TEXTE
60/2023

Prüfung der Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren

Abschlussbericht

von:
Dr. Ralf Brüning, Julia Wolf, Florian Piehl
Dr. Brüning Engineering UG, Brake
Dr. Stephan Löhle, Ute Schmiedel, Dr. Martina Kerkhoff
cyclos GmbH, Osnabrück

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 60/2023

Projektnummer 141139
FB001108

Prüfung der Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren

Abschlussbericht

von

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

Dr. Stephan Löhle, Ute Schmiedel, Dr. Martina Kerkhoff
cyclos GmbH, Osnabrück

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

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
Dr. Brüning Engineering UG
Kirchenstr. 26
26919 Brake

Abschlussdatum:
Dezember 2022

Redaktion:
Fachgebiet III 1.2 Produktverantwortung – Elektrogeräte, Fahrzeuge und Batterien
Axel Strobelt

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: Prüfung der Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren (LIB)

Akteure und Anlagenbetreiber aus der Kreislaufwirtschaft berichten vermehrt von vorkommenden Bränden in Abfallsortier- und –behandlungsanlagen. Von den Meldungen betroffen sind verschiedene Abfallströme wie beispielsweise Elektroaltgeräte, Verpackungen, Restabfall/Sperrmüll, Mischschrott, Papier und Alttextilien. Berichten zu folge, kommt es in Deutschland annähernd jede Woche in Abfallsammelbehältnissen bzw. beim Abfalltransport – z.B. in Erstbehandlungsanlagen für Elektroaltgeräte – zu einem Brandereignis. Diese Brandereignisse können unter anderem auf eine fehlerhafte Erfassung und anschließende Entsorgung von LIB (Lithium-Ionen-Batterien) bzw. in Elektroaltgeräte enthaltende LIB zurückgeführt werden. In Verbindung mit der zunehmenden Menge an in Verkehr gebrachten lithiumhaltigen (Hochenergie-)Batterien rückt die Thematik der korrekten Zuführung zur Entsorgung bzw. ordnungsgemäßen Erfassung immer stärker in den Fokus und stellt den Auslöser einer kontrovers diskutierten Debatte um beispielsweise die Einführung einer Pfandpflicht für LIB dar. Das Sachverständigengutachten bewertet die Einführung einer Pfandpflicht auf LIB. Es wird untersucht, ob eine in vielen Diskussionen genannte Pfandpflicht auf LIB ein geeignetes Instrument darstellt, um die (frühzeitige) getrennte Erfassung von LIB in erhöhtem Maße sicherzustellen, Brandereignisse entlang der Erfassungs- und Abfallbehandlungskette zu reduzieren bzw. verhindern sowie zur Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien und Altakkumulatoren beitragen kann. Abschließend werden im Rahmen der Ergebnisanalyse Handlungsempfehlungen, Maßnahmen und Alternativen zur Fortentwicklung der Sammlung von LIB benannt und erläutert.

Abstract: Examination of the introduction of a mandatory deposit for lithium-containing batteries and accumulators (LIB)

More and more frequently, stakeholders and plant operators in the circular economy and recycling industry are reporting fires in waste sorting and treatment plants. for various waste streams such as waste electronic and electrical equipment (WEEE), packaging, residual waste/bulky waste, mixed scrap, paper and waste textiles, as well as fires in waste collection containers and during waste transport, both suspected and confirmed as being caused by lithium-containing batteries (LIB). According to reports, there is a fire event in Germany almost every week - e.g. in primary treatment facilities for WEEE - which is attributed, among other things, to incorrect collection and subsequent disposal of LIB and LIB containing WEEE. In conjunction with the increasing amount of lithium-containing (high-energy) batteries placed on the market, the issue of correct feeding for disposal or proper collection is increasingly coming into focus and is the trigger for a controversial debate on a mandatory deposit for LIB. The expert report is intended to evaluate the introduction of a mandatory deposit on LIBs. It will be examined whether a mandatory deposit on LIBs, which is mentioned in many discussions, is a suitable instrument to ensure the (early) separate collection of LIBs to a greater extent, to reduce or prevent fire incidents along the collection and waste treatment chain and can contribute to increasing the collection quantities of waste batteries and accumulators. Finally, within the framework of the results analysis, recommendations for action, measures and alternatives for the further development of the collection of LIBs are named and explained

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 9
Tabellenverzeichnis 11
Abkürzungsverzeichnis 13
Zusammenfassung 15
Summary 27
1 Hintergrund und Projektziel 38
2 Rechtliche Grundlage und Definitionen 40
3 Möglichkeiten, Potenziale und Effektivität der Einführung einer Pfandpflicht auf lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren 42
3.1 Grundprinzipien von Pfandsystemen 43
3.1.1 GP 1: „Eins zu Eins“-Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbrauchern und Vertreibern 43
3.1.2 GP 2: Ausgestaltung und Organisation des Pfandsystems durch Hersteller 45
3.1.3 GP 3: Pfandsystem mit übergeordneter Clearingstelle 46
3.2 Übersicht von Beispielen und artverwandten Pfandsystemen/ Pilotprojekten 49
3.2.1 Verpackungen 49
3.2.2 Batterien 51
3.2.3 Schadstoffhaltige Güter (Elektro(nik)geräte) 56
4 Technische Eigenschaften von LIB 59
4.1 Primärbatterien 59
4.2 Sekundärbatterien 60
4.2.1 Zellchemien 60
4.2.2 Zellformate 62
4.2.3 Gerätebatterien 64
4.2.4 Industriebatterien 66
4.2.4.1 Haushaltsnahe Industriebatterien 66
4.2.4.2 Elektro-Mobilität 70
4.2.4.3 Flurförderzeuge 73
4.2.4.4 Energiespeicher 75
4.2.5 Ausblick auf potentielle weitere Anwendungsfelder 79
5 Fehlwürfe in haushaltsnahen Sammelsystemen 81
5.1 Restabfall – regionale Einzelanalysen 83
5.2 LVP-Abfälle aus der haushaltsnahen Sammlung – regionale Einzelanalysen 85

5.3 Gesamtbetrachtung der regionalen Einzelanalysen und Vergleich mit der bundesweiten Siedlungsrestabfallanalyse ... 86
6 Schadensereignisse durch LIB ... 90
6.1 Entsorgungsbetriebe ... 90
6.2 Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger ... 103
7 Abschätzung in Verkehr gebrachter Mengen ... 104
7.1 Gerätebatterien ... 104
7.1.1 Durchschnittsgewichte ... 104
7.1.2 In Verkehr gebrachte Mengen ... 106
7.2 Industriebatterien ... 110
7.2.1 Haushaltsnahe Industriebatterien ... 110
7.2.2 Elektro-Mobilität ... 111
7.2.3 Flurförderzeuge ... 116
7.2.4 Energiespeicher ... 119
8 Anforderung an und Eignung von Pfandsystemen für das Pfandgut LIB ... 122
8.1 Anforderungen und Kriterien von Pfandsystemen für LIB ... 122
8.2 Weitere Mechanismen bei Pfandsystemen für LIB ... 125
8.3 Hypothesen zur Eignung eines Pfandsystems für LIB ... 128
9 Ergebnisbewertung von Pfandsystemen ... 132
9.1 Vergleichbare Untersuchungen ... 132
9.2 Gerätebatterien ... 136
9.3 Industriebatterien ... 140
9.4 Lenkungsbedürfnis und erzielbare Lenkungswirkung durch ein Pfandsystem ... 143
9.4.1 Gerätebatterien ... 143
9.4.2 Industriebatterien ... 147
10 Fazit ... 151
10.1 Fazit Pfand auf LIB zur Vermeidung von Brandereignissen ... 151
10.2 Mögliche Pfandhöhen auf LIB in ausgewählten Teilsegmenten ... 153
10.3 Weitere Handlungsempfehlungen, Maßnahmen und Alternativen zur Fortentwicklung der Sammlung von LIB ... 154
10.3.1 Organisatorische Maßnahme ... 158
10.3.2 Technische Maßnahmen ... 159
10.3.3 Rechtliche Maßnahmen ... 159
10.3.4 Kommunikative Maßnahmen ... 160
10.3.5 Systemische Maßnahmen ... 163

10.3.6 Erweiternde Maßnahmen 163
11 Quellenverzeichnis 164
A Erfolgskontrollen GRS Batterien (Angaben in kg und Stück) 171
B Erfolgskontrollen weiterer Rücknahmesysteme und errechnete Stückzahlen 176
C Abgeschätzte Steigerungsraten nach Einführung eines Pfandsystems nach Ökoinstitut et al., 2021 181

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abwicklung eines Pfandes bei „Eins zu Eins“-Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie Vertreibern 44
Abbildung 2: Prinzip der Abwicklung eines Pfandes mit Herstellerorganisation 45
Abbildung 3: Prinzip der Abwicklung eines Pfandes mit Clearingstelle 47
Abbildung 4: Pfandsystem für Fahrzeugbatterien gemäß BattG 52
Abbildung 5: Zweckgebundene Abgaben und Vergütungen für NiCd-Batterien in Dänemark 53
Abbildung 6: Prinzip des Rücknahmeprozess über „Pfandautomaten“ 54
Abbildung 7: Prinzip Pfanderhebung bei Mietdauer 55
Abbildung 8: Pfandformular Shiftphone 57
Abbildung 9: Beispiele für Lithium-Primärbatterien 60
Abbildung 10: Rundzelle vom Typ 18650 62
Abbildung 11: Prismatische Batteriezelle 63
Abbildung 12: Flachzellen 63
Abbildung 13: Geöffnete Notebookbatterie mit Rundzellen vom Typ 18650 64
Abbildung 14: Beispiele für LIB aus E-Fahrrädern 67
Abbildung 15: Batteriemodule und Batteriepacks (Elektromobilität) 71
Abbildung 16: Weltweiter Marktanteil [%] von FFZ-Herstellern 2019/2020 74
Abbildung 17: Marktanteile [%] der Hersteller von Heimspeichersystemen in Deutschland 2020 76
Abbildung 18: Beispiel für All-In-One Energiespeichersystem 78
Abbildung 19: Beispiel für Batterie(-module) in einem Energiespeichersystem 79
Abbildung 20: Anzahl Schadensereignisse je Teilnehmerin und Teilnehmer – Entsorgungs-betriebe (n=89) 91
Abbildung 21: Anzahl Schadenereignisse je Jahr – Entsorgungsbetriebe (n=139) 92
Abbildung 22: Anzahl Schadensereignisse je Abfallstrom – Entsorgungsbetriebe (n=139) 93
Abbildung 23: Ort der Schadensauslösung – Entsorgungsbetriebe (n=139) 94
Abbildung 24: Brandklassen der drei größten Schadensereignisse – Entsorgungsbetriebe (n=139) 96
Abbildung 25: Höhen der Schadensereignisse – Entsorgungsbetriebe (n=139) 97
Abbildung 26: Angaben zu Batterien als Schadensauslöser – Entsorgungsbetriebe (n=139) 98
Abbildung 27: Angaben zur Art der Batterie –– Entsorgungsbetriebe (n=139) 99
Abbildung 28: Arten von Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89, Mehrfachnennungen möglich) 100
Abbildung 29: Einmalige Investitionskosten für Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89) 101

Abbildung 30: Wiederkehrende Investitionskosten für Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89) 102
Abbildung 31: Mengen und Aufteilung der lithiumhaltigen Primär- und Sekundärbatterien 2019 107
Abbildung 32: Mengen und Aufteilung der Rund- und Knopfzellen bei lithiumhaltigen Primärbatterien 2019 107
Abbildung 33: Mengen und Aufteilung der Rund- und Knopfzellen bei lithiumhaltigen Sekundärbatterien 2019 108
Abbildung 34: Mengen und Aufteilung der lithiumhaltigen Knopf- und Rundzellen im Jahr 2019 109
Abbildung 35: Verkaufszahlen von Elektro-Fahrrädern in Deutschland pro Jahr [Stück] 111
Abbildung 36: Neuzugelassene Fahrzeuge 2020 (alle Antriebsarten) 112
Abbildung 37: Neu zugelassene Fahrzeuge der Elektro-Mobilität in Deutschland 116
Abbildung 38: Abschätzung ausgelieferte Flurförderzeuge in Deutschland 119
Abbildung 39: Vergleichende Darstellung der Eignung eines Pfandsystems für alle Arten/Typen von LIB und Wirkung auf die Sammelquote 135
Abbildung 40: Eignung eines Pfandsystems für LIB-Industriebatterien in einem Branchensystem 136
Abbildung 41: „Warnsticker“ der BDE Kampagne „Brennpunkt: Batterie“ 162
Abbildung 42: Abgeschätzte Steigerungsraten nach Einführung eines Pfandsystems 181

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele Pfandsysteme für Verpackungen (Mehrwegsysteme) 50
Tabelle 2: Bezeichnung und Eigenschaften von AA und AAA Lithium-Primärbatterien 59
Tabelle 3: Zellchemien und typische Einsatzfelder 61
Tabelle 4: Typische Eigenschaften von Gerätebatterien 65
Tabelle 5: Eigenschaften von LIB in E-Fahrrädern 67
Tabelle 6: Eigenschaften von LIB in E-Scootern 68
Tabelle 7: Zellformate und -chemien von LIB für die Elektromobilität 71
Tabelle 8: Eigenschaften der LIB in den in DE meistkauften BEV 2020 72
Tabelle 9: Eigenschaften der LIB in den in DE meistkauften PHEV 2020 73
Tabelle 10: Eigenschaften von LIB in FFZ 75
Tabelle 11: Eigenschaften von LIB in Energiespeichersystemen 77
Tabelle 12: Mengen / Anteile relevanter Fraktionen im / am Restabfall (n= 47) 83
Tabelle 13: Mengen / Anteile relevanter Fraktionen im / an LVP-Abfällen (n=18) 85
Tabelle 14: Fehlwürfe an EAG und Batterien in haushaltsnahmen Abfallströmen ermittelt aus den regionalen Einzelanalysen 87
Tabelle 15: Anteile von Primär- und Sekundärbatterien im Restabfall nach Dornbusch et al., 2020 88
Tabelle 16: Ort der Schadensauslösung je Abfallstrom (n=139) 95
Tabelle 17: Kostenentwicklung bei Verringerung von Schadensereignissen durch LIB (n=89) 102
Tabelle 18: Durchschnittsgewichte [g] Gerätebatterien 2015 bis 2019 und arithmetischer Mittelwert nach GRS Batterien 105
Tabelle 19: Berechnete Stückzahlen LIB-Gerätebatterien 2019 und 2018 106
Tabelle 20: Neu zugelassene PKW nach Antriebsart 113
Tabelle 21: Neu zugelassene Lastkraftwagen nach Antriebsart 113
Tabelle 22: Neu zugelassene Krafträder nach Antriebsart 113
Tabelle 23: Neu zugelassene Zugmaschinen nach Antriebsart 114
Tabelle 24: Neu zugelassene sonstige KFZ nach Antriebsart 114
Tabelle 25: Neu zugelassene Busse nach Antriebsart 115
Tabelle 26: Neu zugelassene KFZ insgesamt nach Antriebsart 115
Tabelle 27: Markt für Flurförderzeuge in Europa 117
Tabelle 28: Anteile der Antriebsarten ausgelieferter Flurförderzeugen in Europa 118
Tabelle 29: Anteile der Antriebsarten ausgelieferter Flurförderzeugen in Nordamerika 118
Tabelle 30: Installation von Heimspeichern pro Jahr 120
Tabelle 31: Erste Einstufung der Eignung von Pfandsystemen für das Pfandgut LIB 123
Tabelle 32: Umsetzung von Kennzeichnungen in GP 125

Tabelle 33: Umsetzung der Rückgabe beschädigter LIB in GP 126
Tabelle 34: Umsetzung der automatisierten Rücknahme LIB in GP 127
Tabelle 35: LIB-Matrix Gerätebatterien – zur Herleitung möglicher Lenkungsbedürfnisse und erzielbarer Lenkungswirkungen 138
Tabelle 36: LIB-Matrix Industriebatterien – zur Herleitung möglicher Lenkungsbedürfnisse und erzielbarer Lenkungswirkungen 141
Tabelle 37: Lenkungsbedürfnis für Gerätebatterien und erzielbare Lenkungswirkung durch ein Pfandsystem von Clustern....145
Tabelle 38: Lenkungsbedürfnis für Industriebatterien und erzielbare Lenkungswirkung von Clustern 149
Tabelle 39: Gegenüberstellung von Pfandhöhen, Produktkosten und möglichen Pfandhöhenbereichen je vorgeschlagenem Batteriecluster 153
Tabelle 40: Liste und Verortung von Empfehlungen zur Verringerung von Brandereignissen 154
Tabelle 41: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2019 171
Tabelle 42: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2018 172
Tabelle 43: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2017 173
Tabelle 44: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2016 174
Tabelle 45: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2015 175
Tabelle 46: iVgM Gerätebatterien von Rebat und Ecobat 2019 177
Tabelle 47: iVgM Gerätebatterien von ERP und ÖcoReCell 2019 178
Tabelle 48: iVgM Gerätebatterien von Rebat, ERP und ÖcoReCell 2018....179

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
$\bar{x}$	arithmetisches Mittel
Ah	Amperestunde(n)
BattG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz) vom 25. Juni 2009
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V.
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (Englisch: battery electric vehicle)
BMS	Batteriemanagementsystem
BSKW	Batteriespeicherkraftwerk
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
BVES	Bundesverband Energiespeicher e.V.
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.
DE	Deutschland
DPG	Deutsche Pfandsystem GmbH
DSD	Duales System Deutschland GmbH
DUH	Deutsche Umwelthilfe e. V.
EAG	Elektro(nik)altgeräte
ElektroG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz) vom 20. Oktober 2015
FCEV	Brennstoffzellen-Fahrzeug (Englisch: fuel-cell electric vehicle)
FEM	European Materials Handling Federation
FFZ	Flurförderfahrzeug
GP	Grundprinzipien
GRS	Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien
HDE	Handelsverband Deutschland e. V.
HEV	Hybrid-Fahrzeug (Englisch: hybrid electric vehicle)
HSS	Heimspeicher (Englisch: home storage system)
i.d.R.	in der Regel
ISS	Gewerbespeicher (Englisch: industrial storage system)
ITK	Informations- und Telekommunikationstechnik
iVgM	In Verkehr gebrachte Menge
k.A.	keine Angaben
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
Kl.	Klasse

Abkürzung	Bedeutung
kWh	Kilowattstunde(n)
LIB	lithiumhaltige Batterie(n)
LKW	Lastkraftwagen
LSS	Großspeicher (Englisch: large storage system)
LVP	Leichtverpackung (aus dem Dualen System, wie Verpackungsabfall aus gelber Tonne, gelbem Sack, Wertstofftonne)
mAh	Milliamperestunde(n)
örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
p. a.	per annum / pro anno (pro Jahr)
PHEV	Plug-In-Hybrid-Fahrzeug (Englisch: plug-in hybrid electric vehicle)
PKW	Personenkraftwagen
PPK	Papier, Pappe, Kartonagen
St.	Stück
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
VDM	Verband Deutscher Metallhändler e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VKU	Verband kommunaler Unternehmen e.V.
VZBV	Bundesverband der Verbraucherzentralen und Verbraucherverbände - Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.
Wh	Wattstunde(n)
WITS	World Industrial Trucks Statistics
WST	Wertstofftonne (siehe auch LVP)
ZIV	Zweirad-Industrie-Verband e. V.
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

Zusammenfassung

Hintergrund, Gegenstand und Grundlagen

In den vergangenen Jahren hat der Anteil an Hochenergiebatterien deutlich zugenommen. Besonders relevant sind die lithiumhaltigen Batterien (LIB). In der Regel verfügen diese über die höchsten Energiedichten und werden sowohl als Gerätebatterien z.B. in mobilen Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik, in elektrischen Werkzeugen, Haushalts- und Gartengeräte, in Spiel- und Freizeitgeräten oder als Industriebatterien z.B. im Bereich der Elektromobilität (u.a. Elektrofahrzeuge und Elektrofahrräder) , als Energiespeicher bei Solaranlagen, zur unterbrechungsfreien Stromversorgung im IT-Bereich und medizinischen Bereich eingesetzt.

Nach dem Ende der Nutzung von LIB ist deren ordnungsgemäße und umweltgerechte Erfassung, Entsorgung und Verwertung grundlegend für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft.

Den rechtlichen Rahmen hierfür bildet das Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz – BattG).

In den ordnungsgemäßen und insbesondere auch den nicht ordnungsgemäßen Abfallströmen wird ein steigendes Brandrisiko, bedingt durch die teilweise hochreaktiven chemischen Eigenschaften der Inhaltsstoffe und Materialien einer LIB, sowie durch das erhöhte Aufkommen von Hochenergiebatterien, angenommen. Bereits seit mehreren Jahren kommt es zu Brandereignissen bei der Erfassung und Entsorgung von LIB in Entsorgungsbetrieben für Elektroaltgeräte, Restmüll, Verpackungen, Altpapier etc. sowie entlang der Abfallbehandlungs- und Recyclingkette. Im Zusammenhang mit den Brandereignissen können erhebliche Sachschäden, Gesundheitsgefahren, Umweltgefährdungen und Ausgaben im Rahmen von Versicherungskosten oder für Vermeidungsmaßnahmen entstehen. Durch das Anführen und Aufzeigen von Indizien und (vereinzelten) Nachweisen werden LIB als Auslöser solcher Brandereignisse von den betroffenen Akteuren und der allgemeinen (Kreislaufwirtschafts-)Branche genannt. Zu den verschiedenen Argumenten und Meinungen für bzw. gegen die Einführung einer Pfandpflicht auf LIB finden kontroverse Diskussionen statt. Die vermehrt vorkommenden Brände in vorrangig fremden, irregulären Abfallströmen, die mutmaßlich sowie bestätigt durch LIB ausgelöst wurden, stellen dabei den Auslöser der Debatte dar.

Durch die Einführung einer Pfandpflicht für LIB wird von einigen Akteuren die Möglichkeit der Reduzierung bzw. Vermeidung von Bränden und Brandrisiken gesehen. Jedoch sind die vorgetragenen Argumente zum Thema Pfandpflicht auf LIB aktuell nicht eindeutig.

Das Ziel dieses Projektes ist es einerseits zu bewerten, ob die Einführung einer Pfandpflicht auf LIB ein geeignetes Instrument darstellt, Brandereignisse entlang der Erfassungs- und Abfallbehandlungskette zu verhindern. Als zweites Ziel des Projekts erfolgt die Bewertung, ob eine Pfandpflicht auf LIB zu einer Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien und Altakkumulatoren sowie als Synergieeffekt zur Steigerung der Sammelmenge an Elektro(nik)altgeräten beitragen kann.

Gemäß § 2 Abs. 2 BattG werden Batterien als „aus einer oder mehreren nicht wiederaufladbaren Primärzellen oder aus wiederaufladbaren Sekundärzellen bestehende Quellen elektrischer Energie, die durch unmittelbare Umwandlung chemischer Energie gewonnen wird“ definiert.

Damit ist laut Gesetz eine „Batterie“ also ein Oberbegriff sowohl für nicht wiederaufladbare Primär-Batterien als auch für Akkumulatoren (Sekundär-Batterien), die mehrfach aufge- und ent-

laden werden können. Daher erfolgt der Begriffsgebrauch Batterie und lithiumhaltige bzw. Lithium-Batterie(n) – abgekürzt als LIB – in diesem Bericht für beide Typen von Batterien.

Gemäß § 2 Abs. 3 BattG wird ferner definiert, dass nicht nur einzelne Zellen, sondern auch Batteriesätze als Batterien im Sinne des Gesetzes gelten. Batteriesätze sind laut BattG „Gruppen von Batterien, die so miteinander verbunden oder in einem Außengehäuse zusammengebaut sind, dass sie eine vollständige, vom Endnutzer nicht zu trennende oder zu öffnende Einheit bilden". Dementsprechend werden auch Batteriesätze in diesem Bericht als Batterien bzw. LIB bezeichnet.

Gegenstand des Projekts und Berichts sind Batterien, die zur Energieerzeugung den Austausch von Lithium-Ionen zwischen der Kathode und der Anode nutzen.

Des Weiteren unterscheidet das BattG drei Arten von Batterien, für die zum Teil unterschiedliche Regelungen getroffen werden. Bei den Arten handelt es sich um Fahrzeug-, Geräte- und Industriebatterien.

Aus der Definition nach § 2 Abs. 3 BattG ergibt sich, dass es sich bei Batterien für Elektrofahrräder, Pedelecs und E-Scooter um Industriebatterien handelt. Sie stellen damit einen Bereich dar, in dem Industriebatterien von Verbraucherinnen und Verbrauchern in Privathaushalten verwendet werden. Um diese Batterien von weiteren Industriebatterien abzugrenzen, wird in der Praxis vielfach von „haushaltsnahen Industriebatterien" gesprochen. Aus den Definitionen und gesetzlichen Regelungen für Batterien ergeben sich somit relevante Unterschiede bei den Akteuren und Sammelstrukturen.

Projektziele und Methodik

Die grundlegende Zielsetzung, die durch ein Pfandsystem für LIB verfolgt werden sollte, stellt sich wie folgt dar:

1. Reduzierung von Brandereignissen bei Erfassung und Transport sowie in Abfallsortier- und behandlungsanlagen,
2. Steigerung der Sammelmenge von LIB im Besonderen und generell Altbatterien und -akkumulatoren
3. Steigerung der Sammelmenge von EAG, in denen LIB verbaut sein können (als Synergieeffekt)

Außerdem ist bei der grundsätzlichen Eignung von Pfandsystemen für LIB die o.g. Unterscheidung der drei Batteriearten, mit denen eine unterschiedliche Produktidentität und Umgang in der praktischen Erfassung und Entsorgung einhergeht, adäquat zu berücksichtigen. Insofern ist zu bewerten, ob ein

- Pfandsystem für alle Arten von LIB oder ein
- Pfandsystem nur für speziellen Arten/Typen von LIB (u.a. nach Baugrößen, Anwendungsfeld, Kapazität,) unter Berücksichtigung ihrer Verbauform

zielführend ist und sofern nicht, welche anderen möglichen Maßnahmen zur Zielerreichung geeignet wären.

Besonders relevant für die Zielerreichung ist zunächst, dass die Pfandsystematik geeignet sein muss, ggf. bis auf wenige Ausnahmen, sämtliche Marken und Typen von LIB (auch unter Berücksichtigung des Verbaus in Elektro(nik)geräten) abzubilden. Damit kann eine größtmögliche Menge ordnungsgemäß zurückgeführt und die Diffusion in andere Abfallströme deutlich reduziert werden. Vor diesem Hintergrund wird bei der ersten Einstufung (Tabelle 31) der beschrie-

benen Pfandsysteme für das Pfandgut LIB angenommen, dass diese entsprechend flächendeckend und umfassend umgesetzt werden. Hierfür wurden verschiedene Grundanforderungen betrachtet:

- Erfassungsgrad / Lenkungswirkung
- Verbraucherfreundlichkeit
- Rechtlicher Rahmen
- Administrativer Aufwand
- Operationaler Aufwand
- Missbrauchsanfälligkeit
- Kosten

Neben den Anforderungen und Kriterien bestehen im Kontext für das Pfandgut LIB weitere Mechanismen, die bei der Implementierung eines Pfandsystems u.a. berücksichtigt werden müssen:

- Kennzeichnung von LIB
- Rückgabe beschädigter LIB
- Automatengestützte Rücknahme von LIB
- (Ver-)Bauformen
- Pfandhöhe

Ausgehend von den betrachteten Grundprinzipien von Pfandsystemen und den Betrachtungen in Bezug auf die technischen Eigenschaften von LIB, den Abfallanalysen, den erlangten Umfrageergebnissen zu Schadensereignissen, den gesammelten Daten zu jährlichen Mengen der in Verkehr gebrachten LIB, wurden Hypothesen zur Eignung eines Pfandsystems und Anforderungen an das Pfandgut LIB abgeleitet und es erfolgte eine Clusterung von LIB-Gruppen. Die Clusterung wurde mit diesen relevanten Aspekten bzgl. einer Pfandsystematik gegenübergestellt. Auf Basis einer entwickelten Matrix (vgl. Tabelle 35 und Tabelle 36) wurde die Grundlage für eine Bewertung möglicher, auf diese Cluster angepasste Pfandsysteme geschaffen werden.

Aufgrund der hohen Vielzahl und dem Umstand, dass völlig unterschiedliche Bauformen oder Typen beispielsweise in denselben Gerätetypen verwendet werden ist eine Einteilung nach Bauformen oder Typen nicht möglich. Insofern wurde eine Clusterung auf Grundlage der Nutzungsart bzw. des Einsatzzweckes vorgenommen.

