requirements and guidelines, if applicable, which are provided by authorities, and shall be regularly adapted by them to the current regulations; a collection of literature on boat care, in order to promote the longevity of boats accordingly and to create awareness among stakeholders for environmental aspects and sustainability, and the integration of a platform for bundling the secondary market.

A second optimisation lever is the introduction of a modular data concept. The following criteria shall be mapped in different concepts.

Table 2: Criteria and functionalities of the digital concepts

Concepts	Technical, functional and organisational criteria for assessing the suitability of the solution
Database concept 1: Product type-specific characteristics	Documentation of the basic product data; Documentation of the materials used.
Database concept 2: Registration	Documentation of the personal data of owners; Documentation of changes of the owner(s).
Database concept 3: Legal requirements for material recycling	Documentation of texts on current recycling regulations and waste codes if applicable.
Database concept 4: Expertise of recyclers, take-back centres and recycling companies	Availability of recyclers, take-back centres, recycling networks; Presentation of a professional expertise profile of recyclers, take-back facilities, recycling networks.
Database concept 5: Dismantling and repair	Availability of manuals; Availability of repair instructions from manufacturing companies. Availability of dismantling protocols.
Database concept 6: Modifications to individual boats	Registration of added parts; Discharge of removed parts; Documentation of structural / relevant changes to parts.
Database concept 7: Available spare parts (secondary market)	Documentation of inventory; Documentation of products for repair and reuse; Documentation of products for reprocessing and recycling; Documentation of spare parts for the secondary market; Deregistration of sold parts.
Technical criteria	Limited access functions; Connection of possible interfaces (e.g. reference databases); Guarantee of data security; Concepts for updating and maintaining the database.

The Digital Product Passport was considered separately for the sports boat sector. For complex products such as sports boats, the digital product passport can be a feasible solution for improved data management and thus ultimately for the promotion of recycling and material flow management. In terms of implementation, there would be a need for further research on the following aspects in connection with sports boats:

- ▶ Protection against forgery;
- ▶ Waste-relevant modification of the product;
- ▶ Sustainable attachment under product-typical circumstances;
- ▶ Long service life of sports boats.

For **light aircrafts**, the status quo and the search for a digital solution is significantly different due to the strict legal regulations.

1. Due to the high degree of regulation in the aviation industry, there is a high level of transparency about all stakeholders in the aviation industry whose structures, organisation and processes are strictly monitored and regulated, including the components and materials used.
2. The established repair market and mandatory inspection programmes lead to long life cycles and low waste generation.
3. Data (information) on materials used is only kept at the manufacturing plant. However, this data can be requested and obtained when needed, e.g. for maintenance or repair work.
4. Through decades of expertise in repair or maintenance processes, a de facto standard process has been established, so that a high level of stability is currently guaranteed in this area.

Consequently, in the area of light aircrafts, a modular data concept should be avoided, if necessary, as it seems redundant and there is a risk of double bookkeeping.

For **consumer goods** with CFRP, the picture of the status quo is very mixed:

1. Component manufacturers do not communicate information on the use of fibre composites in components to product manufacturers.
2. Product manufacturing companies share only limited and no detailed data on the use of fibre composites in their products with distributors and other sellers and lessors. Thus, users have little or no insight into the presence of fibre composites in the products they buy or rent.
3. Owners are therefore unable to share information about fibre composites with recycling centres, repair and maintenance companies, recycling companies or disposal facilities. Likewise, they receive no or insufficient information about used fibre composites from sellers of spare parts that may be retrofitted into their products.

A digital product passport could contain information relevant for separate collection and waste treatment.

Conclusion

The study describes several instruments that could promote the recycling of sports boats, light aircrafts and CFRP consumer goods. The study thus goes far beyond the status quo, where the fate of the waste in question is often unclear. The primary necessity for the careful processing of end-of-life sports boats, end-of-life light aircraft as well as CFRP consumer goods are waste codes in accordance with the European List of Waste. Their introduction is strongly recommended. They allow, on the one hand, the designation of recycling-technical competences by specialised waste management companies and, on the other hand, the statistical recording of wastes. The study contains proposals for suitable waste codes. Subsequently, staff training can take place and dismantling protocols and recycling techniques can be further developed, for which sound principles have been developed.

Without a doubt, one challenge is the complexity and high degree of customisation of the products. For this reason, the introduction of a Digital Product Passport for sports boats continues to be advocated. The legal implementation could take place in the EU Recreational Craft Directive. A reliable system of information transfer already exists for light aircraft subject to approval. In this field, as for sport boats, open dismantling and recovery questions remain, as well as the demand for a waste code for dismantling companies. The reprocessing of composites by pyrolysis-based processes also requires waste codes for different FRP-wastes as reactants and fibre wastes as products of pyrolytic reprocessing. GFRP and CFRP are to be recycled separately.

In the field of consumer goods, the basic recommendation is sustainable use, i.e. care, repair and reuse, which is equivalent to waste avoidance. Waste, on the other hand, is generally bulky waste, and experience has shown that sorting it is of limited economic viability, and the positive sorting of small quantities of CFRP consumer goods is not in focus. Nevertheless, the standard recycling process of household waste incineration is unsuitable for CFRP recycling, so that with increasing quantities of CFRP products and their waste, separate collection would be appropriate. Voluntary take-back systems could ensure recycling.

1 Einführung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Mit der Verbreitung des Leichtbaus und der einhergehenden Material- und Energieeffizienz wurden neue Konzepte und Herstellungsverfahren entwickelt. Faserverbundwerkstoffe (FVW) und spezifisch Faserverbundkunststoffe (FVK) wie carbon- und glasfaserverstärkte Kunststoffe (CFK, GFK) werden aufgrund der exzellenten werkstofflichen Eigenschaften vor allem dort eingesetzt, wo Gewicht und Energieverbrauch sowie mechanische Eigenschaften eine zentrale Rolle spielen. Dazu zählen unter anderem der Flugzeug- und Bootsbau, jedoch auch eine Reihe von Bedarfsgegenständen aus dem Freizeitbereich, wie Tennisschläger und Fahrradrahmen, aber auch auf dem Gebiet der Medizinprodukte, wie Rollatoren, Prothesen, Gehhilfen, Rollstühle.

Durch die hohe Qualität der Bauteile besitzen viele der hergestellten Produkte eine jahrzehntelange Lebensdauer und sind in dieser Hinsicht nachhaltig, doch fehlen derzeit noch Recyclingverfahren. Die Abfallbehandlung der FVK-Produkte ist technisch anspruchsvoll. Ein Recycling findet aktuell in Deutschland kaum statt. Deshalb gelten die Produkte aus FVK als nicht-recyclingfähig. Die Ursachen sind sowohl material- als auch verfahrensbedingt.

Hinzu kommt, dass die produktspezifischen Mengen an CFK- und GFK-Abfällen zu gering für wirtschaftliche Recyclingverfahren sind. Eine Bündelung verschiedener produktspezifischer CFK- bzw. GFK-Abfälle und deren Zufuhr zu einem gemeinsamen spezialisierten und wirtschaftlichen Recyclingverfahren könnte hier Abhilfe schaffen. Eine Bündelung ist dabei denkbar für CFK- bzw. GFK-Abfälle von beispielsweise Rotorblättern³, Bauprodukten⁴, Sportbooten⁵, Leichtflugzeugen⁶ oder Bedarfsgegenständen⁷, da in diesen verschiedenen Produkten insgesamt große Mengen an FVK eingesetzt werden und der Einsatz von FVK auch in Zukunft anhalten wird. Um eine Bündelung zu ermöglichen, gilt es bestimmte technische und organisatorische Voraussetzungen zu schaffen.

Technische Möglichkeiten eines hochwertiges Recyclings müssen identifiziert und analysiert werden. Um ein hochwertiges Recycling zu garantieren, müssen Bauteile aus CFK bzw. GFK separat erfasst werden. Folglich ist es notwendig, produktspezifische Demontageverfahren von Altprodukten aus FVK zu entwickeln.

Technische und organisatorische Informationen zu geeigneten Recyclingverfahren und Demontagekonzepte für Rotorblätter und Bauprodukte aus FVK wurden bereits in den UBA-Texten von Kühne et al. (2022) und Bendix et al. (2021) erarbeitet.

Um die Bündelung der FVK-haltigen Abfälle zu ermöglichen, ist eine produktspezifische Demontage weiterer relevanter Produkte nötig. Fokus dieses Vorhabens ist es daher, detaillierte Handlungsanweisungen für die Demontage von Sportbooten und Leichtflugzeugen sowie

³ Ca. 24.000 t GFK Abfälle in 2022, 12.000 in 2030 und 9.000 in 2040 und ca. 300 t CFK Abfälle in 2022, 200 t in 2030 und 400 t in 2040 (Kühne et al., 2022)

⁴ Ca. 75.000 t GFK wurden 2017 im Bausektor in Deutschland eingesetzt (Bendix et al., 2021); keine Informationen zu den jährlichen GFK-Abfallmengen.

⁵ Ca. 216 entsorgte Motor- und Segelboote tragen ein Potential von ca. 166 t GFK-Abfälle pro Jahr. (European Boating Industry, 2023; Mell, 2016). Das GFK-Potential der aktuell ungenutzten Motor- und Segelboote liegt zwischen 15.450 und 23.100 t (European Boating Industry, 2023; Motorbootonline.de, 2021). Zählt man auch kleine Boote (wie bspw. Wassermotorräder, Kanus und Tretboote) hinzu, liegen die GFK-Mengen deutlich darüber (siehe Kapitel 3.1).

⁶ Ca. 38 - 76 t Abfälle an Leichtflugzeugen pro Jahr in Deutschland; Leichtflugzeuge mit CFK/GFK-Anteilen von bis zu 90% (siehe Kapitel 3.2.4.1); ca. 29 - 58 t GFK/VFK pro Jahr

⁷ Aufgrund der Produktvielfalt sind Abfallmengen schwer abschätzbar; Einsatz CFK variiert stark.

Möglichkeiten zur Sammlung und Rücknahme von Bedarfsgegenständen aus FVK zu erarbeiten und Verwertungsempfehlungen darzustellen.

Gerade im Bereich der Sportboote ist von einer hohen Mengenrelevanz der FVK auszugehen. Die Datenlage zum Bestand wie auch der Verbleib der Altboote aus FVK ist jedoch mangelhaft. Ein Problem ist dabei, dass bei vielen Sportbooten nicht nachvollziehbar ist, ob bzw. wie diese entsorgt werden. Ziel ist es daher Transparenz über den gesamten Lebenszyklus der Sportboote zu schaffen und möglichst viele sortenreine FVK aus der Behandlung der Altboote für die Wiederverwendung oder ein gebündeltes Recycling zu gewinnen.

Dies schließt neben digitalen Konzepten (Informationsbereitstellung bzw. -plattformen z.B. zur Verbesserung des Sekundärmarktes für Ersatzteile oder Gebrauchtoote) auch die Berücksichtigung politischer und organisatorischer Instrumente mit ein. Weiter werden Ansätze der Materialkennzeichnung, Möglichkeiten der Zusammenarbeit in Demontage- und Verwertungsnetzwerken oder die Möglichkeit einer Produktverantwortung unter Berücksichtigung der kleinen Abfallmengen, fehlenden Logistik und statistische Erfassung für Deutschland evaluiert. Neben diesen Konzepten für Sportboote werden sie parallel für Leichtflugzeuge erarbeitet, da diese ebenfalls ein erhebliches Potential an FVK aufweisen. Für Bedarfsgegenstände werden insbesondere Ansätze für freiwillige Rücknahmesysteme diskutiert.

Zusammenfassend werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens folgende Schritte durchgeführt:

- ▶ Bestandsanalyse der drei Produktgruppen (Sportboote aus CFK bzw. GFK, Leichtflugzeuge aus CFK bzw. GFK sowie Bedarfsgegenstände aus CFK);
- ▶ Schätzung der Abfallmengen der drei Produktgruppen;
- ▶ Beschreibung der derzeitigen Praxis der Verwertung der drei Produktgruppen und Aufzeigen von Verbesserungspotential;
- ▶ Erarbeiten von weiterführenden technischen Empfehlungen für die Praxis;
- ▶ Technische Empfehlungen für die fachgerechte Trockenlegung, Demontage und Aufbereitung von Sportbooten und Leichtflugzeugen;
- ▶ Prüfung und Bewertung von Ansätzen für die Umsetzung einer digitalen Informationsbereitstellung hinsichtlich der Produkte und Aufbereitungsmöglichkeiten wie auch Materialkennzeichnung sowie politischer und organisatorischer Instrumente; und
- ▶ Entwicklung von Ansätzen zur Bündelung von CFK- bzw. GFK-Abfällen aus unterschiedlichen Produktgruppen für eine gemeinsame Verwertung, beispielsweise mittels Pyrolyse.

Eine detaillierte Beschreibung der methodischen Vorgehensweise ist in Kapitel 2 enthalten.

1.2 Faserverbundwerkstoffe

FVW werden insbesondere in Anwendungen eingesetzt, die eine hohe mechanische Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht erfordern (Teschner, 2019). Durch die Integration dieser Funktionen ermöglichen FVW die Herstellung von Produkten bzw. Bauteilen, die aufgrund der Gewichtseinsparungen eine hohe Energieeffizienz in der Nutzungsphase aufweisen. Drei wesentliche Anwendungsbereiche von FVW umfassen die Luft- und Raumfahrt

sowie deren Einsatz in Sportbooten und in verschiedenen Bedarfsgegenständen wie beispielsweise Sport- und Freizeit- oder medizinischen Geräten (LAGA, 2019; Teschner, 2019).

FVW setzen sich mindestens aus zwei Komponenten zusammen – aus einer Matrix sowie aus einem Gewebe (Teschner, 2019).⁸ Die Matrix dient dabei der Formgebung, wohingegen die Fasern die mechanische Belastbarkeit sicherstellen (Quicker & Stockschläder, 2021). Für die Matrix werden hauptsächlich Kunststoffe, duro- und thermoplastische Kunststoffe, seltener auch Beton oder Metalle verwendet. Als Fasern kommen verschiedene Materialien zum Einsatz. Die vorliegende Studie befasst sich aber ausschließlich mit Glas- und Carbonfasern. Aktuell werden vorrangig Glasfasern eingesetzt, jedoch steigt die Verwendung von Carbonfasern immer weiter an (LAGA, 2019; Teschner, 2019).

Je nach verwendetem Matrixwerkstoff wird innerhalb der Verbundwerkstoffe zwischen Verbundwerkstoffen aus metallischen Legierungen (MMC), Keramischen Faserverbundwerkstoffen (CMC), Kohlenstofffaserverstärkten Kohlenstoffen (CFC) sowie CFK unterschieden (Witten et al., 2018).

Je nach verwendetem Fasermaterial weisen die FVW unterschiedliche Eigenschaften auf, welche sich sowohl auf die Anwendungsbereiche als auch auf die Entsorgung auswirken. Die unterschiedlichen Eigenschaften sowie die Anwendungsbereiche und Entsorgung von CFK und GFK werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Weiterhin ist anzumerken, dass Produkte mit Carbonfaseroptik nicht innerhalb dieses Projekts untersucht werden.⁹ Es sollte jedoch erwähnt werden, dass aufgrund der ähnlichen Optik Verwechslungsgefahr mit Produkten aus CFK besteht, welche eine getrennte Erfassung erschweren oder zur falschen Mengeneinschätzung führen kann.

1.2.1 Carbonfaserverstärkte Kunststoffe

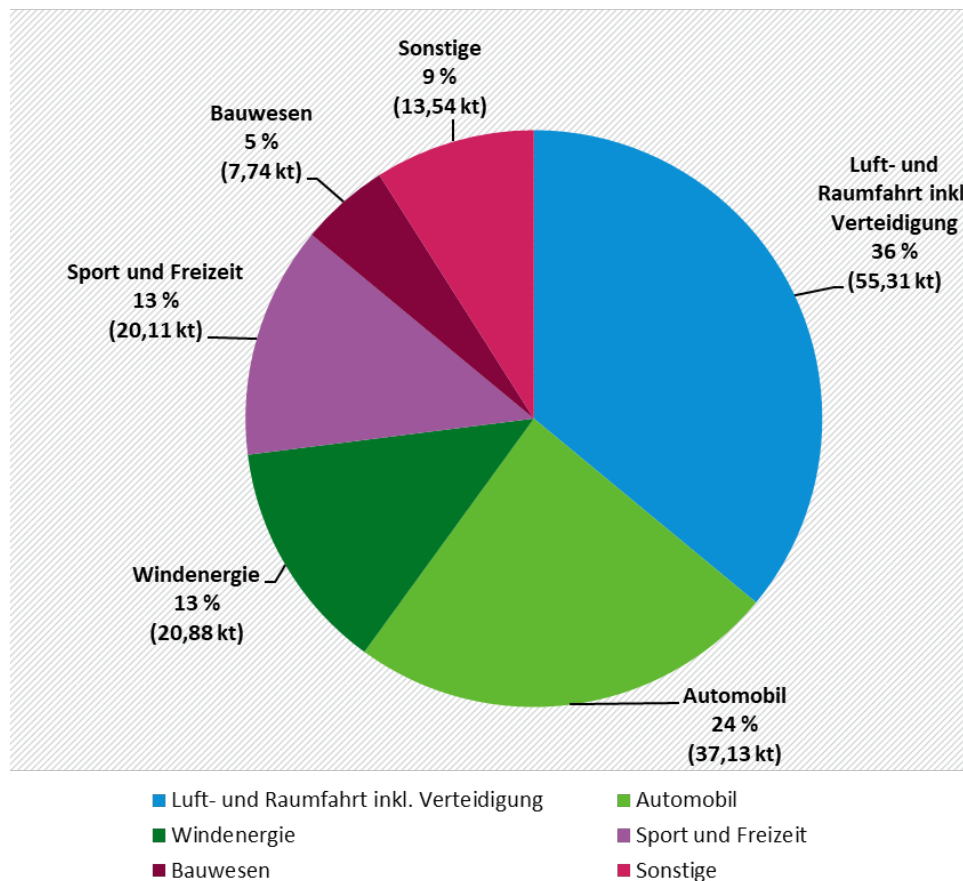
1.2.1.1 Eigenschaften, Verwendung und Bedarfsmengen

Die weltweite Bedarfsmenge an **Carbon-FVW** für das Jahr 2018 wurde auf 154,7 kt geschätzt (Witten et al., 2018). Der größte Bedarf an Carbon-FVW verteilt sich auf die Anwendungsbereiche Luft- und Raumfahrt (36 %), Automobil (24 %), Windenergie (13 %) sowie Sport und Freizeit (13 %) (Witten et al., 2018). Die verschiedenen Anwendungsbereiche und die entsprechenden Bedarfe an Carbon-FVW für das Jahr 2018 sind in Abbildung 2 dargestellt. Der Bereich „Sonstige“ enthält Anwendungsgebiete wie beispielsweise Medizintechnik, Marine, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energiespeicher (Witten et al., 2018).

⁸ Um die Haftvermittlung zu gewährleisten, wird zwischen der Faser und der Matrix eine Zwischenschicht auf die Fasern aufgebracht. Diese Zwischenschicht wird Schlichte genannt und weist normalerweise die gleiche chemische Zusammensetzung wie die Matrix auf (Quicker & Stockschläder, 2021).

⁹ Für Carbonfaseroptik-Anwendungen werden amorphe Thermoplaste (Polycarbonat (PC), Acrylonitril-Butadien-Styrol (ABS) sowie Styrol-Acrylnitril-Copolymere (SAN) und Blendsysteme aus den Genannten) eingesetzt, da diese gute Oberflächenqualitäten erzeugen und gut umformbar sind. Hier sind keine Kohlenstofffasern enthalten, sondern es wird nur die Struktur bzw. Gewebeatik imitiert. Produkte mit Carbonfaseroptik umfassen z.B. Reisekoffer.

Abbildung 2: Weltweiter Bedarf (in % und kt) an Carbon-FVW nach Anwendungsbereich im Jahr 2018



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

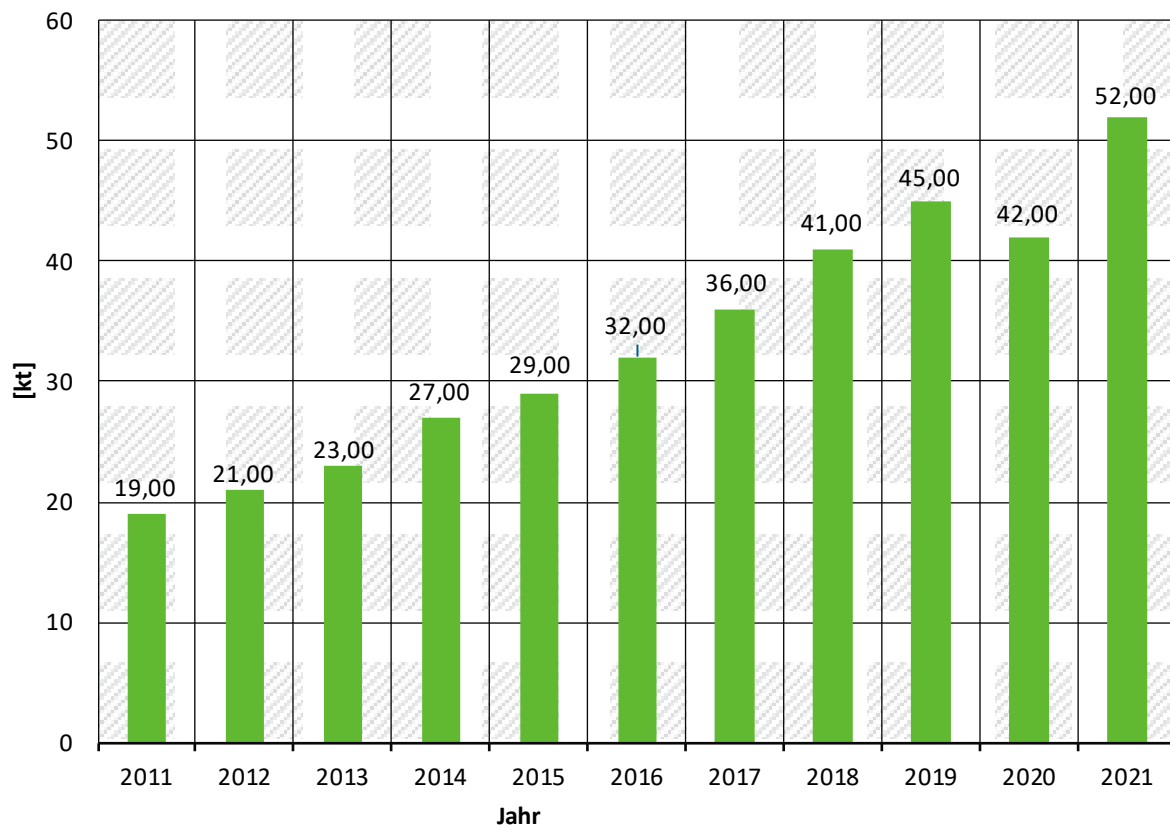
Insgesamt nimmt der Einsatz Carbon-FVW über alle Anwendungsbereiche hinweg zu (Quicker & Stockschröder, 2021). Zusätzlich ist aufgrund der Erschließung neuer Anwendungsbereiche von einem steigenden Bedarf an Carbon-FVW auszugehen (LAGA, 2019). Beispielsweise schätzen Sauer und Kühnel (2017) die jährliche weltweite Produktion von Carbon-FVW für das Jahr 2022 auf circa 239 kt.

Innerhalb der Carbon-FVW machen CFK im Hinblick auf die Bedarfsmenge den größten Anteil aus (LAGA, 2019; Witten et al., 2018). CFK zeichnen sich im Vergleich zu GFK durch eine deutliche höhere Festigkeit aus (LAGA, 2019). Durch den Einsatz von CFK kann das Gewicht der eingesetzten Bauteile bzw. Produkte reduziert werden, wodurch CFK ein besonders hohes Leichtbaupotential aufweist (Witten et al., 2018). Entsprechend ist der Einsatz von CFK in Bereichen wie der Automobilindustrie oder Luftfahrt mit Vorteilen bezüglich der Wirtschaftlichkeit und Effizienz in der Nutzungsphase verbunden (LAGA, 2019; Teschner, 2019). Gleichzeitig kann CFK die steigenden technischen Ansprüche hinsichtlich der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Bauteilen bzw. Produkten erfüllen (LAGA, 2019). Darüber hinaus werden CFK im Bereich bestimmter Konsumgüter oder in der Automobilbranche zur optischen Aufwertung der Produkte eingesetzt (LAGA, 2019).

Insgesamt steigt der weltweite Bedarf nach CFK seit 2010 erheblich an. Die Bedarfsmenge weltweit wurde für 2018 auf 128 kt (Witten et al., 2018) und im Jahr 2019 auf 141,5 kt geschätzt (Sauer, 2019).

Auch in Europa steigt die Produktionsmenge seit 2021 an (mit Ausnahme 2020). Die Entwicklung der CFK-Produktionsmengen für Europa sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Produktionsmengen in Europa werden für das Jahr 2021 mit 52,5 kt (Witten & Mathes, 2022) angegeben und in Deutschland auf 10,5 kt pro Jahr geschätzt (Umweltbundesamt, 2020).

Abbildung 3: Entwicklung Produktionsmengen an CFK von 2011 bis 2021 in Europa (in kt)



■ CFK-Produktionsmengen Europa

Quelle: Eigene Darstellung nach Witten & Mathes (2022)

Welche Menge CFK pro Produkteinheit eingesetzt wird, hängt von dem jeweiligen Anwendungsbereich ab. In den Bereichen Automobil, Sport und Freizeit sowie im Bauwesen werden bei einer hohen Anzahl an Produkten zum Teil sehr geringe Mengen CFK pro Produkteinheit eingesetzt (Quicker & Stockscläder, 2021). Im Gegensatz dazu werden in den Bereichen Luft- und Raumfahrt und in den Rotorblättern von Windenergieanlagen vergleichsweise hohe Mengen CFK pro Produkteinheit verwendet (Kühne et al., 2022)

1.2.1.2 Abfallmengen und Entsorgungswege

Viele der auf dem Markt vorhandenen CFK-Produkte haben ihr Lebensende noch nicht erreicht, weshalb der Abfallstrom carbonfaserhaltiger Abfälle aktuell vorrangig Produktionsabfälle umfasst (LAGA, 2019). Seitens der herstellenden Unternehmen wird versucht, Produktionsabfälle angesichts der hohen Herstellungskosten weitestgehend zu vermeiden. Dies hat allerdings produktionsprozess- und produktabhängige Grenzen. Beispielsweise wird es stets gewisse Mengen an Randverschnitt und Defektbauteilen geben, die bei der

Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle von Halbzeugen oder Endprodukten anfallen. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die Menge an Produktionsabfälle weiter steigen wird (LAGA, 2019). Die bei der Herstellung von carbonfaserverstärkten Bauteilen jährlich anfallenden Produktionsabfälle liegen in Europa bei circa 10 kt/Jahr und in Deutschland bei circa 3 bis 5 kt/Jahr (LAGA, 2019). Obwohl post-consumer Abfälle derzeit zwar mengenmäßig noch eine vergleichsweise geringe Bedeutung zukommt, ist zukünftig von einer Zunahme dieses Abfallstroms auszugehen (LAGA, 2019). Aufgrund der fehlenden flächendeckenden Getrennterfassung und des fehlenden spezifischen Abfallschlüssels kann die Menge der anfallenden carbonfaserhaltigen Abfälle nicht quantifiziert werden (Quicker & Stockschläder, 2021). Geschätzte Angaben belaufen sich auf bis zu 315 t post-consumer Abfälle pro Jahr in Deutschland (Jäckel, 2019 zitiert nach UBA, 2020).

Die Verwertung bzw. Entsorgung carbonfaserhaltiger Abfälle ist mit technischen Schwierigkeiten verbunden (LAGA, 2019). Bei der Verbrennung können sich lungengängige Fasern (WHO-Fasern¹⁰) mit potentiell cancerogener Wirkung bilden (Albers et al., 2021; Quicker & Stockschläder, 2021). Darüber hinaus können carbonfaserhaltige Abfälle aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit der Carbonfasern zu Ausfällen der Elektrofilter bei der Staubabscheidung von Verbrennungsanlagen führen (Albers et al., 2021). Somit ist laut Quicker und Stockschläder (2021) sowohl die gezielte Entsorgung von carbonfaserhaltigen Abfällen als auch der Eintrag mit anderen Abfällen in Zementwerken¹¹ zu vermeiden.

Das Recycling von Carbonfasern aus CFK-Bauteilen wird großtechnisch mit Hilfe von Pyrolyse durchgeführt (Albers et al., 2021; LAGA, 2019). Dabei können die aus der Pyrolyse gewonnenen Fasern (Sekundär-Carbonfasern) zu neuen Vliesen oder Garnen verarbeitet oder in gemahlener Form im Spritzguss verwendet werden. In der Praxis ist die großtechnische Umsetzung der Pyrolyse bisher auf wenige Anbieter (z.B. Mitsubishi Chemical Advanced Materials GmbH (Wischhafen, D), ELG Carbon Fibre Ltd (GB) beschränkt (Eickenbusch & Krauss, 2013; Kaiser et al., 2016; LAGA, 2019; Witten et al., 2017). Mitsubishi Chemical Advanced Materials GmbH, mit einer Pyrolyseanlage zur Faserrückgewinnung hat dabei eine Kapazität für 1.000 t/a und ELG Carbon Fibre Ltd. für 2.000 t/a (Quicker & Stockschläder, 2021).

Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass sich bisher kein bedeutender Markt für Sekundär-Carbonfasern etabliert hat. Laut LAGA (2019) kann dies sowohl auf eine fehlende Akzeptanz für Sekundär-Carbonfasern zurückgeführt werden, als auch darauf, dass die Qualität den Marktansprüchen noch nicht genügt.

Das Matrixmaterial von CFK wird jedoch in Deutschland aktuell nicht recycelt. Während der Pyrolyse wird es zu Gunsten der Faserrückgewinnung geopfert. Ein mechanisches Recycling findet deshalb nicht statt, weil es sich bei den am häufigsten genutzten Matrixsystemen um Duromere handelt, welche sich nicht wie Thermoplaste wieder einschmelzen/umformen lassen. Auch aus Gründen der Nachhaltigkeit wird in diesem Bereich aber vermehrt auf thermoplastische Systeme gesetzt, weshalb in Zukunft auch das mechanische Recycling einen höheren Stellenwert einnehmen wird. Ein chemisches Recycling aus Pyrolyseprodukten (vgl. Recycling von Fasern) ist derzeit kommerziell noch nicht umgesetzt, aber es besteht eine hohe Marktdynamik so dass in den nächsten Jahren eine Umsetzung erwartet wird (Hofmann et al., 2021).

¹⁰ Wenn Fasern kürzer als 250 µm und dünner als 3 µm sind, können diese in die Lunge gelangen (LfU, 2018). Besonders kritisch sind Fasern, wenn sie zwischen 5 und 250 µm lang und dünner als 3 µm sind sowie ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser von größer als 3:1 aufweisen. Bei Fasern mit dieser Geometrie wird auch von sogenannten WHO-Fasern (World Health Organisation) gesprochen (LfU, 2018).

¹¹ Hinsichtlich der Mitverbrennung in Zementwerken führen Quicker und Stockschläder (2021) aus, dass dieser Entsorgungsweg so lange vermieden werden sollte, bis ein relevanter Eintrag von Fasern in den Klinker mit Hilfe von Langzeitversuchen ausgeschlossen werden kann.

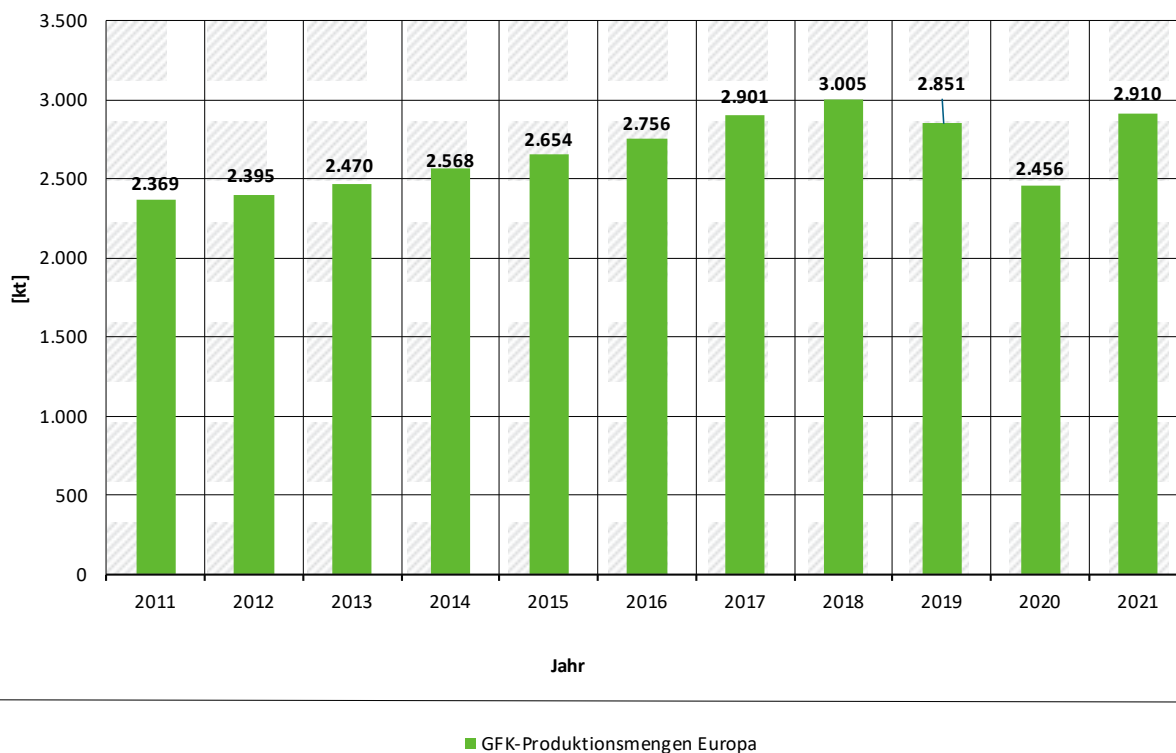
1.2.2 Glasfaserverstärkte Kunststoffe

1.2.2.1 Eigenschaften, Verwendung und Produktionsmengen

Im Gegensatz zu Carbonfasern weisen Glasfasern keine elektrische Leitfähigkeit auf. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass Glasfasern im Hinblick auf ihre Herstellung mit einem deutlich reduzierten Ressourcenaufwand verbunden sind (LAGA, 2019). Ebenso sind die Anschaffungskosten deutlich geringer (Braitmeier, 2022).

Laut LAGA (2019) werden für circa 95 % aller Verbundwerkstoffe Glasfasern als Fasermaterial eingesetzt. Mengenmäßig betrachtet übersteigt der Einsatz von Glasfasern den von Carbonfasern somit deutlich. In Europa wurden in 2021 etwa 2,9 Mio. t produziert (siehe Abbildung 4). Dies enthält lang- und endlos-glasfaserverstärkten duroplastischen und thermoplastischen Materialien, kurzfaserverstärkte Thermoplaste und Gelege (non-crimp-fabrics). Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der GFK-Produktionsmengen in Europa für den Zeitraum 2011 bis 2021 (Witten & Mathes, 2022).

Abbildung 4: Entwicklung der GFK-Produktionsmengen (in kt) in Europa für den Zeitraum 2011 - 2021



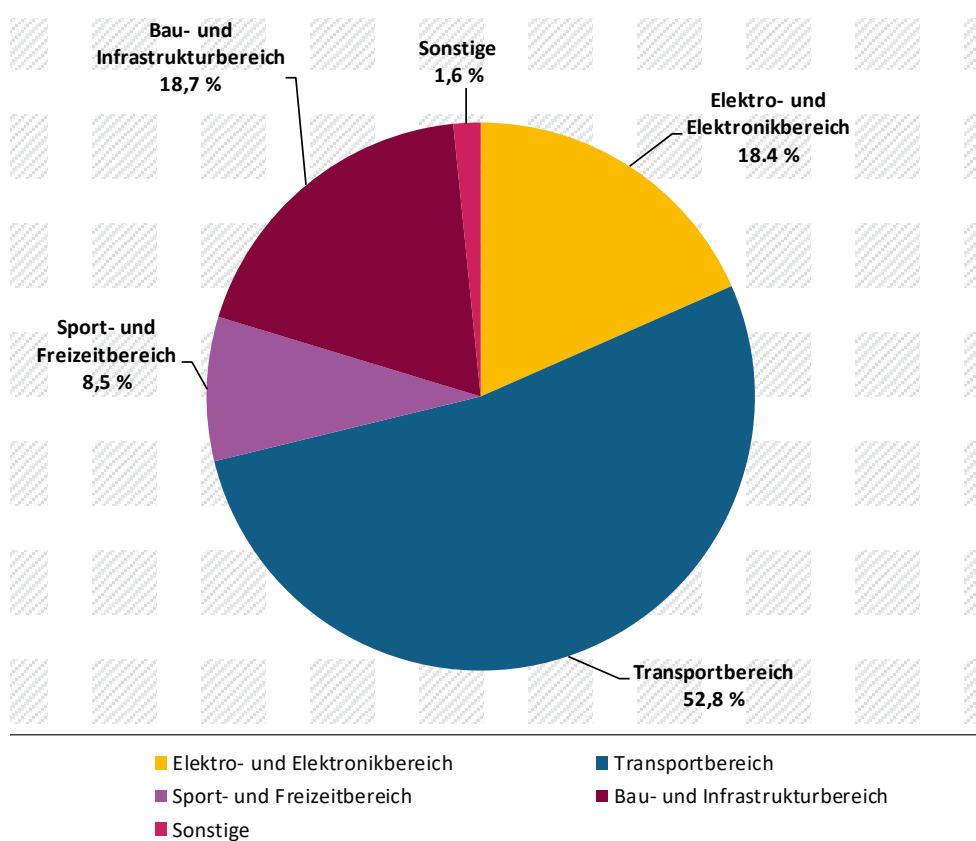
Quelle: Eigene Darstellung nach Witten & Mathes (2022)

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich wird, ist seit 2011 ein moderates Wachstum der GFK-Produktionsmenge zu beobachten. 2020 gab es einen Einbruch der Produktion¹², welche sich 2021 bereits wieder erholte. So wurden 2021 insgesamt 2,9 Mio. t GFK in Europa produziert. Deutschland ist dabei das Land mit dem höchsten Marktvolumen (ca. 20 %) (Witten & Mathes, 2022).

Mit einem Anteil von 52,8 % am europäischen GFK-Gesamtmarkt stellt der Transportbereich den relevantesten Anwendungsbereich in Europa dar (siehe Abbildung 5). Der Bereich des Transports umfasst nicht nur Automobile, sondern auch weitere Sektoren wie Luftfahrt, ÖPNV, Nutzfahrzeuge, etc. (Witten & Mathes, 2020). Weitere wichtige Anwendungsbereiche für GFK sind der Bau- und Infrastrukturbereich (18,7 %), der Elektro- und Elektronikbereich (18,4%) sowie der Sport- und Freizeitbereich (8,5 %) (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: Anwendungsbereiche für GFK für das Jahr 2021 (in % vom europäischen Gesamtmarkt)

¹² Der Rückgang der Produktionsmenge ist hauptsächlich auf die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie zurückzuführen. Des Weiteren führen laut Witten und Mathes (2020) zunehmende politische Unsicherheiten sowie gesamtwirtschaftlich relevante Prozesse wie z.B. der Brexit oder Handelskonflikte sowie ein abschwächender Welthandel zu insgesamt rückläufigen Erwartungen an die zukünftige Marktentwicklung.



Quelle: Eigene Darstellung nach Witten & Mathes (2022)

1.2.2.2 Abfallmengen und Entsorgungswege

Seit 15 Jahren liegt der europäische GFK-Bedarf im Bereich von circa 1 Mio. t, weshalb mittlerweile ein entsprechend hohes Abfallaufkommen zu erwarten ist (LAGA, 2019). Im Vergleich zu CFK fallen jährlich höhere Abfallmengen an GFK an (LAGA, 2019). Es sind keine gemessenen Abfallmengen verfügbar. Ausgehend von der aktuell jährlich in Deutschland produzierten Menge an GFK von circa 440 kt (LAGA, 2019) wird das jährliche Abfallaufkommen auf mehrere hundert kt geschätzt (Umweltbundesamt, 2020).¹³

Im Gegensatz zu CFK ist die Verwertung von GFK mit geringeren technischen Schwierigkeiten verbunden (LAGA, 2019). Technische Herausforderungen bestehen hinsichtlich der Zerlegung bzw. Zerkleinerung infolge der Zähigkeit und Abrasivität des Materials (LAGA, 2019; Pehlken et al., 2017).

Die energetische Verwertung von GFK-Monochargen in großtechnischen Feuerungsanlagen stellt keine nutzbare Option dar, da GFK nur unvollständig verbrennen und es in den Anlagen zu Störungen an den Rauchgassystemen bzw. Filtern kommen kann (Albers et al., 2021; Pehlken et al., 2017). Ein gängiges Verwertungsverfahren von GFK-Bauteilen wie Rotorblättern von Windenergieanlagen stellt hingegen die Zerkleinerung und anschließende Mitverbrennung in Zementwerken dar (Albers et al., 2021). Die inerten Glasfasern aus dem GFK werden dabei in die Matrix der Zementziegel (Klinker) eingeschlossen, wo diese – durch die hohen Anteile an Silizium- und Calciumoxidverbindungen – Kalkstein und Quarzsand ersetzen (Albers et al., 2021; Pehlken et al., 2017). Der polymere Anteil des Verbundwerkstoffs wird bei den hohen Temperaturen im Zementwerk energetisch verwertet. Es kann allerdings davon ausgegangen

¹³ Zur Einschätzung der gesamten Abfallmenge müssen hierbei die verschiedenen Lebensdauern der GFK-Produkte sowie deren Export aus und deren Import nach Deutschland beachtet werden (LAGA, 2019).

werden, dass nur wenige Zementwerke diesen Abfall als Sekundärrohstoff einsetzen, da laut Albers et al. (2021) nur bei wenigen Zementwerken in Deutschland Bedarf für den Einsatz glashaltiger Abfälle besteht.¹⁴ Die Anlieferung von GFK-Material zu Zementwerken ist kostenpflichtig, da es sich laut Gesetz um einen zuzahlungspflichtigen Entsorgungsakt handelt (DBSV, 2016).

Ähnlich wie bei CFK, sind nur wenige Recyclingmöglichkeiten für GFK etabliert (Pehlken et al., 2017). Einzig für Produktionsabfälle wie beispielsweise Angüsse gibt es häufig innerbetriebliches mechanisches Recycling, bei welchem die in der Produktion anfallenden Reststoffe zerkleinert und dem Verarbeitungsprozess in geringer Menge wieder zugeführt werden. Während trockene Fasern nur in geringen Mengen als Abfall anfallen, kommt es durch das Besäumen der Formteile sowie durch Ausschnitte (z. B. nachträgliches Ausschneiden von Lukenöffnungen) zu Faserabfällen, die in der Matrix gebunden sind. Diese fallen in der Größenordnung von 2–3 % der Endproduktmasse an. Solche Abfälle werden regelmäßig als Gewerbeabfall den Entsorgungsbetrieben überlassen, wo sie in Abfallverbrennungsanlagen bzw. Ersatzbrennstoff- (EBS) Heizkraftwerke gelangen. Andere Verschnitte und Reste können weitgehend in den Produktionsprozess zurückgeführt werden (LAGA, 2019).

Laut LAGA (2019) werden in Deutschland derzeit keine GFK-Bauteile recycelt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Recycling von Glasfasern aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll ist. Demnach belaufen sich die Kosten für die Trennung der Fasern und der Matrix bei der Pyrolyse auf etwa 5 €/kg, wohingegen der Neupreis von Glasfasern bei circa 1 €/kg liegt (LAGA, 2019). Ein weiterer Grund dafür, dass sich bisher kein wirtschaftliches Recyclingverfahren für GFK-Abfälle auf dem Markt etablieren konnte, stellt das derzeit noch zu geringe Abfallaufkommen dar (LAGA, 2019). Eine Ausnahme ist die Verwertung von „trockenem“ Glasfaserverschnitt für die Herstellung von Füllstoff. Diese Möglichkeit der Verwertung ist zwar wirtschaftlich, bedient aber lediglich einen Nischenmarkt (LAGA, 2019). Ähnlich wie für CFK-Abfälle besteht auch bei GFK-Abfällen eine hohe Marktdynamik in der Kommerzialisierung des chemischen Recyclings mit dem Ziel, Fasern und Matrixmaterial stofflich zu verwerten (Hofmann et al., 2021).

¹⁴ Laut internen Informationen haben Zementwerke in Baden-Württemberg angekündigt, in Zukunft keine GFK-Materialien mehr annehmen zu wollen (UBA intern).

2 Methodische Vorgehensweise

2.1 Marktstudie

2.1.1 Abbildung des Status Quo

Um einen Überblick über die aktuelle Situation zum Einsatz von CFK und GFK in den drei ausgewählten Produktgruppen sowie dem Abfallmanagement dieser zu erhalten, wurde in einem ersten Schritt eine Desktoprecherche in Kombination mit einer Stakeholderbefragung durchgeführt.

Dabei wurden folgende Informationen pro Produktgruppe bzw. Untergruppe genauer betrachtet:

- ▶ Zahlen zum Bestand
- ▶ Zahlen zum Verkauf
- ▶ Durchschnittliche Lebensdauer
- ▶ Geschätztes Abfallaufkommen und Mengen an FVK
- ▶ Ausstattung bzw. Bauteile:
 - Aufbau / Bestandteile allgemein
 - Typische verwendete Materialien
 - Anteil an FVK
 - Typische Bauteile aus FVK
- ▶ Möglichkeiten der Reparatur
- ▶ Informationen zur (Vorbereitung zur) Wiederverwendung
- ▶ Ablauf von Erfassung, Verwertung und Entsorgung der Produkte und speziell der Bauteile aus FVK
- ▶ Involvierte Akteure
- ▶ Kommunikation / Erfassung von Daten.

Öffentlich verfügbare Informationen mit Fokus auf FVK waren dabei vor allem für die Produktgruppe der Leichtflugzeuge und Bedarfsgegenstände schwer zu finden. Lücken wurden daher mithilfe von Expert*innenbefragungen (siehe nachfolgendes Kapitel) geschlossen oder Annahmen wurden getätigt.

Sofern Produkte und Bauteile aus FVK nicht oder kaum zur Wiederverwendung vorbereitet oder recycelt werden, wurden die zugrundeliegenden Herausforderungen erörtert, auch in Bezug auf die aktuelle Verfügbarkeit von Kommunikations- bzw. Datenerfassungssystemen.

Dazu wurde der Blick auch auf andere Länder Europas gerichtet und Beispiele für Rücknahmesysteme, Reparaturprojekte, Regelungen der abfallrechtlichen Produktverantwortung, technische Normen, Handlungsanleitungen von Verbänden,

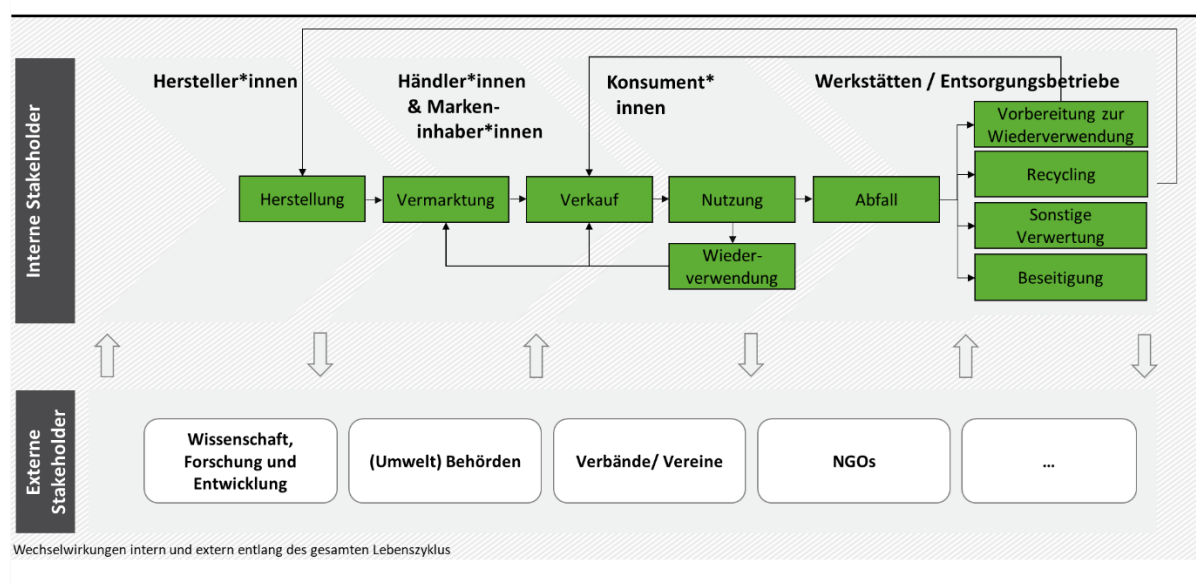
Aufbereitungsnetzwerke aber auch einschlägige Literatur bezüglich der Produktgruppen im Fokus bzw. Produkten und Bauteile aus FVK recherchiert.

Insgesamt entstand so für alle drei Produktgruppen eine Übersicht des aktuellen Bestands, des Abfallmanagements, des Umgangs mit FVK in den Produkten sowie Herausforderungen und Verbesserungspotentiale bezüglich der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings.

2.1.2 Stakeholderbefragung

Da nicht alle Informationen über eine Desktoprecherche erarbeitet werden konnten, wurden frühzeitig Stakeholder mit einbezogen. Dazu wurden ausgewählte Stakeholder entlang des gesamten Lebenszyklus Fragen zum Bestand sowie dem Ende des Lebenswegs gestellt (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Darstellung des Lebenszyklus von Produkten und relevanten Akteur*innen



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

Die Befragung wurde in Form eines produktspezifischen Fragebogens durchgeführt. Die Stakeholder hatten für die Beantwortung des Fragebogens ca. vier Wochen Zeit. Eine Erinnerungsemail nach drei Wochen sollte die Rückmeldungen erhöhen. Insgesamt wurden 409¹⁵ Stakeholder angeschrieben (einige Stakeholder auch zu mehreren Produktgruppen bzw. Untergruppen). Insgesamt wurden 27 inhaltliche Rückmeldungen (in Form des ausgefüllten Fragebogens oder Informationen per E-Mail/telefonisch) gegeben. Eine detailliertere Übersicht findet sich in Tabelle 3. Die Datengrundlage ist möglicherweise nicht repräsentativ, da dieser Rücklauf nur etwa 6 bis 11 % entspricht. Um spezifische Informationen zu erhalten, wurden einzelne Expert*innen mit konkreten Fragen kontaktiert (vor allem für Sportboote und Leichtflugzeuge) bzw. sich via E-Mail oder Interviews ausgetauscht. Weiter wurde ein Beirat mit sechs Beirat*innen eingerichtet, welcher während zwei Sitzungen vorläufige Ergebnisse diskutierte und inhaltliche Beiträge lieferte.

¹⁵ Da Daten und Informationen bzgl. des Bestandes für die Produktgruppe der Sportboote etwas umfassender also für die Produktgruppe der Leichtflugzeuge und ausgewählten Bedarfsgegenstände zur Verfügung standen, mussten für die Produktgruppe der Sportboote auch deutlich weniger Stakeholder im Zuge der ersten Umfrage kontaktiert werden.

Tabelle 3: Übersicht der Rückmeldungen zur Stakeholderbefragung zu Bestand und Abfallmanagement

	Sportboote	Leichtflugzeuge	Bedarfsgegenstände
Stakeholdertyp	Hersteller*innen Händler*innen / Markeninhaber* innen Entsorgungsbetriebe Verbände / Vereine / Clubs Forschungs- einrichtungen	Hersteller*innen Reparaturbetriebe Entsorgungsbetriebe Verbände / Vereine / Clubs Fluglandeplätze Zeitschriften Forschungs- einrichtungen Nationale Behörden	Hersteller*innen Händler*innen / Markeninhaber* innen Werkstätten Entsorgungsbetriebe Wertstoffhöfe Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) Verbände / Vereine / Clubs Forschungs- einrichtungen
Anzahl versendeter Fragebogen	37	162	210
Inhaltliche Rückmeldungen	4	10	13

2.2 Abfalltechnische Aufbereitungsstandards

2.2.1 Erarbeitung Aufbereitungsstandards

Aufbereitungsstandards wurden für Sportboote und Leichtflugzeuge bzw. deren jeweilige Kategorien¹⁶ erarbeitet. So wurde in einem ersten Schritt rechtliche Regelungen im Umgang mit Abfällen sowie der Außerbetriebnahme, der Abmeldung und Aufbereitung von Sportbooten und Leichtflugzeugen aufgelistet. In einem nächsten Schritt wurden Inspektionsprotokolle erstellt sowie Maßnahmen erläutert, welche zu einer Abfallvermeidung und somit Wiederverwendung bzw. Reparatur von bestimmten Bauteilen oder dem gesamten Produkt beitragen sollen. Das Hauptaugenmerk lag anschließend auf der Erarbeitung von Demontageprotokollen für die einzelnen Kategorien. Detaillierte Anleitungen zur Demontage von Sportbooten sind so bisher nicht verfügbar, weshalb diese auf Basis von existierenden rechtlichen Regelungen, Erfahrungen des Projektteams und Informationen von Expert*innen aus der Praxis erstellt wurden. Da für Flugzeuge bereits Anleitungen zur Demontage und Verwertung existieren, wurden diese hier aufgenommen auf Leichtflugzeuge übertragen und für die einzelnen Kategorien der Leichtflugzeuge weiter spezifiziert.

Ergänzend wurden Verwertungswege der demontierten Bauteile bzw. des Rumpfs aufgezeigt. Geeignete Zerkleinerungstechnik wurde ausführlich in einer vorherigen Studie über das Rotorblattrecycling beschrieben (Kühne et al., 2022).

Auch wurden Chancen und Herausforderung der Demontage und hochwertigen Verwertung analysiert und erste mögliche Lösungsansätze dargestellt. Diese bilden zusammen mit den

¹⁶ Für Sportboote (siehe Kapitel 3.1.1): Motoryacht, offenes Sportboot + Daycruiser, Segeljolle + offenes Kielboot, Segelyacht + Motorsegler, Wassermotorräder, Kanu + Ruderboote + Tretboote sowie Surfbretter + SUP; Für Leichtflugzeuge (siehe Kapitel 3.2.1): Luftfahrzeuge der Kategorien E; Leichtflugzeuge der Kategorie F, G und I (Flugzeuge bis 5,7 t); Motorsegler der Kategorie K sowie Segelflugzeuge.

Erkenntnissen der Marktstudie die Basis zur Entwicklung von konkreten organisatorischen und digitalen Konzepten.

2.2.2 Gespräche mit Experten und Expertinnen

Vor allem im Bereich der Sportboote ist die Datenlage mangelhaft. Dies liegt vor allem daran, dass eine geringe Anzahl an spezifischen Unternehmen für die Verwertung von Sportbooten existiert und die unterschiedlichsten Verfahren nicht standardisiert sind. Aus diesem Grund wurde dem Austausch mit Praktikern ein hoher Stellenwert für die Erarbeitung der Demontageanleitungen zugeteilt. Gespräche fanden unter anderem mit nationalen und europäischen Verbänden aus dem Boot- und Schiffbereich statt sowie mit bereits existierenden Initiativen im Bereich der Demontage von Sportbooten. Zudem wurden die vorläufigen Ergebnisse mit wissenschaftlichen Beiräten diskutiert. Im Bereich der Leichtflugzeuge gibt es zwar Best-Practice Demontageanleitung, jedoch sind diese für Großraumflugzeuge konzipiert worden. Für Leichtflugzeuge gibt es keine etablierten Demontagevorgänge oder -konzepte. Der Umgang mit Altflugzeugen wurde somit ebenfalls durch Befragungen erschlossen.

2.3 Digitale und organisatorische Konzepte

2.3.1 Vorarbeiten zur Netzwerkanalyse

Als Grundlage der Netzwerkanalysen für die drei Produktgruppen dienten die Lebenszyklen, die in den bereits vorangegangenen Kapiteln skizziert wurden. Im ersten Schritt wurden die bereits erarbeiteten Ergebnisse zur Marktstudie und zu Aufbereitungsstandards geprüft, um Informationen über Stakeholder, Daten und Kommunikationsinstrumente und -wegen zu finden. Diese Informationen wurden anschließend durch gezielte Nachfragen bei Expert*innen ergänzt, wodurch eine für diesen Teil grundlegende Arbeit zur Betrachtung der Interdependenzen von Informationen, Akteur*innen und Nutzungen geschaffen wurde.

2.3.2 Gespräche mit Experten und Expertinnen

Um ein digitales Konzept für die Stoffstromlenkung zu entwickeln, stellte sich zuallererst die Frage, welches Problem für die Nutzer*innen gelöst werden sollte. Welche Informationen fehlen wem für den Optimalzustand? Welche Prozesse könnten durch digitale Konzepte erleichtert werden und zu mehr Effizienz führen? Welche Daten sind dafür notwendig, wer hält diese heute inne (und ggf. vor der Öffentlichkeit zurück) und wer hat ein Interesse an diesen Daten, sprich was sind die Anwendungsszenarien für Datenkonzepte? Durch Gespräche mit Expert*innen und Diskussionen im zweiten Beiratstreffen konnten Interessensgruppen gebildet und Anwendungsszenarien entwickelt werden. Der bereits stark reglementierte Sektor der Leichtflugzeuge diente als Vorbild für ein Konzept für Sportboote, jedoch mit Einschränkungen, welche Expert*innen zu Bedenken gaben. Vorgeschlagen wurde ein modulares und iteratives Konzept, welches sowohl Überbürokratisierung als auch Doppelsysteme vermeidet.

2.3.3 Desktop-Recherche

Zur Betrachtung bereits bestehender digitaler Lösungen anderer Branchen wurden außerdem ausgiebige Desktop-Recherchen durchgeführt. Dabei wurden sowohl Hinweise von Expert*innen recherchiert, als auch die gängigen Suchmaschinen zur Suche von weiteren Konzepten verwendet. Eine gesonderte Recherche wurde zum Digitalen Produktpass durchgeführt: Hier wurde nach Gesetzesentwürfen und gültigen -texten sowie Beispielen und Herausforderungen aus anderen Anwendungsfällen gesucht und diese miteinander abgeglichen. Die Übertragbarkeit der Konzepte wurde geprüft.

3 Marktstudie

In einem ersten Schritt wurde ein Überblick über den aktuellen Bestand und den Einsatz von CFK- und GFK in den drei ausgewählten Produktgruppen sowie über die Abfallmengen und das Abfallmanagement erstellt. In den nachfolgenden Kapiteln sind die Ergebnisse nach Produktgruppen dargestellt.

3.1 Produktgruppe A: Sportboote

3.1.1 Definition und Kategorisierung von Sportbooten

Definition von Sportbooten

Neben Leichtflugzeugen und Bedarfsgegenständen aus FVK stehen Sportboote im besonderen Interesse dieses Vorhabens. Sportschifffahrt ist der Gegensatz zur Berufsschifffahrt und meint die nicht gewerblich betriebene Schifffahrt auf Binnengewässern oder in Seegebieten. Der im Englischen häufig genutzte Begriff „recreational crafts/boats“ wird als Sportboot **und/oder** Freizeitboot übersetzt, der Begriff Freizeitboot scheint aber keiner spezifischen Definition zu unterliegen. Für das vorliegende Vorhaben wird daher der Begriff Sportboot genutzt, da dieser so auch in Definitionen in deutschen und europäischen Gesetzgebungen wiederzufinden ist (siehe Tabelle 4).

Laut der Richtlinie EU 2013/53/EU über Sportboote und Wassermotorräder (EU-Sportbootrichtlinie) sind Sportboote „sämtliche Wasserfahrzeuge — unabhängig von der Antriebsart und unter Ausschluss von Wassermotorrädern — mit einer Rumpflänge von 2,5 m bis 24 m, die für Sport- und Freizeit Zwecke bestimmt sind“ (Artikel 3, Nr. 2 EU-Sportbootrichtlinie). Davon abgegrenzt werden Wassermotorräder, die folgendermaßen definiert sind: „Für Sport- und Freizeit Zwecke bestimmte Wasserfahrzeuge mit weniger als 4 m Rumpflänge, die einen Antriebsmotor mit Strahlpumpenantrieb als Hauptantriebsquelle verwenden und die dazu konzipiert sind, von einer oder mehreren Personen gefahren zu werden, die nicht in, sondern auf dem Rumpf sitzen, stehen oder knien.“ (Artikel 3, Nr. 3 EU-Sportbootrichtlinie).

Wie in Tabelle 3 dargestellt, gibt es in verschiedenen deutschen rechtlichen Regelungen weitere verwendete Definitionen von „Sportbooten“. Allen gemein ist, dass Sportboote Sport- und Erholungszwecken dienen und mit oder ohne Motor betrieben werden können. Da es in Hinblick auf Maße und Personengrenzen unterschiedliche Aussagen in den Definitionen gibt, basiert dieses Vorhaben die Definition des Sportboots vorrangig auf der genannten EU-Sportbootrichtlinie. Um auch Boote < 2,5 m in diesem Bericht betrachten zu können, wird die Definition um bestimmte Bootstypen erweitert (siehe unten). Zudem wird angenommen, dass alle in diesem Vorhaben betrachteten Boote eine Bruttoreaumzahl (BRZ) < 500 aufweisen. Für größere Schiffe (BRZ > 500) gilt bereits die Verordnung (EU) 1257/2013 über das Recycling von Schiffen, sodass eine Betrachtung dieser Schiffe nicht vorgesehen ist.

Tabelle 4: Verschiedene Definitionen für „Sportboot/e“ und verwandte Begriffe

Kategorie	Definition
Sportboot nach EU-Sportbootrichtlinie	Ein Wasserfahrzeug jeglicher Art, mit Ausnahme von Wassermotorrädern , das für Sport- und Freizeit Zwecke bestimmt ist, mit einer Rumpflänge von 2,5 m bis 24 m , unabhängig von der Antriebsart.

Kategorie	Definition
Wassermotorrad nach EU-Sportbootrichtlinie	Für Sport- und Freizeitwecke bestimmte Wasserfahrzeuge mit weniger als 4 m Rumpflänge , die einen Antriebsmotor mit Strahlpumpenantrieb als Hauptantriebsquelle verwenden und die dazu konzipiert sind, von einer oder mehreren Personen gefahren zu werden, die nicht in, sondern auf dem Rumpf sitzen, stehen oder knien;
Sportboote nach See-Sportbootverordnung (SeeSpbootV)	Wasserfahrzeuge mit oder ohne Maschinenantrieb , die für Sport- und Erholungszwecke gebaut worden sind und ausschließlich für Sport- oder Erholungszwecke oder für die Ausbildung zum Führen von Sportbooten verwendet werden und die für nicht mehr als zwölf Personen zuzüglich Fahrzeugführer und Besatzung zugelassen sind.
Sportboot nach Binnenschiffahrt-Sportbootvermietungsverordnung (BinSch-SportbootVermV)	Für Sport- oder Erholungszwecke verwendetes Wasserfahrzeug mit einer Länge von weniger als 20 m ohne Ruder und Bugspriet , dessen Produkt aus Länge x Breite x Tiefgang ein Volumen von 100 m³ nicht erreicht, ausgenommen Segelsurfbretter .
Sportboote nach Sportbootführerscheinverordnung (SpFV)	Nicht gewerbsmäßig, für Sport- oder Erholungszwecke verwendete Fahrzeuge, einschließlich Wassermotorräder , ausgenommen Fahrzeuge, die durch Muskelkraft oder nur mit einem Segel von höchstens 6 m ² Fläche fortbewegt werden.
Freizeitfahrzeuge / Boote / Yachten	Das Arbeitsdokument der Europäischen Kommission (EU KOM) über den nautischen Tourismus verwendet die Begriffe Freizeitfahrzeuge / Boote / Yachten unter 24 m Länge als gleichwertige Begriffe (Europäische Kommission, 2017)

Wie aus den Gesetzen (siehe Tabelle 4) ersichtlich, zählen Wassermotorräder (umgangssprachlich Jet-Ski) nur bedingt zu den Sportbooten, werden aber oft in einem Zuge genannt. Das französische EPR-System (APER, 2019b) und die European Boating Association (EBA) zählen Wassermotorräder hingegen zu den Sportbooten (siehe folgende Exkurs Box).

Die Nicht-Nennung (siehe SeeSpbootV) und der Ausschluss (siehe BinSch-SportbootVermV) von Segelsurfbrettern weist darauf hin, dass auch diese regulär nicht als Sportboot kategorisiert werden. Auf europäischer Ebene werden Segelsurfbretter („Windsurfer“) hingegen mit in den Begriff der „Sport-/Freizeitschiffahrt“ aufgenommen (siehe folgende Exkurs Box). In diesem Vorhaben werden Segelsurfbretter und Stand-Up-Paddel Boards (SUP) ebenfalls mitbetrachtet, da sie teilweise GFK enthalten können. Auch kleine Boote, wie Kanus, Tretboote und Ruderboote werden untersucht, obwohl sie nicht in die Sportboot Definition der *EU-Sportbootrichtlinie* fallen. Es ist zu beachten, dass hingegen APER, das französische System der erweiterten Produktverantwortung, alle Boote mit menschlichem Antrieb (Kanus, Segelsurfbretter, SUP, etc.) bei der Entsorgung von Sportbooten ausschließt (APER, 2019b).

Exkurs: Sportschiffahrt im EU-Kontext

Im Kontext der Altboot-Problematik spricht die EBA von „recreational boating“ (EBA, 2020). „Recreational boating“ kann mit „Sport- oder Freizeitschiffahrt“ übersetzt werden;

Laut der EBA können Boote, die für die "Sport-/Freizeitschiffahrt" verwendet werden, klein oder groß, gemietet oder im Privateigentum der Nutzenden, mit Segel- und/oder Motorantrieb ausgestattet sein und auf Binnengewässern und/oder auf See eingesetzt werden. "Sport-/Freizeitschiffahrt" auf See kann von küstennah bis hin zu transozeanischen Gewässern reichen.

Boote, die in der Sport-/Freizeitschifffahrt genutzt werden, umfassen laut der EBA auch Windsurfer, Segeljollen, Schlauchboote und Wassermotorräder. Im Allgemeinen versteht die EBA daher unter "Freizeitschifffahrt" die Nutzung von Booten, die für Sport oder Freizeit konzipiert oder angepasst sind (EBA, 2020).

Auf Basis der genannten Definitionen und mit Blick auf andere europäische Länder werden für dieses Vorhaben Sportbooten folgenden Eigenschaften zugeschrieben:

- ▶ Für Sport- und Erholungszwecke,
- ▶ mit oder ohne Motor,
- ▶ mit oder ohne Übernachtungsgelegenheit,
- ▶ konzipiert für die See- und Binnenschifffahrt,
- ▶ Länge < 24 m.

Kategorisierung von Sportbooten

Wie beschrieben, werden in diesem Vorhaben alle eindeutig als Sportboot definierbaren Boote sowie bestimmte zusätzliche Wassergeräte und Boote (z.B. Kanus) betrachtet.

Basierend auf vorhandener Literatur können Sportboote in weitere Kategorien eingeteilt werden, die für die folgenden Analysen in diesem Vorhaben verwendet werden können. Die zusätzlichen Boote/Geräte werden als separate Kategorien aufgeführt. Ziel ist vor allem die Produkte in gemeinsamen Kategorien zusammenzufassen, welche voraussichtlich eine ähnliche abfalltechnische Aufbereitung erfahren.

Die Studie von Mell (2016) unterteilt Sportboote in die Kategorien „Motorboote“ und „Segelboote“ und spezifiziert diese weiter. Motorboote werden in „Motoryacht“ und „Offenes Sportboot und Daycruiser“ eingeteilt und Segelboote enthalten die Gruppen „Segeljolle und offenes Kielboot“; und „Segelyacht und Motorsegler“. Diese Kategorien werden für dieses Vorhaben als hilfreich gesehen, da bereits vielfältige Informationen zum Bestand, der Nutzung und dem Verbleib in diesen Kategorien existieren¹⁷. Zudem beziehen sich diese Daten konkret auf Deutschland. Nachteilhaft ist, dass kleinere Boote (z.B. Kanus) von Mell (2016) nicht näher untersucht werden. Kleinere Boote sollten im vorliegenden Vorhaben allerdings betrachtet werden, da sie einen relevanten Anteil an GFK aufweisen können und in großer Anzahl vorhanden sind.

Für dieses Vorhaben werden folgende Kategorien und Unterkategorien genutzt:

- ▶ Motorboote:
 - Motoryachten
 - Offene Sportboote und Daycruiser
- ▶ Segelboote:
 - Segeljollen, offene Kielboote

¹⁷ Hinweis: In den zur Studie gehörenden Fragebögen wurden des Weiteren die Kategorien „Dinghi“, „Schlauchboot/RIB“ und „Hausboot“ abgefragt. Wegen mangelnder Antworten und Daten wurden die genannten Kategorien in der Studie nicht weiter behandelt oder ausgewertet.

- Segelyachten und Motorsegler
- ▶ Kleine Boote:
 - Wassermotorräder
 - Kanus, Ruderboote, Tretboote
 - Surfbretter, SUP

3.1.2 Rechtliche Vorgaben Registrierung

Gesetzlich geregelt sind Sportboote unter der EU-Sportbootrichtlinie. Ziel der Richtlinie ist es, „die Sicherheitsmerkmale von Sportbooten in allen Mitgliedstaaten zu harmonisieren und Hemmnisse im Handel mit Sportbooten zwischen den Mitgliedstaaten abzubauen“ (ErwG 1, EU-Sportbootrichtlinie). Darin enthalten sind Vorgaben zur Kennzeichnungspflicht von Wasserfahrzeugen, bestimmten Bauteilen und Antriebsmotoren.

Diese betrifft eine Identifizierungsnummer¹⁸ von Wasserfahrzeugen, das Anbringen einer Plakette auf Wasserfahrzeugen¹⁹ und das Anbringen von verschiedenen Angaben auf dem Motor²⁰. Weiter müssen Motorenhersteller*innen Montage- und Wartungshandbücher zur Verfügung stellen (Anhang I, B, Punkt 3 EU-Sportbootrichtlinie). Die EU-Sportbootrichtlinie löst die Richtlinie 94/25/EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Sportboote (EG-Sportbootverwaltungsvorschrift) auf und erweitert diese.

Die SeeSpbootV setzt die damals gültige EG-Sportbootverwaltungsvorschrift um und regelt die Inbetriebnahme und Vermietung von Sportbooten in Deutschland (bzw. von Sportbooten mit Bundesflagge im Ausland). Sie enthält die Verpflichtung zur CE-Kennzeichnung (§ 3, SeeSpbootV) sowie Vorgaben zur Kennzeichnungspflicht von Wassermotorrädern im Inland (§ 4, SeeSpbootV).

Vorgaben zur Registrierung sind in der Schiffsregisterordnung (SchRegO) enthalten. Diese enthält eine Registrierungsspflicht für privat genutzte, vermietete und gewerbsmäßig genutzte Sportboote ab einer Länge von 15 m (§10, SchRegO). Jedoch ist immer eine Zulassung nötig, sofern das Boot vermietet wird. Eigentümer von Sportbooten unter 15 m Rumpflänge können ihr Boot freiwillig in ein Seeschiffsregister eintragen lassen. Allerdings ist das Seeschiffsregister in Deutschland nicht bundesweit einheitlich, sondern wird von den jeweils zuständigen Amtsgerichten geführt (Deutsche Flagge, 2022).

3.1.3 Informationen zum Bestand und Aufbau von Sportbooten in Deutschland

3.1.3.1 Gesamtbestand der Sportboote in Deutschland

Aufgrund der unvollständigen Registrierungsspflicht aller Sportboote wird der Bestand von Sportbooten daher im Folgenden über Informationen auf der Grundlage weiterer verfügbarer Studien und veröffentlichter Ergebnisse abgeschätzt.

¹⁸ Mit Angaben zu Ländercode des Herstellers; zugeteilter Herstellercode; eindeutige Seriennummer; Monat und Jahr der Produktion; Modelljahr (Anhang I, A, Punkt 2.1 EU-Sportbootrichtlinie).

¹⁹ Name des Herstellers, eingetragener Handelsname oder eingetragene Handelsmarke sowie Kontaktanschrift; CE-Kennzeichnung; Entwurfskategorie des Wasserfahrzeugs; vom Hersteller empfohlene maximale Zuladung; Zahl der nach der Empfehlung des Herstellers an Bord zulässigen Personen (Anhang I, A, Punkt 2.2 EU-Sportbootrichtlinie).

²⁰ Name, eingetragener Handelsname oder eingetragene Handelsmarke und Kontaktanschrift des Motorenherstellers; gegebenenfalls außerdem Name und Kontaktanschrift der Person, die den Motor angepasst hat; Motorentyp und, falls zutreffend, Motorenfamilie; eindeutige Seriennummer; CE-Kennzeichnung (Anhang I, B, Punkt 1.1 EU-Sportbootrichtlinie).

Zur Einordnung des deutschen Sportbootsbestandes gibt Tabelle 5 zunächst einen Überblick über den Bootsbestand einiger europäischer Länder. Aufgrund der großen Wasserflächen und Meerzugänge erscheint es realistisch, dass in den skandinavischen Ländern ein größerer Anteil der Einwohner ein Boot besitzen als in Deutschland. In Deutschland besitzt jede 175. Person ein Sportboot, während es in Finnland jede 5. Person ist. Interessant ist, dass der Bootsbesitz in Deutschland deutlich höher ist als in Polen, obwohl die Wasserstruktur ähnlich erscheint (Seen, Flüsse und Küste vorhanden). Der Bootsbestand in Europäischen Gewässern beläuft sich insgesamt auf ca. 6 Mio. Sportboote (Europäische Kommission, 2017).

Tabelle 5: Aktueller Bestand an Sportbooten²¹ in ausgewählten europäischen Ländern

Land (Jahr)	Bootsbestand [Anzahl]	Einwohnerzahl ²² je Boot [EW/B]
Europäische Gewässer	6 Mio. (Europäische Kommission, 2017)	86 EW/B (Basis EU28)
Schweden	754.300 (ICOMIA, 2018)	14 EW/B
Norwegen	800.000 (ICOMIA, 2018)	7 EW/B
Finnland	1.157.500 (ICOMIA, 2018)	5 EW/B
Deutschland	480.000 (Mell, 2016)	175 EW/B
Niederlande	500.000 (WA Yachting Consultants, 2015) ²³	35 EW/B
Dänemark	250.000 (Eklund et al., 2013)	23 EW/B
Polen	77.364 (ICOMIA, 2018)	489 EW/B

Im Jahr 2015 waren 206.279 feste Bootsliegeplätze in Deutschland bekannt (Watermann et al., 2015). Da es in Deutschland allerdings nicht verpflichtend ist, einen Liegeplatz für das eigene Sportboot zu besitzen, lassen Angaben dazu nur bedingt Rückschlüsse auf den Gesamtbootsbestand zu. Viele Sportboote sind beispielsweise trailerbar, d.h. transportierbar, sodass sie nicht zwingend auf dem Wasser liegen müssen (Mell, 2008) und daher keinen Liegeplatz im Wasser brauchen, sondern an Land unter freiem Himmel oder in Garagen, Bootslagern, Marinas oder ähnlichen Orten gelagert werden.

Die aufschlussreichsten und detailliertesten Zahlen zum Bestand der Motor- und Segelboote wurden in Mell (2016) gefunden. Sie werden im Folgenden genauer beschrieben.

Segel- und Motorboote

Laut dieser Quelle gibt es 482.520 Segel- und Motorboote in Deutschland (Mell, 2016), von denen ca. 80 % im Inland liegen (Göbner, 2019). Diese Anzahl an Sportbooten ist für eine spätere Entsorgung in Deutschland relevant. Vom Bundesministerium für Verkehr geschätzte Zahlen zum Gesamtbestand an Sportbooten weicht von den in Mell (2016) präsentierten Zahlen ab. Laut einer Pressemitteilung des Ministeriums gab es in 2015 rund 750.000 Sportboote (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015). Der große

²¹ In den zugrundeliegenden Quellen wurde meist von „recreational craft“ gesprochen, was in etwa Sportbooten entspricht. Es konnte nicht herausgefunden werden, welche Untergruppen im Einzelnen in den Berechnungen enthalten sind (z.B. Ein- oder Ausschluss von Motorsportbooten).

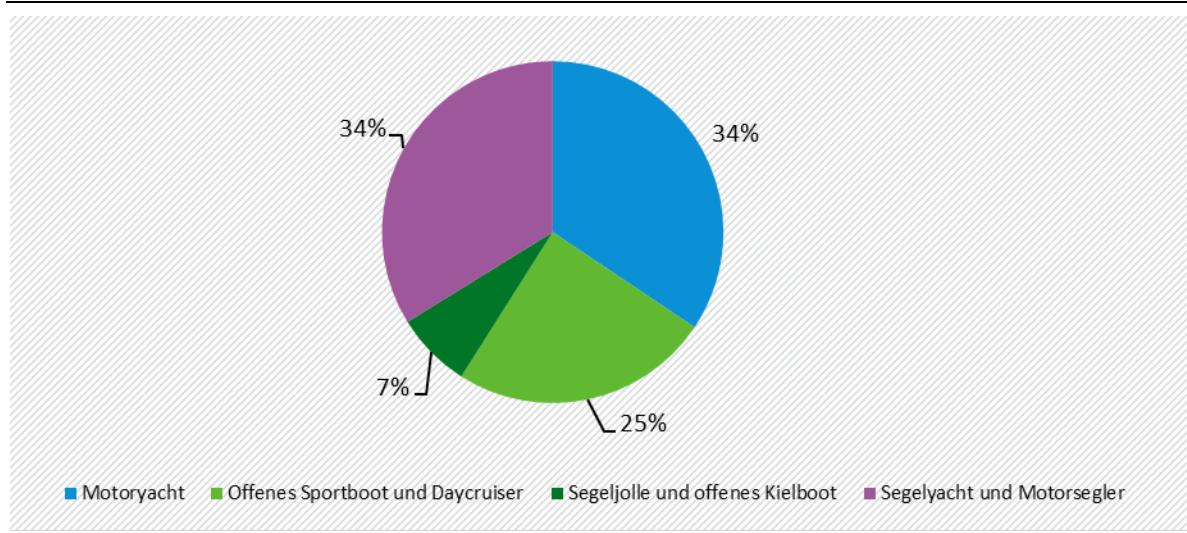
²² Einwohnerzahlen Stand 2022.

²³ Die 500.000 Boote in den Niederlanden entsprechen Schätzungen zufolge einem Gewicht von 900.000 t (WA Yachting Consultants, 2015).

Zahlenunterschied zu Mell (2016) könnte dadurch erklärt werden, dass das Bundesministerium für Verkehr mehr/andere Kategorien an Sportbooten als Mell (2016) in den Bestand der Sportboote einrechnet hat. Welche Kategorien das Ministerium zur Berechnung genutzt hat, konnte nicht herausgefunden werden.

Mell (2016) konnte innerhalb der Motorboote einen Bestand von 165.973 Motoryachten und 118.678 offenen Sportbooten und Daycruisern ermitteln (in Deutschland, Stand 2016). Die Kategorie der Segelboote teilt sich in 34.767 Segeljollen und offene Kielboote und 163.101 Segelyachten und Motorsegler auf. Von 2008 bis 2016 ist die Gesamtzahl der Motor- und der Segelboote leicht gesunken. Laut Mell (2016) machen Motorboote (Motoryachten; Offene Sportboote und Daycruiser) 59 % des im Jahr 2016 betrachteten Bestandes aus, während sich der Anteil der Segelboote (Segeljollen und offene Kielboote; Segelyachten und Motorsegler) auf 41 % beläuft. Die prozentualen Anteile der genannten Kategorien am Gesamtbestand sind Abbildung 7 zu entnehmen.

Abbildung 7: Prozentuale Aufteilung der 482.520 Motor- und Segelboote Deutschland (Stand 2016)



Quelle: Eigene Darstellung nach Mell (2016)

Da in Mell (2016) vor allem der Bestand von Motorbooten und Segelbooten betrachtet wird, lohnt sich ein Blick auf weitere Statistiken, welche den Bestand kleinerer Boote (z.B. Kanus, Ruderboote, Wassermotorräder) beschreiben.

Wassermotorräder/Jetskis

In Deutschland wurden in den letzten Jahren durchschnittlich 400 Jetskis (in diesem Bericht Wassermotorräder genannt) pro Jahr verkauft (Lakeberg GmbH, 2020). Nehmen wir eine durchschnittliche Lebensdauer von 10,5 Jahren (siehe Kapitel 3.1.3.4) und einen über diese Zeit kumulierten Bestand an, dann führen diese Zahlen zu etwa **4.200 Wassermotorrädern** in Deutschland.

Kanus

Eine Studie veröffentlicht durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWK) hat im Jahr 2016 ca. 829.000 Kanufahrer*innen mit einem privaten Kanu und ca. 566.000 mit einem gemieteten Kanu gezählt. Insgesamt zählt man dort demnach fast 1,4 Mio. Kanuten in Deutschland. Der Bestand könnte diesen Zahlen zufolge zwischen **829.000 und 1,4 Mio.**

Kanadiern (zumeist offenes Kanu) **und Kajaks** in Deutschland liegen, da ein vermietetes Kanu auf mehrere Kanut*innen treffen kann (Dörnfeld & Zelner, 2016).

Ruder- und Tretboote

Rudern wird in der Regel als Wettkampf- oder Vereinssportart ausgeführt. Eine Studie des BMWK zählte 2016 ca. **84.000 Deutsche**, die der Sportart des Ruderns nachgehen. Da Rudervereine Mitgliedern meist Boote zur Verfügung stellen oder ausleihen, entspricht die Zahl der Sportler*innen nicht unbedingt der Zahl der Boote. Rechnet man die Anzahl an privaten Ruder- und Tretbooten in der Schweiz (ca. 5.635 Stück) (Statista Research Department, 2022) auf die deutsche Einwohnerzahl hoch, ergeben sich ca. **54.900 private Ruder- und Tretboote**. Diese Zahl berücksichtigt nicht, dass die Boots- und Wasserstrukturen (z.B. Anzahl an Rudervereine; Anzahl an Wasserkörpern) in Deutschland und der Schweiz unterschiedlich sind (Dörnfeld & Zelner, 2016).

Surfbretter und SUP

Insgesamt 3,05 Mio. Menschen in Deutschland haben im Jahr 2021 angegeben, mindestens „ab und zu“ in ihrer Freizeit surfen zu gehen. 390.000 Menschen davon machen dies nach Angaben regelmäßig (Pawlik, 2022). Nimmt man nun an, dass jede*r dieser regelmäßigen Surfer*innen ein eigenes Surfbrett hat, so würde der Bestand an Surfbrettern in Deutschland im Jahr 2021 bei ca. **390.000 Stück** liegen.

Zusammenfassung Gesamtbestand

Tabelle 6: Bestand von Motor-, Segel- und kleinen Booten in Deutschland

Kategorie	Anzahl Boote	Quelle
Motorboote	284.651 (2016)	(Mell, 2016)
Motoryacht	165.973 (2016)	(Mell, 2016)
Offene Sportboote und Daycruiser	118.678 (2016)	(Mell, 2016)
Segelboote	197.868 (2016)	(Mell, 2016)
Segeljollen und offene Kielboote	34.767 (2016)	(Mell, 2016)
Segelyachten und Motorsegler	163.101 (2016)	(Mell, 2016)
Gesamt Motor- und Segelboote	482.520 (2016)	(Mell, 2016)
Kleine Boote		
Wassermotorräder	4.200 (2020)	Eigene Berechnung
Kanu, Ruderboote, Tretboote	ca. 1 Mio.	Eigene Berechnung
Surfbretter, SUP	390.000	Eigene Berechnung basierend auf (Pawlik, 2022).
Gesamt	1,9 Mio.	

Zusammengefasst gehen wir von folgenden Werten für den Bestand an Sportbooten in Deutschland aus:

- Bestand von ca. **483.000 Motor- und Segelbooten** (Mell, 2016)

► Bestand von mind. **1,4 Mio. Wassermotorrädern, Ruder- und Tretbooten, Kanus, Surfbrettern und SUP**

3.1.3.2 Aufbau Sportboote

Die Klasse der Sportboote ist außerordentlich divers und entzieht sich einer international anerkannten Kategorisierung. Gemeinhin können Motoryachten, Offene Sportboote und Daycruiser, Segelboote, Segeljollen und offene Kielboote; Segelyachten, Motorsegler, Wassermotorräder, Surfbretter, SUP, Kanu, Ruderboote, Tretboote, kategorisiert werden. Laut dem Entsorgungsunternehmen ReBoat besteht ein Boot je nach Typ aus bis zu 18 verschiedenen Materialien. Dazu zählen verschiedene Grundbaumaterialien wie Holz, Stahl und GFK sowie flüssige Materialien und Schadstoffe wie z.B. Treibstoffe, Hydrauliköle, Antifouling-Anstriche und Beschichtungen (Motorbootonline.de, 2021).

Im Folgenden werden die einzelnen Kategorien der Sportboote genauer beschrieben, sowie ihre typischen Bauteile und Materialien aufgezeigt.

3.1.3.2.1 Motoryachten

Erläuterung des Begriffs ‚Motoryacht‘

Obwohl es keine gesetzliche Definition von ‚Motoryacht‘ gibt, lassen verschiedene bootsspezifische Webseiten (Best boats 24, n.d.; Boat 24, n.d.-d) darauf schließen, dass der Begriff Motoryacht für ein größeres Motorboot für Freizeit Zwecke mit einem bewohnbaren Kabinenbereich verwendet wird, d.h. es verfügt über ein Deck und eine Kajüte. Weder die Stärke der Motorisierung noch die Rumpfform und/oder das Baumaterial sind ausschlaggebend für die Bezeichnung Motoryacht. Die Bezeichnung Yacht wurde aus dem Niederländischen übernommen, wo «jacht» u.a. «schnelles Schiff» bedeutet. Ab welcher Bootslänge man von einer Motoryacht spricht, ist ebenfalls nicht genauer definiert; sie hängt von der jeweiligen Informationsquelle und dem Land dieser Information ab. Häufig dient die 10-Meter-Marke als Anhaltspunkt für die Definition einer Yacht. In manchen Europäischen Ländern reicht hingegen eine Länge von 7 m für den Begriff Motoryacht; in anderen Ländern sind es 12 m. Bei Motorbooten für Binnengewässer gelten auch schon Boote ab 6 m Länge als Yacht. Für den vorliegenden Bericht gehen wir von einer Mindestlänge von 6 m für Motoryachten aus.

Der Bootskörper von Motoryachten setzt sich mindestens aus einem Rumpf, dem Deck und einem Cockpit zusammen und kann darüber hinaus auch noch Sonnendächer, auch Hardtops genannt, Badeplattformen oder Ähnliches aufweisen. Typische Rumpfmateriale sind GFK/CFK, Stahl, Aluminium, Holz und/oder Kunststoffe wie Polyvinylchlorid (PVC), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) oder Polypropylen (PP) (PaterMcFly, 2022; Rosenmaier, 2020; United-Marine, 2022; Yachtwerft Benjamins GmbH, 2022). Eingebaute Fenster und Luken sind aus Acryl oder Glas (Gebo Marine Glazing B.V., 2022; Piedmont Plastics, 2022). Die Hardtops sind vollständig aus GFK und CFK hergestellt (Rosenmaier, 2020). Für das Deck werden tragende Elemente wie beispielsweise Stahlstreben mit Holz, oftmals Teak, PVC, Cork oder GFK verkleidet (Nautic Expo, 2022; PaterMcFly, 2022; Rosenmaier, 2020). Je nach Motoryacht, können an Deck Sitzgelegenheiten vorzufinden sein, deren Polsterung aus Polyurethanschaum und deren Bezüge aus Vinyl, PE-Verbunden, Kunstleder und Webware sowie Mikrofasern gemacht sind (Sailrite Enterprises Inc., 2022; Zola, 2018). Die Reling besteht zumeist aus Edelstahl (Rhein Trainer UG, 2022), genauso wie Beschläge, Ösen und Scharniere, Klampen, Poller und Anlegeringe oder Lippen, Klüsen und Kettenläufe für den Anker. Der Anker selbst und die Ankerkette können neben Edelstahl auch aus Aluminiumlegierungen gefertigt sein (SVB, 2022). Im Cockpit befinden sich das Armaturenbrett in das (elektronische) Geräte für Navigation und

Kommunikation wie beispielsweise GPS, Kompass, Anzeigedisplays, Funkgerät etc. integriert sind. Die Materialien, die im Cockpit für Konsolen des Steuerrads verwendet werden umfassen Holz, GFK/CFK, Kunststoffe und Metalle (New Wire Marine, 2022; TCE Engineering, 2022).

Motoryachten werden durch Außen- oder Innenbordmotoren angetrieben. Bei Verbrennungsmotoren weisen die Yachten daher auch Kraftstofftanks aus Kunststoff oder Metall, Kraftstoffpumpen, Schläuche und Leitungen auf. Bei Elektromotoren sind die entsprechenden Bauteile Antriebsbatterien, Kabelverbindungen und Ladetechnik. Bei Innenbordmotoren weisen die Yachten außerdem eine Antriebseinheit bzw. Triebwerk aus Metall auf, die mit einer Opferanode aus Zink geschützt wird. Unabhängig von der Art des Antriebs besitzen Motoryachten eine Stromversorgung, die nicht nur für elektronische Navigations- und Kommunikationsgeräte im Cockpit, Außen- und Innenbeleuchtung, Pumpen und weitere elektrische Verbraucher mit Strom bereitstellen kann, sondern auch von Photovoltaikmodulen, Wind- und/oder andere Stromgeneratoren geladen werden kann.

Die Ausstattungen von Motoryachten rangiert von einer einfachen Kajüte unter Deck mit Matratze und Kochplatte, bis hin zu mehreren Räumen, beispielsweise eine voll ausgestattete Küche inklusive Herd, Mikrowelle und Geschirrspüler. Motoryachten können außerdem Bäder inklusive Toilette, Dusche, Wasserboiler usw. aufweisen mit der dazu erforderlichen Frischwasserversorgung (Tank, Pumpe und Leitungen) und Abwassertechnik (Tanks für Grau- und Schwarzwasser, Pumpe und Leitungen). Abschließend befinden sich auf Motoryachten eine Vielzahl von Ausrüstungsgegenständen, insbesondere sicherheitsrelevante Ausrüstungsgegenstände, wie Feuerlöscher, Rettungsringe, -westen und -inseln. Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von Motoryachten ist in Anhang B.1 zu finden.

Abbildung 8: Darstellung einer Motoryacht



Quelle: Darstellung aus PxHere (2017b)

3.1.3.2.2 Offene Sportboote und Daycruiser

Erläuterung der Begriffe ‚Offene Sportboote und Daycruiser‘

Offene Sportboote und Daycruiser unterliegen ebenfalls keiner festgelegten Definition, allerdings werden sie genau wie Motoryachten den Motorbooten zugerechnet. Der Begriff offene Sportboote steht für sportliche Motorboote mit offenem Vordeck, auf dem sich meist zusätzliche Sitz- oder Liegeplätze befinden, sodass bis zu acht Personen Platz finden. Unter den Sitzbänken gibt es viel Stauraum beispielsweise durch Kisten. Bowrider ist ebenfalls ein geläufiger Begriff für

diese Art von Booten. Daycruiser hingegen können kleine Kajüten für bis zu zwei Personen enthalten. Außerdem gibt es meist eine Toilette, mehrere Sitzplätze und eine Bugkabine an Bord. Während offene Sportboote bzw. Bowrider eher für Tagesausflüge ausgelegt sind, können Daycruiser je nach Ausstattung auch für Mehrtagestouren genutzt werden (Boat solutions, n.d.).

Obwohl Daycruiser und offene Sportboote kleiner sind als Motoryachten, ist deren allgemeiner Aufbau durchaus vergleichbar. Beide Bootstypen werden von Motoren angetrieben und verfügen über Schiffskörper, Cockpit, Sitzgelegenheiten an Deck Kraftstoff- und/oder Stromversorgung usw. Je nach Größe können Daycruiser und offene Sportboote auch über Kajüten verfügen, die als Schlafzimmer, Küche und/oder Bad inklusive Frischwasserversorgung und Abwassersystem funktionieren. Dementsprechend sind in Daycruisern und offenen Sportboote auch die gleichen Materialien vorzufinden wie in Sportyachten. Der Rumpf kann beispielsweise aus Stahl, Aluminium, GFK oder in selteneren Fällen aus Holz bestehen, wobei auch Kombinationen von unterschiedlichen Materialien vorkommen (Invictus-boote, 2019). Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von offenen Sportbooten und Daycruisern ist in Anhang B.1 zu finden.

Abbildung 9: Darstellung eines Daycruisers



Quelle: Abbildung aus PxHere (2017a)

3.1.3.2.3 Segeljollen und offene Kielboote

Erläuterung des Begriffs ‚Segeljollen und offene Kielboote‘

Als Jolle bezeichnet man meistens kleine, leichte und sportliche Boote. Es sind offenes Segelboot, d.h. ohne Kajüte, die mit einem aufholbaren Schwert ausgestattet. Der Konstruktionsschwerpunkt liegt meist über der Wasserlinie und die Boote erhalten ihre Stabilität durch die Breite des Rumpfes. Eine Sonderform im Sprachgebrauch stellen die Kieljollen dar (z.B. Kielzugvogel), die jedoch in den meisten Regionen als offene Kielboote bezeichnet werden. Kielboote sind mit einem Ballast ausgestattet, der sich möglichst tief am Rumpf befindet und den Konstruktionsschwerpunkt so weit nach unten verschiebt, dass er sich unter der Wasserlinie befindet (Boat 24, n.d.-b). Des Weiteren gibt es in der Segelwelt Katamarane und Trimarane (Mehrrumpfboote), die für den Zweck dieses Vorhabens auch unter die genannte Kategorie gezählt werden, sofern Sie keine Kajüte aufweisen. Mehrrumpfboote sind Segelboote mit zwei oder drei parallel ausgerichteten Rümpfen, die durch Querverstrebungen miteinander verbunden

sind. Kleine Beach-Katamarane wie etwa Hobie-Cats sind Boote, die man einfach den Strand hinaufziehen kann (Boat 24, n.d.-b; boats.com, 2022).

Die Bootskörper von Segeljollen und offenen Kielbooten sind einfach aufgebaut und bestehen aus Rumpf und Deck und werden überwiegend aus FVK und in Holzbauweisen gefertigt. Die Riggformen reichen von einfachen Konstruktionen, die nur aus Mast und Baum bestehen und damit nur ein Segel besitzen, bis zu Riggformen mit Großsegel, Vorsegel sowie Sinnaker oder Gennaker. Als Riggmaterial kommt Aluminium, CFK oder Holz zum Einsatz (Boote.de, 2022).

Segeljollen und offene Kielboote werden hauptsächlich auf Binnengewässern oder maximal in küstennahen Gewässern gesegelt, wodurch sich die Ausrüstungsliste auf das Nötigste aus der Kategorie Sicherheit und Navigation beschränkt.

Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von Segeljollen und offenen Kielbooten ist in Anhang C.2 zu finden.

3.1.3.2.4 Segelyachten und Motorsegler

Erläuterung der Begriffe ‚Segelyachten und Motorsegler‘

Neben den oben beschriebenen Motoryachten gibt es auch Segelyachten. Segelyachten zählen zu den Segelbooten. Viele Segelyachten enthalten dennoch Motoren. Segelyachten haben außerdem in nahezu allen Fällen einen Kiel und eine Kajüte. Wie bei den Motoryachten wird für den vorliegenden Bericht für Segelyachten von einer Mindestlänge von sechs Metern ausgegangen (Boat 24, n.d.-f). Neben den Segelyachten gibt es Motorsegler, die sich sowohl unter Segeln als auch unter Motor über längere Strecken betreiben lassen (Boat 24, n.d.-f). Katamarane und Trimarane (Mehrrumpfboote) die mit einer Kajüte ausgestattet sind zählen für den Zweck dieses Vorhabens zur Kategorie Segelyachten und Motorsegler.

Abbildung 10: Darstellung eines Segelbootes



Quelle: Abbildung aus PxHere (2017c)

Durch die offene Definition von Yacht, trifft diese Bezeichnung (Motor- oder Segelyacht) auf über 80 % des weltweiten Freizeit-Bootsbestandes zu. Der verbleibende Bootsbestand sind Kleinboote und Jollen. Der Rumpf von Segelyachten und Motorseglern kann aus Aluminium, Stahl, Holz oder Marinesperrholz, Kunststoff oder FVK bestehen. Die in Kapitel 3.1.3.1 beschriebenen Baumaterialien, Antriebsformen und Ausstattungen von Motoryachten können ebenfalls auf Segelyachten und Motorsegler zutreffen. Durch das Rigg und die Takelung sowie durch den Kiel mit Ballast, der für aufrichtendes Moment sorgt, muss die innere Struktur jedoch angepasst werden. Abbildung 10 zeigt beispielhaft die Struktur einer Bodengruppe zur Aufnahme der Kräfte. Die innere Struktur ist quer verlaufend, mit Bodenplatten, Spanten und Querträgern, die vom Boden und den Seiten bis zum Deck jeweils Ringe bilden. Der untere Teil wird als Bilge bezeichnet, in der sich Wasserrückstände vom Deck sowie Öl oder andere Flüssigkeiten aus dem Motorkurbelgehäuse oder anderen möglichen Leckagen sammeln (Boat 24, n.d.-h).

Rigg- und Segelkonfigurationen können stark variieren. Die Position an Deck und die Anzahl der Masten sowie die möglichen Kombinationen der Segeltypen sind hier die ausschlaggebenden Merkmale. Man unterscheidet zwischen Großsegel, Vorsegel sowie Raumschot und Vorwindsegel. Die Materialien, die für das Rigg zum Einsatz kommen sind Aluminium, Stahl, Holz oder CFK. Riggformen sind Slup, Kutter, Ketsch, Yawl, Schoner oder Katboot (Loibner, 2016).

Der Kiel ist eine vertikale Struktur, unter dem Boot, die auch Ballast enthält. Zum einen verhindert diese Struktur den seitlichen Abdrift und erzeugt ein aufrichtendes Moment, wenn das Segelboot durch die Kraft des Windes krängt. Gängige Bauformen sind Langkiel, Flossenkiel, Flügel- oder T-Kiel sowie Schwenkkiel oder Hubkiel. Der Ballast des Kiels besteht aus fixen Stahlflossen oder Blei- sowie Betonballast (Loibner, 2016).

Die Ausstattung und Ausrüstung von Segelyachten und Motorseglern kann sehr umfangreich werden und richtet sich nach Kategorien A bis D²⁴, die die Fahrgebiete beschreiben. Die Ausrüstungsgegenstände können zusätzlich unterschiedlichen Bereichen zugeordnet werden: allgemeine Ausrüstung, Navigations- und Kommunikationsausrüstung sowie Seenot-Rettungsmittel (ADAC Skipper, n.d.-b).

Ausrüstungsgegenstände, die in den Bereich Lebensqualität an Bord und Komfort zu zählen können vielfältig werden.

Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von Segelyachten und Motorseglern ist in Anhang C.2 zu finden.

3.1.3.2.5 Wassermotorräder

Erläuterung des Begriffs ‚Wassermotorräder‘

Nach der *EU-Sportbootrichtlinie* sind Wassermotorräder ein für Sport- und Freizeitzwecke bestimmte Wasserfahrzeuge mit weniger als 4 m Rumpflänge, die einen Antriebsmotor mit Strahlpumpenantrieb als Hauptantriebsquelle verwenden und die dazu konzipiert sind, von einer oder mehreren Personen gefahren zu werden, die nicht in, sondern auf dem Rumpf sitzen, stehen oder knien. Laut weiteren Quellen sind Wassermotorräder kleine motorisierte Wasserfahrzeuge ohne Bordwand, auf dem man wie bei einem Motorrad sitzen kann. In Analogie dazu erfolgt die Steuerung über einen Lenker. Wassermotorräder werden oft in die zwei Kategorien „Steher“ (für eine Person) und „Sitzer“ (für mehrere Personen) eingeteilt. Wassermotorräder werden

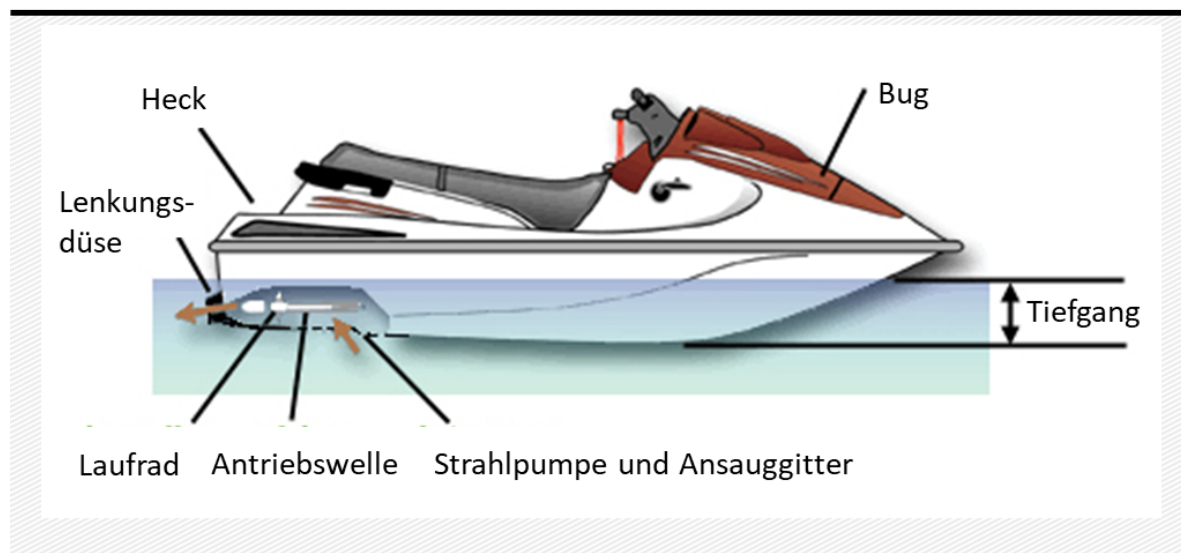
²⁴ A (Hochsee), B (Außerhalb von Küstengewässern), C (Küstennahe Gewässer) und zuletzt D (Geschützte Gewässer).

umgangssprachlich häufig als Jetski bezeichnet. Im Englischen findet man sie auch unter dem Begriff PWC (personal water craft) (Boat 24, n.d.-a).

Die Hauptbestandteile eines Wassermotorrads sind der Rumpf (meist aus GFK) und der Motor (aus Metallen) (siehe Abbildung 11). Ein Wassermotorrad enthält ebenso die zum Motor gehörigen Flüssigkeiten wie Motorenöl, Benzin und die jeweiligen Tanks (z.B. Öltank). Für den Antrieb wird zudem eine Wasserstrahlpumpe benötigt, die über eine Antriebswelle mit dem Propeller verbunden ist. Zur Steuerung sind Lenker und Düseneinheit wichtige Bauteile eines Wassermotorrads. Je nach Ausführung ist ein Wassermotorrad auch mit einer Lichtmaschine und einem Unterschränk unter dem Sitz ausgestattet. Mittlerweile gibt es auch elektrisch betriebene e-Jetskis, die Elektromotoren und Lithium-Batterien enthalten (e-Surfer, n.d.).

Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien eines Wassermotorrads ist in Anhang B.3 zu finden.

Abbildung 11: Schematische Darstellung eines Wassermotorrads



Quelle: Abbildung aus Clipart Library (n.d.) (Eigene Übersetzung aus dem Englischen)

3.1.3.2.6 Kanu, Ruderboote, Tretboote

Erläuterung der Begriffe Kanus, Ruderboote, Tretboote'

Kanus lassen sich grob in die Gattungen Kanadier und Kajaks einteilen. Kajaks sind (traditionell) geschlossene Boote, in die sich der Paddler mit den Beinen nach vorne ausgerichtet hineinsetzt und das Boot mit Hilfe eines Doppelpaddels antreibt. Der Kanadier hingegen ist ein offenes Kanu, in das man sich hineinkniet und das mit einem Stechpaddel vorwärtsbewegt wird. In vielen Wanderkanus werden auch Sitzbänke eingebaut. Da Kanus von einer Person oder mehreren Personen mit Paddel bewegt wird/werden, werden sie auch Paddelboot genannt (Boat 24, n.d.-c). Ruderboot zählen zu den Kleinbooten, wobei es Freizeit- und Rennruderboote gibt. Ruderboote werden mit Hilfe von Riemen/Skulls/Rudern bewegt und können in Gewässern tiefer als 30 cm genutzt werden (Boat 24, n.d.-e). Tretboote werden heutzutage hauptsächlich im Freizeitbereich genutzt. Die Bezeichnung Tretboot geht auf die Art des Antriebs zurück, bei dem die zur Fortbewegung benötigte Energie mit Muskelkraft über Pedale umgesetzt wird. Aufgrund dieses Tretkurbelantriebs wird auch der Name Wasserfahrrad verwendet.

Die Kategorie Kanus, Ruderboote, Tretboote‘ vereint, dass sie ‚kleine Boote‘ sind und meist mit Körperkraft betrieben werden. Aufbauten und andere aufwendige Bauteile wie bei Yachten gibt es nicht.

Kanus

Im Gegensatz zu einer Yacht besteht ein Kanu aus wenigen Bauteilen, wobei der Rumpf das Hauptbauteil darstellt. Die Materialien dafür sind sehr vielfältig. Es gibt Kanus aus PE, aus 3-Schicht PE, aus ABS (Royalex, wurde 2014 eingestellt), aus Holz, aus FVW (GFK; GFK/Aramid-Carbon; CFK; CFK/Aramid-Carbon), aus aluminiumbedampfter Glasfaser, aus Aluminium (heute mit untergeordneter Bedeutung), aus Flachsfaser und Kork (Braun, n.d.; Canoes, n.d.; Kanuten.com, n.d.; Schreinerei & Kanubau Stefan Krauß, n.d.). Bei sogenanntem Carbon-Ultraleichtbau wird ein Teil der Aramid-Fasern durch Carbonfasern ersetzt, sodass eine weitere Gewichtseinsparung erzielt wird (Gatz, 2019).

Moderne Kanus werden allerdings überwiegend aus GFK, PVC, Carbon oder Aluminium hergestellt, während Holz als Baustoff überwiegend bei Klassik-Liebhabern Zuspruch findet (Boat 24, n.d.-c). Seit den Fünfzigerjahren sind auch Faltpaddelboote, die auf einem Holzgestänge mit Stoff bespannt sind, sehr beliebt (Boat 24, n.d.-c). Kanadier (eine Art von Kanus) werden meist aus PE gefertigt. Dabei wird eine aufgeschäumte PE-Schicht von einer inneren und äußeren PE-Schicht ummantelt (Kanulager, 2022).

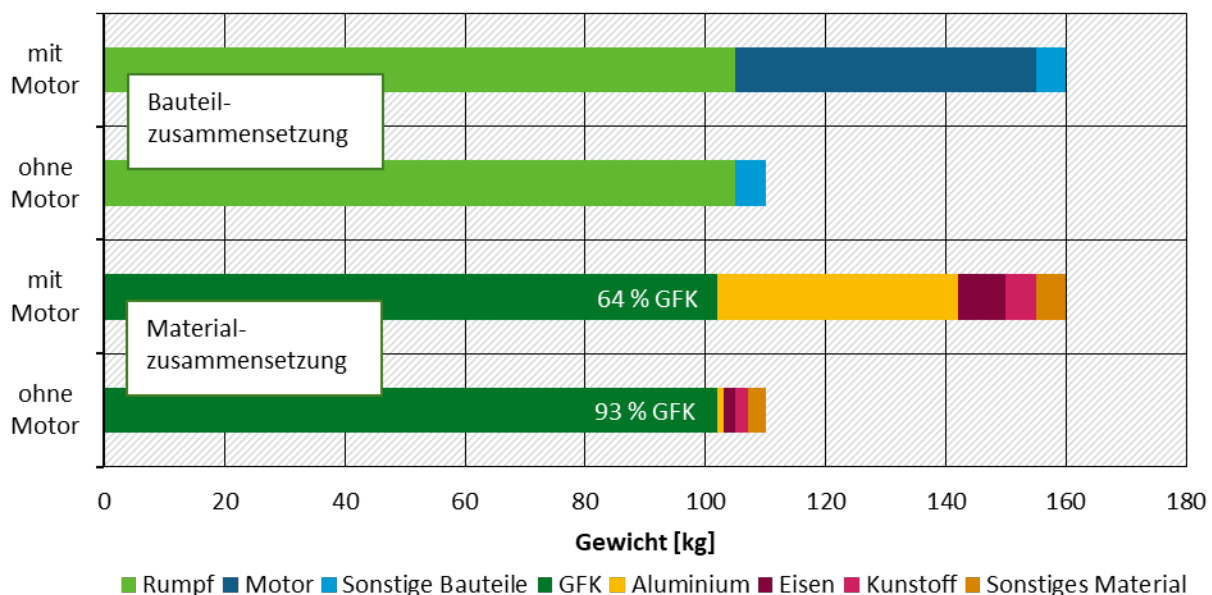
Ruder- und Tretboote

Es gibt verschiedene Arten von Ruderbooten aus Holz, Sperrholz oder vermehrt auch aus FVK. Moderne Rennruderboote müssen eine glatte Oberfläche und ein leichtes Gewicht haben, weshalb sie meist aus Kohlefasern bestehen (Boot.de, n.d.; Karlsruher Rheinklub Alemannia, n.d.). Auch bei Tretbooten gibt es verschiedene Ausführungen aus Holz, PE oder GFK. Tret- und Freizeitrunderboote können für einzelne oder mehrere Personen ausgelegt sein. Mittlerweile gibt es auch E-Tretboote, die mit einem Motor ausgestattet sind. Die Ausstattung dieser Boote entspricht aber mehr der Kategorie „Offene Sportboote und Daycruiser“ (KIELerleben, 2021).

Eine in Eklund et al. (2013) dargestellte Studie gibt Aufschluss über die Bauteil- und Materialaufteilung für kleine Boote (möglicherweise eine Art Ruderboot). Die Angaben entsprechen einmal einem Boot mit und einmal einem Boot ohne Motor.

Abbildung 12: Bauteil- und Materialzusammensetzung eines kleinen Bootes in Finnland [in kg]

Angaben für Boote mit und ohne Motor



Quelle: Eigene Darstellung nach Eklund et al. (2013)

Wie aus Abbildung 12 hervorgeht, ist das schwerste Bauteil der Boote in beiden Fällen der Rumpf (105 kg), welcher überwiegend aus GFK besteht. Boote mit Motor weisen einen bis zu 64 %-igen GFK-Anteil auf während bei Booten ohne Motor der prozentuale Gewichts-Anteil von GFK 93 % beträgt. Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von Kanus, Tretbooten und Ruderbooten ist in Anhang B.3 zu finden.

3.1.3.2.7 Surfbretter, Stand-Up-Paddle-Board

Erläuterung der Begriffe ‚Surfbretter, Stand-Up-Paddle-Board (SUP)‘

„Ein Surfbrett ist ein flaches, stromlinienförmiges Brett aus Holz oder Kunststoff, das beim Surfen verwendet wird“ (Duden, n.d.)

Ein Stand-Up-Paddle-Board (Stehpaddelbrett; SUP) ist breiter und schwerer als herkömmliche Surfbretter. Zudem ist zwischen Hardboards und aufblasbaren SUP-Brettern zu unterscheiden. Letztere lassen sich leichter transportieren und lagern, sind allerdings im Gegensatz zu Hardboards weniger steif. Wichtig ist, dass das Brett genügend Auftrieb bietet, um den Sportler zu tragen. Zusätzlich ist das SUP mit einem Stechpaddel aus Kunststoff ausgestattet (coop bau + hobby, n.d.; Water Sports Mallorca, 2021)

Der innere Kern macht mehr als 90 % eines Surfbretts aus. Dieser besteht i.d.R. aus einer der drei folgenden Grundtypen: expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS oder IX-PS) oder Polyurethan (PU) (Buster surfboards, n.d.). Die Beschichtung dieses Kerns besteht aus in Polyester- oder Epoxyd-Harz getränkten Glasfasern (Atlantik Surf, 2013). Die Bretter sind sehr leicht, haben dafür aber eine sehr kurze Lebensdauer (AUTOCAD Magazin, 2018). Es gibt daher auch einen Trend zu nachhaltigeren Boards, welche aus Holz bestehen (Stenftenagel, 2018).

Für die Optik und Verstärkung der Boards werden zum Teil CFK verwendet. In der Regel werden sie als sogenannte Carbon Stripes genutzt, die nur einen geringen Gesamtanteil des

Surfbretts ausmachen. Im Umweltforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wurde 2013 geschrieben: „Zur Stabilisierung und Verstärkung werden an genau berechneten Stellen Aramid- oder Carbonbänder angebracht, eher eine Kunststoffhaut, die dem Board das Finish verleiht“ (Pfitzner & Wilken, 2003).

Die Außenhülle von aufblasbaren SUP besteht aus PVC, wobei es mehrschichtige und einschichtige PVC-Aufbauten gibt. Zur Formgebung enthält das Innere eines SUP eine Vielzahl an Polyesterfäden, die Ober- und Unterseite des Boards miteinander verbinden (Travel into the blue, 2021). Hardboards bzw. laminierte SUP werden aus vielen verschiedenen Materialien gefertigt. Sie sind unter anderem in Holz-, CFK-, GFK- oder Polyester-Ausfertigung zu finden (Schweiztipps.ch, n.d.). Bei GFK- oder CFK-SUP besteht das Kernmaterial aus Hartschaum, welches mit in Epoxydharz getränktem GFK/CFK-Gewebe beschichtet wird. Bei sehr hochwertigen SUP wird auf das Kernmaterial gänzlich verzichtet, um Gewicht einzusparen (Travel into the blue, 2021).

Eine Auflistung der typischen Bauteile und Materialien von Surfbrettern und SUP ist in Anhang B.3 zu finden.

3.1.3.3 Rumpfmaterialien im Sportbootsbau

Der Rumpf der meisten modernen Sportboote ist in mehreren Schichten aus GFK laminiert. Die Vorteile von GFK für den Bootsbaus ist das relativ geringe Gewicht, die Eignung zum Serienbau und die Haltbarkeit. Üblicherweise wird der Rumpf aus GFK gefertigt. Es gibt aber auch Schwerter, Kabinenaufbauten, Decks, Cockpits oder Sitze die aus GFK bestehen können. Neben GFK gibt es auch Boote mit einem Rumpf aus ABS, Aluminium (z. B. Ponton- oder Fischerboote, da sie hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind) oder Holz (meist Mahagoni). Bei der traditionellen Holzbauweise wird teilweise Epoxidharz verwendet, z.B. um Holzfurniere zu verleimen (Reich, 2016). Bei großen Yachten wird vor allem GFK, Aluminium und Stahl für den Rumpf verwendet, bei kleineren Booten und Kanus teilweise auch nur PP oder PE (Reich, 2016).

Mittlerweise gibt es auch Boote, die einen CFK- statt GFK-Rumpf besitzen. Der zukünftige Einsatz von CFK davon hängt vor allem von preislichen Entwicklungen ab (Input Bootsverband 1, 2021). Ein weiterer Stakeholder geht ebenfalls davon aus, dass CFK künftig ein wichtiger Bestandteil von Booten sein wird (Input Recyclingunternehmen 1, 2021).

Bei der Fertigung von GFK-Booten wird als erstes eine Negativform des Rumpfes oder eines der anderen gewünschten Bauteile erstellt. Aus einer Form können mehrere identische Kopien eines Bootsmodells gefertigt werden. In diese Form wird eine Schicht Gelcoat, d.h. farbiges Kunstharz, gesprüht. Anschließend können verschiedene Lagen von Glasmatten in die Form gelegt und mit Polyester-, Epoxyd- oder Vinylester-Harz per Hand oder im Vakuuminfusionsverfahren getränkt werden. Alternativ zum Tränken kann mit einer Spritzpistole das Harz in die Negativform gesprüht werden (Faserspritzverfahren). Nachdem das Harz ausgehärtet ist, wird der Rumpf (bzw. andere Bauteile) aus der Form gehoben.