Grundprinzipien von Pfandsystemen

Das Grundprinzip von Pfandsystemen ist die Erhebung eines Pfandbetrags beim Erwerb eines Pfandguts, welches bei Rückgabe des Pfandguts erstattet wird. Grundsätzlich kann jeder Gebrauchsgegenstand, der sich zur Wiederverwendung seiner selbst oder seiner Substanz eignet, ein Pfandgut sein. Wichtig ist, dass die Produktidentität des Pfandgutes entlang der Nutzungsphase weitgehend erhalten bleibt.

Durch ein Pfandsystem soll für Verbraucherinnen und Verbraucher ein ökonomischer Anreiz geschaffen werden, sich des bepfandeten Guts zielgerichtet und somit sachgemäß sowie gesetzeskonform zu entledigen. Bei konformer Rückgabe des Pfandguts erhalten Endnutzer den zu-

vor entrichteten Pfandbetrag entsprechend zurück. Die daraus erzeugte Lenkungswirkung begünstigt das Generieren eines sortenreinen und qualitativ hochwertigen (Abfall-)Stroms und reduziert parallel die Diffusion des Pfandguts in andere (Abfall-)Ströme.

Zu den wesentlichen Akteursgruppen eines Pfandsystems zählen in erster Linie Erstinverkehrbringer (im Wesentlichen Hersteller), Vertreiber sowie Verbraucherinnen und Verbraucher. Mögliche Ausgestaltungen von Pfandsystemen unterscheiden sich vor allem durch die unterschiedlichen Beziehungen und Pflichten der zuvor genannten Akteursgruppen. Bei der Umsetzung eines Pfandsystems kann übergeordnet zwischen drei Prinzipien unterschieden werden, die in ihrer Ausgestaltung individuell anzupassen sind:

Die vergleichsweise einfachste Umsetzung eines Pfandsystems ist die Form der direkten „Eins zu Eins"-Beziehung zwischen Verbraucher und Verbraucherinnen und Vertreibern. Der/die Verbraucher*in zahlt beim Kauf des Pfandgutes zusätzlich zum Kaufpreis einen festgelegten Pfandbetrag. Das „verbrauchte" Pfandgut kann ausschließlich dort durch den Endnutzer abgegeben werden, wo das Pfandgut ursprünglich erworben wurde (jeweilige Verkaufsstelle).

Bei einem Pfandsystem, welches durch einen Hersteller organisiert und verantwortet wird, kann ein Pfandbetrag durch den Endnutzer bei jedem Vertreiber, der die Produkte dieses Herstellers anbietet, ausgelöst werden. Voraussetzung hierfür ist, dass dem Hersteller sämtliche Vertreiber bekannt sind. Das Pfandgut muss gekennzeichnet sein, damit erkennbar ist, dass für das Pfandgut auch ein Pfandbetrag bezahlt wurde. Die Kennzeichnung dient damit der Abgrenzung zu vergleichbaren, z. B. ausländischen Gütern des Herstellers, die nicht mit einem Pfand belegt sind.

Um eine Rückgabe von Pfandgütern und Rückerstattung des Pfandbetrags zu ermöglichen, die sowohl unabhängig vom Ort des Erwerbs als auch markenunabhängig ist, ist ein sogenanntes „Pfandclearing" erforderlich. Das Pfandclearing erfolgt über eine sog. Clearingstelle, die administrative und organisatorische Aufgaben im Pfandsystem übernimmt.

Fehlwürfe in haushaltsnahen Sammelsystemen

Vor dem Hintergrund, dass insbesondere Fehlwürfe von LIB für Schadensereignisse verantwortlich sein können, wurden die haushaltnahen Abfallsammelsysteme/-ströme u.a. Siedlungsrestabfall und Verpackungsabfall betrachtet, um eine Mengenabschätzung des Aufkommens von (lithiumhaltigen) Batterien in verschiedenen haushaltsnahen Abfallströmen in Deutschland zu erlangen.

In diesem Rahmen erfolgt ebenfalls eine Darstellung, welche Mengen an Fehlwürfen durch ein Pfand potentiell in ordnungsgemäße Entsorgungswege zur Reduzierung von Schadensereignissen gelenkt werden könnten.

Dazu wurden Literaturrecherchen in Bezug auf repräsentative Abfallanalysen durchgeführt. Deren Ergebnisse werden im Kapitel 5 mit Fokus auf die, in den Restabfällen enthaltenen, Batterien sowie EAG vorgestellt. Ein Ziel der Analysen in diesem Projekt war eine Ausweitung auf weitere Abfallströme. Daher wurde eine Metaauswertung von regionalen Abfallanalysen durchgeführt.

Es erfolgte zuerst die Recherche der Abfallanalysen. Anschließend wurden Kriterien für die vergleichende Auswertung festgelegt. Die Analysen wurden anschließend systematisiert und ausgewertet. In die Recherche einbezogen wurden Analysen zu Abfallstoffströmen wie Restabfall, LVP-Abfälle aus dem Dualen System (Verpackungsabfall aus gelber Tonne, gelbem Sack, Wertstofftonne), Altpapier und Bioabfall. In Deutschland sind die Gebietskörperschaften, also Städte und Kreise, sowie in einigen Fällen Zusammenschlüsse von Städten und Kreisen für die öffentliche Abfallwirtschaft zuständig.

In diesem Zusammenhang ist wichtig, dass in allen Abfallanalysen nur die Fraktionen (Alt-)Batterien und Elektro(alt)geräte, da sie Batterien enthalten können, betrachtet werden. Dabei muss es sich nicht um LIB handeln. Eine Angabe speziell zu LIB war in keiner der Analysen enthalten.

Zu beachten ist weiterhin, dass in den meisten ausgewerteten Abfallanalysen, keine Unterscheidung nach Primär- oder Sekundärbatterien vorgenommen wurde.

Bei den Abfallanalysen sind sowohl die Mengen der Batterie-Fehlwürfe als auch der EAG-Fehlwürfe in der haushaltsnahmen Sammlung von LVP-Abfällen geringer als die entsprechenden Fehlwurfmengen im Restabfall.

Im Rahmen der Untersuchung wurden anschließend die Werte der regionalen Einzelanalysen für eine nicht repräsentative Mengenabschätzungen von Altbatterien und EAG in Abfallströmen für das Bundegebiet hochgerechnet. In der haushaltsnahen Sammlung sind, betrachtet über die beiden Abfallströme Restabfall und LVP-Sammlung, somit zwischen 33.200 - 259.790 t EAG und 1.660 - 20.750 t Altbatterien als Fehlwürfe enthalten.

Zur besseren Einschätzung der Aussagekraft werden die Ergebnisse der zuvor ausgeführten regionalen Einzel-Abfallanalysen, im Kapitel mit den Ergebnissen der vom Umweltbundesamt initiierten bundesweiten Analyse des Siedlungsrestabfalls nach Dornbusch et al., 2020 verglichen.

In Bezug auf Batterien im Restabfall liegt das von Dornbusch et al. für Deutschland ermittelte arithmetische Mittel von 5.500 t unter dem aus den regionalen Einzelanalysen hochgerechneten Wert von 6.640 t.

Bezüglich der EAG im Restabfall liegt das nach Dornbusch et al. für Deutschland ermittelte arithmetische Mittel von 86.000 t über dem aus den regionalen Einzelanalysen hochgerechneten Wert von 84.821 t EAG.

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass die Fehlwurfmengen an Batterien bzw. möglicherweise (lithium)batteriehaltigen EAG in der untersuchten haushaltsnahen Sammlung relativ nahe an den Daten der Vergleichsstudie liegen und eine durchaus relevante Größenordnung einnehmen.

Befragungen zu (möglichen) Schadensereignissen durch LIB, Sicherheitsmaßnahmen und zur Erfassung

Vor dem Hintergrund der Mengenbetrachtungen wurden weitere Recherchen durchgeführt, die eine Grundlage bilden, um die Möglichkeiten, Potenziale und Effektivität der Einführung eines Pfandsystems für LIB darzustellen. Im Winter 2020 und Frühjar 2021 wurden Umfragen bei Entsorgungsbetrieben sowie öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) durchgeführt. Abgefragte Themengebiete waren Schadensereignisse und ihre Ursachen sowie Sicherheitsmaßnahmen, die ergriffen werden, um Schadensereignisse zu vermeiden. Bei örE wurde zudem die Erfassungssituation von LIB und EAG, die LIB enthalten, abgefragt.

Die Umfrage wurde so gestaltet, dass sie auch von Akteuren beantwortet werden konnte, bei denen kein Schadensereignis stattgefunden hat. In diesen Fällen wurden die Antworten zu Sicherheitsmaßnahmen ausgewertet. Es ist allerdings zu beachten, dass in der Umfrage Details zu den drei größten Schadensereignissen erfragt wurden. Daher kann es sein, dass im Betriebsalltag häufig noch weitere Schadensereignisse geringeren Ausmaßes vorkommen, als im Rahmen der Studie angegeben.

Insgesamt konnten 101 Antworten ausgewertet werden, davon 89 von Entsorgungsbetrieben und 12 von örE – 148 Schadensereignisse wurden benannt: Von den 89 Entsorgungsbetrieben wurden Angaben zu 139 Schadensereignissen gemacht, bei denen Batterien als Schadensauslöser vermutet werden. Von den zwölf an der Umfrage beteiligten örE wurden Angaben zu neun Schadensereignissen gemacht, bei denen Batterien als Schadensauslöser vermutet werden.

Insgesamt ist seit 2008 eine Steigerung der Anzahl an genannten Schadensereignissen je Jahr zu erkennen. Mit jeweils mehr als 30 Schadensereignissen fallen die Ereignisse in die Jahre 2019 und 2020. In allen Jahren davor liegt die Zahl der Schadensereignisse bei bis zu 15. Für 2021 wurden Angaben zu 10 Schadensereignissen gemacht. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der Befragungszeitraum nicht ein volles Jahr berücksichtigt, sondern Ende April 2021 endete.

Die befragten Entsorgungsbetriebe benannten in Bezug auf den Abfallstrom, der von dem Schadensereignis betroffen war, am häufigsten den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte (48 Nennungen); gefolgt von den Abfallströmen Leichtverpackungen (LVP) aus privaten Haushalten (21 Nennungen), Gewerbeabfall (19 Nennungen) und Sonstiges (16 Nennungen).

Zum Abfallstrom „Sonstiges“ machten einige Teilnehmenden weitere Angaben. In den meisten Fällen, handelte es sich um gemischte Abfälle. Mehrfach genannt wurden in diesem Zusammenhang „Restabfall und Gewerbeabfall“, „Sperrabfall und Elektro(nik)altgeräte“ sowie „Mischschrott und Elektro(nik)altgeräte“. Als sonstige nicht gemischte Abfallströme sind je einmal „Sperrabfall“ und „Bauschutt“ genannt worden.

Bei den befragten örE bezogen sich fünf Schadensereignisse auf den Abfallstrom der Altbatterien, zwei auf den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte und zwei Schadensereignisse auf sonstige Abfallströme (Kabelsammlung und Altpapiersammlung). In allen Fällen traten die Schadensereignisse bei der Erfassung am Wertstoffhof auf.

Bei einer detaillierteren Betrachtung der erhobenen Daten von Abfallströmen und Jahren in Bezug auf die Entsorgungsbetriebe, wird deutlich, dass für fast alle Jahre für den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte die weitaus meisten Schadensereignisse genannt wurden. Nur für 2011 und 2013 wurden für Elektro(nik)altgeräte genauso viele Schadenereignisse angegeben wie für die Abfallströme LVP aus privaten Haushalten bzw. Altpapier (PPK / Papier, Pappe Kartonagen).

Nach den Angaben der Entsorgungsbetriebe entstanden in ca. 30 % der Fälle die meisten Schadensereignisse im Eingangslager. Bei separater Betrachtung des Abfallstroms Elektro(nik)altgeräte wurde „Eingangslager“ sogar in ca. 52 % aller Fälle genannt. Die zweithäufigste Nennung fiel auf den Anlagenteil „Zwischen- / Ausgangslager ohne vorherige Zerkleinerung“ (ca. 23 %).

Bei dem Abfallstrom LVP aus privaten Haushalten wurde der Anlagenteil „Zwischen- / Ausgangslager nach Zerkleinerung“ häufiger genannt als das Eingangslager oder der Ort Zerkleinerungsaggregat. Beim Abfallstrom Gewerbeabfall fielen die meisten Nennungen dagegen auf den Punkt „Zerkleinerungsaggregat“, während der Punkt „Eingangslager“ nicht genannt wurde.

Insgesamt ergibt sich nur beim Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte, dass Schadensereignisse gehäuft in Lagerbereichen und insbesondere im Eingangslager ausgelöst wurden. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass batteriehaltige Elektro(nik)altgeräte bereits vor oder bei der Anlieferung an den Behandlungsanlagen mechanischen Einwirkungen und ggf. Beschädigungen ausgesetzt sind, die zu Schadensereignissen führen können, sowie darauf, dass der EAG-Strom fälschlicherweise auch lose Altbatterien enthält.

Die Frage nach den Brandklassen der Schadensereignisse zeigt, dass die Entsorgungsbetriebe Angaben zu 40 Großbränden und jeweils mehr als 30 Mittelbränden und Kleinbränden machten.

Die Angaben zeigen, dass es mehrere Groß- und Mittelbrände gab, bei denen Batterien als Schadensursache vermutet wurden.

Bei den befragten örE wurden fünf Kleinbrände und zwei Mittelbrände angegeben. Die Schadenshöhe für fünf der Ereignisse wurde mit bis zu zehntausend Euro benannt.

Die Angaben zur Schadenshöhe bei den befragten Entsorgungsbetrieben zeigen, dass die Schadenssumme in ca. 44 % bei bis zu 10.000 Euro lag. Die Zahl der Nennungen nimmt mit der Schadenshöhe ab. Bei ca. 6 % lag die Schadenshöhe zwischen einer und fünf Millionen Euro und bei ca. 2 % bei mehr als 5 Millionen Euro.

Die abnehmende Anzahl an Nennungen bei steigender Schadenshöhe ist durchgängig bei allen Abfallströmen gegeben.

Neben den Sachschäden wurden von den befragten Entsorgungsbetrieben leichte Personenschäden und ein schwerer Personenschaden angegeben.

Eine weitere Fragestellung der Umfrage zielte darauf ab, festzustellen, wie wahrscheinlich es sei, dass eine Batterie der tatsächliche Schadensauslöser war. Die befragten Entsorgungsbetriebe erklärten, dass 54 der 139 Schadensereignisse „mit Sicherheit“ von einer Batterie „ausgelöst wurden“. Bei weiteren 39 Schadensereignissen gehen die Teilnehmenden mit „hoher Wahrscheinlichkeit“ davon aus, dass eine Batterie Auslöser des Schadensereignisses „war“, bei 43 Schadensereignissen, dass es eine Batterie „gewesen sein“ kann.

Bei sechs von neun Schadensereignissen sei, laut der befragten örE, der Schaden „mit Sicherheit“ von einer Batterie ausgelöst wurden. Zwei Mal wurde die Antwort „es kann eine Batterie gewesen sein“ ausgewählt und ein Mal wurde die Antwort ausgewählt, dass es „mit hoher Wahrscheinlichkeit“ eine Batterie war. Nähere Angaben zur Art der Batterie liegen in zwei Fällen vor: Als Schadensauslöser wurden jeweils eine Notebook-Batterie und eine Batterie in einem Akkustaubsauger genannt.

Gemäß den Umfrageergebnissen kann ein Zusammenhang zwischen Bränden und Batterien als Auslöser der Schadensereignisse hergestellt werden. Jedoch konnte abschließend nicht geklärt werden, welche LIB-Arten oder -Typen zu den Brandereignissen entlang der Entsorgungskette geführt haben.

In Verkehr gebrachte Mengen

Bei den Überlegungen zur möglichen Einführung einer Pfandpflicht auf LIB ist es wichtig zu bewerten, welche Mengen an LIB mit diesem Pfand belegt würden und von einem System abgewickelt werden müssten. Bei der Mengenermittlung traten insbesondere zwei Herausforderungen auf. In vielen Bereichen für die in Verkehr gebrachten Batterien und LIB liegen keine Daten vor. Angaben zum Pfandgut sind in der Einheit „Stück“ notwendig. In dieser Einheit liegen die Daten allerdings nur eingeschränkt Daten vor und mussten errechnet werden. Daher konnten die Stückzahlen zu möglichen Pfandgütern nur als grobe Abschätzungen angegeben werden.

Für das Berichtsjahr 2019 zeigen bei den **Gerätebatterien** die Berechnungen, dass ca. 2,7 Milliarden Stück Batterien in Deutschland in Verkehr gebracht wurden und ca. 360 Millionen Stück davon LIB waren. Eine genauere Betrachtung der in Verkehr gebrachten LIB für 2019 zeigt, dass nach Stückzahlen ca. zwei Drittel der LIB Primärbatterien und ca. ein Drittel Sekundärbatterien sind. Von den 2019 in Verkehr gebrachten 239.148.147 Stück Lithium Primärbatterien waren 194.600.554 Stück Primär-Knopfzellen. Damit bilden die Primär-Knopfzellen einen Anteil von 81% der in Verkehr gebrachten Lithium-Primärbatterien. Die verbleibenden 19 % waren Li-

Primär-Rundzellen. Daneben wurden 120.037.958 Lithium-Sekundärbatterien in Verkehr gebracht. Hier beträgt der Anteil der Lithium-Rundzellen 109.181.384 Stück (ca. 91%).

Bei den **Industriebatterien** kann zwischen (besonders) relevanten Sektoren in Bezug auf eine Pfandpflicht unterschieden werden. In diesem Rahmen wurden auch die Angaben zu in Verkehr gebrachten Mengen dargestellt.

Im Sektor der „haushaltsnahen" Industriebatterien wie z.B. Batterien von Elektro-Fahrrädern ist hervorzuheben, dass im Jahr 2019 fast 1,4 Millionen und 2020 fast 2 Millionen Stück Elektro-Fahrräder verkauft wurden. Die Verkaufszahlen sind dabei mit großer Dynamik steigend und es wird weiterhin ein starkes Marktwachstum erwartet.

Bei dem Sektor Elektro-Mobilität, welcher Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie weitere Traktionsbatterien z.B. von Flurförderzeugen oder Reinigungsfahrzeugen umfasst, wurden im Jahr 2020 722.335 Personenkraftwagen mit Batterieelektrischem- oder mit Plug-In-Hybrid-Antrieb zugelassen. Dies entspricht in Relation zu den PKW-Gesamtzulassungen circa 25 %. Die Zahl der zugelassenen PKW mit Elektro- und Hybridantrieb ist in den letzten Jahren gestiegen. Es ist weiterhin mit einem starken Marktwachstum und steigenden Zulassungszahlen zu rechnen.

Die Neuzulassungen von Bussen mit Antrieben der Elektro-Mobilität betrugen im Jahr 2020 1.614 Stück. Das ist ein prozentualer Anteil von ca. 25 %. Im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugklassen gibt es damit bei den Bussen mit Elektroantrieben eine ähnliche Steigerung des prozentualen Anteils wie im PKW-Bereich. Die absoluten Zulassungszahlen von Bussen aller Antriebsarten sind allerdings die geringsten aller Fahrzeugklassen.

Die Zulassungen weiterer Fahrzeugklassen bewegen sich in Bezug auf Elektro-Antriebe im unteren einstelligen Prozentbereich.

Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass die ermittelte Summe von 737.784 Fahrzeugen des Sektors Elektro-Mobilität nicht ausschließlich, sondern nur größtenteils mit lithiumhaltigen Traktionsbatterien in Verkehr gebracht wird. Allerdings überwiegt der LIB-Anteil deutlich.

Im Jahr 2020 betrug der Anteil der Flurförderzeuge mit elektrischem Antrieb gemessen am Gesamtmarkt ca. 66 %

Nach der Abschätzung wurden in Deutschland im Jahr 2020 ca. 23.000 Stück elektrisch angetriebene Flurförderzeuge und ca. 56.000 handgeführte, elektrische Flurförderzeuge in Verkehr gebracht. Die Summe die LIB enthalten könnten, beträgt ca. 79.000 Stück. Wenn von einem LIB-Anteil von unter 25 % (Herstellerangaben) ausgegangen wird, ergeben sich für 2020 weniger als 19.750 in Verkehr gebrachte Flurförderzeugen mit LIB in Deutschland.

Bei dem Sektor Energiespeichersysteme, wozu die Batteriespeicher für Erneuerbare Energien zählen, wurde zwischen drei Kategorien unterschieden.

In der Kategorie Heimspeicher (Home Storage Systems, HSS) wurde für das Jahr 2019 eine in Verkehr gebrachte jährliche Menge von ca. 60.000 Stück ermittelt. Da nahezu nur LIB in Heimspeichern verbaut sind, werden 60.000 Stück pro Jahr mit der Menge an zugebauten LIB Heimspeichern gleichgesetzt.

Für die Kategorie der Gewerbespeicher (Industrial Storage Systems, ISS) ist für das Jahr ein Bestand von 700 Stück in Deutschland und eine in Verkehr gebrachte Stückzahl von 560 angegeben worden. 87 % der neu registrierten Gewerbespeicher haben LIB als Batterien eingesetzt. In Bezug auf die Stückzahl macht das weniger als ein Prozent der Menge der LIB Heimspeicher.

Bei der Kategorie Großspeicher (Large Storage Systems, LSS) ist die Zahl der in Verkehr gebrachten Batterien / LIB unstetig. Sie hängt von den jährlich fertiggestellten

Batteriespeicherkraftwerken und der Anzahl verbauter Batterien/ LIB in Großspeichern ab. Beide Faktoren können stark schwanken. Die Gesamtzahl der Batteriespeicherkraftwerke mit LIB in Deutschland wurde mit 48 ermittelt. Für sechs dieser Kraftwerke wurden Second-Life Batterien verwendet. Für einen Großspeicher können mehrere zehntausend Batterien oder LIB benötigt werden. Energiespeichersysteme enthalten in vielen Fällen mehrere Batteriemodule und sind modular erweiterbar.

Ergebnisfindung – Anforderung an und Eignung von Pfandsystemen für das Pfandgut LIB

Gemäß den Umfrageergebnissen zu Schadensereignissen kann ein Zusammenhang zwischen Bränden und Batterien als Auslöser der Schadensereignisse hergestellt werden. Die Ergebnisse zeigen das hohe Gefahrenpotenzial, das von lithiumhaltigen Altbatterien ausgeht. Eine mögliche Eingrenzung eines LIB-Pfandsystems auf spezifische Batteriearten und Anwendungsbereiche, gerade wegen dem Gebot der Verhältnismäßigkeit eines möglichen Pfandsystems, kann zunächst mit Hilfe der aufgezeigten Informationen zur Schadensauslösung abgeleitet werden. Demnach gab es Schadensfälle, die von eingebauten und losen lithiumhaltigen Gerätebatterien sowie von haushaltsnahen Industriebatterien verursacht wurden. Lithiumhaltige Industriebatterien der Elektromobilität (Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie sonstige Traktionsbatterien / FFZ) waren hingegen nicht als Schadensverursacher sichtbar. Aus der Perspektive der Schadensvermeidung entlang der Erfassungs- und Abfallbehandlungskette wären Altbatterien dieser Anwendungsbereiche demnach eher unerheblich.

Ein „einheitliches“ Pfandsystem wäre für eingebaute und lose lithiumhaltige Gerätebatterien sowie haushaltsnahe Industriebatterien vorstellbar. Die größte Gruppe „abfalltonnengängiger“ bzw. „fehlwurfanfälliger“ lithiumhaltiger Altbatterien bzw. (Lithium-)batteriehaltiger EAG, welche die Ursache von Brandereignissen sein können, werden so in den Fokus genommen. Die Komplexität einzelner Pfandsysteme hinsichtlich Organisation (evtl. notwendige Clearingstelle) und operationeller Umsetzung des Pfandausgleichs bei der Rücknahme ist jedoch enorm. Diesbezüglich sollte in Erwägung gezogen werden, unterschiedliche Pfandsysteme für die benannten Batterietypen/-arten und (Ver-)Bauweisen einzuführen.

Ein „einheitliches“ Pfandsystem für alle LIB Batterietypen (Industrie-, Geräte- und Fahrzeugbatterien) und (Ver-)Bauformen ist bzw. wäre nicht zweckdienlich. Die Komplexität eines solchen Systems in der Organisation und in der operationellen Umsetzung der Rücknahmeprozesse ist enorm hoch.

Ein vorzusehendes umfassendes Pfandsystem kann seine volle Wirkung nur dann erzielen, wenn es verpflichtend und somit rechtlich verankert ist. Das bedeutet, dass sämtliche Rücknahmestellen in ein solches System zu implementieren wären. Aufgrund des hohen Umsetzungsaufwandes kann dies jedoch dazu führen, dass künftig eine geringere Anzahl von Rückgabemöglichkeiten als derzeit, insbesondere durch Angebotsverringerung im Handel (kleinere Verkaufsstellen), für Endnutzer zur Verfügung stehen könnte.

Diffusionen in anderweitige nicht ordnungsgemäße Abfallströme sollen so weit wie möglich vermieden werden. Zur weitest gehenden Vermeidung von Diffusionen ist anzunehmen, dass LIB bei Einführung eines Pfandsystems mit marken- und ortsunabhängiger Rücknahme in höchstem Maße dem ordnungsgemäßen Abfallstrom zugeführt werden. Vor diesem Hintergrund wäre diese Variante zu favorisieren. Die Umsetzung nach diesem Prinzip erfordert neben einer Kennzeichnung der Batterien bzw. des (Lithium-)batteriehaltigen Geräts jedoch sehr aufwändige Mechanismen, wie die Einführung einer Clearingstelle und diverse vertragliche Regelungen zwischen Herstellern und Vertreibern.

Eine automatengestützte Rücknahme von LIB bietet sich vor allem für unbeschädigte Gerätebatterien und unbeschädigte haushaltsnahe Industriebatterien an. Hierbei muss den entsprechenden Sicherheitsanforderungen im Umgang mit LIB entsprochen werden. Zu beachten ist jeweils der rechtliche Regelungsbedarf für Kennzeichnungsanforderungen auf Batterien und Elektro(nik)geräten (insbesondere auf EU-Ebene, im BattG und ElektroG).

Der Umstand, dass ein Pfandsystem zwar auf LIB aber nicht auf anderweitige Batterien erhoben werden soll, macht eine verbraucherführende Kennzeichnung für (fast) alle Pfand-Grundprinzipien zwecks der Unterscheidung von bepfandeten und nicht bepfandeten Batterien unumgänglich.

Da ein großer Teil der LIB nicht lose, sondern in Elektro(nik)geräten eingebaut (bzw. dem Produkt beiliegend) in Verkehr gebracht werden, sollten diese von Beginn an Bestandteil der Betrachtungen zur möglichen Einführung einer Pfandpflicht sein.

Beschädigte und zerstörte LIB weisen ein erhöhtes Gefahrenpotential auf, weshalb sicherheitstechnische Anforderungen auch bei einem Pfandsystem in vergleichbarer Wirksamkeit erfüllt werden müssen. Es kann erwartet werden, dass bei Einführung eines Pfandsystems beschädigte und zerstörte LIB frühzeitig und häufiger als derzeit bei der Rücknahme erkannt werden und dies den sicherheitstechnischen Zielsetzungen zugutekommt.

Eine Pfandlösung erfordert die Setzung von Rahmenbedingungen und Zeit bis die gewünschten Ergebnisse sichtbar werden, insbesondere da bereits im Markt befindliche LIB nicht nachträglich bepfandet werden können. Anfallende lithiumhaltige Altbatterien aus Regelungsbereichen außerhalb Deutschlands können die Erreichung der Projektziele erschweren. Die Menge aus Regelungsbereichen außerhalb des Geltungsbereiches des BattG ist allerdings als verhältnismäßig gering einzuschätzen.

Ein Pfandsystem kann je nach Ausgestaltung positive Effekte auf die Sammelmenge von Batterien haben. Im Fall von fest verbauten LIB sind entsprechend auch auf die Sammelmenge von EAG positive Auswirkungen anzunehmen. Ist die Lenkungswirkung des Pfandsystems so groß, dass Mengen in reguläre Ströme zurückgeführt würden, die ohne Pfandsysteme in irregulären Entsorgungspfaden anlanden, hätte dies zwangsweise eine Steigerung der Erfassungsmengen zur Folge. Bei der Ausgestaltung des Pfandsystems müssen entsprechende Akteure (wie z.B. Vertreiber, örE) vollumfänglich eingebunden werden. Die Erhöhung der Sammelmenge ist dabei maßgeblich auch an das korrekte (legale) Verhalten der entsprechenden Akteure im Rücknahmeprozess geknüpft.

Aufgrund der teilweise langen Lebens- bzw. Verweildauern von zum einen fest verbauten sowie losen LIB, würde ein Pfandsystem erst mit Verzögerung zu einer Steigerung der Sammelmengen in den entsprechenden Bereichen führen. Je nach Pfandhöhe wäre es sogar denkbar, dass durch die höheren Einkaufpreise (Gerätepreis + Pfand) der Verbraucher in Gänze aufgrund der finanziellen Mehrbelastung weniger Geräte kauft und der Anteil in den Haushalten (geringfügig) sinkt. Der Aspekt der „Weiterverwendung“ (Abfallvermeidung) sollte bei der Einführung eines Pfandsystems bedacht werden. So sollten (je nach Pfand-Grundprinzip) Pfandmarken und Pfandgut-Kennzeichnungen, sowohl von losen als auch fest verbauten LIB, bei der Weitergabe nicht verloren gehen. Pfandmarken sollten problemlos an Folgenutzer übertragen werden können.

Die Erreichung der Projektziele – Vermeidung von Diffusionen in nicht-ordnungsgemäße Abfallströme zur Minimierung von Brandereignissen und die Steigerung der Sammelmenge von LIB sowie von EAG, in denen LIB verbaut sind – mithilfe eines Pfandsystems, wird stark bestimmt

von der Festlegung der Batterietypen/-art(en) und (Ver-)Bauweisen, die dem Pfandsystem unterliegen sollten:

- Aufgrund der überaus hohen Mengen/ Stückzahlen der lithiumhaltigen losen und eingebauten Gerätebatterien hätte ein Pfandsystem für diese Gruppe durchaus große positive Effekte.
- Ein Pfandsystem ohne Einbeziehung der eingebauten bzw. dem Gerät beiliegenden lithiumhaltigen Gerätebatterien (sondern nur von lose/separat in Verkehr gebrachten Gerätebatterien) hätte eine wesentlich geringere Wirkung hinsichtlich des Brand- und Ressourcen-/Sammelmengenaspekts.
- Auch branchenspezifische Pfandsysteme wären denkbar und könnten zur Verbesserung der derzeitigen Sachlage beitragen. Dem spezifischen Pfandsystem, das z.B. nach dem Prinzip der „Eins-zu-Eins"-Beziehung zwischen Hersteller und Vertreiber ausgelegt sein könnte, unterlägen dann vorrangig lose und eingebaute LIB für Handwerksgeräte (z.B. Akkuschrauber) und Elektro-Fahrräder. Aufgrund des allerdings nur sehr geringen Marktanteils am LIB-Gesamtmarkt in Deutschland, würde sich die Wirksamkeit eines spezifischen Pfandsystems folglich nur auf das jeweilige Segment beschränken.

Ergebnisse

Ein Lenkungsbedürfnis wurde für alle Produktgruppen im Gerätebatteriebereich erkannt. Sofern das Pfandgut als solches durch eindeutige Kennzeichnungen auf der Batterie und dem Gerät für Produktgruppen klar identifiziert werden kann, sind positive Auswirkungen zu erwarten.

Im Fall der Geräte mit eingebauten Batterien müssten bei Ausgestaltung eines Pfandsystems auch die rechtlichen Regelungen der Elektro(nik)geräte (ElektroG) berücksichtigt und angepasst werden. Die Notwendigkeit von eindeutigen Kennzeichnungen und eindeutigen Verantwortlichkeiten führen jedoch zu einem Mehraufwand.

Bei einer Einführung eines Pfandsystems für die Produktgruppen „lithiumhaltige nicht eingebaute Gerätebatterien (lose)" sowie „Geräte mit eingebauten lithiumhaltigen Gerätebatterien" wäre die mit Abstand höchste Lenkungswirkung und somit auch eine Reduzierung der Brandgefahr in irregulären Abfallströmen zu erwarten. Gleichzeitig ergäben sich weitere (Synergie-)Effekte: So besteht ein Potenzial, neben der Altbatteriesammelmenge auch die Sammelmenge von (batteriehaltigen) EAG zu steigern.

Bei Pfandsystemen, die nur auf spezifische Produktgruppen begrenzt werden (bspw. eingebaute Batterien in Elektrowerkzeugen und ITK-Geräten), bliebe die erzielbare Lenkungswirkung auf diesen Teilbereich beschränkt und es könnten weiterhin größere Diffusionen von LIB in nicht ordnungsgemäße Abfallströme stattfinden.

In der Gruppe der lithiumhaltigen Industriebatterien ist nahezu ausschließlich für die „haushaltsnahen" Industriebatterien – „Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, die von Endnutzern problemlos entnehmbar sind" – eine erhöhte Lenkungswirkung zu erwarten. Für dieses Cluster wäre aufgrund der bestehenden Vertriebsstruktur und der ähnlichen Bauformen der Batterien ein Pfandsystem denkbar. Aufgrund der langen Lebensdauer dieser Batterien ist ein Pfandsystem in Bezug auf die Erhöhung der Sammelmenge allerdings zeitversetzt zu sehen. Dies bedeutet, dass dadurch eine Kapitalbindung erfolgt. Ferner kann auf bereits in Verkehr gebrachte Batterien/ Produkte nachträglich kein Pfand erhoben werden, so dass eine noch eindeutigere Kennzeichnung der Pfandgüter sowie gezielte Aufklärungskampagnen von Nöten sein werden. Durch die lange Lebensdauer könnte außerdem ein zukünftig wachsender Gebrauchtgerätemarkt entstehen, der durch ein Pfandsystem je nach Ausgestaltung gehemmt werden kann. Ge-

rade in Bezug auf Exporte von Gebrauchtgeräten würde dieses einen Pfandschlupf und eine Benachteiligung des Verkaufenden nach sich ziehen, sofern er den Pfandbetrag nicht auf den Verkaufspreis seiner gebrauchten Batterie oder auf das komplette Gebrauchtgerät aufschlagen würde.

In Bezug auf die Aufgabenstellung, wonach drei Optionen zur Weiterführung der Untersuchung gegeben sind,

- wird die Option 0 – kein Pfand auf LIB als nicht förderlich erachtet, weil dadurch die grundsätzlich verbesserungswürdige Ausgangssituation erhalten bliebe
- wird die Option 1 – ein Pfand auf sämtliche LIB (Industrie-, Geräte- und Fahrzeugbatterien) – als organisatorisch und praktisch aktuell nicht umsetzbar angesehen;
- wird insbesondere die Option 2 – ein Pfand auf ausgewählte LIB, z. B. „lithiumhaltige nicht eingebaute Gerätebatterien (lose)“, „in Elektro(nik)geräte eingebaute lithiumhaltige Gerätebatterien“ und auch haushaltsnahe Industriebatterien, speziell „eingebaute Elektrofahrrad Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar“ – als vorstellbar angesehen. Eine Einführung von Pfandsystemen in diesen Teilsegmenten könnte hinsichtlich der Zielstellungen – Vermeidung von Diffusion in anderweitige Abfallströme zur Reduzierung von Brandereignissen, der Steigerung der Sammelmenge von LIB sowie von EAG, in denen LIB verbaut sind – positive Auswirkungen entfalten und wäre im Ergebnis geeignet, die Projektziele in gewissem Maße zu unterstützen.

Weitere Handlungsempfehlungen, mögliche Maßnahmen sowie Alternativlösungen zur Zielerreichung, die ebenfalls eine positive Wirkung auf eine zielgerichtete Erfassung von LIB haben (könnten), werden in Tabelle 40 dargestellt. Die Handlungsempfehlung, unabhängig davon, ob ein Pfandsystem eingeführt wird oder nicht, ist die aufgeführten Maßnahmen mit der bestehenden Regelsetzung in Deutschland zu vergleichen, Lücken bzw. sinnvoll zu ergänzende Maßnahmen zu identifizieren und einzuführen sowie die Umsetzung bzw. das Vorhalten von Brandvermeidungs- und Brandbekämpfungsmaßnahmen zu prüfen und/oder stärker in bestehenden Zertifizierungen und Auditierungen abzubilden.

Summary

Background, subject matter, and groundwork

In recent years, the proportion of high-energy batteries has increased significantly. Lithium-containing batteries (LIB) are particularly relevant. In general, these have the highest energy density and are used both as device batteries, e.g., in mobile devices for information and communication technology, in electrical power tools, household and garden appliances, in toys and leisure equipment, or as industrial batteries, with applications such as electromobility (e.g. electric vehicles and electric bicycles), as energy storage devices in solar power systems, for interruption-free power supply in the IT sector, and in the medical field.

When LIBs are no longer of use, their appropriate and environmentally sound collection, disposal, and recycling are essential for a functioning circular economy.

In Germany, the legal framework for this is provided by the Act on the Marketing, Return and Environmentally Compatible Disposal of Batteries and Accumulators (Battery Act – Batteriegesetz/ BattG).

Increasing fire risk is assumed in the proper, and especially the improper waste streams, due to the partially highly reactive chemical properties of the substances and materials contained in a LIB, as well as due to the increased occurrence of high-energy batteries. For several years now, fire incidents have been recorded during the collection and disposal of LIB in waste treatment plants for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), residual waste, packaging, waste-paper, etc., as well as along the waste treatment and recycling chain. As a consequence of the fire events, significant property damage, health hazards, environmental hazards and thus expenses in the context of insurance costs or for prevention measures can arise. Affected actors and the general (circular economy) industry have pointed out and referred to circumstantial evidence that LIBs are the trigger of such fire events. The increasing number of fires in primarily foreign, heterogeneous waste streams, which were partly presumed and partly confirmed to have been caused by LIBs, is the cause for the debate on the various arguments and opinions for and against the introduction of a mandatory deposit on LIBs.

The implementation of a mandatory deposit on LIBs is seen by some stakeholders as an opportunity to reduce or avoid fires and fire hazards. However, the arguments brought forward on mandatory deposits on LIBs are currently not clear.

The aim of this project is on the one hand to evaluate whether the introduction of a mandatory deposit on LIBs is a suitable instrument to prevent fire incidents along the collection and waste treatment chain. On the other hand, the project aims to evaluate whether a mandatory deposit on LIBs can contribute to an increase in the collection of used batteries and accumulators and thereby, as a synergy effect, lead to an increase in the collection of WEEE.

According to Section 2 (2) BattG, batteries are defined as "sources of electrical energy consisting of one or more non-rechargeable primary cells or rechargeable secondary cells, obtained by direct conversion of chemical energy".

Hence, according to the law, a "battery" is a generic term for both non-rechargeable primary batteries and accumulators (secondary batteries) that can be charged and discharged repeatedly. Therefore, the term battery and lithium-containing or lithium battery(ies) - abbreviated as LIB - is used in this report for both types of batteries.

According to Section 2 (3) BattG it is further defined that not only single cells but also battery sets are considered batteries in the definition of the law. According to the BattG, battery sets are "groups of batteries that are interconnected or assembled in an outer casing in such a way that

they form a complete unit that cannot be separated or opened by the end user". Accordingly, battery packs are also referred to as batteries or LIBs in this report.

The subject of the project and report are batteries that use the exchange of lithium ions between the cathode and the anode to generate energy.

Furthermore, the BattG distinguishes between three types of batteries, some of which are subject to different regulations. The three types are automotive batteries, portable batteries, and industrial batteries.

It follows from the definition under Section 2 (3) BattG that batteries for electric bicycles, pedelecs and e-scooters are industrial batteries. They therefore represent an area in which industrial batteries are used by consumers in private households. To distinguish these batteries from other industrial batteries, the term "household-related industrial batteries" is often used in practice. The definitions and legal regulations for batteries therefore result in relevant differences in the actors and collection structures.

Project goals and methodology

The basic purpose that should be pursued by a LIB deposit system is as follows:

1. reduce fire incidents during collection and transport as well as in waste sorting and treatment facilities,
2. increase the collection of LIBs in particular used batteries and accumulators.
3. increase the collection of WEEE in which LIBs may be incorporated (as a synergy effect).

In addition, the above-mentioned distinction between the three types of batteries, which are linked to different product identities and handling in the practical collection as well as disposal, must be adequately considered when considering the general suitability of deposit systems for LIBs. In this respect, it must be assessed whether a

- deposit system for all types of LIBs or a
- deposit system only for specific types of LIBs (e.g. according to size, field of application, capacity, etc.) taking into account their type of construction

effective and if not, which other possible means would be suitable for achieving the outlined goals.

Particularly relevant for the achievement of the goal is that the deposit system must be suitable for all brands and types of LIBs, if necessary, with a few exceptions (also considering the installation in electrical and electronic appliances). In this way, the largest possible quantity is returned appropriately and diffusion into other waste streams could be significantly reduced. Against this background, it is assumed in the first classification (Table 31) of the deposit systems described for the deposit item LIB that they are implemented accordingly across the board and comprehensively. For this purpose, various basic requirements were considered:

- Coverage / steering effect
- Consumer friendliness
- Administrative effort

- Operational effort
- Vulnerability to abuse
- Costs

In addition to the requirements and criteria, there are further mechanisms in the context of the deposit LIB that need to be considered when implementing a deposit system:

- Labelling of LIB
- Return of damaged LIBs
- Automated return systems for LIBs
- (Packaging) forms
- Deposit amount

Based on the basic principles of deposit systems and the considerations regarding the technical properties of LIBs, the waste analyses, the survey results on incidents of damage, the collected data on annual quantities of LIBs brought into circulation, hypotheses on the suitability of a deposit system and requirements for the deposit item LIB were derived and LIB groups were clustered. The clustering was compared with these relevant aspects regarding a deposit system. Based on a developed matrix (cf. Table 35 and Table 36), the basis for an evaluation of possible deposit systems adapted to these clusters was created.

Due to the sheer diversity and the fact that completely different designs or types are used, types of appliances, it is not possible to classify them according to design or type. In this respect, clustering was made based on the type of use or purpose.

Basic principles of deposit schemes

The basic principle of deposit systems is to charge a deposit amount when a deposit item is purchased, which is refunded when the deposit item is returned. In principle, any item of daily use that is suitable for reuse of itself or its substance can be a deposit item. What is important is that the product identity of the deposit good is largely preserved along the utilization phase.

A deposit system is intended to create an economic incentive for consumers to dispose of the deposited goods in a targeted and thus appropriate manner and in compliance with the law. If the deposit is returned in the correct manner, the end user will be refunded the deposit amount previously paid. The resulting steering effect favours the generation of a pure and high-quality (waste) stream and, at the same time, reduces the dispersion of the deposit items into other (waste) streams.

The main stakeholder groups in a deposit system primarily include primary distributors (essentially manufacturers), distributors and consumers. Possible designs of deposit systems differ primarily in the relationships and obligations of the above-mentioned stakeholder groups. When implementing a deposit system, a distinction can be made between three general principles, the design of which must be individually adapted:

The comparatively simplest implementation of a deposit system is the form of direct "one-to-one" transactions between consumers and distributors. The consumer pays a fixed deposit amount in addition to the purchase price when buying the deposit item. The "used" deposit can

only be returned by the end-user to the place where the deposit was originally purchased (the respective point of sale).

In the case of a deposit system organised and managed by a manufacturer, a deposit amount can be claimed by the end user from any distributor offering the manufacturer's products. The prerequisite for this is that all distributors are known to the manufacturer. The deposit must be labelled so that it can be recognized that a deposit amount has also been paid for the deposit. The labelling thus serves to distinguish the product from comparable, e.g., foreign goods of the manufacturer, which are not subject to a deposit scheme.

Misdirected waste in household waste-associated collection systems

In consideration of the fact that especially misdirected LIBs can be responsible for damage incidents, the household waste collection systems/streams, including residual municipal waste and packaging waste, were examined to obtain an estimate of the volume of (lithium-containing) batteries in various household waste streams in Germany.

In this context, a presentation is also made of the quantities of misdirected litter that could potentially be diverted by a deposit into appropriate disposal channels to reduce hazardous damages.

For this purpose, literature research was conducted in terms of representative waste analyses. Their results are presented in Chapter 5 focusing on the batteries and WEEE contained in residual waste. One aim of the analyses in this project was to expand to other waste streams. Therefore, a meta-evaluation of regional waste analyses was conducted.

First, the waste analyses were researched. Then, the criteria for the comparative evaluation were defined. The analyses were then systematised and evaluated. Included in the research were analyses of waste material flows such as residual waste, packaging waste from the German Dual System (packaging waste from the yellow bin, yellow bag, recycling bin), wastepaper and organic waste. In Germany, the regional authorities, i.e., cities and districts, and in some cases groups of cities and districts, are responsible for public waste management.

In this context, it is important that in all waste analyses only the fractions (waste) batteries and WEEE (as they may contain batteries), are considered. These batteries do not necessarily have to be LIBs. No information specifically on LIBs was included in any of the analyses.

It must also be noted that in most of the evaluated waste analyses, no distinction between primary and secondary batteries was made.

In the waste analyses, the quantities of both battery and WEEE misdirections in the household-related collection of WEEE are lower than the corresponding misdirection quantities in the residual waste.

In the context of the study, the values of the individual regional analyses were then extrapolated for a non-representative quantity estimate of waste batteries and WEEE in waste streams for the federal district. Considering the two waste streams of the household-associated collection (packaging and residual waste), the household collection contains between 33,200 - 259,790 t of WEEE and 1,660 - 20,750 t of waste batteries as misdirected waste.

For improved evaluation of the validity of the results derived from the individual regionally conducted waste analysis, they are put into comparison with the result chapter of the Analysis of Residual Municipal Waste, by Dornbusch et al., 2020, which was initiated by the Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt).

Concerning batteries in residual waste, the arithmetic mean of 5,500 t determined by Dornbusch et al. for Germany is below the value of 6,640 t extrapolated from the individual regional analyses.

Concerning WEEE in residual waste, the arithmetic mean of 86,000 t determined for Germany according to Dornbusch et al. is higher than the value of 84,821 t WEEE extrapolated from the individual regional analyses.

In conclusion, it can be stated that the quantities of batteries or potentially (lithium)-battery-containing WEEE in the examined household collection are relatively close to the data of the comparative study and are of a significant volume.

Surveys on (possible) damage events by LIBs, safety measures and their recording

Further research was carried out against the background of the volume considerations, which forms a foundation for presenting the possibilities, potentials, and effectiveness of the introduction of a deposit system for LIBs. In the winter of 2020 and spring of 2021, surveys were conducted with waste management facilities and public waste management authorities. The topics surveyed covered damage incidents, their causes, as well as safety measures that are taken to prevent these incidents. The public waste management authorities were also surveyed on the collection situation of LIBs and WEEE containing LIBs.

The survey was designed in such a way that it could also be answered by participants who had not experienced a damage event. In these cases, the answers on safety measures were evaluated. It should be noted, however, that the survey asked for details on the three largest loss events. Therefore, it is possible that in everyday operations there are often other damage incidents of a smaller extent than indicated in the survey.

A total of 101 responses could be analysed: 89 of them coming from waste management companies and 12 from public waste management authorities. In total 148 damage incidents were identified: the mentioned 89 waste management companies reported 139 incidents, where batteries were suspected to be the cause of the damage. The twelve waste management companies of the survey provided information on nine incidents in which batteries were suspected to have caused the damage.

Generally, an increase in the number of damage incidents per year can be observed since 2008. With more than 30 damage incidents each, the events in 2019 and 2020 are particularly noteworthy. In all the preceding years a maximum of 15 damage incidents were observed. In all the years preceding this, the number of damage incidents reaches 15. For 2021, information was provided on 10 damage incidents. However, it should be noted that the survey period finished at the end of April 2021, so the full year wasn´t regarded in the calculation.

Regarding the waste streams from which damage incidents originated, the waste stream WEEE was named most frequently by the surveyed waste management companies (48 mentions); followed by the waste streams packaging from private households (21 mentions), commercial waste (19 mentions), and others (16 mentions).

Some participants provided further information for the waste stream "others". In most cases, these were mixed wastes. In this regard, "residual waste and commercial waste", "bulky waste and waste electrical and electronic equipment" and "mixed scrap and waste electrical and electronic equipment" were mentioned several times. "Bulky waste" and "construction waste" were mentioned each once as other non-mixed waste streams.

Among the public waste management authorities surveyed, five damage incidents related to the waste stream of waste batteries, two to the waste stream of WEEE and two to other waste streams (cable collection and wastepaper collection). In all cases, the damage incidents occurred at recycling centres.

Examining the collected data from the waste management facilities on waste streams in relation to years in more detail, it becomes clear that for almost all years, by far the most damage incidents were mentioned for the waste stream WEEE. Only in 2011 and 2013, the waste streams packaging from private households and wastepaper (PPK / paper, cardboard, and cardboard packaging) had an equal number of incidents as the waste stream WEEE.

According to the information provided by the waste management facilities, in approx. 30 % of the cases most of the damage incidents occurred in the incoming storage facility. Considering the WEEE waste stream separately, "incoming storage" was even mentioned in approx. 52 % of all cases. The second most frequently mentioned part of the facility was "intermediate/outgoing storage without prior shredding" (approx. 23 %).

In the case of the packaging waste stream from private households, the plant section "intermediate/output storage after shredding" was mentioned more frequently than the input storage or the location of the shredding unit. In the case of the commercial waste stream, however, the item "shredding unit" received the most mentions, while the item "input storage facility" was not mentioned.

Overall, it is only in the case of the WEEE waste stream that damage incidents were frequently caused in storage areas and in particular in the receiving warehouse. This may be an indication that WEEE containing batteries are already exposed to mechanical impacts and possibly damage before or during delivery to the treatment plants, which can lead to damage incidents, as well as to the fact that the WEEE stream also erroneously contains loose waste batteries.

The question concerning the fire classes of the damage incidents shows that the waste management facilities provided information on 40 large fires and more than 30 medium fires and small fires in both cases.

The data shows that there were several large and medium-sized fires where batteries were suspected to have caused the damage.

Five small fires and two medium fires were reported by the public waste management authorities surveyed. The amount of damage for five of the incidents was named as up to ten thousand euros.

The information on the amount of damage at the waste management facilities surveyed shows that the amount of damage was up to 10,000 euros in approx. 44 % of the cases. The number of mentions decreases with the increase in damage level. In about 6% of cases, the amount of damage was between one and five million euros, and in about 2% it was more than five million euros.

The decreasing number of mentions with increasing damage levels is consistent for all waste streams.

In addition to property damage, the surveyed waste management facilities reported minor personal injuries and one serious personal injury.

A further question in the survey aimed to determine how likely it was that a battery was the actual cause of the damage. A further question in the survey aimed to determine how likely it was that a battery was the actual cause of the damage. The surveyed waste management facilities stated that 54 of the 139 damage incidents were "definitely caused by a battery". For a total

of 39 damage incidents, the participants assume with a "high degree of probability" that a battery "was" the trigger of the damage incident, and for 43 damage incidents it "may have been" a battery.

According to the surveyed public waste management authorities, in six out of nine incidents, the damage was "definitely" caused by a battery. The answer "it may have been a battery" was selected two times, and the answer that it was "very likely" a battery was selected once. More detailed information on the type of battery is provided in two cases: A notebook battery and a battery of a cordless hoover were named as the causes of the damage.

According to the survey results, a relationship can be established between fires and batteries as causes of the damage incidents. However, it could not be conclusively clarified which LIB species or types led to the fire incidents along the waste treatment chain.

Quantities placed on the market

When considering the possible introduction of a mandatory deposit on LIBs, it is important to assess which quantities of LIBs would be subjected to this deposit and would have to be handled by a system. In particular, two challenges arose in the determination of quantities. In many areas, no data is available for the batteries and LIBs placed on the market. Data on the deposit items are required in the unit "piece". In this unit, however, only limited data is available and had to be calculated. Therefore, the numbers of units for possible deposit items could only be given as rough estimates.

For the reporting year 2019, calculations for device batteries show that approx. 2.7 billion units of batteries were placed on the market in Germany and approx. 360 million units of these were LIBs. A closer look at the LIBs placed on the market for 2019 shows that, by quantity, about two-thirds of the LIBs are primary batteries and about one-third are secondary batteries. Of the 239,148,147 lithium primary batteries placed on the market in 2019, 194,600,554 were primary-button cells. This means that primary-button cells account for 81% of the lithium primary batteries placed on the market. The remaining 19 % were lithium primary round cells. In addition, 120,037,958 lithium secondary batteries were placed on the market. Here, the share of lithium round cells account for 109,181,384 units (approx. 91%).

In the case of industrial batteries, a distinction can be made between (particularly) relevant sectors with regard to a deposit obligation. Within this framework, the data on quantities placed on the market were also presented.

In the sector of "household-related" industrial batteries, such as batteries for electric bicycles, it is to be highlighted that almost 1.4 million units of electric bicycles were sold in 2019 and almost 2 million units in 2020. The sales figures are increasing with great momentum and the market is expected to continue to grow strongly.

In the electric mobility sector, which includes electric and hybrid vehicles as well as other traction batteries, e.g. for forklift trucks or cleaning vehicles, 722,335 passenger cars with battery-electric or plug-in hybrid drive systems were registered in 2020. This corresponds to approximately 25 % of the total number of passenger car registrations. The number of registered cars with electric and hybrid drives has increased in recent years. Strong market growth and rising registration figures are expected to continue.

New registrations of buses with electro-mobility drives amounted to 1,614 units in 2020. This represents a percentage share of approx. 25 %. In contrast to the other vehicle classes, there is thus a similar increase in the percentage share of buses with electric drives as in the passenger

car sector. However, the absolute registration rates for buses of all drive types are the lowest of all vehicle classes.

The registrations of other vehicle classes with electric drives are in the lower single-digit percentage range.

It should be noted that the calculated total of 737,784 vehicles in the electromobility sector is not placed on the market exclusively, but only for the greatest part, with lithium-containing traction batteries. However, the LIB share clearly predominates.

In 2020, the total market share of forklift trucks with electric drives amounted to approx. 66 %.

According to the estimate, approx. 23,000 electrically powered forklift trucks and approx. 56,000 manually operated, electric forklift trucks were put on the German market in 2020. The overall number of trucks that could contain LIBs is approx. 79,000. Assuming a LIB share of less than 25 % (manufacturer's data), this would result in fewer than 19,750 forklift trucks with LIB being put on the German market in 2020.

In the energy storage systems sector, which includes battery storage for renewable energies, a distinction was made according to three categories.

In the Home Storage Systems (HSS) category, an annual volume of approximately 60,000 units was determined for 2019. Since almost only LIBs are installed in home storage systems, 60,000 units per year are equated to the amount of LIB home storage systems installed.

In Germany, for the category of Industrial Storage Systems (ISS), an inventory of 700 units and 560 units placed on the market were reported for 2019. 87 % of the newly registered industrial storage systems used LIB as batteries. With respect to the number of units, this makes up less than one per cent of the quantity of LIB home storage units.

In the category of Large Storage Systems (LSS), the number of batteries / LIBs placed on the market is unsteady. It depends on the number of battery storage power plants which are completed each year and the number of batteries / LIBs installed in large storage systems. Both factors can fluctuate significantly. The total number of battery storage power plants with LIB in Germany was found to be 48. Second-life batteries were utilised for six of these power plants. Several tens of thousands of batteries or LIBs can be needed for a large-scale storage system. Energy storage systems often contain several battery modules and are expandable on a modular basis.

Result finding - Requirements for and adequacy of deposit systems for the deposit item LIB

According to the survey results on damage incidents, a connection can be made between fires and batteries as causes of the damage incidents. The results show the high hazard potential posed by lithium-containing waste batteries. A possible limitation of a LIB deposit system to specific battery types and areas of application, due to the proportionality principle of a possible deposit system, can first be derived with the help of the information shown on the triggering of damage. Accordingly, there were damage incidents caused by installed and loose lithium-containing device batteries as well as by household-related industrial batteries. Lithium-containing industrial batteries for electric mobility (traction batteries for electric and hybrid vehicles as well as other traction batteries / FFZ), on the other hand, were not apparent as sources of damage. From the perspective of damage prevention along the collection and waste treatment chain, waste batteries from these application areas would therefore be relatively insignificant.

A "uniform" deposit system would be feasible for installed and loose lithium-containing device batteries as well as household-related industrial batteries. This would focus on the largest group of lithium containing batteries or (lithium-) battery-containing WEEE, which is prone to misdirection and can be the cause of fire incidents. However, the complexity of individual deposit systems with respect to the organisation (possibly required clearing agency) and operational implementation of deposit compensation during take-back is enormous. In this respect, it should be considered to introduce different deposit systems for the mentioned battery types and construction forms.