Eine besondere Form beim Bootsbaus ist die mehrschalige Sandwich-Bauweise, die besonders stabile und unsinkbare Boote ermöglicht. Dabei wird eine Außenschale und eine Innenschale (meist aus Kunststoffen oder Aluminium) gefertigt und mit Polyurethanschaum ausgeschäumt. Eine weitere Sandwich-Variante kann bei der Herstellung des GFK-Rumpfes umgesetzt werden. Dabei werden zusätzlich zu den Glasmatten verstärkende Gitter aus Stahl, Holz (z.B. Balsaholz), Hartschaum oder PVC einlaminiert. Diese Variante erzeugt besonders steife Strukturen (Reich, 2016).

Tabelle 7 gibt einen Überblick über GFK-Anteile in Sportbooten, die hauptsächlich auf GFK-Rümpfe zurückzuführen sind.

Tabelle 7: Verschiedene GFK-Anteile in Sportbooten

Boots-Kategorie	Nähere Beschreibung	(Durchschnittlicher) GFK-Anteil pro Boot in Masse-%	Land der Datenerhebung
Motorboote	„Selco queen 24 feet“	35 %	-
	Boote mit Innenbordmotor oder Heckmotor (größere Boote, oft über 1 Tonne)	25–40 %	Norwegen
Segelboote	-	50 %	Norwegen
Kleine Boote	Boot ohne Motor	93 %	Finnland
	Boot mit Motor	64 %	Finnland
	Boote mit Außenbordmotor (tendenziell kleinere und leichtere Boote)	50–90 %	Norwegen
	Kanus	Ca. 90 % (Input Bootsverband 1, 2021)	Deutschland
	Wassermotorräder	Rumpf aus GFK, Anteil unbekannt	

Quelle: Eklund et al. (2013) und Stakeholderinput

Für das Motorboot „Selco queen 24 feet“ wird ein GFK („Composite“)-Anteil von 35 % angegeben; d.h. 35 % des Gesamtgewichts lässt sich auf den GFK-Anteil im Boot zurückführen. Eklund et al. (2013) ist außerdem zu entnehmen, dass Boote mit Außenbordmotor (tendenziell kleinere und leichtere Boote) einen GFK-Anteil von 50–90 %, Boote mit Innenbordmotor oder Heckmotor (größere Boote, oft über 1 t) 25–40 % GFK-Anteil und Segelboote ca. 50 % GFK-Anteil aufweisen.

Mit möglichen Anteilen von über 90 % GFK spielt dieses Material eine essentielle Rolle bei möglichen Entsorgungswegen. Besonders kleine Boote weisen einen relativ hohen GFK-Anteil auf. Ein befragter Bootsverband geht davon aus, dass in Zukunft weitere Technologien zur Bootsherstellung und Materialien auf den Markt kommen, die das Recycling weiter erschweren können (Input Bootsverband 1, 2021).

Außer dem Rumpf und dem damit verbundenen Deck können auch Nasszellen im Inneren des Bootes aus GFK bestehen.

3.1.3.4 Lebensdauer

Angaben zur Lebensdauer von Booten können dazu beitragen den Gesamtbestand von Booten abzuschätzen. In den letzten Jahrzehnten konnte die Lebensdauer von Sportbooten durch die Nutzung von FVK erhöht werden (Eklund et al., 2013; Europäische Kommission, 2017). Heutzutage reicht die durchschnittlich geschätzte Lebensdauern von Booten von 30 Jahren (Europäische Kommission, 2017), über 40–45 Jahre (Europäische Kommission, 2017) bis zu 50 Jahren (Göbner, 2019). Laut der Schätzung eines befragten Bootverbands (Input Bootsverband 1, 2021) beträgt die allgemeine Lebensdauer eines Sportbootes ca. 30 Jahre.

Laut der Website „Kanulager“ beträgt die Lebensdauer von Kanus aus GFK, Kevlar oder CFK mehr als 30 Jahre, sofern sie gut gepflegt und regelmäßig kleinere Reparaturen durchgeführt

werden. Die Lebensdauer von Kanus aus PE wird auf mehr als 20 Jahre geschätzt (Kanulager, 2022). Da vor allem Rennruderboote fast immer eine Einzelanfertigung sind und dementsprechend eine gute Qualität aufweisen, können sie mehr als **50 Jahre** halten. Standardmäßige Ruderboote sollten bei guter Pflege mehr als **30 Jahre** genutzt werden können (Karlsruher Rheinklub Alemannia, n.d.).

Je nach Modell werden Wassermotorräder 150 bis 500 h genutzt. Mit durchschnittlichen jährlichen Nutzungszeiten von etwa 30 h, führt das zu Lebensdauern von 5 bis 16 Jahren. Im Mittel ergibt das eine Lebensdauer von 10,5 Jahren (Power Sports Guide, 2022).

Dem Autocad Magazin zufolge zerbrechen Surfbretter bei häufiger Beanspruchung nach einem halben Jahr bis Jahr und werden anschließend entsorgt oder verbleiben teilweise im Meer (AUTOCAD Magazin, 2018). Bei den SUP-Brettern ist die Lebensdauer höher, da sie solch hohen Beanspruchungen durch starke Wellen nicht ausgesetzt sind.

Laut einem Verkaufsportal von SUP haben aufblasbare SUP-Boards eine Lebensdauer von mindestens 5 Jahren. Bei Brettern mit PVC-Schichten sind noch längere Lebensdauern zu erwarten (SUP Board kaufen, 2022). Bei mehrschichtigen PVC-SUP weisen Hersteller*innen Garantien von bis zu 5 Jahren aus, was für eine mindestens genauso lange Lebensdauer spricht. Für andere PVC-Aufbauten (z.B. einlagige Hülle, verstärkt durch eine PVC-Schicht) bieten Hersteller*innen Garantien von 2 oder 3 Jahren. Sogenannte Hardboard oder „laminierte SUP“, welche oft CFK oder GFK enthalten, weisen kürzere Lebensdauern als aufblasbare SUP auf, da sie sehr empfindlich auf Steinkontakte und Beschädigungen reagieren.

Zusammenfassend lassen sich die folgenden Lebensdauern annehmen:

- ▶ Motorboote: ca. 25 Jahre
- ▶ Segelboote: ca. 40–50 Jahre
- ▶ Rennruderboote (und vermutlich auch Tretboote): ca. 50 Jahre
- ▶ Kanus, Ruderboote: ca. 30 Jahre
- ▶ Wassermotorräder: 5–16 Jahre. Der Motor hält 5–10 Jahre.
- ▶ Surfbretter: ca. 1 Jahr
- ▶ Aufblasbare SUP (eher ohne GFK/CFK): ca. 5 Jahre
- ▶ Hardboard/laminierte SUP (eher mit GFK/CFK): weniger als 5 Jahre

Mit Lebensdauern von durchschnittlich 30 bis 50 Jahren und dem Bootsboom in den 1970er Jahren lässt sich vermuten, dass in den nächsten Jahren einige Boote das Ende der Lebenszeit erreichen und entsorgt werden. Mit Baujahren zwischen 1970 und 1989 ist die größte Gruppe der aktuell aktiven Segelyachten (Stand 2016) seit 30–50 Jahren in Nutzung. Die größte Gruppe der in 2016 untersuchten aktiven Motorboote wurde zwischen 1990 und 1999 gebaut und ist damit im Schnitt seit 17 bis 26 Jahren in Nutzung (Mell, 2016). Diese Zahlen aus der Studie von Mell (2016) bestätigen, dass die meisten Boote seit über 20 Jahren in Nutzung sind und sich damit dem Ende ihrer Lebenszeit nähern. Da seit Mitte der 1960er Jahre GFK im Bootsbau eingesetzt wird (LAGA, 2019), ist anzunehmen, dass viele der Boote, die heutzutage als Altboot anfallen, GFK enthalten.

3.1.4 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

3.1.4.1 Abfallaufkommen von Sportbooten

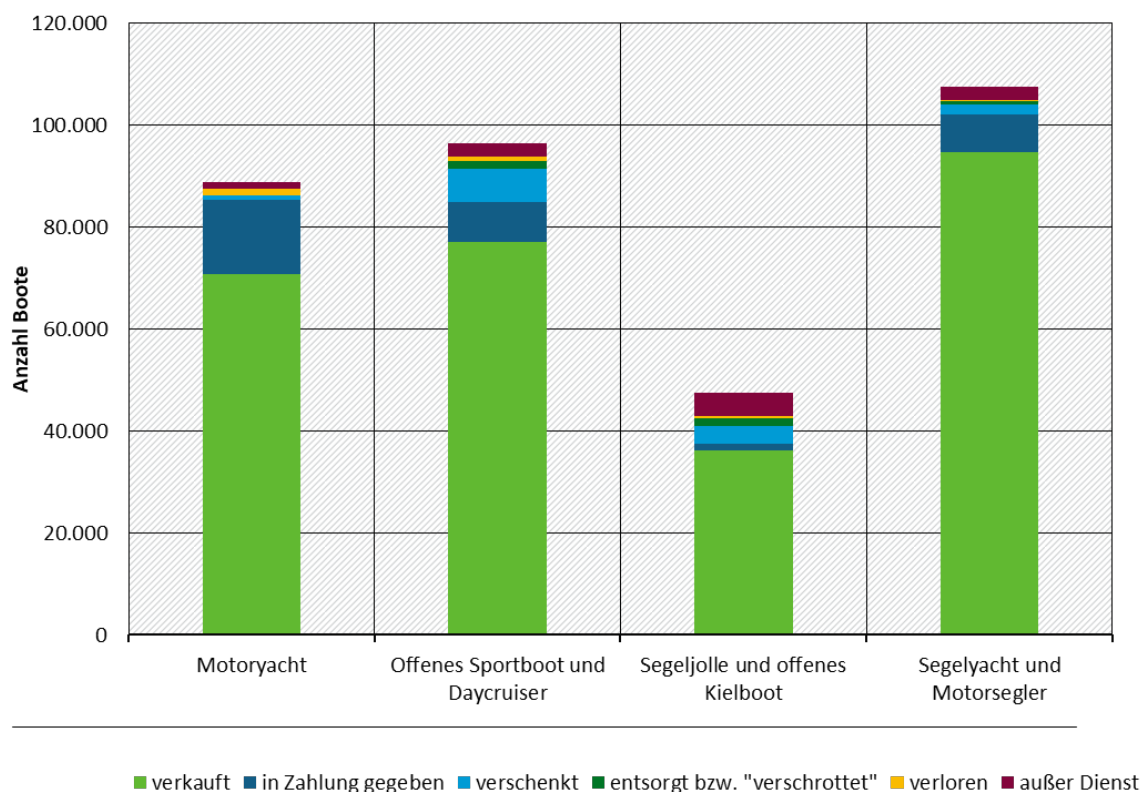
Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, gibt es im Unterschied zu anderen europäischen Ländern in Deutschland keine Registrierungs- und Abmeldepflicht für alle Sportboote, die für eine Abschätzung oder statistische Erfassung des gesamten Bestands- und Abfallmengen genutzt werden könnte. Es gibt daher keine vollständigen offiziellen Angaben, wie viele (Sport-)boote jährlich in Deutschland als Abfall anfallen, wodurch auch eine Abschätzung zukünftiger Abfallmengen erschwert wird. Dies kann sich nachteilig auf eine fachgerechte Entsorgung von Sportbooten auswirken, da ohne klare Mengenvorstellungen keine Investitionen in dem Bereich getätigt werden. Es gibt zudem keine statistischen Erhebungen dazu, wie viele Boote (als Abfall) exportiert, illegal entsorgt werden oder an Flüssen, Seen oder auf Privatgrundstücken lagern. Bootsverbände merken an, dass die fehlende Verpflichtung zur Bootsregistrierung auch die Identifikation der letzten Bootseigentümer*innen erschwert. Bei mindestens 50 % der ungenutzten Boote, die beispielsweise in Marinas lagern, könne der/die Eigentümer*in nicht herausgefunden werden bzw. sie haben keine*n Eigentümer*in mehr. Viele dieser Boote sind beispielsweise Gegenstand von Erbfällen. Die Anzahl der abgestellten Boote ohne klares Eigentumsverhältnis wird von Expert*innen auf durchschnittlich ca. 2–5 Boote pro Marina geschätzt. Bei ca. 2.000 Marinas in Deutschland ergibt das bis zu 10.000 herrenlose Boote, die vermutlich auch nicht mehr im besten Zustand sind. Laut Expert*innen beeinflussen ungeklärte Eigentumsverhältnisse – besonders im Fall von entsorgungswürdigen Booten – auch das Abfallaufkommen, da es mit Schwierigkeiten verbunden ist, fremdes Eigentum zu entsorgen. Marinas haben allerdings die Möglichkeit fremde Boote zu entsorgen oder zu versteigern, sofern offene Rechnungen z.B. für Liegegebühren bestehen (Input Bootsverband 4, 2022). Da sich bei Booten ein funktionierender Gebrauchtmärkte etabliert hat, ist anzunehmen, dass ein Boot i.d.R. bereits mehrere Besitzer*innen hatte, bevor es als Abfall anfällt. Um den/die letzten Besitzer*in jederzeit identifizieren zu können, wäre es sinnvoll eine fortlaufende Übersicht über alle Besitzer*innen zu haben. So kann sichergestellt werden, dass die Entsorgung über den/die letzten Besitzer*in abgewickelt werden kann.

Im Folgenden werden Abschätzungen verschiedener Quellen zum Abfallaufkommen von Sportbooten dargelegt.

Göbner (2019) schätzt die jährlich in Deutschland zu entsorgenden Altboote auf 10.000 Stück, basierend auf dem aktuellen Bootsbestand von ca. 500.000 Booten mit einer geschätzten durchschnittlichen Lebensdauer von 50 Jahren. Die ReBoat GmbH geht davon aus, dass ca. 20.000 bis 30.000 nicht mehr genutzte Sportboote in Deutschland lagern, ohne entsorgt zu werden. Das Unternehmen strebte an, im Jahr 2021 ca. 100 Boote zu entsorgen (Motorbootonline.de, 2021). Das Recyclingunternehmen KSH betreibt die Yacht-Entsorgung nach eigenen Angaben als „absolutes Nebengeschäft“ (DBSV, 2016), was darauf hindeutet, dass die zu entsorgenden Mengen nicht besonders hoch sind. Wie viele Sportboote tatsächlich jährlich von Abfallunternehmen angenommen werden, bleibt ungeklärt. Statistiken des deutschen Boots- und Schiffbauverbandes (DBSV) zufolge werden in Deutschland jährlich etwa 1.700 große Boote (über 7,5 m Länge) sowie rund 16.500 Kleinboote importiert und in Verkehr gebracht werden. Zusätzlich gelangen aus inländischer Produktion jährlich 1.200 große und 1.900 kleine Boote auf den Markt (LAGA, 2019). Das ergibt 2.900 große und 18.400 kleine Boote, die jährlich auf den deutschen Markt kommen (in Summe 21.300). Man kann jedoch nicht annehmen, dass die Marktzugänge identisch zu den Marktabgängen sind und damit das Abfallaufkommen darstellen, da viele Boote weiterverkauft und somit weiter genutzt werden.

Weitere Abschätzungen können mit Hinweisen über den Verbleib von Sportbooten aus der Studie von Mell (2016) getroffen werden (siehe Abbildung 13). Nur ein Bruchteil der Boote wird demzufolge direkt entsorgt. Ein Großteil wurde weiterverkauft oder in Zahlung gegeben. Von den insgesamt 340.130 bewerteten Vorgängerbooten wurden 3.698 Boote (1,1 %) entsorgt, 3.097 Boote (0,9 %) sind verloren gegangen und 10.937 (3,2 %) Boote wurden außer Dienst gestellt, aber nicht entsorgt. Betrachtet man nur die Verbleibstatistik für den Zeitraum von 10 Jahren zwischen 2006 und 2015 wurden insgesamt nur 2.160 Sportboote (v.a. Sportboote und Segeljollen) entsorgt, was pro Jahr eine Stückzahl von 216 entsorgten Sportbooten bedeuten würde.

Abbildung 13: Umgang von Bootseigner*innen mit ihrem Vorgängerboot



Quelle: Eigene Darstellung nach Mell (2016)

Neben den in Tabelle 8 aufgeführten Kategorien „entsorgt“, „verloren“ und „außer Dienst“ konnte auch „verkauft“, „in Zahlung gegeben“ oder „verschenkt“ als Antwortmöglichkeit gewählt werden. Da diese Kategorien nicht zur Bestimmung des Abfallaufkommens beitragen, werden sie hier nicht betrachtet. Es sollte aber beachtet werden, dass auch Schenkungen in diesem Kontext gewisse Zweifel an Zustand und Seetüchtigkeit erwecken.

Neben „entsorgt“ wird „verloren“ als relevant für das Abfallaufkommen eingestuft, da anzunehmen ist, dass verloren gegangene Boote hauptsächlich absichtlich (illegale Entsorgung) oder unabsichtlich versunkene oder anderweitig in der Umwelt hinterlassene Boote beinhalten. Versunkene Boote können zwar nur einer Entsorgung zugeführt werden, wenn sie gefunden werden, sind aber dennoch als potentielle Abfallmenge anzusehen. Wegen der geringen Gewässertiefe in Deutschland, kommt die Versenkung hierzulande allerdings vergleichsweise selten vor (Input eines Wassersportverbandes, 2022). In jedem Fall erwecken verloren gegangene Boote gewisse Zweifel an Zustand und Seetüchtigkeit.

„Außer Dienst“ gestellte Boote sind nicht zwingend Abfall, sondern beispielsweise ein eingelagertes Liebhaberstück, aber höchstwahrscheinlich eher am Ende ihrer Lebensdauer zu verorten und somit möglicherweise einer baldigen Entsorgung nahe.

Interessanterweise wurde keine einzige Motoryacht „entsorgt“ und auch die Menge der verlorenen und außer Dienst gestellten Motoryachten ist in absoluten Werten geringer als in den anderen Bootskategorien. Mit 1.614 Stück stellen „Segeljollen und offene Kielboote“ den größten Anteil an Booten, die entsorgt wurden. 1.435 offene Sportboote und Daycruiser sowie 649 Segelyachten und Motorsegler wurden ebenfalls entsorgt. Insgesamt fallen 17.632 Boote in die für das Abfallaufkommen relevant erscheinenden Kategorien.

Tabelle 8: Verbleib von Vorgängerbooten in den für das Abfallaufkommen als relevant eingestuften Kategorien „entsorgt“, „verloren“ und „außer Dienst“ in Deutschland

Boots-Kategorie	Unterkategorie	„entsorgt“ (Stück)	„verloren“ (Stück)	„außer Dienst“ (Stück)	Gesamt (Stück)
Motorboote	Motoryacht	0	1.435	1.133	2.568
	Offenes Sportboot und Daycruiser	1.435	808	2.623	4.866
Segelboote	Segeljolle und offenes Kielboot	1.614	544	4.574	6.732
	Segelyacht und Motorsegler	649	310	2.507	3.466
	Gesamt	3.698	3.097	10.937	17.632

Quelle: Mell (2016)

In **Europa** erreichen insgesamt etwa 80.000 Boote < 24 m Länge jährlich ihr Lebensende (Europäische Kommission, 2017). Der Deutsche Boots- und Schiffbauerverband (DBSV)(2016) schätzt hingegen, dass rund 25.000 Boote („vom Angelkahn bis zur Hochseeyacht“) in naher Zukunft in Europa zur Entsorgung stehen. Auch für Frankreich liegen unterschiedliche Zahlen vor. Während die Deutsche Recycling Service GmbH (2021) schätzt, dass alleine in Frankreich 40.000 bis 45.000 Altboote pro Jahr anfallen, berichtet das französische Netzwerks APER, dass von 2019 bis Ende 2022 6.500 Boote tatsächlich an 30 Rücknahmestellen in Frankreich recycelt wurden. Das entspricht ca. 1.600 Booten pro Jahr und – circa 54 Booten pro Rücknahmestelle und Jahr (APER & Composite Recycling, 2022). In den Niederlanden werden jährlich 3.500 Kunststoffboote entsorgt (DBSV, 2016). Die unterschiedlichen Zahlen werfen die Frage auf, ob das Erreichen des Lebensendes stets mit einer ordnungsgemäßen Entsorgung einhergeht und ob der Zweitmarkt mitbetrachtet wurde.

Aus den Angaben, dass 390.000 Menschen in Deutschland regelmäßig in ihrer Freizeit surfen (Pawlik, 2022) und der circa einjährigen Lebensdauer von Surfbrettern, kann geschlossen werden, dass jährlich etwa 390.000 Surfbretter in Deutschland entsorgt werden müssen (AUTOCAD Magazin, 2018).

Die verschiedenen Daten über die Menge von Altbooten in Deutschland können wie folgt zusammengefasst werden:

- ▶ 2.160 Sportboote wurden laut Mell (2016) in Deutschland zwischen 2006 und 2015 entsorgt. Diese Zahl basiert auf empirischen Erhebungen. Es kann abgeschätzt werden, dass pro Jahr ca. 216 Sportboote zur tatsächlichen Entsorgung in Deutschland anfallen.
- ▶ Das Potential an GFK-Mengen der ca. 216 pro Jahr tatsächlich entsorgten Motorbooten und Segelbooten liegt bei ca. 166 t pro Jahr (unter der Annahme, dass durchschnittlich pro demontiertem Sportboot ca. 0,77 t GFK-Abfälle anfallen (European Boating Industry, 2023)). Zählt man die große Anzahl kleiner Boote (wie bspw. Wassermotorräder, Kanus und Tretboote) hinzu, liegen die jährlichen GFK-Mengen deutlich darüber.
- ▶ Circa 3.097 Sportboote gelten laut Mell (2016) als verloren und 10.937 wurden „außer Dienst“ gestellt;
- ▶ Laut reBoat lagern ca. 20.000 bis 30.000 nicht mehr genutzte Sportboote in Deutschland (Motorbootonline.de, 2021). Bis zu 10.000 Stück davon haben möglicherweise ungeklärte Besitzverhältnisse und sind aus diesem Grund schwer zu entsorgen.
- ▶ Das Potential an GFK-Mengen der ca. 20.000 bis 30.000 nicht mehr genutzte Sportboote in Deutschland liegt zwischen 15.400 t und 23.100 t (unter der Annahme, dass durchschnittlich pro demontiertem Sportboot ca. 0,77 t GFK-Abfälle anfallen (European Boating Industry, 2023)). Zählt man auch ungenutzte kleine Boote (wie bspw. Wassermotorräder, Kanus und Tretboote) hinzu, liegen die potentiell zu entsorgenden und verwertenden GFK-Mengen deutlich darüber.
- ▶ Basierend auf der aktuellen Zahl der Surfer*innen und der Lebensdauer von Surfbrettern, könnten jährlich circa 390.000 Surfbretter in Deutschland zur Entsorgung anfallen. Hier ist allerdings mit sehr geringen Einsatz- bzw. Abfallmengen an GFK zu rechnen.

3.1.4.2 Abfallvermeidung

Es hat sich ein funktionierender Gebrauchtmärkte für Boote etabliert. Boote werden üblicherweise nach einer Nutzungsphase weiterverkauft, in Zahlung gegeben²⁵ oder verschenkt. Unabhängig vom Bootstyp ist der Weiterverkauf am üblichsten. Motoryachten werden auch häufig in Zahlung gegeben und offene Sportboote und Daycruiser werden im Vergleich mit anderen Sportbooten häufiger verschenkt. Von den im Jahr 2016 in Deutschland genutzten Booten wurden 77 % gebraucht und 23 % neu erworben (Mell, 2016). Mit üblichen Besitzdauern von 8 bis 12 Jahren (Mell, 2016) und Lebensdauern von 30 bis 50 Jahren (siehe Kapitel 3.1.3.3) erfährt ein Boot rein rechnerisch bis zu sechs²⁶ Besitzwechsel.

Der Weiterverkauf von Booten wird häufig auf Online-Plattformen²⁷ organisiert und kann zwischen Privatpersonen oder über kommerzielle Händler*innen stattfinden. Händler*innen von gebrauchten und von neuen Booten bieten oft auch Inzahlungnahmen an. Auf der Website gebrauchbootmarkt.de ist eine Inzahlungnahme für Motorboote aus Stahl oder GFK zwischen 5 m und 13 m, für Sportboote auf Trailern oder für Schlauchboote möglich. Segelboote können nicht abgegeben werden (Gebrauchbootmarkt, 2022).

Neben dem funktionierenden Gebrauchtmärkte gibt es auch eine etablierte Reparaturkultur für Boote. Bootsbesitzer*innen nehmen regelmäßige Reparaturen und Wartungsarbeiten vor (Input

²⁵ Bei der Inzahlungnahme wird der Wert des alten Bootes mit dem Kaufpreis des neuen verrechnet oder als fester Bonus vom Neupreis abgezogen.

²⁶ Die maximale Lebensdauer von 50 Jahren wurde durch die minimale Besitzdauer von 8 Jahren geteilt.

²⁷ Beispiel-Plattformen: <https://www.boot24.com/> oder <https://www.inautia.de/boote-gebraucht/>

Bootsverband 1, 2021). Die LAGA (2019) bestätigt, dass bei gut gepflegten Booten in der Regel kaum Verschleiß oder nachlassende Festigkeit bei den GFK-Teilen auftritt. Gepflegte und unbeschädigte GFK-Boote können auch bei bereits weit zurückliegender Produktion lange im Einsatz bleiben (LAGA, 2019). Im Durchschnitt werden für Reparaturen, Pflege und Ausrüstung zwischen 1.000 €/Jahr (8 m-Boote) und 3.000 €/Jahr (12 m-Boote) ausgegeben (Mell, 2016). Im Internet finden sich unzählige Anleitungen zur Eigenreparatur, Anbieter von Ersatzteilen und für den kompletten Reparaturservice (z.B. (Ecotec, 2022)). Es gibt auch Unternehmen, die Boote komplett wieder Instand setzen²⁸. 2016 betrug das jährliche Marktvolumen für Bootsarbeiten rund 662 Mio. €/Jahr (Mell, 2016).

3.1.4.3 Erfassung

Es gibt in Deutschland keine offiziellen Erfassungssysteme für zu entsorgende Sportboote. Es gibt auch keine Verpflichtung ein Boot abzumelden oder als entsorgt zu melden. Die Entsorgung von Altbooten ist in Deutschland rein privatwirtschaftlich organisiert. Kommunale Annahmestellen (z.B. Wertstoffhöfe) nehmen Altboote oder ihre Bestandteile selten an (Input Bootsverband 1, 2021). Faltboote (nicht Untersuchungsgegenstand dieser Studie) können hingegen als Sperrmüll entsorgt werden (Kreis Plön, n.d.), bestehen i.d.R. allerdings auch nicht aus FVK.

Es konnten vier Unternehmen (KSH²⁹, ReBoat GmbH³⁰, Neocomp³¹, Roth international³²) ermittelt werden, die in Deutschland Anlagen zur Bootsverwertung betreiben und zwei (Bootsverwertung/Lokai Wassersportler UG³³, AES³⁴), die die Bootsentsorgung für Kund*innen übernehmen (siehe Abbildung 14). Die beiden letztgenannte Unternehmen unterhalten Kooperationen mit Werften, die die Entsorgung übernehmen. Die bestehenden Anlagen befinden sich in Bremen, Schleswig (Schleswig-Holstein), Tangstedt (Schleswig-Holstein) und Wernberg-Köblitz (Bayern) (siehe Abbildung 14). Roth international behandelt entsorgte Sportboote, aber auch große Binnenschiffe oder Flugzeuge und holt diese weltweit ab (Input Recyclingunternehmen 1, 2021). In Bremerhaven ist eine weitere Anlage zur Behandlung und Entsorgung von Sportbooten in Planung, während in Niedersachsen (Cuxhaven) demnächst Altschiffe recycelt werden sollen (Leviathan, 2022). In Hamburg scheint es ebenfalls Überlegungen zu geben, Altschiffe auf einer Werft zu behandeln. Da die Behandlung von Altschiffen nicht mit der Entsorgung von Sportbooten zu vergleichen ist, sind die geplanten Anlagen für Altschiffe in Abbildung 14 farblich markiert. In Anlagen für Altschiffe werden üblicherweise nur große Schiffe behandelt und keine Sportboote.

²⁸ Beispiel: <https://www.bootsmanufaktur.com/leistungen>

²⁹ <https://www.ksh-schleswig.de/service.html>

³⁰ www.re-boat.de

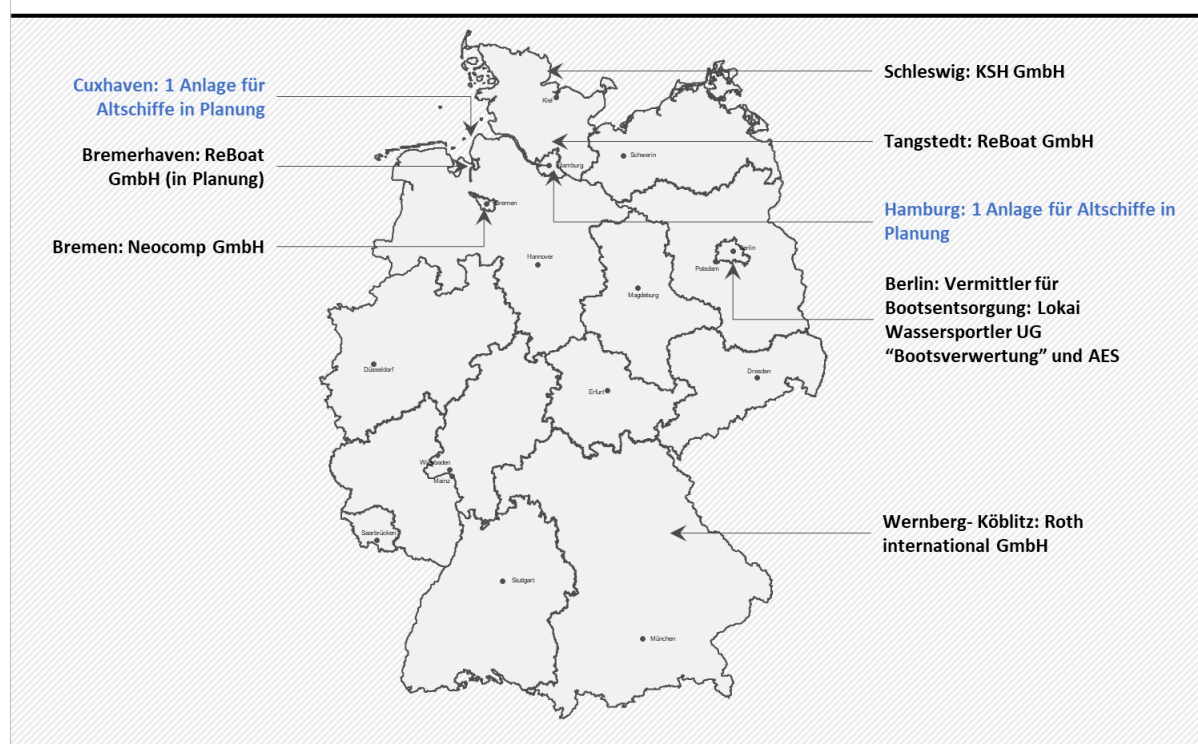
³¹ <https://www.neocomp.eu/>

³² <https://www.roth-international.de/>

³³ <https://www.bootsverwertung.de/>

³⁴ <https://www.aes-abwrackung.de/>

Abbildung 14: Anlagen zur Behandlung und Entsorgung von Sportbooten (schwarze Einträge) und Altschiffen (blaue Einträge)



Quelle: Eigene Darstellung

Soll ein Boot einer Entsorgung zugeführt werden, muss sich der*die Besitzer*in eigenständig Entsorgungsunternehmen kontaktieren und mitunter hohe Entsorgungskosten tragen. Wie in Tabelle 9 dargestellt, können je nach Bootstyp Entsorgungskosten zwischen 300 und 2.200 € pro Boot anfallen. Die Firmen KSH und Neocomp GmbH nehmen nach eigener Aussage derzeit Boote für 150 €/t an. Zusätzlich müssen bei allen genannten Preisen die Kosten des Transportes zum Entsorgungsunternehmen einkalkuliert werden. Die Kosten liegen in anderen europäischen Ländern (z.B. den Niederlanden) ähnlich (DBSV, 2016).

Tabelle 9: Exemplarische Kosten für die Bootsentsorgung im Jahr 2016

Kategorie	Entsorgungskosten
Kosten Kieler Schrotthandel (KSH)	150 €/t
Kosten Neocomp GmbH bei Yachten mit GFK-Rumpf	150 €/t
Kosten Neocomp GmbH bei kleineren GFK-Booten in Beiboot-Größe	300 €/Boot
Kosten Neocomp GmbH bei GFK-Yachten um die 10 m	1.500 €/Boot
Kosten Neocomp GmbH bei großen Yachten um die 16 m	2.200 €/Boot

Quelle: DBSV (2016)

Je nach Bootstyp kann ein*e Besitzer*in allerdings auch Geld vom Entsorgungsunternehmen erhalten. Bei der Annahme prüft das Entsorgungsunternehmen, welche werthaltigen Teile den Entsorgungspreis für den*die Besitzer*in reduzieren können. Bei Booten mit Bleikiel schreiben Schrotthändler ca. 1,20 €/kg (Stand 2016) und bei Edelstahl- (z.B. Beschläge) und Aluminium-Teilen (z.B. Rigg) ca. 0,60 €/kg gut (DBSV, 2016). Auch die ReBoat GmbH wirbt auf ihrer

Website damit, dass durch die Rückgewinnung hochwertiger Baumaterialien Entsorgungskosten gespart oder sogar ein Gewinn für den*die Bootsbesitzer*in entstehen kann (ReBoat, 2022).

Nach dem Abfallrecht wird ein Binnenschiff, das Abfall geworden ist, entweder unter dem Abfallschlüssel 16 01 04* (Altfahrzeuge, enthält gefährliche Bestandteile) oder dem Abfallschlüssel 16 01 06 (Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten) der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) eingestuft (Bundesregierung, 2020). Für Sportboote gibt es Überlegungen zu einer ähnlichen Einstufung bzw. in einigen Bundesländern ist es bereits üblich Sportboote unter den genannten Nummern einzustufen

Laut mehreren Stakeholdern (Input Bootsverband 1 und 4, 2021) und der Zeitschrift mare (Uken, 2021) ist der Aufwand, ein passendes Entsorgungsunternehmen zu finden, sowie der hohe Entsorgungspreis für einige Bootsbesitzer*innen abschreckend, sodass die Gefahr besteht, dass Altboote illegal beseitigt werden (z.B. Versenkung im Gewässer³⁵) oder in Marinas, Garagen oder sonstigen Lagerplätzen verrotten (wenn sie auf dem Gebrauchtmart nicht weiterverkauft werden konnten). Laut der Europäischen Kommission (2017) kann dies zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt führen, z. B. durch Verschmutzung durch Öle und andere gefährliche Stoffe, Gefährdung der Schifffahrt, Gefährdung der Fauna durch Kunststoffeintrag. Laut LAGA (2019) und einem Bootsverband sind Entsorgungs- und Umweltprobleme durch Sportboote in Deutschland bisher jedoch nicht bekannt geworden (Input Bootsverband 2, 2021).

3.1.4.4 Demontage und Recycling

Für die Abfallbehandlung von Sportbooten konnten keine spezifischen Vorschriften in Deutschland identifiziert werden. Für größere Schiffe gibt es hingegen auf internationaler Ebene das internationale Übereinkommen von Hongkong über das sichere und umweltgerechte Recycling von Schiffen (Hongkonger Übereinkommen) und auf Europäischer Ebene die „Verordnung (EU) Nr. 1257/2013 über das Recycling von Schiffen (EU-Schiffsrecycling-Verordnung) (für Schiffe mit einer Bruttoreaumzahl (BRZ) < 500)“. Dazugehörige Durchführungsbeschlüsse (EU) 2016/2323 und 2019/995 beinhalten eine Liste von geeigneten Abwrackeinrichtungen.

Wie in vorherigen Kapiteln dargestellt, bestehen Sportboote aus einer Vielzahl an Bauteilen und Materialien, die unterschiedlich gut recycelbar sind. Aktuell werden Sportboote nur vereinzelt demontiert und recycelt. Im Folgenden wird die Praxis dieser derzeit vereinzelt durchgeführten Entsorgung von GFK-Booten beschrieben, allerdings kann dies nicht als allgemeiner Stand der Praxis angesehen werden. Ausführliche Handlungsanleitungen zur Demontage von Sportbooten werden in Kapitel 4.3 dargestellt.

Sofern eine ordnungsgemäße Entsorgung angestrebt wird (d.h. kein dauerhaftes Lagern im privaten Bereich, in Marinas oder auf Gewässern), werden heutzutage meist drei Entsorgungswege für Sportboote genutzt:

- ▶ Der*die Bootsbesitzer*in hat das Boot bereits selbst zerkleinert (z.B. GFK-Rumpf zersägt) und gibt die Teile als Haushalts- oder gemischten Gewerbeabfall ab (LAGA, 2019). GFK-Teile werden somit derzeit wahrscheinlich direkt oder indirekt der energetischen Verwertung zugeführt und Gesundheits- und/oder Umweltgefahren bei der Zerkleinerung werden ggfs.

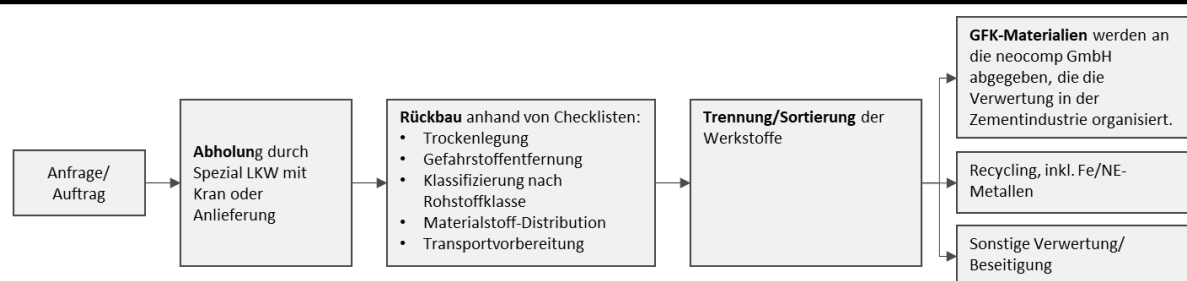
³⁵ Wegen der üblicherweise geringen Wassertiefen in Deutschland wird dieses Problem hierzulande als gering eingeschätzt.

nicht beachtet. Laut einem Yachtunternehmen werden GFK-Teile kostenpflichtig dem Sondermüll zugeführt (Input Yachthändler, 2022).

- ▶ Der*die Bootsbesitzer *in gibt das Boot (kostenpflichtig) an ein zertifiziertes Entsorgungsunternehmen ab. Dieses verkauft die werthaltigen Teile (Recycling, Wiederverwendung) und führt die restlichen Bestandteile einer gesetzeskonformen Verwertung zu.
- ▶ In Einzelfällen werden kleine Sportboote auch in Altauto-Demontageanlagen oder in kleineren Werften rückgebaut.

Wie in Abbildung 15 ersichtlich, wird in einem derzeit in Deutschland betriebenen Entsorgungsunternehmen als erster Schritt nach der Abholung/Anlieferung das Boot demontiert/rückgebaut, von schadstoffhaltigen Bauteilen und Materialien (z.B. Motorenöle) befreit und trockengelegt. Teilweise werden Sportboote bereits vor der Abholung zerlegt. Das gilt als günstiger (boote-magazin, 2020) bzw. ist bei solchen Sportbooten notwendig, die aufgrund ihres Zustandes beim Transport zerbrechen könnten. Diese Praxis ist aus genehmigungsrechtlicher Perspektive allerdings nicht immer möglich (siehe Kapitel 4.3).

Abbildung 15: Entsorgungskonzept der ReBoat GmbH



Quelle: Eigene Darstellung nach ReBoat (2022)

Anschließend werden Aufbauten sowie der Innenausbau entfernt. Werthaltige Teile werden separiert und soweit möglich gewinnbringend verkauft. Laut reBoat (2022) kann je nach Größe, Gewicht und Grundbaustoff des Bootes der Rückbau inkl. Materialtrennung von wenigen Stunden bis zu drei Tagen dauern. Das Unternehmen arbeitet zurzeit mit insgesamt 20 Partnerfirmen zusammen, die für die Verwertung der Materialien und die Logistik zuständig sind (Motorbootonline.de, 2021).

In der derzeitigen Verwertungspraxis werden freigelegte GFK-Rümpfe zerschnitten und vor- und nach zerkleinert (Input Recyclingunternehmen 1, 2021). Für die Zerkleinerung von GFK setzt das Unternehmen Roth International beispielweise spezielle Schneidetechniken ein (Roth International, n.d.), da gewöhnliche Sägeblätter schnell stumpf werden (boote-magazin, 2020). Weitere Technologien zur Zerkleinerung von GFK-Rümpfen und damit verbundenen (Umwelt-) Risiken werden unter Kapitel 4.3.3.3 und 4.3.3.4 besprochen.

Die Entsorgung findet heutzutage überwiegend durch energetische Verwertung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) statt (Eklund et al., 2013; Europäische Kommission, 2017). Die Anlieferung von GFK-Material ist kostenpflichtig und sollte nicht in Monochargen sondern geringen Mengen erfolgen. Details zur GFK Verwertung finden sich in Kapitel 4.3.3.4.

Das Unternehmen reBoat übergibt abgetrennte GFK-Materialien hingegen der neocomp GmbH, welche diese zerkleinert und anschließend als Substitut in die Zementindustrie einbringt. Eisen

und Nicht-Eisen-Metalle werden über etablierte metallurgische Routen recycelt. Die Anlieferung von GFK-Material zu Zementwerken ist ebenso kostenpflichtig wie die Verwertung in MVA, da es sich laut Gesetz um einen zuzahlungspflichtigen Entsorgungsakt handelt. Des Weiteren berichtet ein Stakeholder, dass sein Unternehmen GFK-Abfälle in die Stahlindustrie abgibt (Input Recyclingunternehmen 1, 2021).

Alternativ können auch kleine GFK-Partikel als zusätzliche Komponenten für Straßenbaumaterial und zu Pulver zermahlene GFK zur Herstellung bestimmter Arten von Kunststein (z. B. für Küchenspülen) wiederverwendet werden (Europäische Kommission, 2017). Es ist unklar, inwieweit dies in Deutschland praktiziert wird.

3.1.5 Herausforderungen im Umgang mit Altsportbooten

Basierend auf den vorherigen Kapiteln werden hier jeweils die größten Herausforderungen im Umgang mit Sportbooten bzw. Altsportboot aufgezeigt.

a) Geringe Erfassungsquote von Altbooten

Laut der Europäische Kommission (2017) wird europaweit (und damit auch in Deutschland) eine große Anzahl von Altbooten nicht abgewrackt, sondern in Häfen und Jachthäfen, auf Privatgrundstücken, in Werften usw. zurückgelassen oder illegal deponiert oder versenkt³⁶, was den Hafen- und Stadtverwaltungen regelmäßig hohe Kosten verursacht (Europäische Kommission, 2017). Expert*innen gehen davon aus, dass in Deutschland zwischen 20.000 und 30.000 Boote lagern, die nicht mehr genutzt, aber nicht entsorgt werden.

Bis zu 80 % der Bootsbesitzer*innen geben an, dass hohe Entsorgungskosten und ein vermeintlicher Aufwand Hürden zur ordnungsgemäßen Entsorgung von Sportbooten sind (Mell, 2016). Zudem gibt es in Deutschland keine erweiterte Herstellerverantwortung und somit keine Institution, welche für die Sammlung und regelkonforme Entsorgung von Sportbooten zuständig ist. Da nicht alle Sportboote in Deutschland registriert werden müssen, ist es oftmals schwierig die Eigentümer*in von verlassenen und aufgefundenen Booten zu identifizieren. Z.B. in Marinas befinden sich oft Boote mit ungeklärten Besitzverhältnissen, die möglicherweise entsorgungswürdig sind.

b) Fehlende statistische Erfassung erschwert Abschätzung zukünftiger Abfallmengen

Es gibt weder eine vollständige statistische Erfassung des Bestandes noch des Abfallaufkommens oder Exportes an Sportbooten. Zudem gibt es keine Registrierungspflicht für Sportboote unter 15 m, aus der plausible Schätzungen abgeleitet werden könnten. Für den vorliegenden Bericht konnten Zahlen aus einer empirischen Studie zu Sportbooten genutzt werden. Es ist allerdings unklar, ob diese in Zukunft regelmäßig aktualisiert wird. Die unklare Datenlage zum Abfallaufkommen erschwert die Abschätzung, wie groß das Entsorgungsproblem von Altbooten in Zukunft sein wird. Dies beeinträchtigt wiederum die Investitionssicherheit von Boots-Entsorgungsunternehmen, die für die firmeninternen Prozesse einschätzen müssen, welche Abfallmengen sie erwarten können.

c) Konsequente hochwertige Verwertung

Wie oben beschrieben wird eine große Anzahl an Booten keiner ordnungsgemäßen Demontage und Aufbereitung unterzogen. Dies liegt vor allem daran, dass die Wirtschaftlichkeit von Bootsdemontagen nicht gegeben ist, Standards für die Aufbereitung und den Sachkundenachweis fehlen und Demontagebetriebe nicht als solche ausgewiesen werden können. Theoretisch wäre eine kostenneutrale Bootsentsorgung möglich, da Boote werthaltig

³⁶ Aufgrund der Wassertiefe in Deutschland eher die Ausnahme.

Bauteile und Materialien enthalten. Die unklare Rechtslage und die Tatsache, dass Boote nicht immer spezialisierten Entsorgungsunternehmen übergeben werden, bewirken, dass nur eine geringe Anzahl an spezifischen Unternehmen für die Verwertung von Sportbooten existiert und eine zielgerichtete und professionelle Demontage somit nicht Stand der Technik ist. Zudem sind keine schlüssigen Demontagestandards oder andere Handlungsanleitungen für das Abwracken verfügbar, die Unternehmen das Demontage- und Recyclinggeschäft von Sportbooten erleichtern könnten. Einem Stakeholder zufolge bestehen folgende Hindernisse (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022):

- ▶ Die *Logistik* rund um die Bootsentsorgung verursacht Zeit und Kosten. Zusätzliche Fahrten, z.B. für die Erstinspektion und Besichtigung des Bootes vor Ort, erhöhen die Kosten noch weiter. In Frankreich hat sich gezeigt, dass vor allem wegen des Transportaufwands weniger Boote zurückgegeben werden (über das APER-System) als es statistische Erhebungen vermuten ließen und das, obwohl es über 60 Rücknahmestellen in Frankreich gibt. Kostentreiber sind der Einsatz von LKW und Telekränen, weniger entscheidend ist die Fahrdistanz.
- ▶ Da viele Boote aus GFK-Rümpfen bestehen, macht es sich bei der Bootsentsorgung schnell bemerkbar, dass die *GFK-Entsorgung* unwirtschaftlich ist. Zusätzliche Kosten schrecken Recycler und Bootsbesitzer*innen von einer Bootsentsorgung ab.
- ▶ Die *Spezialisierung* der Recyclingunternehmen auf Bootsentsorgung fehlt oftmals. Einige Recyclingunternehmen (z.B. Schrotthändler) führen aktuell Bootsentsorgung im Nebengeschäft durch. Da sie dies sporadisch und nicht regelmäßig machen, bleiben ihre Dienste zumeist auf mittelmäßigem technischem Niveau bei hohen Kosten.

Negative Konsequenzen einer ausbleibenden oder falschen Entsorgung kann die Freisetzung von Schwermetallen, Dioxinen oder Furanen in die Umwelt sein (z.B. durch in Gewässern versenkte Boote oder unkontrolliert selbst verbrannte Boote) (Europäische Kommission, 2017). Weiterhin enthalten entsorgungswürdige Sportboote, die ungenutzt lagern, wertvolle Ressourcen, die zurückgewonnen werden sollten. Weiter ist mit dem Eintrag von Mikro- und Makrokunststoffen in die Umwelt zu rechnen.

3.2 Produktgruppe B: Leichtflugzeuge

3.2.1 Definition und Kategorisierung von Leichtflugzeugen

In Deutschland werden die Flugzeuge nach der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) kategorisiert. Dabei werden Buchstaben vergeben, welche im Eintragungsverzeichnis gelistet werden müssen:

- ▶ A, B, C: Flugzeuge ab 5,7 bis über 20 t höchstzulässige Startmasse
- ▶ **E: einmotorige Flugzeuge bis 2 t**
- ▶ **F: einmotorige Flugzeuge von 2 bis 5,7 t**
- ▶ **G: mehrmotorige Flugzeuge bis 2 t**
- ▶ **I: mehrmotorige Flugzeuge von 2 bis 5,7 t**
- ▶ H: Drehflügler
- ▶ **K: Motorsegler**

- ▶ L: Luftschiffe
- ▶ M, N: motorgetriebene und nichtmotorgetriebene Luftsportgeräte
- ▶ U: unbemannte Luftfahrtsysteme nach § 1 Absatz 1 Nummer 8a
- ▶ O: Bemannte Ballone

Der Buchstabe D (für „Deutschland“) muss an alle Deutschen Flugzeuge, Drehflügler, Luftschiffe, Motorsegler, unbemannte Luftfahrtsysteme nach § 1 Absatz 1 Nummer 8a und bemannte Ballone angebracht werden.

In diesem Projekt werden die Leichtflugzeuge bis 5,7 t Abfluggewicht betrachtet. Das beinhaltet die Luftfahrzeuge der Kategorien E, F, G und I (Flugzeuge bis 5,7 t) und Motorsegler der Kategorie K. Heißluftballone der Klasse O, Luftschiffe der Klasse L (Zeppelin), Drehflügler der Klasse H (Hubschrauber) und Luftsportgeräte der Kategorie M und N sind ebenso nicht Gegenstand dieses Projektes wie schwere Flugzeuge der Klassen A, B und C.

Es gibt zusätzlich noch die Kategorie der Segelflugzeuge, für welche jedoch Nummern anstatt Buchstaben vergeben werden (z.B.: D-1234). Diese werden ebenfalls in diesem Projekt mitberücksichtigt, da sie ebenfalls ein deutlich geringeres maximales Abfluggewicht als 5,7 t haben und größtenteils aus FVW gefertigt werden.

3.2.2 Rechtliche Vorgaben Registrierung

Zulassungspflichtig nach §1 LuftVZO sind alle in Kapitel 3.2.1 gelisteten Luftfahrzeuge.

(Leicht)Flugzeuge der Kategorien E, F, G, I, K und die Segelflugzeuge müssen beim Luftfahrtbundesamt (LBA) zugelassen werden.

Luftsportgeräte der Kategorien M und N werden von beauftragten Verbänden wie z.B. dem Deutschen Aero Club e.V. und dem Deutschen Ultraleichtflugverband e.V. zugelassen (Input Behörde, 2021). Die Kategorie M umfasst dabei Luftsportgeräte mit einem Maximalgewicht von 600 kg und schließt unter anderem Tragschrauber und Segelflugzeuge mit Klapptriebwerk ein. Bei der Kategorie N ist ein maximales Leergewicht von 125 kg und eine minimale Geschwindigkeit von 55 km/h festgesetzt (Input Leichtflugzeugverband, 2022).

Generell ist die Zulassung an die Lufttüchtigkeit gekoppelt (Input Behörde, 2021). Das bedeutet, dass ein Flugzeug nur dann eine Kennzeichnung erhalten kann, wenn es die Prüfung zur Lufttüchtigkeit gemäß §3 Abs. 2 Nummer 1. der LuftVZO bestanden hat.

Zusätzlich müssen alle Flugzeuge, Drehflügler, Luftschiffe, Motorsegler, Segelflugzeuge, unbemannte Luftfahrtsysteme nach § 1 Abs. 1 Nummer 8a LuftVZO und bemannte Ballone im Luftfahrzeugregister des Luftfahrt-Bundesamt (LBA) eingetragen werden (§14 LuftVZO).

3.2.3 Informationen zum Bestand und Aufbau von Leichtflugzeugen in Deutschland

3.2.3.1 Bestand Leichtflugzeuge

Folglich liegen dem LBA Daten zu den registrierten Luftfahrzeugen vor. Jährlich veröffentlicht das LBA die Daten zu den zugelassenen Luftfahrzeugen je Kennzeichenklasse (siehe Tabelle 11). Für das Jahr 2020 waren die folgenden projektrelevanten Luftfahrzeuge zugelassen:

Tabelle 10: Anzahl der in Deutschland zugelassenen projektrelevanten Luftfahrtgeräte in 2020

Kennzeichenklasse (Beschreibung)	Anzahl der Zulassungen
E (einmotorig bis 2 t)	6.549
F (einmotorig von 2 bis 5,7 t)	215
G (mehrmotorig bis 2 t)	221
I (mehrmotorig von 2 bis 5,7 t)	391
K (Motorsegler)	3.781
Segelflugzeuge	7.150

Quelle: (Deutscher Aero Club, 2020; Luftfahrt-Bundesamt, 2021)

Aus Tabelle 10 kann erkannt werden, dass die am häufigsten zugelassene Leichtflugzeugkategorie in Deutschland das Segelflugzeug ist, gefolgt von kleinen einmotorigen Maschinen und Motorseglern. Motorsegler zeichnen sich dadurch aus, dass diese einen Motor besitzen, dieser jedoch während des Fluges abgestellt werden kann und sich das Flugzeug dann wie ein Segelflugzeug verhält. Insgesamt liegt somit der Bestand an zugelassenen projektrelevanten Leichtflugzeugen bei 18.307 Stück in 2020.

Für die Kennzeichenklassen E, F, G, I, K und für die Segelflugzeuge wurden 2019 insgesamt 355 Abmeldungen verzeichnet (Input Behörde, 2021). Daten zu den Verkaufszahlen von Neuflyzeugen pro Jahr in Deutschland liegen nicht vor, jedoch nennt ein Stakeholder einen Schätzwert von 50–100 neuen Leichtflugzeugen pro Jahr (Input Zeitschrift, 2021). Da die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Leichtflugzeuge seit 1995 relativ stabil ist (Luftfahrt-Bundesamt, 2021), kann davon ausgegangen werden, dass ähnliche viele Flugzeuge neu angemeldet wie abgemeldet werden. Wenn der oben genannte Wert von 355 Abmeldungen als ein Richtwert für die neu zugelassenen Leichtflugzeuge der Kennzeichenklassen E, F, G, I, K und für die Segelflugzeuge für die Jahre seit 1995 angenommen wird erscheint ein Wert von 50–100 neu gekauften Leichtflugzeugen als glaubhaft, da die Neuanmeldungen auch Anmeldungen von Gebrauchtflugzeugen beinhalten können.

Tabelle 11: Daten zu den neu zugelassenen und abgemeldeten Leichtflugzeugen in 2020

Kennzeichenklasse	Abmeldungen	Zulassungen	Verkaufszahlen Neuflyzeuge
E, F, G, I, K und Segelflugzeuge	355	355*	50–100**

* Dies ist eine Schätzung basierend auf den relativ konstanten Bestandsdaten der Flugzeuge dieser Klasse. Dadurch kann angenommen werden, dass die Zahl der Abmeldungen in etwa der Zahl der Zulassungen entspricht.

** Schätzung eines Stakeholders

Quelle: (Input Behörde 2021; Input Zeitschrift 2021)

3.2.3.2 Aufbau Leichtflugzeuge

Die Zusammensetzung der eingesetzten Materialien von (Leicht)Flugzeugen hängt größtenteils vom Baujahr und Flugzeugtyp ab. Segelflugzeuge und Motorsegler, welche vor den 1960er Jahren hergestellt wurden, bestehen hauptsächlich aus Holz, Metall und anderen Mischbauweisen. Ab den 1960er Jahren wurde dann vermehrt GFK und ab 1980 auch CFK eingesetzt (Input Behörde 2021, Input Flugzeugherstellendes Unternehmen 2021, Input Flugzeugreparaturbetrieb 2021, Input Fluglandeplatz 2021, Input Zeitschrift 2021). Eines der

ersten Segelflugzeuge aus GFK ist der Bölkow Phöbus, welcher ab 1964 serienmäßig hergestellt wurde.

Bei den Motorflugzeugen hängt die Bauweise vom herstellenden Unternehmen ab, jedoch zeichnet sich auch seit mehreren Jahren hier ein Trend zur vermehrten Verwendung von FVK ab (Input Behörde, 2021).

Generell sollte festgehalten werden, dass der CFK- und GFK-Anteil eines Leichtflugzeugs davon abhängt, wann es gebaut wurde und um was für einen Typ von Leichtflugzeug es sich handelt.

3.2.3.2.1 Segelflugzeuge

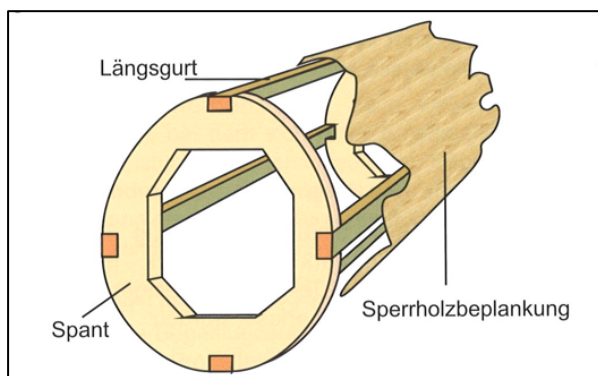
Der Erstflug mit einem zivilen Segelflugzeug aus tragenden CFK-Bauteilen wurde im Jahr 1972 mit dem Segelflugzeug SB 10 von Akaflieg Braunschweig unternommen (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Das erste Segelflugzeug aus CFK in Serie wurde in Finnland ab 1974 produziert. Ab 1981 wurde damit begonnen, auch in Deutschland Segelflugzeuge aus CFK in Serie herzustellen (Input Leichtflugzeugfachperson, 2022), wodurch die Holz- oder Metallbauweisen langsam abgelöst wurden. Jedoch befinden sich weiterhin Segelflugzeuge aus Holz und Metall im Bestand, auch weil Segelflugzeuge aus Holz keine Lebensdauerbegrenzung haben (Input Leichtflugzeugfachperson, 2022).

Ein Segelflugzeug ist in fünf Konstruktionsgruppen aufgeteilt: Rumpfwerk, Tragwerk, Leitwerk, Steuerwerk und Fahrwerk. Dabei wird unterschieden in tragende und nichttragende Flugzeugteile, wobei alle Teile, die nicht zum Tragwerk gehören, die nichttragende Masse bilden (Kassera, 2016a).

Rumpf

Der Rumpf eines Segelflugzeuges kann aus Holz, Metall (Stahlrohr) oder FVK gefertigt sein. Rümpfe aus Holz oder Metall bilden verdrehsteife Röhren aus Spanten und Längsgurten, die beplankt werden (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Prinzip der Spantenbauweise bei Rümpfen aus Holz oder Metall

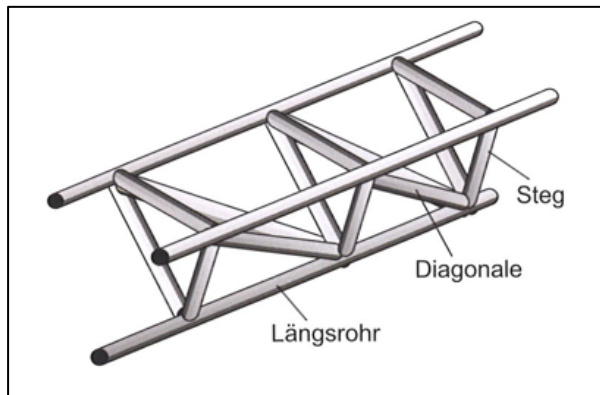


Quelle: Abbildung aus Kassera (2016a) aus Flug ohne Motor, Aufl. 24

Stahlrohrrümpfe bilden ein verdrehsteifes Fachwerk aus Längsrohren, Stegen, Diagonalen und Auskreuzungen (siehe Abbildung 17). Aus Gewichtsgründen sind diese Flugzeuge mit Stoff bespannt. Rümpfe aus FVK werden in Halbschalen gebaut, wobei harzgetränktes Glas-, Kohle- oder Kunstfasergewebe in mehreren Schichten in Negativformen eingelegt werden, wodurch Laminat entsteht. In die beiden Halbschalen werden dann nach dem Aushärtungsprozess vorgefertigte Spanten, Beschläge und Lagerungen für Bedienungs- und Steuerorgane und später nicht mehr erreichbare Teile eingebaut, bevor die beiden Halbschalen miteinander verklebt werden. Danach werden die restlichen Bedien- und Steuerorgane eingebaut. Meistens werden

Faserverbundrumpfe ohne Stützstoffe als reine Schalen gebaut. Jedoch hat die Bauweise mit GFK ein höheres Gewicht gegenüber der Bauweise mit Holz, weshalb eher Kohle- oder Kevlarfasern verwendet werden (Kassera, 2016a). Kohlefasern haben eine höhere Steifigkeit und Festigkeit unter einer geringeren Masse als Glasfasern (Input Leichtflugzeugfachperson, 2022).

Abbildung 17: Prinzip des Stahlrohrumpfs

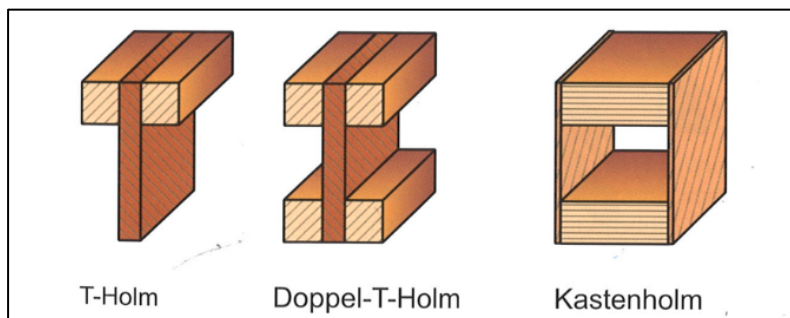


Quelle: Abbildung aus Kassera (2016a) aus Flug ohne Motor, Aufl. 24

Tragwerk

Das Tragwerk besteht aus den Tragflügeln. Ein Tragflügel kann aus einem oder mehreren Teilen bestehen sowie einen oder mehrere Holme besitzen. In der Holzbauweise gibt es unterschiedliche Holmausbildungen je nach Anforderung, wie z.B. der T-Holm, Doppel-T-Holm, U-Holm oder Kastenholm (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Holmarten in der Holzbauweise



Quelle: Abbildung aus Kassera (2016a) aus Flug ohne Motor, Aufl. 24

Auf die vordere Holmseite werden Nasenrippen geleimt und durch eine Nasenleiste ausgerichtet. Die Flügel Nase wird mit dünnem Sperrholz beplankt. Hinter dem Holm werden Endrippen geleimt und durch eine Endleiste ausgerichtet (siehe Abbildung 19). Die Flügelspitzen bilden Randbögen oder Winglets, an denen Schleifkörper oder Rädchen zum Schutze des Flügels beim Ausrollen montiert sind (Kassera, 2016a).

Abbildung 19: Prinzip des Tragflügelbaus in Holzbauweise

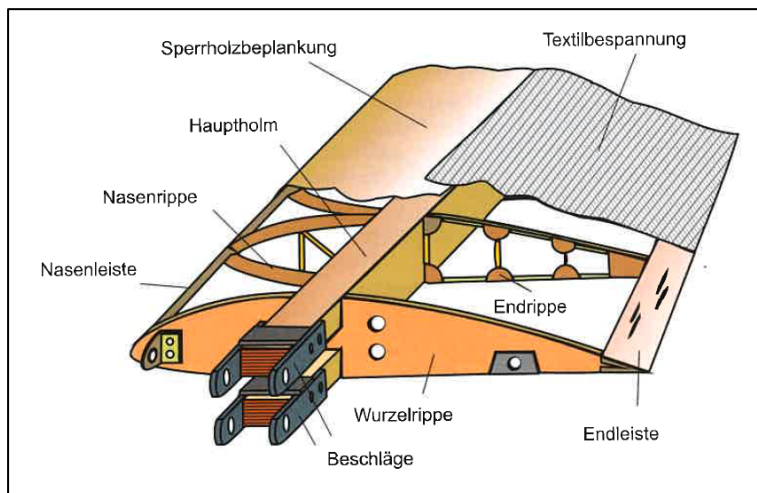


Abbildung aus Kassera (2016a) aus Flug ohne Motor, Aufl. 24

Holzteile werden mit Konservierungslack bestrichen. Nicht beplankte Teile sind früher mit Leinen bespannt und mit Spannlack bearbeitet worden, heutzutage werden Kunstfasertextilien verwendet. Zum Abschluss werden die Tragflügel mit Kunstharzlacken lackiert. Beschläge am Holmstummel und der Wurzelrippe halten beide Flugelhalften zusammen und dienen als Montierungspunkt am Flugzeugrumpf (Kassera, 2016a).

Tragflügel aus FVW werden in Halbschalen gebaut, allerdings als „Sandwich“, wobei zwischen den Glas- oder Kohlefasermatten eine Schicht Hartschaum, Balsaholz, Styropor oder Ähnliches eingebaut wird. Dadurch entsteht eine Beul- und Torsionsfestigkeit. Der Querruderhilfsholm und der Holm werden meistens als vorgefertigte GFK und CFK eingeklebt. Mit Hilfe von Lehren mit kunstharzgetrankten Glasfaserstrangen (Rowings) werden die Beschläge an die exakte Position eingebaut. Nachdem die Klappen- und Querrudergestange sowie der Bremsklappenkasten eingebracht wurden, werden obere und untere Halbschale mit eingedicktem Harz zusammengeklebt (siehe Abbildung 20) (Kassera, 2016a).

Abbildung 20: Schnitt durch einen Faserverbundwerkstoff-Flügel

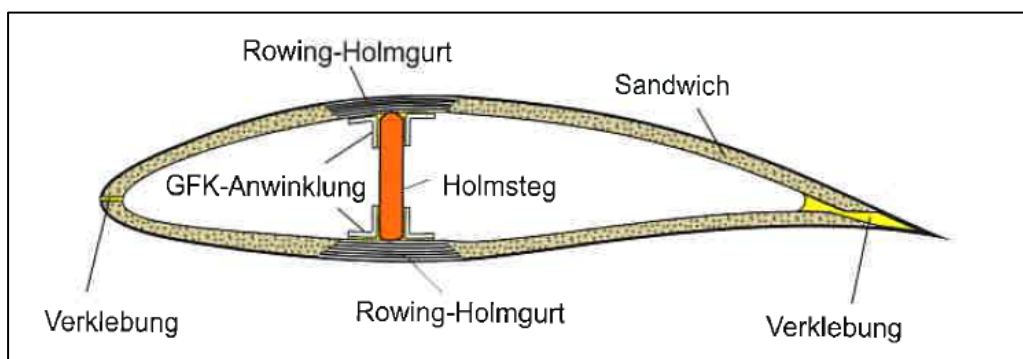


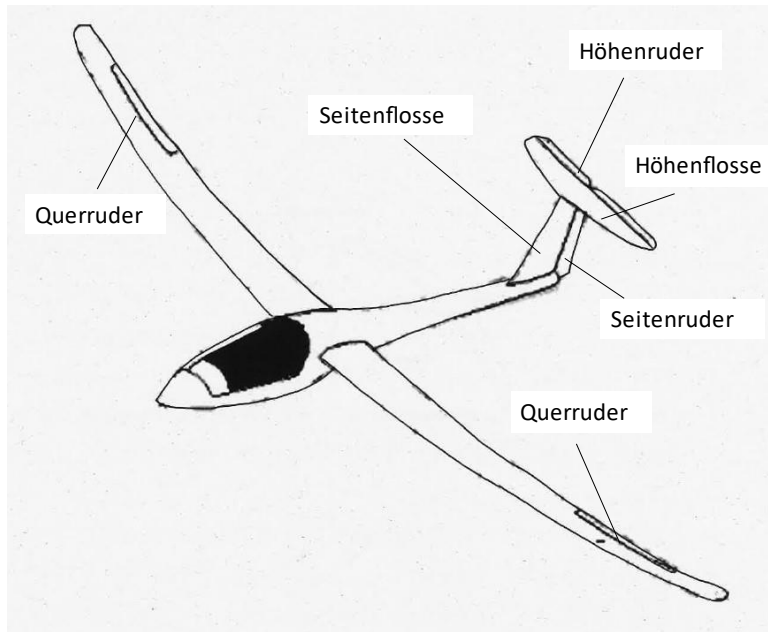
Abbildung aus Kassera (2016a) aus Flug ohne Motor, Aufl. 24

Leitwerk

Das Leitwerk setzt sich aus Bauteilen zur Steuerung eines Flugzeuges zusammen und kann hinter den Tragflächen oder davor angebracht sein. Das Leitwerk eines Segelflugzeuges besteht aus dem Höhenleitwerk, dem Seitenleitwerk und dem Flügelleitwerk. Das Höhenleitwerk bildet die horizontale Fläche des Leitwerks. Es setzt sich aus einem feststehen Teil, der Höhenflosse,

und einem beweglichen Teil, dem Höhenruder zusammen. Das Seitenleitwerk bildet die senkrechte Leitwerksfläche und besteht aus der festen Seitenflosse und dem beweglichen Seitenruder. Das Flügelleitwerk setzt sich aus dem Querruder links und rechts sowie den Klappen zusammen (siehe Abbildung 21). Seiten- und Höhenleitwerke sind den Flügeln ähnlich aufgebaut und sind meistens aus denselben Materialien aufgebaut (Kassera, 2016a).

Abbildung 21: Leitwerkskomponenten eines Segelflugszeugs



Quelle: Eigene Darstellung nach Aeroclub Landau (2022)

Steuerwerk

Das Steuerwerk umfasst alle Steuerflächen des Leitwerks und steuert Quer-, Höhen- und Seitenruder. Quer- und Höhenruder werden über einen Steuerknüppel bedient, der mit einer Steuerstange verbunden ist. Das Seitenruder wird über Pedale gesteuert und entweder über Seile oder eine Kombination aus Stangen und Seilen bedient, wobei die Seile durch Führungsrohre oder Umlenkrollen in gewünschte Richtung gebracht werden können (Kassera, 2016a).

Fahrwerk

Das Fahrwerk eines Segelflugszeugs besteht aus Kufe, Hauptrad als Hauptfahrwerk, Sporn, Bugrad, Bugkupplung und Fahrwerksbeinen. Die Kufe dient als Stoßdämpfer und Schutz des Rumpfes bei Start und Landung und besteht meist aus Eschenholz. Bei modernen Segelflugszeugen wird sie aufgrund schlechterer aerodynamischer Verhältnisse nicht mehr verwendet. Das Hauptrad kann einziehbar oder fest eingebaut sein und besitzt eine Radbremse. Der Sporn ist entweder als Spornrad oder als Schleifsporn (früher üblich) im Heckbereich ausgeführt und ergibt den dritten Auflagepunkt neben den Haupträdern. Das Bugrad befindet sich im vorderen Bereich des Rumpfes ergänzend zum Hauptfahrwerk. Die Fahrwerksbeine sind grundsätzlich gefedert mithilfe von Blattfedern, Gummielementen, Schraubfedern, Ölfederbeinen, Luftfederbeinen oder Öl-Luft-Federbeinen (Kassera, 2016a).

Ausrüstung

Des Weiteren sind Segelflugszeuge mit Mindest- und Sonderausrüstung ausgestattet. Zu der Mindestausrüstung gehören Höhenmesser und Fahrtmesser, Anschnallgurte und Rückenkissen

oder Fallschirm. Zu der Sonderausstattung gehören Funkgerät, Navigationssysteme, Kollisionswarngerät, Notfunksender und Sauerstoffanlage (Kassera, 2016a).

Generell können moderne Segelflugzeuge CFK/GFK-Anteile von bis zu 90% der Leermasse haben (Input mehrere Stakeholder, 2021).

Folgende Tabelle zeigt typische Bauteile, welche häufig aus FVK bestehen:

Tabelle 12: Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Segelflugs (nicht abschließend)

GFK	CFK
Rumpf	Rumpf
Kabinenhaube	
Tragflügel	Tragflügel
Holm	Holm
Holmsteg	Holmsteg
Holm-Anwinklung	
Holmgurt	
Flügelklappen	Flügelklappen
Querruder	Querruder
Höhenleitwerk	Höhenleitwerk
Höhenflosse	
Höhenruder	
Seitenleitwerk	Seitenleitwerk
Seitenflosse	
Seitenruder	
	Steuerstangen
Sitzschalen	Sitzschalen
Rückenlehne	Rückenlehne
Instrumentenbretter	

Quellen: (DG Flugzeugbau GmbH, 2004; Kassera, 2016a; RC-Network Wiki, 2010)

Anhang B.4 enthält eine detaillierte Liste typischer Bauteile und Materialien von Segelflugzeugen.

3.2.3.2.2 Motorsegler K

Motorsegler werden generell unterschieden in Reisemotorsegler (touring motor glider, TMG) und Segelflugzeuge mit Hilfsmotor, wobei diese wieder in selbststartende Motorsegelflugzeuge und nicht-eigenstartfähige Motorsegler (auch Flautenschieber genannt) unterteilt werden (Input Leichtflugzeugfachperson, 2022).

Die ersten Motorsegler in GFK-Bauweise unternahmen 1980 ihre Erstflüge.

Der Aufbau unterscheidet sich kaum von dem der Segelflugzeuge. Reisemotorsegler unterliegen den gleichen Bauvorschriften wie Segelflugzeugen, jedoch mit fest-eingebautem Triebwerk, nicht-einklappbaren Propeller und Eigenstartfähigkeit. Auch ein Motorsegler ist in die fünf Konstruktionsgruppen Rumpfwerk, Tragwerk, Leitwerk, Steuerwerk und Fahrwerk aufgeteilt, wird jedoch um das Triebwerk ergänzt. Zum Triebwerk gehören Triebwerk (Motor), Triebwerksanlage, Treibwerksbehälter für Treibstoff, Öl, Kühlwasser sowie Auspuffanlage (Kassera, 2016a).

Rumpf

Der Rumpf kann aus verdrehsteiften Röhren aus Holz oder Metall, aus einem Stahlrohrumpf oder aus einem FVW-Rumpf bestehen. Auch hier werden für den Rumpf Glasfasern oder Kohlefasern in Halbschalenbauweise eingesetzt (Kassera, 2016a).

Tragwerk

Auch ein Tragflügel von Motorseglern kann aus einem oder mehreren Teilen bestehen sowie einen oder mehrere Holme haben. Ein Tragflügel aus Holz ist aus einem Hauptholm mit lamellierten Holmengurten, Nasenrippen mit einer Nasenleiste, Endrippen mit einer Endleiste, Wurzelrippe, Randbögen als Flügelspitzen, Sperrholzbeplankung der Flügelnase sowie Textilbespannung der nicht beplankten Teile gebaut (siehe Abbildung 19) (Kassera, 2016a).

Tragflügel aus FVW bestehen auch aus Halbschalen als Glas- oder Kohlenstoffasermatten-Sandwich mit einem Kern aus Hartschaum, Balsaholz, Styropor oder Ähnlichem. Der Querruderhilfsholm und der Holm bestehen meistens aus vorgefertigten GFK oder CFK. Die Rowings dienen zum Einbau der Beschläge und bestehen aus kunstharzgetränkten Glasfasersträngen (Kassera, 2016a).

Zusätzlich befinden sich im Flügel Treibstofftanks, die entweder aus Polyurethan-Folien bestehen oder mit Schwimmbadlack in die Flügelschalen integriert sind (Input Leichtflugzeugfachperson, 2022).

Leitwerk

Auch das Leitwerk eines Motorseglers besteht aus dem Höhenleitwerk mit Höhenflosse, Höhenruder und Trimmklappe, dem Seitenleitwerk mit Seitenflosse und Seitenruder sowie dem Flügelleitwerk mit Querruder links und rechts sowie den Klappen. Die Höhen- und Seitenleitwerke sind ähnlich wie die Flügel aufgebaut und bestehen meistens aus denselben Materialien (Kassera, 2016a).

Steuerwerk

Das Steuerwerk eines Motorseglers steuert, wie beim Segelflugzeug auch, Quer-, Höhen- und Seitenruder über einen Steuerknüppel mit Steuerstange oder über Seile bzw. eine Kombination aus Stangen und Seilen (Kassera, 2016a).

Fahrwerk

Auch das Fahrwerk eines Motorseglers besteht aus Kufe, Rad, Schleifsporn oder Spornrad, Bugrad und Fahrwerksbeinen. Das Rad kann einziehbar oder fest eingebaut sein und besitzt eine Radbremse. Die Fahrwerksbeine sind grundsätzlich gefedert. Das Bugrad ist bei motorgetriebenen Flugzeugen drehbar und ist entweder mit den Seitenruderpedalen gekoppelt oder ist als Schlepprad frei beweglich (Kassera, 2016a).

Triebwerk und Luftschraube (Propeller)

Bei Reisemotorseglern sind die Triebwerke fest eingebaut, bei den motorisierten Segelflugzeugen sind Motor und/oder Propeller aus- und einfahrbar. Damit der Luftwiderstand

so klein wie möglich ist, werden vorstehende Motorteile aerodynamisch günstig verkleidet. Bei den Motoren wird unterschieden nach Kolben-, Kreiskolben- (Wankel-) und Turbinenmotor sowie Zweitakter- und Viertaktermotoren. Der Viertaktmotor wird über ein Ölsystem mit Schmierstoffen versorgt, das aus Ölwanne, Ölpumpe, Ölfilter und den Zuleitungen und Kanälen besteht. Öle für die Motorschmierung werden bei Zweitaktern dem Benzin zugesetzt, oder wie bei Viertaktern in einem eigenen Vorratsbehälter mitgeführt. Als Treibstoff wird für Motorsegelmotoren Flugbenzin (AVGAS 100LL) oder Kraftfahrzeugbenzin verwendet (Kassera, 2016a).

Luftschaubenblätter von Motorseglern sind meistens aus Holz, Leichtmetall oder in Faserverbundweise gebaut. Zur Mitte hin gehen die Luftschaubenblätter in eine Nabe über, die meistens mit einer Kurbelwelle oder einem Getriebe bzw. Zahnriemen verbunden ist (Kassera, 2016a).

Motorsegler können auch mit Elektromotoren ausgestattet sein, wie zum Beispiel der Motorsegler Antares 21E der Firma Lange Aviation (Lange Aviation, 2022).

Ausrüstung

Des Weiteren sind Motorsegler auch mit Mindest- und Sonderausrüstung ausgestattet. Zu der Mindestinstrumentierung gehören neben Höhenmesser und Fahrtmesser, Anschnallgurte, Rückenkissen oder Fallschirm auch Kompass, Drehzahlmesser, Kraftstoffvorratsanzeige, Öldruckmesser und Öltemperaturanzeige, Zylinderkopftemperaturanzeige, Ölstandanzeige, Ladedruckanzeige und Kraftstoffdruck/-warnanzeige. Zu der Sonderausrüstung gehören Variometer, Funkgerät, Navigationssysteme, Kollisionswarngerät, Notfunksender und Sauerstoffanlage. Der barometrische Höhenmesser beruht auf der Luftdruckabnahme mit der Höhe. Es gibt unterschiedliche Arten von Barometern. Beim Aneroidbarometer wird eine geschlossene Membrandose mit verringertem Innendruck (Aneroiddose) zusammengedrückt oder ausgedehnt, was sich auf ein Zeigerwerk überträgt (Kassera, 2016a). Beim Quecksilberbarometer wird der Atmosphärendruck durch Einstellen der Quecksilberhöhe in einem Rohr gemessen (Admin, 2021). Als Fahrtmesser wird in Segelflugzeugen fast ausschließlich der Staudruckfahrtmesser verwendet, bei dem ein Pilotrohr gegen die anströmende Luft gerichtet ist und über eine Schlauchleitung mit einer Membrandose verbunden ist. Bei Bewegung wird dort ein Gesamtdruck aufgebaut und in der Dose entsteht Überdruck, sie dehnt sich aus und überträgt dies auf einen Zeiger. Variometer zeigen die Vertikalgeschwindigkeit gegenüber dem Grund an und funktionieren nach dem Prinzip der Luftdruckabnahme. Es gibt Dosenvariometer und Stauscheibenvariometer und elektrische Variometer. Das Navigationssystem funktioniert mit einem Magnetkompass, in dem Stabmagnete drehbar gelagert werden und sich mit den Polen längs der Feldlinien des umgebenen Magnetfeldes ausrichtet. Das Kompassgehäuse ist mit einer Dämpfungsflüssigkeit gefüllt. Zur Öltemperaturanzeige wird ein elektrisches Thermometer verwendet, dessen Kernstück ein Widerstand ist, der sich mit der Temperatur ändert (Kassera, 2016a).

Der CFK/GFK-Anteil eines Motorseglers ist etwas geringer als der eines Segelflugzeugs, da ein Motor verbaut ist, welcher einen wesentlichen Anteil zur Gesamtmasse des Flugzeugs beiträgt. Bei modernen motorisierten Leichtflugzeugen mit einem Leergewicht von 290 kg wiegt der Motor mit Einbau und Propeller ca. 80–90 kg (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Generell kann bei den Motorseglern ein CFK/GFK-Anteil von bis zu 85 % der Leermasse des Leichtflugzeuges erreicht werden.

Folgende Tabelle zeigt typische Bauteile eines Motorseglers, welche häufig aus FVK bestehen:

Tabelle 13: Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Motorseglers der Kennzeichenklasse M (nicht abschließend)

GFK	CFK
Rumpf	Rumpf
Kabinenhaube	
Tragflügel	Tragflügel
Holm	Holm
Holmsteg	Holmsteg
Holm-Anwinklung	
Holmgurt	
Flügelklappen	Flügelklappen
Querruder	Querruder
Höhenleitwerk	Höhenleitwerk
Höhenflosse	
Höhenruder	
Seitenleitwerk	Seitenleitwerk
Seitenflosse	
Seitenruder	
	Fahrwerksklappen
	Triebwerksverkleidung
	Auspuffverkleidung
Luftschaubenblätter	Luftschaubenblätter
Sitzschalen	Sitzschalen
Rückenlehne	Rückenlehne
Instrumentenbretter	

Quellen: (DG Flugzeugbau GmbH, 2004; Glaser-Dirks Flugzeugbau GmbH, 1982, 1991; Kassera, 2016a; RC-Network Wiki, 2010; Stemme AG, 1998)

Anhang B.4 enthält eine detaillierte Liste typischer Bauteile und Materialien von Motorseglern.

3.2.3.2.3 Leichtflugzeuge der Klasse E

Leichtflugzeuge der Klasse E werden nach Bauweisen unterschieden, und zwar in Holzbauweise, Gemischtbauweise, Metallbauweise und Kunststoffbauweise (Kassera, 2016b).

Rumpf

Ein Rumpf aus Holz oder Metall besteht aus verdrehsteiften Röhren. Stahlrohrrümpfe werden zu einem verdrehsteiften Fachwerk zusammengeschweißt und können neben der Stoffbespannung auch mit dünnen Kunststoffschalen verkleidet sein (siehe Abbildung 17). Rümpfe aus FVW werden in Halbschalen gebaut, wobei harzgetränktes Glas-, Kohle- oder

Kunstfasergewebe in mehreren Schichten in Negativformen eingelegt werden, wodurch Laminat entsteht. In die beiden Halbschalen werden dann nach dem Aushärtungsprozess vorgefertigte Spanten, Beschläge und Lagerungen für Bedienungs- und Steuerorgane und später nicht mehr erreichbare Teile eingebaut, bevor die beiden Halbschalen miteinander verklebt werden. Danach werden die restlichen Bedien- und Steuerorgane eingebaut. Meistens werden Faserverbundrümpfe ohne Stützstoffe als reine Schalen gebaut. Jedoch hat die Bauweise mit GFK ein höheres Gewicht gegenüber der Bauweise mit Holz, weshalb eher Kohle- oder Kevlarfasern verwendet werden (Kassera, 2016b).

Tragwerk

Das Tragwerk muss so stabil konstruiert sein, dass es den auftretenden Luftkräften zur Auftriebserzeugung standhält. Der Tragflügel kann aus einem oder mehreren Teilen bestehen und aus einem oder mehreren Holme gefertigt sein. Bei freitragenden Konstruktionen (ohne äußere Streben am Rumpf) werden Holme als Kastenholme, T- oder Doppel-T-Holme für höhere Stabilität gebaut, während bei abgestrebten Flugzeugen ein Brettholm ausreicht (zu Holmen siehe Abbildung 18) (Kassera, 2016b).

Bei der konventionellen Holz- oder Metallbauweise werden die Nasenrippen auf die Vorderseite des Holms geklebt, hinter den Holm werden die Endrippen geklebt oder genietet und mithilfe einer Nasen- bzw. Endleiste ausgerichtet. Die Flügel Nase wird mit dünnem Sperrholz oder Aluminium beplankt. Alle Holz- und Metallteile werden mit Konservierungslack behandelt. Nicht beplankte Teile werden heute mit leichten, verrottungsfesten Kunstfasern, früher mit Leinen, bespannt und mit Spannlack versehen. Am Ende werden die Teile mit wetterfestem, kraftstoffunempfindlichem Kunstharz lackiert (Kassera, 2016b).

Flügel aus FVW werden ähnlich wie Rümpfe aus FVW in Halbschalen als Sandwich aufgebaut, indem zwischen den Glasmatten eine Schicht Hartschaum, Wabenmaterial o.Ä. liegt. Holm und Querruderhilfsholm werden meistens als vorgefertigte GFK-Teile eingeklebt und die Beschläge mit Hilfe von Rowings oder Kunstharz eingebaut. Die beiden Halbschalen werden nach Einbringung der Klappen- und Querrudergestänge sowie des Klappen- und Tanksystems mit Harz zusammengeklebt (siehe Abbildung 20) (Kassera, 2016b).

Leitwerk

Das Leitwerk besteht wie bei den Segelflugzeugen als auch bei Leichtflugzeugen der Klasse E aus dem Höhenleitwerk mit Höhenflosse, Höhenruder und Trimmklappe, dem Seitenleitwerk mit Seitenflosse und Seitenruder, dem Flügelleitwerk mit Querruder links und rechts sowie Brems- und Wölbklappen, die ins Flügelprofil einbezogen sind (siehe Abbildung 21) (Kassera, 2016b).

Steuerwerk

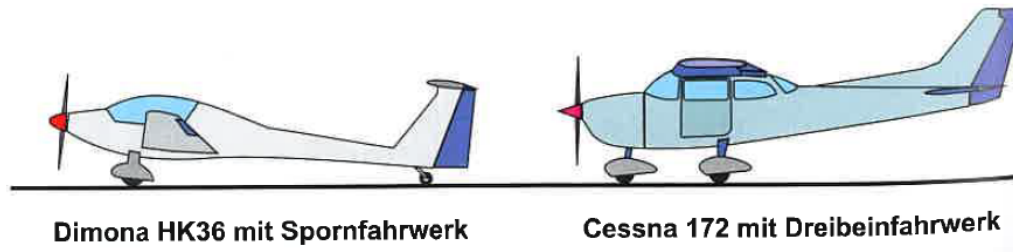
Quer- und Höhenruder werden mit dem Steuerknüppel oder einem Steuerhorn bedient, das Seitenruder über Pedale. Die Querruder sind mit dem Knüppel über Steuerstangen verbunden. Das Höhenruder wird meist über Gestänge bewegt. Das Seitenruder wird mit Hilfe von Seilen und/oder Stangen geleitet. Es kann eine zusätzliche Trimmklappe am Höhenruder für die Trimmung (Anpassung des Steuerdrucks) angebracht werden. Wenn keine eigene Trimmung existiert, können für die Ruder auch schmale Blechstreifen zur korrigierenden Wirkung angebracht werden (Kassera, 2016b).

Fahrwerk

Die Fahrwerksarten werden in das Dreibeinfahrwerk und das Spornradfahrwerk unterschieden. Das Dreibeinfahrwerk hat zwei Haupträder und ein Bugrad. Das Spornradfahrwerk ist mit zwei

Hauptträgern und einem kleinen Heckrad ausgestattet (siehe Abbildung 22). Die Fahrwerksbeine sind grundsätzlich gefedert mit Hilfe von Blattfedern, Gummielementen, Schraubfedern oder Ölfederbeinen, Luftfederbeinen oder Öl-Luft-Federbeinen. Das Bugrad ist meist an einem Federbein mit Öl-Luftdämpfer oder Gummielement aufgehängt. Hauptträger sind mit mechanischen oder hydraulischen Bremsen ausgestattet (Kassera, 2016b).

Abbildung 22: Fahrwerksarten



Quelle: Abbildung aus Kassera (2016b) Motorflug Kompakt, Aufl. 7

Triebwerk und Luftschaube (Propeller)

Bei den Motoren wird unterschieden nach Kolben-, Kreiskolben-, (Wankel-) und Turbinenmotoren, in der Regel als Viertaktermotoren mit Benzin- oder Dieseltriebwerken. Der Boxermotor mit platzsparenden, gegenüberliegenden Zylindern ist die am meisten verbreitete Bauart, jedoch werden aktuell auch immer mehr Elektroantriebe verwendet. Der Viertaktmotor wird über ein Ölsystem mit Schmierstoffen versorgt, das aus Ölwanne, Ölpumpe, Ölfilter, Ölkühlung und den Zuleitungen und Kanälen besteht. Je nach Zertifizierung werden zur Motorschmierung Ein- oder Mehrbereichsöle eingesetzt. Als Treibstoff wird für Flugmotoren Flugbenzin (Aviation Gasoline, AV-GAS) oder bleifreies Kraftfahrzeugbenzin (Motor Gasoline, MOGAS) verwendet (Kassera, 2016b).

Der Propeller ist je nach Anordnung des Triebwerks als Zug- oder Druckluftschaube ausgebildet. Einmotorige Flugzeuge haben die/den Propeller vor dem Triebwerk. Die Luftschaubenblätter sind meistens aus Holz, Leichtmetall oder in Faserverbundweise gebaut. Zur Mitte hin gehen die Luftschaubenblätter in eine Nabe über, die meistens mit einer Kurbelwelle oder einem Getriebe bzw. Zahnriemen verbunden ist (Kassera, 2016b).

Elektrische Anlage

Die Elektrische Anlage eines Leichtflugzeugs der Klasse E besteht aus dem Bordnetz und der Zündung. Das Bordnetz dient der Stromversorgung und wird von einem Generator oder Alternator über einen Spannungsregler gespeist. Der Generator oder Alternator wird vom Motor über einen Riemen angetrieben. Dadurch wird eine Batterie geladen, die das Triebwerk zum Starten bringt. Am Bordnetz hängen der Anlasser, die elektrische Zusatz-Benzinpumpe, Funk- und Funknavigationsgeräte, Staurohrheizung, elektrische Landeklappen, Beleuchtung etc. (Kassera, 2016b).

Ausrüstung

Die Ausrüstung eines Leichtflugzeugs der Klasse E wird wie bei den anderen Leichtflugzeugklassen aufgeteilt in Mindestausrüstung und Sonderausrüstung. Zur Mindestausrüstung gehören Höhenmesser, Fahrtmesser, Amperemeter, Kompass, Überziehwarnung, Kraftstoffvorratsanzeigen, Öldruck- und Öltemperaturanzeige, Drehzahlmesser, Anschnallgurte, Schilder mit Betriebsgrenzen, Kollisionswarnleuchte, Sprechfunkanlage, Rücken- und Sitzkissen und Betriebshandbuch. Zur Sonderausrüstung zählen Kreiselinstrumente, Navigationsausrüstung, Borduhr (inklusive Batterien),

Beleuchtungsanlagen (inklusive Batterien), Schleppvorrichtung, Sonnenblenden, Spiegel und mehr (Kassera, 2016b).

Bei den Motorflugzeugen kann ein CFK/GFK-Anteil von bis zu 75 % erreicht werden. Durchschnittlich werden Anteile von 50–60 % vorgefunden (Input mehrere Stakeholder, 2021). Zwar ist der Anteil an GFK und CFK in Motorflugzeugen geringer, jedoch sind diese signifikant schwerer als (Ultraleicht-)Segelflugzeuge, wodurch sie auch bedeutend mehr Masse an CFK und GFK besitzen.

Folgende Tabelle zeigt typische Bauteile, welche häufig aus FVK bestehen:

Tabelle 14: Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Motorflugzeugs der Kennzeichenklasse E (nicht abschließend)

GFK	CFK
Rumpf	Rumpf
Kabinenhaube	
Tragflügel	Tragflügel
Holm	Holm
Holmsteg	Holmsteg
Holm-Anwinklung	
Holmgurt	
Flügelklappen	Flügelklappen
Querruder	Querruder
Höhenleitwerk	Höhenleitwerk
Höhenflosse	
Höhenruder	
Seitenleitwerk	Seitenleitwerk
Seitenflosse	
Seitenruder	
	Fahrwerksklappen
	Triebwerksverkleidung
	Auspuffverkleidung
Luftschraubenblätter	Luftschraubenblätter
Sitzschalen	Sitzschalen
Rückenlehne	Rückenlehne
Instrumentenbretter	

Quellen: (Aquila Aviation International GmbH, 2014; Kassera, 2016b)

Anhang B.5 enthält eine detaillierte Liste typischer Bauteile und Materialien von Leichtflugzeugen der Klasse E.

3.2.3.2.4 Leichtflugzeuge der Klassen F, G und I

Leichtflugzeuge der Klassen F, G und I sind in etwa so aufgebaut wie Flugzeuge der Klasse E (siehe Kapitel 3.2.3.2.3). Sie bestehen aus einem Flugwerk mit dem Rumpfwerk, Tragwerk, Leitwerk, Steuerwerk und Fahrwerk, aus einem Triebwerk sowie Ausrüstung.

Rumpfwerk

Das Rumpfwerk eines Leichtflugzeugs der Klassen F, G und I besteht aus dem Rumpf, einer Bodenplatte, Board- oder Frachttüren, Kabinenfenstern sowie Beleuchtungs- und Belüftungssystem (Acervo Lima, 2022; Pilatus Aircraft Ltd, 2015; Reims Aviation - S.A., 1978). Der Rumpf kann aus CFK, Aluminium mit Stahl oder Blech gefertigt sein (Beechcraft Aircraft Corporation, 2016; Cessna Aircraft Company, 2014; Diamond Aircraft Industries Inc., 2012; Pilatus Aircraft Ltd, 2020).

Tragwerk

Das Tragwerk der Flugzeuge der Klassen F, G und I besteht aus den Tragflügeln, die als CFK- oder GFK-Sandwich, aus Metall und Stoff, Aluminium oder Blech gebaut sein können (Cessna Aircraft Company, 2014; Diamond Aircraft Industries Inc., 2005; Martin Waligorski, 2022; Pilatus Aircraft Ltd, 2020).

Leitwerk

Das Leitwerk der Leichtflugzeuge der Klassen F, G und I entspricht ebenfalls dem der Flugzeuge der Klasse E. Es besteht aus dem Höhenleitwerk mit Höhenflosse, Höhenruder und Trimmklappe, dem Seitenleitwerk mit Seitenflosse und Seitenruder sowie dem Flügelleitwerk mit Querruder links und rechts sowie den Klappen. Flugzeuge der Klassen F, G und I können zusätzlich noch eine Rücken- und Bauchflosse besitzen (Pilatus Aircraft Ltd, 2020). Sowohl das Seitenleitwerk als auch das Höhenleitwerk und Flügelleitwerk können aus CFK- oder GFK als Sandwich, aus Aluminium oder Blech bestehen.

Fahrwerk

Auch das Fahrwerk der Flugzeuge der Klassen F, G und I besteht je nach Modell aus Hauptrad, Spornrad, Fahrwerksklappen, Bugrad und Parkbremse (Cessna Aircraft Company, 2014; Pilatus Aircraft Ltd, 2015, 2020).

Triebwerk und Luftschaube

Das Triebwerk besteht aus dem Motor, der Triebwerksanlage und dem Triebwerksbehälter, der Triebwerksverkleidung sowie der Auspuffverkleidung (Kassera, 2016b). Es gibt ein- und zweimotorige Flugzeuge der Klassen F, G, und I. Bei den zweimotorigen Flugzeugen befinden sich die Motoren und die zwei Propeller an den Tragflügeln (Diamond Aircraft Industries Inc., 2012). Die Luftschaube kann unter anderem aus Aluminium, CFK oder Kevlar bestehen (Hartzell Propeller Inc., 2021; MT-Propeller, 2022).

Ausstattung

Zur Ausstattung gehören die in Kapitel 3.2.3.2.3 unter Ausrüstung erwähnten Teile sowie für Flugzeuge der Klassen G, H und I Kabinenschränke, Toilettenabflusssystem, Rettungswesten, Feuerlöscher, sowie Sauerstoff- und Klimatisierungssystem (Pilatus Aircraft Ltd, 2015).

Folgende Tabelle zeigt typische Bauteile, welche häufig aus FVK bestehen:

Tabelle 15: Typische CFK- und GFK-Bauteile eines Leichtflugzeugs der Klassen F, G oder I (nicht abschließend)

GFK	CFK
	Rumpf
Tragflügel	Tragflügel
Flügelklappen	Flügelklappen
Querruder	Querruder
Höhenleitwerk	Höhenleitwerk
Höhenruder	
Seitenleitwerk	Seitenleitwerk
Seitenruder	
Rückenflosse	
	Fahrwerksklappen
	Triebwerksverkleidung
	Auspuffverkleidung
Sitzschalen	Sitzschalen

Quellen: (Diamond Aircraft Industries Inc., 2005, 2012; Pilatus Aircraft Ltd, 2020)

Anhang B.5 enthält eine detaillierte Liste typischer Bauteile und Materialien von Leichtflugzeugen der Klasse F, G und I.

3.2.3.3 Lebensdauer

Luftfahrzeuge haben generell eine festgelegte Lebensdauer, welche in Betriebsstunden und nicht in Jahren angegeben wird. Die tatsächliche Lebensdauer hängt somit oft von dem Nutzungsprofil und den sich daraus ergebenden Lastzyklen des Luftfahrzeugs ab. Einige Bauteile wie z.B. Dichtungen, Gummibauteile und Propeller besitzen jedoch trotzdem eine zeitliche Begrenzung, da diese Teile mit der Zeit ihre gewünschten mechanischen und chemischen Eigenschaften verlieren. Die Lebensdauer ist in der Musterzulassung festgelegt, kann im Nachhinein jedoch angepasst werden. Die Lebensdauer unterscheidet sich je nach Flugzeugtyp und Bauweise (Input Behörde, 2021):

- ▶ Segelflugzeuge in Holz- und Gemischtbauweise haben in der Regel keine Lebensdauerbegrenzung.
- ▶ Segelflugzeuge in Faserverbundbauweise haben üblicherweise eine Lebensdauerbegrenzung von 12.000 h.
- ▶ Für die Motorflugzeuge wird die Lebensdauerbegrenzung individuell in der Musterzulassung festgelegt und liegt meistens zwischen 6.000–12.000 h.

Da Leichtflugzeuge fast ausschließlich im Freizeitbereich eingesetzt werden, werden die oben genannten Betriebsstunden oftmals nicht erreicht, da das Flugzeug nicht so häufig verwendet wird. Flugzeugalter von 30–50 Jahren sind daher keine Seltenheit bei Leichtflugzeugen und es

gibt auch noch Modelle aus den 1950er Jahren, welche noch immer in Betrieb sind (Input mehrere Stakeholder, 2021).

3.2.4 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

3.2.4.1 Abfallaufkommen von Leichtflugzeugen

Die oben genannten Abmeldungen können nicht herangezogen werden, um die Mengen an Altflugzeugen zu bestimmen, da die Mehrzahl der abgemeldeten Flugzeuge ins Ausland verkauft werden und somit nicht als Abfall anfallen (Input Behörde, 2021). Ein Stakeholder gab an, dass im Bereich der Segelflugzeuge und Motorsegler eine einstellige bis niedrige zweistellige Anzahl an Altflugzeugen pro Jahr in Deutschland anfällt. Bei einem durchschnittlichen Leergewicht von 450 kg entspricht dies einem jährlichen Abfallaufkommen von 4–8 t (Input Behörde, 2021). Dies entspricht ca. einem Abfallaufkommen von CFK/GFK von 3–7 t pro Jahr. Hierbei ist zu beachten, dass es sich dabei eher um ältere Modelle mit nur geringen Anteilen an FVK handelt. Zum Vergleich wiegt ein Rotorblatt einer modernen Windkraftanlage ca. 8 t (Pehlken et al., 2017). Da sich die Anzahl der zugelassenen Motorflugzeuge in einem ähnlichen Bereich befindet wie die der Segelflugzeuge, kann ein ähnliches Abfallaufkommen angenommen werden. Hierbei sollte beachtet werden, dass die motorisierten Flugzeuge im Vergleich zu den Segelflugzeugen bedeutend schwerer sind, wodurch bei wahrscheinlich ähnlicher Mengenrelevanz, die Motorsegler ein höheres Abfallaufkommen in Tonnen ausmachen. Dies bedeutet bei einer Stückzahl von 9–18 motorisierten Altflugzeugen ein Abfallaufkommen von ca. 34–68 t pro Jahr³⁷ und folglich einem jährlichen Abfallaufkommen von 26–51 t CFK/GFK.

Ein weiter Grund für die geringe Anzahl an Leichtflugzeugen, welche als Abfall anfallen, ist, dass Reparaturbetriebe, aber auch Vereine und Privatpersonen alte Flugzeuge meist als Ersatzteillager benutzen. Selbst wenn der Rumpf irreparabel beschädigt ist, können andere Teile wie z.B. der Flügel, Motor und die Elektronik weiterverwendet werden. Solche Flugzeuge stehen auf dem Gelände der Betriebe/Vereine oftmals für mehrere Jahre, bis keine brauchbaren Ersatzteile mehr vorhanden sind (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021).

3.2.4.2 Abfallvermeidung

Reparaturen sind in der Luftfahrtbranche sehr weit entwickelt, standardisiert und reglementiert und ausreichend verfügbar. Größter Treiber für die Reparatur eines (Leicht)Flugzeugs ist der Wert des Flugzeugs. In fast allen Fällen ist die Reparatur wirtschaftlich sinnvoller als die Entsorgung. Dabei ist es durchaus üblich, gebrauchte Flugzeuge durch eine grundlegende Überholung in einen neuwertigen Zustand zu überführen (Input Behörde, 2021). Ein weiteres Kriterium, ob ein Bauteil repariert oder entsorgt werden sollte, ist die Zeit, da manche Reparaturen oftmals länger dauern (Input Behörde, 2021). Nur in Ausnahmefällen wird ein Flugzeug entsorgt, z.B. wenn es durch einen Unfall irreparable Schäden erlitten hat oder wenn beispielsweise eine Triebwerksüberholung zu teuer ist (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021).

Die Reparaturen werden dabei sowohl von Privatpersonen und Vereinen als auch von zertifizierten Reparaturbetrieben und zum Teil auch von herstellenden Unternehmen durchgeführt (Input Behörde, 2021, Input Reparaturbetrieb, 2021, Input Forschungseinrichtung, 2021, Input Flugsportverein 3, 2021). In der EU-Verordnung zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen Luftfahrzeuge (Teil 21, Abschnitt M) werden die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Reparatur eines Flugzeugs festgelegt. Reparaturen, welche über die im Reparaturhandbuch beschriebenen oder als Standardreparatur definierten

³⁷ Berechnung mit einem Durchschnittsgewicht von 3,8 t

hinausgehen, können nach vorheriger Genehmigung ebenfalls durchgeführt werden (Input Behörde 2021).

Reparaturbetriebe in Europa müssen von der europäischen Luftfahrtbehörde (EASA) zugelassen und für eine bestimmte Reparatur zertifiziert sein. Für eine solche Zulassung nach dem sogenannten EASA Part 145 (Instandhaltung in der Luftfahrttechnik) muss sich der Betrieb gegenüber dem Luftfahrt-Bundesamt (LBA) nachgewiesen haben. Die genauen Bestimmungen sind in der EU-Verordnung zu Luftfahrzeugen in Anhang II festgehalten (Input Forschungseinrichtung, 2021). Eine Liste³⁸ der in Deutschland anerkannten Reparaturbetriebe kann auf der Webseite des LBA gefunden werden. Dort kann erkannt werden, dass nicht jeder Reparaturbetrieb jedes Flugzeug reparieren kann. Die Betriebe haben teilweise Zulassungen für einzelne Modelle (z.B.: Cessna 321), teilweise aber auch für ganze Flugzeuggruppen (z.B.: „Einmotorige Flugzeuge mit Kolbenantrieb in Verbundbauweise, für die keine Musterberechtigung erforderlich ist“). Auf Flughäfen können ebenfalls Flugzeugreparaturwerften gefunden werden.

Generell können so gut wie alle Teile eines (Leicht)Flugzeugs repariert werden, wobei, wie oben erwähnt, größtenteils wirtschaftliche und zeitliche Aspekte in der Entscheidungsfindung eine Rolle spielen. Wichtig ist dabei vor allem, was für ein Schaden vorliegt und wie komplex dadurch die Reparatur wird. Für gängige Reparaturen gibt es Handbücher und Reparaturanweisungen für das jeweilige Flugzeugmuster, ebenso wie allgemeine Literatur für Standardreparaturen (Input Behörde, 2021). Details dazu sind in Kapitel 4.2.2 zu finden.

Reparaturen werden zum einen durchgeführt, wenn ein Teil offensichtliche Mängel bzw. Schäden besitzt, zum anderen aber auch nach einer gewissen Nutzungsdauer. Einige (Segel-)Flugzeuge müssen beispielsweise alle 3.000 Flugstunden eine besondere Kontrolle durchlaufen. Nach 9.000 h müssen die Metallbeschläge geröntgt werden, wobei dieser Prozess oftmals zu aufwändig ist, weshalb die Teile stattdessen direkt ausgetauscht werden (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Schleppkupplungen müssen nach 4.000 Starts zur Überholung an das herstellende Unternehmen geschickt werden und Gurte nach 12 Jahren (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Dabei kann angenommen werden, dass an dieser Stelle stark abgenutzte Teile aussortiert werden und somit als Abfälle anfallen.

Ob ein Bauteil repariert oder ausgetauscht wird hängt dabei von der Schwere des Schadens ab. Bei kleineren Schäden wie z.B. Dellen oder leichter Korrosion kann ausgedellt bzw. angeschleift werden. Bei größeren Löchern oder strukturellen Defekten muss das Bauteil ausgetauscht werden. Risse in Hauben dürfen beispielsweise nur bis zu einer Länge von maximal 150 mm repariert werden (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Die Reparaturfähigkeit eines Bauteils wird dabei von anerkannten Prüfern bewertet (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021). Eine Reparatur ist dabei meist bevorzugt, da Luftfahrtbauteile oftmals in nur kleinen Stückzahlen produziert werden, wodurch sie häufig nicht direkt verfügbar und oft relativ teuer sind (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021, Input Forschungseinrichtung, 2021). Es sollte hier nochmals erwähnt werden, dass so gut wie keine Bauteile eines (Leicht-)Flugzeugs existieren, welche nicht repariert oder ausgetauscht werden können. Dies gilt auch für Bauteile aus CFK und GFK. Teile des Rumpfs, Flügels und andere strukturelle Bauteile werden dabei eher ausgetauscht, wohingegen alle anderen Bauteile oftmals repariert werden (Input Flugsportverein 1, 2021). Der Holm im Flügel kann beispielsweise repariert werden, jedoch erfordert dies ausreichend Schaftlänge neben der Bruchstelle, weshalb der Prüfer oft entscheidet, dass das Teil ausgetauscht werden muss, da die Gefahr für einen Bruch nach einer Reparatur zu groß ist (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Nach Informationen

³⁸ <http://www2.lba.de/tb/>

eines Stakeholders existieren technische Betriebe, welche gezielt nach verunglückten Leichtflugzeugen suchen, um diese wieder instand zu setzen. Durch den Absturz wurden meist Rumpf, oder die Flügel beschädigt, wodurch die Flugzeuge nicht mehr flugtauglich sind. Selbst solche Schäden können von ausgebildetem Fachpersonal behoben werden (Input Leichtflugzeugverband, 2022).

Leichtflugzeuge wechseln häufig den*die Eigentümer*in. Die Mehrzahl der Abmeldungen sind Verkäufe in das Ausland, jedoch gibt es innerhalb Deutschlands auch viele Eigentümerwechsel. Treibende Kraft hierbei ist wiederum der Wert der Flugzeuge. Solange ein Flugzeug noch funktionstüchtige Bauteile enthält, können diese weiterverkauft werden, was dazu führt, dass selbst reparaturbedürftige Flugzeuge verkauft werden können. Häufig werden diese entweder instandgesetzt oder als Ersatzteillager verwendet. Die meisten zum Verkauf stehenden Flugzeuge sind jedoch im flugtüchtigen Zustand und besitzen das benötigte EASA-Flugtüchtigkeits-Zertifikat. Webseiten auf denen gebrauchte Flugzeuge verkauft und gekauft werden können sind z.B. (Input mehrere Stakeholder, 2021):

- ▶ Ebay.de
- ▶ ulForum.de
- ▶ Segelflug.de
- ▶ Flugzeugmarkt.de
- ▶ Flugzeug24.de
- ▶ Aircraft24.de
- ▶ Aeromarkt.net

Weiterhin können Anzeigen in Fachmagazinen und lokalen Zeitschriften inseriert werden. Ebenfalls verkaufen Vereine und Reparaturbetriebe gebrauchte Flugzeuge auf deren eigenen Webseiten.

3.2.4.3 Abfallmanagement

Falls ein Flugzeug irreparabel beschädigt ist, wird es entsorgt. Dabei ist der*die Besitzer*in des Flugzeugs selbst für die Entsorgung verantwortlich. Zwar gibt es im Bereich der Großraumflugzeuge Firmen, welche sich auf das Abfallmanagement spezialisiert haben, jedoch existieren solche Firmen für Leichtflugzeuge nicht, was wahrscheinlich auf die geringe Anzahl an jährlich zu entsorgenden Altflugzeugen und hohen Reparaturanteil zurückgeführt werden kann. Anders als bei Großraumflugzeugen von Airlines, welche oftmals aus wirtschaftlichen und nicht aus Gründen der Flugtauglichkeit demontiert werden, sind fast alle Leichtflugzeuge im Besitz von Privatpersonen (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021). Eine Privatperson besitzt ein Leichtflugzeug meist um es, als Hobby, zu fliegen, weshalb eine Reparatur eine Investition in das eigene Hobby bedeutet. Zusätzlich hat ein Leichtflugzeug oftmals einen relativ hohen Wert, weshalb es finanziell sinnvoll ist, dieses zu reparieren. Leichtflugzeuge oder deren Bauteile werden deshalb in fast allen Fällen repariert oder auf dem Sekundärmarkt verkauft und besitzen dadurch auch lange Lebensdauern (siehe Kapitel 3.2.1).

In (Großraum)Flugzeugen befinden sich oftmals wertvolle Metalllegierungen, welche beim Rückbau entfernt und an Metallverarbeiter*innen weiterverkauft werden (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021). Das führt dazu, dass bei den Großraumflugzeugen Recyclingquoten von bis zu 85 % der Ausgangsmasse erreicht werden können (Jeanvré, 2012). Eine

Recyclingquote für die Leichtflugzeuge konnte nicht ermittelt werden, jedoch kann angenommen werden, dass auch im Bereich der Leichtflugzeuge die Wiederverwertungs- und Recyclingquote recht hoch ist.

Da das Abfallaufkommen bei den Leichtflugzeugen so gering ist, gibt es keine etablierten Erfassungs- bzw. Sammelsysteme. Rücknahmepflichten bzw. eine freiwillige Rücknahme von Altflugzeugen durch das herstellende Unternehmen sind nicht bekannt (Input mehrere Stakeholder, 2021).

Das Recycling von post-consumer CFK und GFK im Flugzeugbereich findet aktuell nicht statt. Ein Grund hierfür ist, dass nur sehr wenig Abfall aus Altflugzeugen anfällt. Die meisten CFK/GFK Teile werden so lange wiederverwendet wie technisch möglich. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das Bauteil als Ganzes erhalten ist (z.B.: ein Propeller-Blade) (Input Verband Flugzeugrecycling, 2021). Ein weiterer Grund sind die fehlenden Recyclingtechnologien für CFK und GFK, weshalb diese nicht demontiert werden. Die Demontage, insbesondere die Trennung in CFK und GFK, würde für die Reparaturbetriebe einen erheblichen Aufwand darstellen. Oft fehlt auch das spezifische Fachwissen für das CFK- und GFK-Recycling (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2021). Es wird davon ausgegangen, dass der Großteil der CFK/GFK-Abfälle beseitigt wird. Der Verbleib ist letztlich ungeklärt.

3.2.5 Herausforderungen im Umgang mit Altleichtflugzeugen

Basierend auf den vorherigen Kapiteln werden hier die größten Herausforderungen im Umgang mit Leichtflugzeugen bzw. Altflugzeugen zusammengefasst.

d) Fehlende statistische Erfassung der Abfälle

Flugzeuge müssen in Deutschland registriert werden, wodurch umfassende Daten zum aktuellen Bestand vorliegen. Abfallstatistiken hingegen sind nicht bekannt. Aus den Abmeldungen kann nicht auf die Abfallmenge geschlossen werden, da viele Flugzeuge ins Ausland verkauft werden. Ebenfalls müssen Altflugzeuge nicht registriert oder gemeldet werden und jede*r Besitzer*in ist selbst für die Entsorgung verantwortlich.

e) Hochwertige Verwertung von CFK/GFK Bauteilen

Wie auch die Vorbereitung der Wiederverwendung und die Reparatur ist das Recycling von (Leicht-)Flugzeugen ebenfalls weit fortgeschritten. Auf Grund des hohen Wertes der Einzelteile und der eingesetzten Materialien hat sich insbesondere bei den Großraumflugzeugen ein großer Recyclingmarkt entwickelt. Es können dabei Recyclingquoten von bis zu 85 % erreicht werden. Bei den Leichtflugzeugen gibt es keine großen, etablierten Recyclingfirmen, da nur sehr wenige Altflugzeuge pro Jahr anfallen. Die meisten Flugzeuge werden über sehr lange Zeiträume wiederholt repariert und besitzen dadurch eine sehr hohe Lebensdauer. Falls ein Flugzeug durch einen Unfall oder Ähnliches irreparabel beschädigt wird, wird es meist als Ersatzteillager weiterverwendet, bis alle funktionstüchtigen Teile ausgebaut worden sind. Die verbleibenden Teile werden den jeweiligen Abfallströmen zugeführt und der Rumpf, welcher meistens aus FVK besteht, wird verbrannt oder wenn erlaubt deponiert. Ein Recycling der CFK und GFK Bauteile wird aktuell auf Grund von fehlen Technologien nicht durchgeführt.

3.3 Produktgruppe C: Bedarfsgegenstände

3.3.1 Definition und Kategorisierung von Bedarfsgegenständen

Unter Produktgruppe C fallen Bedarfsgegenstände welche CFK³⁹ enthalten und, welche als Abfälle üblicherweise als Hausmüll bzw. hausmüllähnlicher Abfall entsorgt werden. Damit beschränkt sich diese Produktgruppe auf Produkte aus dem Sport-, Freizeit- und Medizinbereich, welche vorrangig von Privatpersonen genutzt werden. Ausgeschlossen sind Elektrogeräte und Fahrzeuge mit CFK-Anteilen, da diese unter das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) bzw. die Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV) fallen, Produkte aus Produktgruppe A bzw. B (siehe vorherige Kapitel). Des Weiteren sind Produkte mit Carbonfaseroptik ausgeschlossen.

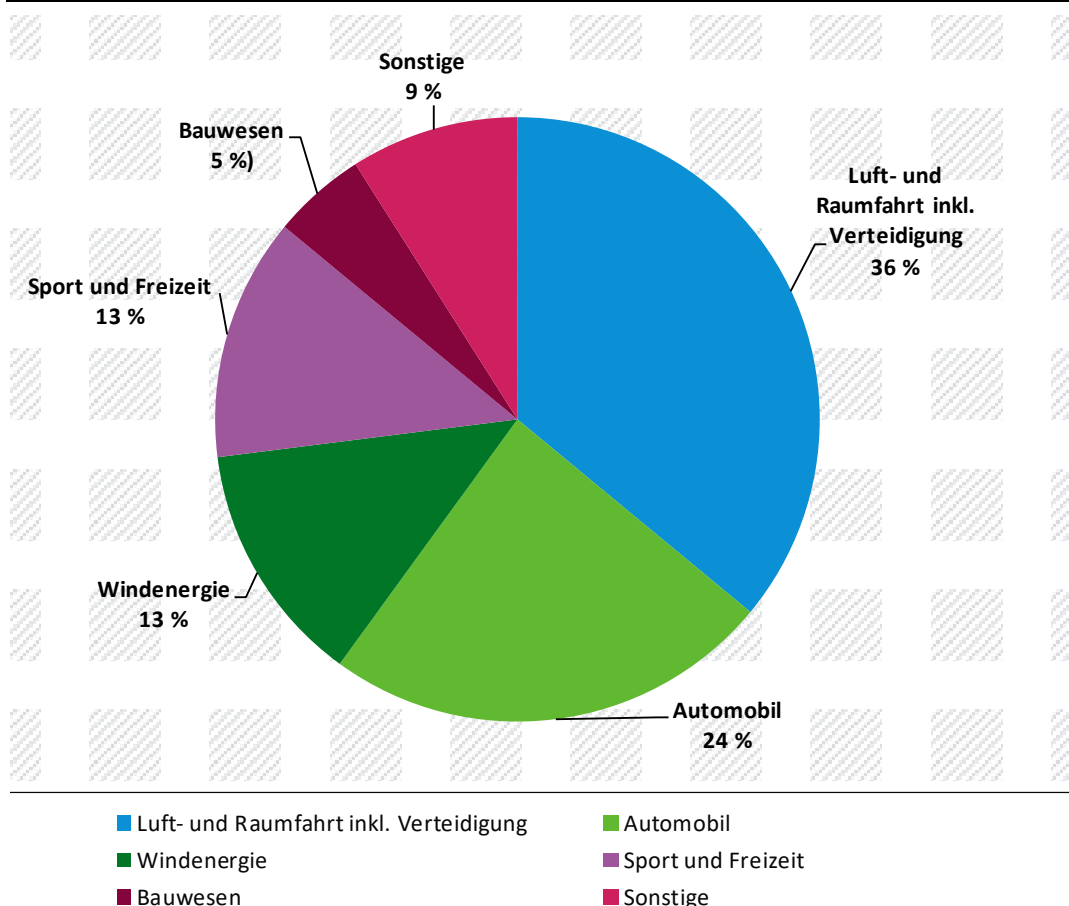
CFK erlangt im Bereich der Bedarfsgegenstände eine gewisse Marktdurchdringung und wird in Produkten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Anwendungsbereichen eingesetzt. Eingesetzt wird CFK nicht nur in hochpreisigen Individuallösungen (z.B. im Leistungssport), sondern inzwischen auch in breiten kommerziellen Anwendungen. Eine große Rolle in dieser Entwicklung spielen technische Vorteile von CFK, wie geringes Gewicht, hohe Belastbarkeit oder Korrosionsbeständigkeit, aber auch Marketing (Composites United, 2020; Witten et al., 2018). Zwar wird für Bedarfsgegenstände auch GFK eingesetzt (z.B. Ski), jedoch dominiert bei diesen Anwendungen generell CFK, weshalb im Folgenden der Fokus auf CFK in Bedarfsgegenständen gelegt wird.

Welche Mengen an CFK aktuell in Bedarfsgegenständen eingesetzt werden, lässt sich nicht genau bestimmen. Der Composites Marktbericht der Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe (AVK) sowie Carbon Composites (2018) zählen Bedarfsgegenstände zum einen in den Bereich Sport und Freizeit und zum anderen in den Bereich Sonstiges.

Die prozentuale Verteilung der CFK-Bedarfsmengen auf die einzelnen Anwendungsbereiche für Deutschland bzw. Europa ist nicht bekannt, jedoch der Einsatz von Carbon-FVW in den unterschiedlichen Bereichen für 2018 weltweit (siehe nachfolgende Abbildung). Für das Jahr 2021 werden die CFK Produktionsmengen mit 52 kt für Europa angegeben (Witten & Mathes, 2022). Überträgt man die prozentuale Verteilung der Anwendungsbereiche aus Abbildung 23 auf die Produktionsmengen in Europa bedeutet dies einen Bedarf an CFK im Bereich „Sport und Freizeit“ von 6,76 kt.

³⁹ Aufgrund der mengenmäßigen Relevanz fokussiert sich das Forschungsvorhaben auf CFK und Bedarfsgegenstände aus GFK damit nicht explizit berücksichtigt.

Abbildung 23: Weltweiter Bedarf (in %) an Carbon-FVW nach Anwendungsbereich im Jahr 2018



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

Bei Sport und Freizeit werden auch Produkte einbezogen, die nicht unter die Definition von Bedarfsgegenständen im Rahmen dieses Vorhabens fallen (z.B. Boote), daher kann nicht die gesamte Bedarfsmenge der Produktgruppe C zugeschrieben werden⁴⁰ (Witten et al., 2018).

Auf der anderen Seite werden Bedarfsgegenstände zum Teil unter Sonstiges erfasst (z.B. Produkte der Medizintechnik). Dennoch ist zu vermuten, dass der Großteil der Kategorie „Sonstige“ Produkte enthält, welche nicht unter die Definition von Bedarfsgegenständen in diesem Forschungsvorhaben fallen (z.B. Maschinen- und Anlagenbau, Energiespeicher). Insgesamt haben „Sonstige“ Anwendungen einen weltweiten Bedarf an Carbon-FVW von 9 % im Jahr 2018. Unter Annahme dieses Anteils würde dies eine Bedarfsmenge von CFK in Europa im Bereich der „Sonstigen“ Produkte von 4,7 kt haben (wovon Bedarfsgegenstände im Rahmen dieses Forschungsvorhabens jedoch nur einen sehr geringen Anteil haben werden).

Um einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsbereiche zu erhalten, wurden in Tabelle 16 Produktbeispiele gelistet, welche CFK enthalten bzw. enthalten können. Hier sind Produkte enthalten, für die der Einsatz von CFK nicht untypisch ist (z.B. Fahrradrahmen), aber auch spezifische Produktbeispiele, für die der Einsatz von CFK nur eine Ausnahme darstellt (z.B. Geldbeutel).

⁴⁰ Da Sportboote jedoch vor allem GFK und weniger CFK enthalten, sollte der Großteil der Bedarfsmenge den Bedarfsgegenständen zugeordnet werden können.

Um die Produktgruppen für dieses Vorhaben weiter einzuschränken, wurde in einem nächsten Schritt (jeweils für den Bereich Sport, Freizeit und Medizin) über Studien, Veröffentlichungen, verfügbare Marktberichte, Verbandsanfragen und Internetrecherche nach Hinweisen gesucht, wie hoch der Anteil an Produkten mit CFK Anteilen innerhalb einer Untergruppe (z.B. Fahrräder) ist bzw. wie hoch der Anteil an eingesetztem CFK typischerweise in einem bestimmten Produkt der Untergruppe ist. Sofern diese Informationen ermittelt werden konnten, wurde bereits eine erste Auswahl vorgenommen. Sofern dies nicht der Fall war, wurde im Weiteren vor allem auf Produkte ein besonderes Augenmerk gelegt, welche im LAGA Bericht „Entsorgung faserhaltiger Abfälle“ (LAGA, 2019) genannt wurden.

In Tabelle 16 sind jeweils die Bedarfsgegenstände mit einem Kreuz gekennzeichnet, welche entweder in der LAGA als Produktbeispiele genannt wurden oder in Marktstudien darauf hingewiesen wurde, dass in den Produkten häufig bzw. große Mengen an CFK eingesetzt werden.

Um die vorläufige Auswahl an Untergruppen zu verifizieren und die Datenlage zu verbessern wurde weiter mit Stichprobenabfragen über Online-Plattformen gearbeitet. Hierzu wurden Artikelbeschreibungen auf den Webseiten von diversen Online-Shops untersucht sowie für bestimmte Untergruppen entweder nach Schlagwörtern wie „Carbon“, „Carbonfaserverstärkte Kunststoffe“ oder „Carbonfasern“ gesucht oder entsprechende Filter angewendet (wie z.B. Materialauswahl „Carbon“ auf Onlineverkaufsplattformen).

Die Vorgehensweise zur Auswahl sowie Informationen zum Bestand der im Detail zu betrachtenden Produkte wird in den folgenden Kapiteln für die Bereiche Sport (konkret Fahrräder, Ski und Snowboards, Golfschläger), Freizeit (konkret Saiteninstrumente) und Medizin (konkret Prothesen und Orthesen) ausgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse finden sich in Kapitel 3.3.2.

Tabelle 16: Rechercheergebnisse zu Bedarfsgegenständen mit Einsatz von CFK

Bedarfsgegenstände mit CFK	Kategorie	Auswahl zur weiteren Betrachtung	Auswahl zur weiteren Betrachtung
		Produkte genannt in (LAGA, 2019)	Produkte genannt in Marktstudien zum Einsatz von CFK
Blasinstrumente (z.B. Blätter)	Freizeitbereich	X	
Brillengestelle	Freizeitbereich		
Designerlampen	Freizeitbereich		
Designermöbel	Freizeitbereich		
Gartengeräte	Freizeitbereich		
Geldbeutel	Freizeitbereich		
Handyhüllen	Freizeitbereich		
Kamerastative	Freizeitbereich		
Modellflugzeuge	Freizeitbereich		
Outdoormesser	Freizeitbereich		

Bedarfsgegenstände mit CFK	Kategorie	Auswahl zur weiteren Betrachtung	Auswahl zur weiteren Betrachtung
Regenschirme	Freizeitbereich		
Reisekoffer	Freizeitbereich	X	
Ringe, Armbänder, Uhren	Freizeitbereich		
Schlüsselanhänger	Freizeitbereich		
Schachspiele	Freizeitbereich		
Streich- und Zupfinstrumente (z.B. Geigenbogen, Korpusse)	Freizeitbereich	X	
Zeltstangen	Freizeitbereich		
Gehhilfen	Medizinbereich		
Orthesen, Prothesen	Medizinbereich	X	
Rollatoren	Medizinbereich		
Rollstühle	Medizinbereich		
Angelruten	Sportbereich		X ¹ ; X ²
Billiard (Queues)	Sportbereich		
Diabolos / Handstäbchen	Sportbereich		
Diskus	Sportbereich		
Fahrradrahmen und -zubehör	Sportbereich	X	X ¹ ; X ²
Gleitschirme und Drachen	Sportbereich		
Golfschläger	Sportbereich	X	X ¹ ; X ² ; X ³
Helme	Sportbereich		
Hochsprungstäbe	Sportbereich		
Paddel	Sportbereich		
Pfeile und Bögen	Sportbereich		
Schlitten und Rodel	Sportbereich		
Schlittschuhe	Sportbereich		
Skate- und Longboards	Sportbereich		
Ski und Snowboards	Sportbereich	X	X ¹ ; X ² ; X ³

Bedarfsgegenstände mit CFK	Kategorie	Auswahl zur weiteren Betrachtung	Auswahl zur weiteren Betrachtung
Speere	Sportbereich		
Tennis-, Badminton-, Squashschläger	Sportbereich	X	X ¹ ; X ² ; X ³
(Eis)Hockeyschläger	Sportbereich		X ¹ ; X ² ; X ³
Wander- und Laufschuhe	Sportbereich		
Wander-, Ski- und Nordic Walkingstöcke	Sportbereich		(X ³)

¹basierend auf Marktstudie <https://www.compositesworld.com/articles/market-outlook-carbon-fiber-in-sporting-goods>;

²basierend auf Marktstudie <https://www.lucintel.com/sports-composite-goods-market.aspx>

³basierend auf <https://www.businesswire.com/news/home/20161214005060/en/PAN-based-Carbon-Fiber-Segment-%20Fastest-growing-Segment-Expected>; unter Ski- und Snowboards sind auch Skistöcke genannt.

3.3.2 Marktstudie zu Bedarfsgegenständen aus CFK im Sportbereich

3.3.2.1 Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Sportbereich

Der Einsatz von CFK hat sich nach Produkten für den Leistungs- und Spitzensport auch im Breitensport etabliert. CFK wird vor allem in Form von Rohren und Stäben verarbeitet (z.B. Golfschläger, Rahmenelemente Flugdrachen, Unterantenne bei Angeln) aber auch in anderen Formen beispielsweise für den Einsatz in Skischuhen und Helmen (bolek, 2021) (Composites United, 2020). Hier findet sich eine hohe Marktdurchdringung in den unterschiedlichsten Anwendungen (siehe auch Tabelle 16), jedoch mit grundsätzlich sehr unterschiedlichen CFK-Anteilen in den entsprechenden Produkten (Quicker & Stockschräder, 2021; Witten et al., 2018). Die LAGA (2019) nennt in ihrem Bericht als Beispiele für Sportprodukte mit CFK Einsatz Fahrräder, Tennisschläger, Golfschläger und Skier.

Composites World gab 2008 einen Marktüberblick für den Einsatz zu Carbonfasern im Sportbereich in 2006 (Composites World, 2008). Hier stellt sich heraus, dass Carbonfasern⁴¹ vor allem für die Herstellung von Golfschäften, Schlägern, Skier, Snowboards, Hockeyschlägern, Angelruten und Fahrrädern verwendet wurden. Für diese sieben Untergruppen wurden 51 % der Carbonfasern eingesetzt, welche im Bereich Sportequipment verwendet werden.

Technavio bestimmt in der Marktstudie „Global Carbon Fiber in Sports Equipment Market 2017–2021“ von 2016 „sport sticks“ (Golfschläger und -schäfte, Eishockey- und Feldhockeyschläger), „rackets“ (Tennis-, Badminton-, Racquetball- und Squashschläger) sowie „ski und snowboards“ (Skier, Snowboards sowie Skistöcke) als die drei größten Anwendungsbereiche für Carbonfasern⁴² bei Sportequipment. Die Kategorie sport sticks hatte 2015 mit 40 % den größten Anteil in der Anwendung von Carbonfasern im Bereich Sportequipment, Schläger hatten einen Marktanteil von 17 % und Ski- und Snowboards einen Anteil von 14 % (businesswire, 2021).

⁴¹ Diese Studie bezieht sich auf Carbonfasern und nicht explizit auf CFK; dennoch wird angenommen, dass Carbonfasern im Bereich Sport vor allem durch Kunststoffe verstärkt werden. Dies würde dann durch die spezifische Analyse konkreter, ausgewählter Untergruppen genauer untersucht und ggf. differenziert werden.

⁴² Siehe Fußnote oben.

Die Marktstudie von Lucintel (2020) „Opportunities in the Sports Composites Market: Growth Trends, Forecast and Competitive Analysis“ erwartet zwischen 2018 und 2023 eine jährliche Wachstumsrate von 3,2 % für den Einsatz von FVW⁴³ in Anwendungen des Sportbereichs. Vor allem im Bereich Ski und Snowboards, Fahrräder, Golfschläger, Hockeyschläger, weitere Schläger und Angelruten wird der Einsatz von FVW als dominant angesehen. Laut den Prognosen von Lucintel wird der Einsatz von FVW in Ski- und Snowboards weiterhin am höchsten sein, wohingegen Golfschläger und -schäfte in Bezug auf den Wert dominieren werden (Lucintel, 2020).

Alle drei Studien nennen Golfschläger, (Tennis- und Badminton-)Schläger, Skier und Snowboards sowie Hockeyschläger als Untergruppen mit dem größten Einsatz von Carbonfasern bzw. FVW im Sportbereich. Fahrräder und Angelruten werden in zwei Studien genannt und Skistöcke in einer der drei Studien im Zusammenhang mit der Kategorie Ski und Snowboards. Um im Laufe des Projektes die mengenrelevantesten Untergruppen weiter zu betrachten, aber auch eine Varianz an Produkten zu erlangen, werden folgende Untergruppen betrachtet:

- ▶ Fahrräder
- ▶ Skier und Snowboards
- ▶ Golfschläger.

3.3.2.2 Fahrräder

3.3.2.2.1 Informationen zum Bestand in Deutschland

Aktuelle Zahlen des Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) (2021) gehen davon aus, dass im Jahr 2020 der gesamte Fahrradbestand in Deutschland bei ca. 79,1 Mio. Stück liegt, wovon circa 7,1 Mio. Stück Elektrofahrräder darstellen. Die Absatzzahlen für 2020 liegen bei ca. 5,04 Mio. Fahrrädern und Elektrofahrrädern, was einen Anstieg von 16,9 % zum Vorjahr bedeutet⁴⁴. Elektrofahrräder machten dabei mit 1,95 Mio. Stück einen Anteil von 38,7 % aus.

Fahrräder bestehen aus mehreren Einzelteilen (siehe Abbildung 24). Laut Expert*innen wurde das erste Fahrrad mit CFK-Einsatz 1989 hergestellt. Seit Mitte der 1990er Jahre wird CFK in der Großserienproduktion eingesetzt (Input Bergsportverband 2021). Gestiegen ist der Einsatz von CFK in Fahrrädern vor allem in den letzten zehn Jahren. Besonders im Fortgeschrittenen- bzw. Leistungsbereich ist ein steigender CFK-Einsatz zu beobachten. Expert*innen gehen davon aus, dass insgesamt ca. 20–30 % (Durchschnitt 25 %) der heute verkauften Fahrräder Bauteile aus CFK enthalten und mindestens 15 % aller Fahrradrahmen aus CFK bestehen (bezogen auf den gesamten Fahrradbestand Deutschland bei einer Annahme von 25 %: 19,7 Mio. Fahrräder mit CFK-Einsatz). Fahrradtypen, die CFK enthalten sind vor allem Rennräder, Triathlonräder und Mountainbikes. Sie bestehen im Durchschnitt aus ca. 25 % CFK (Input Bergsportverband 2021; Input Fahrradverband 2021). Auch Spezialfahrräder wie beispielsweise Velomobile und Lastenfahrräder setzten inzwischen CFK-Bauteile ein.

Fahrradteile welche häufig aus CFK bestehen sind die Folgenden (Input Bergsportverband 2021):

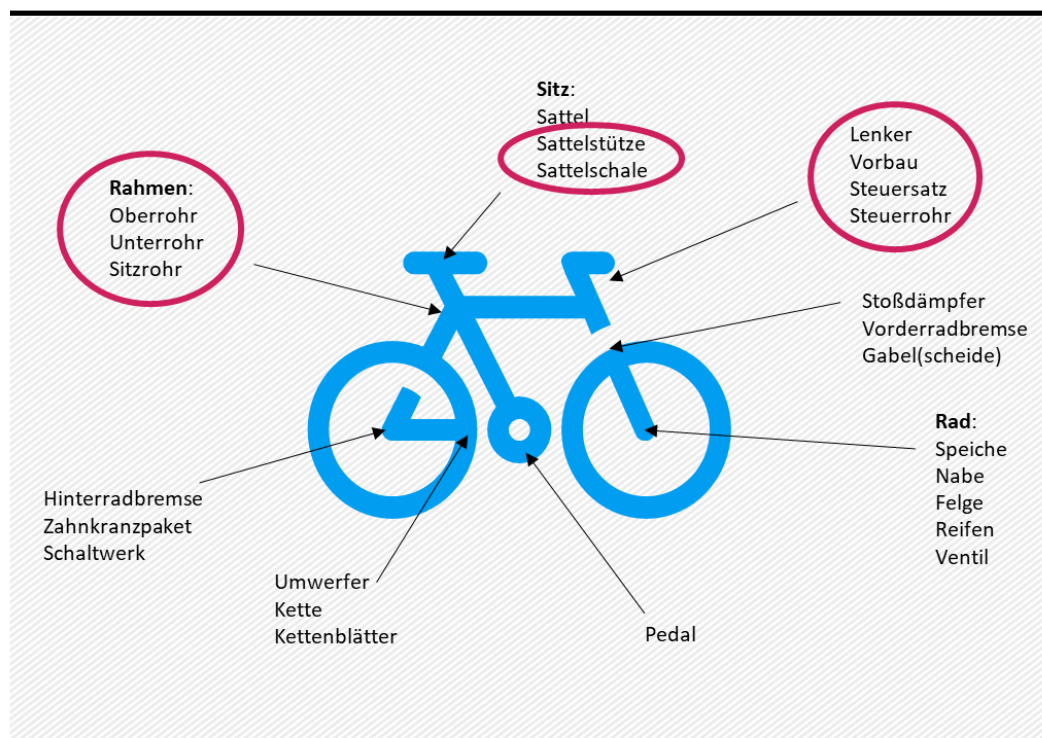
⁴³ Diese Studie bezieht sich auf FVW und nicht explizit auf CFK; dennoch wird angenommen, dass für die genannten Produkte vor allem der Einsatz von CFK relevant ist.

⁴⁴ Hier muss beachtet werden, dass 2020 aufgrund der COVID-19 Situation ein nicht repräsentatives Jahr für die Fahrradindustrie darstellte.

- ▶ Rahmen,
- ▶ Sattelstütze,
- ▶ Lenker und Vorbau
- ▶ Sattelschalen.

Einzelne herstellende Unternehmen verwenden auch Carbon anstatt einer Fahrradkette aus Metall, oder für die Gabel und die Räder (z.B. Diamond, Specialized). Ein hochwertiges Rennrad kann fast vollständig aus CFK-Bauteilen bestehen (Input Fahrradverband 2021).

Abbildung 24: Einzelteile eines Fahrrads (typische Teile aus CFK sind pink hervorgehoben)



Quelle: Eigene Darstellung nach Harry (2012)

3.3.2.2.2 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

Fahrräder, die zu sportlichen Zwecken genutzt werden (z.B. Rennräder, Mountainbikes) haben ihr Lebensende, abhängig von ihrer Nutzungsintensität, nach ca. 10–15 Jahren erreicht (Input Bergsportverband, 2021; öre-1, 2021; Fahrradverband, 2021). Grund für eine Entledigung sind vermutlich technische Neuerungen und Innovationen des Fahrradmarktes, die aus sportlicher Perspektive für einen Neukauf sprechen. Alltagsfahrräder, für welche technische Neuerungen keine große Rolle spielen und die weniger intensiv genutzt werden, weisen längere Lebensdauern auf (Input Bergsportverband, 2021; Fahrradverband, 2021).

Abfallvermeidung

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Fahrräder während ihrer Lebensphase meist mindestens drei Besitzer*innen haben (Input Bergsportverband, 2021). Dies bedeutet, dass Fahrräder oftmals gebraucht gekauft werden. Dies geschieht über allgemeine Online-

Plattformen⁴⁵, spezifischen Online-Plattformen für Fahrräder⁴⁶ sowie auf allgemeinen Flohmärkten oder spezifischen Fahrradflohmärkten⁴⁷.

Sind bestimmte Bauteile eines Fahrrads nicht mehr funktionsfähig, ist dies kein Grund zur Entsorgung des Fahrrads. Vielmehr werden Fahrräder vom Nutzer selbst oder in Fahrradwerkstätten repariert, was zu einer verlängerten Lebensdauer führt (Input Bergsportverband, 2021). Dies gilt für Schäden am Rahmen jedoch nur bedingt. CFK-Rahmen können jedoch oft bei kleineren Beschädigungen nicht mehr repariert werden. Das Fahrradunternehmen Diamantrad macht auf seiner Homepage deutlich, dass bereits ein Mikroriss bei CFK-Bauteilen die Weiterverwendung nicht mehr sicher gewährleistet werden kann. Ob die Reparatur eines Rahmens aus CFK durchgeführt werden kann bzw. rentabel ist wird individuell entschieden. Es gibt in Deutschland eine geringe Anzahl an Werkstätten, die auch speziell die Reparatur von CFK-Rahmen anbieten. Doch auch hier ist der Reparaturprozess aufwendig (Diamant Redaktion, 2021)(Input Fahrradwerkstätte, 2021), siehe z.B. Beschreibung der Reparatur von CarboRep⁴⁸. Andere Bauteile, wie beispielsweise Gabel und Vorbau/Lenker können aufgrund der modularen Bauweise leicht ausgetauscht werden (Input Fahrradverband, 2021).

Abfallmanagement

Ist das Fahrrad nicht mehr reparaturfähig oder will sich der/die Besitzer*in dessen entledigen, können Fahrräder an Schrotthändler geben oder der Sperrmüllsammlung übergeben werden (Abholung oder an Wertstoffhöfen). Es gibt bislang kein spezielles Sammelsystem oder eine Rücknahmepflicht des herstellenden Unternehmens / Handels für Altfahrräder. Häufig können Elektrofahrräder zudem bei den Händlern abgegeben werden. Aktuell wird über ein Sammelsystem der Akkus von Elektrofahrrädern diskutiert (Input Bergsportverband, 2021; Input Fahrradverband, 2021). Fahrradreifen oder -schläuche können über den Restmüll entsorgt werden. Ein spezifisches Sammelsystem für alte Fahrradschläuche gibt es bei Hersteller Schwalbe. Alte Schläuche können beim Fahrradhändler abgegeben werden oder selbst an den Hersteller gesendet werden, wo diese recycelt werden (Schwalbe, 2021). Laut eines öRE⁴⁹ (Input öRE-1, 2021) wird pro Jahr nur etwa ein Fahrrad an einem Wertstoffhof abgegeben. Laut Tretwerk werden pro Jahr ca. 3,5 Mio. Fahrräder über den Sperrmüll entsorgt (Tretwerk, 2020).

In einigen Städten gibt es Sammelaktionen sogenannter „Schrottfahrräder“, also Fahrräder welche den Eindruck erwecken, dass sie nicht mehr genutzt werden, nicht mehr fahrtauglich sind oder verkehrsgefährdend abgestellt wurden (z.B. (Landeshauptstadt München, n.d.; Stadtreinigung Hamburg, n.d.)).

Einige Wertstoffhöfe bringen noch reparaturfähige/ wiederverwendbare Fahrräder (sowie andere Sportgeräte) in sogenannte Gebrauchtkaufhäuser oder spenden diese für soziale Zwecke (z.B. (Landeshauptstadt München, n.d.; Stadtreinigung Hamburg, n.d.)(Input öRE-5, 2021)). Werden Fahrräder über den Sperrmüll entsorgt, werden laut Stakeholdern die Metallteile recycelt (Input öRE-5, 2021) und die restlichen Teile nach einer Vorbehandlung im Schredder einer energetischen Verwertung zugeführt oder beseitigt (Input öRE-1, 2021). Unklar ist, inwiefern CFK hier zu Problemen führt (siehe Kapitel 1.2.1.2, Probleme durch WHO-

⁴⁵ Z.B.: Ebay Kleinanzeigen, Quoka

⁴⁶ Z.B.: Fahrrad kleinanzeige, Re-cycle, Buycycle, Velomotion, meinfahrradmarkt.de

⁴⁷ Z.B. Radlflohmärkte München: <https://www.muenchen.de/veranstaltungen/event/10975.html>

⁴⁸ <https://www.carborep.de/carbonrahmen-reparatur/>

⁴⁹ Mit drei Recyclinghöfen und ca. 90.000 Einwohner

Faserbildung oder Ausfälle der Elektrofilter). Basierend auf der Rückmeldung der befragten öRE lässt traten bislang keine Probleme durch die Entsorgung von CFK auf (Input öRE-2, 2021; öRE-3, 2021). Versuche in Quicker (2021) zeigen ebenfalls, dass eine geringe Carbonfaserzugabe in eine Siedlungsverbrennungsanlage zwar keine Störungen oder Einschränkungen des Regelbetriebs hervorrufen, jedoch die Fasern nur unvollständig zersetzt werden.

Werden Fahrräder beim Schrotthändler abgegeben, werden wertvolle Bauteile demontiert und als Ersatzteile wiederverwendet. Die verbleibenden Metalle werden dem Recycling zugeführt (Input Bergsportverband, 2021),

Zum Umgang mit CFK-Bauteilen eines Altfahrrads in der Entsorgungsanlage ist wenig bekannt. CFK-Bauteile werden entweder nicht frühzeitig demontiert und/oder Fahrräder mit CFK-Bauteilen wurden bislang noch nicht in größerer Stückzahl entsorgt. Grundsätzlich findet aktuell kein spezifisches Recycling von CFK-Fahrrädern bzw. CFK-Komponenten in Deutschland statt. Allerdings gibt es spezielle Recyclingprojekte im Bereich CFK und Fahrräder, so führte der Markeninhaber Specialized (USA) im Jahr 2012 ein Recyclingprojekt von Carbonrahmen in Zusammenarbeit mit dem Recyclingunternehmen Materials Innovation Technology durch. Es sollte eine Logistik zwischen Fahrradhändlern, Specialized und dem Recyclingunternehmen aufgebaut werden, die für die Fahrradhändler kostenfrei ist. Die recycelten, kürzeren Fasern können zwar nicht als Rohmaterial für neuwertige Carbonrahmen genutzt werden, allerdings für Bauteile mit geringeren Ansprüchen (z.B. Armlehnen in Flugzeugen) (Fritsch, 2011). Das Projekt besteht weiterhin.

2015 wurde in einem gemeinsamen Projekt zwischen dem Institut für Leichtbau- und Kunststofftechnik (ILK) der TU Dresden und Projektpartnern aus der Wirtschaft ein vollständig recycelbares Carbon-Rad „nam:e“ entwickelt (Composites United, 2020). Inwiefern dieses Fahrrad bzw. seine CFK-Anteile recyclebar sind bzw. auch tatsächlich recycelt werden ist nicht klar.

Auf der anderen Seite gibt es Projekte, die recycelte Carbonfasern in Fahrrädern einsetzen. Das französische Start-up Petit-Breton nutzt recycelte Carbonfaserreste aus der Airbus-Produktion zur Herstellung des Carbon-Fahrrads „made of Airbus“ (Leichtbauwelt, 2021). Allerdings handelt es sich dabei nicht um post-consumer Abfälle, sondern um Produktionsabfälle.

Als Gründe, die aktuell das Recycling von CFK-Bauteilen von Altfahrrädern hindern geben Stakeholder die geringen Mengen, die Erkennung der spezifischen Bauteile aus CFK, die Problematik der Trennung unterschiedlicher Materialien, die Logistik und die fehlende Produktverantwortung an (Input Bergsportverband, 2021; öRE-1, 2021; öRE-5, 2021; Fahrradverband, 2021). Weitere allgemeine Gründe sind Kapitel 1.2 zu entnehmen.

Digitale Datenbanken sowie Kommunikationssysteme für die Erfassung und Entsorgung von Altfahrrädern sind bislang nicht bekannt.

Tabelle 17: Überblick Fahrräder

Verkaufszahlen 2020 [Stück]	Bestand 2020 [Stück]	Durchschnittliches Gewicht [kg]	Menge CFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmengen [Stück/Jahr]
5,04 Mio.	79,1 Mio.	CFK-Rennräder: 7 - 9 kg ⁵⁰	Ca. 25 % der Fahrräder	10–15	3,5 Mio.

⁵⁰ <https://shop.bernhardkohl.at/haeufige-fragen-zu-rennraedern/>

Verkaufszahlen 2020 [Stück]	Bestand 2020 [Stück]	Durchschnittliches Gewicht [kg]	Menge CFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmengen [Stück/Jahr]
		CFK-Mountainbikes: ab 10 kg ⁵¹	enthalten bis zu 25 % CFK Bei Gewicht von 8,5 kg = 42.000 t CFK im aktuellen Bestand		

3.3.2.3 Ski und Snowboards

3.3.2.3.1 Informationen zum Bestand in Deutschland

Laut einer Studie des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2013) führen 2013 ca. 11,2 Mio. der deutschen Bevölkerung Ski und 2,33 Mio. Snowboard (Verhältnis 4:1; Mehrfachnennung nicht auszuschließen). Dies sind ca. 16,8 % der deutschen Bevölkerung in 2013. 16,8 % im Jahr 2020 würde bedeuten, dass ca. 14 Mio. der Deutschen Ski oder Snowboard fahren.

Einer Umfrage des Schweizer Firma Manova (2016) zufolge besitzen ca. 77 % der aktiven Skifahrer eine eigene Ausrüstung. Die restlichen 23 %, aber auch einige der Skifahrer, die eine eigene Ausrüstung besitzen, nutzen Leihmaterial zum Skifahren (Manova, 2016). Basierend auf diesen Zahlen wären in 2020 ca. 10,76 Mio. Ski und Snowboards bei Privatpersonen in Besitz (diese können dabei neu oder als gebrauchte Ski oder Snowboards gekauft worden sein). Hinzu kommt der Skibestand aus Verleihstationen, der pro Verleihstation aus mehreren Paar Skiern bzw. Snowboards besteht. Auch haben Leistungssportler sowie einige Hobbysportler mehrere Paar Skier oder Snowboards in Besitz, sodass der Bestand in Deutschland an Ski und Snowboards die 13,97 Mio. Stück (= aktive Ski- und Snowboardfahrer) übersteigen wird. Hinzu kommen noch weitere Ski- und Snowboardtypen wie beispielsweise Langlaufski Skisprungski, Skitourenski und Splitboards⁵²

„Nach Angaben des Deutschen Skiverbands (DSV) werden jedes Jahr in Deutschland 350.000 Paar Ski verkauft“ (Hawranek, 2010)(vermutlich neue Ski und nicht gebraucht). Geht man von dem Verhältnis 4:1 von Ski zu Snowboards aus, werden pro Jahr ca. 87.500 Snowboards in Deutschland gekauft.

Im Durchschnitt wird alle 4,6 Jahre eine neue Ausrüstung an Ski und Snowboards gekauft (Manova, 2016). Dies bedeutet nicht, dass ein Ski oder Snowboard eine Lebenszeit von durchschnittlich 4,6 Jahren aufweist, denn Ski und Snowboards werden sehr häufig auch gebraucht weiterverkauft. Schätzungen von Expert*innen gehen davon aus, dass Skier und Snowboards zwischen 10 und 15 Jahre genutzt werden, bevor diese entsorgt werden (Input Skierstellendes Unternehmen, 2021; Input öRE-1, 2021); Tourenski ca. 6 Jahre (Redaktion Naturschutz, 2021).

Der klassische Ski und das klassische Snowboard werden in der Sandwichkonstruktion gebaut. Der Ski / das Board bestehen hier aus (Eberhart & Lochringer, 2015):

- Deckel (aus Kunststoff)

⁵¹ <https://shop.bernhardkohl.at/haeufige-fragen-zu-mountainbikes/>

⁵² Ein Splitboard ist ein Snowboard, das für den Aufstieg in zwei Hälften (Ski) geteilt werden kann.

- ▶ Obergurt
- ▶ Seitenwangen (meist Kunststoff oder Bambus)
- ▶ Kern (aus Schichtholz, Massivholz oder Schaum)
- ▶ Untergurt
- ▶ Kanten (aus Stahl)
- ▶ Belag (aus Polyethylen)
- ▶ Dämpfungselementen (elastische Kunststoffe).

CFK und vor allem GFK werden vor allem im Ober- und Untergurt eingesetzt (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2021). Bei der sogenannten Mantelbauweise werden um den Kern Glas- oder Kohlefasern gewickelt und mit Harz verklebt (Eberhart & Lochringer, 2015).

Bereits seit ca. 1970 werden CFK und GFK in Ski und Snowboards eingesetzt. Mittlerweile enthalten fast alle Ski und Snowboards CFK und/oder GFK. Vor allem im Bereich der Skitourenski und Splitboards wird mit CFK und GFK gearbeitet, da für den Aufstieg ein geringes Gewicht von großem Vorteil ist (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2021). Pfitzer und Wilken gehen von einem GFK-Anteil in Ski und Snowboards (ohne Bindung) von 38 % aus (Pfitzner & Wilken, 2003).

3.3.2.3.2 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

Abfallvermeidung

Ski und Snowboards werden, wie bereits erwähnt, nach der Nutzungsphase häufig verkauft und nicht entsorgt. Der Verkauf findet häufig über allgemeine Online-Plattformen⁵³, Secondhand-Skiplattformen⁵⁴ oder über regionale Ski-Bazare weiterverkauft.

Haben die Skier und Snowboards kleinere Mängel an Belag und Kante können diese von speziellen Skiwerkstätten oder Skiservice von Händler meist mehrere Male ausgebessert werden. Gebrochene Ski oder Snowboards können häufig nicht mehr repariert werden (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2021).

Abfallmanagement

Nicht mehr genutzte Ski oder Snowboards können am Wertstoffhof als Sperrmüll oder bei Sperrmüll-Abholungen abgegeben werden. Es gibt keine spezifischen Sammelsysteme für Skier oder Snowboards (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2021). Der Deutsche Skiverband geht davon aus, dass in Deutschland pro Jahr ca. ca. 350.000 Paar Ski entsorgt werden (Redaktion Naturschutz, 2021), was ungefähr auch der Anzahl an verkauften Ski entspricht (Hawranek, 2010). Für Snowboards würde dies äquivalent 175.000 Stück bedeuten. Ein öRE im südlichen Teil Deutschlands gibt an, dass pro 1.000 Einwohnern und Jahr ca. 1,26 Ski und Snowboards an den Werkstoffhöfen abgegeben werden (Input öRE-4⁵⁵, 2021).

Altski und Altsnowboards, die am Werkstoffhof abgegeben wurden, aber noch in angemessenen Zustand sind, werden auch in einigen Fällen an Gebrauchtwarenkaufhäuser weitergegeben oder

⁵³ Z.B. ebay Kleinanzeigen, Quoka

⁵⁴ Z.B. Skioccas

⁵⁵ 800 abgegebene Ski und Snowboards, fünf Wertstoffhöfe, ca. 634.800 Einwohner.

sozialen Zwecken gespendet (Input örE-5, 2021). Altski und Altsnowboards die mit Sperrmüll erfasst werden, werden nach Aussage eines Skiherstellenden Unternehmen (2021) zerkleinert und energetisch verwertet. Die Asche wird deponiert. Nach Aussagen des bvse hingegen wird ein Ski demontiert: die Bindung wird abgenommen und der Ski in Kunststoff und Holzkern getrennt. Der Holzkern wird über den Altholzstrom weiterverarbeitet und der Kunststoff energetisch verwertet oder als Sonderabfall klassifiziert und vermutlich energetisch verwertet (Hawranek, 2010).

Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der Großteil der Altski und Altsnowboards nicht in seine Einzelteile zerlegt wird. Dies wird vor allem durch die Materialvielfalt und die aufwendige Separierung aufgrund verklebter Bauteile erschwert. Ein Recycling ist aktuell nicht wirtschaftlich darstellbar (Hawranek, 2010; Redaktion Naturschutz, 2021).

Es kann folglich geschlussfolgert werden, dass auch die Bauteile aus CFK und GFK nicht frühzeitig separiert werden (können) und folglich mit dem gesamten Altski/Altsnowboard energetisch verwertet werden. Weitere Gründe, die das Recycling von CFK und GFK von Altski/Altsnowboards hindern, sind laut Expert*innen die aktuell geringen Abfallmengen sowie der geringe Wert des Rohmaterials (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2021; örE-5, 2021). Weitere Gründe sind Kapitel 1.2 zu entnehmen.

Um das Problem der Materialseparation zu lösen, stellt die Firma Earlybirds Skis mit einem spezifischen Epoxidharz-System her, welches sich am Ende der Lebenszeit bei dem*der Hersteller*in für das Recycling lösen lässt. Hier zeigt sich allerdings, dass (auch aufgrund der langen Transportwege) ein Recycling aktuell gegenüber einer energetischen Verwertung aus ökobilanzieller Sicht keine Vorteile hat. Dennoch arbeitet Earlybird Skis in der Schweiz mit Partnern aus der Recyclingbranche, um perspektivisch Recyclingmöglichkeiten im industriellen Maßstab aufzubauen (Redaktion Naturschutz, 2021). Da Earlybird Skis jedoch kein GFK und CFK einsetzen, ist dieses Projekt für das Recycling von Ski nur im Allgemeinen relevant.

Digitale Datenbanken sowie Kommunikationssysteme für die Erfassung und Entsorgung von Altskiern oder Altsnowboards sind bislang nicht bekannt

Tabelle 18: Überblick Ski und Snowboards

Verkaufszahlen [Stück/Jahr]	Bestand [Stück] berechnet für 2020]	Durchschnittliches Gewicht ⁵⁶	Menge CFK / GFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmenge [Stück/Jahr]
437.500	14 Mio.	Ski ohne Bindung: ~ 4 kg Snowboard ohne Bindung: ~3–4 kg	38 % CFK/GFK pro Paar Ski / Snowboard = 20.703 t CFK/GFK	10–15	437.500

3.3.2.4 Golfschläger

3.3.2.4.1 Informationen zum Bestand in Deutschland

Nach Zahlen von Eurostat [DS-066341] werden Golfschläger und anderes Golfequipment nicht in Deutschland produziert. Zahlen zum Bestand von Golfschlägern in Deutschland oder Verkaufszahlen sind nicht öffentlich verfügbar.

⁵⁶ Basierend auf Stichproben auf Online-Verkaufsplattformen.

Für 2020 registriert der Deutsche Golfverband (DGV) 651.417 Golfspieler*innen. Die letzten Jahre ist die Mitgliederanzahl kontinuierlich leicht gestiegen (Deutscher Golfverband, 2021b). Grundsätzlich darf jeder Golfer 14 Schläger mit auf die Runde nehmen (vollständiger Schlägersatz) (Deutscher Golfverband, 2021a). Geht man davon aus, dass jeder registrierte Golfspieler ca. 5 Schläger besitzt (Pfitzner & Wilken, 2003), müssten aktuell ca. 3,5 Mio. Golfschläger in Deutschland im Umlauf sein.

Grundsätzlich gibt es drei Typen von Golfschlägern: Hölzer, Eisen und Putter. Ein Golfschläger besteht aus drei Hauptkomponenten: Griff, Schaft und Schlägerkopf. CFK (bzw. hier meist „Graphit“ genannt) wurde erstmals ca. 1971 in Golfschläger eingesetzt. CFK wird vor allem für den Schaft eingesetzt (mit Ausnahme bei Puttern), aber auch in den Schlägerköpfen mit geringem Gewicht. Der Einsatz von Stahl in Golfschlägerschäften ist zugunsten von CFK rückläufig (Deutscher Golfverband, 2021a; Golf24.de, n.d.; Lanfermann, 2018).

Ein moderner Stahlschaft wiegt zwischen 70 und 140 g, ein Schaft aus CFK zwischen 35 und 120 g (Paradise, 2020). Da keine spezifischen Informationen verfügbar sind, wie viele Golfschläger einen Schaft aus CFK aufweisen, wird die Größenordnung im Folgenden unter der Annahme abgeschätzt, dass ca. 50 % der Golfschläger in Deutschland ca. 80 g CFK enthalten. Dies würde insgesamt eine Menge von 140 t CFK bedeuten. Um CFK-Schäften mehr Stabilität zu geben, werden oftmals kleine Kunststoffrohre eingesetzt, die mit Schaft und Kopf verklebt werden (Golfschläger kaufen, 2009).

3.3.2.4.2 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

Abfallvermeidung

Sollte ein Golfschläger Mängel aufweisen, können kleinere Mängel repariert werden. Meist wird jedoch ein Austausch von Griff, Schaft oder Kopf durch neue Bauteile vorgenommen.

Abfallmanagement

Nach ca. 10–15 Jahren werden Golfschläger typischerweise entsorgt (Input örE-1, 2021). Ein örE (Input örE-1⁵⁷, 2021) gibt an, dass ca. 0,2 Golfschläger pro 1.000 Einwohner und Jahr an den Wertstoffhöfen abgegeben werden. Ein weiterer örE⁵⁸ meldet pro 1.000 Einwohner und Jahr ca. 0,5 Golfschläger (Input örE-4, 2021). In Deutschland gibt es bislang kein Sammelsystem für Golfschläger.

Einige Wertstoffhöfe bringen noch funktionsfähige Golfschläger in Gebrauchtkaufhäuser oder spenden diese für soziale Zwecke (Input örE-5, 2021). Falls die Schläger nicht für eine Wiederverwendung aussortiert werden, werden Altgolfschläger mit mehrheitlichen Metallanteilen ins Metallrecycling gegeben und ansonsten mit den restlichen Sperrmüllabfällen geschreddert und anschließend energetisch verwertet (Input örE-5, 2021). Somit wird angenommen, dass die Bestandteile aus CFK nicht recycelt werden (Input örE-5, 2021).

In den USA gibt es die Initiative „Load up“, welches sich die Sammlung, Wiederverwendung und das Recycling von Altgolfschlägern zur Aufgabe gemacht hat (Load up, 2021). Das Recycling der Metalle ist wirtschaftlich, CFK-Recycling ist nicht Ziel der Initiative.

⁵⁷ 20 abgegebene Golfschläger, drei Recyclinghöfen und ca. 90.000 Einwohnern

⁵⁸ 300 abgegebene Golfschläger, fünf Wertstoffhöfe, ca. 634.800 Einwohner

Tabelle 19: Überblick Golfschläger

Verkaufszahlen	Bestand [Stück]	Durchschnittliches Gewicht [g]	Menge CFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmenge
<i>Keine verfügbaren Daten</i>	Annahme: 6,5 Mio.	Schaft aus CFK ca. 77,5 g	Annahme: 50 % aller Golfschläger mit CFK = 252 t CFK	10–15	<i>Keine verfügbaren Daten</i>

3.3.3 Marktstudie für Bedarfsgegenstände aus CFK im Freizeitbereich

3.3.3.1 Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Freizeitbereich

Blas- und Streichinstrumente:

Die Recherche erfolgte mit Hilfe einer Stichwortsuche auf der Internetseite eines großen Online-Shops für Musikinstrumente und Musikequipment⁵⁹. Die Stichwortsuche basierend auf dem Suchbegriff „Carbon“ lieferte 652 Treffer, welche sich wie folgt auf die folgenden Produktgruppen bzw. Kategorien verteilten:

- ▶ Blätter für Blasinstrumente (Saxophon, Klarinette etc...): 169 Treffer
- ▶ Sonstige Schlagzeugstöcke: 166 Treffer
- ▶ Bögen für Streichinstrumente (z.B. Cello, Kontrabass, Violinen): 134 Treffer
- ▶ Saiten/Einzelsaiten bzw. Konzertgitarren Saiten: 128 Treffer
- ▶ Sonstige: 55 Treffer

Die Stichwortsuche basierend auf dem Suchbegriff „Kohlefaser“ ergab 77 Treffer. Diese verteilten sich folgendermaßen auf die Produktgruppen bzw. Kategorien.

- ▶ Blätter für Blasinstrumente (Saxophone, Klarinette etc...): 50 Treffer
- ▶ Koffer bzw. Taschen für Streichinstrumente (z.B. Cello, Violine, Bratsche): 12 Treffer
- ▶ Korpusse (z.B. Gitarren, Cello): 6 Treffer
- ▶ Sonstige: 9 Treffer

Auf Basis der Stichwortsuche wurden insbesondere Schlagzeugstöcke, Blasinstrumente (Blätter) sowie Streich- und Zupfinstrumente (Saiten, Bögen, Korpusse und Taschen) für eine genauere Betrachtung hinsichtlich der Verwendung von CFK identifiziert. Bei der stichpunktartigen Kontrolle der jeweiligen Produktbeschreibungen zeigte sich, dass es nur bei einzelnen Schlagzeugstöcken Hinweise auf die Verwendung von CFK gibt.⁶⁰ Ebenso konnten in den Produktbeschreibungen der Blätter für Blasinstrumente keine Informationen bezüglich des Einsatzes von CFK gefunden werden. Es wird lediglich auf die Verwendung von Kohlenstofffasern sowie auf „spezielle Carbongemische“ verwiesen.

⁵⁹ <https://www.thomann.de/de/index.html>; Abfrage durchgeführt am 04.11.2021

⁶⁰ <https://www.musik-produktiv.de/kuppen-music-5a-carbon-fiber-drumsticks.html>

Weiter gibt es Online-Anbieter speziell für Instrumente und Zubehör aus CFK. Mezzo-Forte (Mezzo Forte, 2021) bietet beispielsweise Geigen, Violinen, Violen, Bratschen, Violoncellos und Kontrabässe aus CFK an, sowie Carbonbögen für Violinen. Carbon-Klang (WingsAndMore, 2021) bietet als Streichinstrumente (Hybrid-)Violinen, Cellos, E-Violinen und E-Cellos an sowie als Zupfinstrumente eine Gitarre und eine Setar.

Reisekoffer

Die vorhandenen Filter zur Auswahl der Materialart bei Koffern und Trolleys auf der Website zweier Onlineshops für Reisegepäck⁶¹ umfassen keine Option zur Auswahl von CFK (Markenkoffer.de GmbH, 2021; tasko Products GmbH, n.d.). Auf beiden Websites lieferte eine Stichwortsuche auf Basis der Schlagwörter „Carbon“ und „Kohlefaser“ keine Hinweise auf die Verwendung von CFK in Reisekoffern. Betrachtet man die möglichen Filteroptionen bezüglich Materialart und deren jeweiligen Treffer bei Hartschalenkoffern und Hartschalentrolleys zeigt sich, dass diese hauptsächlich aus (PC), PP sowie ABS bestehen (Covestro, 2020; Markenkoffer.de GmbH, 2021).

Einem Onlineshop für Taschen und Koffer zufolge wird CFK für Koffer aus dem Luxussegment verwendet (Pro Idee, n.d.). Des Weiteren konnten zwei Websites ermittelt werden, die Koffer aus CFK vertreiben bzw. auf die Verwendung von CFK in Reisekoffern hinweisen (Swiss Luggage SL, 2022; Tecknomonster, n.d.). Laut Pro Idee (n.d.) sind Koffer aus CFK aufgrund der sehr hohen Preise bisher nicht weit verbreitet. Auf der Website des herstellenden Unternehmens Tecknomonster (n.d.) liegen die Preise circa zwischen 3.000 und 7.000 €. Gemäß den Informationen auf der Internetseite Safesuitcases.com (2021) verzichten die meisten großen herstellenden Unternehmen von Koffern wie American Tourister, Rimowa oder Samsonite auf die Verwendung von CFK. Ferner ergab eine Anfrage von Safesuitcases.com (Safesuitcases.com, 2021) bei den größten Kofferherstellenden Unternehmen, dass bei einem Großteil der herstellenden Unternehmen keine Pläne für den Einsatz von CFK bestehen. Koffer die CFK enthalten werden demnach nur von kleineren, weniger bekannten Unternehmen produziert.

Folglich kann auf Basis der Recherche geschlussfolgert werden, dass die Verwendung von CFK in Reisekoffern sich bisher auf einige wenige herstellenden Unternehmen beschränkt und derartige Koffer bisher nicht weit verbreitet sind. Im Vergleich zu Reisekoffern, gibt es diverse Musikinstrumente und Zubehör, in denen CFK eingesetzt wird. Dabei zeigen die Recherche-Ergebnisse, dass CFK insbesondere im Bereich der Streich- und Zupfinstrumente verwendet wird, weshalb der Fokus im Freizeitbereich auf die folgende Untergruppe gelegt wird:

► Saiteninstrumente.

3.3.3.2 Saiteninstrumente

3.3.3.2.1 Informationen zum Bestand in Deutschland

Saiteninstrumente können in Streich- und Zupfinstrumente unterteilt werden. Die wesentlichen Vertreter innerhalb der Streichinstrumente sind u.a. Geigen, Bratschen, Celli sowie Kontrabässe. Zupfinstrumente umfassen u.a. Gitarren, Harfen oder Zithern (Paganino, 2022).

Laut einer groben Schätzung eines Orchesterverbands (Input Orchesterverband, 2021) umfasst der Bestand an Saiteninstrumenten in Deutschland ungefähr 70.000 bis 100.000 Instrumente (Input Orchesterverband 2021). Ein herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten schätzt den Bestand mit 15–20 Mio. wesentlich höher ein (Input herstellendes Unternehmen

⁶¹ <https://www.koffer.com/>

von Musikinstrumenten, 2021). Zur Kontrolle dieser Schätzungen wurden Daten aus einem Bericht des Deutschen Musikinformationszentrums (Deutsches Musikinformationszentrum, 2021) herangezogen. Demnach gibt es in Deutschland etwa 10,8 Mio. Personen ab 16 Jahren sowie 3,5 Mio. Kinder und Jugendliche im Alter von 5 bis 18 Jahren, die musizieren⁶². Somit existieren in Deutschland circa 14,3 Mio. Amateur- bzw. Freizeitmusizierende. Tabelle 20 zeigt eine Übersicht über den Anteil der Musizierenden, die verschiedene Saiteninstrumente spielen⁶³.

Tabelle 20: Relevanz von Saiteninstrumenten und Anzahl an Musizierenden

Instrumente	Kinder und Jugendliche (5 bis 16 Jahre)	Personen ab 16 Jahren	Anzahl der Musizierenden (gesamt)
Gitarre	19 %	33 %	4.229.000
E-Gitarre, E-Bass	3 %	9 %	1.077.000
Anderes Zupfinstrument z.B. Harfe	2 %	1 %	178.000
Violine, Geige	8 %	2 %	496.000
Viola, Violoncello, Kontrabass oder anderes Streichinstrument	3 %	1 %	213.000
Gesamt	35 %	46 %	6.193.000

Quelle: (Deutsches Musikinformationszentrum, 2021)

Aus Tabelle 20 wird ersichtlich, dass es in Deutschland im Bereich der Streich- bzw. Zupfinstrumente insgesamt ungefähr 6,19 Mio. Amateur- und Freizeitmusizierende gibt. Hinzukommen in etwa 600.000 Berufsmusizierende (Deutsches Musikinformationszentrum, 2021). Laut der Schätzung eines Orchesterverbands gibt es in Deutschland circa 13.000 Personen, die beruflich Saiteninstrumente spielen, davon circa 5.000 Streicher*innen und 8.000 Spieler*innen von Zupfinstrumenten (Input Orchesterverband, 2021). Insgesamt kann auf Basis dieser Informationen davon ausgegangen werden, dass in etwa 6,2 Mio. Personen in Deutschland Saiteninstrumente spielen.

Bei der Ermittlung des Bestands an Saiteninstrumenten muss berücksichtigt werden, dass viele musizierende Personen mindestens ein Instrument – und zum Teil mehrere Instrumente – besitzen. Geht man konservativ geschätzt davon aus, dass jede musizierende Person zwei Instrumente besitzt, kann man von einem Bestand an Saiteninstrumenten von mindestens 12,4 Mio. Stück ausgehen, was annähernd den Schätzungen des herstellenden Unternehmens von Musikinstrumenten (15–20 Mio.) entspricht. Allerdings sind die zugrundeliegenden Informationen von hoher Unsicherheit geprägt.

Hinsichtlich der Absatzzahlen konnten keine Daten ermittelt werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Verkaufszahlen eher gering sind, da die Nutzungsdauer in

⁶² Musizieren bedeutet, dass die jeweilige Person ein Instrument spielt, digital Musik macht oder singt (Deutsches Musikinformationszentrum, 2021).

⁶³ Die Anzahl der Musizierenden wurde ermittelt, indem die jeweiligen Anteile an der entsprechenden Gesamtzahl der Amateur- bzw. Freizeitmusizierenden berechnet wurden (10,8 Mio. bzw. 3,5 Mio.).

Abhängigkeit von Qualität und Gattung des Instruments bis zu mehrere hundert Jahre betragen kann (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021).

Laut eines herstellenden Unternehmens von Musikinstrumenten wurde CFK im Bereich des Musikinstrumentenbaus vermutlich erstmalig 1974 im Gitarrenbau eingesetzt (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten 2021). Seit 2010 wird CFK in etwas größerem Umfang verwendet. Anwendungsbereiche umfassen Gitarren und Streichinstrumente (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021). Instrumente aus oder mit CFK-Einsatz stellen ein Nischenprodukt dar und weisen keinen großen Marktanteil auf (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021). Der relevanteste Anwendungsbereich von CFK innerhalb der Saiteninstrumente ist die Verwendung in Bögen für Streichinstrumente (Input Orchesterverband, 2021). Demzufolge werden Carbonbögen vermehrt als Zweitbögen für Auslandsreisen oder schwierige Witterungsbedingungen (im Bereich der Berufsmusizierenden) verwendet (Input Orchesterverband, 2021).

CFK kann im Bereich der Saiteninstrumente für nahezu sämtliche Komponenten eines Instruments (z.B. Korpus oder Griffbrett) verwendet werden, die nicht typischerweise aus Metallen gefertigt werden (z.B. Saiten) (Carbon-Klang, 2019)(Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten 2021). Entsprechend können je nach Konstruktion und Art des Instruments bis zu 90–95 % eines CFK-haltigen Saiteninstrumentes aus CFK bestehen (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021). Im Bereich der Bögen für Streichinstrumente wird CFK ausschließlich für die Stange verwendet. Je nach Art des Bogens macht CFK in etwa 20 % des Gesamtgewichts eines Geigenbogens (ca. 60 g) oder eines Kontrabassbogens (140 g) aus. Dies entspricht einer ungefähren CFK-Gesamtmenge von 12 g bei Geigenbögen und 28 g bei Kontrabassbögen.

Die Lebensdauer von Saiteninstrumenten hängt stark von der Gattung und Qualität des Instruments ab. Streichinstrumente verzeichnen eine sehr hohe Lebensdauer und sind häufig seit über 100 Jahren im Umlauf (Input Orchesterverband, 2021). Hochwertige Instrumente werden in der Regel besonders sorgfältig behandelt bzw. gewartet und sind oftmals seit über 280 Jahren im Einsatz (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021). Geigen können beispielsweise nach über 400 Jahren noch in Gebrauch sein (Input Orchesterverband, 2021). Im Gegensatz dazu übersteigt die Lebensdauer von Gitarren, zumindest wenn sie aus Holz sind, aufgrund der Materialermüdung selten mehr als 20 Jahre (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021). Laut dem herstellenden Unternehmen für Geigenbögen Arcus Müsing ist die Lebensdauer von Geigenbögen aus CFK im Vergleich zu Bögen aus anderen Materialien (Holz oder andere Verbundfasern) nahezu unbegrenzt (Arcus Müsing, 2022).

3.3.3.2.2 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

Zum Abfallaufkommen konnten keine Daten identifiziert werden. Auf Basis des Stakeholder-Inputs kann aber geschlussfolgert werden, dass – wenn überhaupt – nur eine sehr geringe Zahl an Saiteninstrumenten entsorgt wird (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021) (Input Orchesterverband, 2021).

Abfallvermeidung

Im Normalfall werden Saiteninstrumente über verschiedene Wege (z.B. Instrumentenhändler, Musikschulen, Musiklehrer, herstellende Unternehmen von Instrumenten, Gebrauchtwarenhäuser, Internet oder auch Auktionshäuser) für die Wiederverwendung weiterverkauft.

Saiteninstrumente weisen sehr gute Reparaturmöglichkeiten auf da nahezu jeder Defekt repariert werden kann. Die Reparaturen werden sowohl von Werkstätten als auch von herstellenden und restaurierenden Unternehmen durchgeführt. Es konnten keine expliziten Informationen über die Reparaturpraxis bei CFK-haltigen Instrumenten ausfindig gemacht werden. Laut den Aussagen eines Orchesterverbands (Input Orchesterverband, 2021) weisen beschädigte Bogenstangen aus CFK eine beschränkte Reparierbarkeit auf. In diesem Zusammenhang kann jedoch festgehalten werden, dass das Unternehmen Arcus Müsing eine Garantie von 30 Jahren auf Geigenbögen aus CFK gewährt (Arcus Müsing, 2022). Folglich kann aufgrund der hohen Robustheit und langen Lebensdauer von Geigenbögen aus CFK davon ausgegangen werden, dass nur eine äußerst geringe Anzahl von CFK-Bogenstangen entsorgt wird.

Abfallmanagement

Spezifische Sammelsysteme für Saiteninstrumente sind nicht bekannt und es erfolgt kein Rückversand von Instrumenten am Ende der Nutzungsphase (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021, Orchesterverband, 2021). Ein Orchesterverband (Input Orchesterverband, 2021) verweist darauf, dass Musizierende irreparabel beschädigte Instrumente eher aufheben würden als diese zu entsorgen. Die Entsorgung betrifft überwiegend günstige Instrumente von niedriger Qualität, wohingegen Instrumente aus CFK eine äußerst lange Lebensdauer (mehrere hundert Jahren) aufweisen und das Ende der Nutzungsdauer in vielen Fällen nicht absehbar ist (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021).

Wenn Saiteninstrumente nicht wiederverwendet werden, können sie in der Sperrmüllsammlung abgegeben werden. Laut eines öRE (Input öRE 4⁶⁴, 2021) werden pro Jahr circa 100 Saiteninstrumente abgegeben (circa 1 Instrument pro 6000 Einwohner). Ein weiterer öRE (Input öRE-1⁶⁵, 2021) verweist auf eine geringere Anzahl von insgesamt zwei Saiteninstrumenten, die pro Jahr an den jeweiligen Wertstoffhöfen abgegeben werden (circa 1 Instrument pro 45.000 Einwohner). Saiteninstrumente, die mit dem Sperrmüll entsorgt werden, werden üblicherweise zerkleinert und anschließend energetisch verwertet (Input öRE-1, 2021). Ein Recycling von CFK-Bauteilen bei Musikinstrumenten findet derzeit nicht statt (Input herstellendes Unternehmen von Musikinstrumenten, 2021).

Tabelle 21: Überblick Saiteninstrumente

Verkaufszahlen [Stück]	Bestand	Durchschnittliches Gewicht (Beispiele) ⁶⁶	Menge CFK / GFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmengen [Stück]
Gering	12,4 Mio. Stück	Geige aus CFK: 320 g; Geigenbogen aus CFK: 60 g; Kontrabassbogen aus CFK: 140 g	90–95 % eines CFK-haltigen Instruments und 20 % eines CFK-haltigen Geigen- bzw. Kontrabassbogens	20 bis mehrere hundert Jahre. CFK-haltige Instrumente bzw. Bögen	Geringe Anzahl

⁶⁴ Mit fünf Wertstoffhöfen und ca. 634.800 Einwohnern.

⁶⁵ Mit drei Recyclinghöfen und ca. 90.000 Einwohnern

⁶⁶ Gewichtsangabe für CFK-Instrument basiert auf den Angaben eines herstellenden Unternehmens für eine Geige aus CFK (<https://www.karbontasarim.de/de/carbon-fiber-instrumente/violin-carbon-23.html>); Beispiele für Gewichtsangaben für CFK-Gitarren: <https://www.enya-music.com/collections/guitar/products/x4-cutaway>, <https://www.enya-music.com/collections/carbon-fiber-guitars/products/nova-go-black>.

Verkaufszahlen [Stück]	Bestand	Durchschnittliches Gewicht (Beispiele) ⁶⁶	Menge CFK / GFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmengen [Stück]
		Gitarre aus CFK: 1,7-2,85 kg	bestehen aus CFK. Da die Produkte keine große Bedeutung am Markt haben kann von einer geringen Menge ausgegangen werden.	sind besonders robust und langlebig	

3.3.4 Marktstudie für Bedarfsgegenstände aus CFK im Medizinbereich

3.3.4.1 Definition und Abgrenzung CFK-Produkte im Medizinbereich

Typische Anwendungsbereiche von CFK in der Medizintechnik sind Prothesen für die unteren Gliedmaßen, Orthesen, Gehhilfen, Implantate, Rollstühle sowie OP-Tischliegen und Röntgen-Kopfschalen (SGL Carbon GmbH, 2020). Ebenso werden CFK in Exoskeletten verwendet (SGL Carbon GmbH, 2020). Da der Fokus innerhalb dieses Projekts auf privaten Bedarfsgegenständen liegt, sind demnach insbesondere Prothesen für die unteren Gliedmaßen sowie Orthesen relevant.

Prothesen stellen dabei äußerlich angebrachte Vorrichtungen zum vollständigen oder teilweisen Ersatz eines fehlenden oder mangelhaften Gliedmaßenabschnitts. Eine Orthese ist ein äußerlich anzuwendendes Gerät zum Ausgleich von Beeinträchtigungen der Struktur und Funktion des neuromuskulären und des skelettalen Systems (ISO, 2019)

Die Desktop-Recherche zeigte, dass Prothesen und Orthesen aus CFK von verschiedenen Unternehmen hergestellt werden.⁶⁷ Im Bereich der Prothesen wird CFK unter anderem in folgenden Anwendungen verwendet (Otto Bock GmbH, 2021):

- ▶ Prothesenfüße
- ▶ Kniegelenke
- ▶ Laufprothesen

Bei Orthesen verweisen diverse herstellenden Unternehmen auf die Verwendung von CFK bei individuell angefertigten Beinorthesen („Free-Walk Orthesen“, Spiralorthesen, Knieorthesen, „Toe Off Orthesen“) (BMBF, n.d.; G&M Orthopädie-Technik Oberursel GmbH, n.d.; Orthotop, 2021). Laut BMBF (n.d.) sind derzeit rund 500.000 Menschen in Deutschland auf eine Orthese angewiesen, wobei Orthesen aus CFK aufgrund der hohen Kosten nicht für alle Menschen verfügbar sind. Da Orthesen den individuellen Bedürfnissen der Menschen angepasst werden und z.B. Laufprothesen aus CFK überwiegend im Leistungssport relevant sind, können Informationen zu CFK in Orthesen bzw. Prothesen nur in begrenztem Maße über eine Desktop-Recherche ermittelt werden (BMBF, n.d.; G&M Orthopädie-Technik Oberursel GmbH, n.d.; E. Schneider, 2014). Daher müssen weitere Informationen z.B. zur Abschätzung der in Verkehr

⁶⁷ Unternehmen, die CFK in Prothesen und Orthesen einsetzen umfassen unter anderem die Otto Bock GmbH, der Carbon Solutions Hintsteiner GmbH oder der Össur Deutschland GmbH (Carbon-Solutions Hintsteiner GmbH, 2020; Össur Deutschland GmbH, 2021; Otto Bock GmbH, 2021)

gebrachten Menge von CFK-Orthesen bzw. Prothesen durch Befragung von Hersteller*innen erhoben werden.

Im Bereich Medizin wird im weiteren Verlauf des Vorhabens die folgende Untergruppe betrachtet:

- Prothesen und Orthesen.

3.3.4.2 Prothesen und Orthesen

3.3.4.2.1 Informationen zum Bestand in Deutschland

Keiner der befragten Stakeholder konnte Angaben zum Bestand von Prothesen und Orthesen machen (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021, Verein für Orthopädie, 2021). Ebenso konnten mittels Desktop-Recherche keine konkreten Zahlen zum Bestand von Orthesen und Prothesen identifiziert werden. Laut Informationen des MTD-Verlags (2019) wurden im Zeitraum Oktober 2017 bis Oktober 2018 in etwa 139.000 Orthesen von Apotheken verkauft. Hinzukommen die Orthesen, mit denen Patienten seitens der Kliniken versorgt werden. In den Kliniken wurden Patienten im Jahr 2017/2018 in etwa mit 80.000 Orthesen für Arm und Hand sowie 303.000 Orthesen für den Rumpf versorgt. Informationen zu beispielsweise den unteren Extremitäten wurden nicht gefunden. Verkaufszahlen für verschiedene Prothesen konnten nicht ermittelt werden.

FVK wird seit den 1960er Jahren im Bereich der Prothesen und Orthesen eingesetzt, wohingegen CFK seit den 1980er Jahren eingesetzt wird (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021, Verein für Orthopädie, 2021). Seither sind Kohlefasern kontinuierlich zum Standard-Einsatzmaterial für Faserverbundanwendungen in der Orthopädie geworden (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021). Vorimprägniertes Fasermaterial (Prepreg⁶⁸) wird seit ungefähr 2000 verwendet. Seit dem Jahr 2000 hat der Einsatz von CFK im Bereich der Prothesen und Orthesen stark zugenommen, sodass CFK derzeit in etwa in 80 % der Orthesen und Prothesen auf dem deutschen Markt zu finden ist.

CFK wird im Bereich der Prothesen und Orthesen insbesondere dort verwendet, wo individuelle Anpassungen nötig sind. Dies betrifft beispielsweise die Schäfte von Beinorthesen sowie Bauteile mit hochbelastbarer Federwirkung bzw. hoher Kraftübertragung (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021) (Input Verein für Orthopädie, 2021). Bauteile mit einem hohen Anteil an CFK im Bereich der Prothesen sind Prothesenfüße sowie der Schaftansatz. Im Bereich der Orthesen werden hohe Anteile an CFK in Alltagsorthesen zur Verbesserung des Gangbildes eingesetzt werden (Input Verein für Orthopädie, 2021). Der Anteil an CFK in CFK-haltigen Prothesen und Orthesen liegt laut den Angaben eines Vereins für Orthopädie bei weniger als 50 % (Input Verein für Orthopädie, 2021). Je nach Modell liegt das Gewicht von verschiedenen Prothesenfüßen bei einem herstellenden Unternehmen zwischen 256 g bei Modellen für Kinder und 750 g bei Modellen für Erwachsene (Protheseus GmbH, n.d.). Des Weiteren zeigt eine Desktoprecherche, dass Unterschenkelorthesen aus CFK zwischen 103 und 142 g wiegen (Freyortho, n.d.).

Den Schätzungen der befragten Stakeholder zufolge, beträgt die Lebensdauer von Orthesen oder Prothesen je nach Versorgungsanwendung 0,5–10 Jahre (Input herstellendes

⁶⁸ Der Begriff Prepreg leitet sich aus dem englischen Wort für vorimprägniert (preimpregnated) ab. Unter Prepreg versteht man ein Halbzeug, welches mit Matrix vorimprägniert wurde (AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe, 2014). Prepreg besteht dabei aus Endlosfasern und einer meist duroplastischen Kunststoffmatrix (Teschner, 2019).

Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021) bzw. 3–5 Jahre (Input Verein für Orthopädie, 2021).

3.3.4.2.2 Derzeitige Praxis der Verwertung von Altprodukten in Deutschland

Abfallvermeidung

Zum Abfallaufkommen von Prothesen und Orthesen können keine Daten identifiziert werden. Eine Wiederverwendung von Prothesen oder Orthesen ist derzeit kaum möglich, da aufgrund der Medizinprodukteverordnung (MDR⁶⁹) individuell gefertigte Orthesen bzw. Prothesen nur von einer namentlich benannten Person genutzt werden kann (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021, Verein für Orthopädie, 2021).

Die Reparaturmöglichkeiten von Prothesen und Orthesen hängt vom Schadensbild ab und wird individuell vom herstellenden Unternehmen (industriell gefertigt) bzw. im Handel/Sanitätshaus (individuell gefertigt) entschieden. (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021, Verein für Orthopädie, 2021).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Wiederverwendung von CFK-haltigen Orthesen bzw. Prothesen, eine untergeordnete Rolle spielt und diese am Ende der Lebensdauer entsorgt werden.

Abfallmanagement

Spezielle Sammelsysteme für Prothesen und Orthesen sind nicht bekannt. Laut den Aussagen eines Verbands für Orthopädie verbleiben diese bei den Anwendenden oder werden über das Sanitätshaus entsorgt (Input Verein für Orthopädie, 2021). Laut Meinung von Expert*innen diese innerhalb der Sanitätshäuser die Metalle häufig demontiert und einem Recycling zugeführt, wohingegen die Bestandteile aus CFK anderweitig entsorgt werden (Input Verein für Orthopädie, 2021).

Ein Hindernis für ein Recycling stellt der hohe Aufwand dar, der für die Trennung der Materialien benötigt wird (Input Verein für Orthopädie, 2021). Darüber hinaus verhindern die zu geringen Mengen, die lokal anfallen sowie das Fehlen spezialisierter Recyclingbetriebe ein Recycling (Input herstellendes Unternehmen von Prothesen und Orthesen, 2021).

Gemäß den Angaben eines örE (Input örE 4⁷⁰, 2021) werden pro Jahr circa zehn Prothesen und Orthesen an den Wertstoffhöfen abgegeben (circa 1 Prothese/Orthese pro 60.000 Einwohner). Ein weiterer örE (Input örE-1⁷¹, 2021) verweist auf zwei Prothesen und Orthesen, die pro Jahr an den jeweiligen Wertstoffhöfen abgegeben werden (circa 1 Prothese/Orthese pro 45.000 Einwohner). Wenn Prothesen und Orthesen am Wertstoffhof abgegeben werden, werden diese mit dem Sperrmüll entsorgt. Dieser wird normalerweise zerkleinert, sortiert und recycelt (v.a. Metalle) oder energetisch verwertet (Input örE-1, 2021).

⁶⁹ Medical Device Regulation

⁷⁰ Mit fünf Wertstoffhöfen und ca. 634.800 Einwohnern.

⁷¹ Mit drei Wertstoffhöfen und ca. 90.000 Einwohnern

Tabelle 22: Übersicht Prothesen und Orthesen

Verkaufszahlen [Stück] ⁷²	Bestand	Durchschnittliches Gewicht ⁷³	Menge CFK / GFK im Bestand [t]	Lebensdauer [Jahre]	Abfallmengen [Stück]
Orthesen in Kliniken: 80.000 Orthesen für Arm und Hand sowie 303.000 für den Rumpf; Orthesen über Apotheken: 139.000 Prothesen: keine Daten	Keine Daten verfügbar	Prothesenfuß: 256–750 g; Unterschenkelorthesen: 103–142 g	Anteil CFK bei CFK-haltigen Prothesen und Orthesen liegt bei weniger als 50 %. Gesamtmenge kann aufgrund der geringen Datenlage nicht eingeschätzt werden.	0,5 bis 10 Jahre	Keine Daten verfügbar

3.3.5 Zusammenfassung und Herausforderungen im Umgang mit Alt-Bedarfsgegenständen

Spezifische Zahlen zum Einsatz von CFK in Bedarfsgegenständen in Deutschland liegen nicht vor. Bedarfsgegenstände sind im Composites-Marktbericht 2018 in den Kategorien „Sport und Freizeit“ sowie „Sonstiges“ enthalten. Zusammen machen diese beiden Kategorien ca. 22 % der Bedarfsmenge an Carbon-FVW aus. Bedarfsgegenstände machen jedoch nur einen Teil dieser Kategorien aus. CFK wird in einer Vielzahl von Bedarfsgegenständen eingesetzt (siehe Tabelle 16) und die Bedeutung nimmt zu. Oftmals handelt es sich dabei um Nischenprodukte (z.B. Brillen oder Regenschirme). Doch auch diejenigen Produktgruppen, bei welchen der Einsatz von CFK nicht unüblich ist (z.B. Fahrräder, Golfschläger), beinhalten eine überschaubare Menge CFK und führen zu einer geringen Abfallmenge. Mit steigendem Einsatz werden in Zukunft jedoch auch die Abfallmengen an CFK-Produkten steigen. Laut LAGA (2019) wird das Abfallvolumen gerade gegenüber herkömmlichen Ausführungen ansteigen, da durch das komplexe Verarbeitungsverfahren von Carbonfaser-Bauteilen auch die Anfälligkeit gegenüber Produktionsfehlern steigt.

Aktuell geht die LAGA (2019) europaweit von einer jährlichen Abfallmenge von 4 kt Carbon-FVW (entspricht 3,3 kt CFK) an „Sport und Freizeit“-Produkten in Europa aus Privathaushalten aus.

Die untersuchten Untergruppen (Fahrräder, Ski und Snowboards, Golfschläger, Saiteninstrumente sowie Prothesen und Orthesen) weisen grundsätzlich eine relativ lange Lebensdauer zwischen 10–20 bzw. bei Saiteninstrumenten bis zu mehreren 100 Jahren auf. Lediglich bei Prothesen und Orthesen wird die durchschnittliche Lebensdauer geringer eingeschätzt (0,5 bis 10 Jahre). Werden Mängel festgestellt, werden diese häufig repariert

⁷² Beim Betrachten der Verkaufszahlen für Orthesen muss berücksichtigt werden, dass die hier genannten Zahlen kein vollständiges Bild abgeben und lediglich einen Eindruck über die Dimension der Stückzahlen liefern können. Für Prothesen konnten keine Daten gefunden werden.

⁷³ Gewichtsangabe für CFK-Instrument basiert auf den Angaben eines herstellenden Unternehmens für eine Geige aus CFK (<https://www.karbondasarim.de/de/carbon-fiber-instrumente/violin-carbon-23.html>).

Allerdings sind spezifische Anbieter für Reparaturen von CFK-Bauteilen nicht flächendeckend verfügbar und Reparaturen auch technisch nicht immer möglich (LAGA, 2019).

Wird aufgrund technischer Neuerungen, sich ändernden Größenbedarfs oder anderer Gründe ein neues Produkt erworben, wird das bereits genutzte Produkt häufig weiterverkauft oder weitergegeben (mit Ausnahme von Prothesen und Orthesen). Es besteht folglich ein großer Second-Hand-Markt für die spezifischen Produkte.

Entledigt wird sich der Altprodukte durch die Sperrmüllabholung oder durch die Abgabe auf dem Wertstoffhof (im Fall von Fahrrädern auch über Schrotthändler; oder von Prothesen und Orthesen über Sanitätshäuser), wo die Produkte entweder zur Wiederverwendung aussortiert werden oder diese zusammen mit dem Sperrmüll verwertet werden. Keiner der befragten öRE gibt an, Bauteile aus CFK zu separieren.

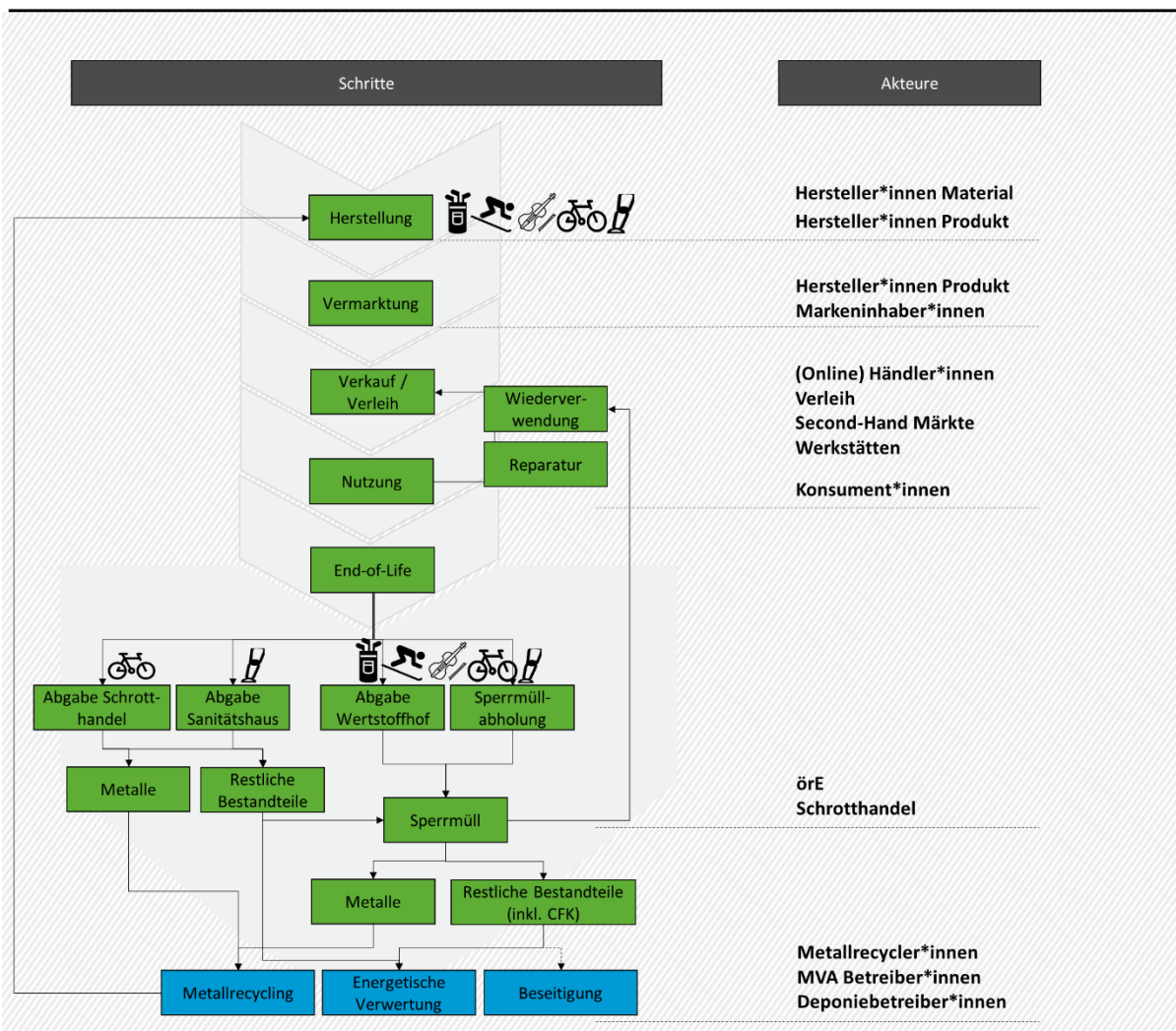
Herausforderungen

Die geringen lokal anfallenden Mengen machen eine separate Sammlung, den Transport und ein Recycling aktuell nicht wirtschaftlich attraktiv. Weiter hindert die Tatsache das CFK-Bauteile optisch nicht immer identifizierbar sind und im Materialverbund auftreten (z.B. Verklebungen). Ein weiteres Hindernis stellt das Fehlen spezialisierter Recyclingbetriebe dar.

Digitale Datenbanken sowie Kommunikationssysteme für die Erfassung und Verwertung von den betrachteten Untergruppen sind bislang nicht bekannt.

Da Produkte mit CFK-Einsatz in naher Zukunft vermehrt als Abfall anfallen werden und der Einsatz von CFK in Bedarfsgegenständen auch in Zukunft weiter steigen wird, gilt es sich Gedanken über den zukünftigen Umgang mit CFK-Abfällen zu machen. Denn zum einen werden die technischen Schwierigkeiten in der Verbrennung steigen und zum anderen ist eine Getrennterfassung und separate stoffliche Verwertung aufgrund der verfügbaren Abfallmengen ökonomisch positiver zu bewerten.

Abbildung 25: Vereinfachter Lebensweg ausgewählter Bedarfsgegenstände mit CFK



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

3.4 Derzeitige Praxis und Verwertung der drei Produktgruppen in ausgewählten Ländern Europas

Zur Entwicklung entsprechender Konzepte zur Förderung einer getrennten Erfassung und hochwertigen Verwertung von Produkten aus/mit FVW wurden bereits existierende Konzepte, Projekte und Best-Practices außerhalb Deutschlands betrachtet, um Ansätze für Deutschland abzuleiten.

Konkret wurde der Blick auf die Länder Europas gerichtet, welche bereits fortgeschrittenere Praktiken im Bereich des End-of-Life Managements der Produktgruppen im Fokus umgesetzt haben sowie auf Länder mit Küstengebieten (um die Relevanz für Boote abzudecken). Dies betraf vor allem Großbritannien, Schweden, Finnland, Spanien, Frankreich, die Niederlande, Norwegen und Italien. Dabei lag der Fokus der Recherche auf Beispielen für spezifische Rücknahmesysteme, Reparaturprojekte, Regelungen der abfallrechtlichen Produktverantwortung, technischen Normen, Handlungsanleitungen von Verbänden, Aufbereitungsnetzwerken aber auch einschlägige Literatur bezüglich der Produktgruppen im Fokus bzw. Produkten / Bauteilen aus FVW.

Es zeigt sich, dass Konzepte, Projekte und Initiativen vor allem für Sportboote bestehen, kaum jedoch für Leichtflugzeuge⁷⁴ oder Bedarfsgegenstände.

Im Bereich der Sportboote sind Projekte und Initiativen zur Demontage und Recycling vorhanden, rechtliche Instrumente zur Steigerung der Recyclingquote sind nicht vorhanden. So gibt es beispielsweise einzelne, zeitliche begrenzte Aktionen mit Anreizen zur Bootsrückgabe für Bootsbesitzer*innen in Finnland und Schweden

Eine Pflicht für herstellende Unternehmen zur ordnungsgemäßen Entsorgung von Alt-Sportbooten und Sport- und Freizeitartikel existiert bislang nur in Frankreich (siehe Tabelle 23). Weiter ergibt die Recherche, dass es in den betrachteten Ländern kein verpflichtendes Registrierungssystem für Sportboote gibt, mit Ausnahme von Finnland (für Boote >5,5 m oder mit Motor mit mehr als 20,4 PS (Eklund et al., 2013)). Langfristige Anreizsysteme für Bootsbesitzer*innen zur ordnungsgemäßen Entsorgung von Alt-Sportbooten gibt es basierend auf den Recherchen bislang nur in Norwegen (Abwrackprämie siehe Tabelle 25). Insgesamt deckt sich der Eindruck durch die Recherche im Rahmen dieses Forschungsvorhabens mit der Einschätzung der IMO, dass sich die Aufmerksamkeit an der ordnungsgemäßen Entsorgung von Alt-Sportbooten vorrangig auf die Nordischen Länder fokussiert, neben Frankreich, wo mit rechtlichen Instrumenten die ordnungsgemäße Entsorgung gefördert wird (International Maritime Organization, 2019).

In einigen der Projekte (z.B. Tabelle 25, Tabelle 28) wurden Leitfäden und Guidelines zur umweltschonenden Demontage und dem Recycling von Sportbooten erarbeitet, die vor allem im nachfolgenden Arbeitsschritt genauer analysiert werden.

Insgesamt deckt sich der Eindruck durch die Recherche im Rahmen dieses Forschungsvorhabens mit der Einschätzung der IMO, nämlich dass sich die Aufmerksamkeit an der ordnungsgemäßen Entsorgung von Alt-Sportbooten vorrangig auf die Nordischen Länder fokussiert, neben Frankreich, wo mit rechtlichen Instrumenten die ordnungsgemäße Entsorgung gefördert wird (International Maritime Organization, 2019).

Die ausführliche Beschreibung der Projekte, Initiativen und rechtlichen Instrumente findet sich in den nachfolgenden Tabellen.

⁷⁴ Projekte zielen vorrangig auf Passagier- und Frachtflugzeuge ab, und nicht auf Leichtflugzeuge.

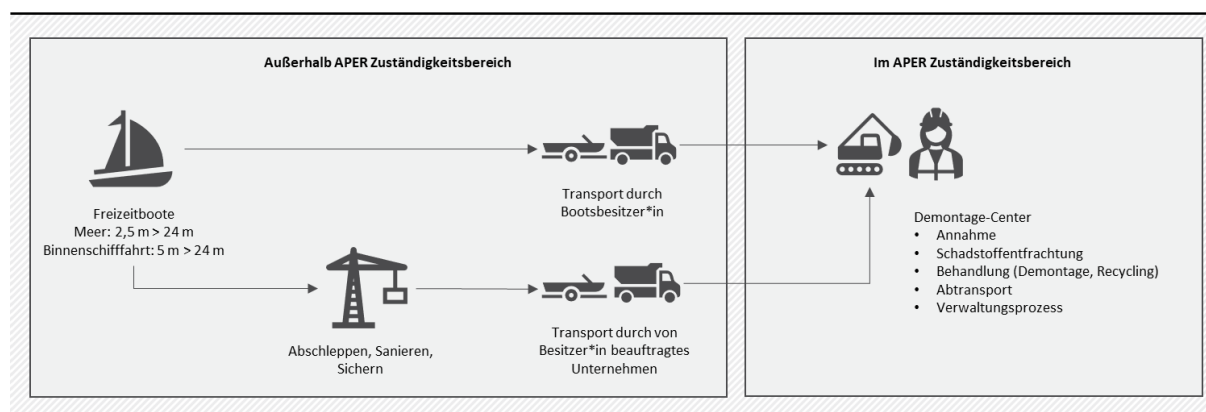
3.4.1 Rechtliche Instrumente

Tabelle 23: Erweiterte Herstellerverantwortung (Frankreich)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Erweiterte Herstellerverantwortung
Typ	Rechtlich
Land	Frankreich
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote, Bedarfsgegenstände
Erläuterung	<p>Erweiterte Herstellerverantwortung für Sportboote in Frankreich:</p> <p>Artikel 89 des Gesetzes zur Energiewende für grünes Wachstum (loi à la transition énergétique pour la croissance verte) enthält die Bestimmung, dass Personen welche Freizeit- und Sportboote auf den nationalen Markt in Verkehr bringen, verpflichtet sind zum Recycling und der Behandlung der Abfälle beizutragen bzw. dafür zu sorgen.</p> <p>Folglich haben Inverkehrbringer zwei Möglichkeiten: Entweder die selbstständige Durchführung und Finanzierung der Abfallbehandlung (zertifiziert durch das Umweltministerium) oder die Übergabe der Entsorgung an zertifizierte Organisationen (Verpflichtung zur Mitgliedschaft bei APER und eines finanziellen Beitrags) (APER, 2019b) (Artikel R543-299 Umweltgesetzbuch).</p> <p>Nicht der/die Eigentümer*in, sondern der Inverkehrbringer kommt folglich für die Kosten der Entsorgung auf.</p> <p>In Artikel R543-301 des Umweltgesetzbuches (code de l'environnement) wird dabei festgeschrieben, dass die Behandlung der Abfälle im Einklang mit der Abfallhierarchie und dem Grundsatz der Nähe durchgeführt werden soll.</p> <p>Sportboote in Frankreich müssen daher registriert werden.</p> <p>Nach Angaben von APER wurden bereits mehr als 2.500 Boote demontiert und verwertet (APER, 2019a). Trotzdem, konnte APER laut dem Bootsverband-2 bislang keine ausreichenden GFK-Mengen aus der Bootszerlegung für ein wirtschaftliches Recycling gewinnen (Input Bootsverband-2, 2021).</p> <p>Erweiterte Herstellerverantwortung für Sport- und Freizeitartikel in Frankreich</p> <p>Der Décret n° 2021-1213 (2021) über erweiterte Herstellerverantwortungsketten in Bezug auf Spielzeug, Sport- und Freizeitartikel sowie Heimwerker- und Gartenartikel definiert die Anwendungsbedingungen der Verpflichtung für herstellende Unternehmen zur Sammlung, Wiederverwendung, Reparatur und Verwertung von Abfällen aus ihren Produkten in Anwendung des Grundsatz der erweiterten Herstellerverantwortung zur Abfallbekämpfung und Kreislaufwirtschaft. Ab Januar 2022 müssen Inverkehrbringer zur Sammlung, Wiederverwendung, Reparatur und Verwertung von Abfällen dieser Produkte beitragen oder für diese sorgen.</p> <p>Artikel R543-330 des Umweltgesetzes legt die Bedingungen für die Umsetzung der erweiterten Herstellerverantwortung von Sport- und Freizeitartikeln fest. Betroffen sind Fahrräder sowie Produkte, die für die Ausübung von Sport und für Aktivitäten im Freien bestimmt sind.</p>

Aspekte	Erläuterung
Internetlink	Umweltgesetzbuch: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006074220/ Gesetzes zur Energiewende für grünes Wachstum: https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGISCTA000031047864 FR-Dekret Erweiterte Herstellerverantwortung (Décret n° 2021-1213): https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000044087571 L'Association pour la Plaisance Eco-Responsable (APER): https://www.recyclermonbateau.fr

Abbildung 26: Funktionsweise APER



APER war zuvor ein freiwilliges System für die Bootsrückgabe/-recycling und ist nun das staatlich gestützte EPR-System Frankreichs

Quelle: Eigene Darstellung nach APER (2019b)

Tabelle 24: Italienische Norm UNI 11509 (Italien)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Entsorgung von kleinen Booten und kleinen Handelsschiffen
Typ	organisatorisch, informativ, administrativ
Land	Italien
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote, Baugeräte
Erläuterung	<p>Die Norm definiert die Terminologie und Anforderungen an die Entsorgung von Booten und Baumaschinen mit einer Länge von kleiner als 24m. Die Norm definiert zusätzlich die Beziehung zwischen den Eigentümern der Ausrüstung und dem Entsorger.</p> <p>Es wird ein Mindestbedarf an Anforderungen seitens des Managements mit Abfall, dem End of Life, sowie notwendige Dokumentationen beschrieben. Der Umgang mit Abfall erfolgt einer hierarchischen Struktur:</p> <ol style="list-style-type: none"> die Entstehung von Abfällen zu verhindern; Vorbereitung zur Wiederverwendung; Recycling und/oder Verwertung des Materials; Verwertung anderer Art; Entsorgung durch den Umweltbeauftragten.

Aspekte	Erläuterung
	Life Cycle Assessments (LCA's) werden als mögliche Methodik angesprochen zur Optimierung von End of Life Verfahren.
Internetlink	https://store.uni.com/en/p/UNI21012702/uni-115092013-231697/UNI21012702_EIT

Tabelle 25: Zuschuss zur Rückgabe von Freizeitbooten (Norwegen)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Abwrackprämie Norwegen Altboote
Typ	Rechtlich, ökonomisch
Land	Norwegen
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	Die norwegische Umweltbehörde zahlt 1.000 NOK (ca. 100 €) pro Alt-Freizeitboot (Rumpflänge max. 15 m; ohne Innenbootmotor; private Nutzung), sofern dieses an einer offiziellen Abgabestelle für eine ordnungsgemäße Demontage und Verwertung abgegeben wird. Ziel ist es, die negativen Umweltauswirkungen einer nicht-ordnungsgemäßen Verwertung (z.B. Versenken des Bootes) zu verhindern und wertvolle Ressourcen im Kreislauf zu behalten. (Norwegische Umweltagentur, 2021; ReMidt, n.d.) Die norwegische Umweltbehörde hat einen Leitfaden für die Demontage und Recycling von Booten erstellt. Siehe nachfolgender Link.
Internetlink	Norwegische Umweltbehörde und Informationen zum Förderprogramm: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/vrakpant/vrakpant-pa-bat/ Leitfaden Demontage und Recycling von Booten: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/for-naringsliv/gjenvinning-av-skip/

3.4.2 Projekte und Initiativen zur Förderung des Recyclings

Tabelle 26: End-of-life Boats Project (EU)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	End-of-life Boats Project der Europäischen Kommission
Typ	Rechtlich, informativ
Land	EU
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	Die EBI leitet gemeinsam mit EC DG MARE eine Arbeitsgruppe zu Altbooten. Ziel ist dabei die Entwicklung einer EU-Strategie für die Demontage- und Verwertung von Altbooten (EBI, 2020).

Aspekte	Erläuterung
Internetlink	Informationen, dass Projekt existiert: https://europeanboatingindustry.eu/eu-affairs/eu-issues/end-of-use-boats

Tabelle 27: boat DIGEST (EU)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Boat Dismantling Insight by Generating Environmental and Safety Training (boat DIGEST)
Typ	technisch, organisatorisch, informativ
Land	EU-weit
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	<p>Bei boat DIGEST handelt es sich um ein EU-finanziertes Projekt, welches von 2013 bis 2015 lief. Das Hauptziel war, aktuelle Praktiken in der Demontage und Verwertung von Booten besser zu verstehen, so wie auch aktuelle Probleme und Herausforderungen zu analysieren (EBA, 2020). Guidelines für Altbootsbesitzer*innen wurden auf der Projekthomepage veröffentlicht (EBA, 2020), welche jedoch nicht mehr öffentlich zugänglich ist.</p> <p>Weitere Inhalte des Projekts waren die Folgenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bereitstellung von Informationen über die Möglichkeiten der Entsorgung und des Recyclings von Sportbooten, um auf diese Weise die Zahl der illegal entsorgten oder gelagerten Boote zu verringern. Bereitstellung von Informationen über die Auswirkungen von ausgedienten und/oder aufgegebenen Sportbooten auf die Umwelt. Unterrichtung der Besitzer über das Sensibilisierungsmodul, das für Sportbootbesitzer in fünf Sprachen verfügbar ist. Information der Eigentümer*in von Sportbooten über bestehende Abwrack- und/oder Recyclingstandorte in der Region. Aufklärung der Sportbooteigentümer*innen darüber, dass in einigen Ländern Sportboothäfen Abwrackarbeiten durchführen (in der Regel in der Bootswerft innerhalb und/oder neben dem Sportboothafen). Durchführung von Sensibilisierungskampagnen. Förderung der bestehenden und derzeit aktiven Arbeitsgruppe zum Thema Sportboote am Ende ihrer Lebensdauer. Förderung des Abwrackens von Booten durch gemeinsame Initiativen. Versorgung anderer regionaler und/oder lokaler Verbände mit Informationen über das Abwracken von Sportbooten. <p>Den Prozess der Entsorgung ordnet das Projekt in folgende Schritte⁷⁵ ein:</p> <ul style="list-style-type: none"> Administrative Aufgaben Vorbereitung Entgasung und Schadstoffentfrachtung Demontage Abfallmanagement.
Internetlink	Nicht mehr öffentlich zugänglich
Partner	u.a.

⁷⁵ <https://slideplayer.com/slide/7284929/>

Aspekte	Erläuterung
	<p>APER (Frankreich) Servicios Profesionales de Duplicacion (FWD) (Spanien) Auto Meres Picatto (AMP) (Spanien) Leitat (Acondicionamiento Tarrasense Asociacion) (Spanien) Italian National research council (CNR) (Italien) University of Strathclyde (SU) (UK) EBI (European Boating Industry) (Belgien) Gefördert durch die EU.</p>

Tabelle 28: BOATCYCLE (EU)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Management, recycling and recovery of wastes of recreational boat scrapping (BOATCYCLE)
Typ	technisch, organisatorisch, informativ
Land	Spanien, Italien EU-finanziertes Projekt
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	<p>Das Projekt BOATCYCLE wurde von der Europäischen Kommission finanziert und zwischen 2010 und 2012 durchgeführt. Ziel war es vor allem die wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen des Lebenszyklus von Booten zu analysieren und nachteilige Auswirkungen auf Umwelt durch die Entwicklung von Methoden (Abfallmanagement) zu verringern.</p> <p>Die konkreten Ziele waren die folgenden: Sammlung der verschiedenen Abfälle, die bei der Entsorgung von Sportbooten anfallen Entwicklung eines Systems zum Recycling und sonstigen Verwertung von vier der wichtigsten Materialien: GFK, Neopren, Holz und PVC. Umsetzung von best-practices des Recyclings und der Aufbereitung der vier Materialien durch Pilotprojekte. Entwicklung eines Leitfadens für nachhaltige Produktion und Ökodesign von Sportbooten. Entwicklung politischer und technischer Empfehlungen für die Entsorgung von Bootsabfällen. Verbreitung der Informationen und Bewusstseinsbildung bei allen Akteuren, die am Bootslebenszyklus beteiligt sind (Europäische Kommission, 2021).</p> <p>Im Rahmen des Projekts wurden neuartige Methoden zur Separation und dem Recycling von Glasfasern entwickelt. Dadurch konnte gezeigt werden, dass Fasern leicht gereinigt und wiedergewonnen werden konnten sowie welche Eigenschaften neuwertige Fasern aufweisen (EBA, 2020).</p> <p>Eine deutliche Empfehlung die sich aus dem Projekt ableitet, ist die Schaffung eines Bootsrecyclingzentrum (Monsó, 2012a)</p>
Internetlink	Projektseite mit Projektberichten und Leitfäden: https://webgate.ec.europa.eu/

Tabelle 29: Recycling-Kampagne Boote (Finnland)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Experimental campaign for recycling boats
Typ	Organisatorisch, technisch
Land	Finnland
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	<p>Finnboat hat Anfang Juni 2005 gemeinsam mit der Recyclingfirma Kuusakoski Oy eine Recyclingkampagne für Boote in der Turku Archipelago Gegend sowie in Südwest-Finnland durchgeführt. Es gab vier Abgabestation für Altboote und eine mobile Sammelstation.</p> <p>Boote kleiner 10 m konnten ohne Abgabe von Gebühren abgegeben werden, unabhängig von deren Materialzusammensetzung. Insgesamt wurden durch die Kampagne 180 Boote gesammelt (Eklund et al., 2013). Die gesammelten Boote wurden zur Recyclinganlage Heinola von Kuusakoski Oy transportiert, wo sie zerkleinert wurden. Danach wurde festgelegt, wie die verschiedenen Materialien und Bestandteile voneinander getrennt werden können. Zur Verwertung der einzelnen Materialien sollte ein Bericht veröffentlicht werden, der jedoch bislang nicht vorliegt.</p> <p>In Zusammenarbeit mit Kuusakoski Oy wurde auch eine Masterarbeit mit folgenden Zielen erstellt</p> <ul style="list-style-type: none"> Untersuchung des Status Quo des Altbootrecyclings Entwicklung eines Systems zum Altbootrecycling Identifikation kosteneffizienter Wege zum Altbootrecycling (Savolainen, 2009).
Internetlink	Finnboat: http://www.finnboat.fi/de/de_3_3_read.html?Id=1124182119.html

Tabelle 30: Swedish Boat Scrapping Scheme (Schweden)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Swedish Boat Scrapping Scheme
Typ	administrativ, organisatorisch, technisch
Land	Schweden
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	<p>Im Jahr 2018 wurde in Schweden eine Sonderaktion gestartet, bei der Eigentümer*innen ihre Boote mit einem Gewicht < 3 t kostenlos bei Stena Recycling entsorgen lassen konnten. Das Projekt wurde von der schwedischen Behörde für Meeres- und Wasserwirtschaft (SwAM) durch 2 Mio. SEK (~200.000 €) (HELCOM, 2018) gefördert. Die Eigentümer*innen mussten lediglich die Transportkosten zum Recyclinghof selbst tragen. Innerhalb eines Jahres konnten dadurch fast 500 Boote vom Markt entfernt werden (Edney, 2018).</p> <p>In 2021 gab es dieses Projekt erneut.</p>

Aspekte	Erläuterung
	Dafür wurde das nationale Netzwerk Båtretur etabliert, zur umweltgerechten Sammlung und Verwertung von Sportbooten. Das Netzwerk umfasst Transportunternehmen im ganzen Land und rund 25 Recyclinganlagen. Es wird organisiert von Sweboat, Stena Recycling und Båtskroten Sverig
Internetlink	Netzwerk Båtretur www.batretur.se

Tabelle 31: PAMELA (EU)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Process for Advanced Management of End of Life of Aircraft (PAMELA)
Typ	technisch
Land	Europa
Relevant für welche Produktgruppe	Fokus Passagier- und Frachtflugzeuge
Erläuterung	Das PAMELA Projekt beschäftigt sich mit dem Flugzeugrecycling aus gesundheits- und umwelttechnischer Sicht. So wurde ein Ansatz zum nachhaltigen und effektiven Umgang (Anleitung und Verfahren) mit Altflugzeugen entwickelt. Im Projekt wurde ermittelt, dass bis zu 85 % der Flugzeugbestandteile nach einem „smart and safe dismantling“ recycelt werden könnten. Zu beseitigende Abfälle werden um mindesten 25 % verringert (Europäische Kommission, n.d.).
Internetlink	Projektinformation: https://trimis.ec.europa.eu/project/process-advanced-management-end-life-aircraft#tab-partners

Tabelle 32: AiMeRe

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Aircraft Metal Recycling (AiMeRe)
Typ	technisch
Land	Europa/Frankreich
Relevant für welche Produktgruppe	Flugzeuge
Erläuterung	Das AiMeRe Projekt hatte ein effizienteres und profitableres Flugzeugrecyclings zum Ziel, ebenso wie die Umweltbelastung der Demontage von Altflugzeugen zu begrenzen. Deshalb war Kern des Projektes die technische Evaluation der Demontageprozesse, deren Optimierung sowie die Entwicklung von Empfehlungen eines zukünftigen ‚Design for Environment‘. Der Fokus lag dabei auf Metallen. Es war Teil des Clean Sky Projektes, eines der größten europäischen Projektprogramme im Bereich der Luftfahrt.

Aspekte	Erläuterung
	Innerhalb des Projektes konnten die genaue Informationen über Materialanteile und Gefahrstoffe identifiziert und die Demontage-, Zerlege-, Sortier- und Verwertungsverfahren ökonomisch als auch ökologisch verbessert werden (Cordis, 2015).
Internetlink	https://cordis.europa.eu/project/id/323402/de
Partner	ENVISA Französisches Unternehmen, spezialisiert auf Umweltfragen in der Luftfahrt Bartin (Tochtergesellschaft VEOLIA PROPLETE) EU-Finanziert

3.4.3 Produktspezifische Recycling-Unternehmen

Tabelle 33: Boatbreakers (Großbritannien)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Boatbreakers
Typ	Technisch
Land	Großbritannien
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote (alle Boote)
Erläuterung	Bergung, Demontage und Recycling von Booten (inkl. Sportboote).
Internetlink	Boatbreakers: https://www.boatbreakers.com/

Tabelle 34: Stichting Jacht Recycling (Niederlande)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	Stichting Jacht Recycling
Typ	Technisch
Land	Niederlande
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote
Erläuterung	Yachten und Sportboote werden zerlegt und anschließend entweder recycelt oder, wenn bestimmte Bestandteile gut erhalten sind, wiederverwendet.
Internetlink	Stichting Jacht Recycling: https://www.jacht-recycling.com/pg-31704-7-116663/pagina/engels.html

Tabelle 35: DESGUACEBARCOS – Bootsrecycling (Spanien)

Aspekte	Erläuterung
Name des Beispiels	DESGUACEBARCOS - Bootverschrottung / -recycling

Aspekte	Erläuterung
Typ	Technisch
Land	Spanien
Relevant für welche Produktgruppe	Sportboote (alle Boote)
Erläuterung	Transport und Recycling aller Art von Booten.
Internetlink	Desguacebarcos: https://www.desguacedebarcos.es/

4 Abfalltechnische Aufbereitungsstandards

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Erarbeitung von konkreten Maßnahmen zur Abfallvermeidung von Sportbooten und Leichtflugzeugen sowie der Erstellung detaillierter Demontageanleitungen mit abfallfraktionspezifischen Verwertungshinweisen. Weiter wird die Sammlung, Abfallvermeidung und Verwertung von Bedarfsgegenständen mit CFK auf allgemeiner Ebene diskutiert. Die Beschreibung der Methodik befindet sich in Kapitel 2.2.

4.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

4.1.1 Grundsätzliche rechtliche Rahmenbedingungen

4.1.1.1 Schlüsseldefinitionen des Abfallrechts und Abfallhierarchie

Abfallbegriff und Anwendungsbereich

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) werden Stoffe oder Gegenstände als Abfall definiert, „deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ (§ 3 Abs. 1 Satz 1 KrWG). Dies kennzeichnet den Beginn der Abfalleigenschaft (Potrykus et al., 2019).

Erzeuger und Besitzer als Pflichtenadressaten

Erzeuger von Abfällen nach § 3 Abs. 8 KrWG ist jede natürliche oder juristische Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Ersterzeuger) oder die Vorbehandlungen, Mischungen oder sonstige Behandlungen vornimmt, die eine Veränderung der Beschaffenheit oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken (Zweiterzeuger). Besitzer von Abfällen ist jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat (§ 3 Abs. 9 KrWG) (Potrykus et al., 2019).

Hierzu ist zu bemerken, dass der Erzeuger der Abfälle in der Regel auch der erste Besitzer ist. Erzeuger und Besitzer können auch juristische Personen sein, wie § 3 Abs. 8 KrWG für den Abfallerzeuger und Abs. 9 KrWG für den Fall des Besitzes ausdrücklich klarstellt:

Besitzer von Abfällen im Sinne dieses Gesetzes ist jede natürliche oder juristische Person, die die tatsächliche Sachherrschaft über Abfälle hat.

Der Bezug auf „die tatsächliche Sachherrschaft“ wird so verstanden, dass es auf eine tatsächliche Verfügungsgewalt ankommt.

Die Pflichten im Abfallrecht – namentlich die Verwertungsgrundpflicht aus § 7 Abs. 2 KrWG – richten sich üblicherweise an Erzeuger und Besitzer, die beide nebeneinander für die Erfüllung der entsprechenden Pflichten verantwortlich sind (Potrykus et al., 2019).

Abfallhierarchie und Definitionen der Behandlungskategorien, insbes. Recycling

Einen zentralen Bestandteil des europäischen und deutschen Abfallrechts stellt die Festlegung der fünfstufigen Abfallhierarchie dar (Art. 4 EG-Abfallrahmenrichtlinie (EG-AbfRRL), § 6–8 KrWG). Die fünfstufige Abfallhierarchie von Art. 4 EG-AbfRRL legt europaweit eine grundsätzliche „Prioritätenfolge“ (ErwG 31 der EG-AbfRRL) zum Umgang mit Abfällen fest (Potrykus et al., 2019). Die Prioritätenfolge lautet wie folgt:

- ▶ Vermeidung
- ▶ Vorbereitung zur Wiederverwendung
- ▶ Recycling

- ▶ Sonstige, z.B. energetische Verwertung und Verfüllung
- ▶ Beseitigung.

Nach der Vermeidung als erste Priorität, ist auf zweiter Stufe die Vorbereitung zur Wiederverwendung eingestuft. Gemäß § 3 Abs. 24 KrWG ist darunter jedes

Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur zu verstehen, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren.

Auf dritter Stufe der Abfallhierarchie wird das Recycling eingeordnet. Recycling gehört zunächst zu den Verwertungsverfahren, d.h. gemäß § 3 Abs. 23 KrWG zu den Verwertungsverfahren,

als deren Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.

Soweit durch Verwertungsverfahren, „Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden“ (§ 3 Abs. 25 Satz 1 KrWG), liegt Recycling vor.

„Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind (§ 3 Abs. 25 Satz 1 KrWG).“

Die Beseitigung von Abfällen – negativ definiert als Verfahren, das keine Verwertung ist – hat die letzte Priorität in der Abfallhierarchie. Abfälle zur Beseitigung sind unter den Voraussetzungen des § 17 Abs. 1 Satz 2 KrWG an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zu überlassen (Potrykus et al., 2019).

4.1.1.2 Einstufung von Abfällen nach AVV und gefährliche Abfälle

Ein Teil der Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen ist die korrekte Bezeichnung der Abfälle sowie die Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit. Diese ist gemäß der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung, AVV) vorzunehmen. Die AVV enthält das Gesamtverzeichnis der Abfallarten, in dem sowohl die nicht gefährlichen als auch die gefährlichen Abfallarten erfasst sind (Potrykus et al., 2019).

Gefährliche Abfälle: Einstufung und Bezeichnung

Abfälle sind entweder gefährlich oder nicht gefährlich, wobei sich eine Reihe von rechtlichen Konsequenzen für die gesamte Bewirtschaftung der Abfälle an die Einstufung als gefährlich knüpft. Ob Abfälle gefährlich sind, richtet sich nach § 3 Abs. 5 KrWG:

„Gefährlich im Sinne dieses Gesetzes sind die Abfälle, die durch Rechtsverordnung nach § 48 Satz 2 oder auf Grund einer solchen Rechtsverordnung bestimmt worden sind. Nicht gefährlich im Sinne dieses Gesetzes sind alle übrigen Abfälle.“

Bei der hier erwähnten Rechtsverordnung handelt es sich um die AVV. Diese

- ▶ legt unter Verweis auf Anhang III der EG-AbfRRL 15 „HP“ Gefährlichkeitsmerkmale fest (z.B. HP 1 „explosiv“), gibt methodische Hinweise zu Bewertung und Einstufung und definiert die HP-Kriterien (in unterschiedlichem Detaillierungsgrad);
- ▶ integriert die europäische Abfallliste zur Bezeichnung von Abfällen als „Abfallverzeichnis“ (Identifikation von Abfällen durch Zuweisung einer sechsstelligen Abfallschlüssel-Nummer).

§ 3 Abs. 1 AVV bestimmt, dass die im Abfallverzeichnis aufgeführten Abfallarten, deren Abfallschlüssel mit einem Sternchen (*) versehen sind, als gefährlich einzustufen sind; d.h. von diesen Abfallarten wird von der AVV angenommen, dass sie eine oder mehrere der in Anhang III der EG-AbfRRL aufgeführten gefahrenrelevante Eigenschaften aufweisen. Dabei unterscheidet das Abfallverzeichnis in Einklang mit der Systematik der europäischen Abfallliste (LoW) zwischen sogenannten „absoluten“ (gefährlichen oder nicht gefährlichen) Einträgen und sogenannten Spiegeleinträgen; letztere sind paarweise und unter Bezug aufeinander im Abfallverzeichnis aufgeführt. Nur bei Spiegeleinträgen ist grundsätzlich im Einzelfall zu prüfen, ob der jeweilige Abfall eine oder mehrere gefahrenrelevante Eigenschaften aufweist; bei absoluten Einträgen entfällt diese Prüfung und die Vermutung der AVV greift.

Gefährliche Abfälle und Abfallhierarchie

Grundsätzlich gelten für alle Abfälle, ungeachtet ihrer Gefährlichkeit, die Einhaltung der Abfallhierarchie und die Grundpflichten der §§ 7 und 8 KrWG. Sofern keine der drei Ausnahmen nach § 9 Abs. 2 Nr. 1 – 3 KrWG zutrifft, gilt nach § 9 Abs. 2 Satz 1 KrWG ein Vermischungs- sowie Verdünnungsverbot für gefährliche Abfälle mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien. Sind nach Landesrecht Andienungs- und Überlassungspflichten für gefährliche Abfälle zur Beseitigung bestimmt, muss diesen nachgekommen werden (§ 17 Abs. 4 KrWG). Die Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer und Entsorger von gefährlichen Abfällen haben eine ordnungsgemäße Entsorgung gefährlicher Abfälle nachzuweisen (§ 50 KrWG i.V.m. § 2 der Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung, NachwV). Insbesondere kann die Einstufung von Abfällen als gefährlich insofern hinderlich für Recyclingaktivitäten sein, als beim Umgang mit diesen Abfällen eine entsprechende Genehmigungslage beim Abfallbehandler vorliegen muss. Generell, mit Ausnahme spezifischer Fälle, kennt das Abfallrecht eine Skepsis gegenüber Recyclingaktivitäten bei gefährlichen Aktivitäten, wo diese zur Anreicherung gefährlicher Substanzen im Stoffkreislauf führen siehe etwa § 6 Abs. 2 Satz 2 Nr. 4 KrWG) (Potrykus et al., 2019).

4.1.1.3 Persistente organische Schadstoffe

Sind persistente organische Schadstoffe (POP) in Abfällen enthalten, gilt es die Regelungen der Verordnung (EU) 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe (EU-POP-Verordnung) zu berücksichtigen. POP sind „organische Chemikalien, die sich durch ihre Langlebigkeit (Persistenz) auszeichnen, sich in Organismen und damit der Nahrungskette anreichern (Bioakkumulation und Biomagnifikation) und schädliche Wirkungen auf den Organismus von Mensch und Tier zeigen“ sowie das Potential zum weiträumigen Transport haben. (Umweltbundesamt, n.d.-b).

- ▶ Artikel 3 der EU-POP-Verordnung enthält ein grundsätzliches Verbot der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung von Stoffen (als solchen, in Gemischen oder in Erzeugnissen), die im Anhang I der Verordnung enthalten sind.
- ▶ Artikel 7 der Verordnung regelt die Bewirtschaftung von POP-haltige Abfälle.

Bestimmte Abfälle, die

- ▶ bestimmte POP-Verbindungen nach Anhang IV der EU-POP-Verordnung enthalten, aus diesen bestehen oder durch sie verunreinigt sind, und bei denen
- ▶ mindestens eine der in Anhang IV der EU-POP-Verordnung aufgeführten Konzentrationsgrenzen überschritten ist

gelten gemäß den Vorgaben des KrWG sowie der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) als gefährlicher Abfall, so dass für sie die strengen Vorgaben zur Überwachung gefährlicher Abfälle gelten (siehe oben).

Für bestimmte POP-haltigen Abfälle, welche als nicht-gefährlich eingestuft sind, gilt die bundesrechtliche POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung (POP-Abfall-ÜberwV).

4.1.1.4 Produkt- bzw. Abfallspezifische Regelungen

Neben dem KrWG gibt es für bestimmte Altprodukte spezifische Regelungen durch Verordnung oder Gesetze. Relevant im Zusammenhang mit der Aufbereitung von Sportbooten und Leichtflugzeuge sind vor allem die Folgenden:

- ▶ Altholzverordnung (AltholzV)

Die AltholzV beinhaltet Anforderungen an die Verwertung sowie die Beseitigung von Industrierestholz und Gebrauchtholz. Abhängig von der Belastung des Altholzes durch Schadstoffe gibt es vier Kategorien zur Zuordnung. Nach § 10 AltholzV muss Altholz ab einer Menge von 1 m³ bzw. 0,3 t pro Tag nach Herkunft und Sortiment getrennt erfasst, gesammelt, bereitgestellt, überlassen, befördert und gelagert werden. Die Anforderungen an die Verwertung hängen dabei von der Altholzkategorie ab. Für Altholz gelten die stoffliche wie auch die energetische Verwertung als hochwertig (§ 4 AltholzV).