A "uniform" deposit system for all LIB battery types (industrial, appliance and vehicle batteries) and construction forms is not or would not be appropriate. The complexity of such a system in terms of organisation and operational implementation of the take-back processes is enormous.

A comprehensive deposit system can only achieve its full effectiveness if it is mandatory and thus legally anchored. This means that all take-back points would have to be incorporated into such a system. This means that all take-back points would have to be incorporated into such a system. However, due to the high implementation costs, this could lead to a smaller number of return options being available to end users in the future than is currently the case, especially due to a supply reduction in the retail sector (smaller points of sale).

Diffusion into other non-compliant waste streams should be avoided as far as possible. In order to avoid diffusion as far as possible, it is to be assumed that with the introduction of a deposit system with a brand- and location-independent take-back, LIBs will be returned to the proper waste stream to the greatest possible extent. Against this background, this variant would be favourable. However, implementation according to this principle requires, in addition to the labelling of the batteries or the (lithium) battery-containing device, very elaborate mechanisms, such as the introduction of a clearing centre and various contractual regulations between manufacturers and distributors.

Automated take-back of LIBs is mainly suitable for undamaged device batteries and undamaged household-related industrial batteries. In this case, the corresponding safety requirements for handling LIBs must be met. The legal regulatory requirements for labelling standards on batteries and electrical and electronic equipment (especially at the EU level, in the BattG and ElektroG) must be taken into account.

The fact that a deposit system is to be applied to LIBs but not to other batteries makes consumer-guiding labelling for (almost) all deposit principles indispensable for the purpose of distinguishing between deposit and non-deposit batteries.

Since a large proportion of LIBs are not placed on the market in separate units, but rather built into electrical and electronic equipment (or enclosed with the product), they should be part of the considerations for the possible introduction of a mandatory deposit from the start.

Damaged and destroyed LIBs pose an increased risk potential, which is why technical safety requirements must also be met with comparative effectiveness in a deposit system. It can be expected that if a deposit system is introduced, damaged and destroyed LIBs will be detected at an earlier stage and more frequently than at present when they are returned. This would benefit the safety-technical objectives.

A deposit solution requires the setting of a framework and time until the desired results become recognisable, especially since LIBs that are already on the market cannot be retroactively covered by a deposit. Waste batteries containing lithium from regulatory areas outside of Germany can impede the achievement of the project goals. However, the volumes from regulatory areas outside the scope of the BattG can be considered as relatively small.

Depending on its implementation, a deposit system can have positive effects on the collection volume of batteries. In the case of non-removable LIBs, positive effects can also be assumed on the collection volume of WEEE. If the impact of the deposit system is so significant that quantities would be returned to regular flows which, without deposit systems, would end up in irregular disposal paths, this would inevitably lead to an increase in collection volumes. When designing the deposit system, the relevant stakeholders (e.g. distributors and public waste management authorities) must be thoroughly involved. The increase in the collection volume is also decisively linked to the correct (legal) behaviour of the respective actors in the take-back process.

Due to the often long lifetimes of both fixed and loose LIBs, a deposit system would only lead to an increase in collection volumes in the corresponding areas after a certain delay. Depending on the price of the deposit, it would even be possible that, due to the higher purchase prices (price of the appliance + deposit), consumers would buy fewer appliances because of the additional financial burden and therefore the number of appliances in households would decrease (slightly). The aspect of "reuse" (waste avoidance) should be taken into account when introducing a deposit system. Thus (depending on the deposit principle) deposit tokens and deposit item labels, both of loose and fixed LIBs, should not be lost during handover. Deposit tokens should be easily transferable to successive users.

The achievement of the project objectives - avoiding diffusion into non-compliant waste streams to minimise fire incidents and increasing the collection of LIBs and WEEE containing LIBs - by means of a deposit system is strongly determined by the definition of the battery type(s) and construction types that should be regulated by the deposit system:

- Due to the vast volume/quantity of lithium-containing loose and built-in device batteries, a deposit system for this group would have a significant positive impact.
- A deposit system that does not include the lithium-containing device batteries installed or enclosed with the device (but only loose/separate device batteries placed on the market) would have a significantly lower impact regarding the fire and resource/collection volume aspects.
- Sector-specific deposit systems would also be a possibility and could contribute to improving the current circumstances. The specific deposit system, which could be designed e.g. according to the principle of a "one-to-one" relationship between manufacturer and distributor, would then primarily be subject to loose and built-in LIBs for power tools (e.g. cordless screwdrivers) and electric bicycles. However, due to the very minor market share of the total LIB market in Germany, the effectiveness of a specific deposit system would consequently only be limited to the specific segment.

Results

A need for steering has been identified for all product groups in the device battery sector. Provided that the deposit item can be distinctly identified as such by clear labelling on the battery and the device for product groups, positive results can be expected.

In the case of devices with built-in batteries, the legal regulations for electrical and electronic devices (ElektroG) would also have to be taken into account and adapted when developing a deposit system. However, the necessity of explicit labelling and clear responsibilities lead to additional time and effort.

The introduction of a deposit system for the product groups "lithium-containing non-installed device batteries (loose)" and "devices with installed lithium-containing device batteries" would have by far the greatest steering effect and thus also a reduction in the risk of fire in non-compliant waste streams. At the same time, there would be other (synergy) effects: For example, besides the collection of waste batteries, there is also the potential to increase the collection of (battery-containing) WEEE.

In the case of deposit systems that are only limited to specific product groups (e.g. built-in batteries in power tools and ITC equipment), the achievable incentive effect would remain limited to this sub-sector and larger diffusions of LIBs into non-compliant waste streams could continue taking place. In the group of lithium-containing industrial batteries, an increased steering effect can be expected almost exclusively for the "household-related" industrial batteries - "electric bicycle batteries / e-scooter batteries that can be easily removed by end users". For this cluster, a deposit system would be feasible due to the existing distribution structure and the similar designs of the batteries. However, due to the longevity of these batteries, an increased collection volume would apply delayed after the introduction of a deposit system. This means that capital is being tied up. Furthermore, no deposit can be levied on batteries/products that have already been placed on the market, so even clearer labelling of the deposit items and targeted information campaigns will be necessary. The long lifespan could also lead to a growing market for used appliances in the future, which could be inhibited by a deposit system depending on its design. Particularly with regard to exports of used equipment, this would result in deposit slippage and a disadvantage for the seller, unless they were to add the deposit amount to the sales price of their used battery or to the complete used appliance.

With respect to the assignment, according to which three options are given to continue further investigations,

- option 0 - no deposit on LIBs - is not considered to be beneficial, because this would maintain the initial situation that is fundamentally in need of improvement
- option 1 - a deposit on all LIBs (industrial, device and automotive batteries) - is considered to be organisationally and practically unfeasible at present;
- In particular, Option 2 - a deposit on selected LIBs, e.g. "lithium-containing non-installed device batteries (loose)", "lithium-containing device batteries installed in electrical (electronic) devices" and also household-related industrial batteries, especially "installed electric bicycle batteries / e-scooter batteries, which can easily removable by end users" - is considered feasible. The introduction of deposit systems in these sub-segments could have a positive impact with regard to the objectives of avoiding the diffusion into other waste streams in order to reduce fire incidents, increasing the collection volume of LIBs as well as of WEEE in which LIBs are installed, and as a result, would be suitable to support the project objectives to a certain extent.

Further recommendations for action, possible measures as well as alternative solutions to achieve the objectives, which also (could) have a positive effect on a targeted collection of LIBs, are presented in Table 40. The recommendation for action, independent of whether a deposit system is introduced or not, is to compare the measures listed with the existing regulations in Germany, to identify gaps and/or introduce useful supplementary measures and to examine the implementation or provision of fire prevention and firefighting measures and/or to map them more prominently in existing certifications and audits.

1 Hintergrund und Projektziel

Der Anteil an Hochenergiebatterien (z.B. Lithium-Ionen- und Lithium-Polymer-Batterien sowie Nickel-Metallhydrid-Batterien) hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen und steigt weiter an. Besonders relevant sind in diesem Zusammenhang lithiumhaltige Batterien (LIB), die aktuell i.d.R. über die höchsten Energiedichten verfügen. Eingesetzt werden sie als Gerätebatterien z.B. in mobilen Geräten der Kommunikationstechnik (Notebooks, Tablets, Smartphones etc.), in elektrischen Werkzeugen, Haushalts- und Gartengeräten (Bohrschrauber, Saugroboter, Stabmixer, elektrisch betriebene Zahnbürsten, Fernbedienungen, Taschenlampen etc.) und Spiel- und Freizeitgeräten (Drohnen, Hoverboards etc.) oder als Industriebatterien z.B. im Bereich der Elektromobilität (Elektroautos, Elektro-Fahrräder[1], E-Scooter etc.), als Energiespeicher bei Solaranlagen, zur unterbrechungsfreien Stromversorgung im IT-Bereich und medizinischen Bereich (USVs) sowie zum Teil als Fahrzeugbatterien (Starterbatterien). Gegenstand dieses Projekts sind LIB als Geräte- und Industriebatterien.

Jede LIB muss nach dem Ende ihrer Nutzungsdauer der ordnungsgemäßen und umweltgerechten Erfassung, Entsorgung und Verwertung zugeführt werden. Den rechtlichen Rahmen hierfür bildet das Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz - BattG). Es ist anzunehmen, dass bedingt durch die zum Teil hochreaktiven chemischen Eigenschaften der verwendeten Inhaltsstoffe und Materialien (insbesondere des Lithiums) und durch das erhöhte Aufkommen von Hochenergiebatterien in den ordnungsgemäßen und insbesondere auch den nicht ordnungsgemäßen Abfallströmen das Brandrisiko steigt. Bereits seit mehreren Jahren kommt es zu Brandereignissen bei der Erfassung und Entsorgung von LIB, in Entsorgungsbetrieben für Elektroaltgeräte, Restmüll, Verpackungen, Altpapier etc. sowie entlang der Abfallbehandlungs- und Recyclingkette. Es gibt Indizien und (vereinzelte) Nachweise dafür, dass LIB Auslöser solcher Brandereignisse sind. Brandereignisse können erhebliche Sachschäden, Gesundheitsgefahren für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter- und Umweltgefährdungen nach sich ziehen. Weitere entstehende Ausgaben sind Versicherungskosten (z.B. Haftpflicht, Brandschutz) sowie Kosten für Vermeidungsmaßnahmen (z.B. Löschsysteme, Frühwarnsysteme, Werksfeuerwehren, organisatorische Maßnahmen).

Einige Akteure (z.B. Entsorger, Umweltverbände) sehen in der Einführung einer Pfandpflicht für LIB eine Möglichkeit, Brandrisiken zu vermeiden. Da die vorgetragenen Argumente zum Thema Pfandpflicht aktuell nicht eindeutig sind, ist es ein Ziel dieses Projektes zu bewerten, ob die Einführung einer Pfandpflicht auf LIB ein geeignetes Instrument darstellt, Brandereignisse entlang der Erfassungs- und Abfallbehandlungskette zu verhindern.

Darüber hinaus soll bewertet werden, ob eine Pfandpflicht auf LIB, zu einem zweiten Ziel – der Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien und Altakkumulatoren – beitragen kann.

Um diese Ziele zu erreichen, werden im Rahmen dieses Projekts Recherchen durchgeführt, die eine Grundlage bilden, um die Möglichkeiten, Potenziale und Effektivität der Einführung eines Pfandsystems für LIB darzustellen. Nach einer kurzen rechtlichen Einordnung von Batterien in Kapitel 2, sind Grundlagen zur Ausgestaltung von Pfandsystemen im Kapitel 3 dargestellt. Im Kapitel 4 wird auf die wichtigsten technischen Eigenschaften von verschiedenen Typen von Gerätebatterien und Industriebatterien eingegangen. Im Kapitel 5 werden Fehlwürfe in der haus-

[1] Der Begriff Elektro-Fahrrad dient als Oberbegriff für spezielle elektrische Fahrradtypen wie E-Bikes, Pedelecs und S-Pedelecs. Je nach Elektro-Fahrrad Typ kann eine Typengenehmigung erforderlich sein, welche Auswirkungen auf das rechtliche Regelungsregime und die spätere Entsorgung des Produkts haben kann. Siehe auch https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektrogeraete/e-bike-pedelec

haltsnahen Sammlung betrachtet. Im Kapitel 6 sind die Ergebnisse einer Umfrage unter Entsorgungsbetrieben und öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) zu aufgetretenen Schadensereignissen aufgeführt. Im Kapitel 7 werden Abschätzungen zu in Verkehr gebrachten Mengen von Gerätebatterien und Industriebatterien vorgestellt. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Erkenntnisse zu Pfandsystemen und LIB zusammengebracht. Im Kapitel 8 werden Anforderungen an Pfandsysteme für LIB diskutiert und im Kapitel 9 eine Bewertung von Pfandsystemen vor dem Hintergrund der Rechercheergebnisse vorgenommen. Im Kapitel 9.1 werden andere Untersuchungen zu Pfandsystemen beschrieben. Neben dem im in Kapitel 10 dargestellten Fazit werden mögliche Pfandhöhen und weitere Handlungsempfehlungen vorgestellt.

2 Rechtliche Grundlage und Definitionen

Auf EU-Ebene ist das ordnungsgemäße und umweltgerechte Inverkehrbringen von Batterien und Akkumulatoren und die Entsorgung von Altbatterien und Altakkumulatoren derzeit noch durch die Richtlinien 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren (sogenannte Batterie-Richtlinie), sowie durch die Richtlinie 2013/56/EU zur Änderung der zuvor genannten Richtlinie geregelt.

In Deutschland wird die Batterie-Richtlinie seit dem 1. Dezember 2009 umgesetzt im Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (Batteriegesetz, BattG[2]). Die Arbeiten im Projekt und dieser Bericht, beziehen sich auf die aktuelle Fassung des BattG, das zuletzt am 03.11.2020 geändert wurde und am 01. Januar 2021 in Kraft getreten ist.

Das BattG definiert Batterien in § 2 Abs. 2 als „aus einer oder mehreren nicht wiederaufladbaren Primärzellen oder aus wiederaufladbaren Sekundärzellen bestehende Quellen elektrischer Energie, die durch unmittelbare Umwandlung chemischer Energie gewonnen wird“.

Eine „Batterie“ ist also laut dem Gesetz ein Oberbegriff sowohl für nicht wiederaufladbare Primär-Batterien als auch für Akkumulatoren (Sekundär-Batterien), die mehrfach aufge- und entladen werden können. Dementsprechend werden die Begriffe Batterie und lithiumhaltige bzw. Lithium-Batterie(n) (LIB) in diesem Bericht für beide Typen von Batterien gebraucht.

Gemäß § 2 Abs. 3 BattG wird ferner definiert, dass nicht nur einzelne Zellen, sondern auch Batteriesätze als Batterien im Sinne des Gesetzes gelten. Batteriesätze sind laut BattG „Gruppen von Batterien, die so miteinander verbunden oder in einem Außengehäuse zusammengebaut sind, dass sie eine vollständige, vom Endnutzer nicht zu trennende oder zu öffnende Einheit bilden“. Dementsprechend werden auch Batteriesätze in diesem Bericht als Batterien bzw. LIB bezeichnet.

Gegenstand des Projekts und Berichts sind Batterien, die zur Energieerzeugung den Austausch von Lithium-Ionen zwischen der Kathode und der Anode nutzen.

Des Weiteren unterscheidet das BattG drei Arten von Batterien, für die zum Teil unterschiedliche Regelungen getroffen werden. Bei den Arten handelt es sich um Fahrzeug-, Geräte- und Industriebatterien.

- **Fahrzeugbatterien** sind laut § 2 Abs. 4 BattG „Batterien, die für den Anlasser, die Beleuchtung oder für die Zündung von Fahrzeugen bestimmt sind“. Fahrzeugbatterien dürfen also nicht mit Antriebsbatterien für Fahrzeuge der Elektro-Mobilität verwechselt werden. Bei diesen handelt es sich vielmehr um Industriebatterien.
- **Industriebatterien** sind laut § 2 Abs. 5 BattG „Batterien, die ausschließlich für industrielle, gewerbliche oder landwirtschaftliche Zwecke, für Elektrofahrzeuge jeder Art oder zum Vortrieb von Hybridfahrzeugen bestimmt sind“. Beispiele für Industriebatterien sind neben Antriebsbatterien für Fahrzeuge der Elektromobilität Batterien für die unterbrechungsfreie Stromversorgung oder die Notstromversorgung. Darüber hinaus ist in § 2 Abs. 5 BattG festgelegt, dass alle Batterien, die in keine der drei Arten nach dem Gesetz eingeordnet werden können, wie Industriebatterien zu behandeln sind.

[2] Batteriegesetz vom 25. Juni 2009 (BGBl. I S. 1582), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 03. November 2020 (BGBl. I S. 2280) geändert worden ist.

- **Gerätebatterien** sind laut § 2 Abs. 6 BattG „solche Batterien, die gekapselt sind und in der Hand gehalten werden können“. Weiterhin stellt das Gesetz an dieser Stelle klar, dass Fahrzeug- und Industriebatterien keine Gerätebatterien sind. Beispiele für Gerätebatterien sind Knopfzellen, zylindrische oder prismatische Batteriezellen und Batterien, die in Elektro(nik)geräten verbaut sind.

Aus der Definition von Industriebatterien und Gerätebatterien ergibt sich somit, dass es sich bei Batterien für Elektrofahrräder und Pedelecs (Elektrofahrräder mit Tretunterstützung) sowie E-Scooter (Stehroller) um Industriebatterien handelt. Dabei ist es unerheblich, ob diese Batterien gekapselt sind und in der Hand gehalten werden können. Batterien für Elektrofahrräder und E-Scooter stellen damit einen Bereich dar, in dem Industriebatterien von Verbraucherinnen und Verbrauchern in Privathaushalten verwendet werden. Um diese Batterien von weiteren Industriebatterien abzugrenzen, wird in der Praxis vielfach von „haushaltsnahen Industriebatterien“ gesprochen. Aus den Definitionen und gesetzlichen Regelungen für Batterien ergeben sich somit relevante Unterschiede bei den Akteuren und Sammelstrukturen.

3 Möglichkeiten, Potenziale und Effektivität der Einführung einer Pfandpflicht auf lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren

Aktuell werden verschiedene Argumente und Meinungen für und gegen die Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige (Alt-)Batterien und (Alt-)Akkumulatoren (kurz: LIB) kontrovers diskutiert.

Auslöser der Debatte um eine Pfandpflicht für LIB sind die vermehrt vorkommenden Brände in vorrangig fremden, irregulären Abfallströmen, die mutmaßlich sowie bestätigt durch LIB ausgelöst wurden. Betroffen sind u.a. Entsorgungsprozesse und -einrichtungen zur Erfassung und Behandlung von Verpackungsabfall, Siedlungsabfällen wie Restabfall oder Sperrmüll, Mischschrotte, Altpapier und Alttextilien; darüber hinaus aber auch Behandlungsanlagen für Elektroaltgeräten.

Der Umgang und die Entsorgung von Batterien sind im Batteriegesetz geregelt, welches drei Arten von Batterien unterscheidet, in denen jeweils auch LIB in der Praxis vorzufinden sind:

- Gerätebatterien (z.B. für Laptops, Werkzeuge, Mobiltelefone in Form von Akkus, außerdem als Primärbatterien z.B. als Knopfzellen oder als Rundzellen für Fotoapparate),
- Industriebatterien (v.a. als Traktionsbatterien für die Elektromobilität und Energiespeicher) und in bislang geringem Umfang auch in
- Fahrzeugbatterien (bestimmte Starterbatterien z.B. für Motorräder). Für Fahrzeugbatterien existiert bereits eine Pfandpflicht nach § 10 BattG.

In den nachfolgenden Ausführungen werden auf einer zunächst übergeordneten Ebene Grundprinzipien (GP) von Pfandsystemen dargestellt und hinsichtlich der grundsätzlichen Anwendung für den Bereich LIB bewertet. Dies erfolgt vor dem besonderen Hintergrund, dass mithilfe eines Pfandsystems nicht nur die Mengen und Beschaffenheiten der rückgeführten, dadurch separat erfassten LIB erhöht, sondern auch durch LIB verursachte Brandereignisse reduziert werden sollen.

Die Zielsetzung, die durch ein Pfandsystem für LIB verfolgt werden sollte, stellt sich somit wie folgt dar:

1. Reduzierung von Brandereignissen bei Erfassung und Transport sowie in Abfallsortier- und behandlungsanlagen,
2. Steigerung der Sammelmenge von LIB im Besonderen und generell Altbatterien und -akkumulatoren
3. Steigerung der Sammelmenge von EAG, in denen LIB verbaut sein können (als Synergieeffekt)

Außerdem ist bei der grundsätzlichen Eignung von Pfandsystemen für LIB die o.g. Unterscheidung der drei Batteriearten, mit denen eine unterschiedliche Produktidentität und Umgang in der praktischen Erfassung und Entsorgung einhergeht, adäquat zu berücksichtigen. Insofern ist zu bewerten, ob ein

- Pfandsystem für alle Arten von LIB oder ein

- Pfandsystem nur für speziellen Arten/Typen von LIB (u.a. nach Baugrößen, Anwendungsfeld, Kapazität,) unter Berücksichtigung ihrer Verbauform[3]

zielführend ist und sofern nicht, welche anderen möglichen Maßnahmen zur Zielerreichung geeignet wären.

3.1 Grundprinzipien von Pfandsystemen

Das Grundprinzip von Pfandsystemen ist die Erhebung eines Entgelts (Pfandbetrag) beim Erwerb eines Pfandguts, welches bei Rückgabe des Pfandguts erstattet wird. Grundsätzlich kann jeder Gebrauchsgegenstand, der sich zur Wiederverwendung seiner selbst oder seiner Substanz eignet, ein Pfandgut sein. Wichtig ist, dass die Produktidentität des Pfandgutes entlang der Nutzungsphase weitgehend erhalten bleibt.

Durch ein Pfandsystem soll für Verbraucherinnen und Verbraucher[4] ein ökonomischer Anreiz geschaffen werden, sich des bepfandeten Guts zielgerichtet und somit sachgemäß sowie gesetzeskonform zu entledigen. Bei konformer Rückgabe des Pfandguts erhalten Endnutzer den zuvor entrichteten Pfandbetrag entsprechend zurück. Die daraus generierte Lenkungswirkung begünstigt das Generieren eines sortenreinen und qualitativ hochwertigen (Abfall-)Stroms und reduziert parallel die Diffusion des Pfandguts in andere (Abfall-)Ströme.[5]

Zu den wesentlichen Akteursgruppen eines Pfandsystems zählen in erster Linie Erstinverkehrbringer (im Wesentlichen Hersteller), Vertreiber sowie Verbraucherinnen und Verbraucher. Mögliche Ausgestaltungen von Pfandsystemen unterscheiden sich vor allem durch die unterschiedlichen Beziehungen und Pflichten der zuvor genannten Akteursgruppen.

Nachfolgend sind in den Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.3 unterschiedliche Grundprinzipien von Pfandsystemen sowie die Schnittstellen und Interaktion der betroffenen Akteursgruppen bei der physischen Rückgabe sowie des Ausgleichs des Pfandbetrages dargestellt. Die Ableitung dieser Grundprinzipien von Pfandsystemen auf das Pfandgut „Batterien“ wird anschließend beschrieben (siehe Kapitel 8).

3.1.1 GP 1: „Eins zu Eins“-Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbrauchern und Vertreibern

Die vergleichsweise einfachste Umsetzung eines Pfandsystems ist die Form der direkten „Eins zu Eins“-Beziehung zwischen Verbraucher und Verbraucherinnen und Vertreibern.

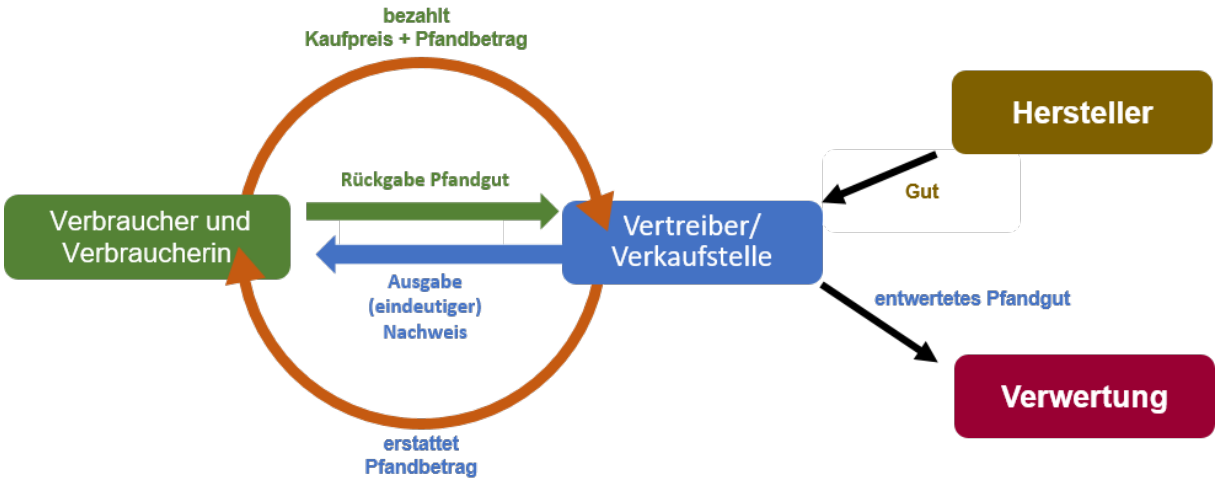
Der/die Verbraucher*in zahlt beim Kauf des Pfandgutes zusätzlich zum Kaufpreis einen festgelegten Pfandbetrag. Das „verbrauchte“ Pfandgut kann ausschließlich dort durch den Endnutzer abgegeben werden, wo das Pfandgut ursprünglich erworben wurde (jeweilige Verkaufsstelle). Hierzu ist ein eindeutiger Nachweis des Kaufes (z.B. Kassenzettel, Quittung, Token, „Pfandbon“) bei Abgabe und zur Auszahlung des beim Kauf entrichteten Pfandbetrages erforderlich. Der Vertreiber zahlt bei Rückgabe und Vorlage des Nachweises den Pfandbetrag aus. Der Vertreiber ist

[3] Batterien, die in Produkte eingebaut oder Produkten beigefügt sind, werden bei der Eignungsprüfung von Pfandsystemen einbezogen. Ein Ausschluss von eingebauten und Produkten beiliegenden Batterien wäre nicht zielführend, da LIB größtenteils eingebaut in Verkehr gebracht werden. Die verbleibende geringe Menge hätte nur noch unbedeutenden Einfluss auf die Zielsetzung.
[4] Die Begriffe „Verbraucherinnen und Verbraucher“ ist als Sammelbegriff zu verstehen. Er umfasst sowohl Personen, die ein Pfandgut erwerben (auch Kundinnen und Kunden) bzw. dieses zurückgeben (Endnutzer), wohl wissend, dass es sich hierbei um unterschiedliche Personen handeln kann.
[5] Pfandsysteme sind zu „Prämiensystemen“, die ebenfalls eine Anreizwirkung haben, abzugrenzen. Während Prämiensysteme (z.B. Abwrackprämie, Gutscheinsysteme) in der Regel zeitlich begrenzt sind, handelt es sich bei Pfandsystemen um ein fortlaufendes System. Im Gegensatz zu Pfandsystemen profitiert der Endnutzer, indem er einen zusätzlichen finanziellen Betrag (oder Gutschein) für die Abgabe eines Guts erhält, während bei Pfandsystemen der Pfandbetrag mit dem Kauf eines Pfandgutes bezahlt und im Wechsel bei Abgabe zurückerhalten wird.

im Weiteren bei dieser Pfandvariante für die ordnungsgemäße Aufbereitung und/oder Verwertung (ggf. unter Zuhilfenahme beauftragter Dritter) verantwortlich. Der Erstinverkehrbringer (Hersteller) übernimmt in dieser Variante des Pfandsystems keine aktive Rolle. Abweichungen in der Ausgestaltung dieser Pfandsystemvariante können sich durch aktuell geltende Gesetze ergeben (z.B. rechtlich festgelegte Herstellerpflichten wie eine unentgeltliche Übernahme der Pfandgüter von Vertreibern zur Verwertung).