- ▶ Altölverordnung (AltölV)

Die AltölV regelt die umweltgerechte Entsorgung von Altöl. Altöle können insgesamt vier unterschiedlichen Sammelkategorien zugeordnet werden. Eine Aufbereitung zum Basisöl wird als Entsorgungsform bevorzugt (§ 2 AltölV). Weiter besteht ein Vermischungsverbot von Altölen mit anderen Abfällen (§ 4 Absatz 1 AltölV), von Altölen unterschiedlicher Sammelkategorien untereinander (§ 4 Absatz 3 AltölV) sowie die Pflicht der getrennten Sammlung, Beförderung und Entsorgung von Altölen (§ 4 Absatz 2 AltölV)⁷⁶. Unter § 8 AltölV wird die Rücknahmeverpflichtung durch den Handel festgelegt.

- ▶ Batteriegesetz (BattG)

Grundlage für das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren bildet das BattG. Unterschieden werden Batterien nach Industrie- und Fahrzeugbatterien. Diese können in unterschiedlichen Bestandteilen von Sportbooten und Leichtflugzeugen enthalten sein. Weiter wird unterschieden in Gerätebatterien, Knopfzellen und in schnurlose Elektrowerkzeuge, welche sich in der Innenausstattung der Sportboote und Leichtflugzeuge befinden können. Prinzipiell kann sich jede Art von Batterie an Bord befinden, (z.B. in diversen Elektrogeräten) an welche wiederum bestimmte Anforderungen und Regelungen geknüpft sind. Spezifisch sind für Sportboote und Leichtflugzeuge auch vor allem Regelungen von Blei-Säure-Batterien (z.B. AGM Batterien,

⁷⁶ Ausnahmen unter § 4 Absatz 4 bis 7 AltölV.

Autobatterien) relevant. In neueren Sportbooten oder elektrischen Wassermotorrädern können auch Lithium-Batterien enthalten sein.

Für Altbatterien bestehen Pflichten zur getrennten Erfassung und Zuführung zum geeigneten Entsorger.

Nach BattG sind nach § 14 Absatz 1 BattG folgende Recyclingziele zu erfüllen:

- 65 % der durchschnittlichen Masse von Blei-Säure-Altbatterien,
- 75 % der durchschnittlichen Masse von Nickel-Cadmium-Altbatterien,
- 50 % der durchschnittlichen Masse sonstiger Altbatterien.

Gerätebatterien müssen eine Sammelquote von mindestens 50 % erreichen (§ 16 BattG).

► Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

Die Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin (20. BImSchV) gilt es zu berücksichtigen, sofern Ottokraftstoff, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin in Tanklagern oder an Tankstellen gelagert oder umgefüllt werden oder befördert werden.

► Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)

Das ElektroG regelt das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (EAG). Es unterteilt EAG in sechs verschiedene Sammelkategorien. Je nach Ausstattung und Typ der Sportboote und Leichtflugzeuge sind verschiedenste Typen von EAG darin zu finden und die entsprechenden Regelungen im Umgang mit diesen Elektro- und Elektronikaltgeräte sind zu berücksichtigen.

Hersteller sind laut ElektroG verpflichtet in Verkehr gebrachte EAG zurückzunehmen und umweltverträglich zu verwerten und zu beseitigen (§ 16 Absatz 2 ElektroG). Dabei ist eine Mindest erfassungsquote von 65 % (ab 2019) zu erreichen (§ 10 Absatz 3 Satz 4 ElektroG) ebenso wie bestimmte Quoten zur Verwertung bzw. Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling abhängig von der Altgerätekategorie (§ 22 ElektroG).

Je nach Art des EAG ist es in einer der sechs Sammelgruppen zu entsorgen (§2 Absatz 1 ElektroG):

- Sammelgruppe 1 Wärmeübertrager
 - Sammelgruppe 2 Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimeter enthalten
 - Sammelgruppe 3 Lampen
 - Sammelgruppe 4 Großgeräte
 - Sammelgruppe 5 Kleingeräte; Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik
 - Sammelgruppe 6 Photovoltaikmodule
- EU-F-Gas Verordnung

Mit der Verordnung (EU) 517/2014 über fluorierte Treibhausgas (EU-F-Gas Verordnung) sollen die Emissionen fluoriertes Treibhausgase in der EU gesenkt werden. Dafür enthält die Verordnung Beschränkungen, Verwendungs- und Inverkehrbringensverbote sowie weitere Regelungen, die Dichtheitsprüfungen, Zertifizierungen etc. betreffen. Auch unterliegen elektrische Schaltanlagen den Regelungen der EU-F-Gas Verordnung. Zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Wirtschaft gibt es seit 2000 eine Vereinbarung, um die Emissionen von SF₆-Gasen zu reduzieren (Selbstverpflichtung). Regelungen der EU-F-Gas-Verordnung wurden mittels der Chemikalien-Klimaschutzverordnung und der Chemikalien-Sanktionsverordnung in deutsches Recht integriert (Umweltbundesamt, n.d.-a, 2022).

► **Gewerbeabfallverordnung**

Die Gewerbeabfallverordnung (GewerbeabfallV) regelt den Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie gewerblicher Siedlungsabfälle. In § 3 GewerbeabfallV wird dabei die getrennte Sammlung und Verwertung von mindestens Papier, Glas, Kunststoffen, Metallen, Holz, Textilien und Bioabfällen vorgeschrieben. Dies muss entsprechend dokumentiert werden.

4.1.1.5 Ende der Abfalleigenschaft und Verknüpfung zum Produktrecht beim Recycling

Laut § 5 Abs. 1 KrWG endet die Abfalleigenschaft eines Stoffes oder Gegenstandes, sofern er ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass,

1. *er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird,*
2. *ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm besteht,*
3. *er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt sowie*
4. *seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt.*

Von besonderem Interesse ist hier insbesondere Kriterium 3, das die Einhaltung von allgemeinen und speziellen Produkthanforderungen einfordert und insofern die Verknüpfung zum Produktrecht herstellt. Kriterium 4 erfordert eine vergleichende Sicherheitsbetrachtung. Hier muss geprüft werden, ob ein vergleichbares Sicherheitsniveau außerhalb des Abfallregimes erreicht wird. Ist dies zusätzlich zu Kriterium 1–3 gegeben, kann das Ende der Abfalleigenschaft erreicht werden (Potrykus et al., 2019).

Während es für einzelne wenige ausgewählte Abfallströme (bestimmte Arten von Bruchglas, Eisen- und Kupferschrotte) europäisch harmonisierte Verordnungen zum Ende der Abfalleigenschaft gibt, bestehen auf nationaler Ebene keine stoffstromspezifischen Regelungen hierzu. Die 2018 geänderte EG-AbfRRL entwickelt die Vorgaben zum Ende der Abfalleigenschaft fort. Die EU-Kommission überwacht die Erarbeitung nationaler Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft in den Mitgliedstaaten und prüft auf dieser Grundlage, ob unionsweit geltende Kriterien erarbeitet werden müssen. Zu diesem Zweck erlässt die Kommission gegebenenfalls Durchführungsrechtsakte zur Festlegung detaillierter Kriterien für die einheitliche Anwendung der Bedingungen aus Art. 6 Abs. 1 EG-AbfRRL auf bestimmte Abfallarten. Mit diesen detaillierten Kriterien muss ein hohes Maß an Schutz für Mensch und Umwelt sichergestellt und die umsichtige und rationelle Verwendung der natürlichen Ressourcen ermöglicht werden (Potrykus et al., 2019). Sie beinhalten gemäß Art. 6 Abs. 2 EG-AbfRRL:

- a) Abfallmaterialien, die der Verwertung zugeführt werden dürfen,
- b) zulässige Behandlungsverfahren und -methoden,

- c) Qualitätskriterien im Einklang mit den geltenden Produktnormen, erforderlichenfalls auch Schadstoffgrenzwerte, für das Ende der Abfalleigenschaft bei Materialien, die durch das Verwertungsverfahren gewonnen werden
- d) Anforderungen an Managementsysteme zum Nachweis der Einhaltung der Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft, einschließlich an die Qualitätskontrolle und Eigenüberwachung sowie gegebenenfalls Akkreditierung und
- e) das Erfordernis einer Konformitätserklärung.

Bei Erlass dieser Durchführungsakte berücksichtigt die Kommission die relevanten Kriterien, die die Mitgliedstaaten entsprechend festgelegt haben, wobei ihr die strengsten und die Umwelt am besten schützenden dieser Kriterien als Ausgangspunkt dienen (Art. 6 Abs. 2 EG-AbfRRL) (Potrykus et al., 2019).

Produkte, die Sekundärrohstoffe enthalten, müssen grundsätzlich dieselben Anforderungen bei dem Inverkehrbringen einhalten wie Produkte aus Primärrohstoffen. Da Produkte aus Sekundärrohstoffen bereits einen gesamten Lebenszyklus durchlaufen, ist es oftmals mit einigen Hindernissen verbunden, diese Anforderungen zu erfüllen; besonders im Gegensatz zu Produkten aus Primärrohstoffen (Potrykus et al., 2019).

Insofern ist Voraussetzung jeder rechtskonformen Recyclingtätigkeit, dass die erzeugten Produkte alle Anforderungen an Produkte erfüllen. Tatsächlich spielt Konformität mit produktrechtlichen Anforderungen bereits eine Rolle bei der Frage, ob für Abfall das Ende der Abfalleigenschaft erreicht wird bzw. werden kann (siehe oben) (Potrykus et al., 2019).

4.1.1.6 Abfallrechtliche Produktverantwortung

Die (abfallrechtliche) Produktverantwortung basiert auf dem Gedanken, dass bereits bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten Aspekte der Kreislaufführung berücksichtigt werden sollen. Insbesondere werden herstellende und vertreibende Unternehmen von Produkten für den gesamten Lebenszyklus in die Pflicht genommen; viele Maßnahmen der Produktverantwortung knüpfen Pflichten an das Inverkehrbringen (neuer) Produkte (Potrykus et al., 2019).

Die Produktverantwortung umfasst eine Reihe von möglichen Maßnahmen wie

- ▶ Vorgaben für die Entwicklung mehrfach verwendbarer, langlebiger und umweltverträglicher Produkte;
- ▶ den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei der Herstellung neuer Erzeugnisse;
- ▶ die Kennzeichnungspflicht schadstoffhaltiger Erzeugnisse, die Hinweise auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten bzw. -pflichten sowie
- ▶ die Rücknahme und umweltgerechte Entsorgung nach Gebrauch (§ 23 Abs. 2 KrWG).

Die Produktverantwortung ist sowohl auf europäischer wie auch auf Bundesebene allgemein proklamiert (§ 23 KrWG, Artikel 8 EG-AbfRRL) und umfasst eine Reihe möglicher Gestaltungsinstrumente einschließlich der Etablierung von Systemen zur Wahrnehmung der kollektiven Verantwortung aller Hersteller für die Bewirtschaftung der entsprechend entstehenden Abfälle (im Begriff von Artikel 8a EG-AbfRRL „Regime der erweiterten Herstellerverantwortung“).

Die Produktverantwortung ist für eine Reihe von Produktgruppen rechtlich verankert; in Deutschland beispielsweise für die Abfallströme Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG), Fahrzeuge (AltfahrzeugV), Batterien (BattG), EAG (ElektroG, Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung - ElektroStoffV)) sowie (Mineral-) Öle (Altölv)). Für Erzeugnisse, die die Definitionen dieser spezifischen Produkt- /Abfallgruppen nicht erfüllen, ist bislang keine Produktverantwortung rechtlich festgelegt. Dies gilt unter anderem für die hier betrachteten Produkt- bzw. Abfallgruppen der Sportboote, Leichtflugzeuge, Fahrräder, Ski und Snowboards, Golfschläger, Saiteninstrumente sowie Prothesen und Orthesen.

Weiter gibt es keine spezifischen Regelungen zum Einsatz oder der Entsorgung von FVW.

Freiwillige Rücknahme, Wahrnehmung der Produktverantwortung

Neben der gesetzlich vorgeschriebenen Produktverantwortung existiert die Möglichkeit der freiwilligen Rücknahme durch die Hersteller/Inverkehrbringer und wird unter § 26 KrWG geregelt. Der Hersteller/Inverkehrbringer hat die Möglichkeit für Erzeugnisse oder die entsprechenden Abfälle ein eigenes Rücknahmesystem zu etablieren oder Dritte damit zu beauftragen. Dabei müssen nach § 26 Abs. 3 KrWG folgende Punkte erfüllt sein:

- ▶ die Abfälle, die vom Hersteller oder Vertreiber zurückgenommen werden, von Erzeugnissen stammen, die vom Hersteller oder Vertreiber selbst hergestellt oder vertrieben wurden,
- ▶ durch die freiwillige Rücknahme die Ziele der Produktverantwortung nach § 23 umgesetzt werden,
- ▶ die umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung der Abfälle gewährleistet bleibt und
- ▶ durch die Rücknahme die Kreislaufwirtschaft gefördert wird.

Untere gewissen Voraussetzungen ist auch die Rücknahme von Erzeugnissen, die von anderen hergestellt/vertrieben wurden möglich, sofern es sich um nicht-gefährliche Abfälle handelt (§ 26 Abs. 4 KrWG). Ein Beispiel ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Schaltanlagenhersteller.

4.1.2 Außerbetriebnahme, Abmeldung, Abwrackung von Sportbooten

Das Inverkehrbringen sowie Produktanforderungen von Sportbooten wird in der Richtlinie 2013/53/EU (EU-Sportbootrichtlinie bzw. der deutschen SeeSpBootV (siehe Kapitel 3.1.2). Vorgaben zur Außerbetriebnahme, Abmeldung oder Abwrackung von Sportbooten sind darin nicht enthalten.

Vorgaben und Anleitungen zur Demontage und dem Recycling für Schiffe sind in der EU-Schiffsrecycling-Verordnung enthalten. Diese hat die Vermeidung, Verminderung, Minimierung und Eliminierung von Unfällen, Verletzungen und anderen nachteiligen Auswirkungen des Recyclings von Schiffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zum Ziel. Zudem soll durch die EU-Schiffsrecycling-Verordnung die Ratifizierung des Hongkonger Übereinkommens erleichtert werden (Artikel 1, EU-Schiffsrecycling-Verordnung). Die Verordnung gibt unter anderem vor, dass jedes neue Schiff ein Gefahrstoffinventar an Bord haben muss, und ein detaillierter Schiffsrecyclingplan muss erstellt werden. Weiter enthält sie Zulassungsverfahren für Schiffsrecyclinganlagen innerhalb der EU (zugelassene Abwrackeinrichtungen der EU⁷⁷ sind in EU 2016/2323 gelistet). Da die der EU-Schiffsrecycling-Verordnung wie auch das Hongkonger Übereinkommen nur für Schiffe mit einer Bruttoreaumzahl über 500 gelten, sind

⁷⁷ Für Deutschland gibt es keinen Eintrag.

Sportboote hiervon nicht betroffen. Somit gibt es keine rechtlichen Vorgaben für Sportboote für den Umgang mit Altsportbooten in Bezug auf Demontage, Recycling oder Entsorgung.

4.1.3 Außerbetriebnahme, Abmeldung, Abwrackung von Leichtflugzeugen

Die generelle Entscheidungsbefugnis in der allgemeinen Luftfahrt unterliegt dem LBA. Dies ist zuständig für die Außerbetriebnahme, Anmeldung und Abmeldung von Leichtflugzeugen und kann jederzeit Überprüfungen anordnen und Zulassungen aufgrund von Sicherheitsmängeln am Flugzeug oder bei auftretenden typspezifischen Mängeln widerrufen. In der Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät (LuftGerPV) wird darauf hingewiesen das entsprechend nach LuftVZO und den Bestimmungen der Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 die Aufrechterhaltung der Flugtüchtigkeit regelt. Jeder Instandhaltungsbetrieb muss danach genehmigt sein. Eine Zulassung mitsamt notwendiger Versicherungsnachweise für das Flugzeug muss spätestens innerhalb eines Jahres von dem Halter verlängert werden, anderenfalls könnte die Zulassung des LBA zurückgezogen werden. Nach § 13 Abs. 1 LuftGerPV muss der Halter bei Luftsportgeräten über 120 kg das für den Flugzeugtyp spezifische Instandhaltungsprogramm durchführen und einer zusätzlichen Jahresnachprüfung zur Überprüfung der Flugtüchtigkeit unterziehen. Nach § 13 Abs. 3 LuftGerPV wird bei Flugmodellen mit einer Startmasse von über 25 kg genauso die Lufttüchtigkeit alle 12 Monate überprüft, bei Änderungen am Flugmodell erfolgt eine Nachprüfung vor dem ersten Flug.

Die LuftVZO sieht eine vorübergehende Luftuntüchtigkeit nicht vor. Der*die Eigentümer*in des Flugzeugs kann jedoch, insbesondere bei Oldtimern einen schriftlichen Antrag an das LBA einreichen, und muss dann innerhalb eines Jahres nach Ablauf der Jahresnachprüffrist die Lufttüchtigkeit des Flugzeugs erneuern (Luftfahrt-Bundesamt, 2005).

Bei einer Unterbrechung des Versicherungsschutzes ist der Flugzeuginhaber verpflichtet dies beim LBA anzuzeigen, wobei das LBA die Zulassung dadurch sofort widerrufen muss. Ein Versicherungsschutz muss auch bei einer vorübergehenden Luftuntüchtigkeit bestehen (§ 10 Abs. 2 LuftVZO). Die Flugtüchtigkeit ist ab einem Jahr nach Verlust oder Unfall des Leichtflugzeug zu widerrufen. Mit dem Widerruf wird das Luftuntüchtigkeitszeugnis, sowie nach anschließender Löschung, der Eintragungsschein eingezogen. Ebenfalls wird bei Verkauf oder Verschrottung die Eintragung aus dem Flugzeugregister des LBA gelöscht (Luftfahrt-Bundesamt, 2005). Für eine Abmeldung des Luftfahrzeugs beim LBA werden die Originaldokumente von Eintragungsschein, Lufttüchtigkeitszeugnis und Lärmzeugnis benötigt.

Eine außerordentliche Außerbetriebnahme z.B. durch einen Flugzeugunfall unterliegt dem Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen bei dem Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (FLUUG) und wird von der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) überwacht. Das FLUUG regelt die Sicherstellung und Unfallaufnahmeverkehrungen zur Ermittlung des Unfallhergangs mit Beweisaufnahmen und in Erfahrung nehmen der Flugzeughistorie. Zu jedem Unfall wird spätestens nach einem Jahr ein öffentlicher Bericht erstellt, der online auf der BFU-Webseite einsehbar ist. Die Kosten der Bergung liegen bei dem*der Besitzer*in des Flugzeugs. Nach Freigabe des Flugzeugs durch das BFU können weitere Unternehmen für den Transport und die Entsorgung beauftragt werden.

4.1.4 Existierende rechtliche Regelungen Bedarfsgegenstände CFK

Für Bedarfsgegenstände mit CFK gibt es in Deutschland weder eine Pflicht zur Anmeldung bzw. Registrierung der Produkte noch eine Pflicht der Abmeldung. Weiter gibt es keine spezifischen gesetzlichen Regelungen, welche die Sammlung oder die konkreten Verwertungs- bzw. Entsorgungswege vorschreiben. Wie bereits in Kapitel 3.3.2 beschrieben, gilt es aufgrund der

steigenden Mengen an CFK-Abfällen aus Bedarfsgegenständen Konzepte für den zukünftigen Umgang mit Bedarfsgegenständen mit CFK zu entwickeln, um technische und gesundheitliche Probleme einer Mitverbrennung von CFK zu vermeiden und Abfälle im Rahmen der Abfallrahmenrichtlinie (§6 KrWG) möglichst hochwertig zu verwerten.

4.2 Abfallvermeidung

4.2.1 Sportboote

4.2.1.1 Wartung bei regelmäßiger Nutzung

Regelmäßige und sachgemäße Wartung stellt die Funktionsfähigkeit einzelner Komponenten und Systeme und damit auch die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Sportbootes sicher. Regelmäßige und sachgemäße Pflege einzelner Komponenten erhält dessen äußeres Erscheinungsbild und damit die Wiederverkaufschancen und den Wert. Bei der Wartung werden Komponenten und Systeme eines Sportbootes in regelmäßigen Abständen (Wartungsintervallen) oder zu bestimmten Zeitpunkten (z.B. vor dem Auslaufen) auf Abnutzung, Verschleiß, Schäden, Füllstand etc. inspiziert und ggf. ausgebessert, ausgetauscht oder aufgefüllt. Insgesamt kann durch sachkundige Wartung die Lebensdauer von Booten erhöht und damit Abfälle vermieden werden.

Typische Wartungsarbeiten umfassen (Ricardou, 2018, 2022):

- ▶ Reinigen des Rumpfes
- ▶ Kontrollieren und Ausbessern von Gelcoat- oder Lackschäden
- ▶ Auffüllen von Motorenöl
- ▶ Getriebeöl wechseln
- ▶ Reinigen und Schmieren von Winden
- ▶ Inspizieren von Rettungsinseln und -westen
- ▶ Reinigen von Pumpen
- ▶ Filter und Tanks für Frischwasser oder Treibstoff oder Kühlkreisläufe inkl. Wärmetauscher überprüfen und reinigen

Im Rahmen des Motorservices sollen regelmäßig die Bälge, d.h. Durchführungen vom Motor zum Antrieb, der Impeller, d.h. das Schaufelrad für die Ansaugung des Kühlwassers des Motors, der Ölfilter und der Kraftstofffilter getauscht werden (Input Yachthändler 2022).

Eine Liste von Wartungsaufgaben für Boote wurde online in Form eines Wartungsheftes veröffentlicht (Ricardou, 2018).

Die Wartung betrifft alle Teile des Sportboots, vom Schiffskörper, über Aufbauten und Ausstattung bis hin zur Ausrüstung. Hinweise und Informationen zur Wartung sind im Eigner-Handbuch, das mit jedem Sportboot ausgeliefert werden muss, enthalten (EU-Sportbootrichtlinie). Wartungsarbeiten erfolgen zumeist jährlich im Herbst oder Winter, wenn die Boote aus dem Wasser genommen und eingewintert werden (Input Yachthändler, 2022). Wartungsarbeiten an Motoren, Klimaanlage, Heizungen und Generatoren führt zumeist Fachpersonal aus, um die Gewährleistung nicht zu verlieren (Input Yachthändler, 2022). Der

Motor sollte jährlich gewartet werden (Input Yachthändler, 2022). Um Arbeiten an Gasanlagen wie Öfen oder Kochplatten durchzuführen, ist eine Zertifizierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 608, notwendig; auch für Arbeiten an elektrischen Anlagen ist eine Schulung notwendig (Input Yachthändler 2022). Für Motoren gibt es in der Regel Wartungshefte für die Dokumentation der regelmäßigen Wartung. Im Optimalfall werden alle Wartungsarbeiten, auch selbst durchgeführte, in einem Wartungsheft oder anderweitig dokumentiert. Regelmäßige Wartungen werden von dem*der Hersteller*in empfohlen und können eigenständig oder von spezialisierten Werften oder Fachpersonal durchgeführt werden. Durch regelmäßige sachkundige Wartung können ernsthafte Schäden an Komponenten und Systemen des Sportbootes vorgebeugt werden, sodass diese funktionsfähig, sicher und zuverlässig bleiben und nicht teuer repariert oder ausgetauscht werden müssen.

4.2.1.2 Erstinspektion vor Reparatur, Re-fit oder Demontage

Eine Erstinspektion sollte vor der Reparatur, dem Re-fit oder der Demontage von Sportbooten stattfinden. Solch eine Erstinspektion oder Begehung sollte vor allem für Boote durchgeführt werden, für die keine oder unzureichende Informationen zu Ausstattung, Ausrüstung und Zustand vorhanden sind. Es wird empfohlen dabei ein Protokoll auszufüllen, welches exemplarisch in Tabelle 36 dargestellt ist. Eine Inspektion beinhaltet die administrative Erfassung von unbekanntem Sportbooten sowie die Erfassung des Zustands des Bootes. Für ein Sportboot und dessen Einzelteile stehen grundsätzlich die Wiederverwendung gemäß dem ursprünglichen Verwendungszweck ohne zusätzlichen Aufwand, Wartung, Reparatur, Weiterverkauf auf dem Sekundärmarkt und Entsorgung/Verwertung als Optionen offen. Auf Grundlage des, während der Erstinspektion festgestellten Istzustandes können Entscheidungen für oder gegen diese Maßnahmen getroffen werden und diese anschließend vorbereitet und durchgeführt werden. Die Erstinspektion kann sowohl von Eigentümer*innen des Sportbootes also auch von Marinas, in deren Häfen, Stellgeländen oder Lagern sich die Sportboote befinden, veranlasst werden und sollte von Sachverständigen durchgeführt werden, die den Zustand des Sportbootes und die Funktionstüchtigkeit einzelner Bauteile beurteilen können. Im Falle einer professionellen Demontage dient die Erstinspektion auch dazu, einen Kostenvoranschlag für die Entsorgung des Bootes erstellen zu können. Für einen Kostenvoranschlag braucht ein Entsorgungsunternehmen Daten wie beispielsweise die Höhe, Breite, Länge und Gewicht des Bootes, um Transportmöglichkeiten und -kosten zu bestimmen oder Informationen zum Kielmaterial und dem Zustand des Bootes sowie Erlöse abzuschätzen. Aus Kostengründen ist es oftmals schwierig Fachpersonal zum Standort des Bootes zu entsenden, weswegen auch mit Fotos oder Telefonaten für die Einschätzung der Entsorgungsaufgabe gearbeitet werden kann. Auch digitale Rundgänge sind eine Option, damit sich der/die Entsorger*in ein Bild der Lage machen kann (z.B. liegt Boot im Wasser oder an Land; wie hoch ist es; ist der Kiel aus Blei etc.).

Als vorbereitende Maßnahme für die Erstinspektion bzw. für die Begehung des Bootes muss die Rumpfindegrität und Standfestigkeit geprüft und gegebenenfalls angepasst werden, um ein Umkippen während der Begehung zu vermeiden. Wichtige Informationen, die nach der Erstinspektion feststehen sollten, sind im folgenden Datenblatt zusammengefasst und erläutert.

Tabelle 36: Datenblatt zur Erfassung des Produkts

Aspekte	Erläuterung
Datum Inspektion	
Name Inspekteur*in	
Eckdaten Eigentümer*in	

Aspekte	Erläuterung
Name und Anschrift letzte*r Eigentümer*in (wenn unbekannt, Name und Anschrift der Marina)	Wenn bestimmte Wertgegenstände oder Fragen während der Wartung oder der Demontage auftauchen, kann der/die Eigentümer*in/ die Marina kontaktiert werden. Auch die Abrechnung erfolgt über den Eigentümer*in/ die Marina.
Standort des Objektes inkl. Ansprechpartner*in	Da Boote meistens abgeholt werden, ist die Standortangabe zwingend notwendig. Eine Standortangabe in Form von Koordinaten könnte hilfreich sein.
Versicherungsgeber*in	Relevant, wenn Bootsentsorgung aufgrund eines Versicherungsfalles (z.B. Unfall) erfolgt.
Eckdaten des Bootes	
Bootstyp	Das Ankreuzen des Bootstyps ermöglicht eine spätere statistische Erfassung und Auswertung verschiedener Bootstypen, die als Abfall anfallen: <input type="checkbox"/> Motorboot – Motoryacht o.ä. <input type="checkbox"/> Motorboot – offenes Sportboot, Daycruiser o.ä. <input type="checkbox"/> Segelboot – Segeljolle, offenes Kielboot o.ä. <input type="checkbox"/> Segelboot – Segelyacht, Motorsegler o.ä. <input type="checkbox"/> Wassermotorrad <input type="checkbox"/> Kanu <input type="checkbox"/> Ruderboot <input type="checkbox"/> Tretboot <input type="checkbox"/> Surfbrett <input type="checkbox"/> Stand up paddle <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Name des Bootes	Wenn am Boot angebracht, kann der Name des Bootes helfen, Verwechslungen mit anderen Booten auf dem Gelände vorzubeugen
Identifikationsnummer	Diese Nummer erhält jedes Boot, das laut der Sportbootrichtlinie in die Definition des „Sportboots“ oder des „Wassermotorrads“ fällt. Die Nummer wird bei der Herstellung angebracht und darf während seiner Lebensdauer nicht entfernt werden. Die Nummer enthält Angaben zu Ländercode des Herstellers; zugeteilter Herstellercode; eindeutige Seriennummer; Monat und Jahr der Produktion; Modelljahr (siehe Anhang I, A, Punkt 2.1 EU-Sportbootrichtlinie). Nachteil ist, dass Kanus, Surfbretter, SUP und Boote < 2,5 m diese Nummer nicht zwingend haben.
Herstellungsjahr / Baujahr	Diese Information sollte aus der Identifikationsnummer hervorgehen. Über das Herstellungsjahr kann das Alter des Bootes bestimmt werden sowie abgeschätzt werden aus welchem Material bestimmte Bauteile bestehen (z.B. GFK seit den 1970er Jahren verbaut).
Herstellertyp	Je nach Herstellertyp (Einzel- oder Serienanfertigung) können einfacher Rückschlüsse auf bestimmte Bauteile und Komponenten gezogen werden. Obwohl auch Serienanfertigungen über die Nutzungszeit stark verändert werden können, ist hier die Wahrscheinlichkeit höher, Informationen über die ursprünglich verbauten Teile über Werften, das Internet oder Erfahrungswerte zu finden: <input type="checkbox"/> Serienboot einer Werft (z.B. Varianta Dehle) <input type="checkbox"/> Eigenbau <input type="checkbox"/> Einzelanfertigung <input type="checkbox"/> Anderes: _____

Aspekte	Erläuterung
Herstellendes Unternehmen / Werftname	Diese Information sollte aus der Identifikationsnummer hervorgehen. Über das herstellende Unternehmen des Sportbootes können Informationen zu Wartung und Reparatur oder Ersatzteile bezogen werden.
Länge über alles [in m]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Bauhöhe des Bootes [in m]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Breite des Bootes [in m]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Gewicht des Bootes [in kg]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Tiefgang [in m]	Wenn das Boot im Wasser liegt, kann dies notwendige Information sein, um die Gesamthöhe des Bootes zu bestimmen.
Motorleistung [in kW]	
Ausstattung des Bootes	
Art des Antriebs	Notwendig um Trockenlegung, Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen <input type="checkbox"/> Kein Motor <input type="checkbox"/> Außenborder <input type="checkbox"/> Innenborder <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Anzahl der Segel und Maste	
Größe und Art der Segel	Relevant für eine potentielle Verwertung des Segels.
Motormodell/-hersteller	
Art des Kiels	Das Material des Kiels gibt Aufschluss darüber in welchem Preissegment ein späterer Verkauf zu erwarten ist: <input type="checkbox"/> Blei (daran erkennbar, dass es nicht rostet) <input type="checkbox"/> Stahl <input type="checkbox"/> Beton <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Material des Rumpfs	Das Material des Rumpfs ist entscheidend für die Zerkleinerung des Rumpfes und die anschließende Verwertungsrouten: <input type="checkbox"/> GFK <input type="checkbox"/> CFK <input type="checkbox"/> Holz <input type="checkbox"/> Stahl <input type="checkbox"/> Aluminium <input type="checkbox"/> ABS <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Angaben über Batterien	Anzahl und Art der Produkte nach BattG <input type="checkbox"/> Fahrzeugbatterien <input type="checkbox"/> Industriebatterien <input type="checkbox"/> Gerätebatterien <input type="checkbox"/> Knopfzellen
Angaben über Elektrogeräte	Anzahl und Art der Produkte nach ElektroG <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 1 Wärmeübertrager

Aspekte	Erläuterung
	<input type="checkbox"/> Sammelgruppe 2 Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimeter enthalten <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 3 Lampen <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 4 Großgeräte <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 5 Kleingeräte; Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 6 Photovoltaikmodule
Angaben zur Innenausstattung	Anzahl von <input type="checkbox"/> Sitzen <input type="checkbox"/> Liegen <input type="checkbox"/> Waschräumen <input type="checkbox"/> Küchen
Zubehör	Das Zubehör beeinflusst den Transport und die Kosten: <input type="checkbox"/> Trailer <input type="checkbox"/> Rigg <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Zustand des Bootes	
Lagerung des Bootes	Je nachdem ob ein Boot an Land oder im Wasser liegt, muss es anders gekrant werden. Die Lagerung beeinflusst zusätzlich den Zustand des Bootes: <input type="checkbox"/> an Land <input type="checkbox"/> im Wasser <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Grund der Anlieferung (bei Entsorgungswunsch)	Der Grund der Anlieferung kann Aufschluss auf den Zustand des Bootes geben: <input type="checkbox"/> Altersschwäche <input type="checkbox"/> Nicht mehr wartungs- oder reparierfähig <input type="checkbox"/> Ausrangierung durch eine Marina, da Eigentümer*in unbekannt <input type="checkbox"/> Unfall / Versicherungsfall <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____
Menge und Art der Betriebsmittel	Notwendig um Trockenlegung vorzubereiten und durchzuführen: <input type="checkbox"/> Motoröl <input type="checkbox"/> Getriebeöl <input type="checkbox"/> Bilgenöl/-wasser <input type="checkbox"/> Kühlflüssigkeiten <input type="checkbox"/> Hydraulisches Öl <input type="checkbox"/> Frischwasser <input type="checkbox"/> Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche) <input type="checkbox"/> Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette) <input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Sonstiges _____
Funktionsfähigkeit Elektrik und Bordnetz	Notwendig um Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen
Funktionsfähigkeit Navigations- und Kommunikationssysteme	Notwendig um Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen

Aspekte	Erläuterung
Enthaltene Gefahrstoffe	Diese Gefahrstoffe müssen nach der Trockenlegung entfernt und ordnungsgemäß entsorgt werden: <input type="checkbox"/> Gasflaschen <input type="checkbox"/> Feuerlöscher <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Welche gefährlichen Bauteile sind an Bord?	Diese Gefahrstoffe müssen zur Eingrenzung der weiteren Verfrachtung und Kontaminierung gesondert vor einer ersten Zerkleinerung entfernt werden <input type="checkbox"/> Asbesthaltige Bauteile <input type="checkbox"/> Bauteile mit Schwermetallen (Cadmium, Blei, Quecksilber, Chrom) <input type="checkbox"/> Bauteile mit PCB und PCB haltige Stoffe
Optional: Welche Bauteile können einer Wiederverwendung zugeführt werden?	In einigen Booten werden Bauteile in gutem Zustand zu finden sein. Diese können auf dem Gebrauchtmrkt oder intern weiter-/wiederverwendet werden. Um sicherzustellen, dass diese Teile nicht entsorgt werden, sollten sie hier gelistet werden.
Optional: Defekte und Art der Mängel	Hier soll kurz zusammengefasst werden, welche Defekte sichtbar sind und eine erste Schätzung des Schadens beschrieben werden.
Entscheidung über Reparatur, Re-Fit, Demontage	Reparatur: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Baugruppen/Komponenten: _____ Demontage von Bauteilen: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Bauteile: _____ Re-Fit: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Bauteile: _____
Foto-Checkliste	Fotos ermöglichen dem Entsorger die Entsorgungsaufgabe einzuschätzen. Findet eine Erstinspektion nur per Telefon statt, werden Fotos genutzt, damit der/die Bootseigentümer*in seine Aussagen zum Zustand und Ausstattung des Bootes belegen kann.
Fotos des Bootes	<input type="checkbox"/> von vorne <input type="checkbox"/> von der Seite <input type="checkbox"/> von hinten <input type="checkbox"/> von oben
Fotos des Geländes	<input type="checkbox"/> Fotos von Bootsumgebung (z.B. an Wasser oder Land) <input type="checkbox"/> Fotos von Zufahrt zu Boot (wichtig für Transport)

Quelle: Eigene Erarbeitung und nach Anfrageformular der reboat Website (ReBoat, 2022)

Nach der Erstinspektion sollte feststehen, welche (relevanten) Komponenten, Systeme und Bauteile des Sportbootes funktionsfähig sind. Ist dies nicht ohne Weiteres festzustellen, kann in einer weiteren Inspektion mit spezialisiertem Prüfgerät und/oder in einer geeigneten Prüfumgebung die Funktionsfähigkeit festgestellt werden. Dies kann hilfreich sein, um Entscheidungen bezüglich der Weiterverwendung des Bootes oder einzelner Teile, Reparatur oder Ersatz treffen zu können.

Sollte es in Zukunft Konzepte wie digitale Produktpässe oder eine Registrierungspflichten geben, könnte die Datenaufnahme während der Erstinspektion verkürzt werden, da Standarddaten in einer Datenbank abgefragt werden könnten. Die Erstinspektion würde beim Vorliegen eines Produktpasses vor allem dazu dienen, die bereits existierenden Daten auf ihre

Plausibilität und Aktualität zu prüfen. Bei Einführung einer Registrierungspflicht, lägen bei der Erstinspektion zumindest Daten zum Bootstyp vor.

4.2.1.3 Wiederverwendung und Reparatur

Allgemein kann mit den Maßnahmen Wiederverwendung des Sportbootes (Reuse), Reparatur (Repair), Refit (Refurbish), Wiederverwendung von Teilen (Remanufacture) und Weiterverwendung (Repurpose) der Lebenszyklus von Sportbooten, deren Systeme und Komponenten verlängert werden und so Abfall vermieden werden (Morseletto, 2020). Die Maßnahmen können sowohl auf das Sportboot als auch auf Systeme oder einzelne Komponenten angewendet werden. Wie bereits in Kapitel 3.1.4.2 erwähnt gibt es einen etablierten Gebraucht- und Reparaturmarkt für Sportboote. An dieser Stelle hier soll vertieft auf die verschiedenen Abfallvermeidungsstrategien für Sportboote eingegangen werden.

Wiederverwendung

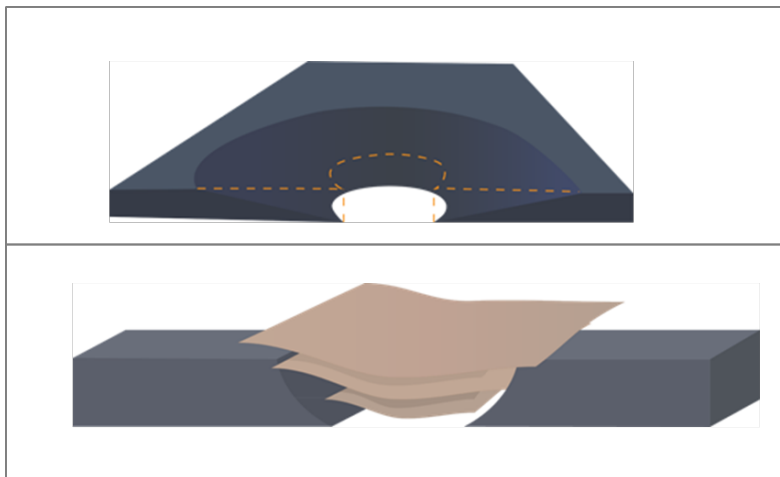
Wiederverwendung meint die Verwendung des Sportbootes gemäß seiner Bestimmung von einem anderen bzw. Folgenutzer*in (Morseletto, 2020). Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Sportboot verkauft und von dem*der neuen Eigentümer*in weiterhin als Sportboot genutzt wird. Für die Wiederverwendung muss das Sportboot funktionsfähig sein. Für gebrauchte Sportboote gibt es etablierte Märkte auf Onlineportalen oder in (Fach-)Zeitschriften auf denen Verkäufer und Käufer zueinander finden können. Bei dem*der Käufer*in erfährt das Sportboot eine zweite bzw. weitere Nutzungsphase, was dessen Lebenszyklus verlängert und vermeidet, dass es frühzeitig als Abfall anfällt. Weitere Details zum Prozess finden sich in 3.1.4.2.

Reparatur

Durch eine Reparatur oder Instandsetzung soll die ursprünglich geforderte Funktion des Sportbootes oder fehlerhafter Systeme und Komponenten wiederhergestellt werden. Hierbei kann unterschieden werden zwischen regenerativer Reparatur, bei der defekte Komponenten wieder in einen funktionsfähigen Zustand versetzt werden, und Austauschreparatur, bei der defekte Komponenten durch funktionsfähige Komponenten (z.B. Ersatzteile) ersetzt werden.

Ein Beispiel für eine regenerative Reparatur bei Sportbooten ist das Laminieren von Rissen oder Löchern im GFK-Rumpf. Kleinere Beschädigungen am GFK-Rumpf können repariert werden, indem sie zunächst ausgeschliffen und anschließend mit Spachtelmasse verfüllt werden (Reporteur, n.d.). Bei größeren Beschädigungen wird die betroffene Stelle zunächst aufgefräst, bis kein Weißbruch mehr zu sehen ist, im Verhältnis 1:10 bis 1:40 angeschäftet, Glasfasermatten mit beispielsweise Epoxidharz auflaminiert und nach dem Aushärten verschliffen und auflackiert, oder bei Polyester mit Gelcoat gestrichen (Schneider, 2021). Auf diese Art und Weise wird das beschädigte bzw. fehlende Laminat frisch aufgebaut (Schneider, 2021) und der Rumpf regenerativ repariert. In Abbildung 27 ist das Auflaminieren dargestellt.

Abbildung 27: Angeschäftete Schadstelle (oben) und Auflaminieren der Glasfasermatten (unten)



Quelle: Abbildung Schneider (2021)

Austauschreparatur findet in der Regel bei Elektronik statt, weil hier Fehlersuche und Reparatur häufig zu teuer sind (Input Yachthändler 2022). Reparaturarbeiten können eigenständig oder von Werften und Fachkräften durchgeführt werden. Reparaturarbeiten an Motoren, Klimaanlage, Heizungen und Generatoren sollten von Fachpersonal ausgeführt werden (Input Yachthändler 2022). Um Arbeiten an Gasanlagen wie Öfen oder Kochplatten durchführen zu können, ist eine Zertifizierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 608 notwendig; auch für Arbeiten an elektrischen Anlagen ist eine Schulung notwendig (Input Yachthändler 2022). Ein breites Angebot an Reparaturanleitung gibt es online⁷⁸ in Text- oder Videoform und in (Fach-)Zeitschriften und in Büchern wie beispielsweise *Die Yacht-Werkstatt* (ISBN: 9783667102805), *Fiberglass Boat Repairs Illustrated* (ISBN: 9780071549929) oder *Bootspflege selbst gemacht* (ISBN: 9783667101754). Durch die Reparatur einzelner Komponenten kann das Sportboot in sehr vielen Fällen wieder funktionsfähig gemacht werden und fällt so nicht als Abfall an. Wenn allerdings länger als ein Jahr lang Wasser in einem Boot steht, ist eine Reparatur kaum noch möglich (Input Yachthändler, 2022).

Re-fit

Beim Re-fit wird das Sportboot in einen neuwertigen Zustand, oftmals auch aktualisierten oder dem Stand der Technik angepassten Zustand versetzt wird. Die Maßnahme geht über das reine Reparieren, also der Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit hinaus. Es kommen Arbeiten hinzu, die das Erscheinungsbild verbessern (z.B. Schönheitsreparaturen) und ursprüngliche Funktionen verbessern. Typische Refit-Arbeiten umfassen das Austauschen von unansehnlich gewordenen Holzdecks, das Austauschen von alten und ineffizienten Küchengeräten, Boilern und anderen Geräten, das Austauschen abgenutzter Ausstattung oder das Auffrischen von Anstrichen. Wie bei Wartungs- und Reparaturarbeiten kann ein Refit eigenständig, von spezialisierten Werften oder Fachbetrieben durchgeführt werden. Ebenfalls ist ein breites Angebot an Anleitung für Renovierungsarbeiten online in Text- oder Videoform, in (Fach-)Zeitschriften und in Büchern (z.B. *Fit fürs Refit* ISBN: 9783931617561) verfügbar. Durch das Refit wird das Sportboot in einen ansehnlichen, neuwertigen und zeitgemäßen Zustand versetzt,

⁷⁸ Beispiel-Dokumente zur Bootspflege und -reparatur: <http://docplayer.org/43671851-Handbook-aussenborder-jet-skis-schlauchboote-stahl-und-aluminiumboote-gfk-boote-gelcoat-holzboote-metalle-teak.html> und <https://nauticare.de/news-service/gfk-boot/gfk-aufbau-boot-lackieren-anleitung-bootsreparatur>

der die weitere Nutzung des Sportbootes bzw. der Komponenten, die nicht erneuert wurden, erlaubt. Damit wird Abfall vermieden.

Refabrikation (Bestimmungsgemäße Wiederverwendung von Komponenten)

Bei der Refabrikation (engl. Remanufacturing) wird nicht das Sportboot als Ganzes gemäß seiner ursprünglichen Bestimmung wiederverwendet, sondern einzelne Komponenten oder Systeme/Baugruppen. Dabei werden Komponenten oder Systeme als Ersatzteile ausgebaut. Dies lohnt sich vor allem für Komponenten oder Systeme, die funktionsfähig und in gutem Zustand sind, für die eine Nachfrage auf dem Gebrauchtmittelmarkt besteht und/oder die leicht und zerstörungsfrei aus dem Sportboot entfernt werden können. Ein gutes Beispiel für solche Komponenten sind Außenbordmotoren, die entweder als Ganzes zum Antrieb anderer Sportboote verwendet werden können oder dessen Komponenten als Ersatzteile zur Austauschreparatur anderer Außenbordmotoren genutzt werden können. Bei der Refabrikation wird zwar der Lebenszyklus des Sportbootes nicht verlängert, allerdings der Lebenszyklus einzelner Komponenten, wodurch vermieden wird, dass diese als Abfall anfallen. Zudem fallen die Sportboote, die mit den Ersatzteilen repariert werden, ebenfalls nicht als Abfall an.

Weiterverwendung

Bei der Weiterverwendung werden Sportboote und deren Systeme oder Komponenten nicht gemäß ihrer ursprünglichen Bestimmung wiederverwendet, sondern zur Erfüllung einer anderen Funktion weiterverwendet. Beispiele hierfür sind die Verwendung von Schiffssegeln als Sonnenschutz im Garten oder auf dem Balkon, die Verwendung von Bootskörpern als Spielplatzelemente oder Blumenkästen (Fründt, 2016) oder die Verwendung von Tauen oder Steuerrädern als Dekorationselemente. Eine Initiative aus Frankreich (bathô, 2022) zeigt, wie Yachten vor der Entsorgung bewahrt können, indem sie in Touristenunterkünfte mit Terrasse, Gartenlauben oder in Spielplätze umgewandelt werden. Es gibt Hinweise darauf, dass Teile von GFK-Bootsrümpfen zum Schutz der Seitenwände von Schifffahrtskanälen verwendet werden (Europäische Kommission, 2017). Es ist unklar, ob diese Praxis auch in Deutschland üblich ist. Durch die Weiterverwendung können einzelne Komponenten in einen neuen Lebenszyklus eintreten, sodass sie länger verwendet werden und nicht als Abfall anfallen.

Re-Design

Durch die Klimakrise und eine wachsende Abhängigkeit von rohstoffreichen, jedoch politisch unsicheren Ländern gewinnt ein nachhaltiges Design und die Recyclingfähigkeit bei der Herstellung von Sportbooten immer stärker an Bedeutung. Ein großer Teil der Sportbootflotte befindet sich aktuell am Ende seiner Lebenszeit, wodurch das Thema Recycling von Sportbooten auch aus nachhaltiger Sicht immer stärker in den Fokus rückt. Aktuell motiviert das Fehlen einfacher und kostengünstiger Möglichkeiten für Bootsbesitzer*innen, ihre Boote ordnungsgemäß zu entsorgen, diese, ihre Boote eher in den Marinas oder an Land zu lagern.

Dass die Bedeutung eines nachhaltigen Designs und einer höheren Recyclingfähigkeit von Sportbooten steigt, zeigt auch die wachsende Anzahl an Studien, die in diesem Zusammenhang durchgeführt werden. Die Mehrzahl dieser Studien befasst sich mit der Substitution von umweltschädlichen Stoffen beim Schiffsbau durch recycelte oder recycelbare Stoffe. Als recycelbare Materialien werden beispielsweise Thermoplasten eingesetzt. Der Vorteil dieser Kunststofffraktion ist die gute Recyclingfähigkeit. Durch erneutes Einschmelzen von Thermoplasten lassen sie sich wieder beliebig verformen. Im Projekt „eKo 6.5 Mini“ wurde diese Eigenschaft genutzt und ein neuartiges Harz aus wiederverwendbaren Kunststoffflaschen entwickelt (Loibner, 2009). Durch die Verwendung von verwebten Flachsfasern mit einem Schaumkern aus recyceltem PET, verbunden durch ein vergleichsweise umweltfreundliches

Epoxidharz konnte das Team ein Bootslaminat entwickeln, welches weniger umweltschädliche Stoffe enthält und gleichzeitig eine gute CO₂-Bilanz besitzt (Rinck, 2019).

In Bezug auf die Recyclingfähigkeit des Bootes wurde beim Projekt „Arkema 3 Mini 6.50“ der Rumpf aus CFK gefertigt und ein recycelbares flüssiges thermoplastisches Harz verwendet. Der Thermoplast soll es ermöglichen, bei späterem Recycling, Teile des Bootes in neue Formen (Blumentöpfe) zu pressen oder das Granulat als Zuschlagsstoff weiterzuverarbeiten (Bolle, 2016).

Es gibt jedoch auch Hindernisse, die das Recycling von recycelbaren Komponenten letztlich verhindern. Da die Stoffe häufig in nur schwer voneinander lösbaren Stoffverbunden verbaut werden und eine stoffliche Trennung der recycelbaren Fraktion nur mit großem Aufwand möglich ist, wird in der Praxis eine Verschrottung der Boote oft bevorzugt. Die Integration eines Design-for-Recycling bei der Planung eines Bootes würde das spätere Recycling durch einfachere Separation der einzelnen Materialein voneinander oder den Verzicht von Verbunden erleichtern und die Recyclingquoten erhöhen. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von leicht demontierbaren Schrauben und Stäben. Zukünftig muss daher neben dem Einsatz von recycelten und recycelbaren Rohstoffen auch der Recyclingprozess an sich bei der Konstruktion eines Bootes bedacht werden.

Neben einem Trend zu redesignten Booten, gibt es in der Schifffahrt einen generellen Trend zu mehr Nachhaltigkeit. So finden sich in der Freizeitschifffahrt sowie im Yachtsport zunehmend nachhaltige Lösungen wie beispielsweise hydrodynamische Rümpfe für einen geringeren Kraftstoffverbrauch, Hybridantriebe, wiederverwertbare Materialien und ökologische Farben für die Innenausstattung, Sonnenkollektoren anstelle von Generatoren, Tanks für Schwarz- und Grauwasser, geringere Auswirkungen des Ankerns und Festmachens etc. (CPMR and MedWaves, 2022).

4.2.2 Leichtflugzeuge

4.2.2.1 Erstinspektion vor Reparatur, Refit oder Demontage

Eine Erstinspektion bei Leichtflugzeugen kann im Zusammenhang mit der behördlich notwendigen Instandhaltung, einer Jahresnachprüfung, bei Erreichen der zulässigen Betriebsstunden des Flugzeugs geschehen, oder bei der Entscheidung des Eigentümers das Flugzeug zu verkaufen. Im Gegensatz zu den Sportbooten sind alle flugtüchtigen Flugzeuge unter ständiger Kontrolle des LBA. Die Eigentümer*innen, sowie Sportflugvereine haben ein Interesse daran die Lebenszeit von Leichtflugzeugen zu verlängern. Geparkte Leichtflugzeuge dienen dabei meist als Ersatzteillager.

Flugzeuge müssen nach einem Mindestinspektionsprogramm (MIP) geprüft und gewartet werden. Bei Flugzeugen und Reisemotorseglern (TMG) liegen die Inspektionsintervalle bei 100 Flugstunden oder einmal pro Jahr mit Toleranzen von plus 10 Stunden, bzw. plus einen Monat. Für Segelflugzeuge und Motorsegler (außer TMG) liegen die Intervalle auf einem Jahr plus einen Monat Toleranz. Das MIP kann individuell entwickelt werden oder nach dem definierten Programm der EASA in AMC1 ML.A.302 (Annex 1, EU-Verordnung zu Luftfahrzeugen).

Durch eine Inspektion kann der Ist-Zustand ermittelt werden und als erste Entscheidung zu dem möglichen Weiterverkauf einzelner Bauteile und anschließender Außerbetriebnahme des Flugzeuges führen. Hierbei ist es notwendig wichtige Daten zur Protokollierung des Flugzeuges, wie in Tabelle 37 gezeigt, aufzunehmen.

Hilfreiche Informationen zur Vervollständigung der Daten sind entnehmbar aus:

- ▶ Flughandbuch
- ▶ Informationshandbücher von herstellenden Unternehmen
- ▶ Wartungshandbücher
- ▶ Ersatzteilkatalog
- ▶ Bordbuch
- ▶ Aktuelle Ausrüstungsliste
- ▶ Triebwerksakte

Jedes Flugzeug ist nach LuftVZO von außen durch das Luftfahrzeugkennzeichen zu identifizieren. Die Kennzeichnung der deutschen Flugzeuge befindet sich am Rumpf, sowie bei Flugzeugen bis 5,7 t Startmasse und Motorseglern auf der unteren Seite des linken Flügels. Die deutsche Flagge ist auf beiden Seiten des Leitwerks anzubringen. Vor den Eintragungszeichen ist zusätzlich der Buchstaben D für Deutschland notwendig. Als erstes Eintragungszeichen wird die spezifische Typzeichenklasse verwendet und danach drei weitere beliebige Eintragungszeichen. Als weitere Identifikationsstelle ist eine in der Nähe des Haupteinstiegs feuerfestes und mit dem Flugzeug verbundenes Schild anzubringen, mit dem Buchstaben D, das Eintragungszeichen sowie Muster und Werknummer des Flugzeugs (LuftVZO).

Das folgende Datenblatt dient zur Erfassung der wichtigsten Daten des Leichtflugzeugs. Des Weiteren kann es als zusätzliche Entscheidungshilfe für den/die Besitzer*in dienen, um in Absprache mit dem Demontage- und Recyclingunternehmen den Restwert, aber auch die notwendigen Entsorgungsaufwände eines Flugzeugs besser zu bestimmen. Das Datenblatt wurde unabhängig von Inspektionsprotokollen eigenständig erstellt und es ersetzt nicht modellspezifische Inspektionsprotokolle zur Einhaltung der Lufttüchtigkeit.

Tabelle 37: Datenblatt zur Erfassung des Leichtflugzeugs

Aspekte	Erläuterung
Datum Inspektion	
Name Inspekteur*in	
Eckdaten Eigentümer*	
Name und Anschrift letzte*r Eigentümer*in	Wenn bestimmte Wertgegenstände oder Fragen während der Wartung oder der Demontage auftauchen, kann der/die Eigentümer*in kontaktiert werden. Auch die Abrechnung erfolgt über den Eigentümer*in.
Standort des Objektes inkl. Ansprechpartner*in	
Versicherungsgeber*in	Relevant, wenn Flugzeugentsorgung aufgrund eines Versicherungsfalls (z.B. Unfall) erfolgt.
Eckdaten des Flugzeuges	
Flugzeugklasse	Das Ankreuzen der Flugzeugklasse ermöglicht eine spätere statistische Erfassung und Auswertung verschiedener Leichtflugzeuge, die als Abfall anfallen <input type="checkbox"/> Segelflugzeug <input type="checkbox"/> Motorsegler Klasse K

Aspekte	Erläuterung
	<input type="checkbox"/> Einmotorisch bis 2 t der Klasse E <input type="checkbox"/> Einmotorisch zwischen 2 und 5,7 t der Klasse F <input type="checkbox"/> Zweimotorisch bis 2 t der Klasse G <input type="checkbox"/> Zweimotorisch zwischen 2 und 5,7 t der Klasse I <input type="checkbox"/> Andere: _____
Herkunftsland	Durch die Herkunft kann angegeben werden, ob es sich um ein inländisches oder ausländisches Flugzeug handelt. Die Zuweisung erfolgt durch die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO).
Eintragungszeichen	In Verbindung mit dem Länderzeichen der ICAO, ergeben die 4 weiteren Eintragungszeichen eine genaue Identifikationsnummer des Flugzeugs und ergibt das Luftfahrzeugkennzeichen.
Herstellendes Unternehmen	Über den*die Hersteller*in des Flugzeugs können Informationen zu Wartung und Reparatur oder Ersatzteile bezogen werden
Flugzeugmuster	Hier wird abgefragt um welches Flugzeugmuster es sich handelt die nach EASA zugelassen sind, oder es um eine Einzelstückzulassung handelt, die die LuftVZO regelt: <input type="checkbox"/> Musterzulassung, Name: <input type="checkbox"/> Einzelzulassung, Name:
Flugzeug Modell	Es wird nach dem Modell einer Flugzeugbaureihe nachgefragt.
Herstellungsjahr	Das Herstellungsjahr ist wichtig für die Information ob Schadstoffe enthalten sein können, die ab gewissen Jahren nicht mehr verbaut werden durften.
Flugzeug Werknummer	Die Werknummer gibt eine eindeutige Identifikation über den Bau des Flugzeugmodell an.
Länge [in m]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Spannweite [in m]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen
Gewicht [in kg]	Notwendig um Transport und sichere Lagerung durchzuführen sowie für eine erste Abschätzung des anfallenden Abfalls
Ausstattung des Flugzeuges	
Art des Motors	Notwendig um Trockenlegung, Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen
Material der Flugzeugstruktur	Das Material des Rumpfs ist entscheidend für die Zerkleinerung des Rumpfes und die anschließende Verwertungsrouten: <input type="checkbox"/> GFK <input type="checkbox"/> CFK <input type="checkbox"/> Aramidfaserverstärkter Kunststoff <input type="checkbox"/> Holz <input type="checkbox"/> Aluminium <input type="checkbox"/> Stahl <input type="checkbox"/> Anderes: _____
Messinstrumente	Mindestausrüstung <input type="checkbox"/> Höhenmesser <input type="checkbox"/> Fahrtmesser <input type="checkbox"/> Amperemeter <input type="checkbox"/> Kompass

Aspekte	Erläuterung
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Überziehwarnung <input type="checkbox"/> Kraftstoffvorratsanzeigen <input type="checkbox"/> Öldruck- und Öltemperaturanzeige <input type="checkbox"/> Drehzahlmesser <input type="checkbox"/> Anschnallgurte <input type="checkbox"/> Schilder mit Betriebsgrenzen <input type="checkbox"/> Kollisionswarnleuchte <input type="checkbox"/> Sprechfunkanlage <input type="checkbox"/> Rücken- und Sitzkissen <input type="checkbox"/> Betriebshandbuch <p>Sonderausrüstung</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Kreiselinstrumente <input type="checkbox"/> Navigationsausrüstung <input type="checkbox"/> Borduhr <input type="checkbox"/> Beleuchtungsanlagen <input type="checkbox"/> Schleppvorrichtung <input type="checkbox"/> Sonnenblenden <input type="checkbox"/> Spiegel <input type="checkbox"/> Andere _____
Angaben über Batterien	<p>Anzahl und Art der Produkte nach BattG</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fahrzeugbatterien <input type="checkbox"/> Industriebatterien <input type="checkbox"/> Gerätebatterien <input type="checkbox"/> Knopfzellen
Angaben über Elektrogeräte	<p>Anzahl und Art der Produkte nach ElektroG</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 1 Wärmeübertrager <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 2 Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 Quadratzentimeter enthalten <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 3 Lampen <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 4 Großgeräte <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 5 Kleingeräte; Kleine Geräte der Informations- und Telekommunikationstechnik <input type="checkbox"/> Sammelgruppe 6 Photovoltaikmodule
Angaben zur Innenausstattung	<p>Anzahl von</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sitzen <input type="checkbox"/> Liegen <input type="checkbox"/> Waschräumen <input type="checkbox"/> Küchen
Zustand des Flugzeugs	
Grund der Anlieferung	<p>Der Grund der Anlieferung kann Aufschluss auf den Zustand des Flugzeugs geben (z.B. Totalschaden):</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erreichen der maximal zulässigen Flugstunden <input type="checkbox"/> Unfall <input type="checkbox"/> Nicht mehr wartungs- oder reparierfähig <input type="checkbox"/> Die Instandhaltungskosten liegen über dem BER (Beyond Economical Repair) von _____% eines Flugzeugpreises <input type="checkbox"/> Widerruf der Zulassung durch LBA mit Grund: _____ <input type="checkbox"/> Sonstiges _____

Aspekte	Erläuterung
Menge und Art der Betriebsmittel	Notwendig um Trockenlegung vorzubereiten und durchzuführen: <input type="checkbox"/> Motoröl <input type="checkbox"/> Getriebeöl <input type="checkbox"/> Kühlflüssigkeiten <input type="checkbox"/> Hydraulisches Öl <input type="checkbox"/> Frischwasser <input type="checkbox"/> Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche) <input type="checkbox"/> Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette) <input type="checkbox"/> AvGas/MoGas <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Frostschutzmittel <input type="checkbox"/> Bremsflüssigkeiten <input type="checkbox"/> Sonstiges _____
Funktionsfähigkeit Elektrik und Bordnetz	Notwendig um Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen
Funktionsfähigkeit Navigations- und Kommunikationssysteme	Notwendig um Reparaturen, Entsorgung oder Verkauf auf Sekundärmärkten vorzubereiten und durchzuführen
Enthaltene Gefahrstoffe	Diese Gefahrstoffe müssen nach der Trockenlegung entfernt und ordnungsgemäß entsorgt werden: <input type="checkbox"/> Batterien <input type="checkbox"/> Gasflaschen <input type="checkbox"/> Feuerlöscher <input type="checkbox"/> Rauchdetektoren <input type="checkbox"/> Tritiumgaslichtquellen <input type="checkbox"/> Sonstiges _____
Welche gefährlichen Stoffe sind an Bord?	Diese Gefahrstoffe müssen zur Eingrenzung der weiteren Verfrachtung und Kontaminierung gesondert vor einer ersten Zerkleinerung entfernt werden <input type="checkbox"/> asbesthaltige Bauteile <input type="checkbox"/> Schwermetalle (Cadmium, Blei, Quecksilber, Chrom) <input type="checkbox"/> PCBs und PCB haltige Stoffe <input type="checkbox"/> Radioaktive Stoffe (Ballastmaterial, Leuchtmittel) <input type="checkbox"/> Isolation aus künstlichen Mineralfasern <input type="checkbox"/> FCKW's & CFKW's <input type="checkbox"/> Sonstiges _____
Optional: Welche Bauteile können einer Wiederverwendung zugeführt werden?	In einigen Flugzeugen werden Bauteile in gutem Zustand zu finden sein. Diese können auf dem Gebrauchtmrkt oder intern weiter-/wiederverwendet werden. Um sicherzustellen, dass diese Teile nicht entsorgt werden, sollten sie hier gelistet werden.
Optional: Defekte und Art der Mängel	Hier soll kurz zusammengefasst werden an welchen Baugruppen Defekte sichtbar sind und eine erste Schätzung des Schadens beschrieben werden.
Entscheidung über Reparatur, Re-fit oder Demontage	Reparatur <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Baugruppen/Komponenten: _____ Demontage von Bauteilen <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Bauteile: _____ Re-Fit: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Welche Bauteile: _____

4.2.2.2 Wiederverwendung und Reparatur

Allgemeine Aspekte Wiederverwendung und Reparatur

Die LuftGerPV in § 1 Abs. 2 bestimmt die Erhaltung der Lufttüchtigkeit folgendermaßen:

- ▶ „Durch die Wahrnehmung der Halterverantwortung einschließlich der fristgerechten Veranlassung der erforderlichen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit“.
- ▶ „Durch die ordnungsgemäße Durchführung und Prüfung der Instandhaltung“.
- ▶ „Durch eine Prüfung der Lufttüchtigkeit oder durch eine Nachprüfung“.

Das heißt, das wie nach DIN 31051 Grundlagen der Instandhaltung mit einer Instandsetzung der Sollzustand, also bei Luftfahrzeugen die Flugtüchtigkeit wieder hergestellt werden muss. Sobald ein Leichtflugzeug seine maximal zulässige Betriebszeit erreicht hat, bedingt dies einer teilweise, oder kompletten Überholung und Zerlegung der technischen Systeme des Flugzeugs. Die generell geregelten Wartungsarbeiten sind geeignete Zeitpunkte für eine Inspektion des Flugzeugs und einer ersten Entscheidung, ob eine weitere Zulassung für das Flugzeug beantragt wird, oder der Aufwand zu groß ist und begonnen wird einzelne Bauteile zu lagern, zu verkaufen oder zu verschrotten.

Sollten einzelne Bauteile, Geräte aus wirtschaftlichen oder lebenszeitbedingten Gründen nicht mehr instandgesetzt werden können, wird eine Verschrottung vorgenommen. Nach (Mensen, 2013) liegt das „BER“ (Beyond Economical Repair) bei zu erwartenden Instandhaltungskosten von ca. 60 % des Gerätereupreises. Dieser Wert ist jedoch von dem*der Besitzer*in zu bestimmen und kann im Einzelfall über oder unter den 60 % liegen (2013 Menschen). SGI Aviation geht davon aus, dass 20 % der entnommenen Bauteile innerhalb der ersten 18 Monate verkauft werden können. Der Wert der Flugzeugteile ist abhängig von dem Angebot und Nachfrage, der Funktionssicherheit, technischen Änderungen und den Richtlinien von Erstausrüstern von anderen Bauteilen (SGI Aviation & IATA, 2018).

Bei einer Verschrottung ist eine Unbrauchbarmachung der jeweiligen Geräte oder Teile notwendig. Das wird zur Sicherung der Lufttüchtigkeit gemacht, damit die aussondierten Teile nicht wieder in den Umlauf in der Luftfahrt eingesetzt werden und eine weitere Nutzung im Ausland unterbunden wird. Das gleiche gilt für Teile zweifelhafter Herkunft. Dies können Teile sein, die nicht nach den allgemeinen Vorschriften hergestellt, instandgehalten oder falsch dokumentiert wurden (Luftfahrt-Bundesamt, 2020). Sollten Teile noch funktionstüchtig aber nicht mehr flugtüchtig sein, können diese für Anwendungen außerhalb der Luftfahrt weiterverwendet werden. Eine lückenlose Protokollierung ist für die Re-Zertifizierung von Flugzeugbauteilen notwendig, so zum Beispiel bei einmal nicht mehr als flugtüchtig eingestuft, sogenannten „life limited parts“, Bauteile mit einer Lebenszeitbegrenzung.

Eine erstellte Checkliste für die Wiederinbetriebnahme und Überprüfung der Flugtauglichkeit ist im Anhang B zu finden.

Die Verordnung (EU) Nr. 748/2012⁷⁹ regelt den Umfang von Standardreparaturen. Flugzeugtypklassen unter 5,7 t benötigen keine reparaturbedingte Genehmigung durch das LBA und können von dem Instandhaltungsbetrieb genehmigungsfrei durchgeführt werden. Luftfahrttechnische Betriebe wurden in CAMO's (Continuing Airworthiness Management

⁷⁹ zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen für die Erteilung von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen für Luftfahrzeuge und zugehörige Produkte, Bau- und Ausrüstungsteile sowie für die Zulassung von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben

Organisation) überführt; CAMO Plus sind Betriebe die zusätzlich Airworthiness Review Certifications ausstellen dürfen und entsprechen ehemaligen Nachprüfscheinen.

Sollten während der Prüfung Mängel an Bauteilen festgestellt werden, gilt es Bauteile, welche für die Flugtüchtigkeit essenziell sind zu reparieren. Diese können entweder repariert und für dasselbe Flugzeug wiedereingesetzt werden oder auf dem Zweitmarkt angeboten werden, sofern das Flugzeug nicht wieder genutzt wird.

Wie bereits erwähnt gibt es einen etablierten Gebraucht- und Reparaturmarkt für Leichtflugzeuge. Details dazu (Links zu Plattformen oder Anleitungen) sind in Kapitel 3.2.4.2 enthalten.

Weiterverwendung

Neben einem kompletten Verkauf des Flugzeugs besteht die Möglichkeit bei Interesse von Flugzeugliebhaber*innen, besonderer Bauformen oder Modellreihen diese an Museen zu verkaufen, bzw. bei nicht mehr flugtüchtigen Zustand, aber einer intakten Rumpfstruktur zu verschenken. Des Weiteren können alte Leichtflugzeuge an Sammler in den verschiedenen Flugsportvereinen gegeben werden, die meist von Vereinen und Verbänden zu bestimmten Demonstrationsflügen flugtüchtig gemacht werden.

Bei den größeren Passagierflugzeugen können die Flugzeuge zu Transportflugzeugen umgebaut, und so die Lebenszeit und der Nutzen verlängert werden. Bei Leichtflugzeugen ist diese Möglichkeit kaum gegeben, außer es handelt sich um Flugplätze, die von den restlichen Transportwegen abgeschnitten sind.

Es gibt Unternehmen, die Bauteile aus Flugzeugen umnutzen zu Tischen, Pulte, Sitze, Skulpturen, Servierwagen usw. Eine weitere Nutzung sind Attrappen für die Filmindustrie oder zu Ausbildungszwecken (motorart, 2022; SkyART, n.d.).

Möglichkeiten Re-Design

Die Designstudie „Infinicraft“ ist eines mit biogenem Kraftstoff betriebenen Leichtflugzeugs, welches nach Cradle to Cradle^{®80} Methodik von der TU Delft untersucht wurde. Ausgewählte Ziele waren eine Recyclingquote von 90 %, mit mitgeliefertem Entsorgungsplan und maximalen CO₂-Emissionen von weniger als 50 kg/h. Nach Risiko-, SWOT-, Leistungs- und Sensitivitätsanalysen ist das Resultat eine Hochdeckerkonfiguration und niedrigem Flugzeugheck, für eine einfache Demontage, mit primärer Aluminiumstruktur aus Al-6022 und einer sekundären Struktur aus thermoplastischen Compositmaterial (Woidasky, 2013)

Das „Aircraft Metal Recycling“ (AiMeRe) Projekt von 2012 kam mit ihren Empfehlungen über Design for Environment zu folgendem Ergebnis (Cordis, 2015):

- ▶ Eine kleinere Anzahl an unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen,
- ▶ Einsatz von weniger oder gar keinen Gefahrstoffen und toxischen Materialien,
- ▶ Ein Recycling sollte durch besseres Design der Flugzeuge ermöglicht werden,
- ▶ Weniger Klebermaterialien und einfach zu lösende Verbindungselemente,
- ▶ Transparente Daten für Recyclingunternehmen über die Materialanteile eines Flugzeugs,
- ▶ Informationssystem für Flugzeugrecycling.

⁸⁰ Ein Cradle-to-Cradle Produkt ist ein Produkt, das Abfälle entweder in dem biologischen oder technischen Kreislauf hält.

4.2.3 Bedarfsgegenstände mit CFK

Für die fünf untersuchten Produkte (Fahrräder, Ski und Snowboards, Golfschläger, Saiteninstrumente, Prothesen und Orthesen) ist jedoch erkennbar, dass bereits ein etablierter Reparaturmarkt (mit Ausnahme von Reparaturen von CFK-Bauteilen) und Gebrauchtmärkte existieren. Funktionsfähige Produkte werden oftmals auf dem Zweitmarkt angeboten.

Die Reparatur und Wiederverwendung haben auch für alle anderen Bedarfsgegenstände aus CFK Priorität gegenüber der Abgabe am Wertstoffhof oder der Entledigung über den Restmüll.

Da es vor allem an Reparaturkonzepten für CFK-Bauteile zu fehlen scheint, gilt es diese weiterzuentwickeln und flächendeckend anzubieten.

4.3 Abfalltechnische Aufbereitung

4.3.1 Sportboote

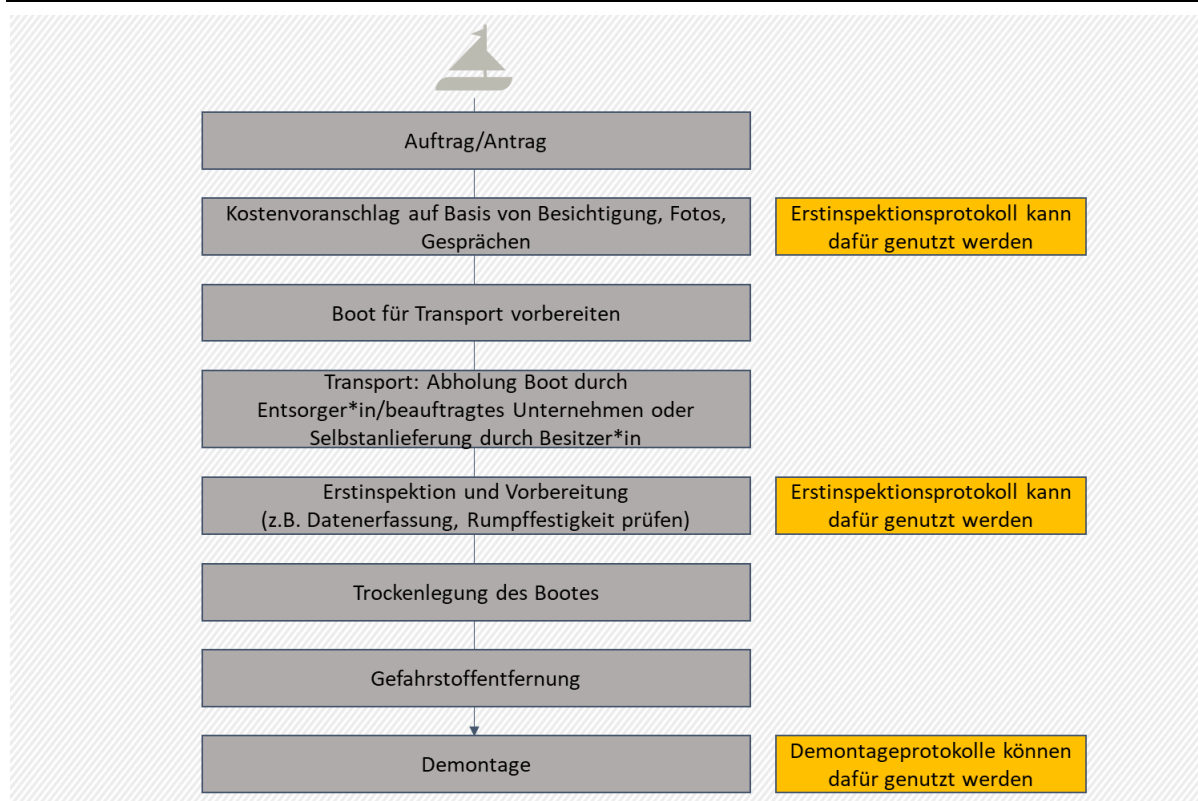
4.3.1.1 Allgemeine Aspekte Demontage

Die Untersuchung des aktuellen Standes der Entsorgung von Sportbooten in Deutschland hat ergeben, dass eine vollständige Demontage von Booten noch unüblich ist. Einzelne Unternehmen in Deutschland führen zwar bereits Demontagen durch, verkaufen werthaltige Bauteile und versuchen Rumpfteile aus GFK hochwertig zu verwerten, allerdings kann dies nicht als allgemeiner Stand der Praxis angesehen werden. Es gibt keine allgemein gültigen Demontagestandards- oder -normen (technischer und rechtlicher Natur) sowie keine festgeschriebenen Anforderungen an Demontagebetriebe in Deutschland. Demzufolge ist auch die Schulbarkeit von Fachkräften für die Demontage von Sportbooten schwierig. Weiter ist die Genehmigungsgrundlage für Demontagebetriebe von Sportbooten oft unklar.

Im Folgenden werden Handlungsanweisungen präsentiert, die die Demontage und damit verbundene vorgelagerte Schritte (z.B. Transport) von Sportbooten erleichtern sollen. Die Demontage von Sportbooten geschieht einerseits zur Gewinnung von Wertstoffen und Ersatzteilen, andererseits aber auch zur Entfernung von Stör- und Schadstoffen. Die Handlungsanweisungen (in Tabellenform) basieren auf Erfahrungen der derzeitigen Demontage in Deutschland und lehnen sich an Konzepte an, die auf europäischer Ebene entwickelt wurden (z.B. Projekt BoatDigest). Da in der Literatur oft nur grobe Abläufe von Sportboot-Demontage beschrieben werden, sollen die neu erarbeiteten Tabellen mehr Details bieten. Da sich je nach Bootskategorie die Demontage unterscheidet, werden für die einzelnen Bootskategorien separate Demontage-Checklisten dargestellt. Die nötigen Vorbereitungsmaßnahmen und die Trockenlegung (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29) verlaufen oft sehr ähnlich, weshalb eine Beschreibung davon in einem allgemeinen Teil der Demontageprotokolle/Checklisten vorangestellt ist. Der allgemeine Teil enthält zudem Auflistungen von relevanten Schutzmaßnahmen.

Es sollte allerdings beachtet werden, dass jedes Boot individuell zu handhaben ist (z.B. anderes Modell, anderes Alter, anderer Zustand), so dass eine Demontage nur zu einem gewissen Maße standardisiert und anhand eines detaillierten Protokolls durchgeführt werden kann. Hinzu kommt, dass wenige Boote ihrem Ursprungsaufbau entsprechen, da sie über die lange Lebenszeit hinweg repariert, umgebaut oder erweitert wurden. Das heißt, auch Serienboote von Werften werden mit der Zeit individualisiert. Weiter gibt es Boote aus dem Eigenbau oder Einzelanfertigungen - teilweise von Werften, die heute nicht mehr existieren (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Abbildung 28: Möglicher Ablauf der Sportbootsentsorgung



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

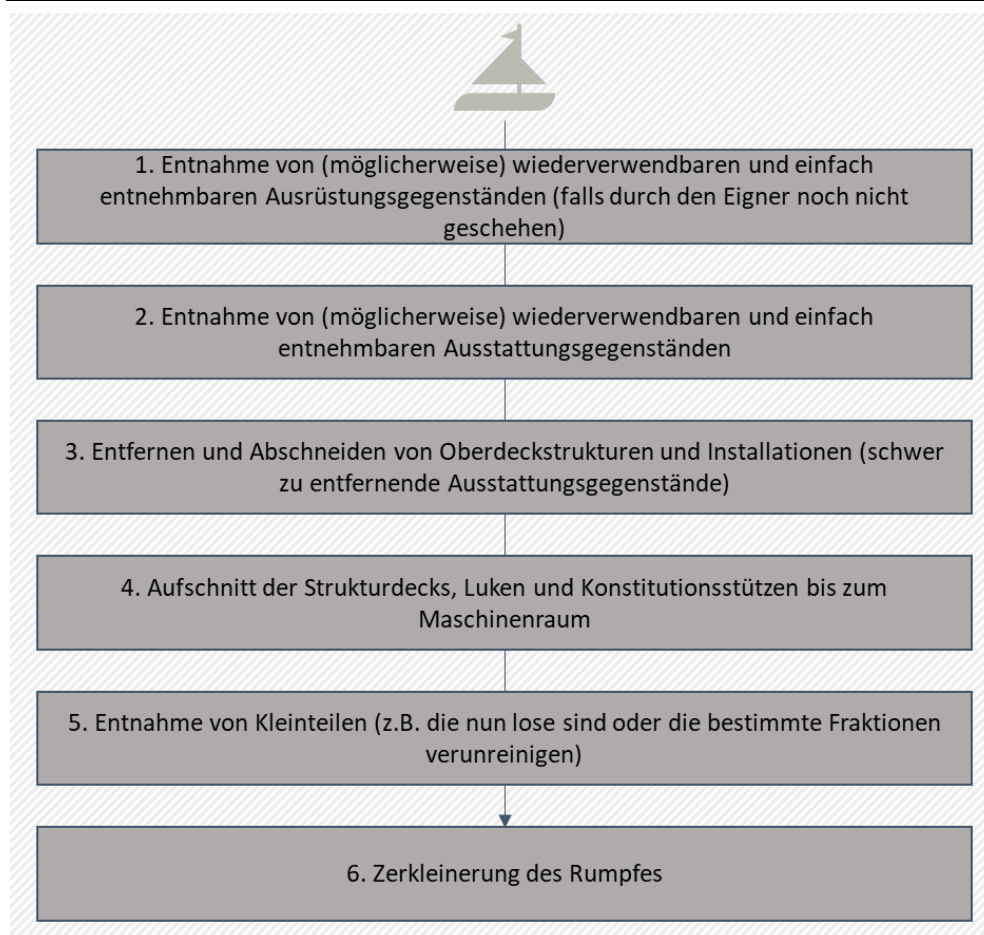
Die Demontage findet weitgehend manuell statt, weil die hohe Bandbreite an unterschiedlichen Bauarten und Ausstattungen bei gleichzeitiger niedriger Stückzahl eine hohe Flexibilität erfordern und eine voll automatisierte Demontage nicht möglich ist. Art und Umfang der Demontage richten sich nach der Maßnahme, die ergriffen werden soll. Bei einem Refit kann es beispielsweise beabsichtigt sein, die veraltete Ausstattung zu entfernen, aber den Schiffskörper und Strukturelemente zu erhalten. Ist es weiter beabsichtigt, die Ausstattung auf dem Sekundärmarkt zu verkaufen und so wieder zu verwenden (Refabrication), sollte sie beim Ausbau keinen Schaden nehmen, während sie bei einem beabsichtigten mechanischen Recycling durchaus beschädigt werden kann. Ob ein Bauteil zerstörungsfrei demontiert werden kann oder nicht, hängt maßgeblich von der beim Bootsbaus gewählten Verbindungstechnik ab und beeinflusst, welche Demontagemaßnahmen für das Bauteil grundsätzlich zur Verfügung stehen. Beispielsweise kann ein an den Rumpf geschraubter Außenbordmotor einfach und zerstörungsfrei demontiert und auf dem Sekundärmarkt verkauft werden, während Oberdeckstrukturen, die mit dem Rumpf verklebt sind nicht zerstörungsfrei abgetrennt werden können.

Teile, die nicht händisch lösbar sind, werden maschinentechnisch demontiert (z.B. abgesägt) und in einem nachgelagerten Schritt (z.B. in betriebseigener Werkstatt) freigelegt. Ein Beispiel für solch einen Vorgang ist das Aussägen einer Klampe, einer Winsch oder Klemme. Diese Ausstattungskomponenten sind üblicherweise mit dem Bootsdeck oder Rumpf verschraubt und teilweise auch von innen gekontert. Um diese wirtschaftlich freizulegen, müssen diese aus der Decks- oder Rumpfstruktur ausgesägt werden. Dabei ist zu beachten, dass bei solchen Arbeiten gesundheitsgefährdende Fasern freigesetzt werden können. Schritt 5 der Abbildung 29 wird damit nicht zwingend am Boot durchgeführt, sondern gegebenenfalls in einer Werkstatt.

Auch werthaltige Materialien (wie Metalle), die im Rumpf oder anderen Strukturen verbaut sind, können erst freigelegt werden, sobald die jeweilige Struktur geöffnet oder zerkleinert wird. In GFK-Rümpfen befinden sich beispielsweise metallische Lasteinleitungselemente (z.B. Püttingeisen) und Versteifungen, die erst mit der Zerkleinerung des Rumpfes zugänglich werden (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Erstrebenswert ist es die werthaltigen Teile anschließend automatisiert abzutrennen. Wie in Abbildung 29 dargestellt enthalten die nachfolgenden Demontage-Protokolle zuerst handtechnische Schritte (z.B. lose Teile entfernen) und anschließend maschinentechnische (z.B. sägen).

Laut Stakeholdern sollte eine Bootsdemontage von Bootsbauer*innen durchgeführt werden, da diese genügend Erfahrung mitbringen und wissen, wie eine Demontage bei einzelnen Booten durchzuführen ist (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). In jedem Fall sind Schulungen von Personal im Rahmen von verstärkten Demontageaktivitäten wichtig und von Demontage- und Recyclingunternehmen einzuplanen. Im Rahmen des europäischen Projekts „BoatDigest“ wurden bereits teilweise Trainingsmaterialien erstellt, die allerdings nicht mehr vollständig zugänglich sind (Boat DIGEST, 2015).

Abbildung 29: Aufbau der Demontageprotokolle (nach Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme)



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

Demontageziele

Da im Rahmen dieses Vorhabens die hochwertige Verwertung von FVW gestärkt werden soll, ist es erklärtes Ziel die Demontage auf die Rückgewinnung von GFK/CFK auszurichten. Im Fall von Sportbooten bedeutet dies, dass das jeweilige Boot von Ausrüstungsgegenständen befreit und

alle Aufbauten demontiert werden müssen, damit der Rumpf freiliegt. Da die Verbindung zwischen Rumpf und Deck nicht zerstörungsfrei zu trennen ist, kommen verschiedene Zerkleinerungsmethoden zur Anwendung (siehe Kapitel 4.3.3.3).

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist es außerdem Ziel, bei der Demontage Fraktionen zu generieren, die einer hochwertigen Verwertung (z.B. Metallrecycling) zugeführt werden können. Um eine Demontage attraktiv und wirtschaftlich tragfähig zu machen, ist es des Weiteren erstrebenswert Fraktionen zu generieren, die einen positiven Marktwert haben. Zerlegungsgrad und Demontagetiefe richten sich einerseits nach den rechtlichen Vorgaben, aber auch nach den Möglichkeiten der Vermarktung von Bauteilen und Werkstoffen. Während bei Altfahrzeugen überwiegend eine selektive Demontage stattfindet (d.h. die nicht direkt verwertbaren Bauteile verbleiben in der Restkarosse)(Martens & Goldmann, 2016), ist es das Ziel, die Sportboote so weit wie möglich zu demontieren.

Als ertragsbringende Materialien in einem Sportboot können folgende Beispiele angesehen werden (kein Anspruch auf Vollständigkeit):

- ▶ Besonders hohe Erträge bringen Kielsektionen aus Blei. Stahlkiele bringen auch Ertrag, aber weniger als Blei;
- ▶ Aluminiummast;
- ▶ Stehende Takelage, Aluminium oder rostfreier Stahl (Edelstahl, V2 und V4);
- ▶ Hauptblock des Motors, Getriebe, Welle und Propeller.

Die Bauteillisten im Anhang B geben Aufschluss über die in Booten enthaltenen Bauteile und deren jeweiligen Hauptmaterialien. So können Zuordnungen zu sinnvollen Fraktionen vorgenommen werden (z.B. diverse Kabel können der Abfallfraktion Kabel zugeordnet werden). Die Fraktionen ergeben sich teilweise über die Materialart (z.B. Aluminium) oder die Bauteilart (z.B. EAG).

Um eine hochwertige Verwertung nach § 6, 7 und 8 des KrWG zu gewährleisten ist auch die Demontage folgender Teile/Materialien vorzunehmen:

- ▶ Entfernung von kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltigen Metallbauteilen,
- ▶ Entfernung von großen Kunststoffbauteilen,
- ▶ Entfernung von Glas.

Weitere Materialien sind aufgrund spezifischer Gesetzgebung zu entfernen (z.B. AltholzV, ElektroG, BattG).

Wiederverwendung von Bauteilen

Die aus dem Sportboot gewonnenen Bauteile und Stoffe sind vorrangig einer Wiederverwendung oder Verwertung zuzuführen. Wie in Kapitel 4.2.1.3 erläutert, können auch Teile eines Boote der Wiederverwendung zugeführt werden, wenn es sich nicht um eine komplette Demontage, sondern um eine Reparatur oder ähnliches handelt. Die nachfolgenden Aspekte gelten demnach generell für Bauteile, die aus einem Boot ausgebaut werden. Zum Zweck der Wiederverwendung sind die ausgebauten Bauteile zu sortieren und gegebenenfalls zu prüfen und zu reinigen. Die Entscheidung, welche Teile ausgebaut werden sollen, kann nicht pauschal getroffen werden. Der Betrieb muss jedoch in der Lage sein, diejenigen Teile

zerstörungsfrei auszubauen, die als ganze Bauteile oder Baugruppen im Sinne einer hochwertigen Verwertung weiterverwendet werden sollen.

Laut einem Stakeholder ist zu aufwendig bereits bei der Erstinspektion alle Bauteile zu identifizieren, die für eine Wiederverwendung in Frage kommen. Stattdessen sollen fachkundige Personen (z.B. Bootsbauer*innen) während der Demontage erkennen, welche Bauteile noch wiederverwendet werden können. Diese Teile können daraufhin in separaten Behältern gelagert werden, um anschließend in einer (betriebseigenen) Werkstatt untersucht zu werden. In der Werkstatt können auch weitere Schritte wie Reinigung, Polierung und Reparatur stattfinden, die einen Weiterverkauf ermöglichen. Eine Herausforderung eines professionellen Weiterverkaufs von Bauteilen, die während der Demontage gewonnen wurden, ist es, die Bauteile im Internet zum Verkauf zu stellen (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Auf Online-Plattformen wird meistens eine vollständige (individuelle) Produktbeschreibung erwartet, die je nach Bauteil angepasst werden. Da jedes Teil sehr individuell ist, heißt das in der Praxis, dass ein Demontagebetrieb jedes wiederverwendbare Bauteil einzeln beschreiben und auf geeignete Plattformen hochladen muss. Zusätzlich sollten Fotos mit eingestellt werden. Es kann demnach sinnvoll sein, mehrere Bauteile derselben Art anzusammeln und zu lagern und zu gegebener Zeit die Bauteile als einen gebündelten Eintrag in den Gebrauchtmart zu geben. Obwohl es theoretisch Vertriebssysteme für Gebrauchtwaren gibt scheint der Weiterverkauf aufwendig und ineffizient. In dieser Hinsicht ist der Wert von gebrauchten nautischen Teilen sehr gering und ihr Verkauf schwierig (Monsó, 2012b).

Bauteile, die aus Sportbooten abgenommen werden können, können beispielsweise diese sein:

- ▶ Wunsch
- ▶ Schäkel
- ▶ Umlenkrolle
- ▶ Curryklemme
- ▶ Ruderanlagen
- ▶ Antriebsschrauben
- ▶ Motoren
- ▶ Getriebe
- ▶ Elektrogeräte
- ▶ Etc.

Wenn diese Teile nicht wiederverwendbar sind, werden sie in den entsprechenden Entsorgungsweg gegeben. Bei einer Abschätzung der möglichen Erlöse aus dem Verkauf von Komponenten aus einem Sportboot, kann daher sicherheitshalber mit den Rohstoffpreisen und nicht mit den Preisen des Gebrauchtmartts gerechnet werden (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Schutzmaßnahmen während Demontage

Wie bei der Trockenlegung müssen auch während den Demontearbeiten Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt eingehalten werden. Handlungsanweisungen aus der Altfahrzeugdemontage können für Schutzmaßnahmen während der Sportbootdemontage als Ausgangspunkt dienen.

Schutzmaßnahmen Demontage (angelehnt an Altfahrzeug-Demontage (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014))

Die Demontage darf nur an geeigneten Arbeitsplätzen erfolgen, z.B. auf Böcken.

Zur Demontage ist das in der Betriebsanweisung für die jeweilige Tätigkeit festgelegte Werkzeug zu verwenden. Demontierte Teile sind vom Arbeitsplatz zu entfernen und an den dafür vorgesehenen Lagerplätzen aufzubewahren.

Wird die Anwendung spanender Arbeitsverfahren (z. B. Flexen) oder der Einsatz von Schweißgeräten erforderlich, sind auf Grund der möglicherweise noch vorhandenen Reste an Betriebsflüssigkeiten besondere Sicherheitsmaßnahmen zu beachten. Berufsgenossenschaftliche Vorschriften sind zu berücksichtigen.

Die Verwendung von Schutzhandschuhen, die in erster Linie dem mechanischen Schutz vor Verletzungen dienen (Lederhandschuhe mit CE-Zeichen), ist erforderlich. Ggf. sind bei einzelnen Tätigkeiten Schutzhandschuhe zu tragen, die für Tätigkeiten mit aromatenhaltigen Kraftstoffen bei gleichzeitigem Schutz gegen mechanische Gefährdungen empfohlen werden. Beschädigte Schutzhandschuhe dürfen nicht getragen werden.

Für die Demontage sind geeignete und zugelassene Werkzeuge und Geräte und Fachpersonal einzusetzen (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002).

Wegen möglicher Reste an Kraftstoffen und Betriebsflüssigkeiten muss der Boden des Arbeitsplatzes für diese undurchlässig sein. Wenn noch Restflüssigkeiten aus dem Fahrzeug auslaufen, so sind diese in verschließbaren Behältern aufzufangen und spätestens zum Schichtende aus dem Arbeitsbereich zu entfernen.

Sollten Flüssigkeiten auf den Boden abtropfen, so sind sie sofort nach dem Abtropfen mit Bindemittel aufzunehmen. Ausgelaufene Restflüssigkeiten stellen neben der Gesundheitsgefahr auch eine Rutschgefahr dar.

Bindemittel, mit denen Kraftstoffe oder Betriebsflüssigkeiten aufgenommen wurden, sind sofort nach Anwendung in zugelassene Sammelbehälter für Gefahrgut zu füllen, die geschlossen zu halten sind. Zum Schichtende sind diese Bindemittel aus den Arbeitsräumen zu entfernen

Quelle: (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014; tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002)

4.3.1.2 Vorbereitende Arbeiten und Transport

Transport

Basierend auf der Annahme, dass die Demontage von Sportbooten zukünftig in spezialisierten (und genehmigten) Entsorgungsanlagen stattfindet, ist immer auch ein Transport mit der Demontage/Entsorgung verbunden. Bootsbesitzer*innen oder Marinas können ein Boot selbstständig an die Anlage anliefern oder es abholen lassen. Zu diesem Zweck sollte vorab geklärt werden, welche Transportdistanz zu erwarten ist und welche Rolle der Entsorger dabei spielen soll.

Der Transport eines Bootes kann sehr aufwendig und teuer sein und sollte daher gut geplant sein. Wie in Kapitel 3.1.5 erläutert ist die Logistik der Bootsentsorgung aktuell eine der größten Herausforderungen. Normalerweise werden für den Transport von Altbooten Lkw (z.B. Tieflader) oder Trailer genutzt. Sofern möglich werden Trailer genutzt, da diese günstiger sind. Wenn der Zustand des Bootes zu instabil ist, ist ein Transport im Container notwendig. Um das

Boot auf den Lkw zu heben, werden Telekräne verwendet. Dabei muss das verwertende Unternehmen dafür sorgen, dass das Boot mit Seilen und Gurten sicher befestigt wird. Außerdem sollten vorher lose Teile entfernt werden. Während des Hebevorgangs sollten sich keine Personen in der Nähe oder unter dem Boot aufhalten. Nachdem das Boot auf den Lkw gehoben wurde, muss es für den Transport befestigt werden (Boat DIGEST, 2015). Laut einem Recyclingunternehmen für Boote sind Boote mit einer Bauhöhe über 3 m, einer Breite über 2,4 m und einer Länge über 13 m für einen normalen Transport besonders aufwendig, da sie die Maße eines konventionellen Tiefladers überschreiten (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Wie in Kapitel 3.1.4 erwähnt, werden angenommene Boote oft (vom Bundesland abhängig) als gefährlich eingestuft. Da es keine explizite Abfallschlüsselnummer für Altboote gibt, wird meist der Abfallschlüssel 16 01 04* (Altfahrzeuge, enthält gefährliche Bestandteile) bei der Annahme verwendet. Enthält das Sportboot offensichtlich keine gefährlichen Bestandteile kann es auch unter dem Abfallschlüssel 16 01 06 (Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten) der AVV eingestuft werden (Bundesregierung, 2020).

Aus praktischer Sicht macht es Sinn, für den sicheren Transport gewisse Teile zu demontieren und einen Großteil der Trockenlegung bereits vor Ort durchzuführen. So darf beispielsweise nicht unbedingt ein befüllter Tank transportiert werden. Allerdings ist dies aus genehmigungsrechtlicher Perspektive nicht immer möglich, da eine Trockenlegung ein Umgang mit gefährlichen Stoffen ist. Dafür ist eine umweltrechtliche Erlaubnis/genehmigte Anlage erforderlich und kann nicht in jeder beliebigen Marina durchgeführt werden. In Einzelfällen können Vereinbarungen mit Behörden getroffen werden, um auch schon vor dem Transport zur Entsorgungsanlage gefährliche Stoffe entfernen zu dürfen. Laut eines Stakeholders ist dies auch sinnvoll, da die eigentlichen Bauteile eines Bootes in ihrer Ursprungsform selten gefährlich sind. Die gefährlichen Bestandteile (z.B. Dieseltank, Lackdosen an Bord etc.) hingegen sind einfach zu entnehmen oder absaugbar und können das Altboot so zu einem nicht gefährlichen Abfall machen (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Auch der Mast sollte aus Sicherheitsgründen vor einem Transport demontiert werden. Ein Mast in gutem Zustand kann mit einem Kran oder einer Jütgabel abgelegt werden. Sollte sich der Mast in einem schlechten Zustand befinden, erscheint es zweckmäßig den Mast mittels Schrottschere/Greifzange zu zerlegen, sofern die anderen Teile oder Oberflächen beim Fall des Masts beschädigt werden dürfen (Sailing Suria, 2019).

Vorbereitung

Sobald ein Sportboot bei einer Recyclinganlage ankommt, sollten bestimmte Daten zu dem Boot erfasst werden. Mit Hinblick auf die aktuell fehlenden Statistiken zu als Abfall anfallenden Booten, können Erfassungsdaten von Recyclern für Daten-Erhebungen genutzt werden. Details zu zukünftigen Konzepten zur Registrierung, Datenerfassung und Abmeldung von Booten werden in den Kapiteln 4.3.6 und 5 diskutiert.

Zusätzlich sollte sichergestellt werden, dass Vorbereitungen getroffen werden, durch die das Boot sicher demontiert werden kann und Umwelt- und Arbeitsschutzvorgaben eingehalten werden können. Die folgenden Punkte stellen wichtige Vorbereitungsmaßnahmen dar:

- ▶ Jedes Boot sollte vor einem Transport und einer Demontage inspiziert werden. Wie oben beschrieben ist solch eine Inspektion meistens bereits zu Beginn einer Auftragsanfrage für den Kostenvoranschlag nötig. In dem Zuge oder einer späteren ausführlichen Inspektion sollten Materialien und Bauteile tiefgehend untersucht werden. Gefährliche Substanzen sollten dokumentiert und wenn möglich markiert werden. Für die Erstinspektion kann die Checkliste in Kapitel 4.2.1.2 genutzt werden.

- ▶ Vor der Inspektion muss geprüft werden, ob das Boot begehbar ist (Rumpffestigkeit).
- ▶ Der Arbeitsbereich, an dem die Bootsdemontage stattfindet, muss ausreichend versiegelt und vor dem Eindringen von Flüssigkeiten geschützt sein. Ein spanisches Dekret zu Sportbooten schreibt vor, dass „[der] Entsorgungsbereich abgedeckt, gepflastert und mit einem Gefälle versehen sein [muss], um Flüssigkeiten (...) aufzusaugen. Der Reinigungsprozess muss trocken sein, es müssen absorbierende Materialien verwendet werden und die Behälter müssen nach Anzahl und Art geeignet sein, um jeden Abfall getrennt zu lagern, damit sie später an die richtigen Verantwortlichen für Spezialabfälle weitergeleitet werden können“ (Monsó, 2012b). Außerdem ist insbesondere beim Umgang mit CFK/GFK eine Einhausung der gesamten Anlage sinnvoll, da es bei der Zerkleinerung von Materialien zu gesundheitsgefährdenden Stäuben kommen kann.
- ▶ Angelehnt an Handlungsanleitungen für Altfahrzeuge (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002) Flächen von Demontagebetrieben in folgenden Abschnitte gegliedert werden:
 - Anlieferung (Annahme, Erfassung und Bewertung),
 - Eingangslager für nicht trockengelegte Boote,
 - Entnahmestelle für Betriebsflüssigkeiten (Trockenlegung),
 - Zwischenlager,
 - Demontage,
 - Lager für gebrauchsfähige Teile, unterteilt in trockene und flüssigkeitstragende Bauteile,
 - Lager für sonstige Wertstoffe,
 - Lager für Rümpfe,
 - Lager für Abfälle zur Verwertung,
 - Lager für Betriebsflüssigkeiten,
 - Verkehrsflächen,
 - Flächen für Betriebsgebäude.
- ▶ Da die meisten Demontearbeiten entweder auf Deck oder im Inneren des Bootes stattfinden, müssen Boote sicher und stabil gelagert werden. Laut Stakeholdern gibt es entsprechende Technik und Konstruktionen. Es können beispielsweise die Böcke verwendet werden, auf denen das Boot über den Winter gelagert wurde. Diese Böcke sind speziell für das jeweilige Boot ausgelegt und sehr stabil. Aus Kostengründen ist die Weiternutzung von Böcken sinnvoll, da jeder Bock vor seiner ersten Nutzung von einem*einer Statiker*in geprüft wurde. Da die Böcke sehr speziell sind, gibt dafür jedoch keine einheitlichen Standards oder Literatur. Auch für Hebebühnen gibt es keine standardisierten Systeme.
- ▶ Der Arbeitsschutz muss sichergestellt werden. Dabei sollten Punkte wie Hitze beim Schweißen, Kontakt mit gefährlichen Materialien, mögliche Sägeunfälle etc. vorab bedacht werden. Vor Arbeitsbeginn muss der Strom an Bord ausgeschaltet werden.
- ▶ Vor dem Arbeiten am Boot muss der Demontageplan entwickelt werden. Als Anhaltspunkt dafür können die weiter unten dargestellten Demontageprotokolle dienen.

- ▶ Je nach Größe und Art des Bootes, müssen die passenden Geräte und Werkzeuge bereitgestellt werden (z.B. Brennschneider für Metallboote, hydraulische Scheren, Sägeblätter, Seilsägen, Zerkleinerungsgreifer, Bagger etc.).
- ▶ Wenn nötig sollte anschließend das Boot grob gesäubert werden.

Allgemeine Schutzmaßnahmen

Für die Behandlung von Altsportbooten müssen Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt eingehalten werden. Handlungsanweisungen aus der Altfahrzeug-Trockenlegung dienen als Referenz. Da in beiden Fällen Beschäftigte Tätigkeiten mit Gefahrstoffen nachgehen und bei den Tätigkeiten Gefahrstoffe freigesetzt werden, ist der*die Arbeitgeber*in nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) verpflichtet, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz Maßnahmen zur Sicherheit und zum Schutz der Gesundheit der Beschäftigten zu treffen (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2017; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014). Laut der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2014) ist bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen die Rangfolge Substitution (Ersatz durch weniger gefährliche Stoffe oder Verfahren), technische Minimierung der Expositionen, organisatorische Maßnahmen und personenbezogene Maßnahmen zu beachten. Für Gefahrstoffe mit Arbeitsplatzgrenzwert ist deren Einhaltung durch Arbeitsplatzmessungen zu ermitteln (Technische Regeln für Gefahrstoffe - TRGS 402⁸¹ (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2017)), sofern keine gleichwertigen Beurteilungsverfahren beschrieben sind (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014).

4.3.1.3 Trockenlegung

Vor jeder Bootsdemontage muss eine Trockenlegung stattfinden, um gefährliche Stoffe und Flüssigkeiten zu entfernen. Wie oben beschrieben, macht eine Trockenlegung vor dem Transport Sinn, sollte aber gleichzeitig auch so stattfinden, dass alle arbeitsschutz- und umweltschutzrechtlichen Anforderungen eingehalten werden können. Da es keine festgeschriebenen Vorgaben oder Regelwerke zur Trockenlegung von Sportbooten gibt, müssen mindestens die allgemeingültigen Regeln des KrWG eingehalten werden. Das heißt, alle Flüssigkeiten müssen nach Ihrer Entnahme ordnungsgemäß entsorgt und einem entsprechenden Behandler übergeben werden. Für eine praktische Umsetzung der Trockenlegung von Sportbooten kann auf Beispiele im In- und Ausland sowie auf existierende Erfahrungen und Vorgaben zur Trockenlegung von Altfahrzeugen zurückgegriffen werden.

Ausführliche Handlungsanweisungen zur Trockenlegung von Altfahrzeugen finden sich unter anderem in den nachfolgenden Publikationen:

- ▶ Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis. Kraftfahrzeugrecycling - Tätigkeiten mit Gefahrstoffen beim Recycling von Kraftfahrzeugen (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014).
- ▶ Beschreibung des Standes der Technik bei der Vorbehandlung, insbesondere der Trockenlegung von Altautos gemäß AltautoV⁸² (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002).

Wie bei der Altfahrzeugdemontage sollte es Ziel der Boots-Trockenlegung sein, alle Betriebsmittel und Betriebsflüssigkeiten vollständig aus einem Sportboot zu entnehmen. Dabei soll ein möglichst hoher Trockenlegungsgrad erzielt werden, d.h. möglichst wenig

⁸¹ Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition

⁸² Die heutige gültige Verordnung ist die AltfahrzeugV. Beim Erscheinungsdatum der Quelle (2002) wurde noch die AltautoV verwendet.

Restflüssigkeit verbleiben (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002). Typische Vorgänge zum Entfernen von Flüssigkeiten sind Ablassen, Absaugen oder Ausblasen. Die bestmögliche Trockenlegung des Altfahrzeugs wird erreicht, wenn das flüssigkeitsführende Aggregat vollständig entfernt wird (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002). Da Altfahrzeuge einschließlich Behandlung im Mittel nicht mehr als drei Monate auf dem Platz lagern sollten (tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, 2002), erscheint das auch ein sinnvoller maximaler Zeitraum für die Lagerung von Altbooten.

Laut einem Stakeholder wird die Trockenlegung von Altsportbooten meist von Fachfirmen vor Ort durchgeführt, da diese Tätigkeit weitere Zertifikate erfordert, die ein*e Bootsrecycler*in nicht zwingend vorweisen kann. Zur Durchführung einer Trockenlegung muss mindestens eine Zertifizierung zum Entsorgungsfachbetrieb vorliegen. Die beauftragte Fachfirma saugt die Flüssigkeiten vor Ort ab und übernimmt deren Entsorgung. Anschließend müssen die Tanks entgast und gereinigt werden. Oft gibt es dazu eine automatische Entlüftung an den Tanks.

Bei Booten, die sehr lange gelagert wurde, ist eine Trockenlegung oft nicht nötig, da bereits alle Flüssigkeiten verdunstet sind. Es sollte trotzdem geprüft werden, ob eine Entgasung und Reinigung der Tanks notwendig sind.

Zu entfernende Flüssigkeiten an Bord von Sportbooten lassen sich in vier Kategorien einteilen. Jede der genannten Flüssigkeiten muss einzeln aus dem Boot entfernt, getrennt gelagert, ausreichend gekennzeichnet und entsprechend entsorgt werden (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014). Die Weitergabe dieses Abfalls darf nur erfolgen, wenn der annehmende Betrieb eine entsprechende Zulassung nachweist. Da während des Betriebs sowie Wartungen von Sportbooten die meisten der unten gelisteten Flüssigkeiten anfallen, sind Entsorgungswege bereits etabliert. Handlungsanweisungen aus dem Altfahrzeugbereich geben Aufschluss über die Beseitigung/Verwertung der entfernten Flüssigkeitskategorien:

- ▶ **Treibstoffe:** Motorbetriebene Boote enthalten Treibstofftanks, in denen sich Diesel oder Benzin befinden. Bei getrennter und sauberer Entnahme können Altkraftstoffe dem Eigenbedarf eines Demontagebetriebs dienen. Bei Verunreinigungen sind sie nicht verkäuflich und müssen höchstwahrscheinlich energetisch verwertet werden (Martens & Goldmann, 2016).
- ▶ **Öle:** Motoröl, Getriebeöl und hydraulisches Öl sind übliche Öle an Bord. Motoröl wird separat abgesaugt und gemäß AltöIV verwertet (ReBoat, 2022). Es besteht ein differenziertes Vermischungsverbot/Getrennthaltungsgebot von Altölen (§ 4 Abs. 1 und Abs. 3 AltöIV) entsprechend von vier in Anhang I zur AltöIV eingeführten Sammelkategorien. Grundsätzlich eignet sich Altöl sowohl zur Vorbereitung zur Wiederverwendung und zum Recycling als auch zur Aufbereitung als Brennstoff bzw. direkt als Einsatzmittel in Verbrennungs- und Reduktionsprozessen (z.B. Zementindustrie, Kalkindustrie, Stahlindustrie, sonstige Verbrennungsanlagen) (Zotz et al., 2016). Altöle werden im Normalfall stofflich in einem Recyclingprozess zu Basisölen aufbereitet, welches die Grundkomponente zur Herstellung von Schmierstoffen darstellt. Enthalten Altöle einen zu hohen Gehalt an PCB oder anderen schädlichen Stoffen findet eine Aufbereitung nur unter der Voraussetzung statt, dass die Schadstoffe beim Aufbereitungsprozess sicher zerstört werden. Andernfalls werden sie als Ersatz für normale Brennstoffe in Feuerungsanlagen energetisch verwertet. Hydraulikflüssigkeiten werden in der Regel auf Mineralölbasis hergestellt und deshalb in der Abfallphase auf gleiche Weise wie Altöle behandelt (Zotz et al., 2019).

- ▶ **Öl-/Wasser Gemisch:** Eine typische Schiff- bzw. Bootsflüssigkeit ist das Bilgenwasser bzw. Bilgenöl. Laut dem Informationsportal Abfallbewertung (IPA) ist Bilgenöl oder Bilgenwasser „ein Öl-Wasser-Gemisch, bestehend aus Motor- und Schmieröl, Treibstoffen, Reinigungsmitteln, Reinigungs- und Kondenswasser und, z. B. aufgrund von unvermeidbaren Undichtigkeiten an der Antriebswelle oder Leckagen, eintretendem Wasser. Es sammelt sich im tiefsten Teil von Motorschiffen, in der sogenannten Bilge“ (Informations-Portal-Abfallbewertung, 2011). Die Zusammensetzung des Bilgenöls bzw. -wassers hängt jeweils von schiffs- und betriebsbedingten Faktoren ab. Im Allgemeinen beträgt der Öl-Anteil nur wenige Prozent. Die früher übliche direkte Entsorgung des Bilgenöls/-wassers im Gewässer ist nicht zulässig. Je nachdem, ob das Bilgenwasser/-öl in einem Boot der Binnenschifffahrt oder der maritimen Schifffahrt anfällt, enthält es eine andere Abfallschlüsselnummer (13 04 01* bzw. 13 04 03*). Das hängt unter anderem damit zusammen, dass bei Seeschiffen das Bilgenwasser salzhaltig ist.
- ▶ **Wasser:** Frischwasser, Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche) und Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette) können sich an Bord befinden. Das verunreinigte Wasser sollte abgepumpt und in die Kanalisation eingeleitet werden.
- ▶ Es können zudem **Kühlflüssigkeiten (Wasser/Ethylenglykol-Mischungen), Bremsflüssigkeiten (hochsiedendes Glykol) und Frostschutzmittel** anfallen (z.B. bei manchen Wassermotorrädern). Diese sind der Aufbereitung zuzuführen. Kühlflüssigkeiten sind nur bei Booten mit Zweikreiskühlung zu erwarten (Input Yachthändler, 2022).

Schutzmaßnahmen während Trockenlegung

Für die Trockenlegung müssen Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt eingehalten werden. Handlungsanweisungen aus der Altfahrzeugtrockenlegung können für Schutzmaßnahmen während der Trockenlegung von Altsportbooten als Grundlage dienen.

Schutzmaßnahmen Trockenlegung (übernommen aus Anleitung zur Altfahrzeugtrockenlegung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2014) und wo notwendig angepasst an Altboote)

Zur Gewährleistung einer einwandfreien und vorschriftsmäßigen Trockenlegung hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass die Geräte und Vorrichtungen zur Trockenlegung den vom Hersteller vorgegebenen Installations- und Betriebsbedingungen entsprechen.

Der Transport der Boote in den Arbeitsbereich wird nur mit geeigneten Transportmitteln durchgeführt. Bei Verwendung dieser Transportmittel in geschlossenen Arbeitsbereichen sollten diese über einen Partikelfilter verfügen.

Es werden geeignete Schutzhandschuhe verwendet, um unmittelbaren Hautkontakt mit Kraftstoff und Betriebsflüssigkeiten so weit als möglich zu vermeiden. Beschädigte Schutzhandschuhe dürfen nicht verwendet werden.

Bei Arbeiten unter dem Boot sollten Augen- bzw. Gesichtsschutz getragen werden.

Die Öffnung der Systeme, die Kraftstoff und Betriebsflüssigkeiten enthalten, erfolgt nur mit geeignetem Werkzeug. Dazu sind insbesondere Quetschzangen mit Fixierung und Sauganschluss oder Spezialgeräte mit Hohldorn zu verwenden. Das Aufschneiden von Schläuchen darf nur mit einem Sicherheitsmesser erfolgen. Diese Tätigkeit ist jedoch auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Anlagen und Anlagenteile, die zur Entnahme von Kraftstoffen dienen, müssen explosionsgeschützt ausgeführt und dementsprechend installiert sein (z. B. Erdung).

Entsprechend der Technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2153⁸³ ist vom Kraftstoffbehälter über die Entnahmetechnik bis zum Lagerbehälter während des Entnahmevorgangs die Vermeidung von Zündgefahren sicherzustellen.

Die Betriebsflüssigkeiten sind entweder direkt abzusaugen oder verlustfrei aufzufangen und anschließend sofort aus dem Arbeitsbereich zu entfernen. Kraftstoffe sind entweder direkt abzusaugen oder mit abgedichteten Systemen aufzufangen und anschließend aus dem Arbeitsbereich zu entfernen. Die Entnahmeöffnungen sind nach dem Ablassen sofort wieder zu verschließen.

Das freie Ablassen von Flüssigkeiten, insbesondere der Ottokraftstoffe, in offene Gefäße ist nicht zulässig.

Wenn mobile Auffangvorrichtungen verwendet werden, sind diese spätestens zum Schichtende im Gefahrstofflager in die entsprechenden Sammelbehälter zu entleeren. Während der Standzeiten im Arbeitsbereich sind diese Auffangvorrichtungen zu verschließen.

Vorrichtungen zur Entnahme von Flüssigkeiten und mobile Auffangvorrichtungen für die einzelnen Flüssigkeiten sind eindeutig gemäß TRGS 201⁸⁴ zu kennzeichnen.

Bei der Trockenlegung ist insbesondere die Tropffreiheit aller Aggregate zu erzielen. Kraftstoffführende Teile sind zu verschließen.

Verschüttete Betriebsflüssigkeiten, insbesondere Kraftstoffe und Öl, stellen nicht nur eine Expositionsquelle, sondern auch eine Rutschgefahr dar. Unabhängig von der Forderung nach mineralölundurchlässiger und säurebeständiger Bodenbefestigung im Anhang der AltfahrzeugV, Ziffer 3.1.2, Nr. 2 – Platzausrüstung, muss der Arbeitsplatz mit Auffangwannen für abtropfende Flüssigkeiten versehen sein. Wenn Betriebsflüssigkeiten oder Kraftstoffe in diese Wannen gelaufen sind, so sind sie spätestens zum Schichtende zu reinigen.

Bindemittel, mit denen Kraftstoffe oder Betriebsflüssigkeiten aufgenommen wurden, sind nach Anwendung sofort in für Arbeitsstätten und selbstentzündliche Stoffe zugelassene Sammelbehälter zu füllen, die geschlossen zu halten sind. Zum Schichtende sind diese verunreinigten Bindemittel aus den Arbeitsräumen zu entfernen.

Verwendete Putzmittel (z. B. Lappen) sind nach Gebrauch in geschlossenen, nicht brennbaren Behältern aufzubewahren. Nach Schichtende ist der Behälter in einen Sammelbehälter zu entleeren, der außerhalb der Arbeitsräume steht.

Die Reinigung des Arbeitsplatzes, von Teilen oder der Hände darf nicht mit Kraftstoffen durchgeführt werden.

Die Trockenlegung hat möglichst vollständig zu erfolgen, um eine unnötige Exposition bei der nachfolgenden Demontage zu vermeiden.