Das Pfand wird nur auf der letzten Handelsstufe[6] erhoben (vgl. Abbildung 1). Ein landesweites Pfandsystem oder eine gesetzliche Vorgabe ist für diese Variante eines Pfandsystems keine zwingende Voraussetzung und kann auch auf freiwilliger Basis erfolgen. Daher wird diese Variante eines Pfandsystems als „Insellösung“ bezeichnet.

Abbildung 1: Abwicklung eines Pfandes bei „Eins zu Eins“-Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie Vertreibern



Ort der Übergabe von Pfandgut bei Kauf und Rückgabe ist identisch: Pfandgut kann ausschließlich dort abgegeben werden, wo es erworben wurde.
Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

Durch die unflexible Rückgabemöglichkeit für das Pfandgut sind solche „Insellösungen“ wenig verbraucherfreundlich und können Einfluss auf die Rücklaufquote innerhalb des Pfandsystems haben. Dies gilt vor allem dann, wenn zwischen dem Kauf und der Rückgabe ein längerer Zeitraum liegt.

Vergleichbare Pfandsysteme, die in dieser Systematik betrieben werden oder wurden, sind z. B. die „Insellösungen“ zu Beginn der Pfandpflicht auf Einweggetränkeverpackungen in Deutschland, bevor ein einheitliches Pfandsystem eingeführt wurde (01.05.2006).

Zusammengefasst resultieren aus der beschriebenen Pfandsystematik folgende Konsequenzen, Vorteile und Nachteile:

Konsequenzen: Der Erstinverkehrbringer (Hersteller) übernimmt keine Rolle im Pfandsystem, die Verantwortung für Rücknahme und Zuführung zur Aufbereitung/Verwertung liegt beim Vertreiber. So verbleiben Gewinne aus der nicht erfolgten Rückgabe eines Pfandgutes beim Vertreiber, respektive resultiert ein Geldverlust beim Endnutzer bei Verlust des eindeutigen Nachweises für die Rückgabe. Abweichungen in der Ausgestaltung dieser Pfandsystemvariante können

[6] Unter einer Handelsstufe (auch Wirtschaftsstufe) sind verschiedene Glieder bzw. Schnittstellen einer Handelskette zu verstehen. Im Rahmen dieses Berichtes wird die Schnittstelle zwischen Vertreiber und Endnutzer als letzte Handelsstufe bezeichnet., Die Schnittstelle zwischen Hersteller und Vertreiber ist die erste Handelsstufe.

sich durch aktuell geltende Gesetze ergeben (z.B. rechtlich festgelegte Herstellerpflichten wie eine unentgeltliche Übernahme der Pfandgüter von Vertreibern zur Verwertung).

Vorteile: Das Einführen und Betreiben dieser Pfandsystemvariante ist mit vergleichsweise geringem Verwaltungs- und Organisationsaufwand verbunden und unmittelbar umsetzbar.

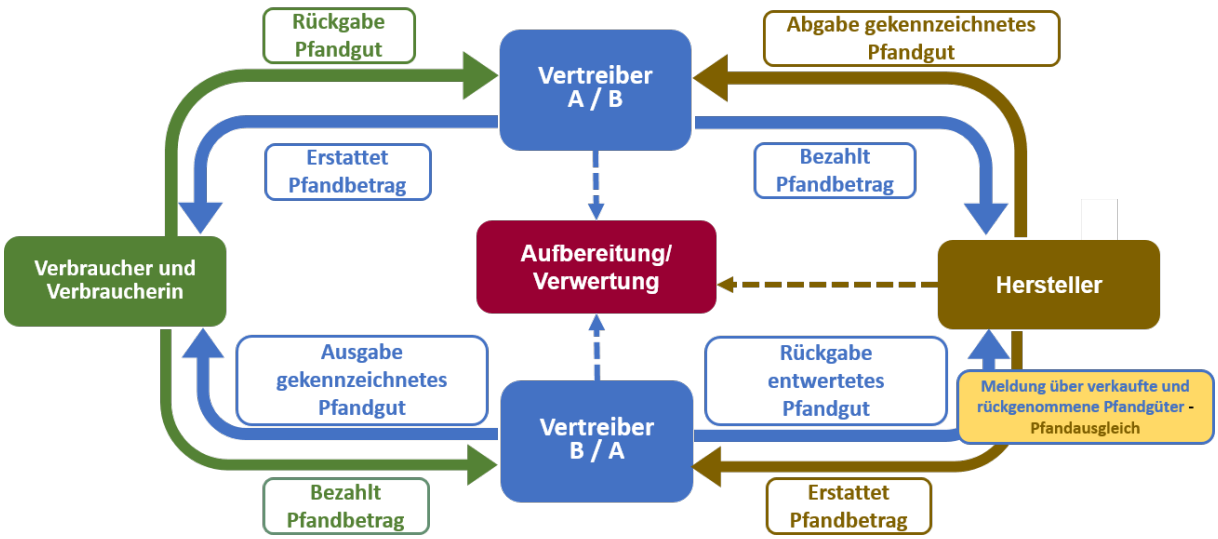
Nachteile: Die mangelnde Verbraucherfreundlichkeit (festgelegter Rückgabeort, Aufbewahrung des Kaufnachweises und „Pfandbon“) kann einen negativen Einfluss auf die Rücklaufquoten innerhalb des Pfandsystems haben. Bei langlebigen Pfandgütern würden auch Insolvenz/ Geschäftsaufgaben zu Nachteilen der Verbraucherinnen und Verbraucher führen. Diese Systematik ist zudem anfällig für Betrugsversuche durch rückgebende Endnutzer (durch z. B. Fälschung des Nachweises).

3.1.2 GP 2: Ausgestaltung und Organisation des Pfandsystems durch Hersteller

Bei einem Pfandsystem, welches durch einen Hersteller organisiert und verantwortet wird, kann ein Pfandbetrag durch den Endnutzer bei jedem Vertreiber, der die Produkte dieses Herstellers anbietet, ausgelöst werden. Voraussetzung hierfür ist, dass dem Hersteller sämtliche Vertreiber bekannt sind. Das Pfandgut muss gekennzeichnet sein, damit erkennbar ist, dass für das Pfandgut auch ein Pfandbetrag bezahlt wurde. Die Kennzeichnung dient damit der Abgrenzung zu vergleichbaren, z. B. ausländischen Gütern des Herstellers, die nicht mit einem Pfand belegt sind.

Bei dieser Variante wird der Pfandbetrag auf allen Handelsstufen erhoben (vgl. Abbildung 2). Die Vertreiber melden dem Hersteller regelmäßig die Anzahl der verkauften und zurückgenommenen Pfandgüter. Vertraglich wird festgelegt, in welchen zeitlichen Abständen ein Pfandausgleich zwischen Hersteller und Vertreiber erfolgt. Der Hersteller ist für die Verwertung des Pfandguts verantwortlich. Daher muss zwischen den Vertreibern und dem Hersteller vereinbart werden, ob beispielsweise die vom Vertreiber zurückgenommenen Pfandgüter für den Hersteller bereitgestellt werden und in das Eigentum des Herstellers übergehen oder der Vertreiber die Verantwortung zur Zuführung in anschließende Aufbereitungs- und Verwertungsprozesse übernimmt.

Abbildung 2: Prinzip der Abwicklung eines Pfandes mit Herstellerorganisation



Flexiblere Rückgabemöglichkeiten für den Endnutzer an allen Verkaufsstellen, die Marken des Herstellers führen.

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

Vergleichbare Pfandsysteme sind z.B. das sog. „P-System“ von Lekkerland-Tobaccoland. Das Pfandgut wurde mit einem „P“-Logo gekennzeichnet und konnte bei allen belieferten Vertreibern zurückgegeben und der Pfandbetrag ausgelöst werden. Das Pfandsystem wurde 2006 durch das einheitliche Pfandsystem für Getränkeverpackungen in Deutschland ersetzt.

Zusammengefasst resultieren aus der beschriebenen Pfandsystematik folgende Konsequenzen, Vorteile und Nachteile:

Konsequenzen: Der Inverkehrbringer (Hersteller) trägt die Verantwortung über die zurückgenommenen Pfandgüter. Die Vertreiber sind gegenüber dem Hersteller mitteilungspflichtig (bei mehreren liefernden Herstellern herstellerscharf). Der Pfandschlupf bei nicht erfolgter Rückgabe verbleibt beim Hersteller.

Vorteile: Durch die Rückgabemöglichkeit an verschiedenen Rücknahmestellen (Vertreiber) ist dieses Pfandsystem verbraucherfreundlicher als das zuvor beschriebene GP1. Auf einen eindeutigen Nachweis durch den Endnutzer kann bei Rückgabe verzichtet werden, da neben der Marke die eindeutige Kennzeichnung des Pfandguts ausschlaggebendes Kriterium ist.

Nachteile: Durch die Mitteilungspflichten der Vertreiber und dem Pfandausgleich durch den Hersteller resultiert bei der Umsetzung dieses GP ein erhöhter Verwaltungs- und Organisationsaufwand für beide Akteure. Zudem müssen dem Hersteller alle belieferten Vertreiber bekannt sein. Lieferketten über z.B. Zwischenhändler können die Umsetzung von diesem GP erschweren. (Auch wenn GP2 als verbraucherfreundlicher als GP1 angesehen werden kann, ist die Rückgabe dennoch an das Vertreibernetz gebunden. Das kann eine Hürde für die Verbraucherinnen und Verbraucher sein und hat zusätzlich den ökonomischen Nachteil, dass diese subtil an bestimmte Vertreiber gebunden werden.)

3.1.3 GP 3: Pfandsystem mit übergeordneter Clearingstelle

Um eine Rückgabe von Pfandgütern und Rückerstattung des Pfandbetrags zu ermöglichen, die sowohl unabhängig vom Ort des Erwerbs als auch markenunabhängig ist, ist ein sogenanntes „Pfandclearing“ erforderlich. Das Pfandclearing erfolgt über eine sog. Clearingstelle, die administrative und organisatorische Aufgaben im Pfandsystem übernimmt.

Die Erhebung des Pfandbetrages erfolgt auf allen Handelsstufen, d.h. dass mit Ausnahme der ersten Handelsstufe (Hersteller – Vertreiber) auf allen Handelsstufen auch ein „Pfandausgleich“ stattfindet. Der Endnutzer kann das Pfandgut bei allen Vertreibern zurückgeben, bei denen das Pfandgut veräußert wird (markenunabhängig). Der Vertreiber zahlt bei Rückgabe des Pfandguts durch den Endnutzer den Pfandbetrag aus. Das Pfandgut verbleibt beim Vertreiber und wird von dort einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt. Dieser Aspekt ist zwischen Herstellern und Vertreibern vertraglich abzustimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen gesetzlichen Grundlagen.

Dieses GP eines Pfandsystems erfordert die Einrichtung einer Clearingstelle, die den Pfandausgleich gegenüber den Vertreibern übernimmt.

Die genaue Ausgestaltung der **Aufgaben und die Finanzierung der Clearingstelle** können variieren. Nachfolgend werden grundlegende Punkte aufgeführt:

- **Finanzierung:** Die Clearingstelle wird durch die Hersteller finanziert, indem die Hersteller entsprechend ihrem Marktanteil ein Beteiligungsentgelt bezahlen.
- **Aufgaben:** Prüfung der Meldungen von Herstellern über die in Verkehr gebrachten Mengen (für die die Hersteller Pfand erhalten und entsprechend an die Clearingstelle überwiesen haben) und Prüfung der Meldungen der Vertreiber über die zurück genommenen Mengen,

für die vom Vertreiber Pfand ausgezahlt wurde. Ausgleich der damit verbundenen Pfandforderungen (Pfandausgleich). Das Pfand, das für nicht zurück gegebene Pfandgüter nicht erstattet wird (= Pfandschlupf), verbleibt bei der Clearingstelle und wird je nach Ausgestaltung der Aufgaben der Clearingstelle für Entsorgung/Verwertung der Pfandgüter oder für Innovationen bzgl. der Verwertung oder Ähnliches verwendet.

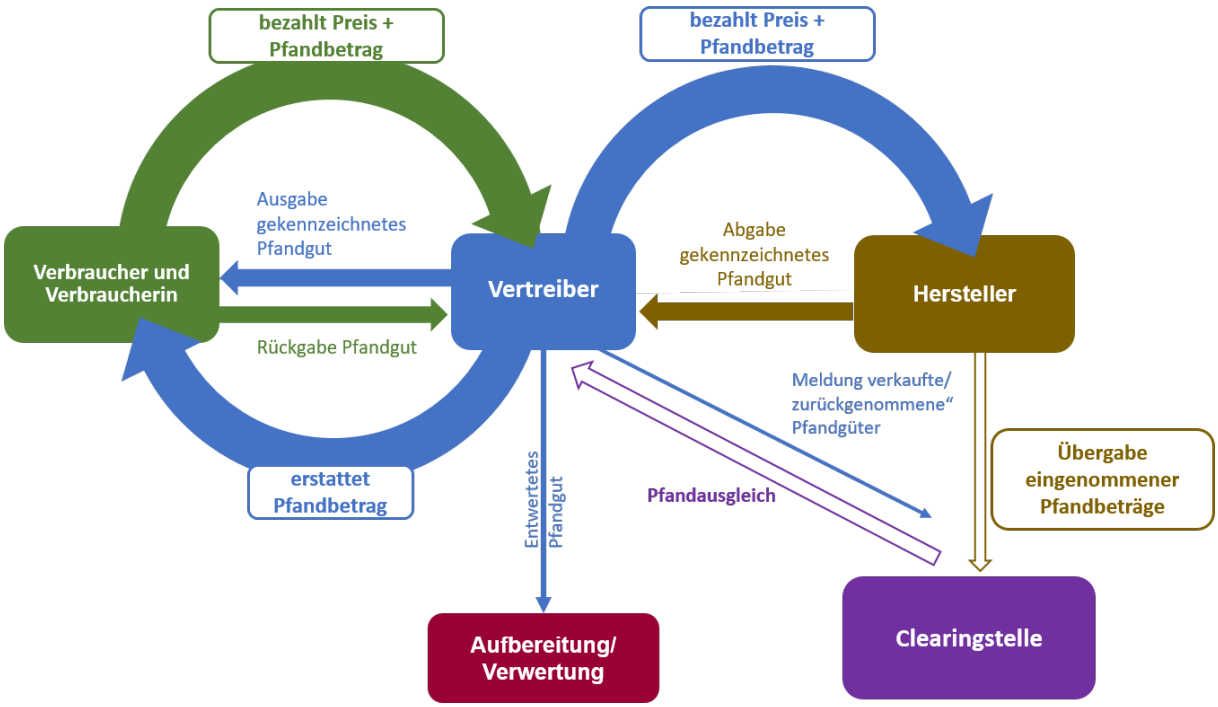
Zum Pfandausgleich melden die Vertreiber die Anzahl der zurückgenommenen Pfandgüter an die Clearingstelle. Die gemeldete Anzahl muss nachprüfbar sein, damit ein Pfandausgleich nur für tatsächlich ausbezahlte Pfandbeträge erfolgt. Voraussetzung für diese Form eines Pfandsystems ist die eindeutige Kennzeichnung des Pfandgutes.

Gleichzeitig sind mit diesem GP eines Pfandsystems zwei wesentliche Anforderungen verbunden, deren Umsetzung in der Praxis genau festgelegt werden muss:

- Eindeutige Kennzeichnung des Pfandgutes
- Nachprüfbare Meldung der zurückgenommenen Pfandgüter bzw. der ausbezahlten Pfandbeträge

Diese Art eines Pfandsystems mit zentraler Clearingstelle entspricht der Systematik für die Abwicklung eines sog. Einwegpfandes für Getränkeverpackungen, wie es in vielen europäischen Ländern (z. B. Dänemark) vorzufinden ist. In Ausnahmefällen kann das Clearing auch durch einen staatlichen Fonds geregelt werden (z.B. wie in Kalifornien oder Kroatien).

Abbildung 3: Prinzip der Abwicklung eines Pfandes mit Clearingstelle



Clearingstelle übernimmt Pfandausgleich für die betroffenen Unternehmen in direktem Kontakt mit den Vertreibern.

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

Zusammengefasst resultieren aus beschriebenen Pfandsystematiken folgende Konsequenzen, Vorteile und Nachteile:

Konsequenzen: Die Einführung einer Clearingstelle ist erforderlich. Die Clearingstelle übernimmt organisatorische und administrative Aufgaben, die zusammen mit der Finanzierung der

Clearingstelle festgelegt werden müssen. Darüber hinaus müssen Festlegungen für die eindeutige Kennzeichnung des Pfandgutes getroffen werden und das System vor Betrug (Mehrfachrückgabe des Pfandgutes und nachprüfbare Meldung der Daten von Vertreibern) geschützt werden.

Vorteile: Durch die markenunabhängige Rückgabemöglichkeit an verschiedenen Rücknahmestellen (Vertreiber) ist dieses Pfandsystem sehr verbraucherfreundlich. So können auch zentrale Rücknahmepunkte eingerichtet werden, die beispielsweise die Vertreiber entlasten. Dieses kann sich positiv auf die Rücklaufquoten auswirken. Auf einen eindeutigen Nachweis durch den Endnutzer kann bei Rückgabe verzichtet werden, da die eindeutige Kennzeichnung des Pfandguts ausschlaggebendes Kriterium ist.

Nachteile: Für die Vertreiber entsteht ggf. ein hoher administrativer Aufwand bei der Datenmeldung der zurück genommenen Pfandgüter bzw. der ausbezahlten Pfandbeträge an die Clearingstelle. Die eindeutige Kennzeichnung bedeutet ggf. mehr Aufwand für die Hersteller aber auch für die Vertreiber, die die Kennzeichnung bei der Rückgabe des Pfandgutes „auslesen" müssen. Mit der Übernahme des Pfandgutes muss gesichert sein, dass das Pfandgut kein weiteres Mal mehr abgegeben werden kann, und der Pfandbetrag bei der Clearingstelle nur einmal gemeldet wird (= z. B. Entwertung der Pfandkennzeichnung).

Exkurs: Abwicklung des Pfandes für Einweggetränkeverpackungen in Deutschland

Deutschland ist eines der sehr wenigen Länder, in denen das Einwegpfandsystem ohne eine zentrale Clearingstelle ausgeführt wird. Zur Realisierung eines solchen Systems mit einer umfassenden Pfanderstattungspflicht innerhalb der Getränkewirtschaft wurde im Jahr 2005 die DPG Deutsche Pfandsystem GmbH gegründet. Die DPG stellt den rechtlichen und organisatorischen Rahmen für den direkten Pfandausgleich (Pfand-Clearing) zwischen den am System teilnehmenden Unternehmen bereit, ist aber selbst nicht am Clearingprozess beteiligt. Die wesentliche Aufgabenstellung der DPG besteht darin, den an das System angeschlossenen Unternehmen Rahmenbedingungen und Standards für eine praktikable Umsetzung der gesetzlich vorgeschriebenen Pfanderhebungs- und Pfanderstattungspflicht zur Verfügung zu stellen. Die operativen Aufgaben der DPG beschränken sich auf das Management von Kennzeichnungsstandards, Vorgaben der IT-Schnittstellen und der Zertifizierungsanforderungen sowie der Zulassung aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer am System (Zertifizierer, Pfandkontodienstleister, Automatenhersteller, Zählzentren, usw.). Pfand-, Waren-, Rücknahmeströme werden nur zwischen Inverkehrbringer und Rücknahmestelle abgewickelt. Der Inverkehrbringer ist der Pfandkontoführer, die Rücknahmestelle ist die Forderungsstelle. Zur Abwicklung der Prozesse gibt es Unternehmen, die als „Pfandkontodienstleister" oder „Forderungsstellerdienstleister" für die Inverkehrbringer und die Rücknehmer tätig werden. Diese Unternehmen wickeln den Ausgleich der Pfandbeträge ab.

3.2 Übersicht von Beispielen und artverwandten Pfandsystemen/ Pilotprojekten

Die Studie „Assessment of options to improve particular aspects of the EU regulatory framework on batteries“ [Ökoinstitut et al, 2021] stellt heraus, dass aktuell keinePfandsysteme für Batterien oder spezifisch für LIB bestehen […]: „There is currently no deposit system for portable batteries in any EU Member State.“

Im nationalen und internationalen Kontext wurden aber diverse Pfandsysteme (Einweg/ Mehrweg) auf unterschiedliche Güter diskutiert und/oder bereits eingeführt. Übergeordnet kann hier zwischen Ge- oder Verbrauchsgütern sowie zwischen verschiedenen Produktgruppen (z.B. Verpackungen, Batterien, schadstoffhaltige Güter, o.ä.) unterschieden werden. Um die jeweiligen Pfandsysteme oder artverwandten Lösungen mit einem möglichen Pfandsystem für LIB vergleichbar zu machen, werden im Folgenden vorwiegend Pfandsysteme oder artverwandte Lösungen für langlebige Produkte, die eine ableitbare Charakteristik für die Fragestellung eines Pfandsystems für LIB haben und die im Rahmen einer Desktoprecherche identifiziert werden konnten, vorgestellt und auf Ihre Effektivität in Bezug auf die Sammelmenge und der Einordnung des jeweiligen rechtlichen Kontextes eingestuft.

Ferner werden auch Mehrweg-Pfandsysteme kurz dargestellt, die in ihrer Zielsetzung zwar nicht mit einem Pfandsystem für LIB vergleichbar sind, aber Hinweise auf das Verbraucherverhalten im Rückgabeprozess und die Akzeptanz eines definierten Pfandwerts liefern können. Auf eine Darstellung des in Deutschland und in anderen Ländern vorherrschenden Pfandsystems auf Getränkeverpackungen (Flaschen/ Dosen) wird an dieser Stelle nicht mehr vertieft eingegangen (siehe Exkurs in Kapitel 3.1.3).

3.2.1 Verpackungen

Neben dem in Deutschland eingeführten Pfandsystem für Einweg-Getränkeverpackungen sind im Verpackungsbereich weitere Pfandsysteme anzutreffen. Diese finden sich vorrangig im Bereich von Mehrwegprodukten mit dem Ziel der Abfallvermeidung und zielgerichteten Rücknahme von sortenreinen Stoffströmen. Diese Pfandsysteme für Mehrwegprodukte sollen somit Anreize bieten, die Pfandgüter zum Zwecke der z. B. erneuten Nutzung zielgerichtet zurückzuführen. Sie sind nicht „verbraucht“, sondern nach ggf. Reinigung unmittelbar wieder einsetzbar und fallen aufgrund dessen in manchen Teilen auch nicht direkt unter das Abfallregime. Die Produktpalette dieser Ge- und Verbrauchsgüter ist hierbei vielfältig. Im Bereich der Einwegprodukte wird anstelle eines erhobenen Pfands alternativ mit der Ausgabe von Gratisprodukten geworben. Im Detail erhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher ab einer gewissen Anzahl an rückgegebenen Gütern im Gegenzug ein neues Produkt (z. B. weltweite Kampagne „Back to Mac“: Bei der Rückgabe von sechs leeren Kosmetikbehältern, erhält der Kunde ein Neuprodukt gratis [Wilms, 2020]).

Da Mehrweggüter an sich nicht direkt mit dem Verbrauchsgut „LIB“ vergleichbar sind, sind die in der Tabelle 1 aufgeführten Beispiele nur als Grundlage für eine allgemeine Einschätzung der Verbraucherakzeptanz von Pfandsystemen auf verschiedene Güter zu verstehen und um auch auf Grundlage dieser Informationen zu einem späteren Zeitpunkt eine geeignete Pfandhöhe für LIB ableiten zu können.

Tabelle 1: Beispiele Pfandsysteme für Verpackungen (Mehrwegsysteme)

Initiative	Gebrauchs-/ Verbrauchsgut	Prinzip	Rückgabe	Pfandhöhe	Akteure und Verantwortlichkeiten
LOOP	Mehrwegverpackungen	Verbraucherinnen und Verbraucher zahlen beim ersten Einkauf ein einmaliges Pfand für die Produkte und erhalten diese in Kombination mit einer eigenkreierten „Einkaufstasche". Nach Gebrauch und bei Rückgabe wird der Pfandwert über eine App erstattet, so dass dieser für den nächsten Einkauf genutzt oder ausbezahlt werden kann. Voraussetzung für die Rückgabe ist, dass das Pfandgut in der beim Kauf bereitgestellten Einkaufstasche abgegeben und transportiert wird.	Die Rückgabe erfolgt dabei entweder bei Rücknahmestellen oder im Abholservice durch den Hersteller bzw. einen beauftragten Dritten (Loop Initiative).	0,25 € bis 8,50 € je nach Produktgröße und Material	Durch die Erhebung des Pfandes bleibt der Produkthersteller Besitzer der Verpackung. Die Verpackung wandelt sich daher vom (Kauf-)Produkt zum (Dienstleistungs-) Service – auch bekannt als „Packaging as a service". Die Infrastruktur um die „Verpackungsretouren zu sammeln, zu reinigen und wieder zu befüllen wird durch die Initiative Loop im Auftrag der teilnehmenden Hersteller gesteuert und umgesetzt. System ist abhängig von Akzeptanz und Mitwirkung der Verbraucherinnen und Verbraucher.
Tiffin Loop[7]	Mehrweg Service-Verpackungen	Pfanderhebung auf Serviceverpackungen bei Auslieferung von Speisen aus teilnehmenden Partner Restaurants	Die Rückgabe kann im Tausch bei einer nächsten Essensbestellung erfolgen oder der Pfandwert kann in teilnehmenden Restaurants ausgelöst werden.	10,00 € pro Transportbox	Teilnehmende Partnerrestaurants bezahlen pro Behälter einen monatlichen Mitgliedsbeitrag von 29,95 € (unter Bereitstellung eines Starterkits an Mehrweg-Serviceverpackungen). Pfand an Verbraucher wird über Partnerrestaurant erhoben und erstattet.
Euro Pool System	Mehrweg-Transportverpackungen	Umfassendes Verpackungskonzept bestehend aus Klappsteigen, starren Steigen, Pool-Paletten und Big Boxen, Pfanderhebung bei „Anmietung"	Pfanderstattung bei Rückgabe	4,00 € pro Transportbox	Hersteller (Euro Pool System) bleibt Eigentümer der bepfandeten Produkte

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

[7] Quelle: https://tiffinloop.de/aus-dem-tiffin-projekt-wird-tiffin-loop/; https://www.lz-rheinland.de/fileadmin/user_upload/RL_Verlag/Artikel_LuL/2017_01_Begehrte_Pfandkisten.pdf

3.2.2 Batterien

Pfandpflicht auf Fahrzeugbatterien Deutschland

Mit Umsetzung der EU Batterie Richtlinie[8] in nationales Recht wurde im Batteriegesetz 2009 eine Pfandpflicht für Fahrzeugbatterien implementiert und die einhergehenden Verpflichtungen der agierenden Akteure definiert. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass solche, in der Regel Blei-Säure-haltigen, Batterien umwelt- und gesundheitskonform entsorgt werden.

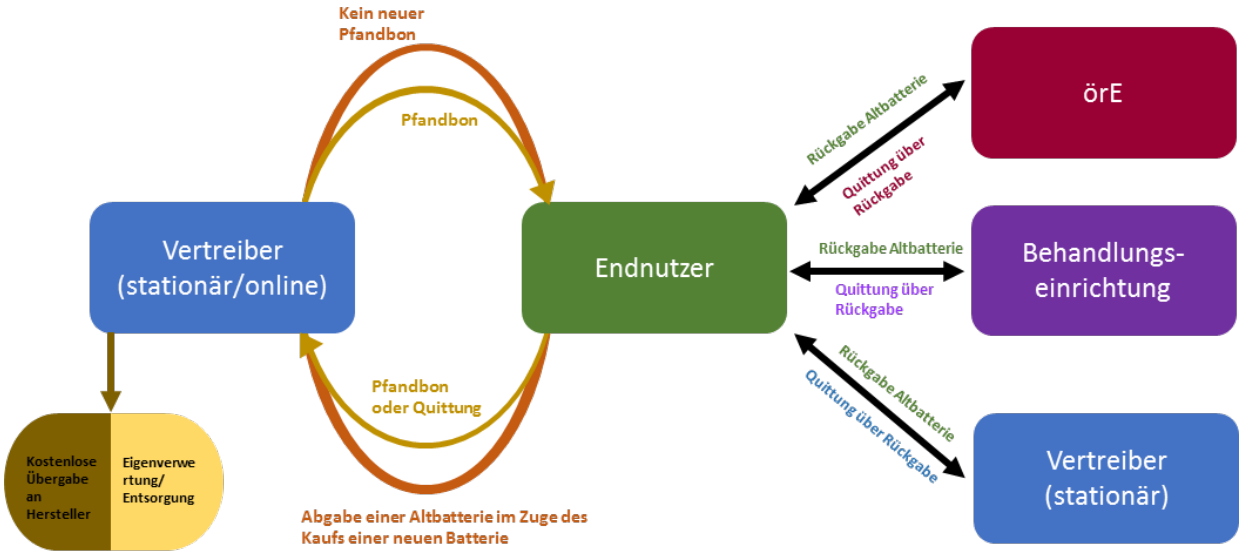
Hersteller von Batterien sind nach § 5 Abs. 1 BattG dazu verpflichtet, unter anderem die von Vertreibern zurückgenommenen Fahrzeugaltbatterien zurückzunehmen und zu verwerten bzw. zu beseitigen. Nach § 5 Abs. 2 gilt dieses auch für Altbatterien, die bei der Behandlung von EAG oder bei der Behandlung nach AltfahrzeugV anfallen.