Quelle: (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014)

⁸³ TRBS 2153 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

⁸⁴ TRGS 201 Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

4.3.1.4 Gefahrstoffentnahme

Im Anschluss (oder in Vorbereitung) an die Trockenlegung müssen gefährliche Teile aus den Sportbooten entfernt werden. Diese sind unter anderem:

- ▶ Gasflaschen (z.B. der Herd im Boot wird mit Gas betrieben),
- ▶ Batterien,
- ▶ Feuerlöscher,
- ▶ Ölfilter,
- ▶ Bootsfremde Stoffe (z.B. Abfälle, die in Booten gelagert wurden),
- ▶ Elektrogeräte, die Polychlorierte Biphenyle (PCB), Asbest oder Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) enthalten,
- ▶ Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoffentnahme,
- ▶ Etc.

Gefahrstoffe können bei Sportbooten in Art und Menge variieren, sind aber häufig vorzufinden. Als Gefahrstoff einzustufen sind Starter-, Versorgungs- und Antriebsbatterien, die beispielsweise zum Anlassen von Verbrennungsmotoren, zur Stromversorgung oder zum Betrieb von Elektromotoren gebraucht werden. Die Batterien sind als kompakte Module gefertigt. Für die Demontage müssen die Batterien zuerst abgeklemmt werden. Dabei sollte zuerst das Kabel vom Minuspol gelöst werden (ADAC Skipper, n.d.-a) (ebenfalls Herstellerangaben beachten) und anschließend das Kabel vom Pluspol. Anschließend kann die Batterie aus der Halterung entnommen werden und, falls vorhanden, in einer Batteriebox aufbewahrt werden. Die Batterie wird üblicherweise auch zum Einwintern des Sportbootes abgeklemmt und trocken gelagert. Laut BattG dürfen Altbatterien nur an Standorten mit undurchlässigen Oberflächen und geeigneter, wetterbeständiger Abdeckung gelagert werden oder in geeigneten Behältnissen. Je nach Typ, sind Batterien als gefährlicher Abfall einzustufen und nach AVV den folgenden Abfallschlüsseln zuzuordnen:

- ▶ 16 06 01* Bleibatterien;
- ▶ 16 06 02* Ni-Cd-Batterien;
- ▶ 16 06 03* Quecksilber enthaltende Batterien;
- ▶ 16 06 04 Alkalibatterien (außer 16 06 03);
- ▶ 16 06 05 andere Batterien und Akkumulatoren

Weitere Gefahrstoffe in Sportbooten umfassen Flammschutzmittel in EAG, FCKW in alten Kühlschränken, Tiefkühlschränken oder Klimaanlage und Herbizide oder schwermetallbasierte Pigment in Antifouling und Gelcoat-Anstrichen (z.B. als Bewuchsschutz). Befinden sich Schaltanlagen an Bord enthalten diese höchstwahrscheinlich Schwefelhexafluorid (SF₆), das zur Isolation und Löschung eingebaut wurde. Da die meisten Sportboote sehr lange Lebensdauern aufweisen, enthalten diese vermutlich noch HFKW und FCKW, obwohl diese seit mehreren Jahren nicht mehr verwendet werden dürfen. Bauteile, die Asbest enthalten, müssen fachgerecht entfernt werden.

Flammschutzmittel in EAG sind in die Matrix von Kunststoffbauteilen integriert und werden bei einer zerstörungsfreien Demontage nicht in relevanten Mengen freigesetzt. Es wird daher davon ausgegangen, dass EAG nicht bei der Gefahrstoffentnahme entnommen werden müssen, sondern dies bei der Demontage geschehen darf. Kühlschränke mit FCKW oder EAG mit PCB muss der*die Entsorger*in allerdings erkennen und als Gefahrstoff ausbauen. Das ElektroG stellt unter anderem den rechtlichen Rahmen für die Entsorgung von FCKW-haltigen Kühlgeräten. Diese sind in der Sammelgruppe 1 zu entsorgen. EAG dürfen laut ElektroG Anlage 4 nach der Demontage nur in geeigneten Bereichen mit undurchlässiger Auffangeinrichtung sowie mit wetterbeständiger Abdeckung (zwischen-)gelagert werden.

Nach der Entnahme von Altöl kann auch der Ölfilter entnommen werden. Sie bestehen aus einem Stahlgehäuse (30–60 %), Filterpapier (5-10 %) und dem restlichen Altöl (10–30 %) (Martens & Goldmann, 2016). Wegen des verbleibenden Öls, aber auch wegen des hohen Stahlanteils und die mögliche Rückgewinnung von hochwertigem Stahlschrott, sollten Ölfilter ausgebaut werden. Das Filterpapier ist energetisch zu verwerten (Martens & Goldmann, 2016).

Gelcoats und Antifoulinganstriche sind ganzflächig auf der Außenoberfläche von Rümpfen und andere Außenoberflächen zu finden. Sie sauber und vollständig zu entfernen und zu sammeln ist nicht ohne weiteres möglich. Dennoch gilt es ihrer Freisetzung in die Umwelt vorzubeugen. Abgeplatzte Anstrichteilchen oder Staub, der bei der Zerkleinerung von Rümpfen, beispielsweise beim Zersägen von Rümpfen aus Holz, gelangen leicht in die Umwelt oder können von Menschen eingeatmet werden und so Ökosysteme, Tiere und Menschen schädigen. Die Freisetzung dieser Gefahrstoffe sollte weitestgehend vermieden werden, z.B. indem Holzrümpfe als Ganzes, ohne sie zu zersägen, in die Altholzverwertung gegeben werden. Ist die Freisetzung dieser Gefahrstoffe unvermeidlich müssen entsprechende Maßnahmen getroffen werden, durch die ein Eintrag in die Umwelt und die Aufnahme durch Menschen vermieden wird.

4.3.1.5 Demontage von Motoryachten

Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Motoryachten

Die Beschreibung der Trockenlegung von Motoryachten sowie die Gefahrstoffentnahme entspricht den Schritten, die in den vorangestellten Kapiteln 4.3.1.3 und 0 beschrieben wurden.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über existierende Flüssigkeiten sowie Gefahrstoffe an Bord.

Tabelle 38: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Motoryachten

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/ pumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Bilgenöl	Öl-Wasser Gemisch	nein	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
2	Wasser entnehmen			
	Frischwasser	Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche)	Leicht verunreinigtes Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	Stark verunreinigtes Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
3	Treibstoffe absaugen			
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
4	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol-Mischungen	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
5	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
	Wassertank reinigen	Kunststoff	Ja	
6	Gefahrstoffentnahme			

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Gasflaschen			Getrennt erfassen und sicher lagern
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	ÖlfILTER		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß ElektroG
	Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoffentnahme		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Demontage

Nach Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme kann die Demontage der Motoryachten beginnen. Die folgende Tabelle dient als Checkliste für die Demontage, strukturiert den Ablauf und gibt Informationen zu Weiterverwendbarkeit, Lagerung und ggf. Recycling von Bauteilen.

Tabelle 39: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Motoryachten

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Motorbootmast	Holz Edelstahl	Ja Ja	Holz Edelstahl
	Tauwerk, Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser (z.B. Hanf) Kunstfaser (z.B. PA)	Ja	Naturfaserseile Kunstfaserseile
	Anker, Kette	Aluminium(-legierung) Edelstahl	Ja	Aluminium Edelstahl
	Fender	Kunststoff Altreifen	Ja Ja	Kunststoff Altreifen

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	Feuerlöscher		Ja	
	Rettungswesten		Ja	
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Wärmeübertrager	Klimaanlage, Heizung	Ja	EAG, Sammelgruppe 1, Entsorgung gemäß ElektroG
	Bildschirme	Fernseher, Anzeigen mit >100 cm ² Bildschirmoberfläche etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 2, Entsorgung gemäß ElektroG
	Lampen		Ja	EAG, Sammelgruppe 3, Entsorgung gemäß ElektroG
	Große Elektrogeräte	Herd, Spülmaschine etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 4, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kleine Elektrogeräte	Funkanlage, Pumpen GPS/Navigator etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Photovoltaikmodule		Ja	EAG, Sammelgruppe 6, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kabelleitungen		Nein	Kabel
	Nicht-elektrische Instrumente	Kompass, Füllstandsanzeigen		
	Innenausstattung, Matratzen		Ja	Freiwillige Matratzenrücknahme oder Sperrmüll
	Innenausstattung, Möbel	Holz Kunststoff Stahl Aluminium(-legierungen)	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Kunststoff Stahl Aluminium
	Innenausstattung, Polsterungen	Naturfaser, Kunstfaser, Schäume wie PUR		

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	Außenbordmotor	Verbrenner Elektrisch	Ja	Motoren Sofern elektrisch, EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
3	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Ankerwinden	Elektrisch	Ja	EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Klampen, Umlenker, Klemmen	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Schienen, Beschläge	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Reling	Holz Edelstahl	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl
	Ruder	Holz GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle
	Hardtop / Sonnendeck	Holz GFK Aluminium	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK Aluminium
4	Aufschnitt der Strukturdecks, Luken und Konstitutionsstützen bis zum Maschinenraum			
	Fenster, Bullaugen & Luken	Plexiglas	Nein	Kunststoff
	Innenausbau, Innenverkleidung	Holz	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV)
	Innenbordmotoren	Stahl und Kunststoffe Aluminium und Kunststoffe	Ja	Stahl Aluminium
5	Entnahme von Kleinteilen (z.B. die nun lose sind oder bestimmte Fraktionen verunreinigen)			

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	z.B. Schrauben Verbindungsteile Splitter oder abgebrochene Stücke			
6	Freilegung des Kiels			
	Kiel	Blei Beton Stahl		Blei Beton Stahl
	Rumpf liegt so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann	Holz Stahl GFK	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Stahl GFK

Die Demontage von Motoryachten erfolgt schrittweise und beginnt mit der Entnahme von Ausrüstungsgegenständen die lose an Bord sind und die einfach per Hand entfernt werden können. Solche Gegenstände wie Taue, Sicherheitswesten oder Fender können, falls sie nicht beschädigt oder in schlechtem Zustand sind, wiederverwendet werden. Intakte Rettungswesten können einfach entnommen und wiederverwendet werden. Ist eine Entsorgung gewünscht, gilt es etwaige CO₂-Patronen zunächst zu entleeren und separat als Altmetall zu verwerten; Seenotleuchte und -sender sind als Elektroschrott zu verwerten (SECUMAR, n.d.). In einem zweiten Schritt erfolgt die Entnahme von Ausstattungsgegenständen die einfach (zerstörungsfrei) ausgebaut werden können und ebenfalls in Abhängigkeit ihres Zustandes wiederverwendet werden können. Erst im weiteren Verlauf erfolgt die Demontage von Bauteilen, die entweder nicht zerstörungsfrei entfernt werden können, weil sie mit nicht lösbaren Verbindungstechniken verbaut wurden, oder bei denen sich eine (aufwendigere) zerstörungsfreie Demontage aufgrund eines zu niedrigen Wiederverkaufswert nicht lohnt. Dazu zählen insbesondere kleinere Metallteile, die in Rumpf, Deck oder andere Teile integriert wurde, wie beispielsweise Winden, Klampen, Beschläge oder Kettenläufe, aber auch Hardtops und Relings. Auch Fenster und Luken werden aus Rumpf oder Deck geschnitten, genauso wie das Deck vom Rumpf getrennt wird und die Innenauskleidung aus Holz oder Kunststoff vom Rumpf abgetrennt wird. Diese Arbeiten werden mit Hilfe von Brechstangen, Trennschleifern oder Schrottscheren durchgeführt. Große Komponenten, die auf diese Art und Weise freigelegt werden, wie beispielsweise Innenbordmotoren samt Treibstofftank und -leitungen, können dann wieder zerstörungsfrei entnommen werden. Sind alle Komponenten und Materialien vom Rumpf getrennt, kann dieser schließlich zerkleinert und, falls es sich um verschiedene Materialien handelt, das Kielmaterial vom Rumpfmateriale getrennt werden.

Bei der Demontage sollen einerseits Bauteile, die wiederverwendet werden können und einen angemessenen Preis auf dem Sekundärmarkt erzielen können, und andererseits möglichst sortenreine und hochwertige Fraktionen für das Recycling gewonnen werden. Welche Bauteile einen angemessenen Preis auf dem Sekundärmarkt erzielen ist oftmals ohne weiteres nicht vorherzusagen, genauso wenig, wie das Material, aus dem die einzelnen Komponenten gefertigt sind, möglicherweise verunreinigt ist. Bei der Demontage sind somit auch eine gewisse Flexibilität und Wissen über den Wert von Bauteilen und dessen Materialien notwendig. Beispiele für solche Entscheidungen sind, ob sich die aufwendigere zerstörungsfreie Demontage eines Bauteils lohnt, oder ob eine Komponente in der wertvolleren Edelstahlfraktion oder doch

in der Stahlfraktion entsorgt werden muss. Fachwissen, Erfahrung und Flexibilität bei der Demontage können die Qualität der Motoryachtverwertung erheblich steigern.

4.3.1.6 Demontage offener Sportboote und Daycruiser

Trockenlegung, Gefahrstoffentnahme und Demontage von offenen Sportbooten und Daycruisern folgt dem gleichen Schema wie die oben beschriebene Demontage von Motoryachten. Insbesondere bei offenen Sportbooten und Daycruisern mit einem hohen Ausstattungsgrad ergeben sich kaum Unterschiede zur Demontage von Motoryachten. Daher kann für solche offenen Sportboote und Daycruiser die Angaben im vorangegangenen Kapitel herangezogen werden.

Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme offener Sportboote und Daycruiser

Die Beschreibung der Trockenlegung offener Sportboote und Daycruiser sowie die Gefahrstoffentnahme entspricht den Schritten, die in den vorangestellten Kapiteln 4.3.1.3 und 0 beschrieben wurden.

Bei offenen Sportbooten und Daycruisern, die beispielsweise nicht über Kajüten (Schlafzimmer, Bad, Küche etc.) verfügen, ist der Aufwand bei der Trockenlegung geringer. Die nachfolgenden Tabellen entsprechen der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von offenen Sportbooten und Daycruisern ohne Küche, Bade etc. Sofern ein offenes Sportboot und Daycruiser mit solchen Merkmalen ausgestattet ist, kann die Handlungsanweisung der Motoryachten genutzt werden.

Tabelle 40: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von offenen Sportbooten und Daycruisern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/ pumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Bilgenöl	Öl-Wasser Gemisch	nein	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
2	Treibstoffe absaugen			
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
3	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol-Mischungen	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
4	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
	Wassertank reinigen	Kunststoff	Ja	
5	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Gasflaschen			Getrennt erfassen und sicher lagern
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoffentnahme		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Demontage

Nach Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme kann die Demontage der Sportboote und Daycruiser beginnen. Die entsprechenden Demontageschritte sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 41: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage offene Sportboote und Daycruiser

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Motorbootmast	Holz Edelstahl	Ja Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl
	Tauwerk, Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser (z.B. Hanf) Kunstfaser (z.B. PA)	Ja	Naturfaserseile Kunstfaserseile
	Anker, Kette	Aluminium(- legierung) Edelstahl	Ja	Aluminium Edelstahl
	Fender	Kunststoff Altreifen	Ja Ja	Kunststoff Altreifen
	Feuerlöscher		Ja	
	Rettungswesten		Ja	
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Bildschirme	Fernseher, Anzeigen mit >100 cm ²	Ja	EAG, Sammelgruppe 2, Entsorgung gemäß ElektroG

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
		Bildschirmoberfläche etc.		
	Lampen		Ja	EAG, Sammelgruppe 3, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kleine Elektrogeräte	Funkanlage, Pumpen GPS/Navigator etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Photovoltaikmodule		Ja	Sammelgruppe 6, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kabelleitungen		Nein	Kabel
	Nicht-elektrische Instrumente	Kompass, Füllstandsanzeigen		
	Innenausstattung		Ja	Sperrmüll
	Außenbordmotor	Verbrenner Elektrisch	Ja	Motoren EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
3	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Ankerwinden	Elektrisch	Ja	EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Klampen, Umlenker, Klemmen	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Schienen, Beschläge	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Reling	Holz Edelstahl	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl
	Ruder	Holz GFK	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK CFK

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
		CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle		Edelstahl Aluminium Andere Metalle
	Hardtop / Sonnendeck	Holz GFK Aluminium	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK Aluminium
4	Aufschnitt der Strukturdecks, Luken und Konstitutionsstützen bis zum Maschinenraum			
	Fenster, Bullaugen & Luken	Plexiglas	Nein	Kunststoff
	Innenbordmotoren	Stahl und Kunststoffe Aluminium und Kunststoffe	Ja	Stahl Aluminium
5	Entnahme von Kleinteilen (z.B. die nun lose sind oder bestimmte Fraktionen verunreinigen)			
	Schrauben Verbindungsteile Splitter oder abgebrochene Stücke			
6	Freilegung des Kiels			
	Kiel	Blei Beton Stahl		Blei Beton Stahl
	Rumpf liegt so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann	Holz Stahl GFK	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Stahl GFK

Die Demontage von offenen Sportbooten und Daycruisern folgt dem gleichen Schema wie die oben beschriebene Demontage von Motoryachten. Insbesondere bei offenen Sportbooten und Daycruisern mit einem hohen Ausstattungsgrad ergeben sich kaum Unterschiede zur Demontage von Motoryachten. Bei offenen Sportbooten und Daycruisern, die beispielsweise nicht über Bad oder Küche verfügen, ist der Demontageaufwand geringer. Aufgrund der geringeren Größe von offenen Sportbooten und Daycruisern ist der Demontageaufwand ebenfalls geringer und es ergeben sich geringere Mengen an zu verwertenden Abfallfraktionen.

4.3.1.7 Demontage von Segelyachten und Motorseglern

Trockenlegung

Die Beschreibung der Trockenlegung von Segelyachten und Motorseglern sowie die Gefahrstoffentnahme entspricht den Schritten, die in den vorangestellten Kapiteln 4.3.1.3 und 0 beschrieben wurden. Die nachfolgenden Tabellen entsprechen der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segelyachten und Motorseglern

Tabelle 42: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segelyachten und Motorseglern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/ pumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
	Bilgenöl	Öl-Wasser Gemisch	nein	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
2	Wasser entnehmen			
	Frischwasser	Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche)	Leicht verunreinigtes Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	Stark verunreinigtes Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
3	Treibstoffe absaugen			

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetrieb es	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetrieb es	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
4	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol- Mischungen	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
5	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
	Wassertank reinigen	Kunststoff	Ja	
6	Gefahrstoff- entnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Gasflaschen			Getrennt erfassen und sicher lagern
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltig e Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoff- entnahme		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Demontage

Nach der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme kann die Demontage der Segelyacht oder des Motorseglers beginnen. Die Tabelle Checkliste und Handlungsempfehlungsanweisung zur Demontage von Segelyachten und Motorseglern soll den Ablauf der Zerlegung strukturieren und weitere Informationen bezüglich Wiederverwendbarkeit, Lagerung und Recycling von Bauteilen geben.

Tabelle 43: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segelyachten und Motorsegler

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Baum (Großbaum, Spinnakerbaum, Gennakerbaum)	Aluminium Holz Edelstahl CFK	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl CFK
	Mast	Aluminium Holz Edelstahl CFK	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl CFK
	Wanten, Stage, Rollanlagen	Edelstahl Kunststofffaser (PE)	Ja	Edelstahl Kunststoff
	Tauwerk, Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser (z.B. Hanf) Kunststofffaser (z.B. PA)	nein	Naturfaserseile Kunststoffe
	Segel	Kunststoff(faser) (z.B. PET, PA) CFK	nein	Kunststoff CFK
	Blöcke und Rollen	Aluminium Holz Edelstahl Kunststoff (z.B. PA)	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl Kunststoff
	Anker, Kette	Aluminium Edelstahl	Ja	Aluminium Edelstahl
	Fender	Kunststoff	Ja	Kunststoff
	Feuerlöscher		Ja	
	Rettungswesten		Ja	

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungs- pflichten
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Wärmeübertrager	Klimaanlage, Heizung	Ja	EAG, Sammelgruppe 1, Entsorgung gemäß ElektroG
	Bildschirme	Fernseher, Anzeigen mit >100 cm ² Bildschirmoberfläche etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 2, Entsorgung gemäß ElektroG
	Lampen		Ja	EAG, Sammelgruppe 3, Entsorgung gemäß ElektroG
	Große Elektrogeräte	Herd, Waschmaschine etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 4, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kleine Elektrogeräte	Funkanlage, Pumpen GPS/Navigator etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Photovoltaikmodule		Ja	EAG, Sammelgruppe 6, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kabelleitungen		Nein	Kabel
	Nicht-elektrische Instrumente	Kompass, Füllstandsanzeigen		
	Innenausstattung, Matratzen		Ja	Freiwillige Matratzenrücknahme oder Sperrmüll
	Innenausstattung, Möbel	Holz Kunststoff Stahl Aluminium	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Kunststoff Stahl Aluminium
	Innenausstattung, Polsterungen	Naturfaser, Kunstfaser, Schäume wie PUR		
	Außenbordmotor	Verbrenner	Ja	Motoren

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungs- pflichten
		Elektrisch		EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
3	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Winden/Winsch (Anker, Fall, Schot)	Edelstahl Aluminium Kunststoff (Manuell) (Elektrisch)	Ja	Edelstahl Aluminium Kunststoff EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Klappen, Umlenker, Klemmen	Edelstahl Kunststoff Holz	Ja	Edelstahl Kunststoff Holz (Entsorgung gemäß AltholzV)
	Schienen, Beschläge	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Reling	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Steueranlage, Ruder	Holz GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle
	Aufbauten, Hardtop	GFK Aluminium Edelstahl	Nein	GFK Aluminium Edelstahl
4	Aufschnitt der Strukturdecks, Luken und Konstitutionsstützen bis zum Maschinenraum			
	Fenster, Bullaugen & Luken	Plexiglas Aluminium	Nein	Kunststoff
	Innenausbau, Innenverkleidung	Holz Kunststoff GFK CFK	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Kunststoff GFK CFK
	Innenbordmotoren	Stahl und Kunststoffe Aluminium und Kunststoffe	Ja	Stahl Aluminium

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
5	Entnahme von Kleinteilen (z.B. die nun lose sind oder die bestimmte Fraktionen verunreinigen)			
	Schrauben Verbindungsteile Splitter oder abgebrochene Stücke			
6	Freilegung des Kiels			
	Kiel	Blei Beton Stahl		Blei Beton Stahl
	Rumpf liegt so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann	Holz Stahl GFK CFK	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Stahl GFK CFK

4.3.1.8 Demontage von Segeljollen und offenen Kielbooten

Trockenlegung

Die Beschreibung der Trockenlegung von Segeljollen und offenen Kielbooten sowie die Gefahrstoffentnahme entspricht den Schritten, die in den vorangestellten Kapiteln 4.3.1.3 und 0 beschrieben wurden.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über existierende Flüssigkeiten sowie Gefahrstoffe an Bord und deren Entnahme und mögliche Wiederverwendbarkeit.

Tabelle 44: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segeljollen und offene Kielboote

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Wasser entnehmen			
	Bilgenwasser	Wasser (möglicherweise verschmutzt)	nein	Getrennt erfassen und lagern
2	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Gasflaschen			Getrennt erfassen und sicher lagern
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoffentnahme		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Demontage

Die nachfolgende Tabelle Checkliste und Handlungsempfehlungsanweisung zur Demontage von Segeljollen und offenen Kielbooten soll den Ablauf der Zerlegung strukturieren und weitere Informationen bezüglich Wiederverwendbarkeit, Lagerung und Recycling von Bauteilen geben.

Tabelle 45: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segeljollen und offene Kielboote

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Baum (Großbaum, Spinnakerbaum, Gennakerbaum)	Aluminium Holz Edelstahl CFK	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl CFK
	Mast	Aluminium Holz Edelstahl CFK	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl CFK
	Wanten, Stage, Rollanlagen	Edelstahl Kunststofffaser (PE)	Ja	Edelstahl Kunststoff
	Tauwerk, Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser (z.B. Hanf) Kunststofffaser (z.B. PA)	nein	Naturfaserseile Kunststoffe
	Segel	Kunststoff(faser) (z.B. PET, PA) CFK	nein	Kunststoff CFK

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	Blöcke und Rollen	Aluminium Holz Edelstahl Kunststoff (z.B. PA)	Ja	Aluminium Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Edelstahl Kunststoff
	Anker, Kette	Aluminium Edelstahl	Ja	Aluminium Edelstahl
	Fender	Kunststoff	Ja	Kunststoff
	Rettungswesten		Ja	
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Lampen		Ja	EAG, Sammelgruppe 3, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kleine Elektrogeräte	Funkanlage, Pumpen GPS/Navigator etc.	Ja	EAG, Sammelgruppe 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Photovoltaikmodule		Ja	EAG, Sammelgruppe 6, Entsorgung gemäß ElektroG
	Kabelleitungen		Nein	Kabel
	Nicht-elektrische Instrumente	Kompass, Füllstandsanzeigen		
	Außenbordmotor	Verbrenner Elektrisch	Ja	Motoren Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
3	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Winden/Winsch (Anker, Fall, Schot)	Edelstahl Aluminium Kunststoff	Ja	Edelstahl Aluminium Kunststoff

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
		(Manuel)l (Elektrisch)		Elektronikaltgeräte, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Klampen, Umlenker, Klemmen	Edelstahl Kunststoff Holz	Ja	Edelstahl Kunststoff Holz (Entsorgung gemäß AltholzV)
	Schienen, Beschläge	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Reling	Edelstahl	Ja	Edelstahl
	Steueranlage, Ruder	Holz GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK CFK Edelstahl Aluminium Andere Metalle
4	Freilegung des Kiels			
	Kiel	Blei Beton Stahl		Blei Beton Stahl
	Rumpf liegt so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann	Holz Stahl GFK CFK	Nein	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Stahl GFK CFK

4.3.1.9 Demontage von Wassermotorrädern

Trockenlegung

Da Wassermotorräder (Jet-Ski) mit einem Motor ausgestattet sind, ist vor einer Demontage eine Trockenlegung zwingend nötig. Bei E-Wassermotorrädern müssen zusätzlich die Batterien entnommen werden. Die nachfolgende Tabelle listet wichtige Schritte der Trockenlegung. Da ein Wassermotorrad wesentlich kleiner als eine Motoryacht oder ein Daycruiser ist, wird angenommen, dass die Trockenlegung weniger aufwendig ist und weniger Zeit in Anspruch nimmt.

Tabelle 46: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Wassermotorrädern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/ pumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Bilgenöl	Öl-Wasser Gemisch	nein	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
2	Wasser entnehmen			
	Wasser	Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
3	Treibstoffe absaugen			
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
4	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol- Mischungen	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole	Zu prüfen	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Bremsflüssigkeiten	hochsiedendes Glykol	Regenerierung evtl. möglich	Getrennt erfassen und sicher lagern
5	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
6	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien (bei eJetskis)			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Demontage

Wie bei Motor- und Segelbooten beschrieben, macht es Sinn bei der Demontage zuerst lose und leicht zugängliche Teile zu entfernen. Bei einem Wassermotorrad können dies Seile oder ein Anker sein. Leichtzugängliche Bauteile wie Propeller oder Motoren können in einem zweiten Schritt ausgebaut werden. Mit dem Rumpf verbundene Teile wie der Sitz oder die Verkabelung müssen rausgeschnitten oder gesägt werden. Ziel ist es auch in diesem Fall am Ende einen freiliegenden Rumpf vorliegen zu haben, der zerkleinert und recycelt werden kann.

Tabelle 47: Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Wassermotorräder

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser oder Kunststoff	nein	Naturfaserseile Kunstfaserseile
	Anker, Kette, ...	Aluminium	ja	Nichteisenmetalle
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Propeller ('Schiffschrauben') und Wellenanlagen	Aluminium, Legierungen aus Aluminium/Edelstahl, Nickel/Aluminium/Bronze, Mangan/Bronze	Ja	Nichteisenmetalle
	Elektromotor oder Verbrennungsmotor (inkl. Getriebe, Turbolader, Zylinder; Vergaser etc.)	Metalle (Aluminium, Stahl, Kupfer)	Ja	EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbar- keit	Fraktion und Entsorgungspflicht en
	Startermotor	Metalle (Aluminium, Stahl, Kupfer)	Ja	EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
	Seewasserfilter	Nickel, Bronze, Aluminium, Kunststoffeinsatz		Nichteisenmetalle
	Lichtmaschine	Metalle	Ja	Nichteisenmetalle
	Düseneinheit		Ja	Nichteisenmetalle
3	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Motorkühlung & Auspuffanlage	Stahl	Ja	Eisenmetalle
	Verkabelung		Nein	Kabel
	Lenker	Edelstahl mit Kunstledermantel	Ja	Eisenmetalle Kunststoffe/Sperrm üll
	Sitze	Holz, CFK, Textilbänder	Ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) Kunststoffe/Sperrm üll
	Unterschrank			
4	Aufschnitt der Strukturdecks, Luken und Konstitutionsstützen bis zum Maschinenraum			
	Dollboard	GFK	nein	GFK/Kunststoffe
5	Entnahme von Kleinteilen (z.B. die nun lose sind oder die bestimmte Fraktionen verunreinigen)		Ja	z.B. Eisenmetalle
	Schrauben Verbindungsteile Splitter oder abgebrochene Stücke			
6	Rumpf liegt so frei, dass er zerkleinert werden kann	GFK	nein	GFK/Kunststoffe

4.3.1.10 Demontage von Kanus, Ruderbooten, Tretbooten

Trockenlegung

Da Kanus, Ruderboote oder Tretboote üblicherweise keine Motoren, Toiletten oder ähnliche Aggregate mit (gefährlichen) Flüssigkeiten enthalten, ist auch die Trockenlegung

vergleichsweise wenig aufwendig bzw. nicht erforderlich. Vor einer Demontage oder Zerkleinerung der genannten Boote, sollten die Bootskörper ausgeleert werden, um mögliches Standwasser zu entfernen. Sollte es sich bei einem Ruderboot um ein Fischerboot mit Außenbordmotor handeln, muss auch der Motor entnommen werden und wie oben beschrieben entsorgt werden.

Tabelle 48: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Kanus, Ruderbooten, Tretbooten

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Wasser entnehmen	Wasser	nein	Ausleeren

Demontage

Der Hauptbestandteil eines Kanus, Ruderbootes oder Tretbootes ist üblicherweise der Rumpf. Bauteile zur Demontage fallen daher nur in geringen Mengen an. Zusätzlich zu dem eigentlichen Boot fallen bei Ruderbooten und Kanus noch Paddel oder Ruder/Riemen an (wenn mitentsorgt).

Tabelle 49: Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Kanus, Ruderbootes oder Tretbootes

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Tauwerk, Seile, Festmacher, Leinen	Naturfaser oder Kunststoff		Naturfaserseile Kunstfaserseile
	Anker, Kette, ...	Aluminium	ja	Nichteisenmetalle
	Sicherheitsausrüstung			
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
	Mit abgegebene Paddel/Ruder/Riemen separieren	Holz, GFK, CFK, Kunststoffe	ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK CFK Kunststoffe
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
3	Lukendeckel	Gummi, Kunststoff	ja	Gummi Kunststoff
	Entfernen und Abschneiden von Oberdeckstrukturen und Installationen (schwer zu entfernende Ausstattungsgegenstände)			
	Rudergabeln und Tüllen	Stahl		Eisenmetalle
	Rollschienen	Aluminium		Nichteisenmetalle
	Sitze	Holz, CFK, Textilbänder		Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) CFK
	Motor (evtl. vorhanden bei Ruderboot)	Metalle	ja	Motoren
	Fußstützen	Metall, Kunststoff		Eisenmetalle Kunststoff
	Rumpf liegt so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann	Holz, GFK, PE, CFK, ABS, PVC oder Aluminium	nein	

4.3.1.11 Demontage von Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP

Trockenlegung

Bei Windsurfbrettern, Surfbrettern und SUP ist i.d.R. keine Trockenlegung notwendig. Wenn es sich allerdings um ein E-SUP handelt, muss der Motor und die Batterie entfernt werden. Zudem kann es vorkommen, dass restliche Wassermengen von und aus leck gegangenen Brettern entfernt werden müssen.

Tabelle 50: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Wasser entnehmen	Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
2	Gefahrstoff- entnahme	Batterien (bei e- SUPs)		Getrennt erfassen, sicher lagern, Entsorgung nach BattG

Demontage

Die Demontage beschränkt sich bei Windsurfbrettern, Surfbrettern und SUP auf ein Minimum. Bei Windsurfbrettern kann die Segelpartie entnommen werden. Zusätzlich zu dem eigentlichen Brett fallen noch Paddel an (wenn mitentsorgt). Anschließend kann der Rumpf, d.h. das Brett, zerkleinert werden. Wertvolle Verstrebungen oder Metalle im Brettmaterial werden nicht erwartet.

Tabelle 51: Checkliste und Handlungsanweisung Bauteile Windsurfbretter, Surfbrettern und SUP

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausrüstungsgegenständen (falls durch den/die Besitzer*in noch nicht geschehen)			
	Segel (bei Windsurfbrett)	Kunststoff(faser) (z.B. PET, PA) CFK		Kunststoff CFK
	Sicherheitsausrüstung			
	Sonstige entnehmbare Ausrüstungsgegenstände			
	Mitabgegebene Paddel separieren	Holz, GFK, CFK, Kunststoffe	ja	Holz (Entsorgung gemäß AltholzV) GFK, CFK Kunststoffe
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Ausstattungsgegenständen			
	Finnen	Kunststoff		Kunststoffe
	Elektromotor (bei E-SUP)	Metalle		EAG, Sammelgruppe 4 oder 5, Entsorgung gemäß ElektroG
3	Entnahme von Kleinteilen (z.B. die nun lose sind oder bestimmte Fraktionen verunreinigen)			
	Schrauben Verbindungsteile Splitter oder abgebrochene Stücke			z.B. Eisenmetalle
	Rumpf/Brett liegt nun so vor, dass er weiter zerkleinert werden kann.	EPS, XPS oder IX- PS, PU. Beschichtung davon aus in Polyester- oder Epoxyd-Harz getränkten Glasfasern. PVC, GFK		Kunststofffraktionen

4.3.1.12 Aufbereitung und Verwertung demontierter Teile, entnommener Flüssigkeiten und Rumpfe

Informationen zur Verwertung demontierter Teile und entnommener Flüssigkeiten sind in Kapitel 4.3.3.2 enthalten.

Informationen zur Aufbereitung und Verwertung von Rümpfen sind in den Kapiteln 4.3.3.3 und 4.3.3.4 enthalten.

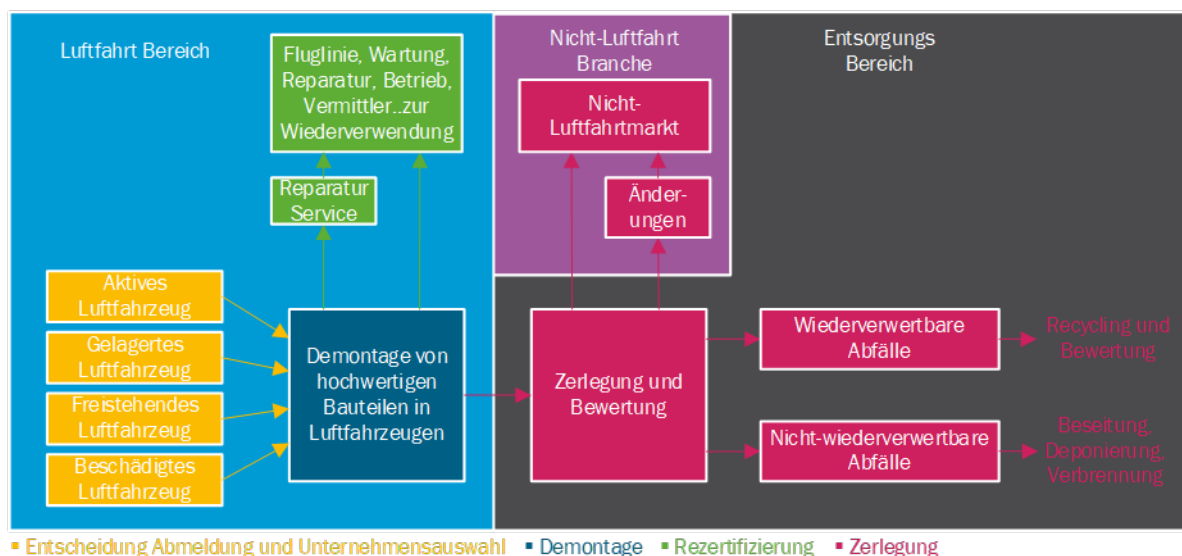
4.3.2 Leichtflugzeuge

4.3.2.1 Allgemeine Aspekte Demontage

Im Gegensatz zu den Sportbooten werden bei Leichtflugzeugen die Instandhaltungsmaßnahmen genau kontrolliert und Betriebszeiten seit der letzten Grundüberholung im Bordbuch protokolliert. Dies wird in der Betriebsordnung für Luftfahrtgeräte (LuftBO) festgelegt. In einem Flughandbuch legt der*die Hersteller*in des Flugzeugs fest, welche Handhabung und Wartungsanweisungen für das jeweilige Flugzeugmodell durchzuführen sind.

Die folgende Abbildung 30 zeigt eine Übersicht über die vereinfachten Abläufe von der Außerbetriebnahme von Luftfahrzeugen, der Demontage und Entsorgung.

Abbildung 30: Außerbetriebnahme, Demontage und Wiederverwendung von Luftfahrzeugen



Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer modifiziert nach Elsayed et al. (2019)

Das Auftreten von vier Ausgangspunkten kann zu einer ersten Entscheidung für den nächsten Schritt einer Demontage und Bauteilentnahme führen:

1. Noch aktives Luftfahrzeug
2. Gelagertes Luftfahrzeug
3. Freistehenden Luftfahrzeug
4. Beschädigtes Luftfahrzeug

Bei den Leichtflugzeugen werden Punkt 2 und Punkt 4 als wahrscheinlichster Fall zu einer ersten Demontage führen. Die meisten Leichtflugzeuge sind nicht Bestandteil eines Linienverkehrs, und deshalb ist Punkt 1 als eher unwahrscheinlich anzusehen. Ebenso Punkt 3, da man selten freistehende Leichtflugzeuge auffindet, gerade aufgrund des ökonomischen Potentials der Bauteile.

Tritt also einer der vier Punkte ein, folgen Demontage und Wiederverwendung von wertvollen, flugrelevanten Bauteilen entweder mit oder ohne Reparatur. Danach steht die zweite Entscheidung für den*die Besitzer*in an, ob das Luftfahrzeug an ein weiteres Demontage- oder Recyclingunternehmen weiterverkauft wird oder ob das Luftfahrzeug weiter gelagert wird. Es folgt eine weitere Wiederverwendung mit oder ohne Umnutzung für die Nutzung von Bauteilen in anderen Branchen. Die Einteilung von recyclingfähigem und nicht recyclingfähigem Material führt entweder zu einem Recycling oder zur Verwertung.

Die erste große Studie über das Recycling von Passagierflugzeugen war das europäische PAMELA-Projekt. Das Projekt führte zu einem ersten Standard einer Entsorgung des Passagierflugzeug A300. Daraus sind mehrere Unternehmen entstanden, wie Tarmac Aerosave mit Snecma Services und Aeroconseil, die noch immer in dem Gebiet der Flugzeugdemontage und Recycling tätig sind. Der entscheidende Faktor in der Erhöhung der Recyclingquote ist eine selektive Auswahl an Demontagetechnologien verbunden mit mobilen Materialdetektionstechniken (Fowler et al., 2012). Mit dem PAMELA Projekt konnte gezeigt werden, dass hohe Recyclingquoten mittels abgestimmter und geplanter Demontagevorgänge, von 85 % bei Flugzeugen erreicht werden können (Ribeiro & De Oliveira Gomes, 2015).

Das AiMeRe Projekt hatte das Ziel einer technischen Evaluation der Demontageprozesse, deren Optimierung und Ausgabe von Empfehlungen eines zukünftigen Design for Environment waren (Siehe Kapitel Re-Design). Es war Teil des Clean Sky Projektes, eines der größten europäischen Projektprogramme im Bereich der Luftfahrt mit dem Ziel der Reduzierung der CO₂-, NO_x- und Lärmemissionen. Es konnten die genaue Informationen über Materialanteile und Gefahrstoffe identifiziert und die Demontage-, Zerlege-, Sortier- und Verwertungsverfahren ökonomisch als auch ökologisch verbessert werden (Cordis, 2015).

Heutzutage liegt die Recyclingquote bei 85–90 %. Zwischen 40 % und 50 % Massenprozent der Bauteile gehen in die Inspektion zur Wiederverwendung. Danach wird das restliche Material entweder für andere Zwecke umgenutzt, entsorgt oder recycelt (SGI Aviation & IATA, 2018). Die Bombardier C Series⁸⁵ CS 100 und CS 300 Modelle geben in ihrer „Environmental Product Declaration“⁸⁶ Recyclingraten von 83 %, bzw. 82 % mit Wiederrückgewinnungsraten von 7-8 % an, die restlichen 17–18 % werden deponiert (International EPD® System, 2016, 2017). Ein Vergleich zu den Leichtflugzeugen ist hierbei schwierig, aber in der Annahme, dass es sich um Down-Scaling, bzw. Down-Sizing handelt sind bei gerechter Demontage und Verwertung von Leichtflugzeugen ähnliche Recyclingquoten vorstellbar.

In der Luftfahrt gibt es auf Flugzeugabfall spezialisierte Demontage- und Recyclingunternehmen, die meist Teil der „Association for Recycling Aircraft“ (AFRA) sind. Die AFRA ist eine eigenfinanzierte gemeinnützige Organisation und besteht aktuell aus 89 weltweit agierenden Mitgliedern (Stand 2022). Demontageplätze sind in der Regel direkt an einem Flugplatz angesiedelt. Die Plätze müssen eine feste Betonbodenplatte aufweisen, die für jegliche Stoffe undurchdringbar ist. Die Zerlegung beginnt an den Tragflächen, und von da zum hinteren Teil und bis zur Kabine des Flugzeugs. Das Ziel ist es die Rumpfstrukturen in handliche Stücke zu zerkleinern für den Transport zur nächsten Verwertungsoption. Der aktuelle Schrottpreis bei Metallstrukturen hat hierbei einen entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität des Zerlegungsprozesses (Fowler et al., 2012).

Die von der AFRA erarbeiteten „Best Management Practice“ (BMP) sind öffentlich zugänglich. Sie fassen die organisatorischen Vorgaben zum Vorgehen der Demontage, Entsorgung

⁸⁵ Wurden ab dem Jahr 2018 wieder zu Airbus A220 umbenannt.

⁸⁶ Die EPD ist eine Typ III Umweltdeklaration nach ISO 14025.

zusammen, beinhalten Umweltaspekte der EoL Prozesse und sorgen für einen Standard der Arbeitssicherheit. Diese Mindeststandards sind auch anwendbar für Leichtflugzeuge. Die BMP beinhalten bewährte Techniken aus folgenden Bereichen:

- ▶ Facility Management
- ▶ Training
- ▶ Dokumentation und Unterlagen
- ▶ Teile Management
- ▶ Umwelt und Recycling

Als AFRA-zertifizierter Betrieb besteht die Sicherheit für weitere Partner im Bereich der Luftfahrt und MRO, dass die Prozesse und Abläufe nach einem Mindeststandard erfolgen.

Von der Federal Aviation Administration⁸⁷, der EASA und dem LBA gibt es hinsichtlich der Demontage und Recycling noch keine verpflichtenden Standards wie die von der AFRA ausgegebenen freiwilligen BMP's. Eine weltweite Regelung und Anerkennung von bewährten Techniken, ähnlich der BMP's könnte zu einer Vereinheitlichung von Demontage und Recycling Praktiken im Luftfahrtbereich führen.

Weitere bewährte Verfahren der Außerbetriebnahme von Luftfahrzeugen finden sich in dem "Best Industry Practices for Aircraft Decommissioning" (BIPAD) Handbuch von der „International Air Transport Association (IATA) (deutsch: die Internationale Luftverkehrs Vereinigung). Darin sind ähnliche Aspekte wie in den BMP's vorzufinden, die Zielgruppe sind jedoch Besitzer*innen von Luftfahrzeugen und nicht Demontage- und Recyclingunternehmen.

Um die Flugtüchtigkeit zu bewahren, dürfen nur Demontageunternehmen nach EASA Part 145 Luftfahrzeuge demontieren (zertifizierte Instandhaltungsbetriebe). Sollten nicht zertifizierte Betriebe die Demontage durchführen ist das Flugzeug sofort als Abfall anzusehen. Jedoch müssen die Recyclingunternehmen nicht zwangsweise nach EASA Part 145 zertifiziert sein, wenn die Demontage zum Beispiel schon von einem zertifizierten Instandhaltungsbetrieb durchgeführt wurde (SGI Aviation & IATA, 2018).

Folgend sind Akkreditierungen und Normen im Zusammenhang zu Qualität-, Sicherheit- und Umweltaspekten von Demontage- und Recyclingunternehmen aus der Luftfahrt zusammengefasst:

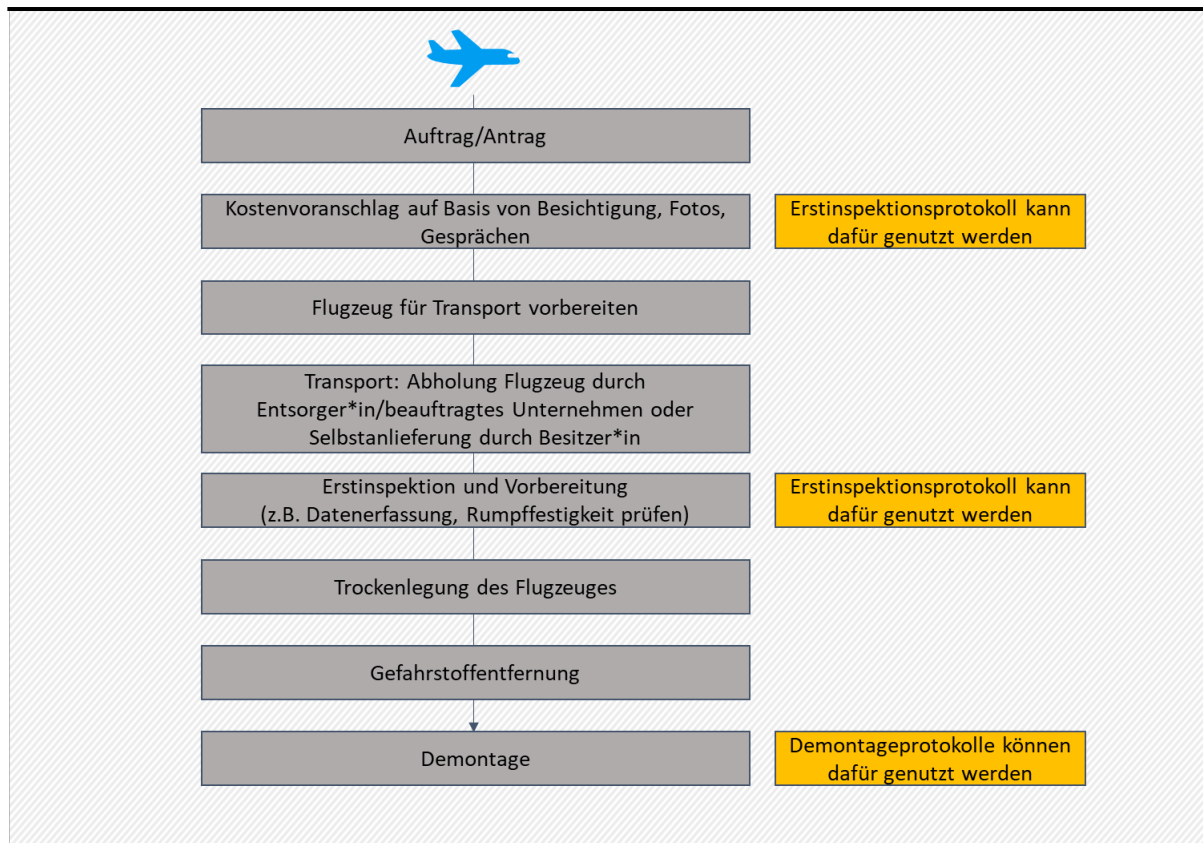
- ▶ AFRA Akkreditierung
- ▶ ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen
- ▶ ISO 14001: Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- ▶ EN 9100: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen an Organisationen der Luftfahrt, Raumfahrt und Verteidigung
- ▶ EN 9110: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen für Luftfahrt-Instandhaltungsbetriebe

⁸⁷ Das ist die Bundesluftfahrtbehörde der Vereinigten Staaten und entspricht dem LBA, auf nationaler, bzw. EASA auf europäischer Ebene.

- ▶ EN 9120: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen für Händler und Lagerhalter der Luftfahrt, Raumfahrt und Verteidigung
- ▶ ASA-100: Aviation Suppliers Association Quality System Standard
- ▶ EMAS Zertifizierung.

Der mögliche Ablauf einer Entsorgung von Leichtflugzeugen ist in Abbildung 31 vereinfacht dargestellt.

Abbildung 31: Ablauf Entsorgung Leichtflugzeuge



Quelle: Eigene Darstellung Ramboll

4.3.2.2 Trockenlegung

Die Trockenlegung von Leichtflugzeugen soll zum Schutz vor Leckagen auf versiegelten Bodenflächen erfolgen. Dafür sind gesonderte Stellflächen mit Auffangwannen, meist am Instandhaltungsbetrieb notwendig. Das Ablassen, oder Abpumpen geschieht ähnlich wie bei den Sportbooten. Die Flughäfen sowie Instandhaltungsbetriebe sind jedoch meist mit mobilen Abfüllungsstationen für das AvGas und Diesel, die für größere Passagierflugzeuge im Einsatz sind, ausgestattet. Die leer gepumpten Tanks müssen zwangsdurchlüftet werden. Weitere Gas-Analysen sind während und nach der Entlüftung erforderlich, um eine explosionsfähige Konzentration zu verhindern (Woidasky, 2013).

Die anfallenden Flüssigkeiten können entweder gelagert und wiederverwendet (Treibstoffe), oder zur weiteren Entsorgung (Motoröl, Hydraulisches Öl) in eigene Behältnisse gegeben werden.

Im Vergleich zu den Sportbooten gibt es bei den Leichtflugzeugen kein Bilgenöl, dafür können zusätzliche Enteisungsflüssigkeiten und Feuerlöschmittel (Halon) an Bord sein. Die restlichen Motoröle, Schmiermittel, und hydraulischen Öle sind ähnlich wie die bei den Sportbooten und müssen dementsprechend von dem Luftfahrzeug entfernt werden. Bei den nichtmotorischen Segelflugzeugen fallen automatisch weniger Flüssigkeiten an.

Nach der Trockenlegung sollten zuerst weitere umweltkritische und personenschädigende Bauteile oder Materialien, z.B. fluoreszierende Schilder, verbauter Asbest in Bremsbelägen oder Sauerstoffflaschen zuerst ausfindig und dann sicher entfrachtet und nach den Entsorgungsrichtlinien weiter verwertet werden (Jeanvré, 2015).

Anschließend kann die Planung für die Demontage stattfinden. Während der Demontage von Ausrüstung und Bauteile werden die Teile nach ihrem Zustand und ihrer Lufttüchtigkeit überprüft. Abhängig von dem Zustand werden die Bauteile weiter repariert oder wie beschrieben fluguntüchtig gemacht zur weiteren Entsorgung und Verwertung. Sobald alle Teile und Ausrüstung entfernt sind, kann der*die Besitzer*in des Luftfahrzeugs entscheiden, ob die Verwertung des übrig gebliebenen Rumpfs durchgeführt werden soll. Ab diesem Zeitpunkt gelten die Regeln des Abfallrechts und nicht mehr die der Luftfahrt. Das heißt, dass ein Luftfahrzeug erst komplett demontiert sein muss, bevor es die Regeln und Pflichten der Instandhaltung verlässt (Jeanvré, 2015).

Eine Absprache mit Sprengstoffmeistern, Sicherheitsingenieure, Strahlungsexperten ist hilfreich zur Einschätzung von möglichen Gefahren und Bestimmung weiterer Verwertung kritischer Stoffe (SGI Aviation & IATA, 2018).

4.3.2.3 Demontage von Segelflugzeugen

Die Trockenlegung von Segelflugzeugen beschränkt sich auf die Entnahme der Bremsflüssigkeit und, falls vorhanden, Wasser im Ballasttank. Weiteren flüssigkeitsführenden Aggregate wie beispielsweise Motoren sind bei diesem Flugzeugtyp nicht vorzufinden. Gefahrstoffe in Segelflugzeugen sind ebenfalls limitiert und umfassen Batterien sowie etwaige Schadstoffe in Elektrogeräten im Cockpit oder für die Navigation wie beispielsweise Bordcomputer oder Funksystem. Tabelle 52 gibt eine Übersicht über Flüssigkeiten und Gefahrstoffe in Segelflugzeugen.

Tabelle 52: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Segelflugzeugen

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Trockenlegung			
	Bremsflüssigkeiten	hochsiedendes Glykol	Regenerierung evtl. möglich	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Ballastwasser	Wasser		keine gesonderten Anforderungen an Lagerung
2	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß ElektroG

Die Bremsflüssigkeit kann sowohl mobil sowie stationär abgelassen werden, wobei die oben beschriebenen Vorgaben einzuhalten sind. Die Entnahme von schadstoffbelasteten Elektrogeräten kann im Zuge der Demontage der Segelflugzeuge erfolgen. Schritte und Ablauf der Demontage von Segelflugzeugen sind in zusammengefasst nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 53: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Segelflugzeuge

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von Ausrüstungsgegenständen			
	Fallschirm(e)	Kunstfaser (PA, Polyester)	Ja	
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen			
	Höhenflosse		Eingeschränkt	
	Flügel		Eingeschränkt	
	Armaturenbrett inkl. Elektrogeräte und Instrumente)	Diverse	Ja	Sammelgruppe 5 nach ElektroG
	Sitzschale inkl. Sitz und Anschnallgut	Diverse	Ja	
	Fahrwerk	Diverse	Ja	
3	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen			
	Haube	Plexiglas	Eingeschränkt	Kunststoffe
	Steuerstangen	Stahl Aluminium		Stahl Aluminium

Da Segelflugzeuge häufig per Anhänger transportiert werden müssen, sind sie so konstruiert, dass viele Teile demontierbar sind. Anweisungen zum Auf- und Abrüsten der Flügel und der Höhenflossen oder zum Ein-, Ausbau oder Austauschen von Schleppkupplungen, Hauptträd inklusiver hydraulischer Bremse etc. finden sich im Wartungshandbuch und im Flughandbuch eines jeden Segelflugzeugs (Schempp-Hirth Flugzeugbau GbmH, 2007). Nach Demontage aller einfach im Wartungs- und Flughandbuch beschriebenen Bauteile, kann das Armaturenbrett demontiert werden. Das Armaturenbrett im Cockpit ist ein Baugruppe, in dem sämtliche Elektronik- und Navigationsgeräte verbaut sind. Nach der Demontage dieses Moduls können die

einzelnen Elektronikgeräte und Instrumente demontiert werden und, je nach Bedarf in anderen Flugzeugen wiederverwendet oder verwertet werden. Die Sitzschale samt Sitz und Anschnallgurt können ebenfalls als Baugruppe entfernt werden und im Nachgang weiter in die jeweiligen Bestandteile zerlegt werden. Nach Abschneiden der Gurte aus reisfestem Polyester und entfernen der Polsterung verbleibt die Schale aus CFK. Das Fahrwerk kann ebenfalls als Ganzes demontiert und wiederverwendet werden. Zur Gewinnung reiner Fraktionen kann das Fahrwerk noch weiter in seine Bestandteile zerlegt werden und so CFK, Kunststoff, Aluminium und Stahlbauteile gewonnen werden, sowie das Rad aus Gummi. Flügel, Flossen und Rumpf von Segelflugzeugen sind in der Regel aus dem gleichen Material gefertigt. Sie können beispielsweise vollständig aus GFK, aus CFK oder einer Gerüststruktur (Holz, Aluminium) überzogen mit einer Haut (Metall, Stoff) sein. Während bei Segelflugzeugen aus einem Material keine weitere Separation nötig ist, um reine Materialfraktionen zu erhalten, müssen bei Segelflugzeugen, die aus Gerüst und Haut/Beplankung bestehen, diese noch voneinander getrennt werden.

4.3.2.4 Demontage von Motorseglern

Im Gegensatz zum Segelflugzeug verfügt ein Motorsegler zusätzlich zu Rumpf-, Trag-, Leit-, Steuer- und Fahrwerk auch über ein Triebwerk, welches einen Motor, Propeller, Treibstoffbehälter, Öl, Kühlwasser sowie Auspuffanlage umfasst. Die zusätzlichen notwendigen Schritte bei der Trockenlegung sind in nachfolgender Tabelle festgehalten.

Tabelle 54: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von Motorseglern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle und Treibstoff absaugen/abpumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
2	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol- Mischungen		Getrennt erfassen und sicher lagern
	Bremsflüssigkeiten	hochsiedendes Glykol	Regenerierung evtl. möglich	Getrennt erfassen und sicher lagern

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
3	Ballastwasser	Wasser		keine gesonderten Anforderungen an Lagerung
	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
4	Wassertank reinigen	Kunststoff	Ja	
	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Die Entnahme von schadstoffbelasteten EAG kann im Zuge der Demontage der Motorsegler erfolgen. Schritte und Ablauf der Demontage von Motorseglern sind in Tabelle 55 zusammengefasst.

Tabelle 55: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage Motorsegler

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von Ausrüstungsgegenständen			
	Fallschirm(e)	Kunstfaser (PA, Polyester)	Ja	
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen			
	Höhenflosse		Eingeschränkt	
	Flügel		Eingeschränkt	

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	Armaturenbrett inkl. Elektrogeräte und Instrumente)	Diverse	Ja	EAG, Sammelgruppe 5 nach ElektroG
	Sitzschale inkl. Sitz und Anschnallgut	Diverse	Ja	
	Fahrwerk	Diverse	Ja	
3	Entfernen und Abschneiden weiterer Bauteile			
	Haube	Plexiglas	Eingeschränkt	Kunststoffe
	Triebwerk	Diverse	Ja	
	Steuerstangen	Stahl Aluminium		Stahl Aluminium

Die Demontage von Motorseglern folgt dem gleichen Schema wie die Demontage von Segelflugzeugen, wird allerdings ergänzt um die Demontage des Triebwerks. Auch bei Motorgleitern können Wartungs- und Flughandbücher Anleitungen zur Demontage des Triebwerks und/oder seiner Komponenten wie beispielsweise dem Motor und dem Treibstofftank enthalten (Diamond Aircraft Industries GmbH, 2016; Schempp-Hirth Flugzeugbau GbmH, 2007).

4.3.2.5 Demontage von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t

Die Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 56: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/abpumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
2	Treibstoffe absaugen			

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
3	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol- Mischungen		Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole		Getrennt erfassen und sicher lagern
	Bremsflüssigkeiten	Hochsiedendes Glykol	Regenerierung evtl. möglich	Getrennt erfassen und sicher lagern
4	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
5	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Die Entnahme von schadstoffbelasteten Elektrogeräten kann im Zuge der Demontage der Motorsegler erfolgen. Schritte und Ablauf der Demontage von einmotorigen Flugzeugen bis 2t sind in Tabelle 57 zusammengefasst.

Tabelle 57: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage einmotoriger Flugzeuge bis 2 t

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von Ausrüstungsgegenständen			
	Fallschirm(e)	Kunstfaser (PA, Polyester)	Ja	
2	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen			
	Höhenleitwerk inkl. -flosse und -runder	Diverse	Eingeschränkt	
	Seitenleitwerk inkl. -flosse und -runder	Diverse		
	Flügel	Diverse		
	Armaturenbrett inkl. Elektrogeräte und Instrumente)	Diverse	Ja	EAG, Sammelgruppe 5 nach ElektroG
	Sitze	Diverse	Ja	
	Propellernarbe	Leichtmetalllegierung Stahllegierung		Nichteisenmetalle Stahl
	Propeller	Diverse		
3	Entfernen und Abschneiden weiterer Bauteile			
	Scheiben	Plexiglas	Eingeschränkt	Kunststoffe
	Triebwerk	Diverse	Ja	
	Steuerstangen	Stahl Aluminium		Stahl Aluminium
	Fahrwerk	Diverse		

Wie bei Segelflugzeugen und Motorseglern enthalten die Wartungs- und Flughandbücher für einmotorige Flugzeuge bis 2 t Anleitungen zur Demontage, u.a. zur Demontage von Flügel, Leitwerken und Propeller (Aeroprakt Ltd, 2017). Aufgrund der Materialvielfalt, die für diese Bauteile eingesetzt wird, ist eine eindeutige Zuteilung zu einzelnen Materialfraktionen und Abfallschlüsseln oftmals nicht ohne weiteres möglich. Ein Seitenleitwerk beispielsweise kann aus GFK oder CFK bestehen (Aquila Aviation International GmbH, 2014; Diamond Aircraft Industries Inc., 2005), aus Stahlrohrfachwerk beplankt mit Holz (Austrian Aviation Museum, 2017); aus einem GFK-Schaum-Sandwichverbund (Glaser-Dirks Flugzeugbau GmbH, 1982), aus Aluminium (Pilatus Aircraft Ltd, 2020) oder aus Blechrippen mit Aluminiumhaut (Cessna

Aircraft Company, 2014). Monomaterialien aus GFK, CFK und Aluminium können einfach den jeweiligen Fraktionen zugeordnet werden. GFK-Schaum-Sandwichverbund kann auch der GFK-Fraktion zugeordnet werden. Im Falle des Stahlrohrfachwerkes sollte zunächst die Holzbeplankung entfernt werden, sodass bei Materialien separat mit der Stahlfraktion und der Holzfraktion verwertet werden können. Gleiches gilt für die Blechrippen mit Aluminiumhaut. Das Vorgehen, dass zunächst die Bauteile vom Flugzeug abgenommen werden und daraufhin weiter entsprechend den Materialien zerlegt werden, ist auch für die übrigen Leitwerke, Flossen, Ruder, Flügel und, nachdem alles andere demontiert wurde, für den Rumpf sinnvoll. Alternativ zur manuellen Separation von Materialien können diese auch in etablierten Recyclinganlagen, bestehend aus Zerkleinerungs- und anschließenden Sortierschritten, separiert werden. In Wartungshandbüchern wird empfohlen, den Motor nur von Fachbetrieben demontieren zu lassen (Aeroprakt Ltd, 2017). Aufgrund des Gewichts des Motors sind für die Demontage Hebevorrichtungen notwendig. Um an den Motor zu gelangen kann die Motorabdeckung entfernt werden.

4.3.2.6 Demontage von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t

Anders als einmotorige Flugzeuge bis 2 t können Flugzeuge dieser Flugzeugklasse auch über Toiletten verfügen. Dementsprechend erweitert sich die Trockenlegung um die Entfernung von Frisch-, Grau- und Schwarzwasser. Die Schritte zur Trockenlegung und zur Gefahrstoffentnahme bei zweimotorigen Flugzeugen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t sind in Tabelle 58 zusammengefasst.

Tabelle 58: Schritte der Trockenlegung und Gefahrstoffentnahme von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
1	Öle absaugen/ pumpen			
	Motoröl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
	Getriebeöl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
	Hydraulisches Öl	Öl	Vorbereitung zur Wiederverwendung möglich	Getrennt erfassen und lagern, Entsorgung gemäß AltölV
2	Wasser entnehmen			
	Frischwasser	Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche)	Leicht verunreinigtes Wasser	nein	Abpumpen und in Kanalisation einleiten
	Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	Stark verunreinigtes Wasser	nein	abpumpen und in Kanalisation einleiten

	Flüssigkeit	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Entnahme, Lagerung und Entsorgungspflichten
3	Treibstoffe absaugen			
	Benzin	Benzin	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
	Diesel	Diesel	Ja, zum Eigenverbrauch des Demontagebetriebes	Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß AltöIV
4	Weitere Flüssigkeiten entnehmen			
	Kühlflüssigkeiten	Wasser/ Ethylenglykol- Mischungen		Getrennt erfassen und sicher lagern
	Frostschutzmittel	Alkohole		Getrennt erfassen und sicher lagern
	Bremsflüssigkeiten	hochsiedendes Glykol	Regenerierung evtl. möglich	Getrennt erfassen und sicher lagern
5	Tanks reinigen, entgasen und entsorgen			
	Kraftstofftank reinigen und entgasen	Aluminium, Stahl oder Kunststoff	Ja	Öffnung der Lüftungswege, falls erforderlich. Automatische Entlüftung oft vorhanden
	Wassertank reinigen	Kunststoff	Ja	
6	Gefahrstoffentnahme			
	Batterien			Getrennt erfassen und sicher lagern, Entsorgung gemäß BattG
	Feuerlöscher		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Ölfilter		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern
	Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten		nein	Getrennt erfassen und sicher lagern

Wie bei Segelflugzeugen und Motorseglern enthalten die Wartungs- und Flughandbücher für einmotorige Flugzeuge bis 2 t Anleitungen zur Demontage, u.a. zur Demontage von Flügel, Leitwerken und Propeller (Aeroprakt Ltd, 2017). Aufgrund der Materialvielfalt, die für diese Bauteile eingesetzt wird, ist eine eindeutige Zuteilung zu einzelnen Materialfraktionen und Abfallschlüsseln oftmals nicht ohne weiteres möglich. Ein Seitenleitwerk beispielsweise kann aus GFK oder CFK bestehen (Aquila Aviation International GmbH, 2014; Diamond Aircraft Industries Inc., 2005), aus Stahlrohrfachwerk beplankt mit Holz (Austrian Aviation Museum,

2017); aus einem GFK-Schaum-Sandwichverbund (Glaser-Dirks Flugzeugbau GmbH, 1982), aus Aluminium (Pilatus Aircraft Ltd, 2020) oder aus Blechrippen mit Aluminiumhaut (Cessna Aircraft Company, 2014). Monomaterialien aus GFK, CFK und Aluminium können einfach den jeweiligen Fraktionen zugeordnet werden. GFK-Schaum-Sandwichverbund kann auch der GFK-Fraktion zugeordnet werden. Im Falle des Stahlrohrfachwerkes sollte zunächst die Holzbeplankung entfernt werden, sodass bei Materialien separat mit der Stahlfraktion und der Holzfraktion verwertet werden können. Gleiches gilt für die Blechrippen mit Aluminiumhaut. Das Vorgehen, dass zunächst die Bauteile vom Flugzeug abgenommen werden und daraufhin weiter entsprechend den Materialien zerlegt werden, ist auch für die übrigen Leitwerke, Flossen, Ruder, Flügel und, nachdem alles andere demontiert wurde, für den Rumpf sinnvoll. Alternativ zur manuellen Separation von Materialien können, diese auch in etablierten Recyclinganlagen, bestehend aus Zerkleinerungs- und anschließenden Sortierschritten, separiert werden. In Wartungshandbüchern wird empfohlen, den Motor nur von Fachbetrieben demontieren zu lassen (Aeroprakt Ltd, 2017). Aufgrund des Gewichts des Motors sind für die Demontage Hebevorrichtungen notwendig. Um an den Motor zu gelangen kann die Motorabdeckung entfernt werden. Die einzelnen Schritte der sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Obwohl die Demontage vergleichbar ist mit der Demontage von einmotorigen Flugzeugen bis 2 t fällt sie bei zweimotorigen Flugzeugen bis 2 t und ein- oder zweimotorigen Flugzeugen bis 5,7 t aufwendiger aus, da sie entweder über mehr Motoren und/oder über ein größeres Gewicht sowie zusätzlichen Bauteilen verfügt. Schritte der Demontage sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 59: Checkliste und Handlungsanweisung Demontage von zweimotorigen bis 2 t und ein- und zwei motorigen Flugzeugen bis 5,7 t

	Bauteil	Material	Mögliche Wiederverwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
1	Entnahme von Ausrüstungsgegenständen			
2	Fallschirm(e)	Kunstfaser (PA, Polyester)	Ja	
	Entnahme von (möglicherweise) wiederverwendbaren und einfach entnehmbaren Bauteilen			
	Höhenleitwerk inkl. -flosse und -ruder	Diverse	Eingeschränkt	
	Seitenleitwerk inkl. -flosse und -ruder	Diverse		
	Flügel	Diverse		
	Armaturenbrett inkl. Elektrogeräte und Instrumente)	Diverse	Ja	EAG, Sammelgruppe 5 nach ElektroG

	Bauteil	Material	Mögliche Wieder- verwendbarkeit	Fraktion und Entsorgungspflichten
	Sitze	Diverse	Ja	
	Propellernarbe	Leichtmetalllegierung Stahllegierung		Nichteisenmetalle Stahl
	Propeller	Diverse		
3	Entfernen und Abschneiden weiterer Bauteile			
	Klimatisierungssystem			
	Toilettensystem			
	Scheiben	Plexiglas	Eingeschränkt	Kunststoffe
	Triebwerk	Diverse	Ja	
	Steuerstangen	Stahl Aluminium		Stahl Aluminium
	Fahrwerk	Diverse		

Flugzeuge bis 5,7 t verfügen zumeist über ein vom Cockpit getrenntes Abteil für Passagiere. Dieses verfügt über einen Boden, auf dem Sitze angebracht sind und eine Verkleidung hinter der sich Kabel, Leitungen (Klimatisierung) und ähnliches verbirgt. Während die Sitze einfach abgeschraubt und entfernt werden können, kann die Verkleidung möglicherweise nicht zerstörungsfrei entfernt werden. Sobald die Verkleidung entfernt ist, können die dahinterliegenden Kabel und Leitungen ebenfalls entfernt und in den entsprechenden Fraktionen (z.B. Kunststoff und Kabel) zugeführt werden. So wird außerdem der Rumpf für die weitere Verwertung freigelegt.

4.3.2.7 Aufbereitung und Verwertung demontierter Teile, entnommener Flüssigkeiten und Rümpfe

Informationen zur Verwertung demontierter Teile und entnommener Flüssigkeiten sind in Kapitel 4.3.3.1 enthalten.

Informationen zur Aufbereitung und Verwertung von Rümpfen sind in den Kapiteln 4.3.3.3 und 4.3.3.4 enthalten.

4.3.3 Aufbereitung und Verwertung Bauteile und Flüssigkeiten Sportboote und Leichtflugzeuge

4.3.3.1 Thematik Abfallschlüsselnummer

Sportboote

Da es keine spezifische Abfallschlüsselnummer (ASN) für ein Sportboot gibt, werden –wie bereits in vorherigen Kapiteln beschrieben- Altboote oft als Abfallschlüsselnummer 16 01 04* (Altfahrzeuge) oder 16 01 06 (Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten) bei Entsorgungs-/Demontagebetrieben angeliefert. Die fehlenden spezifischen Abfallschlüsselnummern für Sportboote bzw. die in der Praxis häufig verwendeten Abfallschlüsselnummern für Altfahrzeuge führen einerseits zu statistischen Schwierigkeiten und andererseits dazu, dass Autoschredder wegen der genannten Abfallschlüsselnummern Altboote annehmen dürften, für deren Recycling oder Demontage sie aber keine ausreichende Ausstattung/Vorgehensweise haben.

Sobald das Altboot behandelt wurde und verschiedene Materialien und Bauteile als Abfall anfallen, müssen diesen weitere Abfallschlüsselnummern zugewiesen werden, die eine anschließende Verwertung ermöglichen. Nach Informationen aus der Praxis geht hervor, dass um die 50 unterschiedliche Abfallschlüssel notwendig sein können, um alle Teile eines Sportbootes sachgerecht zu entsorgen (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Da es keine eindeutige Abfallschlüsselnummer für ein gesamtes Sportboot gibt, gibt es allerdings auch keine spezifischen Abfallschlüsselnummern für entnommene Bauteile.

Entsprechend den Vorgaben der AVV ist dabei für die Zuordnung zu den (zweistelligen) Kapiteln, (vierstelligen) Gruppen und letztlich den (sechsstelligen) Abfallschlüsselnummern grundsätzlich die Herkunft des Abfalls maßgeblich. Insbesondere sind die herkunfts- und branchenbezogenen Kapitel 01–12 und 17–20 vorrangig vor den Kapiteln 13–16 zu prüfen, von denen wiederum Kapitel 16 die Funktion eines nachrangigen Auffangkapitels hat.

Vor diesem Hintergrund ist die – offenbar auch in der Praxis zu beobachtende – Tendenz, für die aus dem Boot ausgebauten/ausgesägten Teile läge Schlüsselnummern des Kapitels 16 zu verwenden, methodisch zweifelhaft (auch wenn die Gruppe 16 01 „Abfälle aus der Demontage von Altfahrzeugen“ mitumfasst).

Vielmehr ist zu empfehlen, für Bauteile aus der Demontage von Sportbooten, bei der eine mechanische Behandlung stattfindet (mindestens Sortierung und Zerkleinerung), Abfallschlüssel aus der Gruppe 19 12 (Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.) zu verwenden.

Für GFK Rumpfe aus Altbooten wird in der Praxis die Abfallschlüsselnummer 07 02 13 „Kunststoffabfälle“ verwendet (Input Recyclingunternehmen 1, 2021). Da 07er Abfallschlüsselnummern üblicherweise genutzt werden, um Produktionsabfälle zu charakterisieren, erschließt sich nicht, warum diese für GFK-Abfälle aus der Demontage von Sportbooten verwendet werden sollten. Er wird stattdessen die Verwendung des Schlüssels 19 12 04 (Abfälle aus Kunststoff und Gummi aus der mechanischen Behandlung von Abfällen) vorgeschlagen.

Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, muss der Rechtsrahmen der Herstellerverantwortung berücksichtigt werden (z.B. ElektroG, BattG). Die Gesetze sind ebenfalls in der Tabelle mit dargestellt. Eine Verwertung nach GewAbfV scheint bei Sportbooten nicht gegeben zu sein, da diese weder Bauabfall noch „Siedlungsabfälle aus anderen Herkunftsbereichen als privaten Haushaltungen, die aufgeführt sind in Kapitel 20 der Anlage der AVV“ sind.

Alternativ zu der Verwendung aktuell vorhandenen Abfallschlüsselnummern, könnte ein möglicher Lösungsansatz die Schaffung neuer spezifischen Abfallschlüsselnummern für Sportboote und deren demontierten Bauteile sein (siehe hierzu Kapitel 4.3.6.4).

Leichtflugzeuge

Die Thematik der Abfallschlüsselnummern in Bezug auf Sportboote ist genauso auf die Leichtflugzeuge übertragbar.

Die nachfolgende Tabelle stellt dar, welche Abfallschlüssel für Abfallfraktionen, die bei der Bootsdemontage bzw. Leichtflugzeugdemontage vermutlich anfallen, erwartet werden. Sie stellen allerdings nur ein mögliches Szenario dar, da Abfallschlüsselnummern von vielen Faktoren abhängen und je nach Genehmigung variieren können.

4.3.3.2 Verwertung demontierter Teile und entnommener Flüssigkeiten

Tabelle 60: Verwertung von Fraktionen, die bei der Demontage von Sportbooten und Leichtflugzeugen generiert werden

Fraktionen/Bauteile	Mögliche Abfallschlüsselnummern nach AVV
Hydrauliköle	13 01 ff Abfälle von Hydraulikölen
Maschinenöle	13 02 ff Abfälle von Maschinen-, Getriebe- und Schmierölen
Bilgenöle	13 04 ff Bilgenöle
Flüssige Brennstoffe	13 07 ff Abfälle aus flüssigen Brennstoffen
Kühlfüssigkeiten	14 06 ff. Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln sowie Schaum- und Aerosoltreibgasen 16 10 01* wässrige flüssige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten oder 16 10 02 wässrige flüssige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 01 fallen
Abfälle aus der Reinigung von Tanks	16 07 ff Abfälle aus der Reinigung von Transport- und Lagertanks und Fässern
Frischwasser	16 10 02 wässrige flüssige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 01 fallen
Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche)	16 10 01* wässrige flüssige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten oder 16 10 02 wässrige flüssige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 01 fallen
Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	16 10 01* wässrige flüssige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten
ÖlfILTER	16 01 07* ÖlfILTER
Explosivstoffe	16 01 10* explosive Bauteile (z.B. aus Airbags)
Bremsflüssigkeiten	16 01 13* Bremsflüssigkeiten

Fraktionen/Bauteile	Mögliche Abfallschlüsselnummern nach AVV
Frostschutzmittel	16 01 14* Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten 16 01 15 Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen
Altreifen (z.B. Einsatz anstelle von Federn)	16 01 03 Sowie auch 19 12 04 Kunststoff und Gummi
Gefährliche Bauteile	16 01 09* Bauteile, die PCB enthalten 16 01 11* asbesthaltige Bremsbeläge
Elektroaltgeräte – Entnahme bei Demontage Enthält auch Elektromotoren	16 02 ff. Elektrische und elektronische Geräte und deren Bauteile
Elektrogeräte, die PCB, Asbest oder FCKWs enthalten	16 02 13* gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen
Kabel	16 02 15* aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile Spiegeleintrag: 16 02 16 aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen In der Praxis werden auch die ASN 17 04 10* bis 17 04 11 verwendet, allerdings erscheinen diese aus theoretischer Sicht sachfremd.
Gasflaschen	Je nach enthaltenem Gas: Oder 16 01 16 Flüssiggasbehälter Oder 16 05 04* gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschließlich Halonen) Oder 16 05 05
Sauerstoffgeneratoren	16 05 07* gebrauchte anorganische Chemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten
Feuerlöscher	16 05 04* gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschließlich Halonen)
Batterien und Akkumulatoren	16 06 ff Batterien und Akkumulatoren
Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle – Entnahme bei Gefahrstoffentnahme	20 01 21* Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle 16 01 08* quecksilberhaltige Bauteile
Künstliche Mineralfasern	17 06 03* anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
Holz von Schiffsteilen (z.B. Rumpf)	17 02 04 * „Altholz von abgewrackten Schiffen und Waggons“ (A VI) Falls Sportboote nicht als Schiffswrack gelten: 19 12 06* Holz, das gefährliche Stoffe enthält
Holz von Möbeln	20 01 38 (für Holzmöbel aus A I bis A III)

Fraktionen/Bauteile	Mögliche Abfallschlüsselnummern nach AVV
Anderes Holz aus Sportbooten	19 12 06* Holz, das gefährliche Stoffe enthält 19 12 07 Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 19 12 06 fällt
Eisenmetalle	19 12 02 Eisenmetalle 16 01 17
Edelstahl (V2A, V4A)	19 12 02 Eisenmetalle
Blei	19 12 03 Nichteisenmetalle In der Praxis wird auch die ASN 17 04 03 verwendet, allerdings erscheint diese aus theoretischer Sicht sachfremd.
Nichteisenmetalle (z.B. Aluminium, Kupfer)	19 12 03 Nichteisenmetalle In der Praxis wird auch die ASN 17 04 03 verwendet, allerdings erscheint diese aus theoretischer Sicht sachfremd.
Glas	19 12 05 Glas
Beton	19 12 12 In der Praxis wird auch die ASN 17 01 01 verwendet, allerdings erscheint diese aus theoretischer Sicht sachfremd.
Segeltuch	19 12 08 Textilien 19 12 04 Kunststoff und Gummi
Seile aus Naturfaser Seile aus Kunststoff	19 12 04 Kunststoff und Gummi (für Seile aus Kunststoff) Je nach Menge werden in der Praxis Seile vermutlich dem Sperrmüll zugeführt.
Kunststoffe	19 12 04 Kunststoff und Gummi In der Praxis wird auch die ASN 16 01 19 verwendet, wobei zu beachten ist, dass Kapitel 19 AVV vorrangig anzuwenden ist.
Gummi, das nicht Altreifen ist	19 12 04 Kunststoff und Gummi
Matratzen, Polstermöbel	19 12 04 Kunststoff und Gummi
Sperrmüll	20 03 07 Sperrmüll
Rumpf	Siehe je nach Rumpf-Material den Eintrag unter GFK, Holz etc.
GFK	19 12 04 bzw. 07 02 13, 16 01 19 und 17 09 04 wie zu Beginn vorgeschlagen kommen uns als nicht passende ASN vor 16 01 22 (Informations-Portal-Abfallbewertung, 2020)
CFK	19 12 04 bzw. 16 01 22 (Informations-Portal-Abfallbewertung, 2020)

Verwertungsmöglichkeiten ausgewählter Fraktionen

Segeltuchrecycling

Segeltücher können je nach Zustand weiter- oder wiederverwendet werden. Dabei können neue Produkte aus dem Tuchmaterial hergestellt werden, wie z.B. Rucksäcke, Taschen oder Jacken (Upcycling). Geeignet sind hier am besten Segeltücher aus Polyester (Laminat-, Kevlar- und Carbonsegel werden meistens nicht angenommen). Die alten Segeltücher können an spezialisierte Recyclingunternehmen verkauft werden (Taschenagentur Kramer, 2022). Segel in gutem Zustand können auf dem Sekundärmarkt weiterverkauft werden. Nicht recycelbare Tücher können vermutlich, je nach Material, im Sperrmüll oder mit anderen Kunststoffen (siehe oben) zusammen entsorgt werden.

Seile

Kunststoffseile und Taue können recycelt werden. Hierfür gibt es spezialisierte Firmen, welche Seile, Tau, Leinen und Fangnetze aus PE und PP annehmen. Diese werden in vielen Häfen separat gesammelt und dann an die Firmen weitergegeben. Der Großteil der gesammelten Seile und Taue werden jedoch aktuell thermisch energetisch verwertet (Dau et al., 2020).

4.3.3.3 Aufbereitung Rümpfe

Nach der Demontage von einfach zu entfernenden und größeren wiederverwendbaren Bauteilen wie den Anker (bei Sportbooten), das Fahrwerk, abnehmbaren Hauben, oder Türen, kann die restliche Struktur vor Ort an zugewiesenen Zerlegestellen der Marina bei Sportbooten oder am Flugplatz (Parkplatz) bei Flugzeugen des Demontage- oder Recyclingunternehmens zerlegt bzw. weiter zu einem Recyclingunternehmen transportiert und verkauft werden. Der Materialwert bestimmt dabei den Verkaufswert, oder die zusätzliche Gebühr, die dann zum Beispiel für die Entsorgung von FVK-Rumpfstrukturen anfällt (siehe Tabelle 9). Demontagen fallen unter das Abfallrecht.

Wegen den kleineren Querschnittsdicken der Rumpfstrukturen von Sportbooten und Leichtflugzeugen im Vergleich zu Materialdicken von bis zu 8 cm der Rotorblätter aus Windenergieanlagen wird davon ausgegangen, dass die Zerkleinerung von Sportbooten und Leichtflugzeugen Zerkleinerungsaggregate weniger belastet. Jedoch kann die Materialvielfalt wie in Kapitel 3.1.3.3 und 3.2.3.2 gezeigt, viel variabler sein, was dadurch viel schneller zu einer Vermischung von Abfällen führen kann und zu einem größeren Aufwand in der Separierung von Stoffen führt. Abhängig von dem Aufwand wird der Rumpf bei FVK und zu großer Vermischung unterschiedlicher Stoffe spätestens nach einer Metallabscheidung weiter energetisch verwertet. Im Ausland werden nicht verwertbare Bestandteile auch deponiert.

Siles (2011) zeigt abhängig von dem Planungsaufwand zwei Möglichkeiten auf, um Flugzeuge aufzubereiten, die generell auch auf Sportboote übertragbar sind:

- ▶ Eine geringe Planungsarbeit für die Analyse der Materialien in der Rumpfstruktur und eine direkte Weitergabe nach der Zerlegung in die Zerkleinerung ohne weitere Sortierung. Damit bleiben die Kosten und der Zeitaufwand gering, aber auch der Mehrwert.
- ▶ Ein größerer Aufwand für die Materialanalyse, und dadurch höhere Effizienz in der Sortierung der unterschiedlichen Legierungs- und Stoffgruppen (Kunststoffe, FVK, Kupfer, Aluminium, Stahl) wie in der Durchführung des PAMELA Projekt. Durch den Mehraufwand entstehen höhere Kosten, aber auch höhere Gewinne beim Recycler durch die besseren Materialreinheiten.

- ▶ Mit dem Ziel hoher Recyclingquoten und einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft wird jedoch die zweite Variante angestrebt.

Da wenig Daten über Zerlegung und Zerkleinerung von Rumpfstrukturen für Sportboote und Leichtflugzeuge verfügbar sind, ist es schwierig Aussagen über die genauen Umweltauswirkungen dieser Prozesse zu machen. Das Ziel der Zerlege- und Zerkleinerungsprozesse sollte sein, den Energiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren, die maximale Schnittanzahl zu optimieren und die Staubemissionen gering zu halten. Der zu erreichende Verwertungsgrad der zu verschrottenden Rümpfe muss bei den Sportbooten und Leichtflugzeugen individuell geplant und durchgeführt werden. Der tatsächliche Werkzeug- und Gerätebestand der Demontageunternehmen bestimmt die Durchführbarkeit einer möglichst stoffreinen Separierung und je nach Auftrag müssen gegebenenfalls weitere Werkzeuge oder Maschinen angemietet werden.

Diesbezüglich wurde von 2012-2015 das Projekt „Modularisierung des Flugzeug-Recyclings durch Entwicklung und Erprobung einer mobilen Recyclingeinheit im Aerospace-Sektor“, kurz MORE-AERO, durchgeführt. Das Ziel des Projektes war es mobile Recycling-Einheiten für Altflugzeuge sowie entsprechende Recyclingtechnik und -logistik zu entwickeln. So wurde ein auf dem LKW transportierbares Zerkleinerungsaggregat entwickelt, das den flexiblen Einsatz unterschiedlicher Werkzeuge (Greifer und Schere) ermöglicht und die Flugzeugrecyclingfirma MORE AREO GmbH gegründet (TU Clausthal, 2017; Woidasky, 2013)⁸⁸.

Nachfolgend wird ein Überblick der vorhandenen Zerlegetechnologien geben und anschließend wird auf die Zerkleinerung und Materialseparierung näher eingegangen. Im Text wird darauf hingewiesen, sofern etwas spezifisch nur für Sportboote oder Leichtflugzeuge relevant ist.

Zerlegetechnologien

Die Zerlegetechnologien können nach der Trockenlegung der Boote und Flugzeuge und der Entnahme von wiederverwendbaren Bauteilen zur ersten Zerlegung von Rümpfen und größeren Strukturen wie Tragflügel eingesetzt werden zum besseren Transport der Abfälle oder als Vorbereitung für die weitere Zerkleinerung und Verwertung. Die Zerlegetechnologien werden meist eingesetzt, um größere festverbundene Bauteile aufzutrennen, die nicht einfach mit händischen Werkzeugen (Brechstange, Schraubenschlüssel, Handsäge) demontierbar sind. Bei Kenntnisnahme der Stellen von eingebauten Materialien können so unterschiedliche Stoffströme schon bei der ersten Zerlegung voneinander getrennt werden. So kann zum Beispiel eine weitere Kontaminierung von CFK in den GFK Stoffstrom ausgeschlossen werden, sollten diese im Voraus abgetrennt werden. Bei hybriden FVK ist diese Abtrennung nicht vollständig möglich, und eine spätere mechanische Trennung von unterschiedlichen FVK erst in Entwicklung (Interreg France-Wallonie-Vlaanderen, 2020). Für weitere Infos über Zerlegetechnologien wird hier auf den UBA Text von Kühne et al. (2022) hingewiesen.

Wasserstrahlschneiden

Für Sportboote und Leichtflugzeuge jeglicher Art kann das Wasserstrahlschneiden eingesetzt werden, um unterschiedliche Rumpfmaterialien voneinander zu trennen und den Abfall für eine weitere Zerkleinerung vorzubereiten. Dazu wird durch einen hohen Druck mit bis zu 6.000 bar das Wasser aus einer Düse gestoßen. Es ist möglich, dem Schneidmedium ein abrasives Mittel hinzuzugeben. Das Wasserstrahlschneiden lässt im Gegensatz zur Seilsäge und Kreissäge eine freie Schneidkontur zu. Die variable Schneidkontur ermöglicht es einzelne festverbundene Teile

⁸⁸ Beteiligte Partner: Keske Entsorgung GmbH, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD) der TU Clausthal, Allcox International GmbH, Süderelbe AG; Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

in einem Durchgang Freihand oder mit einem Roboterarm zuzuschneiden, ohne den Schnitt neu ansetzen zu müssen. Vorteilhaft sind die reduzierten Emissionen hinsichtlich der Stauberzeugung, die in dem Wasser gebunden werden. Jedoch ist eine weitere Wasseraufbereitung notwendig (Kühne et al., 2022).

Kreissäge

Die Kreissäge gehört zum Stand der Technik zum Trennen von FVK bei Rotorblattabfällen. Es werden Diamantkreissägen und Wolfram-Carbid-Kreissägen eingesetzt. Je nach Schneidetiefe werden unterschiedliche mobile Bagger mit unterschiedlichen Sägeblatt-Durchmessern eingesetzt. Meist wird zusätzlich Kühlwasser genutzt (Kühne et al., 2022).

Die Kreissäge kann bei Rümpfen und Strukturen aus FVK, Holz oder Kunststoffen eingesetzt werden. Es sind nur einzelne, gerade Schnitte möglich.

Seilsäge

Das Prinzip einer Seilsäge funktioniert folgendermaßen: Ein zu trennender Körper wird mit einer Seilsäge zuerst eingespannt, das Seil beschleunigt und durch die Seilspannung kann damit ein bestimmter Körper durchschnitten werden. Zusätzliches Kühlwasser wird, wie bei der Kreissäge benötigt, um insbesondere ein Schmelzen der Schneidelemente zu verhindern (Kühne et al., 2022).

Mit dieser Methode ist es möglich große Strukturen wie Bootsrümpfe und Flugzeugstrukturen aufzuschneiden.

Hydraulische Schere (Schrottschere) / Greifer

Bei dem Abriss im Bauwesen sind hydraulische Scheren oder Greifzangen der Stand der Technik. Für Rotorblattabfälle werden diese auch zur Vorzerkleinerung verwendet. Auch bei Rümpfen aus Metall gehören hydraulische Scheren zum Stand der Technik und sind bei größeren Flugzeugen im Einsatz. Durch Scherkräfte können unterschiedlichste Materialien voneinander aufgetrennt und separiert werden. Meistens sind die hydraulischen Scheren wie die Kreissägen an mobilen Baggern angebracht und ermöglichen dadurch flexible Zuschnitte. Eine praktische Zerlegung mit niedrigen Emissionen und ein geringer Werkzeugwechsel machen die hydraulischen Scheren oder Greifzangen zu einem Standardwerkzeugen der Demontage von großflächigen Bauteilen oder Konstruktionen. Der Nachteil ist die ungerade Schneidkontur und der ungenaue Schneidverlauf im Gegensatz zur Seilsäge, Kreissäge oder der Nutzung der Wasserstrahl-Methode (Kühne et al., 2022).

Hydraulische Scheren sind eine pragmatische Möglichkeit kleinere Strukturen wie Sportboote und Leichtflugzeuge aufzubrechen. Die Schwierigkeit liegt jedoch in der Genauigkeit der Schnittkontur, damit es nicht zu einer Vermischung von unterschiedlichen Materialien kommt, wie beispielsweise bei Leichtflugzeugen und verschiedener verbauten FVK.

Alternative Schneidmethoden

Zielgerichtete Sprengschneidladungen können an den Strukturen angebracht werden, um Bauteile voneinander zu trennen. So konnten in Versuchen Rotorblätter in ihre beiden Einzelschalen getrennt werden. Jedoch werden zusätzliche Genehmigungen von der Behörde benötigt und was einen höheren bürokratischen Aufwand nach sich zieht (Kühne et al., 2022). Aufgrund der kleineren Abfallmengen bei den Sportbooten und Leichtflugzeugen wird die Nutzung von Sprengladungen als nicht geeignet eingestuft.

Eine weitere Technik ist das autogene Brennschneiden, welches wie das Plasma- oder Laserschneiden zu den thermischen Trennverfahren gehört. Hierbei wird Sauerstoff und

Acetylen gezündet und durch die hohe Brenntemperatur können unlegierte und niedriglegierten Stähle geschnitten werden (Horn, 1951). Stahlrümpfe und Stahlkonstruktionen aus dem Bootsbau können mit dem Brennschneider zerlegt werden. Jedoch sind Rümpfe aus Aluminium und hochlegierte Einsatzstähle in den Flugzeugen nicht mit dem Brennschneider zu trennen. Diese sind von den genannten thermischen Trennverfahren nur mit Plasma- und Laserschneider trennbar.

Zerkleinerung

Das Ziel der Zerkleinerung ist die Kompaktierung des Abfalls, den Aufschluss von Materialverbunden und Vorbereitung für die jeweilige Verwertungsrouten. Nach der Zerkleinerung sollten bei FVK weitere Eisen und Nicht-Eisen Metallseparatoren nachgeschaltet sein, um den einzelnen Abfallstrom metallfrei zu machen. Eine detaillierte Analyse der Zerkleinerung in Bezug auf FVK findet sich in Kühne et al. (2022) wieder, worin auf gängige Literatur aus der Zerkleinerungstechnik hingewiesen wird (Schubert, 2008; Stieß, 1997; Zogg, 1993).

Nach der Auftrennung des Rumpfs mit einer Zerlegetechnologie sind Zerkleinerungsapparate auszusuchen, die an die Stückgrößen nach der Zerlegung passen. Sollten die maximalen Aufgabegrößen für die Stückgrößen nicht ausreichen, muss eine weitere Vorzerkleinerung z.B. mit hydraulischen Scheren oder Trennschleifen vorgenommen werden.

Folgende bekannte Zerkleinerungsapparate sind für Bootsrümpfe und Flugzeugstrukturen anwendbar:

- ▶ Einwellenzerkleinerer (EWZ) und Mehrwellenzerkleinerer (MWZ)
- ▶ Querstromzerspaner
- ▶ Hammer- und Prallbrecher
- ▶ Hammer- und Prallmühlen
- ▶ Schneidmühlen.

In dem Patent EP 4 015 085 A1, welches eine Vorrichtung zum Zerkleinern von Flächenkörpern darstellt, wird der FVK mittels Zufuhrwalze in tangentialer Richtung zu einer Brechwalze geführt und zerkleinert. Der Vorteil soll, aufgrund der tangentialen Zufuhr, die komplette Zerkleinerung von dem FVK sein, die dadurch kleinere Bruchstücke mit Faserbündeln verhindert, die sonst während der Zerkleinerung von FVK üblich sind (EP 4 015 085 A1).

Die Rumpfstrukturen sind je nach Aufbau entweder komplett aus FVK oder mit Rohrkonstruktionen aus Metallen verstärkt, bzw. die Außenhaut komplett aus Stahl- oder Aluminiumblechen. Wenn möglich sollten die äußeren Strukturen mit Greifern entfernt, von der Rahmenstruktur separiert, danach weiter zerkleinert und in die jeweilige Verwertungsrouten gegeben werden.

In der Regel sind alle genannten Zerkleinerungsapparate anwendbar für die Rümpfe von Sportbooten oder Leichtflugzeugen. Für FVK oder Holz bietet sich die Einteilung nach dem UBA Text von Kühne et al. (2022) an, dem Einsatz von maximal zwei Zerkleinerungsstufen. Die erste Zerkleinerungsstufe kann ein EWZ oder MWZ sein, und als zweite Stufe ist ein Querstromzerspaner, oder eine Hammermühle denkbar. Sollte die Eingabegröße und Endproduktgröße ausreichen, kann theoretisch die Rumpfstruktur mittels einstufigem Hammerbrecher (Autoshredder) zerkleinert werden (Kühne et al., 2022).

Bei rein metallischen Rümpfen, z.B. aus Aluminium oder Stahl, ermöglichen EWZ ein homogenes Zerkleinerungsgut mit geringen Schallemissionen (Schlesinger, 2013). Einstufige Hammerbrecher sind in der Altautoverwertung etabliert und bieten sich als Alternative zu den EWZ an.

Rümpfe aus reinen Kunststoffen können ebenfalls mit EWZ, MWZ oder eine Kombination aus den genannten Zerkleinerungsapparaten zerkleinert werden. Eine schneidende Beanspruchung wie mit Schneidmühlen ist jedoch bei den nicht-spröden thermoplastischen Kunststoffen vorteilhaft.

Sortiertechniken

Eine maschinelle Sortierung ist notwendig, sobald die Produktqualitäten nach einer Zerkleinerung von Mischabfall für eine weitere Verwertung nicht ausreichen. Damit zusammenhängend sind maximal mögliche Verunreinigungen und Reinheiten einzelner Abfallströme, mit denen die jeweilige Verwertung technisch zu Recht kommen muss. Eine vollständige Sortierung einzelner Abfallströme bedingt nach Zerkleinerung ein vollständiger Aufschluss von Verbundmaterialien.

Es gibt eine große Auswahl an Sortiertechniken, die Stoffe anhand unterschiedlicher Materialeigenschaften wie der Dichte, der Größe, der Leitfähigkeit, den magnetischen Eigenschaften usw. voneinander trennen können. Sensorbasierte Trennung mittels Nahinfrarotspektroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse oder laserinduzierten Plasmaspektroskopie werden eingesetzt und die analysierten Stoffe meist mit einem Luftimpuls abgetrennt. Siebe trennen Fraktionen nach Größe, sowie meist grobe Verunreinigungen im Stoffstrom wie Sand oder Erde. Mit Luftseparatoren kann feiner Staub oder leichte Stoffe wie Kunststoffe von Metallen getrennt werden. Auf Schrottplätzen sind zur schnellen Analyse unter anderem Laser-Hand-Spektrometer im Einsatz die mittels der laserinduzierten Plasmaspektroskopie Metalle voneinander unterscheiden können, falls eine grobe Vortrennung bei der Zerlegung notwendig erscheint. Die Kombination aus Sortiertechniken und mehrstufiger Zerkleinerung kann zu einer besseren Aufreinigung von Stoffströmen führen. Jedoch ist die Kenntnis der verbauten Materialien notwendig, um zu wissen welche Sortiertechniken notwendig sind. Eine Liste von möglichen Sortiertechniken ist in dem UBA-Text von Kühne et al. (2022) zu finden, bzw. in Martens & Goldmann (Martens & Goldmann, 2016) im Detail beschrieben.

Metallabscheidung

In der Aufbereitung von Abfällen gehört die Metallabscheidung zum Stand der Technik. Das Ziel ist es aus den jeweiligen Abfallströmen die Eisen und Nicht-Eisen-Metalle abzutrennen. Trotz Zerkleinerung und Separierung können Verunreinigungen an den Metallen wie Kleberreste oder Lacke anhaften, die ein entscheidender Faktor für die weitere Verwertung ist. Besteht der Rumpf hauptsächlich aus FVK, kann es hilfreich sein den Stoffstrom mit Magnetabscheider und Wirbelstromabscheider nach einer Zerkleinerung zu trennen. Für eine Sortierung unterschiedlicher Legierungen kann die laserinduzierten Plasmaspektroskopie eingesetzt werden oder in Kombination, die Röntgentransmission und Röntgenfluoreszenz Sortierung (Horn, 1951).

Magnetabscheider

Die Magnetabscheider finden zahlreiche Anwendung in der Aufbereitung von Abfällen zur Abtrennung von Eisenmetallen und sind entweder vor oder nach Zerkleinerungsprozessen geschaltet. Es wird zwischen Überbandmagnetabscheider und Trommelmagnetabscheider unterschieden (Kühne et al., 2022).

Wirbelstromabscheider

Wirbelstromabscheider werden zur Abtrennung von Nicht-Eisen-Metallen verwendet, wie Aluminium oder Kupfer und werden meist nach dem Magnetabscheider eingesetzt.

Gesonderten Rahmenbedingungen der Zerlegung von Rümpfen von Leichtflugzeugen

Relevante Flughafeneinrichtungen sind von dem Zerlegevorhaben zu benachrichtigen, darunter die werkseitige Feuerwehr, sowie Umwelt- und Sicherheitsmanager*innen. Spezielle vorbereitende Maßnahmen bei Leichtflugzeugen sind eine zusätzliche Gasanalyse zur Identifizierung des verbleibenden Explosionsrisiko in den verbleibenden Tanks vor dem ersten Zerlegungsschritt. Zur Bearbeitung ist ein harter Untergrund notwendig. Des Weiteren sollten die Regeln am Flughafen beachtet werden. Eine Identifizierung der Abfallmaterialien soll abgeschlossen sein, zur Bestimmung der weiteren Verwertungswege. Während dem Zerlegen sind zusätzliche Abfallcontainer notwendig, die nach Verladung ein weiteres Verwehen von leichtem Abfall auf dem Zerlegeplatz verhindern. Eine Installation eines hohen Zauns, zur Sicherung und Abschirmung des Winds in Distanz zu der Lande- oder Anflugbahn kann zusätzlich hilfreich sein (SGI Aviation & IATA, 2018).

4.3.3.4 Verwertung Rumpfmateral

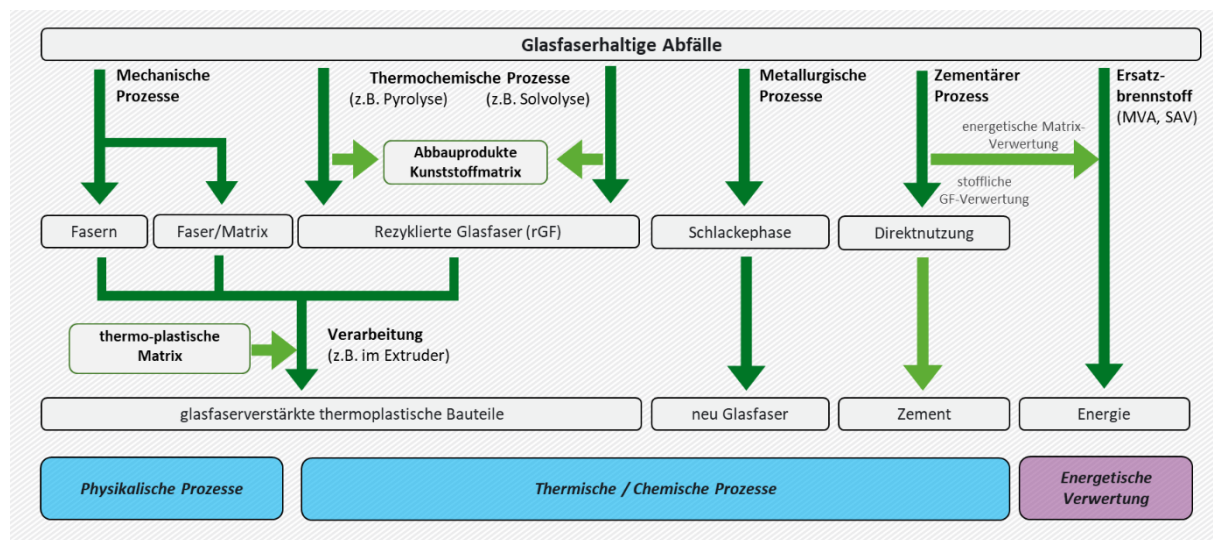
Um die Verwertung der Rumpfmateralien möglichst wirtschaftlich und umweltschonend umzusetzen, muss durch den Aufbereitungsprozess der Boots- und Flugzeugrümpfe eine möglichst sortenreine Bereitstellung von homogenen aufbereiteten Fraktionen erfolgen. Die Verwertung von Rümpfen aus FVK wird im Vergleich zu den Rumpfmateralien Stahl, Aluminium, Blei sowie unverstärkten Kunststoffen und Holz als kritisch bewertet.

Eine Verwertung von Blei, Stahl oder Aluminium aus Bootsrümpfen erfolgt über die etablierten Verwertungswege für Altmetall. Die Verwertung der Fraktionen deckt durch den zu erzielenden Schrottpreis zumeist die Demontagekosten für die Fahrzeuge (ReBoat, 2022). Das Recycling von Metallen ermöglicht es, diese Wertstoffe ressourcenschonend und mit einer hohen Rezyklatqualität zu verwerten, womit diese Materialien am Ende des Produktlebenszyklus im Kreislauf verbleiben. Die Prozesse zum Recycling der in Sportbooten und Leichtflugzeugen eingesetzten Metallen werden seit Jahrzehnten industriell eingesetzt und entsprechen dem Stand der Technik (Kühne et al., 2022).

Für Rumpfstrukturen aus Holz ist auf Grund der mit Fäulnisschutz behandelten Außenfläche, die Einordnung in Altholzkategorie AIV nach AltholzV notwendig. Die Lacksysteme, welche angewendet werden, haben eine biozide Wirkung. Laut AltholzV ist neben einer energetischen Verwertung, eine stoffliche Verwertung dieser Holzkategorie nur zur Gewinnung von Synthesegasen zur weiteren chemischen Nutzung und zur Herstellung von Aktivkohle oder Industrieholzkohle in genehmigten Anlagen zulässig.

Die aktuell zur Entsorgung anfallenden Boots- und Flugzeugrümpfe aus GFK bestehen ausschließlich aus Glasfasern und duroplastischen Matrixsystemen. Verwertungsverfahren für GFK mit thermoplastischer Matrix werden im Weiteren nicht betrachtet. Die grundsätzlich möglichen Verfahren sind physikalische, thermomechanische, chemische und metallurgische Prozesse sowie Kombinationen. Die nachfolgende Abbildung stellt eine Übersicht dieser Prozesse dar (Kühne et al., 2022).

Abbildung 32: Übersicht zu potentiellen Verfahrensrouten der Verwertung glasfaserhaltiger Abfälle inkl. der jeweils entstehenden Hauptprodukte, sowie der abfallrechtlichen und technologischen Einordnung



Quelle: Abbildung Kühne et al. (2022)

Einige dieser dargestellten Prozesse haben eine stoffliche Verwertung des GFK als Ziel. Zu diesen gehören beispielsweise die mechanischen sowie die thermomechanischen Prozesse. Gegenüber Neuware weisen die Produkte dieser Verfahren, die recycelten Glasfasern, jedoch meistens geringere Qualitäten auf. Der Einsatz von aufbereiteten GFK-Abfällen bei der Zementklinkerherstellung im Zementwerk stellt aktuell den einzig industriell etablierten Prozess zur Verwertung dieses Werkstoffs dar. Die angegebene Jahreskapazität von ca. 40.000 t/a sollte ausreichen, um die aus Rotorblätter aktuell anfallenden und prognostizierten Abfallmengen an ca. 24.000 t im Jahr 2022, mit sinkender Tendenz bis ins Jahr 2028, GFK verwerten zu können (ca. 24.000 t GFK-Abfälle im Jahr 2022, ca. 12.000 in 2030 und ca. 9.000 t in 2040). Durch entsorgte Motor- und Sportboote würden aktuell pro Jahr ca. 166 t an GFK-Abfällen anfallen. Für ungenutzte Motor- und Sportboote kann mit einem Potential an ca. 15.400 – 23.100 t an GFK-Abfällen insgesamt in Deutschland gerechnet werden (European Boating Industry, 2023; Mell, 2016; Motorbootonline.de, 2021). Bei Leichtflugzeugen geht man von ca. 29–58 t GFK/CFK Abfälle pro Jahr aus (unklar ist dabei der konkrete Anteil von GFK bzw. CFK) (Kühne et al., 2022).

Diese Prozesskette ist von der Demontage eines Bootes oder Yacht und Aufbereitung dieser GFK-Abfallströme entsprechend den Anforderungen des Zementwerkes bis hin zu deren Verwertung im Drehrohfen inkl. notwendiger Transporte etabliert.

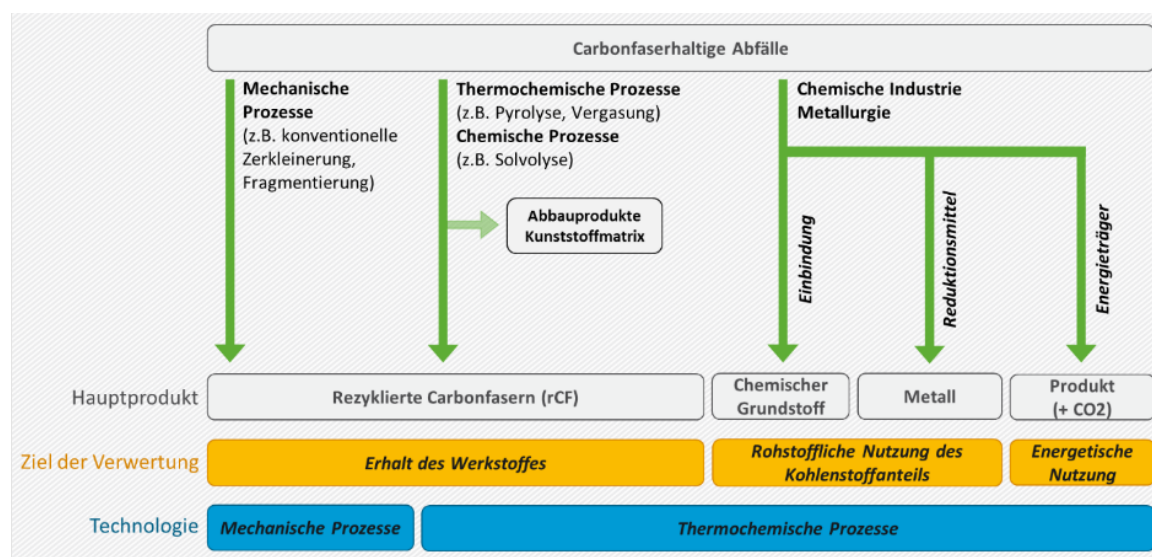
Weiterhin können durch den Einsatz von GFK, wie auch für andere Ersatzroh- und -brennstoffe, bei der Zementklinkerherstellung CO₂-äquivalente Emissionen reduziert werden. Da es aktuell die einzig kommerziell etablierte Prozessroute darstellt, sollte diese unter Berücksichtigung gesetzlicher Regelungen weiterverfolgt werden. Zu bemerken ist, dass die Zementindustrie bezogen auf verschiedene Industriesektoren in Deutschland über die drittgrößte CO₂-äquivalente Emission (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2021). Andere Recyclingprozesse, beispielsweise zum Erhalt des Werkstoffes Glasfaser, sind aktuell wohl nicht wirtschaftlich betreibbar und oft mit einer Reduktion der Faserqualität verbunden, sodass ein „Downcycling“ meist unausweichlich ist. Berücksichtigt werden muss, dass aktuell deutschlandweit jeweils nur eine Firma die Aufbereitung und als auch die Verwertung der Abfälle aus GFK in der

Zementroute übernehmen kann, sodass die Etablierung von alternativen Prozessen sinnvoll scheint und entsprechende Forschungsvorhaben zur Entwicklung und Optimierung alternativer Prozesse unterstützt werden sollten, was auch im LAGA-Abschlussbericht entsprechend dargelegt wird (LAGA, 2019).

Der Stand zum Umgang mit carbonfaserhaltigen Abfällen in Deutschland wurde von der LAGA in ihrem 2019 erschienenen Bericht zur „Entsorgung faserhaltiger Abfälle“ betrachtet. Dem Bericht zufolge spielen bei den carbonfaser/CFK-haltige Abfallströmen die EoL-Mengen aktuell noch eine untergeordnete Rolle, eine Zunahme wird allerdings erwartet (LAGA, 2019).

Aktuell sind Verfahren zur Verwertung carbonfaserhaltiger Abfälle noch Gegenstand der Forschung und können entsprechend dem Hauptprodukt des Prozesses wie folgt eingeteilt werden.

Abbildung 33: Übersicht zu potentiellen Verfahrensrouten der Verwertung carbonfaserhaltiger Abfälle inkl. der jeweils entstehenden Hauptprodukte, sowie der abfallrechtlichen und technologischen Einordnung



Quelle: Abbildung Kühne et al. (2022) mit Änderungen nach Wexler et al. (2021)

Bei der mechanischen Zerkleinerung von carbonfaserhaltigen Abfällen verbleiben die Harzanhaftungen größtenteils an den Fasern. Die Thermochemischen Prozesse, wie Pyrolyse oder Vergasung, bzw. chemischen Prozesse, wie Solvolyse, entfernen die Matrixanhaftungen der Faser. Die Festigkeiten von rezyklierten Carbonfasern sind nach den thermochemischen Verfahren um bis zu 10 % im Vergleich zu Primärmaterial reduziert. Bei den chemischen Verfahren sind die mechanischen Eigenschaften meist gleichwertig gegenüber Primärmaterial, es bestehen jedoch höhere Aufwände für die Lösemittel und Aufreinigungsprozesse. Als alternative Verwertungsrouten können carbonfaserhaltige Abfälle in der Metallurgie als Reduktionsmittel, als Energieträger oder als chemischer Grundstoff für die Carbid Route verwertet werden. Als industriell durchgesetzt bestehen europaweit mehrere industrielle Pyrolyseanlagen für carbonfaserhaltige Abfälle. Der Carbid Route wird ein sehr hohes „Technology Readiness Level (TRL)“, also eine hohe technische Reife von TRL 8 zugeschrieben.

Mengenmäßig wird bei Leichtflugzeugen von ca. 29–58 t GFK/CFK Abfälle pro Jahr ausgegangen (unklar ist dabei der konkrete Anteil von GFK bzw. CFK). Bei Rotorblättern geht man von ca. 300 t CFK-Abfälle in 2022, ca. 200 t in 2030 und ca. 400 t in 2040 aus (Kühne et al., 2022).

4.3.4 Bedarfsgegenstände mit CFK

Wie bereits in Kapitel 4.2.3 beschrieben, ist es aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Bedarfsgegenständen aus CFK nicht möglich spezifische Demontage- und Aufbereitungskonzepte zu erarbeiten.

Die unter Kapitel 3.3 betrachteten Bedarfsgegenstände mit CFK werden nach der Entledigung, bislang weder getrennt erfasst noch spezifisch aufbereitet, sondern vorrangig zusammen mit Sperrmüll entsorgt (siehe Kapitel 3.3.2). Eine getrennte Erfassung der entsprechenden Produkte sowie die Separation CFK-haltiger Bauteile wäre für eine hochwertige Verwertung des CFK erforderlich. Da dies bislang nicht passiert, können Bauteile aus CFK in Müllverbrennungsanlagen gelangen, was es dringlichst zu vermeiden gilt.

So gilt es Konzepte zu etablieren welche eine getrennte Erfassung von Produkten mit CFK ermöglichen. Bauteile aus CFK sollen abgetrennt und einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden (z.B. Pyrolyse). Mögliche Konzepte, um die getrennte Erfassung und auch ausreichende Mengen für eine wirtschaftliche Pyrolyse zu erreichen werden in Kapitel 5 diskutiert. Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze

4.3.5 Herausforderungen Sportboote und Leichtflugzeuge

Herausforderungen Sportboote

Basierend auf den Ergebnissen der Marktstudie (Kapitel 3.1.5) sowie der Erarbeitung von Aufbereitungsstandards (Kapitel 4.2.1 und 4.3.1) konnten für Sportboote folgende Herausforderungen in Bezug auf eine hochwertige Verwertung erkannt werden:

- ▶ Keine umfassende Registrierungspflicht, fehlende statistische Erfassung und unklare Besitzverhältnisse von Sportbooten. Somit keine vollständige Erfassung des Bestands von Booten und erschwerte Abschätzung zukünftiger Abfallmengen
- ▶ Geringe Erfassungsquote von Altbooten und damit unklare Umweltfolgen durch gelagerte (und verrottende Boote). Zudem werden in Booten verbaute Ressourcen nicht genutzt.
- ▶ Komplexe und kostenintensive logistische Fragestellungen: Transport, Lagerung und Demontage vor Ort
- ▶ Fehlende Demontagestandards und -normen (technisch sowie rechtlich)
- ▶ Fehlende Anforderungen an Demontagebetriebe
- ▶ Folglich herausfordernde Schulbarkeit von Mitarbeitern
- ▶ Fehlende spezialisierte Demontage- und Recyclingunternehmen
- ▶ Fehlende Genehmigungsgrundlagen für Demontagebetriebe
- ▶ Produkt-, Bauteil- und Materialvielfalt. Zudem hohe Individualität jedes einzelnen Bootes, was eine standardisierte Demontage erschwert.
- ▶ Keine konsequente hochwertige Verwertung GFK (nicht wirtschaftlich)
- ▶ Aufgrund der genannten Unsicherheiten und Komplexitäten ist Wirtschaftlichkeit der Demontage noch nicht gegeben
- ▶ Derzeit noch hoher Forschungsbedarf.

Diesen Herausforderungen sollen durch digitale und organisatorische Konzepte begegnet werden. Mögliche Ansätze dieser Konzepte folgen nun in den nächsten Kapiteln. Die vielversprechendsten Konzepte werden in Kapitel 5 weiterverfolgt und im Detail ausgearbeitet.

Herausforderungen Flugzeuge

Basierend auf den Ergebnissen der Marktstudie (Kapitel 3.2.5) sowie der Erarbeitung von Aufbereitungsstandards (Kapitel 4.2.2 und 0) konnten für Leichtflugzeuge folgende Herausforderungen in Bezug auf eine hochwertige Verwertung erkannt werden:

- ▶ Fehlende statistische Erfassung der Abfälle
- ▶ Kleine Abfallmengen wodurch der wirtschaftliche und ökologischer Aufwand pro Leichtflugzeug größer wird
- ▶ Fokus der Demontagebetriebe hauptsächlich auf Großflugzeugen
- ▶ Komplexe logistische Fragestellungen: Transport, Lagerung und Demontage vor Ort
- ▶ Produkt-, Bauteil- und Materialvielfalt
- ▶ Keine konsequente hochwertige Verwertung GFK/CFK
- ▶ Komplizierte örtliche Trennung von GFK/CFK durch Sägen/Scheren

Diesen Herausforderungen sollen durch digitale und organisatorische Konzepte begegnet werden. Mögliche Ansätze dieser Konzepte folgen nun in den nächsten Kapiteln. Die vielversprechendsten Konzepte werden in Kapitel 5 weiterverfolgt und im Detail ausgearbeitet.

4.3.6 Mögliche Lösungsansätze Sportboote und Leichtflugzeuge

4.3.6.1 System zur erweiterten Herstellerverantwortung (EPR-System)

Die Schaffung eines landesweiten EPR-Systems für Altboote und Altleichtflugzeuge könnte die Erfassung von Booten stärken und die hochwertige Verwertung von Booten und Flugzeugen fördern. Wie bei anderen Produkten, die unter die erweiterte Herstellerverantwortung fallen (z.B. Verpackungen) würden Hersteller*innen für Sportboote und Leichtflugzeuge in die Finanzierung des Systems eingebunden. Frankreich und Norwegen haben beispielsweise bereits ein solches System für Sportboote eingeführt. Die Finanzierung des französischen EPR-Systems „APER“ setzt sich aus jährlich zu entrichteten Registrierungsgebühren der Bootseigentümer*innen und einem Herstellerbeitrag zusammen. Die Funktionsweise des französischen Systems wird in Kapitel 3.4.1 näher beschrieben. Expert*innen bewerten die Einführung des EPR-Systems für Sportboote als nicht erfolgreich und zielführend (Input Recyclingunternehmen Boote).

Die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung ist jedoch ein sehr starkes Lenkungsinstrument mit weitreichenden Auswirkungen für den Markt. Eine Implementierung geht daher auch immer mit großen Hürden und Widerstand einher. Vorerst sollte versucht werden, mit Instrumenten auf freiwilliger Basis oder weniger rechtlicher Lenkungswirkung den Problemen entgegenzuwirken.

4.3.6.2 Registrierungs-, Melde- und Abmeldepflicht für Sportboote

Eine Registrierungspflicht für Sportboote könnte auf mehreren Ebenen Verbesserungen hervorrufen. Eine landesweite Registrierung von Sportbooten gäbe Aufschluss über den aktuellen Bestand von Sportbooten und vereinfacht die Identifizierung von Bootsbesitzer*innen

im Falle von illegal entsorgten Sportbooten. Eine Registrierungspflicht, die mit einer Abmeldepflicht im Falle von Export oder einem Verwertungsnachweis im Falle einer Entsorgung (siehe Kapitel 4.3.6.8) einhergeht, würde die Abschätzung des Abfallaufkommens vereinfachen. Bei der Registrierungspflicht müsste der Begriff des Sportbootes bzw. der registrierungspflichtigen Boote spezifiziert und eingegrenzt werden. In Frankreich gibt es bereits eine Registrierungspflicht. Das Arbeitsdokument der Europäischen Kommission schlägt vor, die Registrierung von Yachten unter der jeweiligen Flagge der Mitgliedsstaaten durchzuführen (Europäische Kommission, 2017).

Die Einführung einer Registrierungs-, Melde- und Abmeldepflicht wird als effektiv und relativ leicht umsetzbar eingestuft, weshalb dieser Ansatz weiterverfolgt werden sollte. Dies und die harmonisierte Angabe bestimmter Daten könnte europaweit durch die EU-Sportbootrichtlinie gefordert werden.

4.3.6.3 Digitaler Produktpass

Da gerade die Datenverfügbarkeit, die langen Lebensdauern und die Bauteil- und Materialvielfalt große Herausforderungen der flächendeckenden und hochwertigen Verwertung von Sportbooten und Leichtflugzeugen sind, erscheint die Einführung eines digitalen Produktpasses als ein geeignetes Konzept. Der europäische Grüne Deal (Green Deal) wie auch der neue Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan) sehen im digitalen Produktpass als Instrument in Richtung Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2019, 2020). Mit ihrer „Sustainable Products Initiative“ will die Europäischen Kommission eine Verordnung erarbeiten, welche die bislang geltende Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EG-Ökodesign-Richtlinie) ablöst. Vorgesehen ist es dabei, Anforderungen und Bestimmungen für die Einführung eines digitalen Produktpass festzulegen (Europäische Kommission, 2022e).

Ein digitaler Produktpass hat zum Ziel alle Informationen über ein Produkt in einer Datenbank zu speichern, um diese Daten über den Lebensweg eines Produktes hinweg transparent von unterschiedlichen Akteur*innen abrufen zu können (BMUV, n.d.). Dabei sollen Informationen wie beispielsweise Bauteile, Material und eingesetzte Substanzen enthalten sein, aber ebenso Informationen zu Reparatur, Ersatzteile, Demontageverfahren, Verwertungswege etc. (weitere Optionen sind im Anhang des Vorschlags für eine Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG - 2022/0095 enthalten (Vorschlag 2022/0095 COD (Europäische Kommission, 2022e))). Notwendig dafür wäre unter anderem die Einführung einer Registrierungs-, Melde- und Abmeldepflicht. Weitere Ausführungen zum digitalen Produktpass für Sportboote und Leichtflugzeuge finden Sie in Kapitel 5.

4.3.6.4 Abfallschlüsselnummer

Wie bereits beschrieben, existiert kein spezifischer Abfallschlüssel für Sportboote oder Leichtflugzeuge und folglich auch nicht für deren Bauteile. Daher gilt die Einführung neuer spezifischen ASN für Sportboote und deren demontierten Bauteile abzuwägen. Die Einführung einer spezifischen Abfallschlüsselnummer könnte Anreize schaffen, Anleitungen und Standards für diesen Schlüssel zu entwickeln, was wiederum die Entstehung von Demontagebetriebe für Altboote fördern könnte. Denn auch ein zertifizierter Entsorgungsfachbetrieb benötigt entsprechende Standards. Weiter würde es die statistische Informationslage zu den Abfallmengen verbessern.

Bei der Zuordnung zu Abfallschlüsselnummern oder der Erstellung neuer Nummern muss die Gefährlichkeit (*) von Altprodukten mitberücksichtigt werden. Zudem müsste ein materialspezifischer Schlüssel (z.B. für FVK) möglicherweise unter mehreren branchenspezifischen Kapiteln der AVV eingeführt werden müsste.

Der Logik der AVV folgend, könnte eine neue Nummern eingeführt werden, welche speziell für Alt-Sportboot bzw. Alt-Leichtflugzeuge gelten würde. Eine Möglichkeit ist es, einen ASN 16 01 02* und einen ASN 16 01 05 in der AVV zu ergänzen (siehe untenstehende Tabelle). Je nach Gefährlichkeitseinstufung wäre der Schlüssel mit oder ohne Sternchen zu wählen. Dazu müsste man ggf. den Titel der 16 01 („Altfahrzeuge verschiedener Verkehrsträger (einschließlich mobiler Maschinen) und Abfälle aus der Demontage von Altfahrzeugen sowie der Fahrzeugwartung (außer 13, 14, 16 06 und 16 08)“) ändern, um auch Altboote und Altflugzeuge einzubeziehen.

Da Altboote-/flugzeuge damit eindeutig dem Kapitel 16 01 der AVV unterliegen würden, könnten somit die weiteren 16 01er Nummern für demontierte Bauteile und Materialien verwendet werden (z.B. 16 01 17 Eisenmetalle, 16 01 18 Nichteisenmetalle, etc.). Des Weiteren könnten GFK-Rümpfe nach der Demontage als Kunststoffabfälle mit der ASN 16 01 19 eingestuft werden. Um allerdings GFK oder CFK-Abfälle klar von anderen Kunststoffabfällen abzuheben, wäre auch hier die Einführung zusätzlicher ASN nötig. In der untenstehenden Tabelle werden eigene Schlüssel für GFK-, CFK- und weitere FVK-Abfälle vorgeschlagen; siehe beispielsweise die neuen Schlüssel 16 01 23 oder 16 01 24 oder 16 01 25.

Sobald GFK oder CFK oder weitere FVK-Abfälle eine Pyrolyseanlage durchlaufen haben, sind die zurückgewonnenen Fasern (GF, CF und XF) Abfälle, die jeweils einen neuen Schlüssel in der 19-er Reihe (Abfälle aus der Pyrolyse) erfordern (siehe Tabelle unten).

Um den Kreislauf von FVK ganzheitlich zu betrachten und zu schließen, sollten letztlich noch Abfallschlüsselnummern für Produktionsabfälle aus FVK (die beispielsweise beim Bootsbau anfallen) eingeführt werden. Kapitel 07 02 der AVV erscheint der richtige Ort für neueinzuführende ASN für Produktionsabfälle aus GFK/CFK.

Weitere Vorhaben zur GFK/CFK Recycling (Kühne et al., 2022) haben ebenfalls gezeigt, dass spezifische neue Abfallschlüsselnummern für diese Materialströme von Vorteil wären. Als ein Beispiel für weitere relevante Produkte können Rotorblätter genannt werden.

Tabelle 61: Vorschlag für neu einzuführende Abfallschlüsselnummern

Abfallschlüssel	Abfallbezeichnung
16	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind
16 01 02*	Altflugzeuge und Altwasserfahrzeuge (bis zu einer BRZ von 500)
16 01 05	Altflugzeuge und Altwasserfahrzeuge (bis zu einer BRZ von 500), die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
16 01 23	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe
16 01 24	Glas- und basaltfaserverstärkte Kunststoffe
16 01 25	mit anderen Fasern verstärkte Kunststoffe sowie gefüllte Kunststoffe (inkl. WPC)

Abfallschlüssel	Abfallbezeichnung
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke
19 01	Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen
19 01 20	Carbonfasern
19 01 21*	Carbonfasern mit WHO-Fasern
19 01 22	Glas- und Basaltfasern
19 12	Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.
19 12 13	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe
19 12 14	Glas- und basaltfaserverstärkte Kunststoffe
19 12 15	mit anderen Fasern verstärkte Kunststoffe sowie gefüllte Kunststoffe (inkl. WPC)

4.3.6.5 Logistische Aspekte

Da von einer eher geringen Anzahl an Altbooten pro Jahr, die einer Verwertung zu geführt werden, ausgegangen werden muss, wird empfohlen wenige aber dafür qualifizierte Abwrackunternehmen zu etablieren.

Gerade die Komplexität von Transport, Lagerung und Demontage vor Ort von Altsportbooten und Altleichtflugzeugen könnte durch mobile Demontagestationen vereinfacht werden. Aufgrund des schlechten Verhältnisses von Volumen zu Gewicht wären durch die Zerkleinerung und Vorbereitung vor Ort (Trockenlegung, erste Demontageschritte) Kosten- wie auch CO₂-Emissionseinsparungen möglich und würden eine hochwertige Verwertung dadurch attraktiver machen (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Dieses Konzept wurde beispielsweise im Projekt MORE-AERO angewandt.

Weiter ist eine flächendeckende Struktur an Reparatur- und Inspektionsbetrieben notwendig.

4.3.6.6 Einführung von Standards zur Trockenlegung, Demontage und Zerkleinerung sowie Weiterentwicklung bestehender Recyclingverfahren und Entwicklung neuer Technologien

Insbesondere die GFK- und Kunststoffteile von Altbooten werden meist energetisch oder in einem Zementwerk verwertet. Dadurch kann zwar Energie zurückgewonnen werden, jedoch nicht die Bestandteile des GFK. Bootsbesitzer*innen zerkleinern meistens selbst ihre Boote vorab und geben die GFK-Abfälle als Haushalts- oder gemischten Gewerbeabfall ab. Dadurch gelangen die GFK-Teile in die energetische Verwertung. Auch bei Leichtflugzeugen wird davon ausgegangen, dass der Großteil der CFK/GFK-Abfälle energetische verwertet wird.

Abfallschlüssel für Boote und CFK und GFK könnten Entsorgungswege eröffnen, die zu Demontage und hochwertiger Verwertung führen. Das Vorgehen wurde für Sportboote in Kapitel 4.3.1 und für Leichtflugzeuge in Kapitel 4.3.2 beschrieben.

Als wichtigster Punkt wird die Entwicklung von Recyclingtechnologien für CFK und GFK angesehen. Trennung von Harz und Fasern mittels Pyrolyse wird bereits praktiziert. Ein anschließendes Glasfaserrecycling hat sich bisher als zu teuer erwiesen. Recycling von

Carbonfasern ist möglich, wird jedoch weder für Bauteile aus Sportbooten noch Leichtflugzeugen als etablierter Verwertungsweg eingesetzt. Im Bereich des chemischen Recyclings der Kunststoffmatrix gibt es derzeit eine hohe Marktdynamik (Hofmann et al., 2021), aber noch keine kommerziell verfügbare Anlage. In den Niederlanden gab es Versuche GFK-Häcksel als Untergrund für den Straßenbau zu nutzen. Dieses Verfahren wird jedoch bisher als nicht zukunftsweisend betrachtet (DBSV, 2016). Die Entwicklung neuer Technologien und Verfahren wird daher als sehr relevant und wichtig erachtet. Voraussetzung dafür ist die Einführung von Trockenlegungs-, Demontage- und Zerkleinerungsstandards für Sportboote, in Anlehnung an die in den vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Handlungsanleitungen.

Unterstützt könnte dies durch verpflichtende Vorgaben zur Demontage und Recycling von Sportbooten (in Anlehnung an EU-Verordnung 1257/2013 bzw. Hong Kong Konvention) und Leichtflugzeugen werden.

Wichtig wird hier die Bündelung der Mengen aus CFK und GFK, um eine entsprechende hochwertige Verwertung (ein hochwertiges Recycling) wirtschaftlich abbilden zu können. Bei Sportbooten ergibt sich pro Jahr ein Potential von ca. 8.500–10.000 t GFK pro Jahr, bei Leichtflugzeugen ein Potential von ca. 29–58 t GFK/CFK pro Jahr. Bei Rotorblättern werden mit GFK-Abfall-Mengen pro Jahr von ca. 24.000 t in 2022, ca. 12.000 in 2030 und ca. 9.000 in 2040 gerechnet und mit CFK-Abfall-Mengen von ca. 300 t in 2022, ca. 200 t in 2030 und ca. 400 t in 2040 (Kühne et al., 2022).

4.3.6.7 Fortbildungen und verbessertes Wissensmanagement

Die Anwendung der in Kapitel 4 entwickelten Inspektionsprotokolle, und Demontageanleitungen mit Verwertungshinweisen gilt es den Mitarbeiter*innen von Demontagebetrieben und Annahmestellen nahezubringen. Bevorzugt geschieht dies anhand einheitlichen Trockenlegungs-, Demontage-, und Zerkleinerungsstandards. Gezielte Fortbildungen und/oder Mitarbeiterschulungen sind eine wichtige Voraussetzung.

4.3.6.8 Verwertungsnachweis

Ein weiterer Ansatz ist die Einführung eines Verwertungsnachweises für Alt-Sportboote und Alt-Leichtflugzeuge. Das Ziel des Verwertungsnachweises ist dabei mehr Transparenz über den Verbleib der Altprodukte zu schaffen und die hochwertige Verwertung zu fördern. Um das System eines standardisierten und verpflichtenden Verwertungsnachweis zu etablieren, müssen folgende Voraussetzungen geschaffen werden:

- ▶ Für Sportboote muss eine Registrierungspflicht aller Sportboote erfolgen.
- ▶ Es braucht entsprechende Standards für die Aufbereitung und qualifiziertes Personal zur Durchführung.
- ▶ Es müssen entsprechende Datenbanken etabliert werden, welche Daten der zugelassenen bzw. registrierten Sportboote und Leichtflugzeuge enthalten, verknüpft mit den Daten zur Verwertung und einer anschließenden Austragung der verwerteten Altprodukte.
- ▶ Es müssen genügend Demontagebetriebe und Verwertungsanlagen für die tatsächliche Verwertung der Altprodukte existieren. Diese müssten nach einem entsprechenden Standard zertifiziert bzw. genehmigt werden.
- ▶ Entsprechende Behörden für die Annahme, Prüfung und Bearbeitung von Verwertungsnachweisen müssen geschaffen werden.

Bei der Einführung eines Verwertungsnachweises für Sportboote und Leichtflugzeuge könnte sich an der Pflicht zum Verwertungsnachweis bei Kraftfahrzeugen orientiert werden: Für Fahrzeuge gibt es bereits die Pflicht des Verwertungsnachweises. § 15 der Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung - FZV) regelt das Verfahren wie folgt:

„Ist ein Fahrzeug der Klasse M1, N1 oder L5e einer anerkannten Stelle nach § 4 Absatz 1 der Altfahrzeugverordnung zur Verwertung überlassen worden, hat der Halter oder Eigentümer dieses Fahrzeug unter Vorlage eines Verwertungsnachweises nach dem Muster in Anlage 8 zur Speicherung in den Fahrzeugregistern bei der Zulassungsbehörde außer Betrieb setzen zu lassen. Die Zulassungsbehörde überprüft die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben zum Fahrzeug und zum Halter im Verwertungsnachweis und gibt diesen zurück“.

4.3.6.9 Abwrackprämie

Abwrackprämien (siehe Norwegen) oder andere Anreizsysteme können dazu beitragen die Erfassung zu verbessern. Indem man die Abwrackprämie mit der Forderung nach standardisierter Trockenlegung, Demontage und Zerkleinerung der Aufbereitungsunternehmen knüpft, kann eine hochwertige Behandlung gefördert und sichergestellt werden. Notwendig dafür ist die Einführung von harmonisierten Standards, die Schulung des Personals und die Überprüfung (Audit) der entsprechenden Aufbereitungsunternehmen. Ob dieses Instrument jedoch langfristige Effekte mit sich bringt, ist jedoch fraglich.

4.3.7 Herausforderungen und Lösungsansätze Bedarfsgegenstände mit CFK

Als größtes Problem im Umgang mit Bedarfsgegenständen mit CFK wird die fehlende Reparaturinfrastruktur für CFK-Bauteile sowie die fehlende getrennte Erfassung der Altprodukte und folglich der Bauteile aus CFK betrachtet. Die Folge ist die Mitverbrennung von Bauteilen aus CFK in Müllverbrennungsanlagen.

Der erste Grundsatz lautet daher, dass der Einsatz von CFK vermieden werden soll, sofern dies für das Produkt nicht zwingend notwendig ist (bspw. im Sinne des Leichtbaus).

Wo dies nicht möglich ist, müssen die entsprechenden Altprodukte entweder bereits bei der Annahme auf Wertstoffhöfen getrennt erfasst werden oder ein entsprechendes, spezielles Sammelsystem für diese Produkte etabliert werden.

4.3.7.1 Freiwillige Rücknahmesysteme der Hersteller

Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Bedarfsgegenständen die CFK enthalten können und damit einer Vielzahl an herstellenden Unternehmen wird eine gesetzliche Rücknahmepflicht nicht als zielführend bzw. umsetzbar erachtet. Zumal auch oftmals nur einzelne Produkte einer Produktgruppe CFK enthalten (z.B. enthalten nicht alle Fahrräder CFK, sondern nur einige Modelle). Die Möglichkeit der freiwilligen Rücknahme durch die Hersteller/Inverkehrbringer (§ 26 KrWG) (bereits in Kapitel 4.1.1.6 beschrieben) erscheint somit als geeigneter.

Freiwillige Rücknahmesysteme gibt es beispielsweise bereits im Bereich der Textilien (z.B. H&M⁸⁹ zur Rücknahme von Textilien aller Art), der Landwirtschaft (z.B. ERDE⁹⁰ Rücknahme- und Verwertungssystem für Erntekunststoffe) oder wie in Kapitel 3.3.2.2.2 genannt, bei Fahrradschläuchen der Firma Schwalbe.

⁸⁹ https://www2.hm.com/de_de/nachhaltigkeit-bei-hm/our-work/close-the-loop.html

⁹⁰ <https://www.erde-recycling.de/>

Durch ein spezifisches Rücknahmesystem können reparierbare Produkte durch Expert*innen repariert und wiederverwendet werden. Die Lebensdauer wird dadurch erhöht und die Abfallmengen verringert. Sind die Produkte nicht mehr reparaturfähig, ist es durch die getrennte Erfassung der Produkte/Produktgruppen möglich, diese einer gezielten, hochwertigen Verwertung zuzuführen. CFK-Bauteile können entnommen und separat verwertet werden. So können ausreichende Mengen geschaffen werden, um eine Pyrolyse von getrennt erfassten CFK-Abfällen wirtschaftlich abbilden zu können.

Flächendeckende Rücknahmesysteme

Für ein funktionierendes Rücknahmesystem ist dabei Voraussetzung, dass Konsument*innen über die Möglichkeit der Rückgabe bzw. Reparatur informiert sind und ihnen diese so leicht wie möglich gemacht wird. So wäre es für Konsument*innen am komfortabelsten, wenn ein Produkt nicht nur bei den herstellenden Unternehmen zurückgegeben werden kann, sondern bei allen entsprechenden Händlern oder wenn die Produkte Zuhause abgeholt werden. Dies ist mit hohem organisatorischem und logistischem Aufwand verbunden.

Eine Einführung von Rücknahmesysteme ausschließlich für Produkte mit CFK, könnte aufgrund der optischen Verwechslungsgefahr schwer durchzusetzen sein bzw. zu Ablehnungen bei der Annahme führen. Nicht jede*r Konsument*in kennt die Materialzusammensetzung seines*ihres Produkts.

Um die erfassten Produkte einer hochwertigen Verwertung zuzuführen, müssen entsprechende Kooperationen zwischen den herstellenden Unternehmen, aufbereitenden Unternehmen und Recyclingunternehmen bestehen. Während der Aufbereitung müssen die unterschiedlichen Bauteile (vor allem Bauteile aus CFK) demontiert werden, um diese dann materialspezifisch zu verwerten. So kann eine umweltverträgliche Entsorgung gewährleistet und die Kreislaufwirtschaft gefördert werden (wie in § 26 Abs. 3 KrWG gefordert). Das Problem der optischen Erkennbarkeit von CFK-Bauteilen, auch im Hinblick auf die Verwechslungsgefahr mit Carbonfaseroptik, bleibt dabei allerdings ebenso bestehen, wie die Schwierigkeiten bei der Trennung von Verbunden von CFK und anderen Materialien. Entsprechende Schulungsmaßnahmen für die Beschäftigten sowie die Erstellung von Datenbanken (siehe Kapitel 5) könnten mögliche Ansätze zur Lösung dieser Probleme darstellen.

Die freiwillige Dokumentation und Veröffentlichung der Daten zur Erfassung von Alt-CFK-Geräten (Reparatur oder Verwertung) würde zu mehr Transparenz führen und die Datenlage verbessern.

Herstellerspezifische Rücknahmesysteme

Wenn sich nicht die gesamte Branche eines Produkts für eine freiwillige Rücknahme verpflichten will, können auch einzelne herstellende Unternehmen oder Händler eine Rücknahme der Produkte anbieten. Diese verfügen über die erforderlichen Kenntnisse zur Materialzusammensetzung und zur Separation einzelner Bauteile. So reduziert sich der organisatorische Aufwand, alle anderen Kostenfaktoren bleiben jedoch bestehen. Die Abfallmengen werden jedoch aufgrund der punktuellen Sammelmöglichkeiten nur überschaubare Mengen bilden.

Ein Pilotprojekt zur Sammlung und Verwertung von Produkten aus CFK führte LEKI, ein herstellendes Unternehmen für Sportausrüstung, u.a. von Ski-, Cross Trail-, Langlauf-, und Nordic Walking Stöcken durch. Die gebrauchten Stöcke wurden von LEKI gesammelt und zu einem Sammelplatz für die Wiederaufbereitung transportiert (LEKI, n.d.). Nach einer Vorzerkleinerung wurden die Stöcke sortenrein in ihre Bestandteile zerlegt. Dazu wurde mittels Wirbelstrom- und Magnetseparation Stahl- und Aluminiumbestandteile von den Resten aus

Carbon, Kunststoff und Kork separiert. Diese Restfraktion wurde weiter in einem mehrstufigen Schwimm-/Sinkscheideverfahren aufbereitet (Rotzoll, 2020). Die Kunststoffe wurden als EBS eingesetzt, wohingegen die Carbonfraktion in der Stahlerzeugung, den dort benötigten Primärkohlenstoff ersetzt (LAGA, 2019; Rotzoll, 2020).

Eine weitere optionale und ergänzende Möglichkeit ist die verbindliche, gut sichtbare und herstellereigenspezifische Kennzeichnung von Bauteilen aus CFK bereits während des Herstellungsprozesses. Dies erleichtert eine getrennte Erfassung an Wertstoffhöfen sowie eine spezifische Demontage an CFK-Bauteilen. Basierend auf Recherchen bzw. Rückmeldungen von Stakeholdern zeigt sich, dass beispielsweise an Wertstoffhöfen abgegebene aber noch funktionstüchtige/reparaturfähige Fahrräder oder Golfschläger durchaus aussortiert werden. Dies bedeutet, dass Produkte, die für den Sperrmüll bestimmt sind, vor einer Verwertung noch einer Begutachtung unterzogen werden. Folglich besteht an dieser Sammelstelle Potential für eine Getrennterfassung.

Um Produkte mit CFK von Produkten ohne CFK (andere Materialien oder Carbonoptik) zu unterscheiden, gilt es auch hier das Personal entsprechend zu schulen. Aber auch Aufklärungsarbeit für Konsument*innen ist eine notwendige Begleitmaßnahme.

5 Digitale und organisatorische Konzepte

Innovative digitale Möglichkeiten können Stoffströme lenken und damit den Zweitmarkt und das Recycling fördern. Neue Organisationskonzepte werden auf Grundlage des Status quo erarbeitet und technisch skizziert. Das Ziel in diesem Abschnitt liegt folglich in der Schaffung bzw. Stärkung eines Verwertungsnetzwerks, das gestützt von Datenkonzepten oder digitaler Kommunikationswege und -instrumente die entstehenden Stoffströme zielgerichtet lenken kann. Dabei wird der Digitale Produktpass als Träger recyclingtechnischer Informationen genauer betrachtet, ebenso wie Systeme, die sich in anderen Branchen bewährt haben.

5.1 Netzwerke und Kommunikation

Die Abfälle und Stoffströme von Sportbooten, Leichtflugzeugen und Bedarfsgegenstände aus CFK und GFK, die in diesem Bericht betrachtet werden, fallen wie in Kapitel 3 beschrieben derzeit noch vereinzelt an und werden am Lebensende nicht standardisiert aufbereitet, wiederverwendet oder verwertet; durch einen steigenden Einsatz an FVW werden in Zukunft jedoch größere Abfallmengen erwartet, das Thema gewinnt an Bedeutung. Dabei liegt großes Potential in der Lenkung der Stoffströme. Auch die fehlende statistische Erfassung von Bestand und Abfallmengen einzelner Produktgruppen gelten als Herausforderung. So können jedoch insbesondere digitale Kommunikationswege, digitale Instrumente und die Archivierung, Analyse und Verknüpfung von relevanten Informationen als Entscheidungsgrundlage und Wissensbasis für Akteur*innen entlang des Lebenszyklus der Produkte relevant sein. So können geographisch verteilte Marktteilnehmer*innen miteinander kommunizieren und jederzeit relevante Informationen veröffentlichen und abrufen. Relevante Akteur*innen und einige regulatorische Richtlinien und Rahmenbedingungen wurden bereits in Kapitel 3 als Teil der Marktstudie und der Darstellung aktueller Verwertungspraktiken identifiziert. In diesem Kapitel werden diejenigen Informationen zusammengefasst, die für die Erstellung eines digitalen Konzepts notwendig erscheinen, und durch weitere Informationen ergänzt.

In diesem Kapitel wird deshalb betrachtet,

- ▶ welche diese*r Akteur*innen miteinander in Kontakt stehen,
- ▶ über welche Kommunikationswege (Kanäle) und -instrumente (Plattformen) sie in Kontakt stehen,
- ▶ welche Daten (Informationen) dabei ausgetauscht werden und
- ▶ wo Lücken im Kommunikationsnetzwerk bestehen, die für das Ziel der Stoffstromlenkung und damit schlussendlich für das Recycling der betrachteten Produkte relevant sind.

Die Darstellung als Netzwerkmodell vereinfacht dabei die schnelle Übersicht und zeigt, welche Kommunikationswege nicht standardisiert oder informell gestaltet sind und welche nicht im digitalen Raum stattfinden. Informell gestaltete oder analoge Kommunikationswege erschweren schlussendlich die Standardisierung und Übertragung in digitale Räume. Im Netzwerkmodell werden Cluster identifiziert und durch die Interpretation werden „fehlende“ Verbindungen ersichtlich.

Um ein gemeinsames Verständnis zur Netzwerkanalyse zu schaffen, gilt es die Begrifflichkeiten und methodischen Konzepte der Netzwerkanalyse abzugrenzen und zu definieren. Netzwerke im Sinne dieses Vorhabens sind Zusammenschlüsse von Personen, Institutionen und Gruppen, die miteinander verbunden sind. Dabei haben die Verbindungen durch unterschiedliche Handlungen Auswirkungen, die die Beziehungen innerhalb des Netzwerkes beeinflussen.

Methodisch können Gesamtnetzwerkanalysen und geozentrierte Netzwerke dargestellt werden. Gesamtnetzwerkanalysen beziehen sich auf die Innenstruktur von Akteur*innen innerhalb eines vorgegebenen Bereichs, bei dem Beziehungen untereinander aufgegriffen und analysiert werden. Bei der geozentrierten Netzwerkanalyse wird der Fokus auf die Einbettung des Individuums in eine soziale Umgebung gerichtet. Neben dieser methodischen Differenzierung kann zudem zwischen strukturbeschreibenden und stochastischen Verfahren unterschieden werden. Erstere beschreiben das Netzwerk (Größe), stochastische Verfahren zielen darauf ab, über zufällige Zusammenhänge das Netzwerk zu erschließen. Eine qualitative Netzwerkforschung kann auf verschiedene Art und Weise visualisiert werden. So besteht die Möglichkeit, eine Netzwerkanalyse über freie Visualisierung, sogenannte Netzwerkzeichnungen, darzustellen. Einer solchen freien Netzwerkzeichnung bedient sich auch dieses Vorhaben.

In der vorliegenden Netzwerkanalyse zu den drei Produktgruppen werden Cluster, Akteur*innen, Kommunikationswege, Kommunikationsinstrumente und Daten dargestellt.

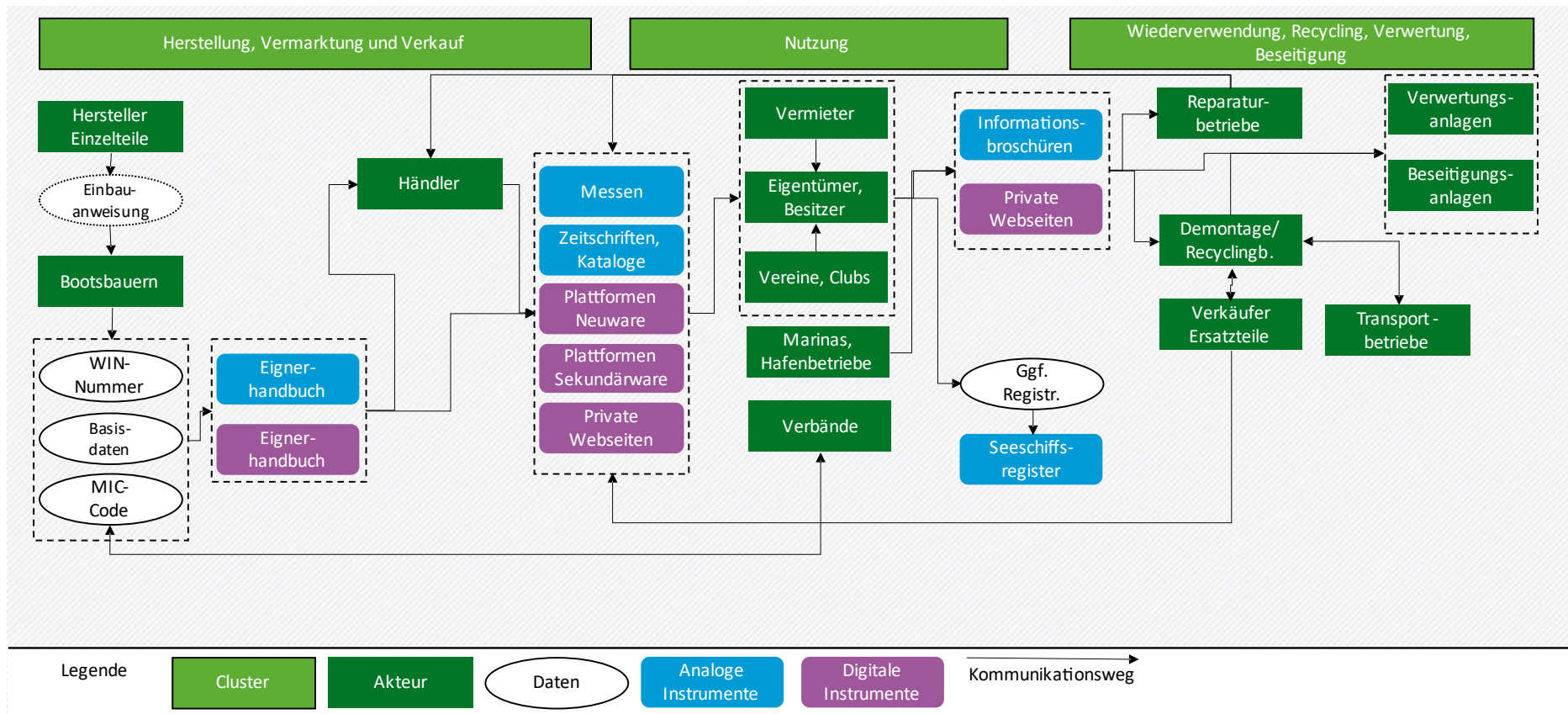
- ▶ Cluster bezeichnen die Gruppierungen der Akteur*innen und werden entlang des Lebenszyklus der Produkte vorgenommen. Dazu gehören bspw. die Zustände Herstellung, Nutzung, und die Vorbereitung zur Wiederverwendung/ Recycling/ Verwertung/ Beseitigung.
- ▶ Akteur*innen sind abstrahierte, natürliche und juristische Personen, die im Lebenszyklus der betrachteten Produkte von Herstellung bis Lebensende eine relevante Rolle innehaben (sprich: ein Nutzungsinteresse an bereitgestellten Informationen besteht), wenn es um Informationsaustausch zum Recycling und Abfall der Produkte geht. Dazu gehören bspw. Herstellungsbetriebe und Recyclingbetriebe ebenso wie Vereine oder Eigentümer*innen.
- ▶ Kommunikationswege beschreiben die Beziehung zwischen mindestens zwei Kommunikationsinstitutionen (hier: Akteur*innen). Über Kommunikationswege werden in unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit Informationen ausgetauscht. Dieser Informationsaustausch kann analog oder digital stattfinden, sowie direkt (informell) oder indirekt (institutionell) über Kommunikationsinstrumente.
- ▶ Kommunikationsinstrumente sind Datenträger, über die Informationen zwischen Akteur*innen ausgetauscht werden. Kommunikationsinstrumente können im analogen sowie im digitalen Raum bestehen.
- ▶ Daten im Sinne dieser Netzwerkanalyse sind alle Informationen, die für das Recycling und die Stoffstromlenkung der Produkte relevant sein können, bspw. Informationen zu Materialien, technischen Veränderungen, Handbücher und Demontageverfahren etc.

Im Folgenden werden die Netzwerkanalysen der einzelnen Produktgruppen sowie die Schlussfolgerungen zum Status quo der Stoffstromlenkung und des Recyclings von FVW in Deutschland beschrieben.

5.1.1 Sportboote

Die Netzwerkanalyse für Sportboote ist dargestellt in nachfolgender Abbildung. In diesem Vorhaben liegt der Fokus klar auf der Identifizierung von relevanten Kommunikationswegen, -instrumenten und Informationen für das Recycling und die Stoffstromlenkung von FVW; die Netzwerkanalyse erhebt folglich keinen Vollständigkeitsanspruch zur Abbildung des gesamten Lebenszyklus von Sportbooten, die außerhalb dieses Interesses abzubilden wäre.

Abbildung 34: Netzwerkanalyse Sportboote



Reparaturbetriebe schließen Wartungs- und Instandhaltungsbetriebe, auch Servicewerften, ein. Demontagebetriebe schließen Abwrackwerften mit ein. Registrierung nur für Teil der Sportboote verpflichtend. Quelle: Eigene Darstellung RMC.

Herstellung, Vermarktung und Verkauf

Im Cluster Herstellung, Vermarktung und Verkauf stehen am Anfang des Lebenszyklus von Sportbooten zunächst die Herstellungsbetriebe von Einzelteilen, Komponenten und Bauteilen, für die teilweise ebenfalls GFK- und CFK-Materialien verwendet werden (bspw. Inneneinrichtung). Diese verkaufen ihre Teile an Bootsbauer*innen. Schon an dieser Stelle findet jedoch kein bzw. unzureichender Informationsfluss statt, was den Einsatz von GFK und CFK betrifft. Die Herstellungsbetriebe von Einzelteilen kommunizieren oft, jedoch nicht immer eine Einbauanleitung zu den Teilen, die sie verkaufen (bspw. bei Elektronik, Heizung), jedoch variiert die Vollständigkeit der Informationen über verwendete Stoffe stark (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022; Input Wassersportverband, 2022). Falls Einbauanleitungen vorhanden sind, werden diese nur in Einzelfällen von den Bootsbauer*innen darüber hinaus an die Händler*innen von Booten weitergegeben.

Seit den 1960er Jahren werden Boote nicht mehr überwiegend direkt von Bootsbauer*innen (Werften), sondern überwiegend von Händler*innen an kommerzielle Vermieter*innen, Vereine und Clubs und private Bootseigentümer*innen verkauft. Vor allem große Serienwerften verkaufen ihre Boote grundsätzlich über Händler*innen. Bei kleinen Werften mit individualisierten Booten können Käufer*innen die Boote teilweise auch noch direkt bei den Werften kaufen (Input Bootsverband 4, 2022). In Deutschland gibt es jedoch nur drei große verbreitete Händler*innen, die Sportboote an Kund*innen verkaufen (Input Wassersportverband, 2022). Somit kommt den Händler*innen eine wichtige Rolle bei der Kommunikation von Herstellungsbetrieben von Einzelteilen und Bootsbauer*innen an Eigentümer*innen zu.

Laut Norm ISO 10240:2019 müssen Herstellungsbetriebe von kleinen Sportbooten das Eigner-Handbuch den Käufer*innen zur Verfügung stellen. Dieses Eigner-Handbuch wird folglich als Information von den Händler*innen weitergereicht. Die Informationen müssen in der Landessprache des Verkaufsortes zur Verfügung stehen. Meist werden entsprechende Eigner-Handbücher nicht von Bootsbauer*innen, sondern Drittanbieter*innen erstellt, die von Bootsbauer*innen mit der Erstellung beauftragt werden (Input Bootsverband 4, 2022). Das Eigner-Handbuch ist das einzig vorgeschriebene Dokument, das Bootsbauer*innen mit dem Boot übergeben müssen. Darin enthalten sind die Konformitätserklärung und die Entwurfskategorien, aus denen sich Vorschriften für Eigentümer*innen ergeben. Laut einem Bootsverband besteht vor allem bei kleinen, manufakturartigen Werften, die nur wenige und hoch individualisierte Boote herstellen, das Problem, dass die Eigner-Handbücher von mangelnder Qualität und oft fehlerhaft sind (Input Bootsverband 4, 2022). Dahingegen können größere Werften, die ihre Boote oft modular zusammenbauen, die Eigner-Handbücher ebenfalls modular gestalten. Das Eigner-Handbuch wird überwiegend in Papierform zur Verfügung gestellt, jedoch gibt es auch einige Werften, die digitale Formate (bspw. als PDF) auf Webseiten veröffentlichen (Input Wassersportverband, 2022; Bootsverband 3, 2022). Die analoge Verbreitung hat u.a. den Grund, dass Informationen zu Handhabung und sicherheitsrelevante technische Fragen auch bei der Nutzung des Boots in Gewässern, wo kein Zugang zum Internet herrscht, schnell verfügbar sein müssen.

Seit Einführung der EU-Sportbootrichtlinie 1998 muss jeder Rumpf von Sportbooten, die in der EU hergestellt werden, gekennzeichnet sein (seit 2006 auch Boote, die aus Nicht-EU Ländern importiert werden; ebenso wie Boote, die aus der EU in Drittländer exportiert werden.). Dies gilt für alle Boote, die laut der EU-Sportbootrichtlinie unter die Definition von Sportboot oder Wassermotorrad fallen (für weitere Details siehe Kapitel 4.2.1.2). Laut Norm DIN EN ISO 10087 muss die sogenannte WIN-Nummer sichtbar und unsichtbar angebracht werden. Eine sichtbare

Anbringung kann bspw. durch eine Eisenplatte oder eine laminierte Form angebracht werden. Die WIN-Nummer lässt eine eindeutige Identifikation des Boots zu. Die Entfernung der WIN-Nummer ist verboten, jedoch in der Theorie möglich – bspw. durch Entfernen der Plakette oder Herausfräsen der Nummer. Ebenso bringen viele Werften die unsichtbare WIN-Nummer an der gleichen Stelle über Bootserien hinweg an, sodass Nutzer*innen auch hier eine Entfernung in der Theorie vornehmen könnten (Input Bootsverband 4, 2022). Teil der WIN-Nummer ist der Ländercode des Herstellers/der Bootsbauer*in sowie der zugeteilte Herstellercode, der sogenannte MIC (Manufacturers Identification Code), der vom Deutschen Boots- und Schiffsbauernverband (DBSV) an Bootsbauer*innen vergeben wird. Die MIC kann über ein Online-Formular beim DBSV beantragt werden. Große Werften können mehrere MIC für verschiedene Marken ihrer Boote erhalten. Die MIC werden in einer Datenbank bei der EU gesammelt, sind jedoch für die Öffentlichkeit nicht einsehbar.

Von Herstellung, Vermarktung und Verkauf zu Nutzung

Die Verkaufs- und Kaufabsichten von Händler*innen und Kaufinteressierten kommen auf Vertriebsplattformen zusammen. Vertriebsplattformen für Boote finden überwiegend physisch statt. Messen sind wichtig, da viele Käufer*innen ihre Boote einmal „anfassen“ möchten, bevor sie eine Kaufentscheidung tätigen. Für viele Käufer*innen sei der Kauf eines Sportboots ein „emotionales Geschäft“ (Input Bootsverband 4, 2022; Input Wassersportverband, 2022). Basisinformationen über Boote wie Maße, Gewicht oder Ausstattung sind dabei teilweise auf privaten Webseiten, auf Online-Plattformen (wie www.boatvertizer.com) und in Katalogen, Broschüren oder Zeitschriften einsehbar. Auch der Zweitmarkt für Boote ist groß; wie in Kapitel 3.1.4.2 beschrieben, werden Boote nach der Nutzungsphase häufig weiterverkauft, in Zahlung gegeben oder verschenkt. Dabei werden Boote sowohl über Fachzeitschriften als auch auf privaten Webseiten und Online-Plattformen verkauft. Dazu gehören in Deutschland beispielsweise:

- ▶ <https://www.ebay.de> und <https://www.ebay-kleinanzeigen.de>
- ▶ <https://www.boat24.com> und <https://www.boatvertizer.com>
- ▶ <https://www.gebrauchtbootmarkt.de>
- ▶ <https://www.nauticexpo.de>
- ▶ <https://www.boote.de>
- ▶ <https://www.bootepfister.de/>
- ▶ <https://www.gruendl.de/unser-service/ersatzteile/>
- ▶ <https://www.marine-discount24.com/#my-menu>
- ▶ <https://www.nauticstore24.at/>
- ▶ <https://www.bootskram.com/>

Teilweise werden gebrauchte Boote auch von kommerziellen Händler*innen an Kaufinteressierte weiter verkauft. Händler*innen nehmen gebrauchte Boote oft bei gleichzeitigem Kauf eines neuen Boots entgegen und verrechnen eine Gutschrift (Input Wassersportverband, 2022).

Bootseigentümer*innen von Sportbooten im Binnenverkehr sowie ab 15 m Länge müssen ihre Boote laut SchRegO im Seeschiffsregister registrieren, wenn sie privat genutzt, vermietet oder

gewerbsmäßig genutzt werden. Die Listen werden von den jeweils zuständigen Amtsgerichten geführt und enthalten laut §11 und §12 SchRegO u.a. Angaben zum Hauptbaustoff und zum Bootsbauer*innen, und sind in Deutschland nicht bundesweit einheitlich geführt (siehe Kapitel 3.1.2).

Von Nutzung zur Vorbereitung zur Wiederverwendung/ Recycling/ Verwertung/ Beseitigung

Wenn Boote repariert, gewartet oder in Stand gesetzt werden, können sich Bootseigentümer*innen oft direkt an ihren Verein, Club, die Marina oder den Hafenbetrieb wenden, die an die richtigen Betriebe verweisen (informelle Kommunikation). Werkstätten und Reparaturbetriebe sind teilweise bei Händler*innen anzusiedeln. Viele Marinas bieten außerdem selbst Reparaturdienstleistungen an. Dabei werden vorgenommene Veränderungen meist nicht oder nur informell dokumentiert, es gibt keine rechtlichen Vorschriften über Dokumentationsstandards oder -pflichten (Input Wassersportverband, 2022).

Im Internet (Webseiten) und über persönliche Netzwerke in Vereinen, Clubs, Marinas und mit anderen Bootseigentümer*innen sowie über physische Informationsmaterialien von Betrieben (bspw. Broschüren) können Bootseigentümer*innen sich auch über Recyclingunternehmen informieren. Auf der Webseite von entsprechenden Betrieben können Kontaktdaten gefunden werden und diese telefonisch oder via E-Mail kontaktiert werden. Für Recyclingunternehmen ist es laut eigener Aussage teilweise schwierig, verlässliche Basisinformationen zu den Booten zu erhalten, wie bspw. Maße des Boots, Gewicht, Kielmaterial, Ort der Lagerung, wenn kein Eigner-Handbuch vorliegt (was bspw. durch Wiederverkauf verloren ging) oder durch Online-Suche keine Informationen gefunden werden können. Durch die mangelhafte Informationsgrundlage sind die Kostenschätzungen oft schwierig und nur durch Begehungen vor Ort durchführbar. Alternativ können Fotos vom Boot über digitale Kanäle wie E-Mails oder Kontaktformulare übermittelt werden, die Recyclingunternehmen bei der Aufwandsschätzung unterstützen. Wenn das Boot allerdings noch im Wasser liegt, reichen auch visuelle Daten in Form von Fotos nicht aus. Ebenso sind Telefonate oft nicht ausreichend, da vor allem die Maße und das Gewicht präzise erhoben werden müssen, um den Transport zu organisieren und die Kosten abzuschätzen. Ein Recyclingunternehmen für Boote hält einen digitalen Rundgang via Videotelefonat als Alternative für möglich. Für das fachgerechte und effiziente Recycling wäre eine digitale und zentrale Information für den Transport und die Entsorgung der Teile eine wichtige Initiative (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Teile, die über den Sekundärmarkt wiederverkauft werden, werden entweder über Betriebe vor Ort (physisch) oder über Online-Plattformen verkauft. Bei einem Wiederverkauf von Teilen sind vor allem auf Online-Plattformen die genaue Beschreibung wichtig, da die Produkte oft in Details voneinander abweichen. Außerdem haften Verkäufer*innen teilweise für die von ihnen angebotenen Produkte, vor allem bei Handel zwischen Privatpersonen (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Wie in Kapitel 3.1.4.1 erwähnt, unternehmen einige Bootseigentümer*innen zum Lebensende eines Sportboots keine Handlung und lassen dieses in Häfen oder Marinas oder auf Privatgrund liegen oder versenken es gar undokumentiert in Gewässern. Viele Bootseigentümer*innen entscheiden sich außerdem auf Grundlage der Kosten gegen ein Recycling und für eine Beseitigung oder Verwertung von Booten. Am Ende der Lebensdauer eines Boots entsorgen Bootseigentümer*innen ihre Boote oft mangels Wissens, schlechter Informationslage oder fehlender Alternativen bei regionalen Schrotthändler*innen. Da diese die Entsorgung nur sporadisch vornehmen und keine Effizienzmaßnahmen ergreifen können, ist die Entsorgung oft teuer (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

Schlussfolgerung

Die Netzwerkanalyse zeigt auf, wo Daten zwischen Stakeholdern fließen und impliziert, wo kein Datenaustausch stattfindet; daraus ist abzuleiten, wo nur unzureichend Informationen geteilt werden. Ein Austausch zwischen Demontagebetrieben, Recyclingunternehmen und Herstellungsbetriebe von Einzelteilen bzw. Bootsbauer*innen ist derzeit nicht gegeben. Dies kann auf zwei Gründe zurückgeführt werden: Erstens, viele Herstellungsbetriebe von älteren Booten sind heute nicht mehr auf dem Markt existent und haben oft keinen Rechtsnachfolger bestimmt; zweitens, Bootsbauer*innen möchten Bauteillisten oder andere Informationen nicht veröffentlichen aus Gründen des Wettbewerbs, solange keine legislative Verpflichtung dazu besteht. Obwohl keine dokumentierten Daten vorliegen, so kann Fachpersonal aus Recyclingunternehmen aufgrund von Erfahrung und Ausbildung oft doch Muster in der Bootsstruktur und den verwendeten Materialien erkennen. Dieses personalisierte Wissen ist jedoch nicht dokumentiert (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022).

In Bezug auf die Möglichkeit zum Recycling von GFK und CFK ergeben sich damit folgende Schlüsse:

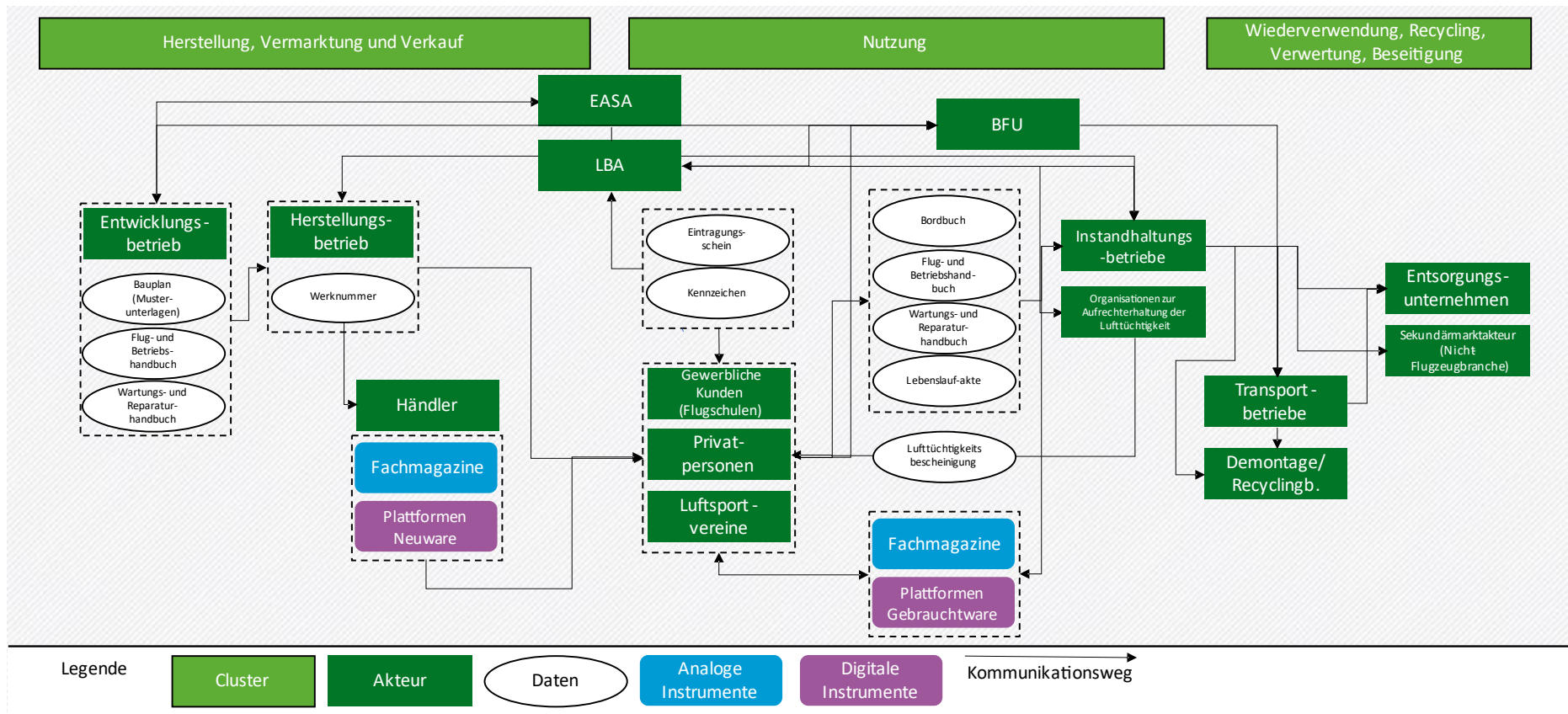
1. Herstellungsbetriebe von Einzelteilen kommunizieren nur unzureichend Informationen über den Einsatz von GFK und CFK in den Bauteilen an die Bootsbauer*innen; durch fehlende rechtliche Verpflichtungen fordern Bootsbauer*innen diese Informationen auch nicht ein.
2. Bootsbauer*innen, sowohl aus der Industrie als auch aus dem Bereich Manufaktur, teilen keine, unzureichend detaillierte bzw. wenige Daten zur Verwendung von GFK und CFK in ihren Produkten mit Händler*innen und damit indirekt mit Endnutzer*innen. Somit haben Eigentümer*innen keine Einsicht über das Vorhandensein von GFK und CFK in den Booten.
3. Eigentümer*innen können somit keine oder wenige Informationen über GFK und CFK an Reparatur- und Wartungsbetriebe, Recyclingbetriebe oder Anlagen zur Beseitigung und Verwertung von Booten mitteilen. Ebenso erhalten sie unzureichende Informationen über verwendetes GFK und CFK von Verkäufer*innen von Ersatzteilen, die ggf. in ihre Boote nachträglich verbaut werden.
4. Demontage- und Recyclingbetriebe haben keine direkten Kommunikationswege zu Herstellungsbetriebe von Einzelteilen oder Bootsbauer*innen und können vorgenommene Veränderung an den Booten, bei denen ggf. GFK/CFK verwendet wurde, nicht nachvollziehen, außer nach augenscheinlicher Inspektion.

Ein weiterer Nutzen in einem digitalen Konzept kann in der statistischen Erfassung der Abfälle liegen, die derzeit nicht gegeben ist.

5.1.2 Leichtflugzeuge

Die Netzwerkanalyse für die Produktgruppe der Leichtflugzeuge ist dargestellt in Abbildung 35. Sie zeigt die Stakeholder der Leichtflugzeugbranche im deutschen Raum. Die Branche ist durch ihren hohen Reglementierungsgrad sehr komplex. In diesem Vorhaben liegt der Fokus auf der Identifizierung von relevanten Kommunikationswegen, -instrumenten und Informationen für die Stoffstromlenkung von FVW; die Netzwerkanalyse erhebt keinen Vollständigkeitsanspruch.

Abbildung 35: Netzwerkanalyse Leichtflugzeuge



Quelle: Eigene Darstellung RMC

Herstellung, Vermarktung und Verkauf

Der Lebenszyklus von Leichtflugzeugen beginnt bei der Entwicklung und dem Design von Leichtflugzeugen und Bauteilen. Die an dieser Stelle entwickelten Konstruktionsvorschriften und Bauanweisungen werden anschließend bei Herstellungsbetrieben umgesetzt. Die gebauten und fertiggestellten Leichtflugzeuge werden dann vermarktet. In diesem ersten Cluster kommunizieren die Entwicklungs- und Herstellungsbetriebe, die EASA und das LBA.

Der Entwicklungsbetrieb steht am Anfang. Entwicklungsbetriebe unterliegen dem EASA-Recht und müssen nach EASA Part 21/J genehmigt werden. Kernaktivitäten von Entwicklungsbetrieben beinhalten:

- ▶ die Entwicklung von (Leicht-)Flugzeugen und einzelnen Bauteilen;
- ▶ die Entwicklung von Konstruktionsanweisungen;
- ▶ die Entwicklung von Reparatur- und Instandhaltungsunterlagen.

Entwickelte Flugzeugprodukte bedürfen einer behördlichen Zulassung der EASA, der sogenannten Musterzulassung. Für die Zulassung von designten Flugzeugprodukten müssen Entwicklungsbetriebe ihre Musterunterlagen bei der EASA vorlegen. Teil der Unterlagen sind Materialspezifikationen, Werkstoffe, Bauzeichnungen, Beschreibungen und Betriebsvorschriften, ein Flug- und Betriebshandbuch mit Wartungsanweisungen, eine Übersicht über Betriebslaufzeiten der einzelnen Bauteile und Lufttüchtigkeitsanweisungen (Input Behörde, 2022; Input CAMO, 2022). Mit Aushändigung der Musterzulassung bestätigt die EASA, dass das Bauteil und dessen Konstruktions-, Betriebs- und Instandhaltungsunterlagen sowie Betriebsdaten regelkonform entwickelt wurden. Mit der Zulassung hält die EASA alle relevanten Daten in einem Gerätekenblatt (Type Certificate Data Sheets) fest. Das Gerätekenblatt stellt eine Art Urkunde für zugelassene Flugzeugmuster dar und ist einer Baufreigabe entsprechend (Input Behörde, 2022). Die Kennblätter aller zugelassenen Flugzeuge sind auf der Webseite der EASA Type Certificate Data Sheets einsehbar (EASA, 2022). Oft müssen nach einem definierten Betriebszeitraum Bauteile nachgerüstet werden, d.h. dass nach der initialen Musterzulassung Anpassungen in den Musterunterlagen vorgenommen werden müssen. In diesen Fällen sind Entwicklungsbetriebe verpflichtet Herstellungsbetriebe über die Anpassungen zu informieren, welche die betroffenen Flugzeugeigentümer*innen informieren. Zudem veröffentlichen Herstellungsbetriebe die luftfahrttechnischen Anweisungen mit den vorgenommenen Änderungen im Muster meist auf ihrer Webseite (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2022; Input CAMO 2022).

Ein wesentliches Ergebnis der Entwicklungsbetriebe sind die Bauunterlagen, welche alle essenziellen Angaben und Anleitungen zur Herstellung des Produkts enthalten. Die Umsetzung der von einem nach EASA Part 21/J zertifizierten Entwicklungsbetrieb zugelassenen Flugzeugtypen oder Bauteils werden vom Herstellungsbetrieb vorgenommen (Input Behörde, 2022; Input CAMO, 2022).

Herstellungsbetriebe von Luftfahrzeugen müssen nach EASA Part 21/G genehmigt werden. Neben Herstellungsbetrieben mit EASA-Zulassung gibt es Herstellungsbetriebe mit nationalen Betriebszulassungen, die in der luftrechtlichen Verantwortung des LBAs liegen (Hinsch, 2019). Über die Webseite des LBAs kann auf ein Verzeichnis mit allen anerkannten technischen Betrieben im Zuständigkeitsbereich des LBAs oder entsprechend der EASA zugegriffen werden (Luftfahrt-Bundesamt, 2022b). Herstellungsbetriebe setzen die vom Entwicklungsbetrieb zugelassenen Konstruktionsanweisungen um und stellen Luftfahrtprodukte her. Somit sind Entwicklungs- und Herstellungsbetrieb in engem Austausch. Nicht selten verfügen

luftfahrttechnische Betriebe über eine EASA-Zulassung für die Entwicklung und Herstellung von Luftfahrtprodukten (Input Behörde, 2022).

Die EASA, als Luftaufsichtsbehörde der Europäischen Union, stellt ein EU-weit einheitliches Sicherheits- und Umweltschutzniveau im Bereich der zivilen Luftfahrt sicher. Unter anderem fallen die folgenden Aufgaben in den Verantwortungsbereich der EASA (Europäische Union, 2022):

- ▶ die Vorschriftenerstellung von Gesetzesvorschlägen der Luftfahrt im europäischen Raum;
- ▶ die Musterzulassung luftfahrttechnischer Produkte;
- ▶ die Entwicklung standardisierter Zulassungsanforderungen in Flugzeugbau, Flugbetrieb;
- ▶ die Zulassung von luftfahrttechnischen Betrieben (Entwicklung, Herstellung, Instandhaltung und Organisationen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit).

Im deutschen Raum steht die EASA in engem Austausch mit der deutschen Luftfahrtbehörde, dem LBA. Das LBA ist für technische und personelle Belange in der Luftfahrt zuständig und agiert in bestimmten Tätigkeitsbereichen im Auftrag oder in Abstimmung mit der EASA. Folgende Aufgaben sind Teil des Aufgabenportfolios des LBA (Luftfahrt-Bundesamt, 2022a) :

- ▶ die Überwachung von Musterprüfungen und -zulassungen (i.A. der EASA);
- ▶ die Genehmigung und Überwachung von nationalen Entwicklungs-, Instandhaltungs-, Herstellungs- und Ausbildungsbetrieben, wie auch Betriebe zur Überwachung der Lufttüchtigkeit (i.A. der EASA);
- ▶ die Verkehrszulassung, die An- und Abmeldung von Luftfahrzeugen;
- ▶ die Vergabe von Luftfahrzeugkennungen;
- ▶ die Flugbetriebsinspektionen.

Zudem verwaltet und führt das LBA folgende Datenbanken und Register:

- ▶ das Luftfahrzeugregister mit Daten aller im Inland zum Verkehr zugelassenen Luftfahrzeuge (§64 LuftVG);
- ▶ die zentrale Luftfahrerdatei mit Daten zu den erteilten Erlaubnissen oder Berechtigungen für Luftfahrer*innen (§65 LuftVG);
- ▶ die Luftfahrer-Eignungsdatei mit Daten zu der Zuverlässigkeit von Luftfahrer*innen (§66 LuftVG).

Von Verkauf zu Nutzung

Potentielle Käufer*innen informieren sich oft informell vor dem Kauf über ein privates Netzwerk über das Flugzeug ihrer Wahl, bspw. bei einem Verein, bei dem sie das Flugzeug teilweise schon probefliegen konnten. In der Regel werden Leichtflugzeuge direkt beim Herstellungsbetrieb gekauft. Die Anzahl an Leichtflugzeug-Herstellungsbetriebe ist im deutschen Raum gut überschaubar und tendenziell familiär (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2022). Da Herstellungsbetriebe meistens eine eigene Webseite betreiben, können Interessierte Informationen zu den zum Verkauf stehenden Flugzeugen, zu angebotenen Services und Kontaktinformationen online finden. Auch das Probefliegen ist vor Ort meist möglich. Der Erstkontakt erfolgt somit meist über ein digitales Kommunikationsinstrument

oder einen digitalen Kommunikationsweg (E-Mail), während anschließend der Kontakt zwischen Kaufinteressierten und Herstellungsbetriebe zur endgültigen Kaufentscheidung meist analog über vor-Ort-Besuche oder Telefon erfolgt.

Leichtflugzeuge können auch über Händler*innen in Fachmagazinen oder privat betriebene Online-Plattformen für Neu- sowie Gebrauchtflugzeuge erworben werden. Beliebte Online-Plattformen sind beispielsweise (siehe Kapitel 3.2.4.2):

- ▶ <https://www.segelflug.de>
- ▶ <https://www.flugzeug24.de>
- ▶ <https://www.ebay.de>
- ▶ <https://www.aircraft24.de>

Kommt es zum Kauf eines Leichtflugzeugs, wird Käufer*innen neben dem mit einer Werknummer versehenen Flugzeug das Flug- und Betriebshandbuch sowie ein Wartungshandbuch ausgehändigt. Das Flug- und Betriebshandbuch liegt in analoger Form vor, da es im Flugzeug bei Betrieb mitgeführt werden muss. Zusätzlich sind Flug- und Betriebshandbücher häufig auch digital auf der Webseite der Herstellungsbetriebe als PDF-Datei vorzufinden. In einem Flug- und Betriebshandbuch legt der*die Hersteller*in des Flugzeugs fest, welche Handhabung und Wartungsanweisungen für das jeweilige Flugzeugmodell durchzuführen sind, um einen störungsfreien Flugbetrieb zu gewährleisten (siehe Kapitel 4.3.2.1).

Nutzung

Bereits bei der Produktion wird jedes Flugzeug auf die den Musterunterlagen entsprechende Fertigung geprüft. Sofern keine Abweichungen vorzufinden sind, kann ein*e zertifizierte*r Prüfer*in die Lufttüchtigkeitsbescheinigung für das Fluggerät aushändigen. Mit der nachgewiesenen Lufttüchtigkeit kann das Flugzeug zum Verkehr zugelassen werden.

In Kapitel 3.2.2 wurde bereits eingängig über die rechtlichen Vorgaben der Registrierung in der Leichtflugzeugbranche berichtet. An dieser Stellen werden die relevanten Informationen für die Netzwerkanalyse aufgegriffen. Nach LuftVZO bedürfen Luftfahrzeuge einer Verkehrs- und Betriebszulassung durch das LBA. Sofern das Flugzeug in Betrieb genommen werden soll, ist der*die neue Eigentümer*in zur Registrierung des Flugzeugs verpflichtet. Anträge zur Anmeldung, Kennzeichenvormerkung oder Abmeldung können online, per Fax oder per Post gestellt werden. Die finalen Unterlagen werden derzeit, aufgrund notwendiger Originalunterschriften, in Papierform ausgehändigt (Input Behörde, 2022). Bei der Anmeldung und Registrierung beim LBA erhalten Luftfahrzeugbesitzer*innen ein Kennzeichen zugeteilt, welches am Luftfahrzeug regelkonform angebracht werden muss. Die Beantragung eines Kennzeichens sowie die Eintragung in die Luftfahrzeugrolle, kann über ein online-Formular auf der Webseite des LBAs beantragt werden (Luftfahrt-Bundesamt, 2022d). Bei der Anmeldung erfolgt die Eintragung der Luftfahrzeugrolle ins Luftfahrzeugregister (§64 LuftVG). Die Luftfahrzeugrolle entspricht der*dem Eigentümer*in des Luftfahrgeräts. Dieses Register ist aus Datenschutzgründen nicht öffentlich einsehbar (Kassera, 2016b). Mit der Eintragung der Luftfahrzeugrolle erhält der*die Luftfahrzeugeigentümer*in einen Eintragungsschein. Dieser muss zusammen mit dem Lufttüchtigkeitszeugnis verpflichtend in den Bordunterlagen (Bord- und Flughandbuch) mitgeführt werden. Das Flug- und Betriebshandbuch liegt in analoger Form vor, da es im Flugzeug bei Betrieb mitgeführt werden muss. Zusätzlich sind Flug- und Betriebshandbücher häufig auch digital auf der Webseite der Herstellungsbetriebe vorzufinden.

Nach §30 LuftBO ist die Führung eines Bordbuchs an Bord des Flugzeugs verpflichtend. Im Bordbuch muss der Eintragungsschein, die Werknummer und die Bescheinigung über die Prüfung der Lufttüchtigkeit mitgeführt werden. Zudem müssen Leichtflugzeughalter*innen ihre Flugzeiten im Bordbuch genau protokollieren. Aus der Dokumentation der Betriebsstunden geht für Flugzeugeigentümer*innen und luftfahrttechnische Betriebe hervor, wann Inspektionen oder Wartungen anstehen und bspw. der Motor überholt werden muss (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2022). Die Instandhaltungsmaßnahmen werden genau kontrolliert und Betriebszeiten seit der letzten Grundüberholung im Bordbuch dokumentiert. Bei der jährlichen Nachprüfung zur Bescheinigung der Lufttüchtigkeit ist die Vorlage des Bordbuchs bei den jeweiligen Prüfungsstellen Voraussetzung (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2022 (Kassera, 2016b)).

Außerdem wird die Lebenslaufakte von Eigentümer*innen von Leichtflugzeugen geführt und verwaltet. In der Lebenslaufakte werden alle im Leben eines Leichtflugzeugs vorgenommenen Vorgänge, wie Reparatur- und Wartungsberichte, gesammelt. Diese Unterlagen erlauben somit Transparenz darüber, von wem welche Maßnahmen am Leichtflugzeug durchgeführt wurden. In der Lebenslaufakte werden Ursprungszustand und Veränderungen am Luftfahrzeug festgehalten, indem Unterlagen wie Reparaturberichte, Informationen über die im Flugzeug verbauten Instrumente sowie die Ausrüstungsliste festgehalten und abgeheftet werden. Die Lebenslaufakte kann beim Befund- und Arbeitsbericht von luftfahrttechnischen Betrieben eingheftet werden. Informationen zu GFK- und CFK-Materialien werden hier nicht dokumentiert. Informationen über GFK und CFK werden nur beim Herstellungsbetriebe im Bauplan dokumentiert (Input Flugzeugherstellendes Unternehmen, 2022)

Von Nutzung zu Reparatur und Instandhaltung

Leichtflugzeugeigentümer*innen sind EASA Part M zufolge zur Einhaltung der behördlich genehmigten Instandhaltungsprogramme und zur Durchführung aller erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung des störungsfreien Betriebs angehalten. Der Luftfahrzeugbetreibende ist verpflichtet, die Durchführung planmäßiger Kontrollen zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit im Blick zu haben und zu veranlassen (Kassera, 2016b).. Die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit verantworten und überwachen luftrechtlich zugelassene Betriebsformen, wie bspw. CAMOs (Continuing Airworthiness Management Organisation). EASA Part CAMO oder CAO zugelassene Betriebe führen die jährlich anfallenden Lufttüchtigkeitsprüfungen durch und stellen Bescheinigungen zur Lufttüchtigkeit des Luftgeräts aus. Detaillierte Ausführungen zur Reparatur und Instandhaltung sind in Kapitel 4.2.2 zu finden.

Luftfahrttechnische Instandhaltung umfasst alle Tätigkeiten rund um die Überholung, die Reparatur, Änderungen und Inspektionen an luftfahrttechnischen Erzeugnissen (AeroImpulse, 2022). Tätigkeiten, welche zur Instandhaltung des Luftfahrzeugs vorgenommen werden müssen, dürfen nur EASA-zugelassene Betriebe durchführen. Die Anforderungen an Instandhaltungsbetriebe werden in der Durchführungsverordnung zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit EASA Part 145 beschrieben (Implementing Rule Continuing Airworthiness, Part 145). Auf der Webseite des LBAs wird auf eine Datenbank mit allen anerkannten technischen Betrieben im Zuständigkeitsbereich des LBAs verlinkt (Luftfahrt-Bundesamt, 2022c) .

Flugzeuge und Bauteile dürfen erst nach Beendigung von Instandhaltungsarbeiten durch den zertifizierten Betrieb bescheinigt und freigegeben werden. Zudem müssen alle Instandhaltungsarbeiten detailliert dokumentiert werden. Die Expertise zu Reparaturprozesse hat sich oft über Jahrzehnte hinweg aufgebaut. So führen oft auch Vereine, oder Herstellungsbetriebe Reparaturvorgänge durch (Input Behörde, 2022). Dem Flugzeugbetreibenden ist mindestens eine Kopie oder das Original der Arbeits- und

Änderungsprozesses-Dokumentation auszuhändigen (in Papierform) und in der Lebenslaufakte abzuheften (Hinsch, 2019).

Bei Leichtflugzeugen gibt es nur selten Reparaturfälle, die nicht behoben werden können. Nur in seltensten Fällen müssen Bauteile oder ganze Leichtflugzeuge verschrottet werden. Identifiziert der Instandhaltungsbetrieb einen Reparaturfall, bei dem die vorliegenden Handbücher nicht weiterhelfen, wendet sich dieser an den Herstellungsbetrieb, bei welchem bspw. die Baupläne anfragt werden. In einigen Fällen übernimmt der Herstellungsbetrieb, sofern er zertifiziert ist, selbst die Reparatur.

Der Markt für Gebrauchtteile in der Leichtflugzeugbranche ist groß. Luftfahrttechnische Betriebe verkaufen Einzelbauteile entweder selbst auf dem Sekundärmarkt oder kaufen Bauteile auf dem Sekundärmarkt für Reparaturzwecke nach.

Im Falle eines Flugunfalls wird die BFU kontaktiert (siehe Kapitel 4.1.3). Die Anmeldung von Flugunfällen oder Störungen kann online, telefonisch oder über Fax erfolgen (BFU, 2022). Das primäre Ziel der BFU ist es Erkenntnisse zu gewinnen, mit denen künftige Flugunfälle oder Störungen vermieden werden können. Stellt sich heraus, dass der Flugunfall durch eine Materialschwäche verursacht sein könnte, geht das BFU auf Herstellungsbetriebe zu, um diese aufzufordern, eine luftfahrttechnische Mitteilung herauszugeben und das Flugzeugmuster des entsprechenden Typs zu überprüfen und anzupassen und Flugzeugbesitzer*innen des entsprechenden Flugzeugtyps zu kontaktieren.

Vorbereitung zur Wiederverwendung/ Recycling/ Verwertung/ Beseitigung

Im Bereich Vorbereitung zur Wiederverwendung/ Recycling/ Verwertung/ Beseitigung sind Transport-, Recycling- und Entsorgungsbetriebe relevante Akteur*innen. Wie bereits in Kapitel 3.2.4.1 erwähnt, haben Leichtflugzeuge sehr lange Lebenszyklen und selbst in Schadensfällen finden Leichtflugzeugbauteile, die ausgetauscht oder ersetzt werden, in den meisten Fällen eine Weiterverwendung auf dem Gebrauchtmittelmarkt (analoge und digitale Instrumente) (Input Behörde, 2022). Bauteile, die nicht wieder in einen lufttüchtigen Zustand zurückversetzt werden können, müssen verschrottet, unbrauchbar gemacht und fachgerecht entsorgt werden. Damit wird sichergestellt, dass fluguntüchtige Bauteile nicht mehr in den Flugverkehr zurückkehren (Input CAMO, 2022). In Kapitel 4.3.2 wird auf den Weg zur Außerbetriebnahme und Entsorgung von Leichtflugzeugen detailliert eingegangen. Die Protokollierung über die Unbrauchbarmachung und die fachgerechte Entsorgung wird bei regelmäßigen Audit-Besuchen durch das LBA stichprobenartig geprüft (siehe Kapitel 4.2.2.2). Instandhaltungsbetriebe halten oftmals vertragliche Vereinbarungen mit dem regionalen Entsorgungsunternehmen. So werden Abfälle, die bei der Verschrottung anfallen, vor Ort gesammelt und regelmäßig vom Entsorgungsbetrieb abgeholt. Wertvolle Metallteile werden meist an einen entsprechenden Recyclingbetrieb zu Weiterverwertung gegeben.

Schlussfolgerung

Die Netzwerkanalyse zeigt auf, wo Datenaustausch stattfindet und wo nicht; daraus ist abzuleiten, wo nur unzureichend Informationen geteilt werden. Die Netzwerkanalyse im Bereich der Leichtflugzeuge verdeutlicht den hohen Reglementierungsgrad und die damit einhergehende Komplexität dieser Branche. Laut einem Stakeholder führen die komplexen behördlichen Vorgaben dazu, dass einige Flugzeugeigentümer*innen die selbstständige Verwaltung des Fluggeräts aufgeben und diese Dienstleistung von einem luftfahrttechnischen Betrieb einkaufen (CAMO, 2022).

1. Durch den hohen Reglementierungsgrad in der Luftfahrtbranche herrscht eine hohe Transparenz über alle in der Luftfahrtbranche tätigen Stakeholder, deren Strukturen,

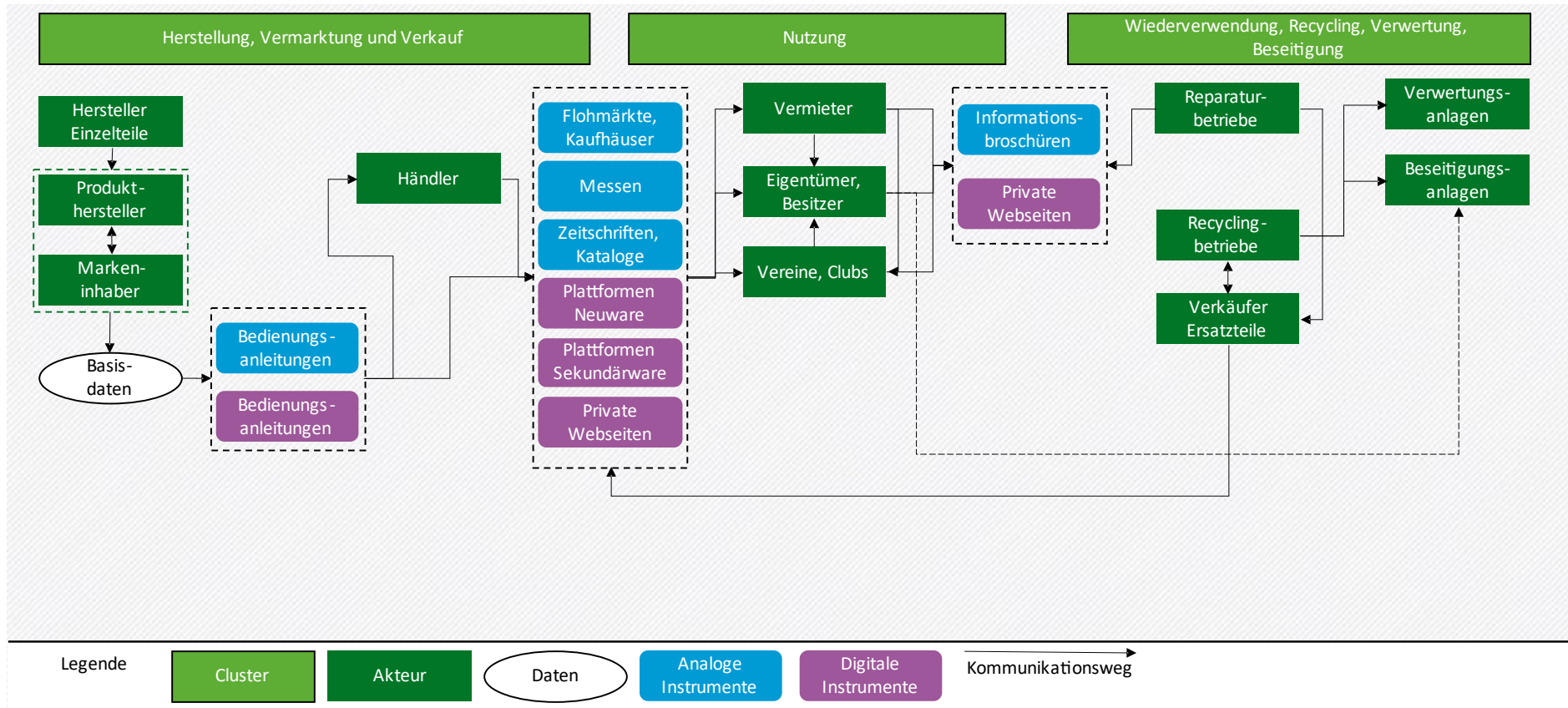
Organisationen und Prozesse streng überwacht und reglementiert sind, inkl. der verwendeten Bauteile und Materialien.

2. Der etablierte Reparaturmarkt und verpflichtende Inspektionsprogramme führen zu langen Lebenslaufzeiten und einem geringem Abfallvorkommen.
3. Daten (Informationen) über verbaute Materialien werden nur beim Herstellungsbetrieb aufbewahrt. Jedoch können diese Daten bei Bedarf, bspw. für Wartungs- oder Reparaturarbeiten, angefragt und eingeholt werden.
4. Durch die Jahrzehnte aufgebaute Expertise in Reparatur- oder Wartungsprozessen hat sich eine de facto Standard-Prozess etabliert, sodass aktuell eine hohe Stabilität in diesem Bereich gewährleistet ist.

5.1.3 Bedarfsgegenstände

Die Netzwerkanalyse für Bedarfsgegenstände aus CFK ist dargestellt in Abbildung 36. Durch die Diversität der Produkte, die unter diesem Begriff betrachtet werden (zur Abgrenzung siehe Kapitel 3.3.1), fällt die Darstellung der Netzwerkanalyse hier vereinfacht aus und bezieht sich im Schwerpunkt auf Fahrräder und Gegenstände aus dem Bergsport wie Skier. Für die Produktgruppen Golfschläger, Instrumente, Prothesen und Orthesen liegen keine ergänzenden oder abweichenden Details vor. Details können dem nachfolgenden Text entnommen werden.

Abbildung 36: Netzwerkanalyse Bedarfsgegenstände



Reparaturbetriebe schließen Wartungs- und Instandhaltungsbetriebe für entsprechende Produktgruppen mit ein. Bedienungsanleitungen schließen zweckähnliche Dokumente wie Handbücher und Gebrauchsanweisungen mit ein. Quelle: Eigene Darstellung RMC

Von Herstellung, Vermarktung, Verkauf zu Nutzung

Im Cluster für Herstellung, Vermarktung und Verkauf im Lebenszyklus von Bedarfsgegenständen stehen zuallererst die Herstellungsbetriebe von Einzelteilen, die wiederum in den Produkten verbaut werden. Dazu gehören bei Materialien aus FVW beispielsweise Fahrradrahmen oder Körper von Saiteninstrumenten. Diese Einzelteile werden dann an Produktherstellungsbetriebe geliefert, die die Teile zusammensetzen, komplementieren und zum Bedarfsgegenstand werden lassen, das Endverbraucher*innen erwerben können. Produktherstellungsbetriebe können gleichzeitig Markeninhaber*innen von Produkten sein. Markeninhaber*innen verkaufen anschließend die Endprodukte direkt oder über kommerzielle Händler*innen an die Endkund*innen (Privatpersonen, Vereine, Vermieter*innen etc.). Außerdem erhalten Endkund*innen gemietete Produkte über kommerzielle Vermieter*innen, oft auch über Vereine, Clubs und Verbände. Die Daten zum Verbau von FVW, die über diese Kommunikationswege von Produktherstellungsbetriebe an deren Kund*innen fließen, sind stark produkt- und herstellerabhängig. Bei herkömmlichen Fahrrädern bspw. wird die Zusammensetzung der Stoffe meist nicht in dem Detailgrad offengelegt, der für eine Demontage und Trennung der Stoffe notwendig wäre. Generell ist für die Herstellungsbetriebe von Fahrrädern die Nachhaltigkeit in der Produktion zwar ein wichtiger Faktor, jedoch dient die Informationsübermittlung an die Endverbraucher*innen überwiegend dem Marketing und weniger der Erleichterung von Reparatur, Ersatz und Recycling. Als Endverbraucher*in erfährt man so generell nicht, aus welchen Bestandteil das gekaufte Fahrrad besteht (Input Fahrradverband, 2022). Ähnlich ist es bei Skiern: Hier kann die generelle Materialzusammensetzung durch Verbraucher*innen eingesehen werden, jedoch sind detaillierte Informationen nicht verfügbar, und auch hier kommunizieren Herstellungsbetriebe die Informationen meist aus Gründen des Marketings. Wenn Materialien wichtig sind für die Leistungsfähigkeit oder Daten benötigt werden zur Kaufentscheidung (bspw. Schichtprofile von Skiern für Schnelligkeit, Wendigkeit; Maße für die Passgröße), wird diese Information geteilt (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2022; Input Bergsportverband, 2022). Informationen in Gebrauchsanweisungen und Bedienungsanleitungen dienen folglich der Anwendung und Leistungsfähigkeit sowie der Produktpflege und nicht der Information über verbaute Stoffe. Produktherstellungsbetriebe zeigen sich hier skeptisch gegenüber voller Transparenz, um Wettbewerbsvorteile in der Bauweise von Produkten nicht offenzulegen (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2022).

Gebrauchsanweisungen und Bedienungsanleitungen sind meist in Papierform (als eine Art Handbuch) und eher selten digital (als PDF-Dokument) erhältlich. Vertriebsplattformen zwischen Händler*innen oder Vermieter*innen sowie Markeninhaber*innen bzw. Produktherstellungsbetriebe können ebenso analog und digital organisiert sein. Somit erhalten Eigentümer*innen Informationen wie Gebrauchsanweisungen und Basisdaten auf dem physischen Second Hand Markt (Flohmärkte, Gebrauchtkaufhäuser, Auktionshäuser), auf Messen, über Zeitschriften und Kataloge; aber auch auf Online-Plattformen für Neuwaren, Online-Gebrauchtmärkten (wie eBay oder Facebook-Gruppen) und den Webseiten, bspw. Webseiten von Herstellungsbetriebe, wo Produktinformationen einsehbar sind.

Nutzung

Während und nach der Nutzung informieren sich Eigentümer*innen sowohl online über Webseiten und Online-Plattformen als auch analog über Informationsbroschüren und Zeitschriften über Möglichkeiten zur Reparatur, Wartung und Instandsetzung ihrer Produkte sowie über den Erwerb von Ersatzteilen.

Von Nutzung zu Reparatur

Auch hier herrscht hohe Komplexität in der Produktgruppe der Bedarfsgegenstände.

Nur selten gibt es Reparaturbetriebe, die direkt von Herstellungsbetriebe betrieben werden. Beispielsweise sind Reparaturbetriebe für Skier meist unabhängig vom herstellenden Unternehmen; nur bei komplizierten Reparaturen wird teilweise auf Hersteller*in verwiesen (Input Bergsportverband, 2022). Ein Bergsportverband berichtet, dass in der Ausbildung von Fachkräften im Bergsportbereich die Lehre zum Umgang mit Materialien mitgelehrt wird; allerdings umfasst dies nicht den Umgang mit GFK/CFK (Input Bergsportverband, 2022). Der fachgerechte Umgang wird jedoch durch die fehlende Kommunikation von Informationen erschwert.

Fahrräder sind meist modular aufgebaut und können deshalb oft unkompliziert bei den Reparaturbetrieben der Fachhändler*innen repariert bzw. daraufhin geprüft werden, ob Teile austauschbar sind (Input Fahrradverband, 2022). Durch den modularen Aufbau und die einfache und unkomplizierte Möglichkeit, bei Bedarf Teile auszutauschen, verändert sich die Zusammensetzung von Fahrrädern somit oft individuell und undokumentiert, sodass dies für Außenstehende nicht nachvollziehbar ist. Teilweise wird so auch unkenntlich gemacht, wer das Fahrrad ursprünglich hergestellt hat (Input Fahrradverband, 2022).

Verwertung, Recycling und Abfall

Am Lebensende des Produkts werden, wie in Kapitel 3.3.5 beschreiben, die Produkte nur selten dem Recycling zugeführt, sondern werden entweder über den Sekundärmarkt weiterverwendet oder über Wertstoffhöfe oder die Sperrmüllsammlung entsorgt und in Verwertungsanlagen energetisch verwertet. Herstellungsbetriebe von Fahrrädern verfügen beispielsweise im Normalfall nicht über eigene Recyclingtechnologien. Außerdem findet von Herstellungsbetriebe zu Endverbraucher*innen von Fahrrädern keine Kommunikation bzw. kein Informationsaustausch über die Möglichkeiten des Recyclings bzw. angemessener Entsorgung von Fahrrädern statt (Input Fahrradverband, 2022). Ein Ski-Produzent berichtet über ähnliche Zustände in der Branche, d.h. dass die meisten Skier derzeit im Sperrmüll oder auf dem Wertstoffhof landen, oder in Privathaushalten gelagert werden (Input Skisherstellendes Unternehmen, 2022). Bei der Einsammlung durch den Sperrmüll oder die Entsorgung auf den Wertstoffhof fließen bei Skiern normalerweise keine Informationen von Eigentümer*in zu Entsorgungsbetrieb. So ist auch der Fall bei Fahrrädern, d.h. die Materialzusammensetzung, evtl. verbaute Reparaturteile oder Veränderungen werden nicht kommuniziert (Input Fahrradverband, 2022).

Relevanz von Informationen zur Nachhaltigkeit in verschiedenen Branchen

Die Branche bekräftigt ihr Interesse an einer Lösung, die Nachhaltigkeit bereits bei der Herstellung von Produkten betrachtet und innovative Lösungen bereitstellt (Input Bergsportverband, 2022; Input Skisherstellendes Unternehmen, 2022). Der Druck von Kund*innen, mehr über die Herstellung und Nachhaltigkeit der Produkte zu erfahren, wächst. Viele der Bedarfsgegenstände, die FVW beinhalten, werden außerdem von einer sehr auf die Natur bedachte und an Nachhaltigkeit interessierten Bevölkerungsgruppe gekauft (Input Bergsportverband, 2022). Einzelne Unternehmen starten mit individuellen Recyclingmaßnahmen ihrer Produkte, um im Rahmen von Nachhaltigkeitsstrategien ihrer sozialen und ökologischen Verantwortung gerecht zu werden. Auch hier ist der Wunsch nach einer industrieübergreifenden Lösung und Stoffstromlenkung laut, denn für ein einzelnes Unternehmen sind die Mengen, die von Endverbraucher*innen und Fachhändler*innen zum

Recycling geliefert werden, zu klein für eine nachhaltig wirtschaftliche Investition (Input Skisherstellendes Unternehmen, 2022).

Schlussfolgerung

Die Netzwerkanalyse zeigt auf, wo Daten fließen und impliziert, wo kein Datenaustausch stattfindet bzw. nur unzureichend Informationen geteilt werden. In Bezug auf die Möglichkeit zum Recycling von FVW ergeben sich damit folgende Schlüsse:

1. Herstellungsbetriebe von Einzelteilen kommunizieren keine Informationen über die Verwendung von FVW in den Bauteilen an die Produktherstellungsbetriebe.
2. Produktherstellungsbetriebe teilen nur bedingt und keine detaillierten Daten zur Verwendung von FVW in ihren Produkten an Händler*innen und weitere Verkäufer*innen und Vermieter*innen. Somit haben Nutzer*innen keine oder wenig Einsicht über das Vorhandensein von FVW in den von ihnen erworbenen oder gemieteten Produkten.
3. Eigentümer*innen können somit keine Informationen über FVW an Wertstoffhöfe, Reparatur- und Wartungsbetriebe, Recyclingbetriebe oder Entsorgungsanlagen teilen. Ebenso erhalten sie keine oder unzureichende Informationen über verwendetes FVW von Verkäufer*innen von Ersatzteilen, die ggf. in ihre Produkte nachträglich verbaut werden.

Folglich ist bereits am Anfang des Lebenszyklus der Produkte die Verwendung von GFK und CFK nicht transparent. Viele Bedarfsgegenstände können im Nachhinein von Betrieben und Privatpersonen verändert und modifiziert werden, ohne dass diese Veränderungen dokumentiert werden (müssen). Eine Registrierung oder ein Datenkonzept mit Informationen zum Serientyp sind folglich nur bedingt aussagekräftig. Hier stellt sich auch die Frage, inwiefern der Aufwand dem Nutzen gerecht würde.

5.1.4 Bewertung der verwendeten digitalen Kommunikationsinstrumente

Die Netzwerkanalysen lassen zunächst eine Betrachtung und Bewertung der vorhandenen digitalen Kommunikationsinstrumente zu. Dabei werden die folgenden Kriterien zu Grunde gelegt:

- ▶ Verfügbarkeit: Ist ein Zugriff jederzeit möglich? Wenn nein, von was hängt ein Zugriff ab? Können alle Interessierten zugreifen? Wenn nein, von was hängt der Zugriff ab (Authentifizierung, Registrierung o.ä. nötig)?
- ▶ Nutzer*innen-Orientierung (Nutzer*innen der digitalen Instrumente, sprich alle Interessensgruppen inkl. Eigentümer*innen, Reparatur-, Demontage- und Recyclingbetriebe): Sind Instrumente so gestaltet, dass Bedürfnisse und Ansprüche der Nutzer*innen im Vordergrund stehen? D.h., können benötigte Informationen schnell und vollständig gefunden werden?
- ▶ Pflege und Aktualisierbarkeit: Sind Verantwortlichkeiten für die regelmäßige Pflege und Aktualisierbarkeit des Instruments bestimmt? In welchen Abständen werden Neuerungen eingespeist? (bspw. Software-Updates, Qualitätsprüfungen)

Durch die Netzwerkanalyse wurde ersichtlich, dass im Bereich der betrachteten drei Produktgruppen nur wenige digitale Kommunikationsinstrumente bestehen, die meist privat oder informell betrieben werden.⁹¹

⁹¹ In Kapitel 5.3 werden unter einem erweiterten Bewertungsschema digitale Kommunikationsinstrumente betrachtet, die für Stoffstrombündelungs- und Verwertungsfragen in anderen Branchen relevant sind.

Tabelle 62: Bewertung bestehender digitaler Kommunikationsinstrumente

Kategorie	Erreichbarkeit und Verfügbarkeit	Nutzer*innen-Orientierung	Pflege und Aktualisierbarkeit
Webseiten von Unternehmen, bspw. Recyclingbetrieben oder Herstellungsbetrieben	Allgemein und ständig zugänglich für interessierte Nutzer*innen über alle Endgeräte	Meist unidirektionaler Informationsfluss über das Angebot, ggf. mit Möglichkeit zur Kontaktaufnahme durch die Nutzer*innen	Üblicherweise durch private Hand aktualisierbar und im Eigeninteresse der Unternehmen stets auf dem aktuellen Stand
Online-Plattformen von Drittanbieter*innen für Neuwaren oder Gebrauchtteile (bspw. www.ebay.de)	Allgemein und ständig zugänglich für interessierte Nutzer*innen über alle Endgeräte, allerdings meist Beschränkung von Austausch-/Kontaktfunktion nur für registrierte Nutzer*innen	Austauschplattform für Nutzer*innen mit Suchfunktion zur individualisierten Suche von Bedarfen, integrierte Kontaktfunktion zum bidirektionalen oder multidirektionalen Austausch	Software wird von Privatunternehmen aktualisiert; registrierte Nutzer*innen aktualisieren Angebot, wenn neue Artikel verfügbar oder Artikel verkauft wurden oder nicht mehr verfügbar sind

Diese Bewertung macht deutlich, dass einige Optimierungshebel bestehen, die das Problem der Stoffstrombündelung und Verwertungsfrage durch digitale Mittel erleichtern können. Dazu gehören die Sammlung, Aufbereitung, Anreicherung und Archivierung von Informationen über die GFK-/CFK-Verwendung in den Produkten, die derzeit besonders im Bereich Sportboote und Bedarfsgegenstände nur mangelhaft verfügbar ist, sowie die Bereitstellung von Informationen über aktuelle Recyclingpraktiken, -vorgaben und -anlaufstellen und eine Bündelung des Markts bzw. des Angebots der Wiederverwendung bzw. den Gebrauchtteilemarkt. Im nächsten Kapitel werden deshalb inhaltliche und technische Kommunikationsschemata skizziert.

5.2 Entwurf digitaler Konzepte

Zur zielgerichteten Stoffstromlenkung und der Erleichterung des Recyclings sowie ein optimierter Informationsfluss für relevante Akteur*innen entlang des Lebenszyklus der betrachteten Produkte werden in diesem Abschnitt Möglichkeiten für digitale Kommunikationsschemata vorgeschlagen. Die Relevanz von digitalen Lösungen wird im Bereich der Stoffstromlenkung durch zwei Faktoren begründet:

- ▶ Digitalisierung ermöglicht die Speicherung, Archivierung, Bereitstellung und Auswertung von Daten über eine lange Dauer. Dadurch können Informationen zu Produkten mit langer Lebensdauer (wie Sportboote und Leichtflugzeuge) auch zeitlich nachhaltig zur Verfügung gestellt werden und bieten damit eine zukunftsweisende Möglichkeit zur Stoffstromlenkung.
- ▶ Digitalisierung ermöglicht den geographisch unabhängigen Informationsaustausch, die im vorliegenden Zusammenhang zunächst für Deutschland betrachtet wurde und generell auf europäische Initiativen oder internationale Regulierungen ausgeweitet werden könnte (siehe strategische Initiativen zum Digitalen Produktpass in der EU in Kapitel 5.2.1.4).

Dabei ist zu beachten, dass digitale Lösungen auch in sich nachhaltig gestaltet sein müssen, um einen positiven Einfluss auf Umwelt und Nachhaltigkeitsaspekte (sowie weitere Aspekte wie soziale Kohäsion) zu haben (Lange & Santarius, 2022).

Zunächst werden in diesem Kapitel Konzepte zu digitalen Kommunikationsinstrumenten und Datenkonzepte für den Bereich Sportboote betrachtet. Dabei werden Lösungskonzepte auf zwei Ebenen vorgeschlagen: eine einfache Dienstleistungsplattform mit einer möglichen Verknüpfung bestehender privater Dienste; sowie die Verknüpfung verschiedener, zu realisierender Datenkonzepte. Zur Umsetzung der Datenkonzepte werden unterschiedlich starke Tiefen der Informationsvielfalt und Einbeziehung von Akteur*innen vorgeschlagen, die wiederum eine Verknüpfung mit weiteren organisatorischen Konzepten zulassen. Außerdem werden konzeptuelle technische Hinweise zu Zugriffsmöglichkeiten, zur Datensicherheit, Pflege und Aktualisierbarkeit sowie allgemeine Hinweise zum technischen Datenkonzept beschrieben. Der Digitale Produktpass als Grundlage für Datenübermittlungskonzepte sowie dessen strategische Relevanz in der EU werden beleuchtet.

Anschließend wird die Branche der Leichtflugzeuge exemplarisch als funktionierendes System betrachtet, das bereits heute über ausreichend Informationsfluss verfügt und einen geringen Bedarf an digitalen Lösungen zur Stromstofflenkung darstellt.

Im letzten Schritt werden außerdem die Schwierigkeiten zur Lösungsfindung im Bereich der Bedarfsgegenstände beleuchtet.

5.2.1 Sportboote

Für die Produktgruppe der Sportboote werden aus der Netzwerkanalyse und aus Kapitel 2.2 diverse Rahmenbedingungen abgeleitet, die den Nutzen für ein digitales Konzept, das das Recycling bzw. die Stoffstromlenkung vereinfachen und unterstützen kann, deutlich machen.

- ▶ Nur ein Teil der Sportboote wird in Deutschland registriert. Dadurch sind Mengenabschätzungen über Sportboote und das Abfallvorkommen mit der bestehenden Datenlage nur bedingt möglich.
- ▶ Es besteht kein Informationsaustausch zwischen Herstellungsbetrieben und Recyclingbetrieben und Transportunternehmen. Außerdem werden bauliche oder materialrelevante Veränderungen an Booten nicht dokumentiert. Dadurch sind ein fachgerechtes Recycling und dessen Aufwandsschätzung nur bedingt planbar.
- ▶ Eine weitere Hürde bei der Konzipierung digitaler Konzepte und der Verbesserung des Informationsflusses ist die teilweise kurze Lebensdauer von Herstellungsbetrieben, Bootsbauer*innen bzw. Werften. Viele Boote, die heute noch funktionstüchtig sind, jedoch vor einigen Jahrzehnten hergestellt wurden, wurden von Werften hergestellt, die heute nicht mehr auf dem Markt sind und keine*n Rechtsnachfolger*in bestimmt haben (Input Bootsverband 4, 2022). Informationen über Boote von Manufakturartig hergestellten Werften sind somit nicht zuverlässig nachträglich verfügbar.
- ▶ Das Recycling von Sportbooten ist im Moment freiwillig und bringt einen erheblichen Kostenaufwand für die letzte Person im Lebenszyklus, die das Boot besitzt und in das Recycling trägt.

Im Folgenden werden aufbauend auf diesen Erkenntnissen Vorschläge für zwei digitale Konzepte von unterschiedlicher Komplexität vorgelegt.

5.2.1.1 Inhaltliches Schema: Dienstleistungsplattform

Aus der Netzwerkanalyse und aus Gesprächen mit Stakeholdern wird deutlich, dass Informationen zum Recycling von Sportbooten derzeit von Eigentümer*innen vor allem durch Eigeninitiative gefunden werden, bspw. über analoge Kanäle wie Gespräche mit anderen

Vereinsmitgliedern oder über die aktive Suche im Internet und den Besuch einer privaten Webseite von Recyclingbetrieben und anschließende Kontaktaufnahme über digitale oder analoge Kanäle. Folglich besteht ein erster Optimierungshebel zur Stoffstromlenkung und zum fachgerechten Recycling von Sportbooten, die bereits heute am Ende des Lebenszyklus angelangt sind, in der Bündelung der für Eigentümer*innen von Sportbooten relevanten Informationen auf einer zentralen digitalen Kommunikationsplattform (bspw. Webseite). Diese Informationen können dann sowohl von Nutzer*innen von Altbooten als auch von Kaufinteressierten von Neubooten abgerufen werden.

Das inhaltliche Schema der Webseite besteht im Wesentlichen aus einer Informationskategorie:

1. Übersicht der Recyclingunternehmen, die Dienstleistungen im Bereich des Sportboote-Recyclings anbieten, d.h.
 - ▶ Unternehmensadresse und -kontaktdaten wie Telefonnummer und E-Mail,
 - ▶ Link zur privaten Webseite, falls vorhanden,
 - ▶ Übersicht über deren Dienstleistungsportfolio wie bspw. Spezialisierung auf Materialien oder Bootstypen/Serienmodelle.

Konzeptuell wird vorgesehen, dass Recyclingbetriebe, die auf der Webseite gelistet werden möchten, sich hierfür an die zuständige Stelle wenden können, beispielsweise eine zuständige Behörde. Dies könnte über digitale Kommunikationswege wie E-Mails geschehen oder über ein Standard-Online-Formular, über das die entsprechenden Informationen zu vermitteln sind. Eine Aufnahme von privaten Recyclingbetrieben auf der Plattform sollte vorab durch neutrale Beobachter*innen geprüft werden, bspw. durch Vorweisen von vergangenen Bootsrecyclings-Aktivitäten, einen Standortbesuch durch eine öffentliche Institution o.ä. Dabei ist langfristig auch eine Akkreditierung oder Zertifizierung durch eine Behörde denkbar. Dadurch können sich Recyclingbetriebe, die über Expertise in der Bootsbranche verfügen, ausweisen und gegenüber Kund*innen ihre Dienstleistungen gezielt und glaubwürdig anbieten. Behörden wiederum können dadurch rechtliche Personen bei Fragen schnell identifizieren.

Recyclingbetriebe müssen dazu angehalten werden, ihre Informationen auf der Plattform aktuell zu halten. Dies kann durch eine rechtliche Verpflichtung sichergestellt werden; ein informeller Anreiz ist durch die Darstellung der Dienstleistung auf einer digitalen Plattform als Werbemaßnahme und zur Erweiterung des Netzwerks gegeben. Ein weiterer Hebel bestünde ggf. in der Herstellung eines Kommunikationswegs zu Herstellungsbetrieben/Bootsbauer*innen: Registrierte Recyclingbetriebe könnten bspw. exklusive Zugänge zu Materialinformationen bekommen, die von Herstellungsbetrieben/Bootsbauer*innen zur Verfügung gestellt werden. Diese wiederum könnten dazu ebenfalls rechtlich verpflichtet werden oder darin einen Anreiz sehen, selbst eine Dienstleistung im Bereich Recycling für von ihnen hergestellten Booten anzubieten.

Weitere Informationskategorien sind zur Einbettung denkbar, um den Nutzer*innen über die Dienstleistungsplattform hinaus mit weiteren allgemeinen Informationen zu dienen:

2. Hinweise zum Recyclingverfahren, sowie ggf. rechtliche Voraussetzungen und Vorgaben, die bspw. durch Behörden zur Verfügung gestellt werden und regelmäßig von diesen an die aktuellen Vorschriften angepasst werden. Dies dient teils uninformierten oder überforderten Bootseigentümer*innen und Kaufinteressierten, die derzeit oft mit den Praktiken und Vorgaben nicht vertraut sind (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022),

einen schnellen Überblick zu bekommen und bei Interesse an freiwilligem Recycling auch die Kontaktdaten zu (akkreditierten) Recyclingunternehmen aus einer Hand zu haben.

3. Eine Sammlung von Literatur über Materialien und Bootspflege, um die Langlebigkeit der Boote entsprechend zu fördern und ein Bewusstsein unter den Stakeholdern für Umweltaspekte zu schaffen. Dadurch kann außerdem Wissen, das bereits heute unter Fachpersonal, bspw. bei Recyclingunternehmen, vorhanden ist, dokumentiert und für einen breiteren Personenkreis zugänglich gemacht werden. Ein erster Anhaltspunkt kann eine Sammlung von Artikeln und Forschungsberichten sein, die zum Thema veröffentlicht wurden; ebenso sind Video-Erklärformate denkbar.
4. Die Bereitstellung und Konzeption eines zentralen Ersatzteilemarkts wird als zusätzliche Option zu einer Dienstleistungsplattform betrachtet und ersetzt diese nicht, sondern ergänzt sie um den Aspekt des Sekundär- und Gebrauchtteilemarkts.

Das Volumen des Sekundärmarkts im Bereich Sportboote sowie des Markts der Ersatzteile ist derzeit nicht abschätzbar; hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Der Sekundärmarkt wird derzeit vor allem über private Plattformen organisiert, wie aus der Netzwerkanalyse ersichtlich wurde. Technisch möglich könnte eine Suchfunktion auf der Dienstleistungsplattform sein (Meta-Suchmaschine), mit der der Sekundärmarkt an einer Stelle zentral durchsucht werden kann. Dazu müsste mit Hilfe eines Web Crawlers (d.h. ein Computerprogramm zur Durchsuchung und Analyse von Webseiten, das Informationen extrahiert und zusammenträgt) ein Programm erstellt werden, das die Informationen aus den oben genannten Webseiten regelmäßig extrahiert.

Allerdings sprechen sowohl technische als auch rechtliche Gründe gegen ein solches Vorgehen. Das technische Risiko bestünde darin, dass Änderungen auf diesen (privat betriebenen) Plattformen dazu führen können, dass die Funktion auf der Dienstleistungsplattform behindert oder eingeschränkt oder direkt unterbunden wird. Die theoretische Notwendigkeit der ständigen Aktualisierbarkeit des Programms, das im Grunde ggf. nicht zielführend sein kann, wenn private Betreiber*innen den Zugang beschränken, bringt deshalb einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand mit sich, der dem Nutzen voraussichtlich nicht adäquat gegenübersteht. Rechtlich ist die Zugriffsfrage ein Gegenargument; ein weiteres Gegenargument ist die Listung von privaten Webseiten in der Meta-Suchmaschine und die sich damit ergebende Frage der Vollständigkeit des Angebots (sind alle Plattformen abgebildet, werden Plattformen bevorzugt dargestellt, führt dies zu einer Wettbewerbsverzerrung).

Als Alternative könnten Hinweise auf die Plattformen des Sekundärmarkts als Information zur Verfügung gestellt werden, ähnlich wie die Liste der Kontaktdaten über Recyclingunternehmen, ohne weiterführende Analyse.

Um eine Plattform möglichst nutzerfreundlich zu gestalten, müssen die bereitgestellten Informationen, folgende konzeptuelle Kriterien erfüllen:

- ▶ Zielgenaue Verfügbarkeit: Die Marktteilnehmer*innen müssen in der Lage sein, die Informationen schnell und auf direktem Wege zu finden.
- ▶ Verständliche Aufbereitung: Hierbei sind sowohl sprachliche (etwa verschiedene Sprachen, Barrierefreiheit, leichte Sprache) als auch inhaltliche (etwa das Ausklammern überflüssiger Inhalte) Aspekte zu bedenken.
- ▶ Umfassende Information: Sämtliche relevanten Informationen müssen auffindbar sein, und idealerweise nach Prinzipien des User Experience (UX) Design so aufbereitet sein, dass sich natürlicherweise ein Weg von breiten Überblicksinformationen hin zu spezifischen Detailinformationen ergibt.

- ▶ **Operationalisierbarkeit:** Die Informationen müssen so aufbereitet sein, dass unmittelbar alle für den jeweiligen Bedarf notwendigen Erkenntnisse ersichtlich sind. Dabei ist auch eine Übergabe als maschinenlesbare Form von Bedeutung, um die Integration zukünftig entstehender Lösungen zu ermöglichen.

Durch eine solche Dienstleistungsplattform besteht der Informationsfluss nur in unidirektionale Richtung, d.h. Nutzer*innen und andere Stakeholder können selbst keine Informationen zur Verfügung stellen, die die Zirkularität der Produkte fördert, wie bspw. den Verkauf der Ersatzteile. Aus der Netzwerkanalyse wurde ersichtlich, dass derzeit Ersatzteile und Reparaturhinweise vor allem über private Webseiten und Plattformen ausgetauscht werden. Eine Möglichkeit zur Bündelung dieser Daten wird im nächsten Schritt betrachtet.

5.2.1.2 Inhaltliches Schema: Datenkonzepte

Auf Basis der Netzwerkanalyse aus Kapitel 5.1.1 werden in diesem Kapitel sieben Datenkonzepte vorgestellt, die das Potential haben, den Kommunikationsfluss im Sinne eines verbesserten Recyclings von Sportbooten fördern zu können. Dabei werden die Akteur*innen und vorhandenen Datenquellen aus der Netzwerkanalyse betrachtet und die Anwendungsszenarien für die verschiedenen Konzepte abgeleitet.

Tabelle 63: Datenkonzept 1: Serienspezifische Merkmale

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Dokumentation von verbauten Materialien in Booten zum Zeitpunkt der Herstellung
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: Seriennummer (Teil der WIN-Nummer), ggf. MIC-Nummer und/oder Motorenkennzeichnung ▶ Eigner-Handbuch ▶ Basisdaten. Maße, Gewicht, Volumen etc. sind für Transport- und Logistikbetriebe äußerst relevant (Input Recyclingbetrieb, 2022) ▶ Teileliste, Ersatzteilleiste ▶ Schadstoffliste. Diese kann sich zunächst auf Materialien beschränken, die bereits heute als Gefahrenstoffe identifiziert wurden. ▶ Auf lange Sicht könnte diese Materialliste ausgeweitet werden auf alle verbauten Materialien, um Reaktionen auf ggf. zukünftig gewonnene Erkenntnisse zu gefährlichen Stoffen zu ermöglichen
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Herstellungsbetriebe von Einzelteilen und Boots- und Schiffsbauer*innen. Listen über Gefahrenstoffe existieren bereits heute und können entsprechend einfach aufbereitet und integriert werden. Basisdaten sind meist schon in Eigner-Handbüchern hinterlegt.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Behörden: Statistiken über verwendete Materialien, dadurch Beobachtung von Trends zur Abschätzung von künftigen Abfallströmen ▶ Transportunternehmen: Einsehen von zuverlässigen Basisdaten zur Kostenkalkulation für Transport von Altbooten ▶ Recyclingbetriebe: Verlässliche Information über verwendete Materialien und damit Abschätzung der erforderlichen Tätigkeiten im Betrieb ▶ Entsorgungsunternehmen: Verlässliche Information über verwendete Materialien und damit Stoffstromlenkung entsprechend der rechtlich vorgegebenen Wege

Kategorie	Bemerkungen
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Als Grundlage zur Datenerfassung können die in Kapitel 4.2.1 unter „Datenblatt zur Erfassung des Produkts“ genannten Kategorien „Eckdaten des Bootes“ und „Ausstattung des Bootes“ dienen. Bei einem Recycling könnten Daten zur Erstinspektion dann entsprechend aus diesem Datenkonzept abgerufen werden, statt sie neu und für jedes Sportboot individuell zu erfassen. ▶ Dieses Datenkonzept kann dabei helfen, Grunddaten wie Maße und Gewicht der Boote zu hinterlegen. Diese Daten sind im Nachhinein oft schwer messbar und sind grundlegend zur Kostenabschätzung für den Transport zum Recyclingbetrieb (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). ▶ Die Umsetzung kann ggf. relativ schnell erfolgen, wenn die Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen die Materiallisten freigeben. Laut zwei Bootsverbänden könnte dies von Herstellungsbetrieben/Bootsbauer*innen ggf. freiwillig erfolgen, zusätzlich zu den ohnehin schon vorhandenen Listen von Gefahrenstoffen (Input Wassersportverband, 2022; Input Bootsverband 4, 2022). Sollten Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen allerdings keine Daten freigeben, so könnte die Umsetzung (über den rechtlichen Weg) längere Zeit in Anspruch nehmen. ▶ Information zu Materialien kann auf bloße Auflistung beschränkt bleiben; eine Offenlegung von Bauplänen o.ä. ist im Sinne der Datensparsamkeit nicht nötig, (Input Recyclingbetrieb Boote, 2022). Außerdem ist zu erwarten, dass Boots- und Schiffsbauer*innen angesichts mangelnder vorhandener Datenqualität, sprich aufwändig neu zu erstellender Pläne und dem Streben nach Wettbewerbsgeheimnis eine entsprechende Aufforderung nicht mittragen würde (Input Wassersportverband, 2022; Input Bootsverband 4, 2022). ▶ Ein allgemeines Datenkonzept zu Sportbooten wird aus Sicht eines Recyclingunternehmens für Boote als nur bedingt nützlich angesehen, da Sportboote oft nachträglich individualisiert werden (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022). Dies spräche nur bedingt für die Erfassung von Materialien, da diese nicht zuverlässig sein kann. Eine Erweiterung wird in Datenkonzept 6 dargestellt. ▶ Es ist zu überlegen, ob ein solches Datenkonzept auch rückwirkend für Boote erstellt wird, die nicht in manufakturartigen Betrieben, sondern großen Werften hergestellt wurden und entsprechend häufig bestehen. ▶ Dieses Datenkonzept muss einfache und schnelle Integration von Informationen der Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen ermöglichen (bspw. über Upload-Funktion für PDF-Formulare).

Tabelle 64: Datenkonzept 2: Registrierung

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Auflistung von registrierten Booten
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: WIN-Nummer ▶ Persönliche Daten der Bootseigentümer*innen (auch, wenn diese ein Boot auf dem Sekundärmarkt kaufen) wie Name, Adresse, ggf. E-Mail und Handynummer. ▶ Ggf. Daten zu Kauf, wie Datum und Kaufpreis.