Die Pfandhöhe für separat angebotene Fahrzeugbatterien (Starterbatterien) ist im Gesetz mit 7,50 € festgelegt. Das Pfand wird auf der letzten Handelsstufe erhoben, d.h. der Vertreiber berechnet das Pfand gegenüber dem Endnutzer, sofern dieser keine Altbatterie beim Neukauf zurückgibt. Dieses wird dann bei Rückgabe einer entsprechenden Fahrzeugaltbatterie vom ausstellenden Vertreiber erstattet. Das Pfandsystem beruht auf dem Grundprinzip der 1:1 Beziehung (vgl. GP1) (siehe auch Kapitel 3.1.1). Der jeweilige Vertreiber kann optional zusammen mit der Fahrzeugbatterie eine Pfandmarke ausgeben und bei der Rückgabe zurückverlangen. Die Rückgabe der Altbatterie muss vom Endnutzer nicht zwingend beim damaligen Verkäufer erfolgen, sondern kann überall dort stattfinden, wo auch neue Batterien der gleichen Art angeboten werden, alternativ auch bei partizipierenden Sammelstellen der örE oder Behandlungseinrichtungen nach § 12 Absatz 2 BattG (Behandlungsanlagen für Altfahrzeuge) Kommt es lediglich zur Rücknahme der Altbatterie ohne Auszahlung eines Pfandes, muss der oder die Rücknehmende auf Verlangen des Endnutzers eine Quittung über die angenommene Batterie ausstellen (vgl. Abbildung 4). Wurde die Starterbatterie im Versandhandel erworben, kann mit dieser Quittung dann auch ohne direkte, physikalische Rückgabe einer entsprechenden Fahrzeugaltbatterie über diesen Vertriebsweg das Pfand eingefordert werden. Der Rückgabenachweis darf zum Zeitpunkt der Vorlage nicht älter als zwei Wochen sein. Nach Rücknahme der Fahrzeugaltbatterien haben die Vertreiber die Möglichkeit, die Fahrzeugaltbatterien nach § 8 Absatz 1 Satz 1 BattG den Herstellern kostenlos zu übergeben oder die Mengen nach § 9 Absatz 3 BattG selbst einer ordnungsgemäßen Verwertung zuzuführen.

Die Pfandpflicht gilt hierbei nicht für Fahrzeugbatterien, die bei Abgabe an den Endnutzer in Fahrzeugen verbaut sind.

[8] Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren

Abbildung 4: Pfandsystem für Fahrzeugbatterien gemäß BattG



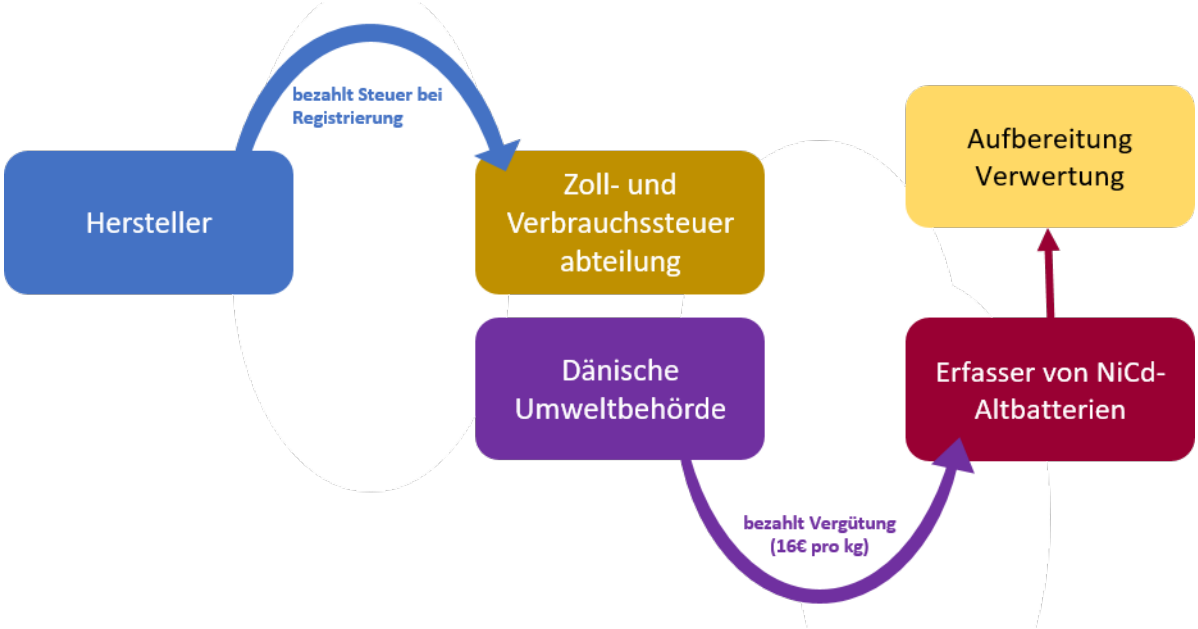
Quelle: cyclos GmbH, eigene Darstellung

Vor der Einführung des BattG hat der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) jährlich die Sammel- und Verwertungsquoten von Fahrzeug- und Industriebatterien veröffentlicht. Aktuell sind Vertreiber von Fahrzeug- und Industriebatterien sowie freiwillig an der Rücknahme von Fahrzeug-Altbatterien beteiligte öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) verpflichtet Bericht über Rücknahme- und Verwertungsergebnisse zu erstatten (vgl. § 15 Absatz 3 in Verbindung mit § 15 Absatz 1 BattG). Eine Sammelquote ist jedoch im Rahmen dieser Berichtspflichten nicht zu bestimmen. Die Ermittlung einer Sammelquote für Fahrzeug-Altbatterien für Deutschland erfolgt daher aktuell nicht. Vor der Einführung der Pfandpflicht lag die Sammelquote für Fahrzeugbatterien im Jahr 2009 bei ca. 79 %. Nach Einschätzung des UBA ist heute davon auszugehen, dass seit Jahren Sammelquoten von nahezu 100 Prozent erreicht werden.

„Abgabe“ statt Pfand auf NiCd-Batterien in Dänemark

Im Jahr 1996 wurde in Dänemark eine zweckgebundene Abgabe für Nickel-Cadmium (NiCd)-Batterien implementiert. Die zusätzliche Abgabe wird hierbei lediglich auf der Ebene der Hersteller erhoben (vgl. Abbildung 5). Alle Hersteller von Batterien, die sich vor in Verkehr bringen registrieren müssen, zahlen eine „Abgabe“ in Höhe von 0,80 € je Batterie an die Zoll- und Verbrauchssteuerabteilung. Dies gilt auch für fest verbaute Batterien in Elektro(nik)geräten. Die Rückerstattung bzw. der zweckgebundene Ausgleich erfolgt durch die dänische Umweltbehörde. In Dänemark sind insgesamt 20 Unternehmen mit der offiziellen Sammlung dieser Batterien genehmigt. Pro 1 kg gesammelter Batterien erhalten diese 16,- €. Dieser garantierte Preis soll die Kosten für Sammlung und Verwertung kompensieren.

Abbildung 5: Zweckgebundene Abgaben und Vergütungen für NiCd-Batterien in Dänemark



Quelle: cyclos GmbH, eigene Darstellung

Im Gegensatz zu einem Pfandsystem, bei dem der Pfandbetrag im besten Fall zwischen den Akteuren zirkuliert und ausgeglichen wird, handelt es sich an dieser Stelle um einen alternativen Mechanismus in Form eines verursachergerechten Fond-Modells bei gleichzeitiger Anreizschaffung zur Erhöhung der Sammelmenge für partizipierende sammelnde Unternehmen durch einen hohen, festgelegten Vergütungssatz. Die sammelnden Unternehmen müssen genehmigt sein und eine ordnungsgemäße und umweltgerechte Sammlung und Entsorgung gewährleisten. Nach Angaben der Umweltschutzbehörde sind die Mengen der registrierten in Verkehr gebrachten Batterien seit Einführung um ca. 20 % gesunken und die Sammelquote konnte von 35 % auf 50-60 % gesteigert werden [Stand, 2014; vgl. Wilms, 2020].

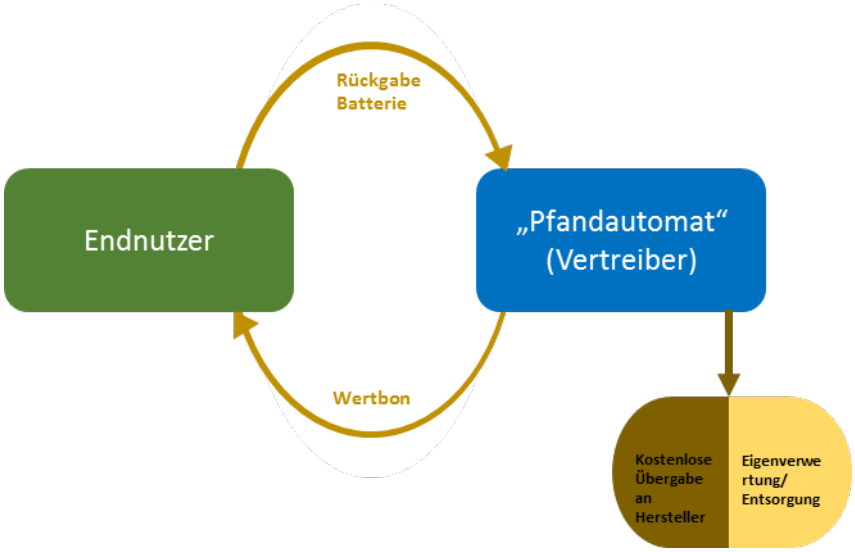
„Pfandautomaten“ für Haushaltsbatterien in Lebensmittelgeschäften in Norwegen[9]

Im Rahmen eines Pilotprojekts des weltweit größten Batterieherstellers Energizer und der Handelskette Coop in Norwegen wurde eine Art Pfandautomat für Gerätebatterien in Obs!-Stores der Kette „Coop“ in Lilleström, Alnabru und Vinterbro aufgestellt. Bei den Automaten handelte es sich um Rückgabeautomaten für Haushaltsbatterien, die im Zuge der Rücknahme einen Pfandbeleg/ Wertbon generieren. Die Automaten waren für die Rücknahme von zylindrischen Batterien in den Größen AA, AAA, C, D sowie 9 V Batterien konzipiert und konnten rund 50 Kilogramm Altbatterien fassen. Zudem wurden sie in einer feuerfesten Bauweise gefertigt, um auch die Rücknahme von schadstoffhaltigen Batterien explizit zu ermöglichen.

Dem Kunden wurden pro zugeführter Batterie 1 Krone (= ca. 10 Cent) erstattet. Der Wertbon konnte im Lebensmittelgeschäft z.B. beim Kauf neuer Batterien wieder eingelöst werden. Die Sammelmenge der insgesamt 3 Automaten belief sich in den ersten 3 Wochen nach Inbetriebnahme auf ca. 2.500 Batterien. Dies entspricht bei einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 23 Gramm einer Gesamtmenge von ca. 0,06 Tonnen.

[9] Businessportal Norwegen, 2017: Das aufgeführte Praxisbeispiel entspricht mehr einem Belohnungssystem, welches hier als artverwandte Alternative, die bereits umgesetzt bzw. getestet wurde, mit vorgestellt werden soll.

Abbildung 6: Prinzip des Rücknahmeprozess über „Pfandautomaten“



Quelle: cyclos GmbH, eigene Darstellung

Nach Angaben des Handelsvertreters von Coop müsste für eine dauerhafte Nutzung eine geänderte Rücknahmeverpflichtung für Vertreiber respektive Vergütung für Verbraucher im Gesetz implementiert werden. Über die abschließende Laufzeit des Pilotprojektes konnten keine Informationen ermittelt werden.

Gemäß der Umsetzung der EU-Batterie Richtlinie von 2006 liegt die Verantwortung der Batteriesammlung und -verwertung in Norwegen bei den Herstellern[10]. Diese sind in diesem Rahmen verpflichtet an einem genehmigten Rücknahmesystem teilzunehmen. Vertreiber sind in diesem Zuge aktuell bzw. zum Zeitpunkt des Pilotprojektes nur zu einer kostenlosen Rücknahme von Batterietypen (markenunabhängig) verpflichtet, die sie auch zum Verkauf anbieten.

Einer Verbraucherumfrage von Coop zufolge entsorgen ca. 26 % der Kunden der Lebensmittelgeschäfte ihre Batterien über den Restabfall.[11] Die Sammelquote von Gerätebatterien in Norwegen betrug bis zum Jahr 2012 < 40 %.[12] Dies entsprach einer Gesamtsammelmenge von ca. 1.400 Tonnen bei einer gemeldeten, in Verkehr gebrachten Menge von 3.550 Tonnen. Im Vergleich hierzu ist die Rücknahmemenge der Haushaltsbatterien über die Rückgabeautomaten trotz Anreizschaffung (Wertbon) innerhalb der 3 Wochen als eher gering einzustufen.[13]

GreenPack – Austauschautomaten und Pfandsysteme für Li-Ionen Akkus (2017)

Die GreenPack mobile energy solutions war bis August 2020 eine Marke von Swobbee, ein junges Berliner Startup, das sich auf die Entwicklung, die Produktion und den Vertrieb eines intelligenten, standardisierten herstelleroffenen Wechselakku-Systems (Li-Ionen mit max. Kapazität von 1.400 Wh) fokussiert hat. Am 31. August erfolgte die Umbenennung der GreenPack mobile energy solutions GmbH in Swobbee GmbH. Die entwickelten standardisierten Li-Ionen Akkus können in unterschiedlichen (Nutzungs-)Bereichen eingesetzt werden, z.B. bei Sharing- und

[10] Norwegen ist zwar kein Mitgliedstaat der Europäischen Union, zählt aber zu den EEA-Staaten, die sich verpflichtet haben u.a. im Bereich Umwelt auf nationaler Ebene ähnliche Gesetze zu implementieren. In Bezug auf zu entsorgende Batterien verweist die nationale Abfallverordnung, die die jeweiligen Herstellerverantwortungen regelt, auf die Umsetzung der EU-Batterierichtlinie 2006/66/EG, die hierbei explizit benannt wird [vgl. Lovhefte-Avfallsforskriften, 2017]
[11] https://phys.org/news/2017-05-norway-supermarket-chain-battery-recycling.html
[12] https://www.epbaeurope.net/wp-content/uploads/2016/12/Perchards_Sagis-EPBA_collection_target_report_-_Final.pdf und https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Published%20Supporting%20Study%20Evaluation.pdf
[13] Hochgerechnet auf 1 Jahr bei gleichbleibender Rücknahmemenge würden 3 Pfandautomaten nur ca. 1 Tonne pro Jahr an Haushaltsbatterien zurücknehmen.

Lieferservices oder Lastentransporten im öffentlichen Raum bis zum Betrieb von Rasenmähern, Schneefräsen oder Wildkrautmaschinen in der Garten- und Landschaftspflege sowie E-Cargobikes oder Elektro-Rollern.

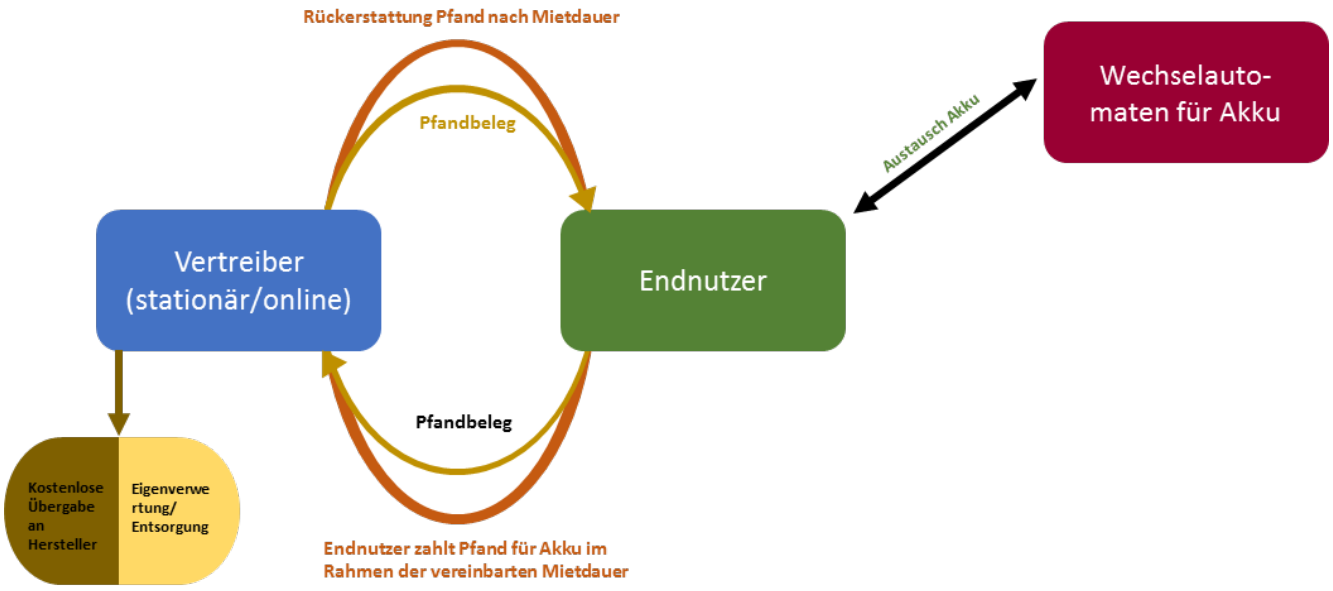
Im Rahmen eines Pilotprojektes in Berlin wurden diverse Wechselakku-Automaten im Stadtgebiet (vorrangig an Tankstellen z.B. Aral, Total) eingerichtet, um einen verbraucherfreundlichen Austausch der Li-Ionen Akkus zu jeder Tageszeit zu schaffen (vgl. Abbildung 7). Der Zugang zu den Swobbee Stations erfolgt mittels einer App oder RFID-Zugangskarte, die auf den autorisierten Vertragspartner bzw. dessen Mitarbeiter kodiert ist und zu Beginn der Vertragslaufzeit an diesen ausgehändigt wird.

Die Wechselstationen verfügen in ihrer Standardversion über acht Fächer, die dank des speziellen technischen Designs mit unterschiedlichen Akkus bestückt werden können. Aktuell können an den Stationen die standardisierten Akkus von Greenpack sowie die Batterien des Elektroroller-Herstellers Kumpan geladen werden. Das System ist offen für die Integration weiterer Akkus.

Ein Akku soll beim Kauf ca. 1.000 Euro kosten und ist gemäß GreenPack auf ca. 1.000 Ladezyklen ausgelegt. Der Fokus wird aber zukünftig auch auf ein Mietsystem gelegt, bei dem die Akkus gegen Pfand zur Verfügung gestellt werden und der Nutzer pro Ladevorgang bezahlen muss. Der genaue Pfand- bzw. Mietpreis berechnet sich nach dem jeweiligen Kundensystem.

Über ein Jahr lang wurde die herstellerübergreifende Ladeinfrastruktur in Berlin getestet. Neben GreenPack haben sich an dem Pilotprojekt auch Logistikunternehmen wie DPD und Hermes sowie die E-Mobilitätsanbieter Chargery und ONO beteiligt. Die Wechselstationen, die im Rahmen des Pilotprojekts genutzt wurden, sollen in den Regelbetrieb übernommen und durch weitere Anlagen in der Hauptstadt ergänzt werden. Weitere Stationen sind in Freiburg, Stuttgart, Frankfurt und Bochum geplant. Nach Angaben von Vertretern von Swobbee hatten die Stationen eine Auslastung von bis zu 70 %.

Abbildung 7: Prinzip Pfanderhebung bei Mietdauer



Quelle: cyclos GmbH, eigene Darstellung

Gemäß der aktuellen Gesetzeslage fallen die Greenpack-Akkus unter den Batterietyp „Industriebatterie“. Hersteller von Batterien sind nach § 5 BattG dazu verpflichtet, die von Vertreibern zurückgenommenen Altbatterien unentgeltlich zurückzunehmen und zu verwerten bzw. zu be-

seitigen. Eine offizielle Pfandpflicht für Industriebatterien ist im BattG bislang nicht verankert. Die Pfanderhebung in Kombination mit einem Mietsystem schafft Anreize für den Verbraucher, nach Ablauf der Mietdauer, den Akku ordnungsgemäß zurückzugeben. Offizielle Zahlen über die Rückgabe der Akkus nach Mietdauer sind aufgrund der jungen Vergangenheit des Projekts und der weiteren Umsetzung nicht verfügbar. Ebenso bleibt unklar, wie mit defekten Akkus umgegangen wird und/oder ob diese auch über die Wechselautomaten ausgetauscht werden können. Informationen über die anschließende Entsorgung durch den Vertreiber respektive Hersteller sind bislang nicht veröffentlicht. Nichtsdestotrotz kann aus den Projektergebnissen abgeleitet werden, dass die Bereitschaft einen Pfandwert zu hinterlegen generell vorhanden ist.

Pfandsystem für Batterien auf College Campus [China, n.y.]

Im Rahmen eines Studentenprojekts wurde an einem College Campus in China auf Gerätebatterien ein Pfand von 1,30 US-$ (= 1,07 €) pro Batterie erhoben. Bei dem Pfandgut handelte es sich um einen Batterietypen, der von einem Studenten des Colleges entwickelt wurde. Die Rückgabe dieser Batterien war nur am Standort des Kaufs möglich. Die Rückgabe bzw. Sammelquote beliefen sich auf 100 %. Des Weiteren wurden in China im Rahmen eines ehrenamtlichen Rücknahmeprogramms für Batterien im Jahr 2002 innerhalb von 3 Jahren mehr als 60 Tonnen Gerätebatterien gesammelt, in dem der Verbraucher die Rückgabe mit 0,2 US-$ (= 0,16 €) vergütet bekommen hat.

3.2.3 Schadstoffhaltige Güter (Elektro(nik)geräte)

Im Rahmen des Projektes „Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro)“[14] aus dem Jahr 2019 wurden Erfahrungen mit Pfandsystemen für EAG dargestellt. Demnach erfolgte in Österreich eine „Bepfandung“ bestimmter Elektrogeräte bis zum Inkrafttreten der nationalen Umsetzung der WEEE-Richtlinie. So wurde 1990 die Kennzeichnung, Rücknahme und Pfanderhebung von bestimmten Lampen und 1992 die Rücknahme von Kühlgeräten durch Verordnungen geregelt.[15] Die Pfandhöhe lag bei 10 Schilling (= 0,73 €) für Lampen und 1.000 Schilling (= 72,67 €) für Kühlgeräte. Die Erhebung des Pfandes erfolgte über den Handel, der die Produkte an Letztverbraucher abgab. Hiermit ging die Pflicht zur Rücknahme einher. Die Produkte erhielten eine Kennzeichnung mit dem Wort „Pfand“. Alternativ wurden beim Verkauf Pfandmarken ausgegeben.

Vor dem Hintergrund der Bewertung eines Pfandsystems für kleine EAG stellt die Studie heraus, dass hinsichtlich der Erfassung eine Unterscheidung zwischen bepfandeten und nicht bepfandeten EAG sichergestellt werden muss und diese nicht ausschließlich auf Produktmerkmalen basieren kann.

Mit der nationalen Umsetzung der WEEE-Richtlinie wurde das Pfandsystem rechtlich nicht weiter übernommen, da diese ein solches Instrument nicht vorsieht. Eine quantifizierende Auswertung der Steuerungseffekte des Pfandsystems liegt nicht vor [Sander et al., 2019].

Pfand auf Smartphone (Shiftphone)

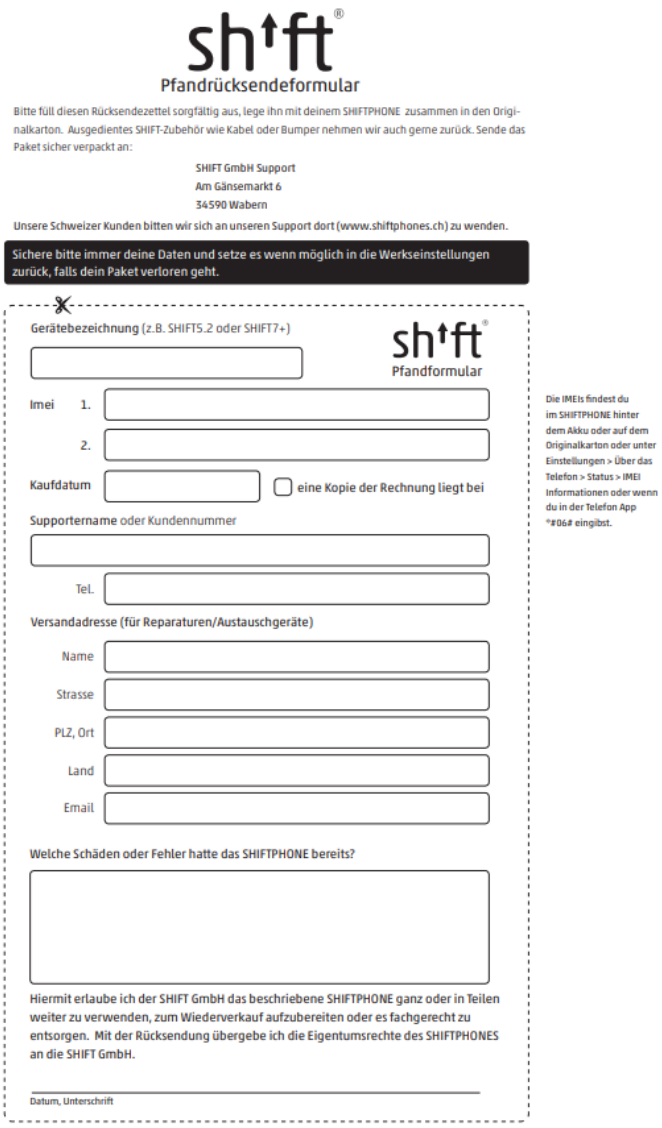
Bei dem „Shiftphone“ handelt es sich um eine im Jahr 2014 eingeführte Smartphone-Modellreihe der deutschen Shift GmbH. Shiftphones sind modulare Smartphones, die möglichst nachhaltig hergestellt werden. Das modulare Konzept ermöglicht dem Endverbraucher eine einfache Repa-

[14] UBA- Texte | 52/2019. Sander et al., 2019: Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro) (FKZ: 3711 95 318). Abrufbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/abfallwirtschaftliche-produktverantwortung-unter

[15] 408. Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Rücknahme von Kühlgeräten, in Bundesgesetzblatt Österreich 1992, S. 1671; 512. Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie vom 19. Juli 1990 über die Kennzeichnung, Rücknahme und Pfanderhebung von bestimmten Lampen, in Bundesgesetzblatt Österreich 1990, S. 3333

rierbarkeit der Geräte und jederzeit den Austausch einzelner Module. Beim Kauf eines Geräts wird durch den Vertreiber ein Pfand in Höhe von 22 € erhoben. Der Endnutzer erhält im Gegenzug ein Pfandzertifikat, das bei Rückgabe des Geräts für die Ausbezahlung des Pfands vorgelegt werden muss (siehe Abbildung 8). Es handelt sich hierbei um ein Pfandsystem mit einer 1:1 Beziehung zwischen Vertreibern und Verbraucherinnen und Verbraucher (vgl. GP1, siehe auch Kapitel 3.1.1). Im Rahmen des Rücknahmeprozesses muss der Endnutzer zusätzlich ein Pfandformular ausfüllen. Das Pfand wird bei Rückgabe in Form eines Warengutscheins für den firmeninternen Onlineshop erstattet. Die Erstattung des Pfands erfolgt auch für defekte Geräte. Rückgenommene Geräte werden, sofern möglich durch das Unternehmen, wiederaufbereitet („refurbished“) oder ordnungsgemäß verwertet.