Kategorie	Bemerkungen
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Für kleine Boote, wie in Kapitel 5.2.1.2 definiert, ist der Aufwand für Privatpersonen gegenüber dem Nutzen einer Registrierung ggf. in einem separaten Vorhaben abzuwägen. ▶ Bei freiwilliger Registrierung: Eigentümer*innen registrieren bei Kauf ihre Daten in einer Online-Plattform. ▶ Bei Pflicht: Je nach rechtlicher Rahmenbedingung müssen Eigentümer*innen bei Kauf oder Händler*innen bei Verkauf Boote bei einer zu bestimmenden Behörde registrieren. Dies ist in einer zu verfassenden Registrierungspflicht klar zu regeln, ebenso wie der Informationsumfang.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen: Evaluation der Lebensdauer der verkauften Boote bzw. Einzelteile. ▶ Eigentümer*innen: Möglichkeit zum Abschluss von Versicherungen, bspw. zu Diebstahl. In einer Realität von registrierten und nicht registrierten Booten werden Versicherungen voraussichtlich günstigere Prämien für registrierte Boote anbieten. ▶ Behörden: Numerische Übersicht über sich im Umlauf befindlicher Boote, die Auswertungen zu Nachhaltigkeitsthemen oder Abfallrelevanz ermöglichen ▶ Recyclingbetriebe: Verlässliche Prognose von anfallenden Stückzahlen, dadurch erleichterte Investitionsentscheidungen
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Als Grundlage zur Datenerfassung können die in Kapitel 4.2.1 unter „Datenblatt zur Erfassung des Produkts“ genannten Kategorien „Eckdaten Eigentümer*in“ dienen. ▶ Eine allgemeine Registrierungspflicht wird von verschiedenen Interessensvertreter*innen aus der Branche unterschiedlich eingeschätzt (Input Wassersportverband, 2022; Input Bootsverband 4, 2022); eine solche Regelung müsste zur Erhöhung der Akzeptanz folglich in enger Zusammenarbeit entwickelt werden. Laut einem Bootsverband fürchten sich viele Eigentümer*innen vor der Einführung einer Bootssteuer, die durch eine Registrierung vereinfacht vorgenommen werden könnte (Input Bootsverband 4, 2022). Im Gegensatz dazu befürwortet ein Wassersportverband als Vertretung seiner Mitglieder die Einführung einer verpflichtenden Registrierung. Vor allem für Händler*innen ist es durch die derzeitige Informationslage quasi unmöglich, zuverlässig festzustellen, wie viele Voreigentümer*innen ein Sportboot hatte. Auch für Eigentümer*innen und Versicherungen könnte die Registrierung von Booten eine enorme Entlastung darstellen, da Besitzrechte zweifelsfrei festgestellt werden könnten. Somit könnten illegale Aktivitäten wie Diebstahl oder illegale Finanzierung ausgebremst werden (Input Wassersportverband, 2022). Auf europäischer Ebene wird eine Registrierungspflicht derzeit nicht angestrebt, jedoch eine Harmonisierung der bestehenden Registrierungspflichten, was die Datenerhebung und -speicherung angeht (Input Bootsverband 3, 2022). Ohne den rechtlichen Rahmen ist dieses Datenkonzept nicht realisierbar. ▶ Die vorhandenen Daten aus dem See- und Binnenschiffsregister können über eine zu definierende Schnittstelle mit diesem Datenkonzept verbunden werden, falls sie digital vorliegen. Andernfalls kann hier eine Erweiterung angedacht werden, wie Daten von Amtsgerichten zukünftig digital erhoben werden können, falls die Zuständigkeit weiter bei diesen Institutionen liegen wird (siehe SchRegO). ▶ Das Konzept einer Recyclingabgabe, die über die Lebensdauer eines Boots über die Eigentümer*innen hinweg verrechnet wird, ist in diesem

Kategorie	Bemerkungen
	<p>Zusammenhang ebenfalls zu prüfen (Input Wassersportverband, 2022). Somit wäre auch das Problem in Zukunft vermeidbar, dass herrenlose Boote in mangelhaftem Zustand von Marinas und Vereinen aufgrund nicht geklärter Eigentumsverhältnisse entsorgt oder dem Recycling zugeführt werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Eigentümer*innen-Informationen müssen bei An- und Abmeldung entsprechend aktualisiert werden; die Zuständigkeit ist in einem rechtlichen Rahmen zu definieren.

Tabelle 65: Datenkonzept 3: Rechtliche Vorgaben der Materialverwertung

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Bereitstellung aktueller Informationen zu rechtlichen Vorgaben der Materialverwertung
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: Material. ▶ Gesetzesverweis (Paragraph o.ä.) oder Text zu aktuellen Verwertungsvorschriften, ggf. Abfallschlüsselnummern, falls vorhanden.
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Zuständige Behörde.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen: Information über gefährliche oder problematische Materialien. ▶ Recyclingbetriebe: Aktuelle Informationen zu rechtlichen Vorgaben, die bei Trockenlegung, Demontage und Recycling bzw. Weitergabe zu Entsorgungsbetrieben zu beachten sind. ▶ Entsorgungsunternehmen: Aktuelle Informationen zu rechtlichen Vorgaben, die bei Verwertung oder Entsorgung zu beachten sind.
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ggf. kann aus diesem Datenkonzept künftig automatisiert das Gefahrenstoffinventar erweitert werden: Herstellerbetrieb/Bootsbauer*innen laden über eine API die rechtlichen Informationen zu von ihnen verwendeten Materialien von Neubooten herunter und inkludieren dies im Gefahrenstoffinventar.

Tabelle 66: Datenkonzept 4: Expertise von Verwertern, Rücknahmestellen und Recyclingbetrieben

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Darstellung der fachlichen Expertise und Verfügbarkeit von Verwertern, Rücknahmestellen und Recyclingnetzwerken, sowie Demontagebetriebe und Abwrackwerften; ggf. Transportunternehmen
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: Name des Betriebs ▶ Kontaktdaten. Dazu gehören der Internetauftritt (Webseite) des Unternehmens, die Ansprechperson, die physische Adresse, Telefonnummer, E-Mail-Adresse und weitere für Nutzer*innen relevante Unternehmensdaten. ▶ Expertiseprofil. Dieses Profil enthält Informationen zu Kenntnissen/Erfahrungen im Umgang mit besonderen Materialien und

Kategorie	Bemerkungen
	Gefahrenstoffen, Kenntnisse/Erfahrungen bei der Verwertung oder dem Recycling von bestimmten Serien.
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Betriebe in den Sektoren Rücknahme, Abwrackung, Recycling, Verwertung, Entsorgung, sowohl privat als auch ggf. aus öffentlicher Hand. ▶ Ggf. Transportunternehmen, die Zulassungen zum Transport von Booten besitzen.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bootseigentümer*innen, Vereine, Clubs: Schnelle Information über Betriebe in der Nähe, die bei den nächsten Schritten nach Erreichen des Endes der Lebensdauer von Booten beraten können. ▶ Marinas, Hafengebiete: Bei Unkenntnis über Besitzverhältnisse der im Hafen liegenden Boote, die nach gesetzlicher Frist entfernt werden sollen, können sich Marinas und Hafengebiete über dieses Datenkonzept Kontakte zu Rate ziehen, die sie bei der Planung der weiteren Schritte beraten.
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Unternehmen müssen ihre Daten aktuell halten. Ein Anreiz kann bspw. über eine Zertifizierung geschaffen werden: Nur Unternehmen, die sich von einer öffentlichen Stelle zertifizieren lassen, können ihre Daten in diesem vorgeschlagenen Datenkonzept hinterlegen und damit ihr Netzwerk erweitern (sowohl Kund*innenstamm als auch Austausch mit anderen Fachbetrieben). Es ist auch anzudenken, zwischen einer Zertifizierung zum Recyclingbetrieb und zum Demontagebetrieb zu unterscheiden. Eine Zertifizierung kommt mit der verpflichtenden Hinterlegung einer natürlichen Person als Verantwortliche für die Pflege der Daten in der Plattform daher. ▶ Ebenfalls hinterlegt werden könnten Daten von Unternehmen, die für die Trockenlegung von Booten als Entsorgungsfachbetrieb zertifiziert sind. ▶ Die Daten können in einem zweiten Schritt so aufbereitet werden, dass die geographische Verortung der Betriebe nutzer*innenfreundlich auf einer Karte angezeigt werden kann.

Tabelle 67: Datenkonzept 5: Reparatur und Demontage

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Bereitstellung von Hinweisen zu Verfahren der Demontage und Reparatur
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: WIN-Nummer oder ggf. MIC-Code. ▶ Eigner-Handbücher. Diese enthalten oft Anweisungen für simple Reparaturen. ▶ Ggf. Reparaturhinweise der Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen, falls vorhanden. ▶ Demontageprotokolle.
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Herstellungsbetriebe von Einzelteilen ▶ Boots- und Schiffsbauer*innen ▶ Marinas, Vereine, Reparaturbetriebe ▶ Behörden

Kategorie	Bemerkungen
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Betriebe für Reparatur / Wartung / Instandsetzung; Recyclingbetriebe; Betriebe zur Demontage / Abwrackung: Serienspezifische Anleitungen und Empfehlungen der Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen für durchzuführende Prozesse in den Betrieben. Somit können auch Betriebe, die nicht auf Boote spezialisiert sind, deren Demontage, Recycling oder Entsorgung fachgerecht und angeleitet vornehmen. ▶ Eigentümer*innen: Abrufen der Informationen aus dem Eigner-Handbuch, die für simple Reparaturen relevant sein können.
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Demontageprotokolle in ihrer bisher entwickelten Form sind allgemein verwendbar und nicht an die verschiedenen Serienmodelle angepasst. Deshalb ist eine Archivierung der Protokolle nach Bootstyp vor allem dann sinnvoll, wenn diese von Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen oder Betrieben, die auf diese Bereiche spezialisiert sind, individualisiert wurden und einen Mehrwert für spezifische Modelle bringen. ▶ Eigner-Handbücher liegen bereits heute teilweise in digitaler Form vor; somit muss hier eine Schnittstelle zur einfachen Integration der Dokumente geschaffen werden.

Tabelle 68: Datenkonzept 6: Individuelle Veränderungen an Booten

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Dokumentation von baulichen Veränderungen gegenüber des Herstellungszustands des Boots
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: WIN-Nummer. ▶ Beschreibung bzw. Nennung von Bauteilen und entsprechenden Materialien, die gegenüber des Herstellungszustands des Boots hinzugefügt wurden, entfernt, ersetzt oder baulich verändert wurden.
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Betriebe für Reparatur / Wartung / Instandsetzung: Diese müssen eine genaue Beschreibung der vorgenommenen Änderungen dokumentieren. Ggf. müssen Informationen von Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen zu verwendeten Materialien eingeholt werden.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Recyclingbetriebe / Betriebe zum Verkauf von Ersatzteilen: Nachvollziehen von baulichen Veränderungen und damit aktuelle und verlässliche Information über verwendete Materialien und Abschätzung der erforderlichen Tätigkeiten im Betrieb; bei Veräußerung: verlässliche Produktbeschreibung für potentielle Käufer*innen und Abschätzung des Werts der Teile ▶ Entsorgungsunternehmen: Verlässliche Information über verwendete Materialien und damit Stoffstromlenkung entsprechend der rechtlich vorgegebenen Wege
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Boote können ggf. auch durch Nutzer*innen baulich verändert werden. Eine Erweiterung dieses Datenkonzepts bestünde folglich in der Dokumentation der privat vorgenommenen Änderungen in einem festzulegenden Format (ähnlich dem Konzept der Leichtflugzeuge), das auch durch Privatpersonen ergänzt werden kann. Möglicherweise können standardisierte Datenblätter im Eigner-Handbuch ergänzt werden, die digital abrufbar und auszufüllen sind (um die Daten über eine API möglichst unkompliziert in Datenbanken zu übertragen).

Kategorie	Bemerkungen
	<p>Allerdings ist hier die Qualität der Daten voraussichtlich nicht immer zuverlässig</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Die Umsetzung einer solchen Dokumentation kann ggf. nur über eine Verpflichtung erreicht werden. ▶ Der Aufwand der Datenpflege kann reduziert werden, wenn Betriebe bei Erweiterung des Datensatzes auf bereits vorliegende Daten zurückgreifen können ((digitale) Dokumentation von Ersatzteilen). ▶ Es ist zu beachten, dass für die Produktgruppe der Motoren bereits Wartungshefte bestehen, in denen Wartungs- und Reparaturarbeiten oder Veränderungen dokumentiert werden. Diese liegen zum Großteil jedoch analog vor; somit könnten diese Informationen zukünftig auch in diesem Datenkonzept digital gespeichert werden und das Wartungsheft im analogen Raum ggf. ersetzen oder ergänzen.

Tabelle 69: Datenkonzept 7: Ersatzteile (Primär- und Sekundärmarkt)

Kategorie	Bemerkungen
Ziel	Sammlung und Dokumentation verfügbarer Ersatzteile (Abbildung eines Sekundärmarkts)
Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Index: Bauteil ▶ Beschreibung des Bauteils. Dazu gehören bspw. Angaben zu Funktion, Passgenauigkeit zu Serienmodellen, Zustand ▶ Ggf. visuelle Beschreibung (Foto). ▶ Angaben zu Verkäufer*in. Dazu gehören Klarname sowie Kontaktdaten wie E-Mail oder Telefonnummer. ▶ Status des Bauteils: vorhanden / nicht vorhanden.
Herkunft der Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Recyclingbetriebe, Betriebe Demontage / Abwrackung, Betriebe zum Verkauf von Ersatzteilen oder private Verkäufer*innen, die Ersatzteile von Booten im Sekundärmarkt verkaufen möchten.
Nutzungsszenarien (Stakeholder und Interessen)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eigentümer*innen: Kauf von Bauteilen für das eigene Boot. ▶ Betriebe Reparatur / Wartung / Instandsetzung: Kauf von Bauteilen, die benötigt werden.
Weiterführende Hinweise (Risiken, Anreizsysteme, Inputs von Stakeholdern, Hinweise zur Umsetzung)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Markt wird bereits von privaten Online-Plattformen bedient, sodass eine (öffentlich gesteuerte) Plattform ggf. nur eine redundante parallele Dienstleistung darstellt. ▶ In der Theorie ist denkbar, eine Standard-Beschreibung von Bauteilen in einem Datenkonzept zu hinterlegen, das von Verkäufer*innen automatisiert durchsucht und abgerufen werden kann, und dann individuell angepasst werden kann, je nach optisch erkennbarer Veränderung an den Bauteilen. Hier scheint das Expert*innen-Wissen von Fachpersonal jedoch entscheidend, um genügend Informationstiefe über Produkte zu erfassen und darzustellen; eine Standardisierung ist nur bedingt implementierbar.

Alle aufgeführten Konzepte können informatorisch zunächst als eigenständig betrachtet werden. Das ist bei den Datenkonzepten 1–6 daran zu erkennen, dass die Herkunft der Daten jeweils einer Interessengruppe zugeordnet wird, sprich einen eindeutigen Bereitstellungspfad und damit auch die Zuordnung von Verantwortlichkeiten mit sich bringt. Zum Beispiel sind die rechtlichen Vorgaben zur Materialverwertung (Konzept 3) in behördlicher Verantwortung,

während die Beschreibung der Expertise von Recyclingbetrieben (Konzept 5) von diesen selbst verantwortet wird. Das Datenkonzept 7 ist vom Verständnis her als Marktplatz mit Beteiligung Vieler zu sehen, aber ebenfalls als eigenständiger Dienst möglich⁹².

Jedes Konzept besitzt einen informatorischen Wert, der allerdings für sich betrachtet keine so hohe Relevanz für die Interessengruppen bedeutet. Erst die Kombination der Konzepte führt zu den zentralen Mehrwerten für die Stoffstromlenkung bei Verwertung, dem Recycling und der Entsorgung von Sportbooten. Die zusätzlich entstehenden Mehrwerte können als Anreizsystem für die Teilnahme der Interessengruppen an dem Service dienen. Dabei könnte schon ein Teil der Konzepte die nötige Schwelle für Akzeptanz und Teilnahme schaffen. Hier wird ein wichtiges Potential für die Umsetzungs-Diskussion mit allen Stakeholdern gesehen. Einige Beispiele für zusätzlich entstehende Nutzen sind im Folgenden genannt:

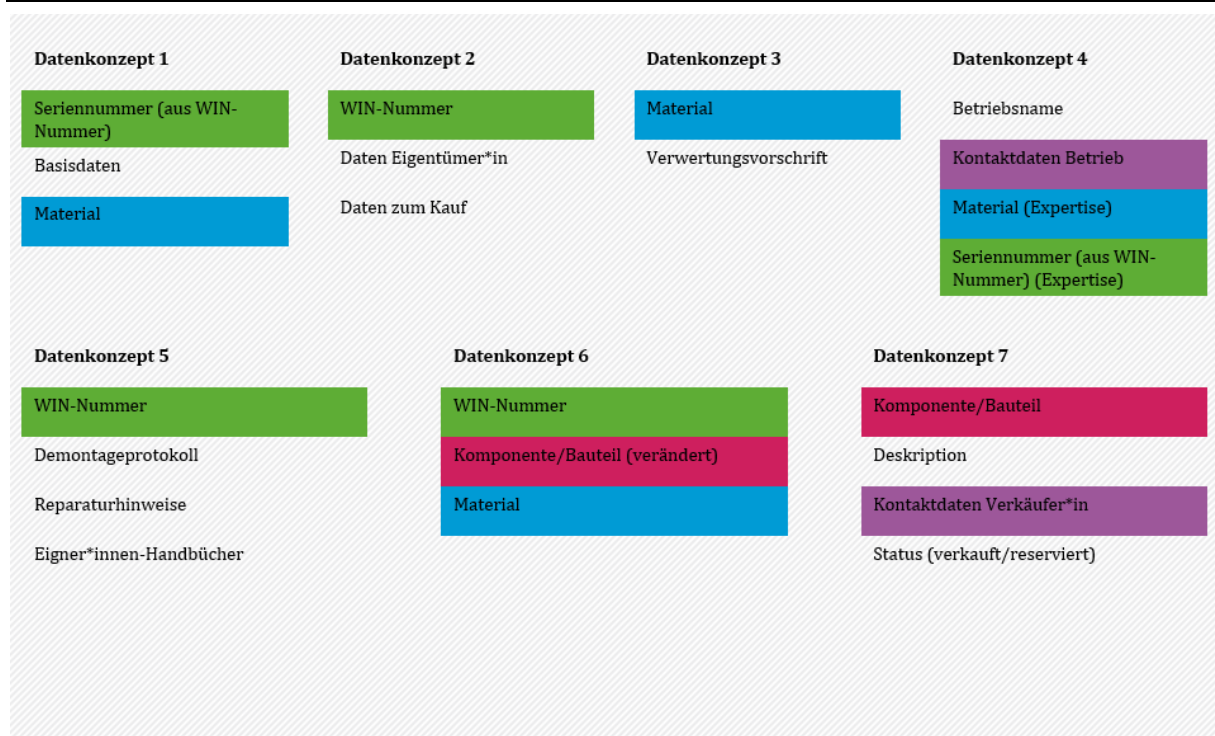
- ▶ Datenkonzept 1 und Datenkonzept 2: Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen können nachträglich die Lebensdauer der Boote bzw. der verwendeten Materialien evaluieren und so Rückschlüsse für künftige Bauweisen ableiten;
- ▶ Datenkonzept 3 und Datenkonzept 6: Reparaturbetriebe können mit einem Blick in das Datenkonzept feststellen, welche rechtlichen Vorschriften zur Behandlung der Materialien von entfernten Bauteilen beachtet werden müssen;
- ▶ Datenkonzept 2 und Datenkonzept 4: Eigentümer*innen können über die WIN-Nummer ihres Boots einen passenden Recyclingbetrieb suchen (bzw. Transport-, Verwertungs- oder Reparaturunternehmen).

Die Aufteilung in sieben Datenkonzepte verbessert aufgrund der Trennung von Informationsströmen auch die Übersicht des technischen Servicekonzeptes und schafft die Möglichkeit, den Dienst sukzessive aufzubauen. So ist die kontinuierliche Feinjustierung der Ziele und Anpassung der Serviceelemente an die Rückmeldung der Akteur*innen möglich. Auch das ist ein Mittel für die Schaffung der Akzeptanz am Markt. Es wird davon ausgegangen, dass ein entsprechender Service den Markt verändern wird und für einen Erfolg mitgetragen werden muss, solange es keine entsprechende Gesetzesregelung⁹³ gibt.

⁹² Die hier vorgeschlagenen Datenkonzepte dienen als Vorschlag und sind ggf. sinnvoll um weitere Konzepte zu erweitern. Dazu gehören bspw. Informationen, die für Nutzer*innen von Sportbooten interessant sein könnten, wie Informationen zu Lieferketten der im Produkt verwendeten Materialien und Substanzen oder zum CO₂-Fußabdruck.

⁹³ Das Konzept des Digitalen Produktpass, der in der EU derzeit politisch an Bedeutung gewinnt und eine entsprechende Verpflichtung mit sich bringen könnte, wird in Kapitel 5.2.1.4 beleuchtet.

Abbildung 37: Verknüpfung der Datenkonzepte über Schlüsselinformationen



Eine Verknüpfung der Datenkonzepte zu einer Gesamtsicht ist über passende Schlüssel-Informationen möglich. Die vier identifizierten Schlüssel-Informationen sind farblich hervorgehoben. Abbildungen der Datenkonzepte gemäß Kapitel 5.1.1.2. Quelle: Eigene Darstellung RMC

Als erste Handlungsempfehlung wurden für die sich darstellende Situation im Bereich der Sportboote als die wirkungsvollsten, kurz- und mittelfristig realisierbaren Optimierungshebel dazu die folgenden zwei Faktoren und mit sich bringende Implementierung der Datenkonzepte identifiziert:

1. Sammlung von Informationen zu verbauten Materialien (Datenkonzept 1), rückwärtsgewandt für Boote, die in Serie hergestellt wurden sowie vorwärtsgewandt für alle neu hergestellten und zugelassenen Boote;
2. Registrierung von Sportbooten (Input Wassersportverband, 2022) (Datenkonzept 2), rückwärtsgewandt für Boote, die bereits in Seeschiffsregistern registriert wurden und vorwärtsgewandt zunächst freiwillig für alle vorhandenen Boote, ggf. nach gründlicher Evaluierung auch durch Einführung einer Anmeldepflicht.

5.2.1.3 Service Design

Kernanforderungen an den Service

Von zentraler Bedeutung ist die Bereitstellung Verwertungs- und Entsorgungsrelevanter Informationen zum Ende des Lebenszyklus von Sportbooten. Die Erfahrung der letzten Jahrzehnte zeigt, dass die Sportboote je nach Dekade unterschiedlich stabil gebaut wurden und damit auch schwankende Nutzungszeiten zu erwarten sind. Insgesamt ist jedoch von einer Nutzungsdauer im Bereich größer 40 Jahre auszugehen. Damit steht die elementare Anforderung an die technische Umsetzung fest: die gesammelten Daten müssen über den gesamten Zeitraum vorgehalten werden und die Datenhaltung den zu erwartenden technologischen Sprüngen angepasst werden, damit die Verwertbarkeit der Informationen zum Nutzungsende der Sportboote gegeben ist.

Eine weitere Anforderung aus der Nutzungsdauer ergibt sich durch den ebenfalls zu erwartenden Wissenszuwachs hinsichtlich der verwendeten Stoffe, deren Verwertung, Recycling und Entsorgung sowie der Einwirkungen auf die Umwelt. Der technische Service muss jederzeit ermöglichen, die Datenbestände wieder aufzunehmen und den neuen Erkenntnissen anzupassen.

Beides spricht für eine Implementierung in getrennte Dateneinheiten. Beispielsweise wird eine neue rechtliche Regelung zur Verwertung von Materialien die Weiterentwicklung der Recycling-Pläne initiieren. Die beiden Informations-Ereignisse sind damit zwar inhaltlich, aber nicht zeitlich gekoppelt und liegen in unterschiedlichen Verantwortungen. Die oben ausgeführten Datenkonzepte basieren auf der Schaffung klarer Verantwortlichkeiten für den Content und unterstützen damit die langfristigen Wissensveränderungen.

Die daraus ebenfalls resultierenden schwach relationalen, gekapselten Datenbestände lassen sich einfacher auf neue technologische Plattformen übertragen als ein großer zentraler, stark relationaler Datenbestand. Dabei ist nicht nur die technische Repräsentanz der Daten selbst, sondern auch die Weiterentwicklung der Verbindung von Datenbeständen zu berücksichtigen.

Für die reine Datenhaltung in Datenbank-Systemen gilt, dass die prognostizierte Bereitstellungszeit der Daten die typischen Änderungszyklen von technischen Produkt-Features deutlich überschreitet. Daher muss sowohl beim Design der Datenstrukturen als auch in der Middleware auf den Einsatz generischer, einfacher Technologien und Standards geachtet werden. Bei Bedarf müssen die Daten auch ohne Vendor-spezifische Produktfunktionen gelesen und migriert werden können. Das spricht ebenfalls für eine in mehrere Bereiche unterteilte und damit prinzipiell einfacher strukturierte Datenhaltung.

Der Lösungsansatz muss schließlich auch berücksichtigen, dass bei Verlagerung der technischen Plattform zu einem Service Provider nicht davon ausgegangen werden kann, dass die lange Bereitstellungszeit ohne Providerwechsel erfolgt. Das unterstützt den konzeptionellen Ansatz der einfachen Migrierbarkeit und einer Realisation mit möglichst standardisierten Technologien.

Szenarien - Schaffung der Informationsbasis für den Service

Die Verknüpfung der verschiedenen Datenbestände zu einem Datenservice kann auf unterschiedliche Weisen geschehen. Die richtige Auswahl hängt stark von den Eigenschaften der einzelnen Datenquellen ab. Es ist davon auszugehen, dass Datenkonzepte sowohl durch Behörden als auch privatwirtschaftlichen Unternehmen realisiert werden oder schon in ähnlicher Art bestehen.⁹⁴ Diese Annahme führt zu einer weiteren Kernanforderung an die technische Umsetzung: die Verknüpfung verschiedener, unabhängiger Datenquellen, deren Service Eigenschaften ungeklärt sind.

Die folgenden vier Szenarien fußen auf der Annahme, dass eine zentrale Instanz geschaffen wird, bei der alle Datenkonzepte zusammenlaufen. Aus Sicht der Anwender*innen liegt die Verantwortung für korrekte Informationen bei dieser Instanz. Die Einhaltung der Datenqualität muss über je nach Szenario angepasste Vereinbarungen mit den Betreibern der Nutzdatenquellen abgesichert werden.

1. Aufbau einer Metadatenbank

Eine Metadatenbank ist technisch gesehen eine klassische Datenbank. Sie enthält jedoch Metainformationen zu den eigentlichen Nutzdaten. Dazu gehören neben der Erreichbarkeit der Daten (wo liegen sie, auf welchem Weg sind sie abrufbar) auch die Diensteigenschaften der jeweiligen Datenbestände etc. Beispielsweise reicht für über Web-Schnittstellen

⁹⁴ Realisierte Services aus anderen Branchen werden in Kapitel 5.3 betrachtet.

erreichbare Datenquellen die Beschreibung der entsprechenden Web-Ressource (Uniform Resource Identifier, URI) um die Information abzurufen.

Maschinell verarbeitbare Meta-Informationen erlauben die Implementierung einer Lösung, die aus Sicht der Anwender*innen den Datenzugriff transparent macht - die Nutzdatenbanken sind dadurch geschützt. Die Auswertung der Metainformationen liegt bei einer Middleware, die den eigentlichen Datenservice generiert. Der Abruf der Nutzdaten erfolgt für jeden Request über die Meta-Information aus der jeweiligen Datenbank. Dafür muss eine Netzverbindung bestehen, die über Verschlüsselung abgesichert ist.

a) Push-Prinzip

Metainformationen werden von den Bereitstellern der Datenquellen generiert und an die Metadatenbank weiter gereicht. Im Allgemeinen ist dieser Ablauf in den Veränderungsprozess der Nutzdaten integriert. Die Metadatenbank repräsentiert die eingehenden Informationen ohne weitere Bearbeitung. Die Verantwortung für die korrekten Metadaten liegt bei den Bereitstellern der Datenquellen. Diese enge Kopplung funktioniert nur bei entsprechend ausgestalteten Service Vereinbarungen.

Für dieses Verfahren muss bei der Metadatenbank kein Wissen über die Struktur der Nutzdatenbanken bekannt sein. Die Struktur der Metainformationen ist der definierte Leistungs-Übergabepunkt. Der Service Level für die Bereitstellung liegt bei den Betreiber*innen der Nutzdatenquellen.

b) Pull-Prinzip

Das Pull-Prinzip wird über einen Mechanismus im Umfeld der Metadatenbank implementiert. Er prüft regelmäßig die Nutzdatenquellen auf Veränderungen. Dieser, einem Web-Crawler ähnlicher Mechanismus, ist Teil der Middleware. Er muss alle Datenbanken sowie deren Struktur kennen, um den Implementierungsaufwand in vernünftigen Grenzen zu halten. Der Zugriff auf die Nutzdatenbanken muss uneingeschränkt möglich sein, da bei diesem Prinzip der Meta-Datenservice die Service Levels für die Generierung des Datenbestandes trägt. Für die Korrektheit der Daten selbst bleiben die Betreiber der Nutzdatenbanken verantwortlich. Die Koppelung zwischen Meta- und Nutzdatenbanken ist schwächer ausgeprägt als beim Push-Prinzip.

2. Spiegelung externer Datenbestände für eine konsolidierte Sicht

Die Komplexität der Metadatenbank und ihre Abhängigkeit von einer ständigen Anbindung an die Nutzdatenquellen lässt sich über die Spiegelung der Nutzdatenbanken in ein zentrales System aufheben. Das schafft für die Nutzdatenquellen auch gleichzeitig ein Backup. Die Nutzdatenquellen bleiben führend, der Zugriff auf die Informationen des Datenservices geschieht ausschließlich über die Spiegelung. Das bedeutet eine deutliche Reduzierung des Kommunikationsaufwandes und eine höhere Service Level Verantwortung für den zentralen Datendienst.

3. Komplettlösung eines zentralen Datensystems mit Nutzungsschnittstellen

Um alle Abhängigkeiten aufzulösen und die Bereitstellungsrisiken zu reduzieren, kommt nur ein zentraler Dienst in Frage, der für alle Datenkonzepte eine Datenbank mit passender Schnittstelle anbietet. Nutzdaten werden aus den jeweiligen Datenquellen generiert und über die Schnittstelle an das zentrale System übertragen. Damit sind die eigentlichen Nutzdatenquellen vom zentralen System technisch entkoppelt. Veränderungen an den Datenquellen sind möglich, ohne dass das zentrale System beeinträchtigt wird. Leistungs-Übergabepunkt ist die Schnittstelle.

Eigenschaften der Datenquellen

Vor einer Bewertung der Szenarien ist der Blick auf die Eigenschaften der Nutzdatenquellen notwendig. Sie beeinflussen die Machbarkeit und vor allen den Langzeitbetrieb eines konsolidierenden Datendienstes je nach Szenario.

1. Verantwortung für die Informationsqualität

Grundsätzlich ist die initiale Erzeugung für die Richtigkeit und Aktualität der Daten verantwortlich. Das Erzeugerprinzip bleibt bestehen, solange eventuelle Übertragungskanäle abgesichert sind und die Daten im Urzustand bleiben. Das gilt für jedes Szenario und ist vor allem bei rechtlichen Konsequenzen fehlerhafter Daten zu berücksichtigen. Daneben sind auch geltende Regeln wie z.B. DSGVO einzuhalten. Falls Daten aus dem nicht-europäischen Raum berücksichtigt werden müssen, entsteht hier eine erhöhte Komplexität, die eine eigene Betrachtung bedarf.

2. Verantwortung für die Informationsrepräsentanz

Jeder Teil der Datenstrecke, auf dem Informationen geführt oder gespeichert werden, hat Service Level Anforderungen zu erfüllen. Aus Sicht der Anwender*innen ist der letzte Punkt, der zentrale Datendienst, jedoch die Instanz, die die Service Levels zu verantworten hat. Daher ist vom Betreiber des zentralen Datendienstes, aus dem ein Digitaler Produktpass (siehe Kapitel 5.2.1.3) hervorgehen kann in der Pflicht, alle Teile der Datenstrecke mit passenden Vereinbarungen abzusichern. Aus Sicht der Anwender*innen ist es unerheblich, welcher Teil der Strecke nicht funktioniert hat, wenn die Daten nicht verfügbar sind.

3. Nutzung der Informationen

Da aus den Daten mehrere Anwendungsszenarien entwickelt werden und auch Anreizsysteme für die Teilnahme in Anbetracht gezogen werden können, können keine detaillierten Service Anforderungen über Verfügbarkeit, Performance, Qualität und Sicherheit hinaus gemacht werden. Je nach Anwendungsfall können höhere Supportaufwände anfallen. Initial wird angenommen, dass es maschinelle Schnittstellen gibt, die eher im 2nd und 3rd Level Support angesiedelt sind. User Interfaces für die Sichtung von Informationen (z.B. Abruf des Digitalen Produktpasses) sind einfach zu halten und erfordern geringe 1st Level Supportaufwände.

4. Veränderungs-Prozess

Je nach Szenario können Erweiterungen der Daten (z.B. aufgrund neuer Recycling-Erkenntnisse) Rückwirkungen auf andere Datenquellen oder daraus generierten neuen Nutzdaten haben. Ein Veränderungsprozess im Sinn eines Change Management ist nur beim vierten Szenario (Komplettlösung) machbar. In allen anderen Szenarien sind Veränderungen schlecht bis gar nicht zu kontrollieren. Service Levels zur Qualität sind damit eingeschränkt, was die Verlässlichkeit des zentralen Datendienstes einschränkt. Falls das Änderungsaufkommen als niedrig angenommen wird, ist bei einer überschaubaren Verteilung der Nutzdatenquellen auch ein Abstimmungsprozess möglich, der jedoch ein Change Management nicht ersetzen kann.

Service Level Sicht

Service Levels beschreiben die wesentlichen technischen, nicht-funktionalen Eigenschaften eines IT-gestützten Dienstes aus Sicht der Anwender*innen. Die Eigenschaften haben direkten Einfluss auf die Ausprägung des IT-Lösungs-Designs und damit auch auf die Servicekosten. Service Level sind das Mittel, um den Umgang mit den Daten über alle Elemente eines Dienstes zu vereinbaren. Sie sind Grundlage für Vertragsgestaltungen, die für jedes Szenario anfallen.

Im Folgenden werden übliche Service Level Kategorien exemplarisch aufgeführt. Die detaillierte Sicht ist stark abhängig von den Szenarien und muss neben IT- und Service-Kategorien ggf. auch rechtliche Aspekte intensiver ausleuchten.

- ▶ Verfügbarkeitszeiten mit und ohne Support
- ▶ Service-Wiederherstellung im Fehlerfall (Mean Time To Repair)
- ▶ Technische Sicherheit: Backup/Recovery (Datenwiederherstellung)
- ▶ Disaster Recovery (bei Kompletterverlust des Dienstes)
- ▶ Performance (Reaktionszeiten, Übertragungszeiten etc.)
- ▶ Leistungsparameter des Supportes: Reaktions- und Lösungszeit (1st, 2nd und 3rd Level)
- ▶ Datenschutz: Authentifizierung und Autorisierung von Zugriffen, Definition von Schutzbedarfsklassen

Erste Bewertung der Szenarien

Zur Bewertung der Szenarien, die die Grundlage für ein technisches Design ist, werden zuerst die Bereitsteller der Daten aus den Datenkonzepten betrachtet. Da hier eine Vielzahl von Daten ihren Ursprung haben, ist der Digitalisierungsgrad der Interessengruppen entscheidend für die Ergebnisqualität.

Für eher industriell agierende Hersteller*innen ist die Informationsbasis einfacher abrufbar, da von einer Digitalisierung zumindest teilweise ausgegangen werden kann. Manufakturartige Hersteller- und Recyclingbetriebe werden höchstwahrscheinlich in der Digitalisierung keine direkten Vorteile sehen und eher wenige Datenbestände aufweisen. Dies zeigt sich auch bei Initiativen, die in der Bootsbranche bereits im Bereich Digitalisierung und Einführung neuer Software getestet wurden (Input Bootsverband 3, 2022). Gerade für diese Interessengruppen wäre ein einfacher Dienst, der für die Produktion Mehrwerte mitbringt, ein Anreiz zur Nutzung.

Es ist allerdings offensichtlich, dass größere Teile der Mehrwerte schaffenden Daten sowohl für Herstellungsbetriebe/Bootsbauer*innen als auch Demontage- und Recyclingbetriebe wirtschaftlich relevant sind. Daher ist nicht anzunehmen, dass Daten ohne Weiteres mit dem Markt geteilt werden. Anreizsysteme für kleinere Unternehmen sind somit nur schwer absehbar, entsprechende Szenarien sollten für eine Einschätzung genauer analysiert werden. Ist aufgrund zukünftiger rechtlicher Regulierung kein Anreiz notwendig, sollte trotzdem die Bereitstellung eines zentralen, einfach zu nutzenden Dienstes zur Unterstützung der kleineren Betriebe in Betracht gezogen werden.

Für industrielle, digitalisierte Betriebe ist weniger die Datenbasis als der Schutz der Daten ein Thema. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Zugriff auf die Daten von außen als wirtschaftliches Risiko eingestuft wird. Im Regelfall werden die Unternehmen daher eher kontrolliert Daten bereitstellen. Ein direktes Anreizsystem auf Grundlage der Daten ist hier aber ebenfalls schwer abzusehen.

Die nächste Perspektive bezieht sich auf die Eigenschaften der Datenquellen. Die Verantwortung für bereitgestellte Daten wird in jedem Fall bei den Betrieben liegen. Bei der Bereitstellung in Form der Nutzdatenquellen würden die Betriebe auch die Service Levels für die Repräsentation der Daten mittragen. Man kann davon ausgehen, dass digitalisierte Betriebe eher eine Übertragung von Daten zu einer zentralen Instanz und damit eine Entlastung hinsichtlich des Betriebes ihrer Datenplattform vorziehen. Eine Bereitstellung ohne Service Levels würde den

Punkt entschärfen, aber damit die Verlässlichkeit des zentralen Datendienstes enorm beeinträchtigen.

Der Schutz der eigenen Daten und die Entkopplung des eigenen datenhaltenden Systems von einer zentralen Lösung deuten darauf hin, dass Meta-Datenbanken wie auch die Spiegelung von Datenbeständen geringe Erfolgsaussichten haben werden. Da eine Meta-Datenbank hinsichtlich der Datenstabilität schwierig und als aufwändig in Implementierung und Betrieb angesehen werden kann, und nur das letzte Szenario auch die Möglichkeit der Bereitstellung von Diensten für die kleineren Betriebe erlaubt, wird im Folgenden von der Komplettlösung eines zentralen Datendienstes ausgegangen.

Ansätze für das technische Design

Grundsätzlich wird für jede Datenbanklösung zwischen zwei Dienst-Angeboten unterschieden: die eigentliche Datenbank kann sowohl über technische Schnittstellen (Maschine-zu-Maschine-Kommunikation) als auch über ein Frontend (Mensch-zu-Maschine-Kommunikation) angesprochen werden. Ein universelles Lösungsdesign trennt nicht zwischen den Ansätzen, sondern nutzt für die maschinelle Schnittstelle eine web-basierte Technologie, auf die ein Web-Frontend direkt aufsetzen kann. Unter Berücksichtigung einer Zugangskontrolle ist damit auch die kontrollierte Bereitstellung des Dienstes im Internet möglich. Dieser Lösungsansatz ist sowohl in der Implementierung als auch in der Service-Bereitstellung seit langem etabliert.

Datenfluss

Für die eigentliche Datenschnittstelle wird eine einfache, standardisierte und über mehr als zwei Jahrzehnten erprobte Technologie vorgeschlagen: eine REST (Representational State of Transfer) API auf Basis des HTTP-Protokolls. Dabei wird die Umsetzung aller wesentlichen REST-Eigenschaften vorausgesetzt, um den universalen Charakter der Schnittstelle zu gewährleisten:

Client-Server-Architektur, Zustandslosigkeit, Caching, Adressierbarkeit von Ressourcen, Repräsentation zur Veränderung von Ressourcen, selbstbeschreibende Nachrichten und HATEOAS (Hypermedia as the Engine of Application State).

Die Einhaltung insbesondere von HATEOAS führt dazu, dass eine erste Ausführung für die elementare Datenübertragung abgestimmt und realisiert werden kann. Die Bereitstellung weiterer Funktionen kann sukzessive, auch proaktiv erfolgen und bei Bedarf von den Client-Implementierungen aufgenommen werden. Damit werden alle Bereitsteller von Daten entlastet, und der Abstimmungsbedarf wird deutlich reduziert. Trotzdem kann die Schnittstelle dynamisch und schnell neuen Erfahrungen angepasst werden.

Datenstruktur der Schnittstelle

Auch hier wird ein möglichst einfaches, aber als de-facto-Standard anzusehendes Format vorgeschlagen. Das Datenformat JSON (JavaScript Object Notation, ISO/IEC 21778:2017) hat neben seiner Einfachheit den Vorteil ein Klartextformat zu sein. Da die zu übertragenden Datenmengen voraussichtlich niedrig sind, kann auf die binäre Version des Formates (BSON) verzichtet werden.

Das Format ist sinnvoll nur für Parameter-Werte-Kombinationen nutzbar. Digitalisierte Dokumente müssen in einem möglichst weit verbreiteten, ohne spezielle Software lesbaren Format übertragen und abgelegt werden. Aktuell ist PDF das passende Format. Es muss jedoch evaluiert werden, ob hohe Konvertierungsaufwände anfallen, falls z.B. CAD-basierte Daten genutzt werden müssen.

Sicherheit

Für die Datenübertragung wird ausschließlich TLS (Transport Layer Security) genutzt. Die verschlüsselte Übertragung bedarf eines gültigen Zertifikates, das über den für den Betrieb der Schnittstellendienste vorgesehenen Provider besorgt und erneuert wird. Ungültige oder abgelaufene Zertifikate führen zu einem Nutzungsausfall der Schnittstelle.

Die Schnittstelle wird über eine Autorisierungs- und Authentifizierungsschicht abgesichert. Idealerweise kann der Provider für den Betrieb der typischen HTTPS-Schnittstellendienste passende Dienste anbieten. Von der Nutzung von API Keys sollte trotz der ausschließlich verschlüsselten Übertragung abgesehen werden. Bei der Notwendigkeit einer Eigenimplementierung wird vorgeschlagen, OAuth2 und einen zusätzlichen Ident-Layer (z.B. OpenID) einzusetzen.

Generell gehen Architektur und Implementierung einer sensiblen Schnittstelle von einer Zero-Trust-Umgebung aus.

Plattform

Aufgrund der Eigenschaften einer RESTful Schnittstelle können typische Webserver als Reverse Proxy für die Kommunikation eingesetzt werden. Da HATEOAS ein Session-Handling überflüssig macht, wird jeder Aufruf als unabhängiger Request verarbeitet. Für die Anwendungslogik (syntaktische Datenprüfung, Fehler-Handling und Ablage in einer zentralen Datenbank) kommen verschiedene Frameworks in Frage. Neben der für diesen Anwendungsfall elementaren Fragestellung des Langzeit-Supportes spielt auch die Skalierbarkeit eine Rolle. Die Anwendungslogik wird einen niedrigen Komplexitätsgrad aufweisen und kann gut in einem Container betrieben werden. Ein Provider, der eine Container-Orchestrierung anbietet oder ein Cloud mit entsprechenden PaaS-Eigenschaften als Anwendungsumgebung bereitstellt, ermöglicht den Betrieb der Anwendungslogik als short-running Service, der von jedem Request gestartet und nach der Bearbeitung beendet wird. Damit wird die Unterstützung auto-skalierender Eigenschaften durch REST/HATEOAS umgesetzt.

Datenbank

Welches Datenbank-System genutzt wird, hängt auch von der weiteren Auswertung der eingehenden Daten (semantische Prüfung, Monitoring, Konsolidierung etc.) ab. Es ist davon auszugehen, dass relationale Datenbanken dem Charakter der Daten weniger entsprechen. Document Databases, aber auch Graph Databases passen besser.

5.2.1.4 Exkurs: Das Konzept des Digitalen Produktpass

Die Kreislaufwirtschaft gewinnt aufgrund der intensiven Suche nach Lösungsansätzen für den Klima- und Ressourcenschutz und gleichzeitig nachhaltiger Wirtschaftsentwicklung auch politisch immer intensiver an Bedeutung. Internationale Institutionen, auch die EU und die deutsche Regierung unterstützen dabei zunehmend das Konzept eines Digitalen Produktpasses. Dieser soll nicht-digitale Formen der Informationsvermittlung nicht ersetzen, sondern komplementieren (Europäische Kommission, 2022a). Der „Vorschlag für eine Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG – 2022/0095 (COD)“ (Vorschlag 2022/0095 (COD) (Europäische Kommission, 2022e)) im Rahmen der Sustainable Products Initiative der Europäischen Kommission, der im März 2022 veröffentlicht wurde, soll bei Inkrafttreten die derzeit geltende EG-Ökodesign-Richtlinie aufheben.

Das BMUV erläutert das Konzept des Digitalen Produktpasses wie folgt:

„Der digitale Produktpass ist ein Datensatz, der die Komponenten, Materialien und chemischen Substanzen oder auch Informationen zu Reparierbarkeit, Ersatzteilen oder fachgerechter Entsorgung für ein Produkt zusammenfasst. Die Daten stammen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus und können in all diesen Phasen für verschiedene Zwecke genutzt werden (Design, Herstellung, Nutzung, Entsorgung). Die Strukturierung umweltrelevanter Daten in einem standardisierten, vergleichbaren Format ermöglicht allen Akteuren in der Wertschöpfungs- und Lieferkette, gemeinsam auf eine Kreislaufwirtschaft hinzuarbeiten. Der digitale Produktpass ist zugleich eine wichtige Grundlage für verlässliche Konsumenteninformation und nachhaltige Konsumententscheidungen (...).“ (BMUV, 2022a).

Zweck

Laut BMUV ist der Digitale Produktpass vor allem für Produkte mit komplexer Zusammensetzung wichtig, die aus vielen Bestandteilen bestehen (BMUV, 2022a). Dabei dient er vor allem drei Zwecken:

1. Nachhaltige und zirkuläre Produktion ermöglichen: Betriebe entlang der Wertschöpfungskette von Produkten können durch strukturierte Daten und Informationen Konsequenzen für Unternehmensstrategien ableiten und Entscheidungen zur Produktion treffen, die die Umweltfreundlichkeit, Lebensdauer der Produkte, Effizienz im Produktionsprozess und die Nutzung von Ressourcen angeht (Europäische Kommission, 2022c). Demontage-, Recycling- und Reparaturbetriebe können ebenfalls einen Nutzen aus den relevanten Informationen ableiten, indem sie informiert mit Produkten umgehen können.
2. Nachhaltige Konsumententscheidungen erleichtern: Der Digitale Produktpass kann dazu dienen, Verbraucher*innen über umweltrelevante Aspekte von Produkten informieren und dadurch den nachhaltigen Konsum fördern. Wenn der Digitale Produktpass einen Rahmen für eine standardisierte Erfassung und Bewertung von Umweltinformationen schafft und dieser Verbraucher*innen zugänglich ist, haben diese die Möglichkeit, sich schnell und unkompliziert zu informieren und Nachhaltigkeitsaspekte und die Umweltverträglichkeit von Produkten in ihre Konsumententscheidungen einzubeziehen (Lell et al., 2020). (Dafür sind beispielsweise Leistungskategorien vorgesehen, durch die schnelle Vergleichbarkeit hergestellt werden kann (ErwG 39, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Außerdem können Organisationen und Interessensgruppen aus der Zivilgesellschaft auf transparente Informationen über Produkte zugreifen (Europäische Kommission, 2022c).
3. Rechtliche Rahmenbedingungen einhalten und überprüfen: Durch die Erfassung und Bereitstellung von Daten über den Lebenszyklus der Produkte kann die Einhaltung rechtlicher Normen für Herstellungsbetriebe auf der einen Seite sowie die Prüfung und Kontrolle durch Behörden auf der anderen Seite erleichtert werden, bspw. für Zollbeamte (BMUV, 2022c; Europäische Kommission, 2022c).

Politische Relevanz

Die EU-Produktpolitik intensiviert seit 2019 ihre politischen Impulse zur Einführung des Digitalen Produktpass als Instrument für eine klimaschonende und ressourceneffiziente Wirtschaft. Die Europäische Kommission und weitere EU-Institutionen haben diverse Strategiepapiere zur Einführung des Digitalen Produktpass veröffentlicht.

- Europäische Kommission: Europäischer Grüner Deal (European Green Deal) (Europäische Kommission, 2019)
Der Europäische Grüne Deal vom Dezember 2019 hat die Bewältigung klima- und

umweltbedingter Herausforderungen als „Europas Agenda für nachhaltiges Wachstum“ zum Ziel. Im Europäischen Grünen Deal wird im Konzept des „elektronischen Produktpass“ eine Liste an Informationen aufgeführt, die für in der EU verkaufte Produkte digital zur Verfügung stehen sollten: Herkunft, Zusammensetzung, Reparatur- und Demontagemöglichkeiten sowie Informationen zur Handhabung am Ende seiner Lebensdauer.

- ▶ Europäische Kommission: Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan) (Europäische Kommission, 2020)
Der überarbeitete Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft von 2020 stellt einen wichtigen Bestandteil des Europäischen Grünen Deals dar. Darin sind Maßnahmen im Bereich nachhaltige Produktpolitik, Stärkung von Verbraucherrechten sowie Abfallvermeidung dargelegt sowie Branchen gelistet, in denen schnell konkrete Ergebnisse erzielt werden sollen. Im Aktionsplan wird vorgeschlagen, dass fast alle physischen Waren auf dem EU-Markt während des gesamten Lebenszyklus kreislauffähiger, umweltfreundlicher und energieeffizienter gemacht werden sollen (Europäische Kommission, 2022a).
- ▶ Europäische Kommission: Vorschlag für eine Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/G (Europäische Kommission, 2022e) Der Verordnungsentwurf in Fassung von März 2022, der im Rahmen des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft Vorschriften zur Produktgestaltung vorstellt, sieht für alle der in der Verordnung genannten Produktgruppen die Implementierung des Digitalen Produktpasses vor. Damit soll die Wiederverwendung, Nachrüstung, Reparatur, Wartung, Aufarbeitung und das Recycling von Produkten erleichtert werden und energie- und ressourceneffiziente Herstellung von Produkten gefördert werden. Im Rahmen der Verordnung werden die Konzepte eines Digitale Produktpass für Textilien und Elektrogeräte konkretisiert.
- ▶ Europäische Kommission: Twin Transition (Europäische Kommission, 2022d)
Im Kommunikationspapier der Europäischen Kommission vom Juni 2022 zur Twin Transition in der EU wird Digitalisierung als Mittel zur Förderung von Nachhaltigkeit angesehen. Dabei wird der Digitale Produktpass beschrieben als Konzept, das die Daten zur Nachverfolgung von Material und Komponenten im gesamten Lebenszyklus vereinfacht und damit zirkuläre Geschäftsmodelle ermöglicht.

In Deutschland gibt es ebenfalls ein positives politisches Stimmungsbild zum Digitalen Produktpass:

- ▶ Koalitionsvertrag vom 24.11.2021 (Bundesregierung, 2021)
In Deutschland findet der Digitale Produktpass auch im Koalitionsvertrag für den Regierungszeitraum 2021–2025 Einzug. Mit dem Ziel der Senkung des primären Rohstoffverbrauchs und geschlossener Stoffkreisläufe kündigte die Ampel-Koalition an, Digitale Produktpässe einzuführen, Unternehmen bei der Umsetzung zu unterstützen und das Prinzip der Datensparsamkeit zu wahren.
- ▶ Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie
In einer nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (zum Zeitpunkt der Publikation noch nicht veröffentlicht, angekündigt im Koalitionsvertrag 2021–2025) sollen bestehende und neue Konzepte und rohstoffpolitische Strategien, u.a. zum Digitalen Produktpass, gebündelt beschrieben werden. Weitere Themen sind Recyclinglabel, die Einführung produktspezifischer Mindestzyklalquoten und Branchenvereinbarungen zur Abfallvermeidung.

- ▶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Umweltpolitische Digitalagenda (BMUV, 2022a)
Der Digitale Produktpass ist zentraler Bestandteil der Umweltpolitischen Digitalagenda der Öffentlichkeit, die das BMUV mit Expert*innen entwickelt hat. In etwa 70 verschiedenen Maßnahmen werden Themen rund um den Digitalen Produktpass beleuchtet, bspw. wie er in der Automobilbranche eingesetzt werden kann. Die langfristige Entwicklung eines Digitalen Produktpass für grundsätzlich alle Produktgruppen, der Informationen in einer „Single Source of Truth“ vereint, wird dabei angestrebt (BMUV, 2022c).

Die Vereinigung CIRPASS (Digital Europe, n.d.) gefördert von der Europäischen Kommission, entwickelt derweil in Zusammenarbeit mit Projektpartner*innen die Basis für eine gemeinsame Definition des Digitalen Produktpass sowie Datenprotokolle und Roadmaps für die Implementierung. Weitere Organisationen, wie bspw. EuroCommerce und GS 1, stellen technische Umsetzungsforderungen an den Digitalen Produktpass (EuroCommerce & GS1, 2022).

Einige Branchen stehen dabei bereits heute besonders unter politischem Umsetzungsdruck und teilweise entstehen rechtliche Rahmenbedingungen, entsprechende Lösungen einzuführen. Dazu gehören beispielsweise die Batteriebranche (ein Batteriepass ist ab 2026 vorgesehen), die Textilbranche, die Bau-, Elektroschrott-, Plastik-, Chemie- und die Automobilbranche.

Konzeptionelle Rahmenbedingungen

Der Vorschlag zur Aufhebung der geltenden EG-Ökodesign-Richtlinie von März 2022 (Vorschlag 2022/0095 (COD)) stellt dabei einen politischen Rahmen in der EU dar, in dem die Voraussetzungen für die nachhaltige Herstellung von Produkten sowie die Bereitstellung von Informationen über ein Produkt festgelegt werden. Die Produktdaten sollen demnach für Akteur*innen entlang der Lieferkette, Behörden und Konsument*innen geteilt werden. Dadurch wird die Transparenz erhöht und der Informationsfluss deutlich effizienter gestaltet. Stakeholder der Produkte sollen auf die spezifischen Informationen (kostenlosen) Zugriff erhalten, die für sie relevant sind (ErwG 27, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Der Aufwand für Betriebe soll möglichst geringgehalten werden.

Die konzeptuellen Anforderungen für den Digitalen Produktpass werden dabei angereichert durch weitere aktuelle politisch relevante Initiativen, wie Konzepte zur Rückverfolgbarkeit von Materialien und der Verantwortung entlang der Lieferkette oder den Anforderungen an den Datenaustausch auf EU-Ebene.

Der Digitale Produktpass soll dabei das Konzept für alle Produkte unter der ERSP werden und unter anderem die folgenden Daten enthalten (Vorschlag 2022/0095 (COD), Annex III):

- ▶ Verpflichtende Informationen unter Artikel 7(2) und 8(2), die für die jeweilige Produktgruppe erforderlich sind;
- ▶ Der spezifische Produktidentifikator;
- ▶ Die globale Handelsidentifikationsnummer (ISO/IEC 15459-6);
- ▶ Einschlägige Warennummern;
- ▶ Konformitätsunterlagen;
- ▶ Benutzerhandbücher, Warnhinweise, Anleitungen, Sicherheitsinformationen;
- ▶ Informationen über den Herstellerbetrieb oder eindeutige Betreiberkennung;

- ▶ Eindeutige Betriebsstättenerkennung;
- ▶ Informationen über den Importeur;
- ▶ Kontaktdaten und eindeutige Betreiberkennung nach Artikel 4 der EU-Verordnung 2019/1020.

An den Produkten, die dem Digitalen Produktpass unterliegen, müssen wenn möglich physische Datenträger angebracht werden, die der ISO/IEC 15495:2015 entsprechen (ErwG 30, 31, Vorschlag 2022/0095 (COD); Art. 9 (1b) Vorschlag 2022/0095 (COD)). Sollte dies nicht möglich sein, kann auch ein beigelegtes Dokument dem Zugriff dienen. Die Umsetzung einer eindeutigen Produktidentifikation („unique product identifier“) müssen nach international anerkannten Standards aufbereitet werden, die von der Europäischen Kommission festzulegen sind (ErwG 28, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Zur Entwicklung von Normen und Standards berät die europäische Normungsagentur CENELEC. Dabei sind Normen zur Garantie der Datenvertraulichkeit, -austausch, -sicherheit und -integrität denkbar, die bspw. sicherstellen, dass Daten nicht veränderbar und vor unbefugtem Zugriff geschützt sind.

Grundlagen für technische Aspekte der aufzubauenden Datenbanken sind bereits in der EU Datenstrategie aufgeführt (Europäische Kommission, 2022b), die EU strebt jedoch an, weitere technische Rahmenbedingungen festzulegen (ErwG 33, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Dabei weist die EU darauf hin, dass dezentralisierte Datenbanken zu verwenden sind, um agil und flexibel Weiterentwicklungen zu ermöglichen (ErwG 32, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Informationen sollen auf offenen Standards basiert, in interoperablem Format zur Verfügung gestellt und maschinenlesbar sein (Art. 9 (1d), Vorschlag 2022/0095 (COD)). Die Europäische Kommission plant, ein Register aller Digitalen Produktpässe und der eindeutigen Produktidentifikationen zu speichern.

Herausforderungen zur Einführung für Sportboote

Im Kapitel 5.2.1.2 wurden Datenkonzepte vorgestellt, die erforderliche Daten des Digitalen Produktpass umfassen und die aufgelisteten Zwecke erfüllen können. Das Konzept kann somit den Rahmen für den Digitalen Produktpass darstellen; weitere Anforderungen, die von EU-Institutionen entwickelt werden, sind zu beachten und ggf. zu ergänzen (bspw. zu Lieferketten oder zum CO₂-Fußabdruck). Einige Anmerkungen werden für eine Vollständigkeit des Konzepts aus Kapitel 5.2.1.2 zur Umsetzung für die Produktgruppe der Sportboote als Digitaler Produktpass im Folgenden ergänzt. Dabei ist zu beachten, dass der Vorschlag der Europäischen Kommission (Art. 8, Vorschlag 2022/0095 (COD)) die in dieser Studie betrachteten Produkte bisher nicht explizit erfasst.

Die EU schreibt in der Konzeptualisierung des Digitalen Produktpasses, dass physische Identifikationsmerkmale an den Produkten vorhanden sein sollen, über die auf Daten direkt oder indirekt zugegriffen werden kann, bspw. durch Scangeräte (ErwG 31, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Dabei sind verschiedene Methoden denkbar:

- ▶ WIN-Nummer, MIC-Nummer: Als Identifikationsnummer kann die WIN-Nummer von Sportbooten gelten. Hier muss sichergestellt werden, dass diese nicht (illegal) entfernt werden kann. In der Theorie ist dies bereits heute vorgeschrieben, (Input Bootsverband 4, 2022).
- ▶ Barcode, Zahlencode oder QR-Code auf den Sportbooten: Die EU schlägt Wasserzeichen oder QR-Codes als scannbare Möglichkeit zum Datenzugriff vor (ErwG 31, Vorschlag 2022/0095 (COD)). Diese werden für einzelne Produkte auch bereits verwendet, um auf weiterführende

Webseiten oder Datenbanken zu verlinken, wie bspw. Nachhaltigkeitsindikatoren für Skier (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2022),

- ▶ NFC (Near Field Communication) und RFID-Chips sind weitere theoretische Möglichkeiten für Datenträger.

Bei der Umsetzung bestünde im Zusammenhang mit Sportbooten weiterer Forschungsbedarf zu folgenden Aspekten:

- ▶ Fälschungssicherheit: Aufgebrachte Nummern wie die WIN-Nummer oder Codes dürfen durch Eigentümer*innen oder andere Stakeholder nicht verändert oder zerstört werden können.
- ▶ Abfallrelevante Veränderung am Produkt: Bei der Anbringung von physischen Geräten wie RFID-Chips könnte die Frage relevant werden, ob Produkte durch Anbringen anschließend unter das ElektroG fallen. Dabei kann §3 Nr. 1 ElektroG angewendet werden, der die Definition von Elektro- und Elektronikgeräten auflistet. Die Entscheidung, ob ein Elektro- oder Elektronikgerät vorliegt und ob dieses unter das ElektroG fällt, wird normalerweise von der stiftung elektroaltgeräte register (ear) getroffen. Hier wird festgehalten, dass die konkrete Kategorisierung von RFID-Chips nicht pauschal vorgenommen werden kann. RFID-Chips ohne Funktion für Endnutzer*innen fallen demnach nicht unter das ElektroG, während RFID-Chips mit Funktion für Endnutzer*innen (bspw. Transponder), die den Betrieb des Geräts erst durch die Verwendung des RFID-Chips ermöglichen, unter das ElektroG fallen. Gleiches wäre für NFC-Chips zu prüfen.
- ▶ Nachhaltige Anbringung unter produkttypischen Umständen: Der langfristige Kontakt mit Wasser und ggf. anderen Substanzen wie Öl kann die Beschaffenheit des Datenträgers nachhaltig verändern oder zerstören. Im Bereich der Sportboote muss ein Datenträger verwendet werden, der gegen diese äußeren Umstände robust bestehen kann.
- ▶ Lange Lebensdauer von Sportbooten: Durch die jahrzehntelange Lebensdauer von Sportbooten ist die gleiche Lebensspanne Voraussetzung für einen geeigneten Datenträger.

Der Digitale Produktpass kann folglich für komplexe Produkte wie Sportboote eine machbare Lösung zum verbesserten Datenmanagement und damit schlussendlich zur Förderung des Recyclings und der Stoffstromlenkung darstellen. Unter den vorab genannten Umständen der Datenerfassung im Bereich Sportboote ist hier das inhaltliche Datenkonzept, das in Kapitel 5.2.1.2 beschrieben ist, iterativ zu validieren, um Akteur*innen entlang des Lebenszyklus in die Entwicklung regelmäßig einzubeziehen und so durch geeignete Beteiligungs- und Kommunikationsmaßnahmen von der Nützlichkeit zu überzeugen bzw. Gegenstimmen aufzunehmen und konzeptuell zu beachten.

Die rechtliche Verankerung der Verpflichtung zu einem Digitalen Produktpass ist dabei gründlich zu evaluieren. Der in Art. 8 2022/0095 (COD) skizzierte Vorschlag der Europäischen Kommission zur Umsetzung des Digitalen Produktpass könnte – nach Abwägung der genannten Herausforderungen in der Umsetzung – beispielsweise in die EU-Sportboooterichtlinie aufgenommen und damit für die Produktgruppe der Sportboote angewandt werden. Hier bestünde weiterer Forschungsbedarf.

5.2.2 Leichtflugzeuge

Im Bereich der Leichtflugzeuge unterscheidet sich die Ausgangssituation für mögliche digitale Konzepte im Vergleich zu der Branche der Sportboote. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Netzwerkanalyse verdeutlichen, dass die Branche der Leichtflugzeuge stark reglementiert und streng überwacht ist. Diese hohen Qualitätsanforderungen des Luftrechts haben zusammen mit

den branchenspezifischen Charakteristika Auswirkungen auf die Stoffstromlenkung. Folglich werden diverse Rahmenbedingungen abgeleitet, die ein digitales Konzept, das das Recycling bzw. die Stoffstromlenkung vereinfachen und unterstützen kann, als eher redundant erscheinen lassen.

- ▶ Flugzeugbesitzer*innen, Entwicklungs-, Herstellungs- Instandhaltungsbetriebe unterliegen einer strengen Überwachung. Für Entwicklungs- und Herstellungsbetriebe gelten strikte Vorgaben, welche die Dokumentation sämtlicher Arbeitsprozesse sowie die Kennzeichnung von Bauteilen verlangen. Nur behördlich zugelassene Bauteile und Flugzeuge dürfen in Betrieb genommen bzw. verbaut werden. Damit ist eine hohe Transparenz und Kontrolle über die Qualität von Luftfahrtgeräten, die sich im Umlauf befinden, garantiert. Leichtflugzeuge bedürfen einer initialen behördlichen Verkehrszulassung (Bescheinigung über Lufttüchtigkeit). Diese muss jährlich durch eine qualifizierte Fachperson oder einen zertifizierten Fachbetrieb, einer CAMO oder CAO, erneuert werden.
- ▶ Regulierende Behörden (EASA und LBA) und Leichtflugzeughalter*innen sowie luftfahrttechnischen Betrieben stehen in engen Kontakt und regelmäßiger Kommunikation. Eine Übersicht über verbaute Materialien liegen dem Herstellungsbetrieb vor und liegen im dessen alleinigen Hoheitsgebiet der Herstellungsbetriebe. Bei Bedarf können Baupläne und Materiallisten bei Herstellungsbetriebe erfragt und eingeholt werden.
- ▶ Durch jährlich verpflichtende Prüfungen auf Lufttüchtigkeit sowie vorgegebene Inspektionsprogramme sind registrierte Leichtflugzeuge stets in einem flugtüchtigen Zustand. Leichtflugzeuge und deren Bauteile haben fest vorgegebene Betriebslaufzeiten. Die im Wartungshandbuch vorgegebene Inspektionsmaßnahmen müssen eingehalten werden und von zertifizierten Instandhaltungsbetrieben regelmäßig überprüft werden. Die Bescheinigung zur Lufttüchtigkeit ist abhängig von den erfüllten Wartungsmaßnahmen.
- ▶ Die Lebenslaufakte, welche von Leichtflugzeugeigentümer*innen (bzw. Halter*innen) geführt werden muss, beinhaltet alle Aufzeichnungen und Berichte über sämtliche Reparatur- und Wartungsmaßnahmen. Mit dieser Akte kann zu jeder Zeit zurückverfolgt werden, welche Teile im Flugzeug wann und von wem verbaut wurden.
- ▶ Der etablierte Reparaturmarkt hat zur Folge, dass Leichtflugzeuge lange Lebenslaufzeiten haben und selten in die End-of-life-Phase im Lebenszyklus gelangen. Abfall entsteht in der Regel beim Instandhaltungsbetrieb. Hier herrschen strenge Vorgaben zur Dokumentation über vorgenommene Arbeiten. Darunter fällt die Protokollpflicht über ausgetauschte Bauteile und das Festhalten der fachgerechten Entsorgung von irreparablen Bauteilen.
- ▶ Der etablierte Gebraucht- und Ersatzteilemarkt führt dazu, dass lufttüchtige Bauteile oder Altflugzeuge in der Regel auf dem Sekundärmarkt verkauft werden oder als Ersatzteilelager dienen.

Durch diese Rahmenbedingungen ergibt sich eine grundlegend andere Ausgangslage als in der Branche der Sportboote. In Tabelle 70 wird die Notwendigkeit der Datenkonzepte im Bereich der Sportboote gegenübergestellt.

Tabelle 70: Vergleich der Leichtflugzeuge-Branche und den abgeleiteten Bedarfen mit den definierten Datenkonzepten in der Sportboote-Branche

Konzept für Sportboote	Leichtflugzeuge
<p>Datenbankkonzept 1: Serienspezifische Merkmale</p>	<p>Luftfahrttechnische Entwicklungsbetriebe sind nach der EASA Implementing Rule Initial Airworthiness Part 21/J festgelegt. Entwicklungsbetriebe haben sich bei der Entwicklung von luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Bauteilen und Ausrüstung an strikte Bauvorschriften zu halten. Die Entwicklungen an Luftfahrtprodukten müssen vor Inbetriebnahme einen komplexen Zulassungsprozess nach EASA Part 21 J durchlaufen. Nur zugelassene Produkte dürfen verbaut werden. Regelmäßige Audits sorgen dafür, dass die Genehmigungsvoraussetzungen fortbestehen.</p> <p>Herstellungsbetriebe sind seitens EASA durch die Implementing Rule Initial Airworthiness im Part 21/G definiert. Die Kennzeichnung von Bauteilen und Dokumentationsprozesse stellen relevante Aspekte des verpflichtenden Qualitätsmanagements von Herstellungsbetrieben dar.</p> <p>Informationen können von Recyclingbetrieben angefragt werden.</p>
<p>Datenbankkonzept 2: Registrierung</p>	<p>Leichtflugzeuge der Kategorien E, F, G, I, K und Segelflugzeuge, welche Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind, bedürfen nach §1 LuftVZO einer Zulassung durch das LBA. Die Zulassung ist an die Lufttüchtigkeit gebunden und nur lufttüchtigkeitsbescheinigte Leichtflugzeuge erhalten ein Kennzeichen und werden zum Verkehr zugelassen (§3 Abs.2 Nummer 1 LuftVZO). Teil der Anmeldung ist neben der Kennzeichenvergabe die Eintragung ins Luftfahrzeugregister des LBA (§14 LuftVZO). Damit liegen dem LBA diese Informationen über die in Deutschland registrierten Leichtflugzeuge vor. Altflugzeuge und Flugzeuge, welche ins Ausland verkauft werden oder keine Lufttüchtigkeitszertifizierung erhalten, müssen abgemeldet werden. Bei der Löschung der Eintragung in der Luftfahrzeugrolle müssen die Originaldokumente des Eintragungsscheins und des Lufttüchtigkeitszeugnisses zurückgegeben werden. Nach den Regeln der International Civil Aviation Organisation (ICAO) dürfen Luftfahrtgeräte nur in einem Register vorzufinden sein. Um dies sicherzustellen, werden von allen Registerstaaten An- und Abmeldebescheinigungen ausgestellt. Die Datenbank ist aus Datenschutzgründen nicht öffentlich einsehbar.</p>
<p>Datenbankkonzept 3: Rechtliche Vorgaben der Materialverwertung</p>	<p>Die Durchführung von Reparaturen, Wartungsprogrammen oder Inspektionen darf nur von durch die EASA zugelassenen luftfahrttechnischen Betrieben vorgenommen werden. Diese Zulassung wird durch EASA Part 145 (Instandhaltung in der Luftfahrttechnik) geregelt. Im deutschen Raum müssen sich nach EASA Part 145 zugelassene Betriebe beim LBA nachweisen lassen (siehe Kapitel 3.2.4.2). Instandhaltungsbetriebe mit einer 145er EASA-Zulassung haben strenge Vorschriften zur Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen sowie der Führung von Protokollen und Arbeitsberichten einzuhalten. Bauteile, die nicht irreparabel und somit nicht mehr lufttüchtig sind, müssen verpflichtend unbrauchbar verschrottet werden. Die Entsorgung muss genau dokumentiert und Bauteile gekennzeichnet werden. Bei den</p>

Konzept für Sportboote	Leichtflugzeuge
	regelmäßigen Kontrollbesuchen (Audits) durch das LBA zur regelkonformen Haltung und Führung des Betriebs wird auch die fachgerechte Entsorgung kontrolliert, insbesondere vor dem Hintergrund, dass nur lufttüchtige Flugzeuge und Bauteile in Betrieb genommen werden dürfen (siehe Kapitel 4.2.2.2).
Datenbankkonzept 4: Expertise von Verwertern, Rücknahmestellen und Recyclingbetrieben	Abfall fällt in der Regel bei Instandhaltungsbetrieben (EASA Part 145) an. Aufgrund der geringen Abfallmengen, die in der Leichtflugzeugbranche entstehen, bestehen derzeit keine spezialisierten Recycling- und Entsorgungsbetriebe. Zertifizierte luftfahrttechnische Betriebe sind von LBA & EASA gelistet und z.T. öffentlich einsehbar (145er, CAMO, CAO, Herstellungsbetriebe, Entwicklungsbetriebe).
Datenbankkonzept 5: Demontage und Reparatur	Wartungs- und Reparaturhandbücher sowie über Jahre entwickelte de facto Standard-Prozesse sorgen für hohe Expertise über Demontage- und Reparaturprozesse.
Datenbankkonzept 6: Veränderungen an individuellen Booten	In den Kennblättern jedes Flugzeugmusters müssen alle über die Laufzeit entstehenden Anpassungen in den Flugzeugmustern dokumentiert werden. Herstellungsbetriebe sind verpflichtet, Anpassungen in den Musterunterlagen öffentlich zu machen und behördlich zu melden. Zudem müssen alle Reparatur- und Änderungsarbeiten an Leichtflugzeugen protokolliert und in der Lebenslaufakte abgeheftet werden. Nur zertifizierte Bauteile dürfen in Betrieb genommen werden.
Datenbankkonzept 7: Verfügbare Ersatzteile (Sekundärmarkt)	Leichtflugzeuge verfügen über einen Ersatzteilkatalog, der Auskunft darüber gibt, welche Ersatzteile verwendet werden können. Durch die hohe Wertigkeit von Bauteilen ist der Sekundärmarkt effizient organisiert (über analoge und digitale Plattformen).

Die Auswirkungen der Regulierungen auf die Stoffstromlenkung machen deutlich, dass sich auf dem Markt der Leichtflugzeuge ein de facto Standardprozess etabliert hat, sodass der Bedarf digitaler Konzepte in der Leichtflugzeugbranche unter den aktuellen Voraussetzungen und geltenden Regelungen nicht besteht, sondern tendenziell zu einer Überreglementierung oder einer redundanten Datenführung führen würde. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass die Digitalisierung zum Zwecke einer zielgerichteteren Stoffstromlenkung zur Erleichterung des Recyclings in dieser Branche keinen Mehrwert bringen kann. Der Markt der Leichtflugzeuge ist derzeit überschaubar, sehr gut reglementiert und der anfallende Abfall so gering, sodass der Aufwand unverhältnismäßig zum gewonnenen Nutzen stünde.

Nichtdestotrotz haben die Analysen auch Lücken im Wissensstand zu Leichtflugzeuge aufgedeckt, die nicht unmittelbar in Zusammenhang mit dem Recycling stehen, aber dennoch Konsequenzen für die Zukunft der Leichtflugzeugbranche mit sich bringen. Beispielsweise kann die Anzahl der Abmeldungen nicht zur Bestimmung von Altflugzeugen herangezogen werden. Überwiegend sind Abmeldungen auf den Verkauf ins Ausland zurückzuführen. Sofern die Bauteile eines Flugzeugs noch lufttüchtig sind oder durch Reparatur wieder in einen lufttüchtigen Zustand zurückgeführt werden können, sind die Flugzeuge meist auf dem

Gebrauchtmärkte zum Weiterverkauf wiederzufinden. Generell haben die Analysen gezeigt, dass die Reparatur oder Verkauf am Gebrauchtmärkte von Altflugzeugen immer vor der Option der Verschrottung stehen. Allerdings besteht ebenso die Möglichkeit, dass Altflugzeuge in der vereinseigenen Garage geparkt stehen oder in der Hobbywerkstatt verwertet werden. Da keine Meldepflicht von Altflugzeugen bzw. abgemeldeten Leichtflugzeugen besteht, kann der tatsächliche Bestand zum Bestand von Leichtflugzeugen und damit von sich im Umlauf befindenden GFK und CFK nicht gewährleistet werden.

5.2.3 Bedarfsgegenstände

Wie in Kapitel 3.3.5 deutlich wird, wird für die fünf untersuchten Produktgruppen (Fahrräder, Ski und Snowboards, Golfschläger, Saiteninstrumente, Prothesen und Orthesen) erkennbar, dass bereits ein etablierter Reparaturmarkt und Gebrauchtmärkte existiert. Anstatt funktionsfähige Produkte wegzuerwerfen, werden diese oftmals auf dem Zweitmarkt angeboten, wodurch ein Produkt mehrere Nutzungszyklen erfährt (ausgenommen Prothesen und Orthesen).

Ein digitales Konzept oder der Aufbau einer Datenbank mit recyclingrelevanten Informationen wird auf Grund des hoch individualisierten Zustands der Produkte und der oftmaligen Veränderung der Bauteile als nicht implementierbar angesehen; der Aufwand übersteige den Nutzen. Der Nutzen einer Informations- oder Dienstleistungsplattform wird auf Grund der Vielzahl an Wissensressourcen, im analogen und digitalen Raum, ebenfalls nicht als gewinnbringend betrachtet. Ein Abfallbetrieb berichtet außerdem, dass ein Informationsabruf bspw. über einen Digitalen Produktpass im Praxisbetrieb von kommunalen Entsorgern als nicht durchführbar angesehen wird, da die enge zeitliche Taktung meist einen zusätzlichen Schritt im Prozess (bspw. Aufrufen einer Webseite oder Abrufen von Daten aus einer Datenbank) nicht erlaubt (Input öRE-4, 2022). Gleichzeitig ist Wissens- und Fortbildungsmanagement hier äußerst relevant, um zu verhindern, dass CFK in Müllverbrennungsanlagen endet oder auch CFK und Produkte aus Carbonfaseroptik verwechselt werden.

Der Digitale Produktpass ist unter diesen Aspekten schwierig umzusetzen. Ebenso sind die drei genannten Aspekte Fälschungssicherheit, abfallrelevante Veränderung am Produkt und nachhaltige Anbringung unter produkttypischen Umständen bei Bedarfsgegenständen genauer zu evaluieren, sollte der Digitale Produktpass eingeführt werden. Dafür wurden bereits erste Initiativen identifiziert, die Entwicklungen in diesem Bereich in naher Zukunft erleichtern könnten:

- ▶ Viele Herstellungsbetriebe bringen Rahmennummern oder Identifikationsnummern an Fahrrädern an. Durch diese werden Chargen von Fahrrädern identifiziert, sprich es sind keine Rückschlüsse auf einzelne Räder möglich. Diese Nummern sind außerdem nicht genormt, sondern herstellerabhängig und können durch den Austausch von Teilen entfernt werden. Bei Fahrrädern ist Diebstahl ein massives Problem, sodass auch aus dem Blickwinkel der Nachvollziehbarkeit von Besitzer*innen-Wechseln die Erstellung einer einzigartigen ID für Fahrräder immer wieder in Überlegung ist (Input Fahrradverband, 2022).
- ▶ Ein Ski-Produzent berichtet von einem QR-Code, der auf den Skiern wetterfest unter einer transparenten Folie angebracht ist. Dieser QR-Code führt derzeit noch auf die Webseite des Unternehmens und dient somit vor allem Marketing- und Kommunikationszwecken für interessierte Nutzer*innen (Input Skiherstellendes Unternehmen, 2022). Doch auch hier kann weitergedacht werden: Die erhöhte Nachfrage und der Druck von Kund*innen, mehr über die Nachhaltigkeit ihrer Produkte zu erfahren, könnte über den bereits angebrachten QR-Code bedient werden, indem statt der derzeit verwendeten Ziel-URL zu einer Datenbank

verlinkt wird, die die Ökobilanz des Produkts aufzeigt oder relevante Informationen, wie im Digitalen Produktpass vorgesehen, enthält.

- Ein Bergsportverband berichtet von dem Bedarf, auch den Verbau anderer Materialien und Baustoffe zu dokumentieren, um das Recycling zu erleichtern. Dazu gehört bspw. Aluminium bei Mountain Bikes (Input Bergsportverband, 2022).

5.3 Kriterien für die Umsetzung eines digitalen Konzepts

Aus den vorigen Kapiteln zu den modularen Datenkonzepten im Bereich Sportboote sowie zum Digitalen Produktpass wird ersichtlich, dass insbesondere die folgenden Kriterien und Funktionalitäten wichtig sein können. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die vorgeschlagenen Kriterien nicht vollständig für alle Produktgruppen übertragen werden sollten; beispielsweise ist eine Registrierung von Fahrrädern (Kriterium 3) nicht praktikabel, wohingegen eine Erfassung von Produktbasisdaten (Kriterium 1) durchaus einen Wert für Recyclingbetriebe und Wertstoffhöfe haben kann, die Fahrräder zugeliefert bekommen⁹⁵. Diese Auflistung soll folglich als Grundlage verstanden werden, aus der verschiedene Detailtiefen für verschiedene Produkte sinnvoll erscheinen.

Tabelle 71: Kriterien und Funktionalitäten der digitalen Konzepte

Konzepte	Technische, funktionale und organisatorische Kriterien zur Bewertung von Eignung der Lösung
Datenbankkonzept 1: Produkttypenspezifische Merkmale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erfassung der Produktbasisdaten; 2. Erfassung der verwendeten Materialien.
Datenbankkonzept 2: Registrierung	<ol style="list-style-type: none"> 3. Dokumentation der persönlichen Daten von Eigentümer*innen; 4. Erfassung von Änderungen des/der Eigentümer*in.
Datenbankkonzept 3: Rechtliche Vorgaben der Materialverwertung	<ol style="list-style-type: none"> 5. Dokumentation von Texten zu aktuellen Verwertungsvorschriften, ggf. Abfallschlüsselnummern.
Datenbankkonzept 4: Expertise von Verwertern, Rücknahmestellen und Recyclingbetrieben	<ol style="list-style-type: none"> 6. Verfügbarkeit von Verwertern, Rücknahmestellen, Recyclingnetzwerken; 7. Darstellung eines fachlichen Expertiseprofiles von Verwertern, Rücknahmestellen, Recyclingbetrieben.
Datenbankkonzept 5: Demontage und Reparatur	<ol style="list-style-type: none"> 8. Verfügbarkeit von Handbüchern; 9. Verfügbarkeit von Reparaturhinweisen der Herstellungsbetriebe 10. Verfügbarkeit von Demontageprotokollen
Datenbankkonzept 6: Veränderungen an individuellen Booten	<ol style="list-style-type: none"> 11. Eintragung von hinzugefügten Teilen; 12. Austragung von entfernten Teilen; 13. Dokumentation von baulichen / relevanten Veränderungen an Teilen.

⁹⁵ Für einen möglichen Digitalen Produktpass für Bedarfsgegenstände werden die folgenden Kriterien als relevant anerkannt: Kriterien 1 und 2; Kriterium 5 (Datenbank könnte ggf. von einer Behörde gepflegt werden, sodass verschiedene Produktgruppen wie Sportboote und Bedarfsgegenstände auf die gleiche Datenbank zurückgreifen und keine Doppelung entsteht); Kriterien 6 und 7; Kriterium 8, 9 und 10; Kriterium 23.

Konzepte	Technische, funktionale und organisatorische Kriterien zur Bewertung von Eignung der Lösung
Datenbankkonzept 7: Verfügbare Ersatzteile (Sekundärmarkt)	14. Erfassung des Bestands; 15. Erfassung der Produkte zur Reparatur und Wiederverwendung; 16. Erfassung der Produkte für Aufbereitung und Recycling; 17. Erfassung von Ersatzteilen für den Sekundärmarkt; 18. Austragungen verkaufter Teile.
Technische Kriterien	19. Begrenzte Zugriffsfunktionen; 20. Anbindung möglicher Schnittstellen (bspw. Referenzdatenbanken); 21. Garantie der Datensicherheit; 22. Konzepte zur Aktualisierbarkeit und Pflege der Datenbank.
Verknüpfung mit weiteren organisatorischen Konzepten	23. Abbildung weiterer Merkmale, die bspw. für den Digitalen Produktpass relevant sind; 24. Register der Verwertungsnachweise oder ähnliches.

In diesem Kapitel wird deshalb ein kurzer Vergleich mit vorhandenen digitalen Konzepten wie bestehende Software und Webseiten gezogen, die Teile dieser funktionalen, technischen und organisatorischen Kriterien bereits erfüllen. Es ist voranzustellen, dass ein digitales Konzept, das all diesen Kriterien gerecht wird, nicht gefunden wurde. In Anhang E sind Beispiele aus der Bau- und der Automobilbranche aufgeführt, die einige der vorangestellten Kriterien erfüllen. Im Rahmen der Betrachtung des Digitalen Produktpasses wurden außerdem Lösungen betrachtet, die eng mit dem Konzept des Digitalen Produktpasses verknüpft sind.

Wie in Kapitel 5.2.1.1 beschrieben, können einfache Webseiten oder Dienstleistungsplattformen, die Daten und Informationen über vorhandene Leistungen bündeln, die Grundlage für eine Verbesserung der Stoffstromlenkung darstellen. Dabei sind sowohl einfache Webseiten denkbar als auch Software-Lösungen, die bspw. ERP-Systeme über Schnittstellen verbinden.

Einfache (meist privat betriebene) Webseiten sind in angrenzenden Gebieten vorhanden, die teilweise auch für die betrachteten Produkte aus FVW relevant sein können. Einzelne Lösungen und der jeweilige Anwendungsbereich (Kriterien) sollen im Folgenden kurz skizziert werden.

Kriterien 2, 5, 6 und 7: Auch das Abfallmanagement kann durch digitale Konzepte erleichtert werden. Ein Konzept besteht beispielsweise in der Vernetzung von Abfallerzeuger*innen (bspw. Herstellungsbetriebe, Reparatur- oder Recyclingbetriebe) und zertifizierte Entsorgungsbetriebe (ähnlich zum Konzept der Datenbank 4 mit Verknüpfung zu Akteur*innen aus dem Cluster Herstellung) Der Nutzen liegt hier in dem vereinfachten Management von Abfallströmen von Herstellungsbetriebe komplexer Produkte. Auf diesem Gebiet entstehen bspw. SaaS-Lösungen, die über Schnittstellen auch Datenbanken zu Materialien und Informationen aus der Abfallverzeichnis-Verordnung, sowie das ERP-System der Entsorgungsbetriebe verknüpfen und über eine E-Mail-Funktion automatisiert den Kontakt zwischen den beiden Zielgruppen herstellen können. So sind Abfallströme gut mess- und verfolgbar (Input Software-Anbieter Abfallmanagement, 2022).

Kriterium 5: Webseiten mit Informationen zu Abfallkategorien und rechtlichen Vorgaben im Recycling oder der Entsorgung

Kriterien 6 und 7: Portale über Entsorgungs- und Recyclingbetriebe mit Informationen zu Standorten, Leistungsportfolio, Kontaktdaten dieser Betriebe, teilweise Kapazität, sowohl für private als auch gewerbliche Kund*innen

Kriterien 8, 9 und 10: Plattformen mit hinterlegten Dokumenten zu Anleitungen, Handbüchern und Demontageanleitungen für verschiedene Produktgruppen, bspw. sortiert nach Herstellerbetrieb

Kriterien 8, 9, 10 und 17: Zur Organisation von Reparaturdienstleistungen gibt es Software-Lösungen, die digitale Ersatzteilkataloge zur Verfügung stellen. Ein Angebot aus der Maschinen- und Anlagengerätebranche kann hier als Beispiel dienen (Input Software-Anbieter Ersatzteile, 2022). Die Plattform stellt Maschinen und Anlagen in graphischen (3D) Modellen dar. Nutzer*innen, bspw. Reparaturbetriebe oder Servicetechniker*innen, können nach Registrierung und gewährtem Zugriff auf den Katalog auf einzelne Komponenten klicken. Die hinterlegten Artikelnummern und Preise werden im Katalog angezeigt und Nutzer*innen können Bestellungen beauftragen, die über Schnittstellen zu ERP-Systemen von Verkäufer*innen und Käufer*innen in deren gängigen Systeme eingespeist werden. Außerdem sind für jede Maschine Zerlege- und Bedienungsanleitungen, Reparaturhandbücher sowie technische Dokumentationen hinterlegt (ähnlich Datenkonzept 4).

Kriterium 16: Austauschplattformen (Börse) zum Kauf und Verkauf von gewerblichen Abfällen

Kriterium 24: Plattformen zur Erstellung von aktuellen Verwertungsnachweisen, bspw. in der Automobilbranche

Digitale Kommunikationsschemata und Datenkonzepte haben sich folglich für verschiedene hier beleuchtete Aspekte etabliert und werden von unterschiedlichen Zielgruppen genutzt. Digitale Produktpässe sind in anderen Branchen wie der Baubranche bereits etabliert und werden privatwirtschaftlich weiterentwickelt und betrieben.

Im Bereich der Sportboote, Leichtflugzeuge und Bedarfsgegenstände aus FVW wurden in diesem Bericht Vorschläge erarbeitet, Umsetzungsmöglichkeiten diskutiert und Anreizsysteme sowie Risiken beleuchtet.

5.4 Ausblick digitale und organisatorische Konzepte

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, unterscheiden sich die Ausgangslage, die Datenbasis sowie die Herausforderungen des Recyclings der drei betrachteten Produktgruppen stark voneinander. Die in diesem Kapitel betrachteten Konzepte basieren auf dieser derzeit betrachteten Situation. Daraus ergeben sich drei differenzierte Empfehlungen für die drei Produktgruppen.

Für Sportboote wird der Aufbau einer Dienstleistungsplattform oder eines modularen Datenkonzepts empfohlen. Die Verknüpfung mit dem Konzept des Digitalen Produktpass sollte angestrebt werden, um eine zukunftsgerichtete, potentiell EU-weite Lösung auf den Weg zu bringen und sowohl rückwärtsgerichtet bereits bestehende Boote als auch vorwärtsgerichtet neue Boote in das Konzept integrieren zu können. Dem vorangestellt müssten beispielsweise ökonomische Auswirkungen von dafür notwendigen regulatorischen Änderungen, wie einer verpflichtenden Registrierung von Sportbooten, analysiert und bewertet werden. Außerdem sollten bestehende Datenbanken und Datenkonzepte, bspw. der Hersteller*innen, unter technischen Aspekten betrachtet und über geeignete Schnittstellen in das Konzept integriert werden. Das technische Schema in diesem Bericht skizziert die konkreten weiteren Schritte zur Implementierung.

Für Leichtflugzeuge wird eine kontinuierliche Marktbetrachtung empfohlen, um den derzeit effizienten und kontrollierten, funktionierenden Sekundärmarkt weiter zu beobachten und bei Änderungen ggf. steuernd eingreifen zu können. Digitale Kanäle können auch in diesem Sektor weiter ausgebaut werden, um so die Digitalisierung als Chance für Nachhaltigkeit zu nutzen.

Für Bedarfsgegenständen mit CFK wird, ähnlich wie bei den Sportbooten, die Einführung eines Digitalen Produktpass als mögliche Handlungsoption skizziert – allerdings mit einer deutlich geringeren Anzahl an Informationen, die gesammelt und aufbereitet werden müssten. Die Vielfalt der hier betrachteten Produkte und die Veränderbarkeit derselbigen limitiert ggf. den nachhaltigen Nutzen für die letzte Phase im Lebenszyklus. Ein Digitaler Produktpass ist folglich vorwiegend für Nutzerinnen und Nutzer interessant, bspw. um aktuelle Reparaturanleitungen oder Informationen zur Herkunft der benutzten Stoffe und Materialien einzusehen.

Der von der Europäischen Kommission vorgelegte Vorschlag zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (Vorschlag 2022/0095 (COD)) bildet hierbei im Falle eines Beschlusses den rechtlichen Rahmen für die Umsetzung des Digitalen Produktpasses in der EU. Dessen Anwendung auf die Produktgruppe der Sportboote, auf die Bedarfsgegenstände mit CFK und ggf. auch auf Luftsportgeräte ohne Zulassung werden mit dieser Studie angeregt.

6 Fazit

Die Studie beschreibt mehrere Instrumente, welche das Recycling von Sportbooten, Leichtflugzeugen und CFK-Bedarfsgegenständen fördern könnten. Damit geht die Studie weit über den Status quo hinaus, bei dem der Verbleib der betreffenden Abfälle oftmals ungeklärt ist. Vorrangige Notwendigkeit für die sorgfältige Aufbereitung von Altsportbooten, Altflugzeugen sowie CFK-Bedarfsgegenständen sind Abfallschlüssel gemäß des europäischen Abfallverzeichnisses. Ihre Einführung wird stark empfohlen. Sie erlauben einerseits die Ausweisung recyclingtechnischer Kompetenzen durch Entsorgungsfachbetriebe und andererseits die statistische Erfassung von Abfällen. Die Studie beinhaltet Vorschläge für geeignete Abfallschlüssel. Anschließend können Personalschulungen erfolgen sowie Demontageprotokolle und Verwertungstechniken fortentwickelt werden, wozu fundierte Grundlagen erarbeitet wurden.

Ohne Zweifel besteht eine Herausforderung in der Komplexität und dem hohen Individualisierungsgrad der Produkte. Aus diesem Grund wird weiterhin die Einführung eines Digitalen Produktpasses für Sportboote befürwortet. Die rechtliche Implementierung könnte in der EU-Sportbootrichtlinie erfolgen. Für zulassungspflichtige Leichtflugzeuge gibt es bereits ein zuverlässiges System der Informationsweitergabe. Auf diesem Gebiet bleiben, wie bei den Sportbooten, offene Demontage- und Verwertungsfragen sowie die Forderung nach einem Abfallschlüssel für Demontagebetriebe. Die Aufbereitung von Verbundwerkstoffen durch pyrolysebasierte Verfahren erfordert ebenfalls Abfallschlüssel für unterschiedliche FVK-Abfälle als Edukte und Faserabfälle als Produkte pyrolytischer Aufarbeitung. GFK und CFK sind dabei getrennt zu verwerten.

Auf dem Gebiet der Bedarfsgegenstände besteht die grundsätzliche Empfehlung in der nachhaltigen Nutzung, sprich der Pflege, Reparatur und Wiederverwendung, gleichzusetzen mit einer Abfallvermeidung. Abfälle hingegen sind in aller Regel Sperrmüllabfälle und ihre Sortierung ist erfahrungsgemäß begrenzt wirtschaftlich und nicht mit Blick auf die Positivsortierung von geringen Mengen an CFK-Bedarfsgegenständen. Gleichwohl ist das Standardverwertungsverfahren der Hausmüllverbrennung ungeeignet für die CFK-Verwertung, so dass bei steigenden Mengen von CFK-Produkten und ihren Abfällen eine getrennte Erfassung zweckmäßig wäre. Freiwillige Rücknahmesysteme könnten das Recycling gewährleisten.

7 Quellenverzeichnis

- Acervo Lima. (2022). *Antonov An-2*. <https://wiki.acervolima.com/antonov-an-2/>
- ADAC Skipper. (n.d.-a). *Bordbatterien über Winter lagern. So geht's richtig*. <https://skipper.adac.de/bordbatterien-ueber-winter-lagern-so-gehts-richtig/>
- ADAC Skipper. (n.d.-b). *Mindest- und Sicherheitsausrüstung*. <https://skipper.adac.de/ratgeber-service/mindest-und-sicherheitsausruestung/>
- Admin. (2021). *Quecksilberbarometer - Bedeutung, Erfinder, Prinzip, Funktionsweise, Vorteile und Verwendung*. <https://neverthoughtaboutthat.com/de/quecksilberbarometer-bedeutung-erfinder-prinzip-funktionsweise-vorteile-und-verwendung/>
- AERO Club der Schweiz. (n.d.). *Flugzeuginstandhaltung*. <https://www.segelflug.ch/dein-verband/flugzeugpruefungen/>
- Aeroclub Landau. (2022). *Wie man ein Segelflugzeug steuert*. <https://www.aeroclub-landau.de/fliegen-lernen/steuerung/>
- AeroImpulse. (2022). *EASA Part 145 – Instandhaltung in der Luftfahrttechnik*. <https://www.aeroimpulse.de/insights/easa-part-145-instandhaltungsbetriebe/>
- Aeroprakt Ltd. (2017). *Flug- und Betriebshandbuch für das Ultraleichtflugzeug A-22L2*. <https://www.aeroprakt.de/images/Manuals/A-22L2-Betriebshandbuch-D-MTAO-525-Schleppen.pdf>
- Albers, H., Germer, F., Spuziak-Salzenberg, D., Brinkmann, T., Spring, P., & Stührmann, T. (2021). *RecycleWind - Konzept eines Verwertungsnetzwerks für langlebige Produkte unter Berücksichtigung von Betreiber- und Herstellerverantwortung am Beispiel von Windenergieanlagen. Müll Und Abfall, 08, 420–430*.
- APER. (2019a). *APER - Association pour la Plaisance Eco-Responsable*. <https://www.recyclermonbateau.fr/>
- APER. (2019b). *End-of-life recreational boats dismantling in France*.
- APER & Composite Recycling. (2022). *RECYCLAGE DES COMPOSITES : L'APER ET COMPOSITE RECYCLING S'ENGAGENT DANS UN PARTENARIAT AMBITIEUX* Lundi. APER.
- Aquila Aviation International GmbH. (2014). *Maintenance Manual*. https://aquila-aviation.de/wp-content/uploads/2019/10/AMM_19_09_16_Rev32_TRs_incorporated.pdf
- Arcus Müsing. (2022). *30 Jahre Garantie*. <https://www.arcus-muesing.de/de/service-pflege.html>
- Atlantik Surf. (2013). *Das Surfbrett*. <https://atlantiks surf.com/de/das-surfbrett/>
- Ausschuss für Gefahrstoffe. (2017). *Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 402): Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition*.
- Austrian Aviation Museum. (2017). *Schleicher Ka-4, "Rhönlerche" II*. <http://www.austrian-aviation-museum.com/fluggeraete/statisch/ka-4-rhoenlerche/?msclkid=0497e1d9cf7d11ec803c4511d4e49309>
- AUTOCAD Magazin. (2018). *Konstruktion: Leichte und nachhaltige Surfbretter*. <https://www.autocad-magazin.de/konstruktion-leichte-und-nachhaltige-surfbretter/>
- AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe. (2014). *Handbuch Faserverbundkunststoffe / Composites* (4. Auflage). Springer Verlag.
- Baden-Württembergischer Luftfahrtverband e.V. (2014). *Instandhaltung und die Vorschriften der EASA*. <https://www.bwlv.de/technischer-betrieb/formulare/formulare-fuer-vereine/instandhaltung.html>

- Baden-Württembergischer Luftfahrtverband e.V. (2020). *Selbsterklärende Instandhaltungsprogramme (AMP)*. <https://www.bwlv.de/technischer-betrieb/formulare/instandhaltungsprogramme-ihp.html>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2021). *Abfallvermeidung für mehr Umweltschutz*. https://www.lfu.bayern.de/abfall/abfallvermeidung_umweltschutz/index.htm
- Beechcraft Aircraft Corporation. (2016). *Specification and Description. Baron G58*. <https://www.tadistributors.com/wp-content/uploads/2016/03/Baron-G58-Specification-Description-TH-2453-to-TBD-Revision-A.pdf#:~:text=The Baron G58 wing and fuselage are of,Steel and other materials are used as needed.>
- Bendix, D. P., Berg, D. H., Sebestyén, J., Ritthoff, M., Perschel, L., Eckert, D., Kocina, R., & Achenbach, D. H. (2021). *Förderung einer hochwertigen Verwertung von Kunststoffen aus Abbruchabfällen sowie der Stärkung des Rezyklateinsatzes in Bauprodukten im Sinne der europäischen Kunststoffstrategie*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.100%0A>
- Best boats 24. (n.d.). *Motoryacht und Motorboot*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www2.best-boats24.net/de/news/boote-news/details/831-motoryacht-und-motorboot-was-ist-der-unterschied/>
- BFU. (2022). *Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung BFU*. <https://www.bfu-web.de/>
- BMBF. (n.d.). *Hybridverfahren zur Herstellung von personalisierten und strukturell optimierten 3-D-Druck Orthesen vor Ort (3DPrint2Fiber)*. Retrieved November 10, 2021, from <https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/hybridverfahren-zur-herstellung-von-personalisierten-und-strukturell-optimierten-3-d-druck-8609.php>
- BMUV. (n.d.). *Lückenloser Lebenslauf*. <https://www.bmuv.de/digitalagenda/auf-einen-klick>
- BMUV. (2022a). *Umweltpolitische Digitalagenda: FAQ*. <https://www.bmuv.de/faqs/qa-umweltpolitische-digitalagenda>
- BMUV. (2022b). *Umweltpolitische Digitalagenda: Sprint-for-Green*. <https://www.bmuv.de/digitalagenda/produktpass/pkw-batterie>
- BMUV. (2022c). *Umweltpolitische Digitalagenda: Wieso, Weshalb, Warum*. <https://www.bmuv.de/digitalagenda/wieso-weshalb-warum>
- Boat 24. (n.d.-a). *Jetski*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/kleinboote/jetski/>
- Boat 24. (n.d.-b). *Jolle*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/segelboote/jolle/>
- Boat 24. (n.d.-c). *Kanu*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/kleinboote/kanu/>
- Boat 24. (n.d.-d). *Motoryacht*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/motorboote/motoryacht/>
- Boat 24. (n.d.-e). *Ruderboot*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/kleinboote/ruderboot/>
- Boat 24. (n.d.-f). *Segelyacht*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boat24.com/de/segelboote/segelyacht/>
- Boat DIGEST. (2015). *Boat dismantling training*. <https://slideplayer.com/slide/7284929/>
- Boat solutions. (n.d.). *Daycruiser oder Bowrider?* Retrieved May 4, 2022, from <https://www.boatsolutions.de/daycruiser-oder-bowrider/#:~:text=Was ist ein Daycruiser%3F,kleine Bugkabine und etwas Stauraum.>
- boats.com. (2022). *Segelboot: Typen, Definitionen und Begriffe*. <https://de.boats.com/am->

- wasser/segelboot-typen-definitionen-und-begriffe/
bolek. (2021). CFK im Sport. *Bolek Magazin*. <https://www.bolek-shop.de/magazin/cfk-im-sport/>
- Bolle, L. (2016). *Ein Ozeanzwerg voller genialer Ideen*.
https://www.yacht.de/regatta/alle_news/ein-ozeanzwerg-voller-genialer-ideen
- Boot.de. (n.d.). *Ruderboote: Klassen und Bauweisen*. Retrieved May 4, 2022, from
https://www.boot.de/de/boot.radar/Thema_Paddeln/Rudern/Ruderboote_-_Klassen_-_Bauweisen
- boote-magazin. (2020). *Bootsentsorgung - Abwracken*. <https://www.boote-magazin.de/bootsentsorgung-abwracken/>
- Boote.de. (2022). *Jolle*. <https://boote.de/kategorien/segelboote/segelboote-jolle/>
- Braitmeier, H. D. (2022). *Bio-Carbonfasern aus Lignin*. <https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/bio-carbonfasern-aus-lignin>
- Braun, T. (n.d.). *Wood and Canvas-Kanus von Thomas Braun*. Retrieved May 6, 2022, from
<https://www.thomas-braun-kanu.de/>
- Bundesamt der Justiz. (2001). *Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV) Anlage (zu § 2 Abs. 1) Abfallverzeichnis*.
<https://www.gesetze-im-internet.de/avv/anlage.html>
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. (2014). *Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2015). *Pressemitteilung 83/2015*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2013). *Wirtschaftsfaktor Wintersport*.
- Bundesregierung. (2020). *Recycling von Binnenschiffen - Drucksache 19/22284* (pp. 1–4).
Deutscher Bundestag 19. Wahlperiode.
<https://dserver.bundestag.de/btd/19/222/1922284.pdf>
- Bundesregierung. (2021). *Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP*.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf>
- businesswire. (2021). *PAN-based Carbon Fiber Segment is the Fastest-growing Segment with an Expected CAGR of over 7%: Technavio*.
<https://www.businesswire.com/news/home/20161214005060/en/PAN-based-Carbon-Fiber-Segment-Fastest-growing-Segment-Expected>
- Buster surfboards. (n.d.). *Auf der Suche nach dem perfekten Surfboard Blank*.
<https://www.buster-surfboards.com/bester-surfboard-blank/>
- Canoes, L. C. (n.d.). *Nachhaltigkeit in der Produktion*. Retrieved May 6, 2022, from
<https://www.lakeconstance.de/de/kanus-canadier/nachhaltigkeit>
- Carbon-Klang. (2019). *Carbon-Klang. Technische Details Streichinstrumente*.
https://www.carbon-klang.de/ck_strings_data_d.pdf
- Carbon-Solutions Hintsteiner GmbH. (2020). *Hintsteiner Carbon Solutions*. <https://www.carbon-solutions.at/portfolio-types/carbon/>
- Cessna Aircraft Company. (2014). *Cessna 208 Caravan Specifications*.
https://www.academia.edu/10427690/Cessna_208_Caravan_Specifications
- Clipart Library. (n.d.). *How To Draw A Jetski*. <http://clipart-library.com/clipart/6Tr5bAz6c.htm>
- Comco Ikarus GmbH. (2006). *Betriebshandbuch Ikarus Ultraleicht Flugzeug C 42*.
<https://www.flugschule-worms.de/images-flugschule->

- worms/flughandbuch/flughandbuch_c42.pdf
- Comco Ikarus GmbH. (2019). *Piloten Flug- und Betriebshandbuch C42 Serie*. <https://www.ul-flugschule-rendsburg.de/pdfs/BetriebshandbuchC42.pdf>
- Comco Ikarus GmbH. (2020). *Piloten Flug- und Betriebshandbuch IKARUS C42C / CS*. https://www.comco-ikarus.de/wp-content/uploads/2020/11/PFBH_LTF-UL-2019_C42C-CS_Ausgabe-1_Rev.2.pdf
- Composites United. (2020). *Faserverbundwerkstoffe im Sport*. <https://composites-united.com/branche/sport/>
- Composites World. (2008). *Market Outlook: Carbon fiber in sporting goods*. <https://www.compositesworld.com/articles/market-outlook-carbon-fiber-in-sporting-goods>
- coop bau + hobby. (n.d.). *Stand Up Paddling*. <https://www.bauundhobby.ch/ratgeber/hobby/sport/stand-up-paddling.html>
- Cordis. (2015). *Aircraft Metal Recycling*. <https://cordis.europa.eu/project/id/323402/reporting>
- Covestro. (2020). *Robust und elegant. Kohlefaser-Verbundwerkstoffe geben Koffern neuen Schwung*. <https://www.covestro.com/press/de/kohlefaser-verbundwerkstoffe-geben-koffern-neuen-schwung/>
- CPMR and MedWaves. (2022). *A Circular Blue Economy for the Mediterranean: Current practices and opportunities*.
- Dau, K., Stolte, A., Lichtenstein, U., Möllmann, N., Oberdörffer, P., Wegner, K., Werner, S., & Wichmann, W. (2020). *Empfehlungen zur Entsorgung von Fanggeräten aus der Fischerei - AG Seebasierte Einträge des Runden Tisches Meeresmüll Unterarbeitsgruppe „Netzentsorgung“* (Issue November). https://www.muell-im-meer.de/sites/default/files/2020-12/Empfehlungen-zur-Entsorgung-von-Fanggeraeten-aus-der-Fischerei_0.pdf
- DBSV. (2016). Viele Fragen zum Bootsrecycling. In *bootswirtschaft* (Vol. 02, pp. 7–8).
- Deutsche Emissionshandelsstelle. (2021). *Treibhausgasemissionen 2020 Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2020)*. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Deutsche Flagge. (2022). *Sportboote*. <https://www.deutsche-flagge.de/de/flagge/schiffsarten/sportboote#Definition>
- Deutsche Recycling Service GmbH. (2021). *Frankreich: Recyclingpflicht für Yachten, Boote und Co*. <https://deutsche-recycling.de/blog/frankreich-recyclingpflicht-fuer-yachten-boote-und-co/>
- Deutscher Aero Club. (2020). *Geschäftsbericht 2020*.
- Deutscher Golfverband. (2021a). *Grundwissen für Golfentdecker*.
- Deutscher Golfverband. (2021b). *Jahresbericht 2020 des Deutschen Golf Verbandes*.
- Deutsches Musikinformationszentrum. (2021). *Amateurmusizieren in Deutschland*. http://miz.org/static_de/musikleben_in_zahlen/2021_03_miz_Amateurmusizieren_in_Deutschland.pdf
- DG Flugzeugbau GmbH. (2004). *Wartungshandbuch für das Segelflugzeug DG-1000S*. <https://segelflug-hofgeismar.de/wp-content/uploads/2017/12/DG1000sWartungshandbuch.pdf>
- Diamant Redaktion. (2021). *Kulturfaser: Darum eignet sich Carbon so gut für Fahrräder*. <https://www.diamantrad.com/blog/informationen-carbon-fahrrad/>

- Diamond Aircraft Industries GmbH. (2016). *Wartungshandbuch für die Motorsegler HK 36 Serie*.
<https://docplayer.org/77501436-Wartungshandbuch-fuer-die-motorsegler-hk-36-serie.html>
- Diamond Aircraft Industries Inc. (2005). *Airplane Flight Manual DA 42*. http://support.diamond-air.at/fileadmin/uploads/files/after_sales_support/DA42_Twin_Star/Airplane_Flight_Manual/Basic_Manual/70105e-Rev9-complete.pdf
- Diamond Aircraft Industries Inc. (2012). *Aircraft Maintenance Manual DA42 L360*.
http://support.diamond-air.at/fileadmin/uploads/Canada/Tech_Pubs_DA42-L360/AMM/D42L-AMM-001-Rev-5.pdf
- Digital Europe. (n.d.). *Digital Product Passport*. <https://www.digitaleurope.org/digital-product-passport/>
- Dörnfeld, P., & Zelner, D. (2016). *Die wirtschaftlichen Potenziale des Wassertourismus in Deutschland*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Tourismus/potenziale-des-wassertourismus-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=12
- Duden. (n.d.). *Surfbrett, das*. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Surfbrett>
- e-Surfer. (n.d.). *Elektro Jetski, E-Wassermotorrad und eJet*. <https://e-surfer.com/de/category/elektro-jetski/>
- EASA. (2022). *Type Certificate Data Sheets*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/type-certificates>
- EBA. (2020). *EBA Position Statement End of Life Boats*. October.
- Eberhart, B., & Lochringer, C. (2015). Anatomie des Skis. *Die Zeit*, 10, 35.
<https://www.zeit.de/wissen/2015-03/skifahren-skier-kaufen-modelle.pdf>
- EBI. (2020). *Circular Economy*. <https://europeanboatingindustry.eu/eu-affairs/eu-issues/end-of-use-boats>
- Ecotec. (2022). *Bootsreparaturen*. <https://bootsservice-ecotec.ch/index.php/reparaturersatzteile/bootsreparaturen>
- Edney, L. (2018). *Swedish Boat Scrapping Scheme*. <https://www.boatbreakers.com/swedish-boat-scrapping-scheme/>
- Eickenbusch, H., & Krauss, O. (2013). Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe im Fahrzeugbau – Ressourceneffizienz und Technologien. In *VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 3* (Issue 3). http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-03-VDI-ZRE-CFK.pdf
- Eklund, B., Haaksi, H., Syversen, F., & Eisted, R. (2013). *Disposal of plastic end-of-life-boats*.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:741961/FULLTEXT01.pdf%0A>
- Elsayed, A., Roetger, T., & Bann, A. (2019). Best Practices and Standards in Aircraft End-of-Life and Recycling. *Environmental Report*, 279–284.
- EuroCommerce & GS1. (2022). *EuroCommerce and GS1 in Europe for an open, inclusive and decentralised EU Digital product passport*. <https://www.gs1.eu/news/eurocommerce-and-gs1-in-europe-together-on-eu-product-passport>
- Europäische Kommission. (n.d.). *Process for Advanced Management of End of Life of Aircraft*.
<https://trimis.ec.europa.eu/project/process-advanced-management-end-life-aircraft#tab-partners>
- Europäische Kommission. (2017). *Commission Staff Working Document on Nautical tourism*.

- <https://doi.org/10.2495/RAV110541>
- Europäische Kommission. (2019). *Der europäische Grüne Deal*.
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_de.pdf
- Europäische Kommission. (2020). *Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft*.
- Europäische Kommission. (2021). *Management, recycling and recovery of wastes of recreational boat scrapping*.
https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3455
- Europäische Kommission. (2022a). *Der Grüne Deal: Neue Vorschläge, um nachhaltige Produkte zur Norm zu machen und Europas Ressourcenunabhängigkeit zu stärken*.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_2013
- Europäische Kommission. (2022b). *Eine europäische Datenstrategie*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/strategy-data>
- Europäische Kommission. (2022c). *Nachhaltige Produkte zur Norm machen*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0140&qid=1649112555090>
- Europäische Kommission. (2022d). *Strategische Vorausschau 2022 - Verzahnung des grünen und des digitalen Wandels im neuen geopolitischen Kontext*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0289&from=EN>
- Europäische Kommission. (2022e). *Vorschlag für eine Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Öko-Design-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG - 2022/0095*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0142R\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0142R(01)&from=EN)
- Europäische Union. (2022). *Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (EASA)*.
https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/easa_de
- European Boating Industry. (2023). *A roadmap on the implementation of the circular economy for end-of-life recreational boats*.
- Fowler, J., Fresen, H., van der Have, G.-J., Kumar, A., Magilligan, P., Perry, J., Seth, R., & van Bree, V. (2012). Sky-high potential for aircraft recycling. *Recycling International*, 2.
- Freyortho. (n.d.). *FREY Orthopädiebedarf AG*. Retrieved January 19, 2022, from <https://www.freyortho.ch/wp-content/uploads/2017/07/Fussheberorthesen-Übersicht.pdf>
- Fritsch, M. (2011). Specialized startet ehrgeiziges Projekt zum Carbon-Recycling. *Velobiz.De*.
<https://www.velobiz.de/news/specialized-startet-ehrgeiziges-projekt-zum-carbon-recycling-veloQXJ0aWNsZS83NTc5biz>
- Fründt, S. (2016). Fatale Flotte. *Welt Am Sonntag*.
<https://www.welt.de/print/wams/wirtschaft/article152460959/Fatale-Flotte.html>
- G&M Orthopädie-Technik Oberursel GmbH. (n.d.). *Beinorthetik*. Retrieved November 10, 2021, from <http://www.gm-ortho.de/orthetik/beinorthese/>
- Gatz. (2019). *Produktkatalog*. https://secure.kanu-gatz.de/downloads/128/GATZ_Katalog2019_kompri.pdf
- Gebo Marine Glazing B.V. (2022). *Structural Glazing*.
<https://www.gebo.com/en/producten/gebo-structural-glazing/>
- Gebrauchtbootmarkt. (2022). *Inzahlungnahme*.

- <https://www.gebrauchtbootmarkt.de/inzahlungnahme.html>
- Glaser-Dirks Flugzeugbau GmbH. (1982). *Fligh Manual for the motorglider DG 400*.
<https://data2.manualslib.com/pdf5/101/10009/1000834-glaserdirks/dg400.pdf?30b9eaa13708c1519d545adc4e44906b>
- Glaser-Dirks Flugzeugbau GmbH. (1991). *Flughandbuch für den Motorsegler DG 600M*.
https://ic.captainchristian.fr/wp-content/uploads/2020/09/DG-600-18M_FH.pdf
- Göbner, V. (2019). *Das wird auf uns zukommen*. SegelReporter.
<https://segelreporter.com/regatta/recycling-wohin-mit-alten-gfk-booten-in-frankreich-muessen-30-000-zum-abwracker/>
- Golf24.de. (n.d.). *Golfschlägerberatung*. <https://www.golf24.de/Golfschlaegerberatung>
- Golfschläger kaufen. (2009). *Golfschläger Schäfte*. <https://www.golfschlaegerberatung.de/golfschlaeger-schaft.html>
- Grob Werke GmbH & Co. KG. (1980). *Flughandbuch TWIN-ASTIR*.
https://www.segelflug.de/vereine/schorndorf/PDF-Dateien/9.0_twin_handbuch_normalflug.pdf
- Harry, W. (2012). *Fahrradproduktion in Chemnitz*. Nach Wikipedia. <https://www.tu-chemnitz.de/seniorenkolleg/mtn/fahrradreport.html>
- Hartzell Propeller Inc. (2021). *Propeller Owner 's Manual and Logbook*.
<https://hartzellprop.com/MANUALS/167-0000-A.pdf>
- Hatteras Yachts. (2004). *Owner's Manual - Black Jack*.
<https://www.ncccha.org/pdf/blackjack/blackjackownersmanual.pdf>
- Hawranek, C. (2010). Ski-Recycling: Sinnvoll, aber wenig rentabel. *Recycling Magazin*.
<https://www.recyclingmagazin.de/2010/01/28/ski-recycling-sinnvoll-aber-wenig-rentabel/>
- HELCOM. (2018). *Swedish funding for recycling of recreational boats*.
- Hinsch, M. (2019). *Industrielles Luftfahrtmanagement. Technik und Organisation luftfahrttechnischer Betriebe* (4. Auflage). Springer Vieweg.
- Hofmann, A., Franke, M., Betsch, F., Rieger, T., Seiler, E., & Mäurer, A. (2021). *Recyclingtechnologien für Kunststoffe - Positionspapier, Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE (Hrsg.)* (Issue September).
- Horn, H. (1951). *Brennschneiden - Autogenes und elektrisches Schneiden*.
- HS Marine Propulsion. (2021). *Understanding How a Boat's Propeller Works*.
<https://www.hsmarineprops.com/blog/2020/12/3/understanding-how-a-boats-propeller-works>
- ICOMIA. (2018). *Recreational Boating Industry Statistics 2017*. 472. www.icomia.org
- Informations-Portal-Abfallbewertung. (2011). *1304 Bilgenöle*.
https://www.abfallbewertung.org/ipa/reppen.php?report=ipa&char_id=1304_Bilge&lang_id=de&avv=&synon=&kapitel=2>active=no
- Informations-Portal-Abfallbewertung. (2020). *Schadstoffe und gefährliche Eigenschaften*.
https://www.abfallbewertung.org/ipa/reppen.php?report=ipa&char_id=1601_Auto&lang_id=de&avv=&synon=&kapitel=3>active=no
- Institut für Wirtschaft und Umwelt e.V. (2020). *Das neue Altfahrzeuggesetz – Die Hoffnung der Recycler stirbt zuletzt*. <https://iwu-ev.de/das-neue-altfahrzeuggesetz-hoffnung-der-recycler-stirbt-zuletzt/>

- International EPD® System. (2016). *Bombardier C Series CS100 Aircraft*.
<https://environdec.com/library/epd921>
- International EPD® System. (2017). *Bombardier C Series CS300 Aircraft*.
<https://www.environdec.com/library/epd922>
- International Maritime Organization. (2019). *End-Of-Life Management of Fibre Reinforced Plastic Vessels: Alternatives to At Sea Disposal*.
[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/newandemergingissues/Documents/Fibre Reinforced Plastics final report.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/newandemergingissues/Documents/Fibre%20Reinforced%20Plastics%20final%20report.pdf)
- Interreg France-Wallonie-Vlaanderen. (2020). *Recyclage de matériaux composites : approche transfrontalière vers une économie circulaire*.
- ISO. (2019). *Prosthetics and orthotics — Vocabulary — Part 1: General terms for external limb prostheses and external orthoses*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8549:-1:dis:ed-2:v1:en>
- Jansen, M., Gerstenberger, B., Bitter-Krahe, J., Berg, H., Sebestyén, J., & Schneider, J. (2022). Current approaches to the digital product passport for a circular economy: An overview of projects and initiatives. *Wuppertal Papers*, 198.
<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/8042>
- Jeanvré, S. (2012). Flugzeug-Recycling - Neue Ansätze zur Rohstoffrückgewinnung. *Recycling Und Rohstoffe – Band 5*, 457–469.
- Jeanvré, S. (2015). *Entwicklung eines Verwertungssystems für Altflugzeuge mit Schwerpunkt auf der Schadstoffentfrachtung und dem dezentralen Rückbau*. Technische Universität Clausthal.
- Kaiser, O. S., Krauss, O., Seitz, H., & Kirmes, S. (2016). *Kurzanalyse Nr. 17: Ressourceneffizienz im Leichtbau*. 17. www.ressource-deutschland.de
- Kanulager. (2022). *Kanulager*. <https://www.kanulager.de/material.html>
- Kanuten.com. (n.d.). *Faszination Kanufahren*. Retrieved May 6, 2022, from <https://www.kanuten.com/alles-über-kanus/kanutypen-und-formen/materialtypen/>
- Karle Recycling. (n.d.). *Elektroschrott / Produktionsabfälle*.
<https://www.karlerecycling.de/suedrec-elektroschrott-produktionsabfaelle/>
- Karlsruher Rheinklub Alemannia. (n.d.). *Material*. Retrieved May 4, 2022, from <https://www.rheinklub-alemannia.de/material/>
- Kassera, W. (2016a). *Flug ohne Motor. Das Lehrbuch für Segelflieger* (22. Auflage). Motorbuch Verlag.
- Kassera, W. (2016b). *Motorflug Kompakt. Das Grundwissen zur Privatpilotenlizenz*. (7. Auflage). Motorbuch Verlag.
- KIELERleben. (2021). *Deutschlands erste E-Tretboote auf der Kieler Förde*.
<https://www.kielerleben.de/news/deutschlands-erste-e-tretboote-kieler-foerde-10025440.html#>
- Kreis Plön. (n.d.). *Abfall ABC*. <https://www.kreis-ploen.de/Bürgerservice/Schnellgefunden/Abfallwirtschaft/index.php?La=1&object=tx,2158.429.1&kat=&kuo=2&sub=0>
- Kühne, C., Stampf, D., Holz, P., Baumann, W., Mülhopt, S., Wexler, M., Hauser, M., Kalkreuth, J., Mahl, J., Zeller, M., Volk, R., Stallkamp, C., Steffl, S., Schultmann, F., Schweppe, R., Pico, D., Seiler, E., Forberger, J., Brantsch, P., ... Beckmann, M. (2022). *Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter*.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_92-2022_entwicklung_von_rueckbau-_und_recyclingstandards_fuer_rotorblaetter_0.pdf

- LAGA. (2019). *Entsorgung faserhaltiger Abfälle*.
- Lakeberg GmbH. (2020). *eMobility auf dem Wasser - Elektro-Surfbretter, Jetboards und eFoils erobern Seen und Flüsse*. Pressebox. <https://www.pressebox.de/inaktiv/lakeberg-gmbh/eMobility-auf-dem-Wasser-Elektro-Surfbretter-Jetboards-und-eFoils-erobern-Seen-und-Fluesse/boxid/1037151>
- Landeshauptstadt München. (n.d.). *Das Baureferat schafft Platz - Entfernung von Fahrrädern*. <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/strassenreinigung/schrottraeder.html>
- Janfermann, C. (2018). *Die Entwicklung der Golfschläger von den Anfängen bis zur heutigen Zeit und Golfusrüstung allgemein*. <https://fairwaykids.de/2018/02/12/die-entwicklung-der-golfschlaeger-von-den-anfaengen-bis-zur-heutigen-zeit-und-golfausruestung-allgemein/>
- Lange Aviation. (2022). *Lange Aviation - Antares 21E*. <https://www.lange-aviation.com/en/produkte/antares-21e/>
- Lange, S., & Santarius, T. (2022). *Digital Reset – Redirecting Technologies for the Deep Sustainability Transformation*. https://digitalization-for-sustainability.com/wp-content/uploads/D4S_DigitalReset_Web.pdf
- Leichtbauwelt. (2021). *Carbonfaser-Recycling: Aus Flugzeug wird Fahrrad*. <https://www.leichtbauwelt.de/carbonfaser-recycling-aus-flugzeug-wird-fahrrad/>
- LEKI. (n.d.). *Recycled in Europa*. <https://www.leki.com/de/nachhaltigkeit/recycled-in-europa/>
- Lell, O., Muster, V., Thorun, C., & Gossen, M. (2020). *Förderung des nachhaltigen Konsums durch digitale Produktinformationen: Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen Teilbericht*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_17_texte_212_2020_digitalisierung_nachhaltiger_konsum_wirtschaftskonsum.pdf
- Leviathan. (2022). *Leviathan Website*. <https://www.leviathan-technologies.de/solution/>
- LfU. (2018). *Künstliche Mineralfasern*.
- Load up. (2021). *Swing into affordable golf club recycling and disposal*. <https://goloadup.com/what-we-take/sports-equipment/golf-club-removal/>
- Loibner, D. (2009). *Recycling-Mini*. https://www.yacht.de/yachten_jollen/neue_boote/recycling-mini
- Loibner, D. (2011). *Vom AC auf die Halde, scheinchenweise*. <https://www.yacht.de/aktuell/panorama/vom-ac-auf-die-halde-scheinchenweise>
- Loibner, D. (2016). *Segelboot: Typen, Definitionen und Begriffe*. Boats.Com. <https://de.boats.com/am-wasser/segelboot-typen-definitionen-und-begriffe/>
- ltb nord. (n.d.). *Piloten/Halter – Instandhaltungsarbeiten an Segelflugzeugen gemäß Part M Anlage VIII: Eingeschränkte Instandhaltung durch den Piloten/Halter*. http://www.ltb-nord.de/images/Piloten_Owner_Instandhaltung_Segelflugzeuge.pdf
- Lucintel. (2020). *Opportunities in the Sports Composites Market: Growth Trends, Forecast and Competitive Analysis*. <https://www.lucintel.com/sports-composite-goods-market.aspx>
- Luftfahrt-Bundesamt. (2005). *Wichtige Informationen aus dem Referat Verkehrszulassung*.
- Luftfahrt-Bundesamt. (2020). *Merkblatt zum Thema Teile zweifelhafter Herkunft (SUP - Suspected Unapproved Parts). 1321, 1–10*.
- Luftfahrt-Bundesamt. (2021). *Anzahl der in Deutschland zum Verkehr zugelassenen Luftfahrzeuge*. <https://www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/SBI/SBI3/Statistiken/Technik/Verkehrszulassung.html>

- Luftfahrt-Bundesamt. (2022a). *Aufgaben*.
https://www.lba.de/DE/LBA/Aufgabe/Aufgaben_node.html
- Luftfahrt-Bundesamt. (2022b). *Herstellungsbetriebe*.
https://www.lba.de/DE/Technik/Herstellungsbetriebe/Herstellungsbetriebe_node.html
- Luftfahrt-Bundesamt. (2022c). *Übersicht der anerkannten technischen Betriebe im Zuständigkeitsbereich des LBA*. <https://www2.lba.de/tb/>
- Luftfahrt-Bundesamt. (2022d). *Verkehrszulassung*.
https://www.lba.de/DE/Technik/Verkehrszulassung/FAQ/FAQ_node.html
- Luftsport Service-Center Ost GmbH. (2015). *Instandhaltungsprogramm (IHP) für das Segelflugzeug. LFZ-Kennzeichen: D-1234*. <https://docplayer.org/18762738-Instandhaltungsprogramm-ihp-fuer-das-segelflugzeug-lfz-kennzeichen-d-1234.html>
- Manova. (2016). *Marktanalyse alpine Wintersportler*.
- Markenkoffer.de GmbH. (2021). *Markenkoffer*. <https://www.markenkoffer.de/koffer-trolleys/>
- Martens, H., & Goldmann, D. (2016). *Recyclingtechnik - Fachbuch für Lehre und Praxis*.
- Martin Waligorski. (2022). *Antonov An-2 Colt in Detail. Wings ans undercarriage*.
https://www.ipmsstockholm.org/magazine/2003/10/stuff_eng_detail_an2_02.htm#:~:text=Unlike the overall feeling of the aircraft%2C construction,Another monocoque triangular strut supports the horizontal tailplane.
- Mell, W.-D. (2008). *Strukturen im Bootsmarkt* (Issue 1).
- Mell, W.-D. (2016). *Strukturen im Bootsmarkt update 2016* (Issue 7).
- Mensen, H. (2013). *Handbuch der Luftfahrt*. Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34402-2>
- Mezzo Forte. (2021). *Mezzo-Forte Carboninstrumente Made in Germany*. <https://www.mezzo-forte.de/de/>
- Monsó, M. V. (2012a). *BOATCYCLE: Diagnosis , state of the art of boat and boat scrapping*.
https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=BOATCYCLE_Diagnosis.pdf
- Monsó, M. V. (2012b). *Guide on good environmental practices and ecodesign for recreational nautical sector*.
- Morseletto, P. (2020). *Targets for a circular economy*.
- motorart. (2022). *Featured Products*. <https://www.motoart.com/>
- Motorbootonline.de. (2021). *Erster Fachbetrieb für die Entsorgung von Altbooten*.
- MT-Propeller. (2022). *MT-Propeller Natural Composite Technology*. https://mt-propeller.com/en/entw/pro_blades.htm
- MTD-Verlag GmbH. (2019). *(MTD 2/2019) Orthesen in Apotheken und Kliniken*.
<https://www.mtd.de/welt-der-medizinprodukte/marktzahlen/1090-mtd-2-2019-orthesen-in-apotheken-und-kliniken#:~:text=Im Zeitraum Juli 2017 bis,über 80.000 mehr als verdoppelt.>
- Nautic Expo. (2022). *Boat decking*. <https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/boat-decking-16926.html>
- New Wire Marine. (2022). *Switch Panel Material Options*. <https://newwiremarine.com/panel-material-options/>
- Norwegische Umweltagentur. (2021). *Vrakpant på fritidsbåt - levering av båtvrak (Wrackabgabe*

- auf Freizeitboot).
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/vrakpant/vrakpant-pa-bat/>
- Orthotop. (2021). *Knie-Knöchel-Fuss Orthesen*.
<http://www.orthotop.ch/produkte/orthetik/bein-orthesen/ganzbeinorthese-kafo/>
- Össur Deutschland GmbH. (2021). *Össur*. <https://www.ossur.com/de-de/prothetik>
- Otto Bock GmbH. (2021). *Laufprothesen für Freizeitsportler und Profilaufer*.
<https://www.ottobock.de/prothesen/beinprothesen/sportprothesen/laufprothese/>
- Paganino. (2022). *Saiteninstrumente – Streichinstrumente*. <https://www.paganino.de/saiten-news/>
- palstek. (2021). *Inhaltsverzeichnis palstek*. <https://palstek.de/wp-content/uploads/2022/01/Jahresinhaltsverzeichnis.pdf>
- Paradise, G. (2020). *Stahl- oder Graphitschaft - was passt zu meinem Schwung?*
<https://golfersparadise.ch/blog/Stahl-oder-Graphitschaft-was-passt-zu-meinem-Schwung/>
- PaterMcFly. (2022). *Moderner Yachtbau*.
https://de.wikipedia.org/wiki/Moderner_Yachtbau#Bau
- Pawlik, V. (2022). *Anzahl der Personen in Deutschland, die in der Freizeit surfen, nach Häufigkeit von 2018 bis 2022*.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171153/umfrage/haeufigkeit-von-surfen-in-der-freizeit/>
- Pehlken, A., Albers, H., & Germer, F. (2017). Rotorblätter aus Windkraftanlagen. *Recycling Und Rohstoffe - Band 10, 10, 247–260*.
- Pfitzner, R., & Wilken, T. (2003). *Umweltschutz in der Sportartikelbranche*.
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2220.pdf>
- Piedmont Plastics. (2022). *Boat Hatches*. <https://www.piedmontplastics.com/contact/>
- Pilatus Aircraft Ltd. (2015). *Pc-12 Series Airplane Master Maintenance And Operating Procedures Manual (MMOP)*. https://www.pilatus-aircraft.com/data/tech_pub/622b48f1afcf087474874.pdf
- Pilatus Aircraft Ltd. (2020). *Pilot 's Information Manual PC-12 / 47E MSN 2001 and up*.
<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=67e642184e6296a9cd73ca331ba550b628d56edce908ec49ff20e5af64f4edb3JmltdHM9MTY1NDU4NTMzNCZpZ3VpZD00NWExMzIzMC1kMzcyLTQyMTItYWFiNi0yNTRlOTg5YmQ1NzcmaW5zaWQ9NTE2Mg&ptn=3&fclid=c21fea36-e62f-11ec-837d-88335ece9cff&u=a1aHR0cHM6Ly9z>
- Piper Aircraft Corp. (1995). *Flughandbuch Piper PA-28-161*. http://lfv-mainz.com/entwicklung/upload/schule/Downloads/Flughandbuch_PA28_D-ETIK.pdf
- Potrykus, A., Zotz, F., Aigner, J. F., Weißenbacher, J., Burgstaller, M., Abraham, V., Merzoug, L., Thome, V., Dittrich, S., & Leiss, N. (2019). *Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Entsorgungskosten im Bereich der zur verursachergerechten Zuordnung von Verwendung recycelbarer Materialien und Bauprodukte*.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_texte_05-2021_bauprodukte_recycling.pdf
- Power Sports Guide. (2022). *How Long do Jet Skis Last? [Average Jet Ski Engine Hours]*.
<https://powersportsguide.com/how-long-do-jet-skis-last/>
- premiumropes.com. (n.d.). *Rope Materials*. <https://www.premiumropes.com/rope-advice/rope->

materials

- Pro Idee. (n.d.). *Taschen und Koffer*. Retrieved November 9, 2021, from <https://www.proidee.de/concept-store/reise-reiseaccessoires/taschen-koffer>
- Protheseus GmbH. (n.d.). *Fuss Übersicht*. Retrieved January 19, 2022, from <https://www.protheseus.de/Kataloge/ProtheseusKatalogCollegeParkFuesse8.2017.pdf>
- PxHere. (2017a). *Photo 1022088*. <https://pxhere.com/en/photo/1022088>
- PxHere. (2017b). *Photo 1085746*. <https://pxhere.com/de/photo/1085746>
- PxHere. (2017c). *Photo 879355*. <https://pxhere.com/en/photo/879355>
- Quicker, P., & Stockscläder, J. (2021). *Möglichkeiten und Grenzen der Entsorgung carbonfaserverstärkter Kunststoffabfälle in thermischen Prozessen*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2019_04_10_uba_hg_biogasanlagen_bf_300dpi.pdf%0A
- Rat der Europäischen Union. (2016). *Instandhaltungsprogramm (IHP) für ein nicht gewerblich betriebenes ELA-1 Segelflugzeug*. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.segelflug.de%2FIHP%2FASK13%2Fihp_ask13.docx&wdOrigin=BROWSELINK
- RC-Network Wiki. (2010). *ASK 18 von Roke*. https://wiki.rc-network.de/wiki/ASK_18_von_Roke
- ReBoat. (2022). *ReBoat website*. <https://re-boat.de/>
- Redaktion Naturschutz. (2021). *Wiederverwenden statt verbrennen? Wann Ski-Recycling Sinn macht*. <https://naturschutz.ch/hintergrund/meinung/wiederverwenden-statt-verbrennen-wann-ski-recycling-sinn-macht/155131>
- Reich, G. (2016). *Motorboot-Ausdrücke: Typen, Einsatzformen und Definitionen*. Boats. <https://de.boats.com/am-wasser/motorboot-ausdruecke-typen-einsatzformen-und-definitionen/>
- Reims Aviation - S.A. (1978). *Flughandbuch Reims/Cessna F 152*. https://www.orphal-online.de/wp-content/uploads/2017/09/flughandbuch_eabp_1_2.pdf
- ReMidt. (n.d.). *Rückgabe für Freizeitboote*. <https://www.remidt.no/de/returordning-for-fritidsbater/#!/main>
- Reporteur, S. (n.d.). *Schadensanalyse vor dem Reparieren des GFK Rumpf*. <https://www.hausjournal.net/gfk-rumpf-reparieren>
- Rhein Trainer UG. (2022). *Motoryacht Vissers MK 1250*. <https://rheintrainer.de/motoryacht-vissers-mk-1250/>
- Ribeiro, J. S., & De Oliveira Gomes, J. (2015). Proposed framework for end-of-life aircraft recycling. *Procedia CIRP*, 26, 311–316. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.048>
- Ricardou, P. F.-X. (2018). *Wartungsheft für die Wartung Ihres Bootes*. <https://www.boote.com/artikel/24789/wartungsheft-fur-die-wartung-ihres-bootes>
- Ricardou, P. F.-X. (2022). *10 Schritte zu einem erfolgreichen Refit*. <https://www.boote.com/artikel/20700/10-schritte-zu-einer-erfolgreichen-verkleidung>
- Rinck, M. (2019). *Nachhaltiger Bootsbaus: Naturfaser statt Glas*. <https://www.yacht.de/heft/nachhaltiger-bootsbau-naturfaser-statt-glas>
- Rosenmaier, A. (2020). *Auf "Hoher See" mit Composite Materials*. <https://www.hintsteiner-group.com/blog/carbon-composite-bootsbau>
- Roth International. (n.d.). *Schneiden von CFK / GFK*. <https://www.roth-international.de/schneiden/cfk-gfk-schneiden/>

- Rotzoll, M. (2020). *Leki führt Recyclingkonzept ein*. SportFACHHANDEL. <https://www.sportfachhandel.com/de,de/hersteller/outdoor/leki-fuehrt-recyclingkonzept-ein,article00012207.html>
- Safesuitcases.com. (2021). *Real Carbon Fiber Luggage*. <https://www.safesuitcases.com/carbon-fiber-luggage.asp>
- Sailing Suria. (2019). *Mastlegen ohne Kran...geht das wirklich?* https://www.youtube.com/watch?v=_eLORPnCQHk
- Sailrite Enterprises Inc. (2022). *The Best Fabric, Foam & Zippers for Marine Interior Cushions*. <https://www.sailrite.com/boat-cabin-cushion-fabric-foam-zippers>
- Sauer, M. (2019). *Composites-Marktbericht 2019. veröffentlichte Kurzfassung*.
- Savolainen, J. I. (2009). *Master Thesis: End of life boat recycling in Finland*. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/97189>
- Schempp-Hirth Flugzeugbau GbmH. (2007). *WARTUNGSHANDBUCH für den Motorsegler*. http://www.luftsportverein-dinslaken.de/Download/32_WHB_Duo-xLT_Kopiervorlage_Werk-Nr.-319_2020-12-23.pdf
- Schlesinger, M. E. (2013). *Aluminium Recycling*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b16192>
- Schneider, E. (2014). *Geparden-Beine aus Karbon*. <https://www.anthropofakte.de/essays/geparden-beine-aus-karbon>
- Schneider, M. (2021). *Reihenfolge der Lagen bei GFK-Reparaturen: gross oder klein zuerst?* <https://www.marietim.ch/2021/03/27/reihenfolge-der-lagen-bei-gfk-reparaturen-gross-vs-klein/>
- Schreinerei & Kanubau Stefan Krauß. (n.d.). *Schreinerei & Kanubau Stefan Krauß*. Retrieved May 6, 2022, from <https://www.kanubaukrauss.de/component/virtuemart/kanubaumaterial.html>
- Schubert, H. (2008). *Handbuch der mechanischen Verfahrenstechnik* (1. Auflage).
- Schwalbe. (2021). *Unsere Schläuche*. <https://www.schwalbe.com/recycling/>
- Schweiztipps.ch. (n.d.). *SUP Board kaufen – 10 Tipps zum perfekten Standup Paddle*. <https://www.schweiztipps.ch/sup-board-kaufen-tipps-zum-perfekten-standup-paddle/4123/>
- SECUMAR. (n.d.). *Wie kann ich meine alte Rettungsweste entsorgen?* <https://www.secumar.com/faq/wie-kann-ich-meine-alte-rettungsweste-entsorgen/>
- segelflug.de. (2012). *Instandhaltungsprogramm (IHP)*. <https://www.yumpu.com/de/document/read/26204080/instandhaltungsprogramm-ihp-segelflugde>
- SGI Aviation, & IATA. (2018). *Aircraft Decommissioning Study Final report*. May.
- SGL Carbon GmbH. (2020). *Healthcare Enabler. Unsere CFK-Strukturbauteile und Lösungen für die Medizintechnik*. <https://www.medica.de/vis-content/event-medcom2020.COMPAMED/exh-medcom2020.2670504/COMPAMED-2020-SGL-CARBON-GmbH-Product-medcom2020.2670504-oNPg7HASSNC6wOuIMDQLtQ.pdf>
- Siles, C. (2011). *Aide à la décision pour la gestion d'un parc d'avions en fin de vie* [École Polytechnique de Montréal]. <https://publications.polymtl.ca/537/>
- SkyART. (n.d.). *SkyART*. <https://www.skyart.com/>
- Stadtreinigung Hamburg. (n.d.). *Fahrradschrott - Wir gehen den Leichen an die Speichen*.

- <https://www.stadtreinigung.hamburg/privatkunden/strassenundwege/Fahrradschrott/index.html>
- Statista Research Department. (2022). *Anzahl der privaten Ruderboote und Pedalos in der Schweiz nach Kantonen im Jahr 2018*.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/494457/umfrage/private-ruderboote-und-pedalos-in-der-schweiz-nach-kantonen/>
- Stemme AG. (1998). *WARTUNGSHANDBUCH Motorsegler STEMME S10-VT*.
http://assets.stemme.de/service/S10/deutsch/Handbuecher/Wartungshandbuecher/S10-VT/WartungshandbuchS10VT_B21_komplett.pdf
- Stenftenagel, K. (2018). Surfboards aus Karlsruhe: Die Bretter, die auf Wellen gleiten - aus Holz und handgefertigt. *Badische Neueste Nachrichten*. <https://bnn.de/karlsruhe/karlsruhe-stadt/surfen-surfboard-jonas-buchholz-karlsruhe-wellen>
- Stieß, M. (1997). *Mechanische Verfahrenstechnik Band 2*.
- SUP Board kaufen. (2022). *Wie lange halten aufblasbare SUP Boards?*
<https://supboardkaufen.de/wie-lange-halten-aufblasbare-sup-boards/>
- SVB. (2022). *Welcher Anker ist der richtige für mein Boot?*
<https://www.svb.de/de/ratgeber/welcher-anker-ist-der-richtige-fuer-mein-boot.html>
- Swiss Luggage SL. (2022). *Swiss Luggage SL*. <https://swiss-luggage.ch/de/company>
- Synboater. (n.d.). *What is the best material for boat deck*. <https://synboatek.com/blog/what-is-the-best-material-for-boat-deck.html>
- Taschenagentur Kramer. (2022). *Alte Segel entsorgen und dabei Geld verdienen*.
<https://www.alte-segel.de/entsorgen.php>
- tasko Products GmbH. (n.d.). *Koffer.com*. Retrieved November 9, 2021, from
<https://www.koffer.com/>
- TCE Engineering. (n.d.). *Willkommen bei TCE ENGINEERING*. <https://www.tce-engineering.de/>
- TCE Engineering. (2022). *Das Material*. <https://www.tce-engineering.de/material.html>
- tec4U Ingenieurgesellschaft mbH. (2002). *Beschreibung des Standes der Technik bei der Vorbehandlung, insbesondere der Trockenlegung von Alautos gemäß AltautoV* (Issue September).
- Tecknomonster. (n.d.). *Tecknomonster*. Retrieved November 9, 2021, from
<https://tecknomonster.com/>
- Teschner, R. (2019). Glasfasern. In *Glasfasern* (2. Auflage). Springer Vieweg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-58371-5_28
- The Cessna Aircraft Company. (1998). *FLUGHANDBUCH Pilot's Operating Handbook (POH) Cessna C172*. <http://www.aeroclub-nuernberg.de/pdf-neu/D-EACK.pdf>
- Toplicht GmbH. (n.d.). *Farben und Bootsbaus*. <https://www.toplicht.de/de/farben-bootsbau>
- Travel into the blue. (2021). *SUP Boards – Alles was du darüber wissen solltest*.
<https://www.travelintotheblue.de/sup-boards/>
- Tretwerk. (2020). *Das ausgediente Fahrrad entsorgen*. <https://tretwerk.net/blog/das-alte-ausgediente-fahrrad-entsorgen/>
- Triumph Boats. (n.d.). *4 Best Wood For Boat Deck (Pros & Cons)*.
<https://www.triumphboats.com/wood-for-boat-decks/>
- TU Clausthal. (2017). *MORE AERO GmbH: Forschungsprojekt führt zu Gründung eines Unternehmens zum Flugzeugrecycling*. <https://www.ifa.tu->

- clauthal.de/de/lehrstuehle/lehrstuhl-fuer-rohstoffaufbereitung-und-recycling/nachrichten-details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=105&cHash=e7d1c64551904caf522eeec3671ae74f
- Uken, M. (2021). *Eine Frage des Schrotts*. Mare. <https://www.mare.de/eine-frage-des-schrotts-content-5041>
- Umweltbundesamt. (n.d.-a). *EU-Verordnung über fluoridierte Treibhausgase*. 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase#V05172014>
- Umweltbundesamt. (n.d.-b). *Persistente organische Schadstoffe (POP)*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/persistente-organische-schadstoffe-pop>
- Umweltbundesamt. (2020). *Faserverbundwerkstoffe: Zukunftsmaterial mit offener Entsorgung*. <https://www.umweltbundesamt.de/faserverbundwerkstoffe-zukunftsmaterial-offener#faserverbundwerkstoffe-und-ihr-potenzial-fur-klima-und-ressourcenschonung>
- Umweltbundesamt. (2022). *Schaltanlagen*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/schaltanlagen-0>
- Unbekannt. (2015). *Flug- und Betriebshandbuch Diamant - Twin - Pico*. <https://docplayer.org/64519701-Flug-und-betriebshandbuch.html>
- United-Marine. (2022). *Unsere Leistungen*. http://www.united-marine.com/html/unsere_leistungen.html
- WA Yachting Consultants. (2015). *Number of End of Life Boats (ELB) and waste material flows in the Netherlands. January*, 1–3. <https://www.wa-yachtingconsultants.com/assets/files/Summary of Netherlands ELB report.pdf>
- Water Sports Mallorca. (2021). *WAS IST STEHPADDEL?* <https://watersportsmallorca.com/de/was-ist-stehpaddel/>
- Watermann, B., Daehne, D., Fürle, C., & Thomsen, A. (2015). *Sicherung der Verlässlichkeit der Antifouling-Expositionsschätzung im Rahmen des EU-Biozid-Zulassungsverfahrens auf Basis der aktuellen Situation in deutschen Binnengewässern für die Verwendungsphase im Bereich Sportboothäfen*.
- Wexler, M., Baumann, W., Doninger, T., Gehrmann, H.-J., Hagemann, R., & Hauser, M. (2021). *Optionen der Carbonfaserverwertung in industriellen Hochtemperaturprozessen*.
- Wikipedia. (2022). *Fender (boating)*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fender_\(boating\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fender_(boating))
- WingsAndMore. (2021). *Carbon-Klang Musikinstrumente für das 21. Jahrhundert*. <http://www.carbon-klang.com/index.html>
- Witten, E., & Mathes, V. (2020). *Der Markt für Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) 2020*.
- Witten, E., & Mathes, V. (2022). *Der europäische Markt für Faserverstärkte Kunststoffe / Composites 2 021*.
- Witten, E., Mathes, V., Sauer, M., & Kühnel, M. (2018). *Composites - Marktbericht 2018*.
- Witten, E., Sauer, M., & Kühnel, M. (2017). *Composites - Marktbericht 2017*. http://www.avk-tv.de/files/20170919_avkcev_marktbericht_2017.pdf
- Woidasky, J. (2013). *Conference Proceedings: The First European Aircraft Recycling Symposium*.
- Yachtwerft Benjamins GmBH. (2022). *Yachtbau, Bootsbau für Cruiser, Deckshausyachten, Katamarane, Fahrtenyachten aus Aluminiumkasko*. <https://www.aluminium-yachten.de/yachtwerft-benjamins/boote-yachten>

- Zogg, M. (1993). *Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik von Martin Zogg* (3. Auflage).
- Zola, C. (2018). *Water-Resistant vs. Waterproof Marine Vinyl Fabric*.
<https://www.strataglass.com/blog/water-resistant-vs.-waterproof-marine-vinyl-fabric>
- Zotz, F., Kling, M., Langner, F., Hohrath, P., Born, H., & Feil, A. (2019). *Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen*.
- Zotz, F., Weißenbacher, J., Dollhofer, M., & Greßmann, A. (2016). *Evaluation der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Wegfalls der Heizwertregelung des § 8 Abs. 3 Satz 1 KrWG*.
- Zweirad-Industrie-Verband. (2021). *Zahlen-Daten-Fakten zum Deutschen Fahrrad- und E-Bike Markt 2019; Pressemitteilung*.

A Anhang – Glossar

Begriff	Definition
Abwracken	Das Zerlegen und Verschrotten von Transportmitteln wie Boote oder Flugzeuge.
Ausrüstung	Leicht zu bewegende, oder entnehmbare Gegenstände, die der Erfüllung eines bestimmten Zweckes dienen.
Ausstattung	In die Struktur des Flugzeugs oder Sportbootes integrierte Gegenstände, zumeist Möbel oder Elektronik, die der Erfüllung eines bestimmten Zweckes dienen.
Baugruppe	System bestehend aus mehreren Einzelteilen (Hardware), das einen bestimmten Zweck erfüllt.
Carbonfaserverstärkte Kunststoffe	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe sind Kunststoffe, in die Carbonfasern (auch Kohlenstofffasern, oder Kohlefasern) eingebettet sind, oftmals mit dem Zweck ihnen verbesserte mechanische Eigenschaften zu verleihen.
Carbonfaserverstärkte Werkstoffe	Carbonfaserverstärkte Werkstoffe sind Werkstoffe, in die Carbonfasern eingebettet sind, oftmals mit dem Zweck ihnen verbesserte mechanische Eigenschaften zu verleihen. Dazu zählen Carbonfaserverstärkte Kunststoffe.
Chemisches Recycling	Umwandlung zu Monomeren oder Herstellung neuer Rohstoffe durch Ändern der chemischen Struktur des Kunststoffprodukts bzw. der Kunststoffe durch Cracking, Vergasung oder Depolymerisation, mit Ausnahme von Energierückgewinnung und Verbrennung (ISO 472:2013: Plastics — Vocabulary, 2.1690, modifiziert - Anmerkung 1 zum Begriff gestrichen)
Datenkonzept	Schema zur Strukturierung und Aufbereitung von Informationen, ggf. auf digitaler Basis
Dienstleistungsplattform	Webbasierte Anwendung, auf der Informationen (Daten) über Dienstleistungen abgerufen werden können
Digitaler Produktpass	Datensatz, der Informationen zu Komponenten, Materialien, Substanzen, Reparierbarkeit, Ersatzteile, Entsorgung o.ä. für ein Produkt zusammenfasst
Disaster Recovery	Maßnahmen nach einem Ausfall von Komponenten in der IT
Duroplast	"Kunststoff, der durch Wärmebehandlung oder andere Maßnahmen härtbar ist und sich dabei in ein praktisch unschmelzbares und unlösliches Produkt umwandelt." (DIN EN ISO 472/A1:2019-03, Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis)
Elastomer	"Makromolekularer Werkstoff, der nach einer wesentlichen Verformung, die durch eine schwache Last erzeugt wurde, nach Entfernen der Last rasch wieder weitgehend zu seinen ursprünglichen Abmessungen und seiner ursprünglichen Form zurückkehrt" (DIN EN ISO 472/A1:2019-03, Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis)
Funktionseinheiten	Eine Funktionseinheit ist die Gesamtheit an Hardwarekomponenten und/oder Software, dazu bestimmt einen vorgegebenen Zweck zu erfüllen.
Kommunikationsinstrument	Datenträger, über den Informationen ausgetauscht werden
Kommunikationsweg	Art der Datenübermittlung

Begriff	Definition
Marinas	Eine Marina ist ein Hafen(-becken) mit Ankerplätzen und Infrastruktur für Sportboote
Mechanisch recycelbare Kunststoffe	Als „mechanisch recycelbar“ werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens solche Kunststoffe bezeichnet, die rein sortiert durch mechanische und thermoplastische Aufbereitungsverfahren nach dem Stand der Technik (inkl. Der mechanischen/physikalischen Aufbereitung bspw. von Duroplasten) verwertet werden können und deren Inverkehrbringen als Rezyklat nicht aufgrund von geltenden Stoffbeschränkungen ausgeschlossen ist.
Mechanisches Recycling	Verarbeitung von Kunststoffabfällen zu Sekundärrohstoffen oder Produkten, ohne signifikante Veränderung der chemischen Struktur des Materials (DIN EN ISO 472/A1:2019-03, Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis)
Metadatenbank	Datenbank, die auf Inhalte anderer Datenbanken verweist
Middleware	„Unterstützende Technologie der Unternehmensanwendungsintegration, die sich auf eine Software bezieht, die zwei oder mehr Softwareanwendungen miteinander verbindet, sodass zwischen diesen ein Datenaustausch erfolgen kann“ (DIN EN ISO 12967-2:2021-04, Medizinische Informatik – Servicearchitektur)
Netzwerkanalyse	Betrachtung von Zusammenschlüssen von Personen, Institutionen und Gruppen, die miteinander in Verbindung stehen
Recycling (Prozess)	„Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.“ (§ 3 (25) KrWG)
Re-fit	Beim Re-fit wird das Sportboot in einen neuwertigen Zustand, oftmals auch aktualisierten oder dem Stand der Technik angepassten Zustand versetzt wird.
Refabrikation	Bei der Refabrikation (engl. Remanufacturing) wird nicht das Sportboot als Ganzes gemäß seiner ursprünglichen Bestimmung wiederverwendet, sondern einzelne Komponenten oder Systeme/Baugruppen
Regranulat	"Wiedergewonnener, geschredderter und/oder granulierter Kunststoff in Form eines frei fließenden Materials" (DIN EN ISO 472/A1:2019-03, Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis)
Rezyklat	"verwertbare Kunststoffmaterialien, die durch Recycling von Kunststoffabfällen erzeugt werden." (DIN EN ISO 472/A1:2019-03, Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis)
Weiterverwendung	Bei der Weiterverwendung werden Produkte und deren Systeme oder Komponenten nicht gemäß ihrer ursprünglichen Bestimmung wiederverwendet, sondern zur Erfüllung eines anderen Zwecks weiterverwendet (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2021) .
Wiederverwendung	Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren (Artikel 3 Nr. 13 EG-AbfRRL)

B Anhang – Bauteillisten

Die Bauteillisten wurden nach besten Wissen und Gewissen erstellt, es kann aber keine Vollständigkeit garantiert werden. Da auch Sportboote bzw. Leichtflugzeuge einer Kategorie sehr unterschiedlich ausgestattet sein können, trifft eine Bauteilliste nicht zwingend auf ein einzelnes Boot/Flugzeug zu, sondern soll die Gesamtheit aller Boote/Flugzeuge einer Kategorie abbilden.

Beispiel:

Einzelne Daycruiser sind mit einem Herd ausgestattet, während andere Daycruiser dieses Bauteil nicht enthalten, da es nicht notwendig für die Funktionsweise des Bootes ist. Um die Möglichkeit abzubilden, dass dieses Bauteil in einigen Fällen enthalten ist, ist „Herd“ bei Daycruisern angekreuzt.

B.1 Sportboote – Motorboote: Motoryachten und Offene Sportboote und Daycruiser

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Kategorie: Tauwerk und Bündsel					
Tauwerk/Seile	Ausrüstung	Hanf; Naturfaser; rPET		x	x
Handlaufseile	Ausrüstung			x	x
Fendertauwerk	Ausrüstung			x	x
Festmacher, Schleppleine & Ankerleine	Ausrüstung			x	x
Modernes Yachttauwerk	Ausrüstung	PP, HMPE, Polybenzo- biosoxazol (PBO), Polyamid		x	
Rettungsleinen & Schwimm-leinen	Ausrüstung			x	x
Wurfleinen & Wurfleinen- gewichte	Ausrüstung			x	x
Gummileine, Gurte & Zeisinge	Ausrüstung			x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Relingnetze	Ausrüstung			x	x
Kategorie: Ankern und Festmachen					
Anker & Zubehör	Ausrüstung	Al/Mg-Legierung; Aluminium; Edelstahl	Legierungselemente	x	x
Ketten & Zubehör	Ausrüstung	Aluminium, Edelstahl		x	x
Ankerleinen & Festmacher	Ausrüstung			x	x
Ankerwinde	Ausstattung	Elektrisch		x	x
Lippen, Klüsen & Ketteneinlauf	Ausstattung	Metall		x	x
Klampen, Poller & Anlegeringe	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Fender	Ausrüstung	Autoreifen, Gummi, andere		x	x
Bojen & Schwimmer	Ausrüstung			x	x
Bootshaken	Ausrüstung			x	x
Gangways	Ausrüstung	Metall; Holz; Carbon		x	
Kategorie: Rumpf und Deck					
Rumpf	Struktur	Holz; Aluminium; GFK; CFK; Stahl; ABS oder PE + PE-Schaum	PCB aus Anstrichen und Fugematerial; Farbanstrich; Pigmente mit Cadmium und Blei; Antifouling-Anstriche und Gelcoat:	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Rumpf - Opferanode	Struktur	Zink	Tributylzinn (TBT), Kupfer, Blei, Herbizide, Zink		
Deck	Struktur	Holz; Aluminium; GKF / CFK / Gelcoat, Topcoat, Stahl; PVC	Verguss- /Fugenmasse, Epoxidharz	x	x
Deck	Struktur	Material-verbunde wenn Sandwich-bauweise mit Schaumfüllung; Holzkern		x	x
Schutzbleche		Edelstahl		x	x
Kiel	Struktur	Blei/Beton/ Stahl	Blei	x	
Winschen & Fallwinden	Ausstattung	Metall		x	x
Klemmen & Fallenstopper	Ausstattung	Metall, Kunststoff		x	x
Schienen & Rutscher	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Püttinge & Stevenbeschläge	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Decksaugen & Leitösen	Ausstattung			x	x
Haken & Ösen	Ausstattung			x	x
Handlauf & Reling	Ausstattung	Edelstahl; Holz		x	x
Flaggen & Flaggstöcke	Ausrüstung	Edelstahl; Holz		x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Fenster, Bullaugen & Luken	Struktur	Plexiglas, Polycarbonat / Metall	Gummidichtung	x	x
Steuerrad, Pinne & Ruder	Ausstattung	Edelstahl mit Kunstleder-mantel, Holz, Kohlefaser, Aluminium, Edelstahl		x	x
Scheibenwischer & Windschutz-scheibe	Ausstattung			x	x
Ruder	Struktur	Holz, Kohlefaser, GFK, Aluminium		x	x
Motorbootmast	Ausstattung	Holz; Edelstahl	Anstriche / Farbe	x	x
Wasserskihaken	Ausstattung			x	x
Außenborder-halterung & Zubehör	Ausstattung	Edelstahl/Kunststoff, Holz		x	x
Rudergabeln & Tüllen	Ausstattung	Al-Legierung, Kunststoff, Bronze		x	x
Buchstabe & Schild	Ausstattung			x	x
Positionslichter	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Suchlicht	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Buglicht	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Außenbe-leuchtung & Decksbe-leuchtung	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Bugstrahlruder	Ausstattung			x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Deckbeschläge	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Dollboard	Struktur			x	x
Sonnendeck	Ausstattung	Edelstahl und Acryl; PVC-/Alugestell und Textil		x	x
Sitze	Ausstattung	Alugestell und Vinylleder		x	x
Badeplattform		Verschiedene Kunststoffe		x	x
Hardtop/ Sonnendach	Struktur	Acryl; Aluminium; GFK		x	x
Kategorie: Kajüte und Komfort					
Aufbau	Struktur	Holz		x	x
Textilprodukte (z.B. Vorhänge)	Ausrüstung	Textilien	evtl. Flammschutzmittel	x	x
Lampe, Leuchte & Laterne	Ausstattung			x	x
Uhren, Barometer & Instrumente	Ausrüstung			x	x
Ofen & Heizung	Ausstattung	Elektrisch		x	x
Herd, Backofen, Kocher & Grill, Mikrowelle	Ausstattung			x	
Geschirrspüler	Ausstattung			x	
Waschmaschine und Trockner	Ausstattung			x	
Kühlschrank; Tiefkühler	Ausstattung		FCKW	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Innenbeleuchtung	Ausstattung	LED		x	x
Klimaanlage	Ausstattung		Kühlmittel (z.B, R-22)	x	
Boiler	Ausstattung			x	
Stauraum/ Staukästen	Struktur	GFK, Holz		x	x
Matratze	Ausrüstung	PUR		x	x
Möbel (z.B. Bett, Tisch)	Struktur	Holz		x	x
Möbel	Struktur	Kunststoffe		x	x
Innenbeschläge	Struktur	Edelstahl		x	x
Möbelbeschläge	Struktur	Edelstahl		x	x
Scharniere & Lukenbänder	Struktur			x	x
Bodenheber (z.B. um Luke für Bilge zu öffnen)		Messing verchromt, Edelstahl		x	x
Schlösser	Ausrüstung			x	x
Riegel & Verschlüsse	Ausstattung			x	x
Haken	Ausstattung			x	x
Bordwerkstatt	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Kategorie: Elektrik und Motor					
Generatoren	Ausstattung			x	

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Batterien	Ausstattung		Säuren und Blei sowie Cadmium in bestimmten Zinkanoden	x	x
Batterieladegerät	Ausstattung			x	x
Bordnetztechnik/ Elektrik	Ausstattung			x	x
Kabel & Zubehör	Ausrüstung			x	x
Ladetechnik	Ausstattung			x	x
Wechselrichter & Spannungs-wandler	Ausstattung			x	x
Windgeneratoren , Solarmodule & Brennstoffzellen	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Potential- ausgleichsanlage	Ausstattung			x	x
Fremdein- speisung (von Küste)	Ausstattung			x	x
Motorschaltung & Schaltkabel	Ausstattung			x	x
Motorkühlung & Auspuffanlage	Ausstattung			x	x
Kraftstoffanlage	Ausstattung			x	x
Ölfilter	Ausstattung	Stahl, Filterpapier, Altöl	Öl	x	x
Anzeige- instrumente & Geber	Ausstattung			x	x
Dichtungen (inkl. Simmerringe)		Gummi		x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Dämpferplatten				x	x
Propeller ('Schiffschrauben') und Wellenanlagen	Ausstattung	Aluminium		x	x
Propeller ('Schiffschrauben') und Wellenanlagen	Ausstattung	Edelstahl; Legierungen aus Aluminium/Edelstahl, Nickel/Aluminium/Bronze, Mangan/Bronze		x	x
Antriebseinheit und Triebwerk	Ausstattung	Metall	Zink	x	x
Seewasserfilter	Ausstattung			x	x
Elektromotor	Ausstattung			x	x
Verbrennungsmotor (inkl. Getriebe, Turbolader, Zylinder; Vergaser etc.)	Ausstattung	Aluminium, Stahl		x	x
Hybridantriebe	Ausstattung			x	x
Lichtmaschine	Ausstattung			x	x
Startermotor	Ausstattung			x	x
Kategorie: Pumpen und Sanitär					
Toiletten	Ausstattung			x	x
Spüle & Wasserhahn	Ausstattung			x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Trinkwasser-aufbereitung	Ausstattung			x	x
Warmwasser-boiler	Ausstattung			x	x
Schlauch & Leitung	Ausstattung			x	x
Öltank	Ausstattung			x	x
Kraftstofftank	Ausstattung	Kunststoff		x	x
Druckausgleichta nks	Ausstattung			x	x
Fäkalientank & Abwassertank	Ausstattung			x	x
Trinkwassertank	Ausstattung			x	x
Einfüllstutzen & Absaugstutzen	Ausstattung			x	x
Borddurch-führung, Ventil & Fitting	Ausstattung			x	x
Schläuche	Ausstattung	PVC oder EPDM		x	x
Lenzstopfen & Cockpitabflüsse	Ausstattung			x	x
Trinkwasser-pumpe & Druckwasser-pumpe	Ausstattung			x	x
Handpumpen & Fußpumpen Pantry	Ausrüstung			x	x
Fäkalienpumpen	Ausstattung			x	x
Bilgepumpe, Lenzpumpe	Ausstattung, Ausrüstung			x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
Bilgegebläse (im Motorraum)	Ausstattung			x	
Ölpumpen & Kraftstoffpumpen	Ausstattung			x	x
Kategorie: Sicherheit und Funk					
Bootsleitern und Rettungsleitern	Ausrüstung	Stahl, Alu, Holz		x	x
Rettungsringe	Ausrüstung			x	x
Radarreflektoren	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
GPS/Navigator, Funk- und Schallgerät	Ausstattung		Flammschutzmittel?	x	x
Schiffsglocke	Ausstattung			x	x
Nebelhorn	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Feuerlöscher	Ausrüstung			x	x
Tiefenmesser	Ausstattung			x	x
Kategorie: Navigation					
Antenne	Ausstattung	Ultra-Glasfiber / Glasfiber mit Edelstahlhalterung oder Kunststofffuß		x	x
Display	Ausstattung			x	x
Armaturenbrett	Struktur	Holz, Kunstleder, GFK oder Alu (pulverbeschichtet)		x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Motor-yachten	Offene Sport-boote und Daycruiser
GPS	Ausstattung			x	x
Kompass	Ausstattung			x	x
Autopilot	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Kategorie: Sonstiges					
Wärmebild-kamera	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Kategorie: Flüssigkeiten					
Motoröl	Betriebsmittel			x	x
Getriebeöl	Betriebsmittel			x	x
Bilgenöl	Betriebsmittel			x	x
Bilgenwasser	Betriebsmittel			x	x
Kühlflüssigkeiten	Betriebsmittel			x	x
Hydraulisches Öl	Betriebsmittel			x	x
Frischwasser	Betriebsmittel			x	x
Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/ Dusche)	Betriebsmittel			x	x
Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	Betriebsmittel			x	x
Benzin	Betriebsmittel			x	x
Diesel	Betriebsmittel			x	x

B.2 Sportboote – Segelboote: Segeljollen und offene Kielboote; Segelyachten und Motorsegler

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Kategorie: Rigg und Segel					
Blöcke & Rollen	Ausrüstung	Metall; Kunststoff		x	x
Gleitkauschen & Softrigging	Ausrüstung	Kunststoff		x	x
Schäkel, Karabiner & Haken	Ausrüstung	Edelstahl		x	x
Stagreiter & Lögel	Ausrüstung	Edelstahl / Messing / Kunststoff		x	x
Belegnägel		Holz		(x)	(x)
Mast & Baum	Ausstattung	Aluminium/bei Regattaschiffen meist aus CFK/Holz/Stahl		x	x
Windanzeiger & Verklicker	Ausrüstung	Edelstahl; Kunststoff		x	x
Kauschen, Draht & Wantenspanner	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Splinte & Bolzen	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Bootsmannsstuhl	Ausrüstung	Kunststoff; Holz		(x)	(x)
Takelwerkzeug & Segelmacherwerkzeug	Ausrüstung			(x)	(x)
Planen, Persenning	Ausrüstung			(x)	(x)
Segeltuch	Ausrüstung	Naturfasern; Kunststoffe		x	x
Kategorie: Tauwerk und Bändsel					

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Tauwerk/Seile	Ausrüstung	Hanf; Naturfaser; rPET		x	x
Handlaufseile	Ausrüstung				x
Fendertauwerk	Ausrüstung			x	x
Festmacher, Schleppleine & Ankerleine	Ausrüstung			xx	
Modernes Yachttauwerk	Ausrüstung	PP, HMPE, Polybenzo-biooxazol (PBO), Polyamid		x	x
Rettungsleinen & Schwimmleinen	Ausrüstung			x	x
Wurfleinen & Wurfleinen-gewichte	Ausrüstung			(x)	(x)
Gummileine, Gurte & Zeisinge	Ausrüstung			x	x
Bändselgut & Takelgarn	Ausrüstung			x	x
Relingnetze	Ausrüstung				x
Kategorie: Ankern und Festmachen					
Anker & Zubehör	Ausrüstung	Aluminium; AL/Mg-Legierung; Edelstahl	Legierungs-elemente	x	x
Ketten & Zubehör	Ausrüstung	Aluminium; Edelstahl		x	x
Ankerleinen & Festmacher	Ausrüstung			x	x
Ankerwinde	Ausstattung	Elektrisch		x	x
Lippen, Klüsen & Ketteneinlauf	Ausstattung	Metall			x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Klampen, Poller & Anlegeringe	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Fender	Ausrüstung	Autoreifen, Gummi, andere		x	x
Bojen & Schwimmer	Ausrüstung			(x)	(x)
Bootshaken	Ausrüstung			x	x
Gangways	Ausrüstung	Metall; Holz			x
Kategorie: Rumpf und Deck					
Rumpf	Struktur	Holz; Aluminium; GFK; CFK; Stahl; ABS oder PE + PE-Schaum	PCB aus Anstrichen und Fugenmaterial; Farbanstrich; Pigmente mit Cadmium und Blei; Antifouling-Anstriche und Gelcoat: Tributylzinn (TBT), Kupfer, Blei, Herbizide, Zink	x	x
Rumpf - Opferanode	Struktur	Zink		(x)	x
Deck	Struktur	Holz, GFK / CFK, Gelcoat, Topcoat, PVC	Verguss-/Fugenmasse, Epoxidharz	x	x
Deck	Struktur	Aluminium, Stahl			x
Deck	Struktur	Materialverbunde wenn Sandwichbauweise mit Schaumfüllung; Holzkern		x	x

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel- yachten und Motorsegler
Schutzbleche		Edelstahl		x	x
Kiel	Struktur	Blei/Beton/Stahl	Blei	x	x
Winschen & Fallwinden	Ausstattung	Metall		x	x
Klemmen & Fallenstopper	Ausstattung	Metall, Kunststoff		x	x
Schienen & Rutscher	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Püttinge & Stevenbeschläge	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Decksaugen & Leitösen	Ausstattung			x	x
Haken & Ösen	Ausstattung			x	x
Handlauf & Reling	Ausstattung	Edelstahl, Relingdraht (Edelstahldraht + Kunststoffmantel) ; Holz		x	x
Flaggen & Flaggstöcke	Ausrüstung	Edelstahl; Holz		x	x
Fenster, Bullaugen & Luken	Struktur	Plexiglas, Polycarbonat / Metall	Gummidicht- ung		x
Windhutzen & Belüftung	Ausstattung, Struktur	Kunststoff			x
Steuerrad, Pinne	Ausstattung	Edelstahl mit Kunstledermantel ; Holz, Kohlefaser, Aluminium		x	x
Scheibenwischer & Windschutz- scheibe	Ausstattung				x
Ruder	Struktur	Holz, Kohlefaser, GFK, Aluminium		x	x

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel- yachten und Motorsegler
Außenborder- halterung & Zubehör	Ausstattung	Edelstahl/Kunstst off, Holz		x	x
Buchstabe & Schild	Ausstattung			x	x
Positionslichter	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Suchlicht	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Buglicht	Ausstattung	Metall / Kunststoff		x	x
Außenbe- leuchtung & Decksbe- leuchtung	Ausstattung	Metall / Kunststoff			x
Bugstahlruder	Ausstattung				x
Deckbeschläge	Ausstattung	Edelstahl		x	x
Dollboard	Struktur			x	
Sonnendeck	Ausstattung	Edelstahl und Acryl; PVC- /Alugestell und Textil			x
Sitze	Ausstattung	Alugestell und Vinylleder			x
Badeplattform		Verschiedene Kunststoffe			x
Hardtop	Struktur	Acryl; Aluminium			x
Hardtop/ Sonnendach	Struktur	GFK			x
Sprayhood	Ausstattung	Edelstahl, Kunststoff			x
Kategorie: Kajüte und Komfort					

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel- yachten und Motorsegler
Aufbau	Struktur	Holz / GFK / Carbon / Stahl			x
Textilprodukte (z.B. Vorhänge)	Ausrüstung	Textilien	evtl. Flammschutz mittel		x
Lampe, Leuchte & Laterne	Ausstattung				x
Uhren, Barometer & Instrumente	Ausrüstung				x
Ofen & Heizung	Ausstattung	Elektrisch			x
Herd, Backofen, Kocher & Grill, Mikrowelle	Ausstattung				x
Geschirrspüler	Ausstattung				x
Waschmaschine und Trockner	Ausstattung				x
Kühlschrank, Tiefkühler	Ausstattung		FCKW		x
Innenbe- leuchtung	Ausstattung	LED			x
Klimaanlage	Ausstattung		Kühlmittel (z.B, R-22)		x
Boiler	Ausstattung				x
Stauraum/ Staukästen	Struktur	GFK, Holz, Carbon, Stahl		x	x
Matratze	Ausrüstung	PUR?			x
Möbel (z.B. Bett, Tisch)	Struktur	Holz, Kunststoffe			x
Innenbeschläge	Struktur	Edelstahl			x
Möbelbeschläge	Struktur	Edelstahl?			x

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel- yachten und Motorsegler
Scharniere & Lukenbänder	Struktur			x	x
Bodenheber (z.B. um Luke für Bilge zu öffnen)		Messing verchromt, Edelstahl		x	x
Schlösser	Ausrüstung			x	x
Riegel & Verschlüsse	Ausstattung			x	x
Haken	Ausstattung			x	x
Bordwerkstatt	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Kategorie: Elektrik und Motor					
Generatoren	Ausstattung				x
Batterien	Ausstattung		Säuren und Blei sowie Cadmium in bestimmten Zinkanoden	x	x
Batterieladegerät	Ausstattung			x	x
Bordnetztechnik/ Elektrik	Ausstattung			x	x
Kabel & Zubehör	Ausrüstung			x	x
Ladetechnik	Ausstattung			x	x
Wechselrichter & Spannungs- wandler	Ausstattung			x	x
Windgeneratoren , Solarmodule & Brennstoffzellen	Ausstattung, Ausrüstung				x

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel- yachten und Motorsegler
Potentialaus- gleichsanlage	Ausstattung			x	x
Fremd- einspeisung (von Küste)	Ausstattung			x	x
Motorschaltung & Schaltkabel	Ausstattung			x	x
Motorkühlung & Auspuffanlage	Ausstattung			x	x
Kraftstoffanlage	Ausstattung			x	x
Anzeigeinstru- mente & Geber	Ausstattung			x	x
Dichtungen (inkl. Simmerringe)		Gummi		x	x
Dämpferplatten				x	x
Propeller (‘Schiffschrauben’) und Wellenanlagen	Ausstattung	Legierungen aus Aluminium/ Edelstahl, Nickel/Aluminium /Bronze, Mangan/Bronze		x	x
Antriebseinheit und Triebwerk	Ausstattung	Metall	Zink [16]	x	x
Seewasserfilter	Ausstattung				x
Elektromotor	Ausstattung			x	x
Hybridantriebe	Ausstattung			(x)	x
Lichtmaschine	Ausstattung			x	x
Startermotor	Ausstattung			x	x
Kategorie: Pumpen und Sanitär					

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Toiletten	Ausstattung	Keramik; Kunststoff			x
Spüle & Wasserhahn	Ausstattung				x
Trinkwasser-aufbereitung	Ausstattung				x
Warmwasser-boiler	Ausstattung				x
Schlauch & Leitung	Ausstattung			x	x
Öltank	Ausstattung			x	x
Kraftstofftank	Ausstattung	Kunststoff		x	x
Druckausgleich-tanks	Ausstattung			x	x
Fäkalientank & Abwassertank	Ausstattung				x
Trinkwassertank	Ausstattung				x
Einfüllstutzen & Absaugstutzen	Ausstattung			x	x
Borrdurch-führung, Ventil & Fitting	Ausstattung				x
Schläuche	Ausstattung	PVC oder EPDM		x	x
Lenzstopfen & Cockpitabflüsse	Ausstattung				x
Trinkwasser-pumpe & Druckwasser-pumpe	Ausstattung				x
Handpumpen & Fußpumpen Pantry	Ausrüstung				x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Fäkalienpumpen	Ausstattung				x
Bilgepumpe, Lenzpumpe	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Bilgegebläse (im Motorraum)	Ausstattung				x
Ölpumpen & Kraftstoffpumpen	Ausstattung			x	x
Kategorie: Sicherheit und Funk					
Bootsleitern und Rettungsleitern	Ausrüstung	Stahl, Alu, Holz		x	x
Rettungsringe	Ausrüstung			x	x
Radarreflektoren	Ausstattung, Ausrüstung				x
GPS/Navigator, Funk- und Schallgerät	Ausstattung		Flammschutz mittel?	x	x
Schiffsglocke	Ausstattung				x
Nebelhorn	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Feuerlöscher	Ausrüstung			x	x
Tiefenmesser	Ausstattung			x	x
Kategorie: Navigation					
Antenne	Ausstattung	Ultra-Glasfiber / Glasfiber mit Edelstahl-halterung oder Kunststofffuß		x	x
Display	Ausstattung			x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Armaturenbrett	Struktur	Holz, Kunstleder, GFK oder Alu (pulverbeschichtet)			x
GPS	Ausstattung			x	x
Kompass	Ausstattung			x	x
Autopilot	Ausstattung, Ausrüstung			x	x
Kategorie: Sonstiges					
Wärmebild-kamera	Ausstattung, Ausrüstung				x
Kategorie: Flüssigkeiten					
Motoröl	Betriebsmittel			x	x
Getrieböl	Betriebsmittel			x	x
Bilgenöl	Betriebsmittel			x	x
Bilgenwasser	Betriebsmittel			x	x
Kühlflüssigkeiten	Betriebsmittel			x	x
Hydraulisches Öl	Betriebsmittel				x
Frischwasser	Betriebsmittel				x
Grauwasser (Abwasser von Waschbecken/Dusche)	Betriebsmittel				x
Schwarzwasser (Abwasser aus Toilette)	Betriebsmittel				x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Segeljollen und offene Kielboote;	Segel-yachten und Motorsegler
Benzin	Betriebsmittel			x	x
Diesel	Betriebsmittel			x	x

B.3 Kleine Boote: Sportboote - Wassermotorräder & Kanu, Ruderboote, Tretboote & Surfbretter, SUP

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Wasser-motorräder	Kanu, Ruderboote, Tretboote	Surfbretter, SUP
Kategorie: Rumpf und Deck						
Rumpf	Struktur	Holz; Aluminium ; GFK; CFK, ABS oder PE und PE-Schaum + Antifouling -Anstrich;	PCB aus Anstrichen und Fugenmaterial ; Farbanstrich; Pigmente mit Cadmium und Blei; Antifouling-Anstriche und Gelcoat: Tributylzinn (TBT), Kupfer, Blei, Herbizide, Zink		x Holz: Liebhaber Kanus aus Holz; bei Ruderbooten auch Sperrholz möglich GFK: Kanadier, Tretboote CFK: Aramid-Carbon-Kanadier; Renn-Ruderboote PE: Kajaks; Tretboote	x (es gibt Trend zu Holz-Surfbrettern; GFK/CFK eher nur als Beschichtung)
Rumpf	Struktur	Innenschale Alu, GFK, ABS; Außenschale Polyurethanschaum				x (Innerer Kern meist aus einer der drei Materialien: expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyren (XPS oder IX-PS) oder Polyurethan (PU) +

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Wasser-motorräder	Kanu, Ruderboote, Tretboote	Surfbretter, SUP
						Beschichtung aus GFK)
Deck	Struktur	GKF / Gelcoat, Topcoat		x		
Steuerrad, Pinne & Ruder	Ausstattung	Edelstahl mit Kunstleder mantel		x (Lenker)		
Ruder-gabeln & Tüllen	Ausstattung				x	
Roll-schiene	Ausstattung	Aluminium			x	
Buchstabe & Schild	Ausstattung				x	
Doll-board	Struktur	s. Rumpf-materialie n		x		
Kategorie: Ankern und Fest-machen						
Anker	Ausrüstung	Aluminium			x	x
Kategorie: Elektrik und Motor						
Batterien	Ausstattung		Säuren und Blei sowie Cadmium in bestimmten Zinkanoden	x		x (E-SUP)
Bordnetz-technik/ Elektrik	Ausstattung			x		
Motor-kühlung & Auspuff-anlage	Ausstattung	Stahl		x		
Kraftstoff-anlage	Ausstattung					

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Wasser-motorräder	Kanu, Ruderboote, Tretboote	Surfbretter, SUP
ÖlfILTER	Ausstattung	Stahl, Filter-papier, Altöl	Öl			
Propeller ('Schiff-schrauben') und Wellen-anlagen	Ausstattung	Legierunge n aus Aluminium /Edelstahl, Nickel/Alu minium/ Bronze, Mangan /Bronze		x		
Antriebs-einheit und Triebwerk	Ausstattung	Metall	Zink			
Seewasser filter	Ausstattung	Nickel, Bronze, Aluminium , Kunststoff ein-satz		x		
Elektro-motor	Ausstattung	Metalle (Aluminiu m, Stahl, Kupfer)		x		x
Ver-brennungs -motor (inkl. Getriebe, Turbolader , Zylinder; Vergaser etc.)	Ausstattung	Aluminium , Stahl		x		
Hybrid-antriebe	Ausstattung			x		
Licht-maschine	Ausstattung	Metalle		x		
Starter-motor	Ausstattung	Metalle (Alu-minium, Stahl, Kupfer)		x		

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Mögliche Schadstoffe	Wasser-motorräder	Kanu, Ruderboote, Tretboote	Surfbretter, SUP
Düsen-einheit	Ausstattung			x		
Kategorie: Sonstiges						
Sitz	Struktur (Wassermot orrad); Ausstattung (Kanu etc.)	Holz, CFK		x	x	
Luken-deckel	Ausstattung	Gummi, Kunststoff			x	
Fußstützen	Ausstattung	Metall, Kunststoff			x	
Unter-schrank				x		
Finnen	Ausstattung	Kunststoff				x
Kategorie: Flüssig-keiten						
Motoröl	Betriebs-mittel			x		
Getriebeöl	Betriebs-mittel					
Bilgenöl	Betriebs-mittel					
Bilgen-wasser	Betriebs-mittel			x		
Kühl-flüssig-keiten	Betriebs-mittel					
Hydrau-lisches Öl	Betriebs-mittel			x		
Benzin	Betriebs-mittel			x		
Diesel	Betriebs-mittel			(x)		

Quellen: Für die Erstellung der vorangehenden Bauteillisten verschiedener Bootstypen wurden die folgenden Quellen verwendet: (Bundesamt der Justiz, 2001; Eklund et al., 2013; Hatteras Yachts, 2004; HS Marine Propulsion, 2021; Karle Recycling, n.d.; Loibner, 2011; palstek, 2021; Piedmont Plastics, 2022; premiumropes.com, n.d.; Rosenmaier, 2020; SVB, 2022; Synboater, n.d.; TCE Engineering, n.d.; Toplicht GmbH, n.d.; Triumph Boats, n.d.; Wikipedia, 2022)

B.4 Leichtflugzeuge – Segelflugzeuge und Motorsegler

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Segelflugzeug	Motorsegler
Haupt- und Bugfahrwerk				
Haupttrad (an Hauptfahrwerksbeinen)	Ausstattung	Gummi, Felge, Schlauchrad	x	x
Hauptfahrwerksbeine	Ausstattung	Aluminiumbeine	x	x
Radbremse / Parkbremse	Ausstattung	Bremsscheiben, Bremsbeläge	x	x
Federbeine/Federelemente	Ausstattung	Stahl, GFK oder Gummi	x	x
Spornrad oder Sporn	Ausstattung	Gummi, Felge	x	x
Schleifsporn (=Kufe oder Teller)	Ausstattung	Gummi; Metallbügel auf Gummiblock; Teller an Feder; Kufe mit Gummiblöcken; Eschenholz	x älteren	
Fahrwerksklappen	Ausstattung	Faserverbund-Struktur; Kohlefaser/Nomex-Wabenstruktur		x
Bugkupplung	Ausstattung	Metall	x	
Bugrad	Ausstattung	Gummi, Felge	x	
Ruder und Leitwerk				
Seitenleitwerk	Ausstattung	Glasfaserlaminat, Kohlefaser; Stahlrohrfachwerk beplankt mit Holz; GFK-Schaum-Sandwich; Aluminium; Blechrippen mit Aluminiumhaut	x	x
Seitenflosse	Ausstattung	CFK, Holz	x	x
Seitenruder	Ausstattung	GFK Formteile mit Hartschaumkern; ohne; Holz; GFK-	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Segelflugzeug	Motorsegler
		Schaum-Sandwich , Aluminium		
Höhenleitwerk	Ausstattung	GFK-Haut mit Hartschaumkern; Holz; GFK/CFK; Aluminium	x	x
Höhenflosse	Ausstattung	GFK-Schaum Sandwich	x	x
Höhenruder	Ausstattung	GFK Formteile/ Sandwich mit Hartschaumkern; ohne Hartschaumkern; Holz, Aramidfaserkunststoff-Schaum-Sandwich, Holz; Aluminium	x	x
Steuerstangen	Ausstattung	Stahl, Aluminium; Seil	x	x
Flügel				
Tragflächen	Ausstattung	Holz; Stoff; Alu-Steckung; Styro/Abachi; Holz mit Glaseinlagen; CFK-Schaum-Sandwich, Holz, Sperrholz; GFK/CFK Sandwich; Stoff und Metallhaut; Aluminiumlegierung; Kohlefaser-Wabenstruktur mit Kupferlegierung; Blechrippen mit Aluminiumhaut	x	x
Tragflügelschalen	Ausstattung	CFK-Sandwich-Schale; GFK-Sandwich, CFK-Bänder, Schaumkern; CFK	x	x
Querruder	Ausstattung	Hartschaumkern, Glas- und Kohlefaserschicht; Holz; CFK, Holz; Aluminium	x	x
Luftbremse/ Bremsklappen	Ausstattung	Holz; Metall, Holz	x	x
Holm (=tragende Bauteil eines Flugzeugflügels)	Ausstattung	CFK; Blech, Holz, Holz; Aluminiumbleche	x	
Flügelklappen (=Wölbklappen/ Landeklappen)	Ausstattung	CFK-Sandwich; GFK/CFK Sandwich; Karbon-Nomex-Wabenstruktur; Aluminium; FVK mit Kevlar Aramid Fasern	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Segelflugzeug	Motorsegler
Stoßstange (für Queruder- und Wölbklappensteuerung)	Ausstattung	Carbon, Aluminium	x	x
Wassertank/Ballasttank	Ausstattung		x	x
Rumpf				
Rumpf	Ausstattung	CFK; Stahlrohrfachwerk; Holzgerippe mit Stoff; GFK; GFK und CFK im Motorraum, CFK-Aramidfaser Hybrid Holz mit Eisen beschlagen; Stahlrohr; Aluminiumlegierung mit Stahl; Kohlenstoff/Nomex oder Aramid/Nomex-Wabenmaterial; Blechbauweise	x	x
Leitwerksröhre	Ausstattung	CFK		
Dach: Scheibe (=Haube)	Ausstattung	Acrylglas, Plexiglas, Astralon; starke Verglasung	x manchmal	x
Mittlrumpfrahmen	Ausstattung	Stahlrohr		x
Kabinenhaube	Ausstattung	Kohlefaserlaminat; Plexiglas, Holz	x	
Gepäckraumklappe / Frachttür	Ausstattung	Glasfaserlaminat	x	
Cockpit Elektronik/Navigation				
Höhenmesser	Ausstattung		x	x
Fahrtenmesser	Ausstattung		x	x
Variometer	Ausstattung		x	x
Kollisionswarnsystem	Ausstattung		x	x
Boardcomputer	Ausstattung		x	
Funkgerät	Ausstattung		x	x
Haubenfaden	Ausstattung		x	
Batterie	Ausstattung		x	x
Sicherungen	Ausstattung		x	x
Kompass	Ausstattung		x	

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Segelflugzeug	Motorsegler
Steuerknüppel	Ausstattung	Metall; Aluminium	x	x
Fußpedale	Ausstattung		x	x
Triebwerk				
Motor	Ausstattung	Aluminium (Motorblock)		x
Kraftstofftank	Ausstattung	Aluminium; Metall		x
Schläuche (Treibstoff, Hydraulik)	Ausstattung	PVC, PUR oder Gummi		x
Kraftstoffpumpe	Ausstattung			x
Auspuffverkleidung	Ausstattung	CFK; Stahl		x manche (gilt nicht für Elektromotoren)
Propellerblatt	Ausstattung	Holzverbundwerkstoff mit Kunstharz-Preßholz und Leichtholz, überzogen mit Epoxy-GFK, Edelstahlblech; Holz mit Edelstahlblech, PU-Folie, Lacke, Kunststoffmantel aus Fiberglas mit Epoxy]; Aluminium Holzkern mit GFK-Mantel und Stahlkappen; Aluminium		x manche
Flüssigkeiten				
Motoröl	Betriebsmittel			x manche (gilt nicht für Elektromotoren)
Schmieröl	Betriebsmittel			x
Hydraulisches Öl	Betriebsmittel			
AvGas/MoGas/Diesel	Betriebsmittel			x
Bremsflüssigkeit	Betriebsmittel		x	
Kühlflüssigkeit	Betriebsmittel			x
Sonstiges				
Fallschirm	Ausrüstung		x	(x)
Sitze/Sitzschalen	Ausstattung	CFK/Kevlar Hybrid und GFK	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Segelflugzeug	Motorsegler
Rückenlehnen	Ausstattung	GFK; CFK/Kevlar Hybrid und GFK	x	
Anschnallgurt	Ausstattung	Polyester, Metall	x	x
Sauerstoffsystem	Ausstattung		x	
Rettungswesten, Rettungsinsel	Ausrüstung	Polyester, PVC		(x)

Quellen: Informationen von ca. 20 unterschiedlichen herstellenden Unternehmen, Vereinen, Internetauftritten und Informationsseiten sowie auch (Kassera, 2016a)

B.5 Leichtflugzeuge E, F, G und I

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
Haupt- und Bugfahrwerk				
Haupttrad (an Hauptfahrwerksbeinen)	Ausstattung	Gummi, Felge, Schlauchrad	x	x
Hauptfahrwerksbeine	Ausstattung	Aluminiumbeine	x	x
Radbremse / Parkbremse	Ausstattung	Bremsscheiben, Bremsbeläge	x	x
Federbeine/Federelemente	Ausstattung	Stahl, GFK oder Gummi	x	x
Spornrad oder Sporn	Ausstattung	Gummi, Felge		x
Fahrwerksklappen	Ausstattung	Faserverbund-Struktur; Kohlefaser/Nomex-Wabenstruktur		x
Bugkupplung	Ausstattung	Metall		x
Bugrad	Ausstattung	Gummi, Felge	x	x
Ruder und Leitwerk				
Seitenleitwerk	Ausstattung	Glasfaserlaminat, Kohlefaser; Stahlrohrfachwerk beplankt mit Holz; GFK-Schaum-Sandwich; Aluminium; Blechrippen mit Aluminiumhaut	x	x
Seitenflosse	Ausstattung	CFK, Holz	x	x
Seitenruder	Ausstattung	GFK Formteile mit Hartschaumkern;	x	x

Bauteil	Demontage- kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
		ohne; Holz; GFK- Schaum-Sandwich , Aluminium		
Höhenleitwerk	Ausstattung	GFK-Haut mit Hartschaumkern; Holz; GFK/CFK; Aluminium	x	x
Höhenflosse	Ausstattung	GFK-Schaum Sandwich	x	x
Höhenruder	Ausstattung	GFK Formteile/ Sandwich mit Hartschaumkern; ohne Hartschaumkern; Holz, Aramidfaserkunststoff- Schaum-Sandwich, Holz; Aluminium	x	x
Steuerstangen	Ausstattung	Stahl, Aluminium; Seil	x	
Steuerruder	Ausstattung			x
Rückenflosse	Ausstattung	Glasfaserwaben		x
Bauchflosse	Ausstattung	Kevlarwabenmaterial		x
Flügel				
Tragflächen	Ausstattung	Holz; Stoff; Alu- Steckung; Styro/Abachi; Holz mit Glaseinlagen; CFK- Schaum-Sandwich, Holz, Sperrholz; GFK/CFK Sandwich; Stoff und Metallhaut; Aluminiumlegierung; Kohlefaser- Wabenstruktur mit Kupferlegierung; Blechrippen mit Aluminiumhaut	x	x
Tragflügelschalen	Ausstattung	CFK-Sandwich-Schale; GFK-Sandwich, CFK- Bänder, Schaumkern; CFK	x	x
Querruder	Ausstattung	Hartschaumkern, Glas- und Kohlefaserschicht; Holz; CFK, Holz; Aluminium	x	x
Luftbremse/Bremsklappen	Ausstattung	Holz; Metall, Holz	x	x
Holm (=tragende Bauteil eines Flugzeugflügels)	Ausstattung	CFK; Blech, Holz, Holz; Aluminiumbleche		

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
Flügelklappen (=Wölbklappen/Landeklappen)	Ausstattung	CFK-Sandwich; GFK/CFK Sandwich; Karbon-Nomex-Wabenstruktur; Aluminium; FVK mit Kevlar Aramid Fasern	x	x
Rumpf				
Rumpf	Ausstattung	CFK; Stahlrohrfachwerk; Holzgerippe mit Stoff; GFK; GFK und CFK im Motorraum, CFK-Aramidfaser Hybrid Holz mit Eisen beschlagen; Stahlrohr; Aluminiumlegierung mit Stahl; Kohlenstoff/Nomex oder Aramid/Nomex-Wabenmaterial; Blechbauweise	x	x
Leitwerksröhre	Ausstattung	CFK	x	
Tür	Ausstattung		x	x
Dach: Scheibe (=Haube)	Ausstattung	Acrylglas, Plexiglas, Astralon; starke Verglasung	x	x
Dach: Verbrundrahmen (=Haube)	Ausstattung	Stahlrohr	x	
Kabinenhaube	Ausstattung	Kohlefaserlaminat; Plexiglas, Holz	x	
Gepäckraumklappe / Frachttür	Ausstattung	Glasfaserlaminat	x	
Kabinenfenster	Ausstattung	Plexiglas		x
Bodenplatte	Ausstattung			x
Beleuchtung innen & außen	Ausstattung		x	x
Heizung und Belüftung	Ausstattung	CFK; Stahlrohrfachwerk; Holzgerippe mit Stoff; GFK; GFK und CFK im Motorraum, CFK-Aramidfaser Hybrid, Holz mit Eisen beschlagen; Stahlrohr; Aluminiumlegierung	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
		mit Stahl; Kohlenstoff/Nomex oder Aramid/Nomex- Wabenmaterial; Blechbauweise		
Cockpit Elektronik/Navigation				
Höhenmesser	Ausstattung		x	x
Fahrtenmesser	Ausstattung		x	x
Variometer	Ausstattung			x
Kollisionswarnsystem	Ausstattung		x	x
Boardcomputer	Ausstattung		x	x
Funkgerät	Ausstattung		x	x
Haubenfaden	Ausstattung			
Batterie	Ausstattung		x	x
Solarpanel	Ausstattung			x
Masseleitungen	Ausstattung			x
Sicherungen	Ausstattung		x	x
Schwingungs- und Schockdämpfer	Ausstattung			x
Wasserbehälter im statischen System	Ausstattung			x
Kompass	Ausstattung		x	x
Steuerknüppel	Ausstattung	Metall; Aluminium	x	x
Fußpedale	Ausstattung		x	x
Instrumentenschale	Ausstattung	Aluminiumlegierung		x
Querruderwaage	Ausstattung			x
Druckluftsystem (steuert Bremsen und Haupträder)	Ausstattung			x
Triebwerk				
Motor	Ausstattung	Aluminium (Motorblock)	x	x
Kraftstofftank	Ausstattung	Aluminium; Metall	x	x
Schläuche (Treibstoff, Hydraulik)	Ausstattung	PVC, PUR oder Gummi	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
Motorhaube / Triebwerksverkleidung	Ausstattung	Laminiertes Fiberglas; CFK; Karbon/Nomex- Wabenmaterial mit Kupferfolie; Luftleitblech innerhalb der Motorhaube aus CFK	x	x
Motorträger	Ausstattung	Stahlrohr, Titan		x
Kraftstoffpumpe	Ausstattung		x	x
Auspuffverkleidung	Ausstattung	CFK; Stahl	x	x
Triebwerkanlage	Ausstattung			x
Propeller	Ausstattung			
Propellerblatt	Ausstattung	Holzverbundwerkstoff mit Kunstharz- Preßholz und Leichtholz, überzogen mit Epoxy-GFK, Edelstahlblech; Holz mit Edelstahlblech, PU-Folie, Lacke, Kunststoffmantel aus Fiberglas mit Epoxy]; Aluminium Holzkern mit GFK-Mantel und Stahlkappen; Aluminium	x	x
Propellernarbe	Ausstattung	Leichtmetallelegierung; Stahlelegierung		x
Spinnerdom	Ausstattung	Alublech; faserverstärkter Kunststoff; Leichtmetallelegierung		x
Flüssigkeiten				
Motoröl	Betriebsmittel		x	
AvGas/MoGas/Diesel	Betriebsmittel		x	x
Kühlflüssigkeit	Betriebsmittel		x	x
Sonstiges				
Fallschirm	Ausrüstung		(x)	(x)
Sitze/Sitzschalen	Ausstattung	CFK/Kevlar Hybrid und GFK	x	x
Anschnallgurt	Ausstattung	Polyester, Metall	x	x

Bauteil	Demontage-kategorie	Material	Leichtflugzeuge E	Leichtflugzeuge F, G, I
Sauerstoffsystem	Ausstattung			x
Toilettenabflusssystem	Ausstattung			x
Kabinenschränke	Ausstattung			x
Klimatisierung	Ausstattung			x
Rettungswesten, Rettungsinsel	Ausrüstung	Polyester, PVC	(x)	x
Feuerlöscher	Ausrüstung			x

Quellen: Informationen von ca. 35 unterschiedlichen herstellenden Unternehmen, Vereinen, Internetauftritten und Informationsseiten

C Anhang – Checkliste für die Wiederinbetriebnahme von Flugzeugen mit einem Gewicht < 5,7 t

C.1 Allgemeine Informationen

Diese Checkliste richtet sich an Flugzeughalter*innen, die Ihre Maschine nach längeren Standzeiten wieder in Betrieb nehmen möchten oder einen gesamten Check zur Überprüfung der Flugtauglichkeit machen wollen.

Zu beachten ist, dass die Genehmigung der Flugtauglichkeit immer durch dafür ausgewiesenes Fachpersonal erfolgen muss.

Diese Checkliste ersetzt keine Routineprüfung, welche regelmäßig durchzuführen ist. Prüfintervalle sind in den Flughandbüchern zu finden, welche, während eines Flugs in unmittelbarer Nähe zur*zum Pilot*in mitzuführen sind. Es muss immer auf eine einwandfreie Funktion des Flugzeugs geachtet werden. Eine Prüfung aller sicherheitsrelevanten Bauteile auf einwandfreie Funktion und Beschädigungen sollte vor jedem Start und nach jeder Landung erfolgen.

C.2 Instandhaltungsprogramm

Jedem Flugzeug liegt ein Instandhaltungsprogramm (IHP oder AMP) bei. Dieses wird durch den*die Flugzeughersteller*in erstellt und ist gegebenenfalls mit dieser Checkliste auf Abweichungen zu prüfen und ergänzend durchzuführen, um einen einwandfreien und sicheren Betrieb des Flugzeugs zu gewährleisten (Baden-Württembergischer Luftfahrtverband e.V., 2014, 2020).

Näherer Kontakt zu dem*der Flugzeughersteller*in ist zu empfehlen, um aktuelle Informationen über das Flugzeug zu erhalten (Piper Aircraft Corp., 1995).

C.3 Berechtigung

Der*die Flugzeughalter*in ist berechtigt kleinere Tätigkeiten zur Wartung oder Instandhaltung durchzuführen. Diese können der Tausch von Bauteilen gegen Originalteile und kleinere Ausbesserungen an Flügel und Propeller sein.

Große Ausbesserungen oder der Tausch von Bauteilen, gegen nicht genehmigte Bauteile, müssen durch dafür ausgewiesenes Fachpersonal erfolgen und sind unter Umständen genehmigungspflichtig (Piper Aircraft Corp., 1995).

Im Zweifel, ob eine Arbeit am Flugzeug durch Halter*in erfolgen darf, ist Fachpersonal zu Rate zu ziehen (Unbekannt, 2015).

Es muss eine jährliche Inspektion durch einen dafür genehmigten Instandhaltungsbetrieb oder die Flugzeughersteller*in erfolgen (Aeroprakt Ltd, 2017).

C.4 Durchzuführende Aufgaben

Die durchzuführenden Aufgaben sind nach einzelnen Bauteilen oder Bauteilgruppen untergliedert. Beim Bearbeiten dieser Aufgaben sollte immer auf besondere oder

außergewöhnliche Auffälligkeiten geachtet werden. Auffälligkeiten und durchgeführte Arbeiten sind gegebenenfalls zu dokumentieren.

C.5 Flugzeugaufbau

Liegt das Flugzeug in einzelnen Baugruppen vor, so muss dieses aufgerüstet werden. Dabei werden bei Segelflugzeugen beispielsweise Flügel oder Höhenleitwerk an dem Rumpf montiert. Dies muss nach dem im Flugzeughandbuch angegebenen Aufbauschema erfolgen und kann sich je nach Flugzeugtyp unterscheiden.

Ist das Flugzeug vollständig montiert, ist die Flugzeugstruktur, insbesondere Bauteilen, die während dem Flug oder der Landung stark belastet werden, zu überprüfen (Aeroprakt Ltd, 2017; Comco Ikarus GmbH, 2020).

Haube/Türen

Haube und Türen sind jeweils zu öffnen und schließen. Dabei sollten die Bauelemente eine gute Leichtgängigkeit der Führungen und Gasdruckdämpfer aufweisen. Bei Defekt können diese durch den*die Halter*in ersetzt werden. Das Wischerblatt der Frontscheibenwischer sind zu ersetzen, wenn die Wischwirkung unzureichend ist. Die Verriegelungen der Türen und Hauben müssen leicht, spielfrei und sicher schließen (AERO Club der Schweiz, n.d.; Aeroprakt Ltd, 2017; Itb nord, n.d.).

Kabine

Die Kabine ist auf Sauberkeit und Beschädigungen zu sichten. Sitze dürfen bei Beschädigung durch Pilot*in oder Halter*in ersetzt werden, sofern keine Teile der Primärstruktur dafür ausgebaut werden müssen (Comco Ikarus GmbH, 2019).

Anschnallgurte

Die Anschnallgurte dürfen keine ausgefransten, brüchigen oder eingerissenen Stellen aufweisen. Außerdem sind diese auf einen festen Sitz hin zu prüfen. Bei defekt dürfen Sicherheitsgurte ohne Airbag vom Piloten ersetzt werden. Sicherheitsgurte mit Airbag sind von einem ausgezeichneten Reparaturbetrieb oder der Herstellerfirma wechseln zu lassen (Itb nord, n.d.).

Fahrtmesser

Am Fahrtmesser ist eine Funktionsprüfung und eine Dichtprüfung durchzuführen. Sollten diese Prüfungen ein fehlerhaftes Ergebnis liefern, ist eine Überholung des Fahrtmessers notwendig. Eine Wartung ist nach der Wartungsanweisung des Fahrtmessers durchzuführen. Die Druckentnahmestellen sind auf Sauberkeit, die die Leitungen auf Dichtigkeit zu kontrollieren (Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015; Rat der Europäischen Union, 2016; segelflug.de, 2012).

Höhenmesser

Am Höhenmesser sind eine Funktionsprüfung und eine Dichtprüfung durchzuführen. Sollten diese ein fehlerhaftes Ergebnis liefern, ist eine Überholung des Höhenmessers notwendig. Eine Wartung ist nach der Wartungsanweisung des Fahrtmessers durchzuführen (Itb nord, n.d.; Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015; Rat der Europäischen Union, 2016; segelflug.de, 2012).

Variometer

Am Variometer sind eine Funktionsprüfung und eine Dichtprüfung durchzuführen. Sollten diese ein fehlerhaftes Ergebnis liefern, ist eine Überholung des Variometers notwendig. Die

Düsen des Variometers dürfen Aus- und Wiedereingebaut werden (ltb nord, n.d.; Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015).

Elektrische Ausrüstung

Batterien und Solarpaneele müssen gewartet und gegebenenfalls ersetzt werden. Defekte Masseleitungen müssen ersetzt werden. Defekte Sicherungen müssen ersetzt werden (ltb nord, n.d.; Rat der Europäischen Union, 2016).

Navigationssystem

Die Software des Navigationssystems muss aktualisiert werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.; Rat der Europäischen Union, 2016).

Instrumentenbrett

Schwingungs- und Schockdämpfer müssen überprüft werden und bei nicht ausreichend guter Funktion gewechselt werden. Wasserbehälter im statischen System müssen gewechselt oder entleert werden, sowie defekte Schlauchleitungen gewechselt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Funkanlage

Geräte, die sich in einem Gehäuse befinden und Frontpanelinstrumente mit Schnellsteckverbindung, dürfen ausgebaut und ersetzt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Kompass

Der Kompass muss auf Funktion überprüft werden und bei nicht sachgemäßer Funktion überholt werden. Abweichungen >5 Grad müssen kompensiert werden und anschließend ein Kompensierbericht und eine Deviationstabelle erstellt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Fremdkörperkontrolle

Der Flugzeuginnenraum ist auf Fremdkörper zu untersuchen, die nicht zu allgemeinen Flugzeugausrüstung gehören. Diese Objekte müssen im Anschluss entfernt werden (Grob Werke GmbH & Co. KG, 1980).

Steuerung (Pedale, Steuerknüppel)

Die Steuerung muss einer Sichtkontrolle unterzogen und auf Funktion überprüft werden. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Steuerelemente sich frei bewegen lassen und kein Widerstand beim Bewegen der Steuerelemente besteht (Comco Ikarus GmbH, 2006; ltb nord, n.d.).

Fußsteuerung und Copiloten-Knüppel, dürfen aus- und wiedeingebaut werden, sofern diese mit Schnellverschlüssen versehen sind. Die Kugelgelenke der Steuerungselemente an Pedal, Steuerknüppeln und Lenkstangen sind zu reinigen, fetten und zu sichern. Die Gelenkköpfe dürfen kein Spiel aufweisen. Kugel- und Gabelgelenke an allen Querruderstoßstangen sind zu reinigen, fetten und zu sichern. Diese dürfen auch kein Spiel (AERO Club der Schweiz, n.d.; Comco Ikarus GmbH, 2006; ltb nord, n.d.; Rat der Europäischen Union, 2016).

Die Querruderwaage ist auf Leichtgängigkeit und Seilspannung sind zu prüfen. Bei schwerem Gang sind Gleitlager auszuwaschen und zu fetten. Die Seilspannung muss eingestellt werden (Comco Ikarus GmbH, 2006).

Steuerflächen

Das Spiel im Steuersystem in der Verbindung zwischen Tragflächen und Rumpf muss gemessen und anschließend durch vom herstellenden Unternehmen bereitgestellte Mittel beseitigt werden (ltb nord, n.d.).

Die Steuerflächen sind auf einen einwandfreien Zustand, richtige Ausschläge und Befestigung zu prüfen (Aeroprakt Ltd, 2017).

Fahrwerkkräder

Der Luftdruck der Fahrwerkkräder ist zu überprüfen. Es muss auf das Vorhandensein von ausreichend Reifenprofil geachtet werden. Die Reifen dürfen keine Beschädigungen wie Risse aufweisen (Comco Ikarus GmbH, 2019; Piper Aircraft Corp., 1995).

Gegebenenfalls ist ein Neuauswuchten der Bereifung notwendig (Piper Aircraft Corp., 1995).

Die Reifen müssen bei Defekt ausgebaut, ersetzt, gewartet, wiedereingebaut werden, sowie die Radlager gewechselt und geschmiert werden (Piper Aircraft Corp., 1995).

Die Bugradlager an den Bugrädern sind mit einer Fettpresse über oberen und unteren Schmiernippel abzusmieren (ltb nord, n.d.).

Radbremse

Die Radbremse ist auf Funktion zu prüfen. Ist nicht ausreichend Bremsbelag auf den Reifen, müssen die Beläge gewechselt werden. Die Bowdenzüge müssen eingestellt werden (Aeroprakt Ltd, 2017; ltb nord, n.d.)

Bei Hydraulikbremsen muss gegebenenfalls Hydraulikflüssigkeit nachgefüllt werden (Piper Aircraft Corp., 1995).

Fahrwerk

Das Fahrwerk muss überprüft werden und darf keine Beschädigungen, Spiel oder Risse insbesondere an den Aufnahmestellen aufweisen. Außerdem muss die Funktion des Fahrwerks festgestellt werden. Hydraulikflüssigkeit ist aufzufüllen. An den Stoßdämpfern müssen die Elastikbänder und/oder Gummidämpfer getauscht werden. Verbindungselemente an Längslenker und Schwingachse sind zu kontrollieren. Kugelgelenke, Schrauben, Radschuhe und Radschuhhalterungen sind auf festen Sitz und Verschluss zu prüfen (The Cessna Aircraft Company, 1998).

Die Federbeine müssen mit Luft oder Öl wieder befüllt und Federn ersetzt werden (Piper Aircraft Corp., 1995).

Das Bugfahrwerk darf nicht deformiert sein und muss freigängig in Dreh- und Federrichtung laufen. Der Festsitz der Radverkleidung muss festgestellt werden (Aeroprakt Ltd, 2017; ltb nord, n.d.).

Schleppen und Schleppkupplung

Die Schleppkupplung, Seilzug- und Seilabwurfmechanismen müssen gereinigt und geschmiert werden, sowie das Schleppseil und beschädigte Verbindungselemente ersetzt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Sicherheitskupplungen

Funktions- und Sichtkontrolle sind durchzuführen, sowie eine Prüfung auf Korrosion, Sauberkeit und Verschleiß muss durchgeführt werden. Eine Überholung erfolgt durch die herstellenden

Unternehmen (Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015; Rat der Europäischen Union, 2016; segelflug.de, 2012).

Querruder, Höhenruder, und Tragflächen (Flügel)

Die Aufnahmestellen der Tragflächen, Höhenruders und Querruder sind auf eine gute Oberfläche, Rissbildung, Beschädigung und Spiel zu untersuchen. Bei Auffälligkeiten sollten diese durch einen Reparaturbetrieb wieder instandgesetzt werden (Aeroprakt Ltd, 2017; Comco Ikarus GmbH, 2019). Innere Abspannseile sind auf Spannung zu prüfen (Comco Ikarus GmbH, 2006). Die Bremsklappen müssen auf Zustand, Passung und Verriegelung geprüft werden (Grob Werke GmbH & Co. KG, 1980).

Ruder und Ruderanschlüsse

Die Ruder (Seitenruder, Höhenruder, Querruder) müssen leichtgängig zu bewegen sein. Außerdem sind alle Rudergelenke, Kontermuttern und Bowdenzug-Einstellschrauben zu überprüfen (Comco Ikarus GmbH, 2006; segelflug.de, 2012). Die Seitenruderbowdenzugkabel am Austritt aus den Einstellschrauben sind auf Verschleiß zu überprüfen und einzufetten (Comco Ikarus GmbH, 2006). Lager und Lagerbock der Höhenruderumlenkung sind auf festen Sitz, Leichtgängigkeit und Verschleiß zu überprüfen. Die Gleitlager müssen ggf. ausgewaschen und neu gefettet werden (Comco Ikarus GmbH, 2006). Die Rudereinstellung ist nach Flughandbuch vorzunehmen (Comco Ikarus GmbH, 2006).

Rumpf

An Bezügen und Einbauten dürfen kleine Reparaturen, die nicht den Ausbau von Primärstrukturen oder der Steuerung bedingen oder mit dieser kollidieren, durchgeführt werden. Der Rumpf ist auf Beschädigungen, Rissbildung und eine gute Oberfläche zu prüfen (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Spornklotz, Staurohr, Kompensationsdüse

Spornklotz, Staurohr und Kompensationsdüse sind auf Funktion zu prüfen (Grob Werke GmbH & Co. KG, 1980).

Statische Druckbohrungen

Die statischen Druckbohrungen sind auf Sauberkeit zu prüfen (Grob Werke GmbH & Co. KG, 1980).

Befestigungselemente

Defekte Sicherheitsdrähte, Camlockmuttern, Annetbuchsen und Splinte müssen ersetzt werden. Alle Befestigungselemente sind zu überprüfen. Dazu gehören unter anderem Muttern, Splinte und Schrauben (Aeroprakt Ltd, 2017; ltb nord, n.d.; Unbekannt, 2015).

Steuerseile und Steuerstangen

Die Steuerseile und Steuerstangen sind auf Leichtgängigkeit, Spiel, Beschädigung oder Scheuerstellen zu prüfen. Kontermuttern sind auf einen festen Sitz zu prüfen (Comco Ikarus GmbH, 2006, 2019; ltb nord, n.d.).

Äußere Struktur

Es dürfen Lackbeschichtungen wiederaufgebracht werden, wenn keine Primärstruktur oder Steuerungsteile entfernt werden müssen. Die Farbe darf durch ein Oberflächenfinish wiederhergestellt werden, wenn keine Primärstrukturen oder Steuerungsteile entfernt werden müssen. Es dürfen einfache Reparaturen von nicht zur Struktur gehörenden Verkleidungen und Abdeckungen durchgeführt werden, wenn die Kontur dabei nicht geändert wird. Außerdem ist

die Metallstruktur auf Lackschäden, Korrosion und die Beplankung zu überprüfen. Liegt Korrosion vor, ist das Metall davon zu befreien und neu zu (AERO Club der Schweiz, n.d.; Aeroprakt Ltd, 2017; Comco Ikarus GmbH, 2019; ltb nord, n.d.).

Mindestausrüstung

Die Mindestausrüstung des Flugzeuges muss vorhanden sein. Diese ist im Flughandbuch zu finden. Tragbare Flaschen und Systeme in zugelassenen Halterungen des Sauerstoffsystems müssen ersetzt werden, außer es handelt sich um fest installierte Flaschen und Systeme. Bremsschirme müssen installiert und gewartet werden. Der automatische Notsenden muss aus und Wiedereingebaut werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Reinigung

Nase, Bespannung, Propeller und der Innenraum sind zu reinigen. Für die Außenreinigung ist kein stark saures, basisches oder aggressives Reinigungsmittel zulässig. Zur Entfernung von Fliegenresten oder Schmutz eignet sich Wasser mit beigemischttem Reinigungswachs. Zur Lackpflege werden Kfz-übliche Pflegemittel empfohlen (Aeroprakt Ltd, 2017; ltb nord, n.d.; Piper Aircraft Corp., 1995).

Markierungen

Schilder, Markierungen und Aufkleber müssen gemäß Flug- und Wartungshandbuch erneuert werden. Leuchten, Reflektoren, Birnen oder Linsen müssen bei Defekt im Flugzeuginneren und -äußeren ersetzt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.).

Bewegliche Komponenten

Schmierung von Bauteilen, bei denen nur nicht tragende Abdeckungen, Verkleidungen entfernt werden müssen (AERO Club der Schweiz, n.d.; ltb nord, n.d.; Rat der Europäischen Union, 2016; segelflug.de, 2012).

Klimaanlage

Beschädigte Schläuche und Kanäle sind zu ersetzen (AERO Club der Schweiz, n.d.).

Wägung

Die Schwerpunktlage des Flugzeugs ist zu ermitteln. Die Ermittlung ist je nach Flugzeugtyp unterschiedlich und kann deshalb im Flughandbuch nachgelesen werden. Bei starken Abweichungen des Schwerpunktes vom Sollwert, ist dieser zu korrigieren und neu zu ermitteln. Die Wägung ist zu dokumentieren (Grob Werke GmbH & Co. KG, 1980; ltb nord, n.d.; Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015; Rat der Europäischen Union, 2016; segelflug.de, 2012).

Energieversorgung

Batterien, ausgenommen NiCd-Batterien und IFR-Betrieb, dürfen ersetzt und zum Service gegeben werden.

Kabel der nicht kritischen Ausrüstung, außer Zündung, Generatorsystem und essentieller Kommunikations-, Navigations-, und Primär-Anzeigen dürfen repariert werden.

Gebrochene Erdungskabel und Sicherungen sind zu ersetzen (ltb nord, n.d.; Luftsport Service-Center Ost GmbH, 2015; Piper Aircraft Corp., 1995).

Kraftstoffversorgung

Die Kraftstofffilter müssen gereinigt oder ersetzt werden. Beim Reinigen ist besonders darauf zu achten, dass der Filter nicht beschädigt wird. Das Filtergehäuse ist mit einem bleifreien Benzingetränkten Lappen auszuwischen. Nach Reinigung und Trocknung können die Bauteile

wieder in das Filtergehäuse eingesetzt werden. Die Kraftstofffilter befinden sich üblicherweise in der elektrischen Kraftstoffpumpe und im Vergasereinlass. Andere Filterpositionen sind dem Flughandbuch zu entnehmen (AERO Club der Schweiz, n.d.; Piper Aircraft Corp., 1995).

Ölsystem

Siebe und Filter sind zu reinigen oder zu ersetzen. Motor- und Getriebeöl sind zu ersetzen oder aufzufüllen (AERO Club der Schweiz, n.d.; Piper Aircraft Corp., 1995; The Cessna Aircraft Company, 1998).

Propeller

Der Spinner darf durch Pilot*in oder Halter*in aus- und wiedereingebaut werden. Der Propeller ist auf Beschädigungen, Rissbildung, Schrammen, Oberfläche und sonstige Auffälligkeiten zu überprüfen und bei kleinen Mängeln auszubessern. Der Propeller sollte mit einem öligen Tuch abgewischt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; Aeroprakt Ltd, 2017; Comco Ikarus GmbH, 2019; The Cessna Aircraft Company, 1998).

Triebwerke

Das Cowling darf ab- und angebaut werden, solange Propeller und Steuerungsteile nicht entfernt werden müssen. Außerdem sind Cowlingschnellverschlüsse auf Zustand und Funktion zu prüfen (AERO Club der Schweiz, n.d.).

Das Ansaugsystem des Luftfilters muss inspiziert und ggf. bei Verschmutzung oder Beschädigungen ersetzt werden. Die Ansaugluftführung muss festsitzen. Der Luftfilter ist zu reinigen oder bei starker Verschmutzung zu ersetzen. Das Filtergehäuse ist mit einem in bleifreiem Benzin getränkten Lappen auszuwischen. Nach dem Trocknen der Bauteile können diese wieder in das Filtergehäuse eingebaut werden. Dies erfolgt in umgekehrter Reihenfolge zum Ausbau (AERO Club der Schweiz, n.d.; Piper Aircraft Corp., 1995).

Der Chipdetektor darf durch Halter*in ausgebaut, geprüft und wiedereingebaut werden, sofern er selbstabdichtend und ohne elektrische Anzeige ist (AERO Club der Schweiz, n.d.). Zündkerzen sind auszubauen, zu reinigen, einzustellen, ggf. zu ersetzen und wieder einzubauen (AERO Club der Schweiz, n.d.). Kühlflüssigkeit ist aufzufüllen (Comco Ikarus GmbH, 2019). Des Weiteren muss das Triebwerk gemäß Wartungshandbuch des Motorherstellers gewartet werden (The Cessna Aircraft Company, 1998).

Der Motorträger und alle Träger der Triebwerkselemente sind einer Sichtprüfung zu unterziehen. Schwinggummis am Motorträger sind als Alterungsschutz mit Vaseline einzureiben. Die Schweißnähte an Schalldämpfer und Abgaskrümmen sind auf Rissbildung zu überprüfen. Falls vorhanden, muss die Riemenspannung geprüft und nachgespannt werden (AERO Club der Schweiz, n.d.; Aeroprakt Ltd, 2017; Comco Ikarus GmbH, 2006; Unbekannt, 2015).

Während der Reinigung des Triebwerkraumes sind die Lüftungsöffnungen der Zündmagnete mit Klebeband zu verschließen. Es wird eine große Wanne unter das Triebwerk gestellt. Nun ist das Triebwerk mit Reinigungsmittel einzusprühen und abzubürsten, um Schmutz- und Fettablagerungen zu entfernen. Das Lösungsmittel darf nicht in den Wechselstromgenerator, die Unterdruckpumpe, Anlasser oder Luftansaugöffnungen gesprüht werden. Wenn das Lösungsmittel vollständig verdunstet ist, darf die Abklebung abgenommen werden und das Triebwerk wieder in Betrieb genommen werden. Die Steuer- und Bedienorgane sind nach Schmierplan abzuschmieren (Piper Aircraft Corp., 1995; The Cessna Aircraft Company, 1998).

D Anhang – Beispiele für Software-Lösungen aus anderen Branchen

D.1 Der Digitale Produktpass in der Baubranche

Wie in Kapitel 5.2.1.4 erwähnt, gibt es in einigen Branchen in Europa bereits Rahmenbedingungen und einen Druck zur Umsetzung des Digitalen Produktpass. Dazu gehören die Batterie-, Textil-, Bau-, Elektroschrott-, Plastik-, Chemie- und Automobilbranche. Die Bundesregierung unterstützt die Nutzer*innen-orientierte Entwicklung von Ideen mit öffentlichen Fördermitteln und Ideen (bspw. (BMUV, 2022b)). Eine Liste über Initiativen weltweit, in denen der Digitale Produktpass für verschiedene Bereiche konzipiert und eingeführt wird, wurde außerdem vom Wuppertal Institut veröffentlicht (Jansen et al., 2022). Dabei werden viele der aufgeführten Initiativen aus Nord- und Zentraleuropa und speziell Deutschland getrieben und reichen über verschiedene Branchen, wie die Automobil-, Lebensmittel-, Immobilien- und Textilbranche. Darüber hinaus sind vereinzelt Initiativen gelistet, die Produkte aus FVW betreffen, wie bspw. die Initiative eines Fahrrad-Verleihunternehmens zur Erstellung eines Passes zum Nachverfolgen der einzelnen Bauteile für Fahrräder (Swapfiets GmbH).

In der Baubranche entstehen private digitale Lösungen durch den bestehenden Ressourcenmangel, der die Nachfrage nach rückgebauten Materialien erhöht, sowie die erwarteten regulatorischen Änderungen und Verpflichtungen im Bereich Rückbau und Nachhaltigkeits-Berichterstattung in der Branche. Folglich entstehen diverse Initiativen, die sich an die Akteur*innen im Lebenszyklus von Gebäuden richten und die Stoffstromlenkung zurück zu den Herstellern von in Gebäuden verbauten Produkten und Materialien erleichtern soll.

Im Folgenden sollen die Kriterien und Anreizsysteme anhand zwei bestehender Lösungen in der Baubranche skizziert werden.

Kriterien 1 und 2: In die Software werden üblicherweise vorhandene digitale Modelle von Gebäuden (bspw. BIM) über Schnittstellen durch Bauunternehmen oder Architekturbüros hochgeladen, die die Grunddaten der Gebäude abbilden (bspw. Maße). Einzelne Anbieter bieten auch den Upload von Daten bestehender Gebäude über eine App (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022). Dazu werden Produktdatenbanken aufgebaut, die die Basisdaten von Produkten (bspw. Wände, Fenster, Türen) und verbaute Materialien (bspw. Beton, Kunststoff) in den Gebäuden erfassen. Dazu gehören beispielsweise das Volumen und die Stückzahl von verbauten Produkten in Gebäuden. Verschiedene Software-Anbieter erfassen hier eine unterschiedliche Granularität an Daten, bspw. in welchem Stockwerk und auf welcher Höhe Produkte verbaut sind (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022). Sind keine Basisdaten von Produkten vorhanden und werden von Produktherstellungsbetriebe nicht mitgeliefert, so können teilweise über Schnittstellen Referenzdatenbanken verknüpft werden, die die Standardbeschreibung der Produkte enthalten (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022).

Kriterien 3 und 4: Die eindeutige Produktidentifikation kann bei Gebäuden durch die besonderen Eigenschaften der Standhaftigkeit über die physische Adresse abgebildet werden. Darüber hinaus werden Daten der Eigentümer*innen hinterlegt, bspw. E-Mail-Adresse und Vor- und Nachname. Diese werden nur sporadisch aktualisiert, bspw. wenn Sanierungsarbeiten anstehen (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022).

Kriterium 5: Regulatorische Änderungen und Informationen, die bspw. zum Nachweis bei Behörden oder für das Nachhaltigkeits-Reporting relevant sind, können gesammelt und aktualisiert werden.

Kriterien 6 und 7: Zur Registrierung von Recyclingnetzwerken und Verwertern bestehen unterschiedliche Reifegrade bei Anbietern; generell wird der Nutzen erkannt und ein Aufführen der Informationen angestrebt. Betriebe könnten einen Anreiz im vereinfachten Zugang zu Materialien sehen, die über die Plattform gelistet und verortet werden (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022). Ein Anbieter berichtet, dass Recyclingbetriebe und Verwerter großes Interesse an der Plattform und dem Zugang zum Sekundärmarkt sehen. Interessierte Betriebe werden in einem Gespräch in die Funktionen der Plattform eingewiesen (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022).

Kriterien 8, 9 und 10: In der Baubranche sind Handbücher, Demontageprotokolle oder Reparaturhinweise nicht üblich. Jedoch sollen laut der Baufachlichen Richtlinien Recycling (BFR Recycling, 4.2 - Rückbauplanung) Planungsabschnitte zu definieren; die Dokumentation könnten laut Branchenexpert*innen in Zukunft verpflichtenden Charakter erreichen (Input Software-Anbieter Baubranche 1 und 2, 2022). Beide untersuchten Anbieter bieten in einem „Datenraum“ die Möglichkeit, vorhandene Dokumente zu hinterlegen, wodurch auch zukünftig entstehende Dokumente hier Einzug finden können.

Kriterien 11, 12 und 13: Durch die Langlebigkeit der Branche werden einzelne Baumaßnahmen, die nicht grundlegend etwas an der Gebäudezusammensetzung ändern, oft nicht erfasst. Jedoch können hinterlegte Baupläne von Architektur- und Bauplanungsbüros für Änderungspläne als Grundlage genutzt werden (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022). Werden entsprechende Büros mit großen baulichen Veränderungen beauftragt, werden diese normalerweise im Interesse der Eigentümer*innen auch in der Plattform dokumentiert: Nur so kann der Wiederverkaufswert zuverlässig errechnet und aktuell abgebildet werden (Input Software-Anbieter Baubranche 1 und 2, 2022).

Kriterien 14, 15, 16, 17 und 18: Generell bieten die Anbieter unterschiedliche Ebenen einer Handelsplattform an: Während ein Anbieter den Kontakt zu Verkäufer*innen nach Zustimmung derselbigen durch den Austausch von E-Mail-Adressen herstellen kann, sieht er sich jedoch selbst als Informations- und nicht als Handelsplattform (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022), sieht das Geschäftsmodell eines zweiten Anbieters die Vermittlung und den Verkauf von Produkten und Materialien über die Plattform integral vor. Durch Provisionen über verkaufte Produkte und Materialien ist das Geschäft profitabel (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022).

Kriterien 19, 20, 21 und 22: Über entsprechende Schnittstellen können BIM-Modelle, Excel-Dateien oder Referenzdatenbanken verknüpft werden. Zugriffe werden selektiv je nach Nutzer*innen-Profil gesteuert, meist müssen sich diese davor registrieren und in einen geschützten Bereich einloggen, um Zugriff auf entsprechende Daten zu erhalten (Input Software-Anbieter Baubranche 1 und 2, 2022).

Kriterium 23: Beide betrachteten Plattformen stellen Materialpässe bzw. Gebäudepässe für die verwendeten Materialien in Gebäuden automatisiert her. Dadurch sind die Informationen pro Gebäude bzw. pro Material in den Plattformen einsehbar. Ein Anbieter stellt dafür digitale Zwillinge zur Verfügung (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022). Ein zweiter Anbieter berichtet, dass viele Produkte schon mit physischen Merkmalen zur Identifizierung ausgestattet sind, vor allem QR- oder Barcodes bzw. Zahlencodes in Lieferscheinen (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022).

Kriterium 24: Die Verpflichtungen und Regulierungen in der Baubranche führen zu einer erhöhten Nachfrage und Nutzung der Plattformen. Eine Plattform stellt für Politik, Forschung und andere Stakeholder auch aggregierte und anonymisierte Formate zur Verfügung, die diese für Auswertungen nutzen können (Input Software-Anbieter Baubranche 1, 2022). Außerdem

werden Verknüpfungen zu anderen Dienstleistungen geschaffen, wie bspw. die automatisierte Erstellung von ESG-Berichten oder anderen Nachhaltigkeitsstandards (Input Software-Anbieter Baubranche 2, 2022).

D.2 Software aus der Automobil-Branche

In der Automobilbranche haben sich seit Jahren digitale Lösungen als Branchenstandard entwickelt, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen. Es ist allerdings zu beachten, dass diese ggf. nicht auf die in diesem Vorhaben betrachteten Produkte übertragbar sind:

- ▶ Die Mengen an Abfall, die bei Sportbooten anfallen, sind deutlich geringer (Input Recyclingunternehmen Boote, 2022), entsprechend sind Investitionskosten in Lösungen sowie die Vielzahl der Akteur*innen auf einem niedrigeren Niveau;
- ▶ Die rechtlichen Regulierungen in der Automobilbranche sind in Bezug auf Recycling durch die erweiterte Herstellerverantwortung stark reglementiert;
- ▶ Automobilzulieferer gehen oft langfristige Verträge mit Automobilbauern ein und unterliegen rechtlichen Berichtsansforderungen;
- ▶ Die betrachteten Produkte in diesem Vorhaben, vor allem Sportboote, werden meist nicht in Serienproduktion hergestellt, was entsprechend standardisierte Dokumentationen erschwert.

Das Konzept von zwei Software-Lösungen aus der Automobilbranche, die sich zu einer Art Branchen-Standard etabliert haben, sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

International Material Data System (IMDS)

IMDS ist ein herstellerübergreifendes Materialdatensystem der Automobilindustrie. Ursprünglich wurde IMDS Ende der 1990er Jahre von einigen europäischen Fahrzeugherstellern entwickelt. Heute sind nahezu alle globalen Erstausrüster (Hersteller*innen von Komponenten und Produkten) bzw. Fahrzeughersteller*innen auf der Plattform vertreten; mehr als 630.000 registrierte Nutzer*innen aus 190.000 Unternehmen werden aktuell gezählt. Der Anreiz für die Automobilbauer zur Etablierung des Systems lag in den Normen, Gesetzen und Vorschriften, die durch europäische und internationale Institutionen auferlegt werden. Durch die Dokumentation von Daten über die verwendeten Materialien in IMDS können Informationen entlang der Lieferkette bereitgestellt und entsprechende Berichtspflichten erfüllt werden. IMDS hat sich als Branchenstandard etabliert; auch der Verband der Automobilindustrie VdA empfiehlt die Verwendung des IMDS in seinen Richtlinien (Input Software-Anbieter Automobilbranche, 2022).

Auf der Plattform werden Daten zu im Automobilbau verwendeten Teilen, Werkstoffen und chemischen Substanzen gesammelt, gepflegt, mit weiteren Informationen verknüpft und archiviert. Mittlerweile sind über 93 Millionen Materialdatenblätter auf der Plattform hinterlegt. Automobilbauer erhalten so ihren Zulieferern vollständige Daten über die Materialien und die Struktur der Komponenten und Bauteile, die an sie übergeben werden. Diese werden pro Baureihe erhoben und sind nicht auf individueller Produktebene vorgesehen; sie beziehen sich folglich auf den Zustand im Produktionszeitraum, ohne individuelle Veränderungen nach der Produktion (bspw. Ausbau oder Ersatz von Teilen) weiter zu dokumentieren. Dabei sind die Zugriffsrechte für die unterschiedlichen Nutzer*innengruppen entsprechend definiert, sodass die Lieferketten an sich nicht transparent werden. Wettbewerbsrelevante Informationen sind grundsätzlich nicht zulässig. Die Materialien werden mit Informationen zu Normen und

Gesetzgebungen verknüpft, die relevante Informationen zum Umgang mit Altfahrzeugen an deren Lebensende beinhalten.

Die Daten können über eine zentrale Webapplikation von registrierten Nutzer*innen abgerufen werden. Schnittstellen zu EH&S, PDM, PLM und ERP Systemen der Nutzer*innen können eingerichtet werden. Der Service finanziert sich über Lizenzen und Dienstleistungsvereinbarungen der Automobilbauer mit dem IT-Anbieter. Zulieferer erhalten freien Zugang zur Plattform, solange sie Teil der Lieferkette eines Automobilbauers sind, der auf IMDS registriert ist.

In Bezug auf den Digitalen Produktpass können in der Plattform bereits umfangreiche, aber nicht alle Daten abgebildet werden, die durch eine solche Verpflichtung auf Automobilbauer möglicherweise zukommen werden. Eine Weiterentwicklung in diesem Bereich ist möglich und je nach politischer Ausgestaltung auch wahrscheinlich (Input Software-Anbieter Automobilbranche, 2022).

In Bezug auf die vorgestellten Datenkonzepte ist das IMDS inhaltlich vor allem den **Kriterien 1, 2 und 5** ähnlich.

International Dismantling Information System (IDIS)

Das IDIS wurde von der Automobilindustrie entwickelt, um gesetzlichen Verpflichtungen entstehend aus dem Altfahrzeuggesetz zu erfüllen. Auf IDIS sind Informationen zur Handhabung und der Demontage von Altfahrzeugen, inklusive Elektroautos, von Automobilbauern hinterlegt. Mittlerweile sind fast 3.000 verschiedene Modelle hinterlegt sowie Varianten von 85 Marken. Autorisierte Verwerter können so kostenlos auf einer zentralen Informationsplattform modellspezifische Daten abrufen, die am Lebensende eines Fahrzeugs für die umweltgerechte und effiziente Bearbeitung relevant sind.

In der Plattform können registrierte Nutzer*innen Fotos und Grafiken von ausgewählten Modellen einsehen. In vereinfachten Anleitungen ist einsehbar, welche Komponenten und Bauteile in welchen Bereichen im Auto verbaut sind. Zu den einzelnen Komponenten sind Informationen zu den verwendeten Werkstoffen sowie Basisdaten (bspw. Gewicht) einsehbar. Außerdem können Sicherheitsdokumente erstellt werden, die zur Vorbehandlung, Demontage und der Entnahme von Flüssigkeiten oder dem Umgang mit sicherheitsrelevanten Bauteilen für Techniker*innen von Relevanz sein können (bspw. zum sicheren Umgang mit Hochvolt oder Pyrotechnik). Kritische Stimmen merken an, dass das IDIS zu wenige Details abbildet, um das fachgerechte Recycling und den Umgang mit Altfahrzeugen gemäß den rechtlichen Vorschriften sicherzustellen (Institut für Wirtschaft und Umwelt e.V., 2020).

In Bezug auf die vorgestellten Datenkonzepte ist das IMDS inhaltlich vor allem den **Kriterien 1, 2, 8, 9 und 10** ähnlich.