Abbildung 8: Pfandformular Shiftphone



sh¹ft®

Pfandrücksendeformular

Bitte füll diesen Rücksendezettel sorgfältig aus, lege ihn mit deinem SHIFTPHONE zusammen in den Originalkarton. Ausgedientes SHIFT-Zubehör wie Kabel oder Bumper nehmen wir auch gerne zurück. Sende das Paket sicher verpackt an:

SHIFT GmbH Support
Am Gänsemarkt 6
34590 Wabern

Unsere Schweizer Kunden bitten wir sich an unseren Support dort (www.shiftphones.ch) zu wenden.

Sichere bitte immer deine Daten und setze es wenn möglich in die Werkseinstellungen zurück, falls dein Paket verloren geht.

Gerätebezeichnung (z.B. SHIFT5.2 oder SHIFT7+)

sh¹ft® Pfandformular

Imei 1.

2.

Kaufdatum

☐ eine Kopie der Rechnung liegt bei

Supportername oder Kundennummer

Tel.

Versandadresse (für Reparaturen/Austauschgeräte)

Name

Strasse

PLZ, Ort

Land

Email

Welche Schäden oder Fehler hatte das SHIFTPHONE bereits?

Hiermit erlaube ich der SHIFT GmbH das beschriebene SHIFTPHONE ganz oder in Teilen weiter zu verwenden, zum Wiederverkauf aufzubereiten oder es fachgerecht zu entsorgen. Mit der Rücksendung übergebe ich die Eigentumsrechte des SHIFTPHONES an die SHIFT GmbH.

Datum, Unterschrift

Die IMEIs findest du im SHIFTPHONE hinter dem Akku oder auf dem Originalkarton oder unter Einstellungen > Über das Telefon > Status > IMEI Informationen oder wenn du in der Telefon App *#06# eingibst.

Quelle: https://www.shiftphones.com/pfand/

Im ElektroG ist bislang keine Pfandpflicht für Elektro(nik)geräte implementiert oder vorgesehen. Nichtdestotrotz steht die Diskussion über eine Pfandpflicht für bestimmte Gerätearten in Fachkreisen immer wieder im Raum, um zukünftig die Sammelmenge in Deutschland zu erhö-

hen und die erhöhte Sammelquote für EAG (seit 2019: 65%) zu erreichen (siehe hierzu auch Ergebnisse RePro).

4 Technische Eigenschaften von LIB

LIB sind elektrochemische Speicher, bei denen Lithium als aktives Material in der Kathode (negativen Elektrode) verwendet wird. Beim Entladen der Batterie wandern positiv geladene Lithium-Ionen von der Kathode durch den Elektrolyten und den Separator zur Anode (positiv geladenen Elektrode). Die negativ geladenen Elektronen wandern gleichzeitig als Stromträger über eine äußere elektrische Kabelverbindung von der Kathode zur Anode [Korthauer, 2018]. Bei den wiederaufladbaren Lithium-Sekundärbatterien lässt sich dieser Vorgang auch umkehren.

Die Mehrzahl der LIB sind wiederaufladbare Sekundärbatterien [DKE, 2021].

In Bezug auf LIB als Pfandgut können ihre technischen Eigenschaften wie typische Geometrien (Bauformen), typische Gewichte, typische Lebensdauern oder (Sicherheits-)Eigenschaften von verbreiteten Batterietypen relevant sein. Rechercheergebnisse zu diesen Punkten werden daher nachfolgend für verschiedene Batterietypen/-arten und Anwendungsgebiete dargestellt.

4.1 Primärbatterien

Lithium-Primärbatterien kommen mit verschiedener Zellchemie vor. Sie enthalten Lithium in der Kathode und sind nach den verschiedenen Inhaltsstoffen in der Anode benannt. Relevant sind z.B. Lithium-Eisendisulfid Primärbatterien (IEC Kennzeichnung „F“, AA und AAA Geometrie) oder Lithium-Mangandioxid in der Anode (IEC Kennzeichnung „C“, verschiedene Knopfzellen). Aufgrund von geringeren Kapazitäten und Belastungen gegenüber Lithium-Sekundärzellen liegen zu Sicherheitsaspekten verschiedener Zellchemien keine Aussagen vor.

Lithium-Primärbatterien kommen in Geometrien (Bauformen) vor, die auch für andere Primärbatterien, z.B. sogenannte Alkali-Mangan Batterien, typisch und seit vielen Jahren etabliert sind. Beispiele dafür sind AA und AAA Geometrien.

In der Norm DIN EN 60086-2 sind handelsübliche Primärbatterien ihrer Form entsprechend in Gruppen eingeteilt und mit nach ihren elektrochemischen Systemen dargestellt. Lithium-Primärbatterien mit den allgemeinen Bezeichnungen AA (umgangssprachlich Micro) und AAA (umgangssprachlich Mignon) wurden in die 2016 in überarbeiteter Form erschienene Norm aufgenommen.

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Geometrien und Bezeichnungen dieser Batterien laut EN 60086-2 wiedergegeben.[16]

Tabelle 2: Bezeichnung und Eigenschaften von AA und AAA Lithium-Primärbatterien

Allgemeine Bezeichnung (ANSI Standard)	IEC Bezeichnung (Alkali-Mangan Primärbatterie)	IEC Bezeichnung (Lithium-Eisensulfid Primärbatterie)	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Spannung [V]
AAA	LR03	FR10G445	10,5	44,5	1,5
AA	LR6	FR14505	14,5	50,5	1,5

Quelle: EN 60086-2

[16] DIN EN 60086-2:2016-10 Primärbatterien - Teil 2: Physikalische und elektrische Spezifikationen (IEC 60086-2:2015); Deutsche Fassung EN 60086-2:2016

Neben den AA und AAA LIB werden Lithium Primärbatterien auch in weiteren Baugrößen bspw. in der etablierten Form von 9 Volt Blocks auf dem Markt angeboten [Varta, 2021].

Darüber hinaus sind in der DIN EN 60086-2 weitere Geometrien aufgeführt, in denen LIB Primärbatterien standardisiert vorkommen und die nicht auf etabliertere elektrochemische Systeme zurückgehen. Dazu zählen mehrere Knopfzellen in Gruppe 4 der EN 60086-2 und mehrere Rundzellen in der Gruppe 2 der EN 60086-2.

Lithium-Primärbatterien, die in vielen Fällen nur aus einer Zelle bestehen, werden also in standardisierten oder zumindest handelsüblichen, etablierten Geometrien angeboten. Diese entsprechen zum Teil denen anderer elektrochemischer Systeme. Dadurch kann die optische Identifikation als LIB erschwert sein. In der Abbildung 9 werden zur Illustration handelsübliche Lithium-Primärbatterien (von links nach rechts Typ AA/FR14505, 9 Volt Block, CR123A, Knopfzelle CR2032) abgebildet. Lithium-Primärbatterien der hier dargestellten Geometrien haben ein sehr geringes Gewicht. Die abgebildeten Batterien wiegen z.B. zwischen 3 g und ca. 41 g. Lithium-Primärbatterien sind aufgrund ihrer geringen Größe als „abfalltonnengängig“ anzusehen.

Abbildung 9: Beispiele für Lithium-Primärbatterien

Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

4.2 Sekundärbatterien

4.2.1 Zellchemien

- Wie bei den Primärbatterien kommen auch bei den Sekundärbatterien verschiedene Zellchemien mit Lithium als aktivem Material in der Kathode vor. Bei den Sekundärbatterien enthält die Anode Graphit und verschiedenen Mischoxide [Korthauer, 2018]. Benannt werden die verschiedenen Zellchemien nach den Materialvarianten, die in der Kathode vorkommen. Besonders fünf Zellchemien werden in mehreren Veröffentlichungen als besonders relevant genannt [Rahimzei et al., 2015; Batteries Europe, 2021; Tsiropoulus et al., 2018]:
- Lithium-Kobaltdioxid (LCO)

- Lithium-Mangan-Spinelldioxid (LMO)
- Lithium- Nickel-Kobalt-Aluminiumdioxid (NCA)
- Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltdioxid (NMC)
- Lithium-Eisenphosphat (LFP)

Rahimzei et al., 2015 und Tsiropoulus et al., 2018 nennen dabei auch typische Einsatzfelder der Zellchemien. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Zellchemien und typische Einsatzfelder

LCO	LMO	NCA	NMC	LFP	Quelle
Haushalts-geräte	Werkzeuge, Gartengeräte, medizinische Geräte, militärische Geräte, Elektromobilität	Werkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, Elektromobilität, Energiespeicher	Werkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, medizinische Geräte, Elektromobilität, Energiespeicher	Werkzeuge, Gartengeräte, Haushaltsgeräte, Elektromobilität, militärische Geräte, Notbeleuchtung, Energiespeicher	Rahimzei et al., 2015
tragbare Elektronik-geräte	Werkzeuge, medizinische Geräte	Elektromobilität, Energiespeicher, medizinische Geräte, andere Industriebatterien	Elektromobilität, Energiespeicher, E-Fahrräder, medizinische Geräte, andere Industriebatterien	Elektromobilität, insbesondere E-Busse, Energiespeicher	Tsiropoulus et al., 2018

Quelle: Rahimzei et al., 2015 ; Tsiropoulus et al., 2018

Die Betrachtung der Tabelle zeigt, dass sich die Einsatzfelder der Zellchemien überschneiden. Gesagt werden kann, dass LCO LIB bei den elektronischen Gerätebatterien (consumer electronics / portable electronics) dominieren. NCA, NMC und LFP LIB werden typischerweise für Industriebatterien eingesetzt.

Neben der Angabe von Einsatzfeldern machen einige Autoren Aussagen zur Sicherheit von Zellchemien. In diesem Zusammenhang werden LFP LIB von Rahimzei et al., 2015, Batteries Europe, 2021 und Korthauer, 2018 als sicherer als andere Zellchemien beschrieben.

Laut Sterner und Stadler, 2017 beziehen sich solche Aussagen darauf, dass bei LFP LIB bei einer beginnenden Zersetzung der Anode kein Sauerstoff freigesetzt wird. Dies könnte sehr viel Wärme erzeugen und zu einem thermischen Durchgehen der LIB führen. Die Autoren vertreten die Ansicht, dass immer die thermische Stabilität aller Zellkomponenten betrachtet werden sollte. Auch Elektrolyte oder Separatoren von LIB können sich bei Temperaturen oberhalb von 100 °C zersetzten. Weiterhin können der Zellaufbau sowie mögliche Fertigungs- und Herstellungsfehler eine Rolle spielen [Sterner und Stadler, 2017]. Laut Timke, 2018 und Zaharof, 2021 sollte in Bezug auf Sicherheitsaspekte immer die gesamte Batterie betrachtet und getestet werden. Das schließt die Verbausituation in und von Zellen und Modulen, sowie die Leistungselektronik mit ein.

In der Gesamtbetrachtung können daher keine LIB einer Zellchemie als per se sicher oder unsicher bezeichnet werden.

4.2.2 Zellformate

Aktuell werden Lithium-Sekundärbatterien aus drei Zellformaten gefertigt

- Rundzellen
- Prismatische Zellen und
- Flachzelle (auch Pouch Zelle / Coffee Bag Zelle genannt)

Alle drei Zellformate werden sowohl für Gerätebatterien als auch für Industriebatterien eingesetzt [Korthauer, 2018].

Die folienähnlichen Elektroden und Separatoren von **Rundzellen** werden aufgewickelt und in ein festes Gehäuse eingebracht. [Kampker, 2018].

Eine besonders weit verbreitete Rundzelle, ist der Typ 18650 [Korthauer, 2016]. Dieser hat einen Durmesser von 18mm bei einer Länge von 65mm. Die Abbildung 10 zeigt eine Rundzelle des Typs 18650.

Abbildung 10: Rundzelle vom Typ 18650

Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

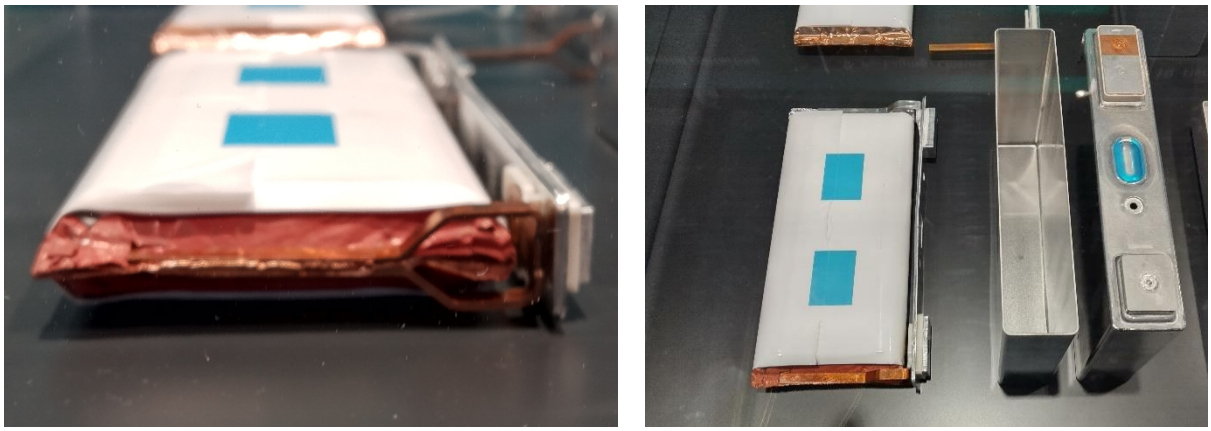
LIB vom Typ 18650 werden verbreitet in Gerätebatterien eingesetzt und kommen auch in Industriebatterien zum Einsatz. Im Bereich Elektromobilität ist laut VDMA, 2020 der Typ 21700 (Durchmesser 21mm, Länge 70mm) inzwischen gebräuchlicher. Die Formate von Rundzellen sind laut VDMA, 2020 stärker standardisiert als die von prismatischen Zellen oder Flachzellen. Für ihre Gehäuse wird überwiegend vernickelter Stahl eingesetzt [VDMA, 2020].

Die Elektroden und Separatoren einer **prismatischen Zelle** können entweder flach aufgewickelt oder gestapelt werden [VDMA, 2020; Kamper, 2018]. Sie sind in ein festes Gehäuse eingebracht.

Dieses besteht bei Industriebatterien typischerweise aus Aluminium [VDMA, 2020], bei Gerätebatterien typischerweise aus Kunststoff (z.B. bei Zellen für Mobiltelefone).

In der nachfolgenden Abbildung 11 ist eine gewickelte prismatische Zelle mit Anschlüssen (links) für den Einsatz in Industriebatterien dargestellt. Auf der rechten Seite sind die gewickelte Zelle und das prismatische Gehäuse sowie eine Zelle in ihrem Gehäuse zu sehen.

Abbildung 11: Prismatische Batteriezelle



Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Prismatische Zellen sind laut VDMA, 2020 weniger standardisiert als Rundzellen, kommen allerdings in weniger Geometrien (Bauformen) vor als Flachzellen.

Bei **Flachzellen** werden die Elektroden und der Separator aufeinander gestapelt und in einer Aluminium-Kunststoff-Verbundfolie verschweißt [VDMA, 2020; Kampker, 2018]. Ihr Gehäuse ist daher nicht fest und kann sich bei Druckaufbau aufblähen. Allerdings kann Wärme besser abgeleitet werden als bei Rundzellen oder prismatischen Zellen. In der nachfolgenden Abbildung 12 sind prismatische Zellen für eine Gerätebatterie (links) und Industriebatterie (rechts) dargestellt.

Abbildung 12: Flachzellen

Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Flachzellen sind laut VDMA, 2020 weniger standardisiert als Rundzellen und prismatische Zellen und kommen in sehr vielen Geometrien vor.

Insgesamt gibt es laut VDMA, 2020 bei allen drei Zellformaten einen Trend hin zu größeren Geometrien und höheren Kapazitäten.

Batteriezellen werden bei den Gerätebatterien typischerweise mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) zu Batteriepacks verbunden. Bei Industriebatterien werden sie in vielen Fällen zunächst zu Batteriemodulen verbunden, die anschließend zu Batteriepacks verbunden werden.

4.2.3 Gerätebatterien

Gerätebatterien können aus einer oder aus mehreren LIB-Zellen der drei vorgestellten Zellformate bestehen. Aus nur einer Flachzelle bestehen typischerweise LIB in Smartphones oder Tablets. Bei Gerätebatterien, die aus mehreren Batteriezellen bestehen, werden diese in vielen Fällen direkt zu Batteriepacks (also Batterien) verbunden. Mit zum Batteriepack gehört auch das Batteriemanagementsystem (BMS), d.h. die Elektronik, die die Zusammenarbeit der Batteriezellen steuert. In der Abbildung 13 ist beispielhaft eine geöffnete Notebookbatterie (Batteriepack) abgebildet, die aus mehreren LIB vom Typ 18650 (siehe Kapitel 4.2.2) besteht.

Abbildung 13: Geöffnete Notebookbatterie mit Rundzellen vom Typ 18650

Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass die Zellformate zumindest zum Teil standardisiert sind (z.B. Typ 18650), die Batteriepacks (also Batterien) jedoch zum großen Teil nicht. Darüber hinaus können Zellen bzw. Batterien entweder von außen aus Elektro(nik)geräten entnehmbar oder von ihnen umschlossen sein. Zu einer sehr großen Anzahl von Batterie(pack)geometrien sind daher die Geometrien unterschiedlicher Elektro(nik)geräte noch hinzu zu zählen.

Eine Kenngröße für die Menge an Energie, die eine Batterie speichern kann, ist ihre Kapazität. Diese wird in Ampere-Stunden (Ah / mAH) angegeben. Eine Kenngröße für die Energie, die eine Batterie in einer festgelegten Zeitspanne aufnehmen kann, ist die Nennenergie. Diese wird in Wh / kWh angegeben. LIB Gerätebatterien haben typischerweise Kapazitäten von zehn bis hundert Ah [Sterner und Stadler, 2017].

Um einen aktuellen Überblick über typische Kapazitäten von Gerätebatterien zu erhalten, wurden im Herbst 2020 Eigenschaften von Elektro(nik)geräten und LIB auf der Internetseite von Saturn ausgewertet. Festgehalten wurden Spannung, Nennkapazität und Einbausituation der LIB in den meistverkauften Elektro(nik)geräten bzw. meistverkauften LIB. Die Internetseite von Saturn wurde ausgewählt, da der Anbieter im Markt relevant ist, Produktkategorien ausreichend systematisch gegliedert sind und gleichzeitig eine Sortierung von Produkten nach dem Kriterium „Bestseller" möglich ist. Ausgewertet wurden jeweils die fünf meistverkauften Geräte bzw. LIB einer Produktkategorie.

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die minimal und maximal vorkommenden Spannungen (in Volt) und Kapazitäten (in Milli-Ampere-Stunden) der LIB mit den höchsten Kapazitäten aufgeführt. Die Gerätetypen sind nach der maximal vorkommenden Nennenergie (vgl. Spalte 5) absteigend sortiert.

Tabelle 4: Typische Eigenschaften von Gerätebatterien[17]

Gerätetypen	Nennenergie [Wh] (min)	Nennenergie [Wh] (max)	Spannung [V] (min)	Spannung [V] (max)	Kapazität [mAh] (min)	Kapazität [mAh] (max)	i.d.R. entnehmbar
Sägen	108,0	216,0	18,0	36,0	6000	6000	Ja/Nein
Werkzeug gesamt	4,7	216,0	3,6	36,0	1300	6000	Ja/Nein
Balance Boards	17,3	144,0	36,0	36,0	480	4000	Nein
Saugen gesamt	19,4	132,6	10,8	25,5	1800	5200	Ja/Nein
Bohrer und Schrauber	4,7	120,0	3,6	20,0	1300	6000	Ja/Nein
Baustrahler	14,8	108,0	3,7	18,0	4000	6000	Ja/Nein
Schleifer	14,4	90,0	3,6	18,0	4000	5000	Ja/Nein
Saugroboter	25,2	87,4	14,0	16,8	1800	5200	Nein
Powerbanks	11,1	74,0	3,7	3,7	3000	20000	-
Handstaubsauger	21,6	51,1	10,8	25,6	2000	2000	Nein
Notebooks	24,2	71,5	7,5	14,9	3220	4800	Nein
Staubsauger	33,6	46,0	16,0	21,9	2100	2100	Ja/Nein
Tablets	18,4	28,5	3,8	3,8	4850	7500	Nein
Smartphones	11,9	20,0	3,8	3,8	3140	5260	Nein
Sicherheitstechnik	4,1	18,2	3,7	3,8	1100	4800	Nein

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

[17] Wenn der Wert für Nennenergie nicht angegeben war, wurde er mit der Formel (V*mAh/1000=Wh) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Kapazität errechnet.

Die Auswertung hat ergeben, dass Sägen sowie Werkzeuge im Allgemeinen mit bis zu 216 Wh die deutlich höchsten Nennenergien erreichen.

Elektro(nik)geräte, die mittlere Nennenergien erreichen, sind ebenfalls in der Tabelle 4 aufgeführt. Dazu gehören verschiedene ITK Geräte, Staubsauger, einige Werkzeuge, Saugroboter, Sicherheitstechnik und Balance Boards. Gerätetypen mit geringen Nennenergien sind aufgrund der großen Vielfalt der Gerätbatterien in der Tabelle 4 nicht dargestellt. Die geringsten Kapazitäten kamen im Rahmen der Auswertung mit circa 0,4 – 1,7 Wh bei „Wearbles“ (Smartwatches und Fitnesstracker) vor.

Wie der Tabelle 4 zu entnehmen ist, sind Werkzeuge, Powerbanks und ITK-Geräte Gerätetypen mit hohen und mittleren Nennkapazitäten. Daher wurden für diese Gerätetypen typische Verbausituationen betrachtet.

Bei Werkzeugen und Gartengeräten werden die Geräte sowohl mit fest verbauten als auch mit entnehmbaren LIB zum Verkauf angeboten. Von etablierten Herstellern mit hohen Marktanteilen wurden in den letzten Jahren sogenannte interoperable „Akku-Systeme“ etabliert. Das heißt, dass Hersteller Werkzeuge und Gartengeräte sowohl mit als auch ohne Batterie zum Verkauf anbieten. Die zu den Werkzeugen oder Gartengeräten passenden LIB werden von dem Hersteller separat zum Kauf angeboten und können typischerweise in einer ganzen Produktpalette von Werkzeugen und Gartengeräten dieses Herstellers betrieben werden.

Powerbanks werden als externe Batterien eingesetzt. Sie bestehen nur aus den Batteriezellen, der Elektronik und Gehäuse. Die Batteriezellen sind nicht weiter entnehmbar.

Bei den ITK-Gerätetypen Notebooks, Tablets und Smartphones war bei allen ausgewerteten Geräten von der Saturn Internetseite die LIB nicht entnehmbar sondern fest verbaut. Um dieses Ergebnis noch weiter zu überprüfen wurden im November 2020 stichprobenartige Tests bei acht Elektro(nik)märkten (Filialen von Saturn, Media-Markt, Conrad, Notebooks-billiger in Bremen, Dortmund und Gelsenkirchen) durchgeführt. In den Märkten wurde zum Zeitpunkt des Besuchs jeweils kein Notebook, Tablet oder Smartphone mit entnehmbarer Batterie zum Verkauf angeboten. Es ist daher davon auszugehen, dass bei diesen Gerätetypen die LIB fast ausschließlich fest verbaut sind.

4.2.4 Industriebatterien

Technische Eigenschaften von LIB-Industriebatterien werden nachfolgend nach wichtigen Anwendungsfeldern differenziert dargestellt. Es werden Anwendungsfelder berücksichtigt, in denen nach Auswertung von Interviews mit Expertinnen und Experten mit Stand Sommer 2021 größere Mengen LIB eingesetzt werden. Es kann weitere Anwendungsfelder von Industriebatterien geben, in denen sich LIB noch nicht durchgesetzt haben / noch durchsetzen werden.

Für die nachfolgenden Unterkapitel wurden jeweils verkaufsstarke Hersteller bzw. Modelle in den einzelnen Anwendungsfeldern recherchiert und deren technische Eigenschaften zusammengestellt.

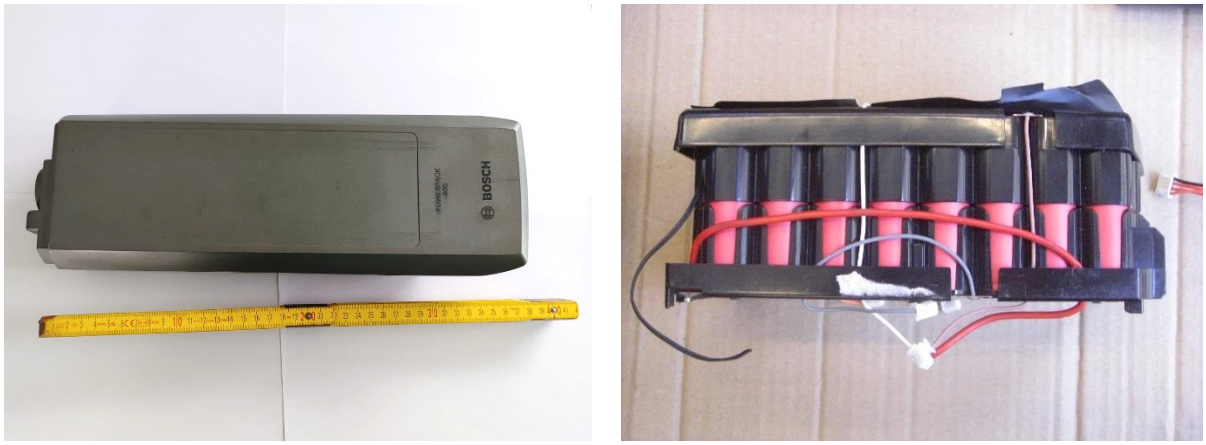
4.2.4.1 Haushaltsnahe Industriebatterien

Als haushaltsnahe Industriebatterien werden Batterien für die Kleinmobilität, insbesondere für Elektro-Fahrräder (Pedelec, S-Pedelec, E-Bike) oder auch E-Scooter (Stehroller) bezeichnet. Diese Batterien werden so wie Gerätebatterien in Privathaushalten eingesetzt, sind jedoch gesetzlich als Teil der Industriebatterien definiert (siehe Kapitel 2).

Batterien in E-Fahrrädern sind LIB und bestehen typischerweise aus verbundenen Rundzellen. So wie Gerätebatterien können sie in der Hand gehalten werden und sind auch als „abfallton-

nengängig“ zu bewerten. In der nachfolgenden Abbildung sind eine E-Fahrradbatterie (links) sowie die verschalteten Rundzellen einer E-Fahrradbatterie (rechts) dargestellt.

Abbildung 14: Beispiele für LIB aus E-Fahrrädern



Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Ein Überblick über wichtige Hersteller von E-Fahrradbatterien wird von der Internetseite Fahrrad-XXL, 2020 gegeben. Die technischen Eigenschaften von E-Fahrradbatterien der dort genannten Hersteller sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Eigenschaften von LIB in E-Fahrrädern[18]

Hersteller	Modell	Nennenergie [Wh]	Kapazität [Ah]	Spannung [V]	Gewicht [kg]
Bosch	PowerTube 400	400,0	11,0	36,0	2,9
Bosch	PowerTube 500	500,0	13,4	36,0	2,9
Bosch	PowerTube 625	625,0	17,4	36,0	3,5
Bosch	PowerPack 500	500,0	13,4	36,0	2,7
Bosch	PowerPack 400	400,0	11,0	36,0	2,6
Bosch	PowerPack 300	300,0	8,2	36,0	2,4
Bosch	Dual Battery 1000	1000,0	26,8	36,0	5,8
Bosch	Dual Battery 1250	1250,0	34,8	36,0	7,0
Bosch	Dual Battery 800	800,0	22,0	36,0	5,8
Panasonic	SIB 2.0	612,0	17,0	36,0	k.A.
Panasonic	SIB 1.0	432,0	12,0	36,0	k.A.
Panasonic	Next Generation	648,0	18,0	36,0	k.A.

[18] Wenn der Wert für Nennenergie nicht angegeben war, wurde er mit der Formel (V*Ah=Wh) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Kapazität errechnet.

Hersteller	Modell	Nennenergie [Wh]	Kapazität [Ah]	Spannung [V]	Gewicht [kg]
Panasonic	Next Generation	540,0	15,0	36,0	k.A.
Panasonic	Next Generation	432,0	12,0	36,0	k.A.
Shimano	E8000 Akku	504,0	14,0	36,0	3,5
Shimano	E6000 Akku	504,0	14,0	36,0	3,0
Shimano	E6000 Akku	418,0	11,6	36,0	2,7
Shimano	BT-E8036	630,0	k.A.	k.A.	k.A.
Shimano	BT-E8010	504,0	14,0	36,0	k.A.
Shimano	BTE8036	630,0	k.A.	k.A.	k.A.
Yamaha	500 Akku	500,0	13,9	36,0	3,0
Yamaha	400 Akku	400,0	11,1	36,0	2,9

Quelle: Fahrrad XXL, 2020

Alle in der Tabelle 6 genannten LIB sind vom E-Fahrrad wechselbar, um extern geladen zu werden.

Die Nennenergie der LIB aus E-Fahrrädern liegt zwischen 300 und 1250 Wh oder 0,3 und 1,3 kWh. Die Kapazität liegt zwischen 8,2 und 34,8 Ah oder 8200 und 34800 mAh. Die Nennenergie dieser LIB übersteigt auch die im Rahmen dieses Forschungsprojekt ermittelten höchsten Nennenergien von Gerätebatterien wie beispielsweise der von Sägen (vgl. Tabelle 4). Damit gehören die E-Fahrradbatterien zu den LIB mit den größten Nennenergien, Kapazitäten und Gewichten, die in Haushalten eingesetzt werden.

Ein Überblick über E-Scooter mit großen Reichweiten ist auf der Internetseite Techstage, 2022 zu finden. Die technischen Eigenschaften der LIB in den dort aufgeführten Modellen wurden auf den Seiten der Hersteller recherchiert und sind in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Eigenschaften von LIB in E-Scootern[19]

Hersteller	Modell	Nennenergie [Wh]	Kapazität [Ah]	Spannung [V]	Gewicht [kg]
Doc Green	ESA 1919	259,0	7,2	36,0	k.A.
Egret	Pro	840,0	17,5	48,0	k.A.
Egret	Ten V4	557,0	11,6	48,0	k.A.
Eleglide	D1 Master	1056,0	22,0	48,0	k.A.
Eleglide	D1	864,0	18,0	48,0	k.A.
Elmoto	"Kick	2 x 93,6	5,2	18,0	k.A.

[19] Wenn der Wert für Nennenergie nicht angegeben war, wurde er mit der Formel (V*Ah=Wh) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Kapazität errechnet.

Hersteller	Modell	Nennenergie [Wh]	Kapazität [Ah]	Spannung [V]	Gewicht [kg]
Epowerfun	(Standardbestückung mit zwei Einhell-Akkus Modell Power-X-Change-Plus)"	360,0	10,0	36,0	k.A.
Epowerfun	EPF-1	418,0	11,6	36,0	k.A.
Iconbit	EPF-1 PRO	270,0	7,5	36,0	k.A.
Iconbit	IK-1969K	216,0	6,0	36,0	k.A.
IO HAWK	IK-1972K	873,6	18,2	48,0	k.A.
IO HAWK	Legend	499,0	10,4	48,0	k.A.
IO Hawk	Legend Lite	270,0	7,5	36,0	k.A.
Kugoo	Sparrow Legal	936,0	18,0	52,0	k.A.
Metz	Kirin G3	216,0	8,1	32,0	k.A.
Miweba	Moover	1200,0	20,0	60,0	k.A.
Scotex	Eflux Vision X2 Hub	270,0	7,5	36,0	k.A.
Segway	H10	551,0	15,3	36,0	k.A.
Segway	Ninebot Max G30D II	215,0	6,0	36,0	k.A.
Segway	Ninebot E25D	376,0	10,4	36,0	k.A.
Segway	Ninebot Max G30 LD	551,0	15,3	36,0	k.A.
Soflow	Ninebot Max G30D	281,0	7,8	36,0	k.A.
Soflow	S06	281,0	7,8	36,0	k.A.
Streetbooster	S04 Gen 2	270,0	7,5	36,0	k.A.
SXT	One	378,0	10,5	36,0	k.A.
Tier	Light Plus V	461,0	12,8	36,0	k.A.
Trekstor	Mytier	280,0	7,8	36,0	k.A.
Trekstor	EG6078	270,0	7,5	36,0	k.A.
Trekstor	EG3178	230,0	6,4	36,0	k.A.
Trittbrett	EG4061	280,0	7,8	36,0	k.A.
Urban	Kalle	280,8	7,8	36,0	k.A.
Urban	XC1	374,0	10,4	36,0	k.A.
Xiaomi	#HMBRG	275,0	7,6	36,0	k.A.

Hersteller	Modell	Nennenergie [Wh]	Kapazität [Ah]	Spannung [V]	Gewicht [kg]
Xiaomi	Mi Scooter 1S	474,0	12,8	37,0	k.A.

Quelle: Techstage, 2022

Die Nennenergien und Kapazitäten von LIB in E-Fahrrädern und E-Scootern liegen in ähnlichen Größenordnungen. Auffällig ist, dass die LIB in allen betrachteten E-Scootern fest eingebaut sind während die LIB in den E-Fahrrädern alle entnehmbar sind.

4.2.4.2 Elektro-Mobilität

Für die Elektro-Mobilität werden Elektro-Fahrzeuge eingesetzt, „deren Antriebsaggregat aus einem oder mehreren Elektromotoren besteht, einschließlich der Antriebskonzepte, bei denen neben dem Elektromotor noch ein Verbrennungsmotor zum Einsatz kommt“ [Karle, 2020]. Grundsätzlich können Fahrzeuge unterschieden werden, die eine Straßenzulassung haben und am Straßenverkehr teilnehmen und Fahrzeuge die auf Betriebsgeländen eingesetzt werden. Erstere werden im nachfolgenden Unterkapitel 0 adressiert.

Bei den Elektro-Fahrzeugen, die am Straßenverkehr teilnehmen, können batterieelektrische Fahrzeuge, Hybridfahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge unterschieden werden.

Batterieelektrische Fahrzeuge (Englisch: Battery Electric Vehicles, BEV), werden ausschließlich mit Batteriestrom betrieben. Sie beziehen ihren Strom heute weit überwiegend aus LIB, die eine Spannung im Bereich von 400 V aufweisen [Karle, 2020].

Bei Hybridfahrzeugen (Englisch: Hybrid Electric Vehicles, HEV) werden zwei verschiedene Energiewandler oder Energiespeicher zu Antriebszwecken eingesetzt. Verbreitet ist der Betrieb mit Elektromotor und Verbrennungsmotor. Hybridfahrzeuge kommen in unterschiedlichen technischen Ausführungen vor.

Bei klassischen Hybridfahrzeugen (in diesem Bericht mit HEV bezeichnet) wird die Batterie mit Energie aus dem Verbrennungsmotor aufgeladen. Je nachdem wie stark der Elektromotor zum Antrieb des Fahrzeugs eingesetzt wird, können in HEV unterschiedliche Batterien vorkommen. Laut Karle 2020 werden in sogenannten Mild-Hybrid Fahrzeugen teilweise noch Nickel-Metallhydrid-Batterien ab 42 Volt Spannung verbaut. In sogenannten Voll-Hybrid Fahrzeugen überwiegen dagegen LIB mit 200 bis 400 Volt Spannung.

Bei Plug-in-Hybridfahrzeuge (Englisch: Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) werden die Batterien, ähnlich wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen, aus einer externen Stromquelle geladen. Daher werden in PHEV noch größere LIB eingesetzt als in HEV. Dabei handelt es sich um Hochvoltbatterien [Karle, 2020].

In Brennstoffzellenfahrzeugen (Englisch: Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV) wird durch die Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff Energie frei, die in elektrische Energie umgewandelt, wird und dann einen Elektromotor antreibt. Die Energie kann dem Elektromotor entweder direkt zugeführt oder in einer Batterie zwischengespeichert werden. Auch FCEV benötigen daher Pufferbatterien, dabei werden laut Neugebauer, 2021 typischerweise LIB eingesetzt.

Nachfolgend werden die LIB aus PHEV und batterieelektrischen Fahrzeugen näher betrachtet. Bei diesen LIB werden laut VDMA, 2020 Batteriezellen typischerweise zunächst zu Batteriemodulen und anschließend zu Batteriepacks verbunden. Ein Batteriemodul besteht aus mehreren in Reihe oder parallelgeschalteten und physisch verbundenen Batteriezellen.

Ein Batteriepack besteht nach Korthauer, 2018 aus mehreren Batteriemodulen, dem Batterie-Management-System (BMS), Kühlsystem, Thermo-Management-System und der Leistungselektronik. In der Abbildung 15 sind beispielhaft Batteriemodule (links) und eine Batterie (rechts) eines Hybridfahrzeugs dargestellt.

Abbildung 15: Batteriemodule und Batteriepacks (Elektromobilität)

Quelle: Eigene Abbildungen, Dr. Brüning Engineering UG

Die Masse von LIB für PHEV beträgt typischerweise ca. 150 kg. LIB sind in PHEV meist unter der Rückbank oder unter dem Kofferraum verbaut. Bei vollelektrischen PKW beträgt das Gewicht der LIB ca. 300 kg und die LIB befindet sich i.d.R. unter dem gesamten Unterboden des Fahrzeugs.

In LIB für PHEV und vollelektrische Fahrzeuge werden alle Zellformate und Zellchemien eingesetzt. Eine Übersicht über diese Zellformate und -chemien nach Modellen mit Stand 2017 wurden von Haslinger, 2017 veröffentlicht und ist in der nachfolgenden Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 7: Zellformate und -chemien von LIB für die Elektromobilität

Fahrzeug	Kathode / Zellchemie	Zellformat	Anzahl Zellen [Stk]	Kapazität Zelle [Ah]	Nennspannung Zelle [V]
BMW i3 (94 Ah)	NMC	prismatisch	96	94,0	3,7
Hyundai Ioniq Elektro	NMC	flach	192	45,0	3,8
KIA Soul	NMC	flach	200	45,0	3,8
Mercedes B250e	NCA	rund (18650)	3.696	2,7	3,7
Smart fortwo/forfour electric	NMC-LFP	flach	96	50,8	3,6
Nissan Leaf (30 kWh)	NMC	flach	192	42,0	3,8
Nissan e-NV 200 Evalia (24 kWh)	LMO-LNO	flach	192	32,5	3,8
Renault Zoe R90	LMO-NMC	flach	192	65,0	3,8

Fahrzeug	Kathode / Zell-chemie	Zellformat	Anzahl Zellen [Stk]	Kapazität Zelle [Ah]	Nennspan-nung Zelle [V]
ZE 40					
Citroen Berlingo Electric	LMO-NMC	prismatisch	80	75,0	3,7
Citroen C-Zero	LMO-NMC	prismatisch	80	50,0	3,7
VW e-Golf	NMC	prismatisch	264	37,0	3,7
VW e-up!	NMC	prismatisch	204	25,0	3,7
Mitsubishi i-MIEV	LMO-NMC	prismatisch	88	50,0	3,7
Peugeot iOn	LMO-NMC	prismatisch	80	50,0	3,7
OPEL Ampera-e	LMO-NMC	flach	288	65,0	3,8
TESLA Model S 100D	NCA	rund (18650)	8.256	3,4	3,6
TESLA Model X 75D	NCA	rund (18650)	6.216	3,4	3,6
BYD e6	LFP	prismatisch	144	180,0	3,2

Quelle: Haslinger, 2017

Die in Deutschland meistverkauften Fahrzeugmodelle nach Umweltmerkmalen werden vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) veröffentlicht. Die im Jahr 2020 meistverkauften BEV (siehe Tabelle 8) und PHEV (siehe Tabelle 9) wurden der entsprechenden Veröffentlichung [KBA, 2021b] entnommen und die Kapazitäten der LIB dieser Fahrzeuge recherchiert. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Wenn ein Fahrzeugmodell in einer Tabelle mehrfach vorkommt, wird es mit LIB unterschiedlicher Kapazitäten am Markt angeboten.

Tabelle 8: Eigenschaften der LIB in den in DE meistkauften BEV 2020[20]

Fahrzeugmodell	Fahrzeugklasse	Nennenergie [kWh]	Nennspannung [V]	Kapazität [Ah]
Renault Zoe	Kleinwagen	41,0	400,0	103,0
Renault Zoe	Kleinwagen	52,0	400,0	130,0
VW Golf	Kompaktklasse	35,8	400,0	90,0
Tesla Model 3	Mittelklasse	55,0	400,0	138,0
Tesla Model 3	Mittelklasse	75,0	400,0	188,0
VW ID.3	Kompaktklasse	48,0	400,0	120,0

[20] Wenn der Wert für Kapazität nicht angegeben war, wurde er mit der Formel ((kWh*1000)/V=Ah) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Nennenergie errechnet. Die errechneten Ergebnisse wurden auf ganze Zahlen gerundet.

Fahrzeugmodell	Fahrzeugklasse	Nennenergie [kWh]	Nennspannung [V]	Kapazität [Ah]
VW ID.3	Kompaktklasse	62,0	400,0	155,0
VW ID.3	Kompaktklasse	82,0	400,0	205,0
HYUNDAI KONA	SUVs	39,2	327,0	120,0
HYUNDAI KONA	SUVs	64,0	356,0	180,0

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Tabelle 9: Eigenschaften der LIB in den in DE meistkauften PHEV 2020[21]

Fahrzeugmodell	Fahrzeugklasse	Nennenergie [kWh]	Nennspannung [V]	Kapazität [Ah]
VW Passat	Mittelklasse	13,0	350,0	37,0
Mercedes E-Klasse	Obere Mittelklasse	13,5	400,0	34,0
Mercedes A-Klasse	Kompaktklasse	15,6	400,0	37,0
AUDI Q5	Geländewagen	14,1	381,0	37,0
Mitsubishi Outlander	SUVs	13,8	300,0	46,0

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Die Nennenergien der in Deutschland meistverkauften BEV liegen zwischen 41 und 82 kWh. Die meistverkauften PHEV kommen auf Nennenergien zwischen 13 und 16 kWh. Im Vergleich dazu haben LIB für E-Fahrräder Nennenergien zwischen 0,3 und 1,3 kWh.

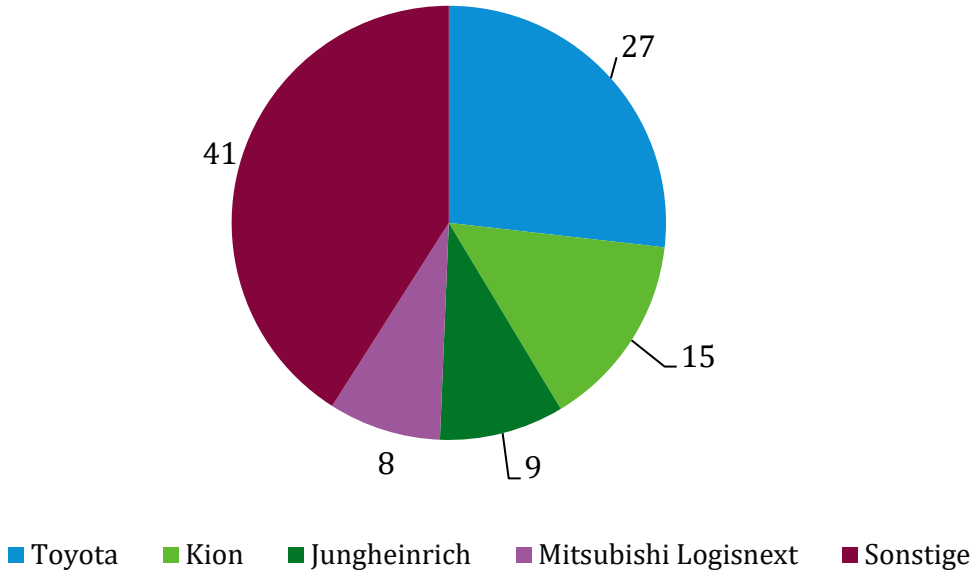
4.2.4.3 Flurförderzeuge

Neben den Antriebsbatterien für Fahrzeuge der Elektro-Mobilität gibt es auch Batterien für den Antrieb oder von innerbetrieblich eingesetzten Fahrzeugen. Dies sind Flurförderzeuge (FFZ) wie Gabelstapler oder Hebebühnen. Für diese Fahrzeuge ohne Straßenzulassung liegen keine Daten des KBA vor.

Eine Statistik zu den weltweiten Marktanteilen bei Flurförderzeugen (FFZ) (Weltrangliste Flurförderzeuge) wird jährlich in der Zeitschrift dhf intralogistik veröffentlicht. Weltweiter Marktführer ist seit mehreren Jahren Toyota gefolgt von der KION group, Jungheinrich und Mitsubishi Logisnext. In der nachfolgenden Abbildung 16 sind die weltweiten Marktanteile dieser Hersteller in 2019/2020 wiedergegeben.

[21] Wenn der Wert für Kapazität nicht angegeben war, wurde er mit der Formel ((kWh*1000)/V=Ah) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Nennenergie errechnet. Die errechneten Ergebnisse wurden auf ganze Zahlen gerundet.

Abbildung 16: Weltweiter Marktanteil [%] von FFZ-Herstellern 2019/2020



Quelle: Warmbold, 2020

Die vier weltweit führenden Hersteller decken ca. 60 % des Marktes ab. Zur KION group gehören im Bereich FFZ die Marken Linde und Still. Die in der Rangliste folgenden Hersteller spielen laut der befragten Expertinnen und Experten in Deutschland fast keine Rolle und wurden daher für weitere Recherchen nicht berücksichtigt. Unter der Marke Still werden in Deutschland überwiegend gebrauchte FFZ vertrieben, so dass für weitere Recherchen die Internetseiten der Marken Toyota, Linde, Jungheinrich und Misubishi Logisnext berücksichtigt wurden.

Diese vier genannten Hersteller / Marken bieten (Stand Herbst 2021) alle für ihre elektrischen FFZ sowohl mit Blei-Batterien als auch mit LIB an.

Von den 3 Herstellern / Marken Jungheinrich, Linde, Toyota werden vergleichsweise umfangreiche technische Informationen zu den LIB in FFZ veröffentlicht. Diese decken in Bezug auf ihre elektrischen und geometrischen Eigenschaften ein großes Spektrum ab. Unterschieden werden können LIB in verschiedenen Hubwagen (sogenannte „Mitgänger“, die von Mitarbeiter*innen zu Fuß begleitet werden), Vertikal- und Horizontal-Kommissionieren sowie Dreirad- oder Vierrad-Gabelstaplern. In der letztgenannten Gruppe von FFZ werden typischerweise die schwersten LIB mit den größten Abmessungen und Kapazitäten verbaut. In der nachfolgenden Tabelle 10 sind die minimalen und maximalen recherchierten Eigenschaften von LIB für die drei Marken Jungheinrich, Linde und Toyota unterschieden nach den 3 Gruppen von FFZ wieder gegeben (Stand Herbst 2021).

Tabelle 10: Eigenschaften von LIB in FFZ[22]

Gerätegruppe	Nennspannung [V]		Nennkapazität [Ah]		Nennenergie [kWh]		Maße [mm]		Gewicht [kg]	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Hubwagen	24,0	24,0	150,0	465,0	3,66	11,2	648 * 156 * 627	718 * 210 * 633	250	380
Horizontal- und Vertikal-Kommissionierer	24,0	24,0	465,0	1240,0	1,16	29,8	648 * 156 * 627	718 * 210 * 633	370	910
Dreirad- und Vierrad- Gabelstapler	24,0	90,0	500,0	1316,0	12,0	118,4	830 * 522 * 632	1028 * 999 * 724	380	2178

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Für FFZ werden, anders als für Straßenfahrzeuge der Elektromobilität, i.d.R. keine Hochvoltbatterien eingesetzt. Die eingesetzten LIB haben jedoch hohe Kapazitäten, Gewichte und Abmessungen. Bei Vierrad-Gabelstaplern kommen besonders hohe Batteriegewichte von bis zu 2 Tonnen vor. Laut Aussagen von Expertinnen und Experten werden LIB in Gabelstaplern in einer doppelten Funktion auch als Gegengewichte eingesetzt.

In allen FFZ der drei betrachteten Marken sind die LIB darüber hinaus fest verbaut. Damit hat in den letzten Jahren eine technische Veränderung stattgefunden. Die ersten LIB für FFZ waren Wechselbatterien, mit sehr viel kleineren Gewichten und Abmessungen. Wechselbatterien wurden den FFZ nachts entnommen und aufgeladen. Dieses Betriebskonzept entspricht demjenigen von Bleibatterien in FFZ. Es wird jedoch aktuell von den führenden Herstellern nicht mehr weiterverfolgt [Zaharoff, 2021]. LIB werden stattdessen in den FFZ während der Stillstandszeiten nachgeladen und sind für Endnutzer nicht entnehmbar.

4.2.4.4 Energiespeicher

Ein weiterer Sektor von Industriebatterien in dem LIB verbreitet eingesetzt werden, sind Energiespeichersysteme. Ein Energiespeicher ist laut Sterner und Stadler, 2017 „eine energietechnische Anlage zur Speicherung von Energie in Form von innerer, potentieller oder kinetischer Energie“. Energiespeichersysteme (auch „Stromspeicher“ oder „Batteriespeicher“ genannt) dienen der zeitlichen Verschiebung von Stromerzeugung und Stromverbrauch. Sie werden entweder dezentral in privaten Haushalten oder Unternehmen (z.B. zur Speicherung von dezentral erzeugtem Strom aus einer Photovoltaikanlage) oder von Energieversorgungsunternehmen als Teil der Netzinfrastruktur eingesetzt (sog. Batteriespeicherkraftwerke, BSKW).

Heimspeicher sind Batteriespeicher, die dezentral und nicht als Teil des Stromnetzes („of grid“, „behind the meter“) in Privathaushalten betrieben werden. Laut Figgener et al., 2020 werden sie überwiegend zur Zwischenspeicherung von Strom aus einer im Haushalt betriebenen Photovoltaikanlage eingesetzt.

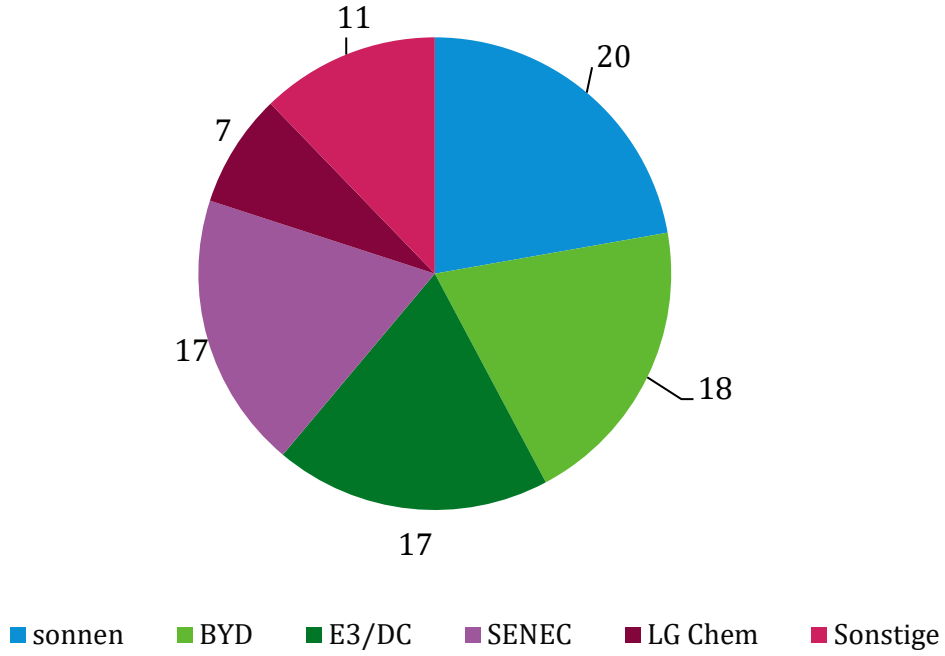
[22] Wenn der Wert für Nennenergie nicht angegeben war, wurde er mit der Formel ((V*Ah)/1000=Wh) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Kapazität errechnet.

Bei Gewerbespeichern handelt es sich wie bei Heimspeichern um die dezentrale Speicher, die nicht als Teil des Stromnetzes betrieben werden [Figgener et al., 2020]. Im Gegensatz zu Heimspeichern erfolgt der Einsatz nicht in Privathaushalten, sondern von Industriebetrieben oder Organisationen.

Bei Großspeichern handelt es sich um Batteriespeicherkraftwerke (BSKW), die (i.d.R. von Energieversorgungssystemen[23]) als Teil des Stromnetzes betrieben werden („on grid“) [Figgener et al., 2020].

Die Marktanteile der Hersteller von Heimspeichern werden regelmäßig von EUPD Research erhoben und veröffentlicht. Die Hersteller mit den größten Marktanteilen sind seit mehreren Jahren sonnen, BYD, E3/DC, Senec und LG Chem. In der nachfolgenden Abbildung 17 werden die Marktanteile der größten Hersteller im Jahr 2020 wiedergegeben.

Abbildung 17: Marktanteile [%] der Hersteller von Heimspeichersystemen in Deutschland 2020



Quelle: EUPD, 2021

Um Informationen zu den Eigenschaften von LIB in Energiespeichersystemen zu gewinnen, wurden die Internetseiten dieser Hersteller zu technischen Daten der von Ihnen angebotenen Modelle durchsucht. Die nachfolgende Tabelle 11 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften von Batterie(-modulen) in Heimspeichern.

[23] Eine Ausnahme davon bilden sog. „Schwarmspeicher“ bei denen es sich um einen digitalen Zusammenschluss von „kleineren“ Stromspeichern handelt, die von Privathaushalten, Unternehmen oder Organisationen betrieben werden können.

Tabelle 11: Eigenschaften von LIB in Energiespeichersystemen[24]

Energiespeichermodell	Nennenergie Modul [kWh]	Nennspannung Modul [V]	Nennkapazität Modul [Ah]	Maße [mm]	Gewicht Modul [kg]
sonnen Batterie 10 performance	5,5	102,4	54,0	184 * 69 * 36	k.A.
BYD Battery-Box Premium HVM	2,6	102,4	25,0	762 * 585 * 298	38
BYD Battery-Box Premium HVM	2,8	51,2	54,0	995 * 585 * 298	38
BYD Battery-Box Premium LVS	4,0	51,2	78,0	650 * 528 * 298	45
BYD Battery-Box Premium LVL	7,7	51,2	150,0	k.A.	k.A.
BAT1650010000 (E3/DC S10E oder S10E Nachrüstmodul)	3,3	48,0	68,0	445 * 586 * 110	44
BAT1150060000 (E3/DC S10E oder S10E Nachrüstmodul)	6,0	48,0	125,0	k.A.	k.A.
BAT1250010002 (E3/DC S10E oder S10E Nachrüstmodul)	6,5	48,0	135,0	k.A.	k.A.
SENEC.Home V2.1	2,5	42,0-58,8	50,0	545 * 215 * 155 mm	22
SENEC.Home V3	2,5	50,4	50,0	k.A.	22
LG Resu 3.3	3,3	51,8	630	452 * 401 * 120	31
LG Resu 6.5	6,5	51,8	1260	452 * 654 * 120	52
LG Resu 10	9,8	51,8	189,0	452 * 483 * 227	75
LG Resu 7H	6,6	400,0	63,0	k.A.	76
LG Resu 10H	9,8	400,0	63,0	k.A.	97

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

[24] Wenn der Wert für Kapazität nicht angegeben war, wurde er mit der Formel ((kWh*1000)/V=Ah) aus den jeweils gegebenen Werten der Spannung und Nennenergie errechnet. Die errechneten Ergebnisse wurden auf eine Nachkommastelle gerundet.

Die Nennenergien der betrachteten Heimspeicher liegt bei 2,5 bis 9,8 kWh und damit deutlich oberhalb von E-Fahrradbatterien. Zudem haben sie deutlich größere Abmessungen, höhere Gewichte und Nennspannungen.

Bei den Heimspeichern kommen verschiedene Verbausituationen vor. Einige Hersteller bieten sogenannte All-In-One Lösungen an. Dies gilt für sonnen, E3/DC und Senec. Bei All-in-One Lösungen befinden sich die Batterie(-module) gemeinsam mit dem Leistungsmodul, den Wechselrichtern und den Bedienelementen in einem Gehäuse. Ein Beispiel für einen All-In-One Speicher ist in der Abbildung 18 dargestellt.

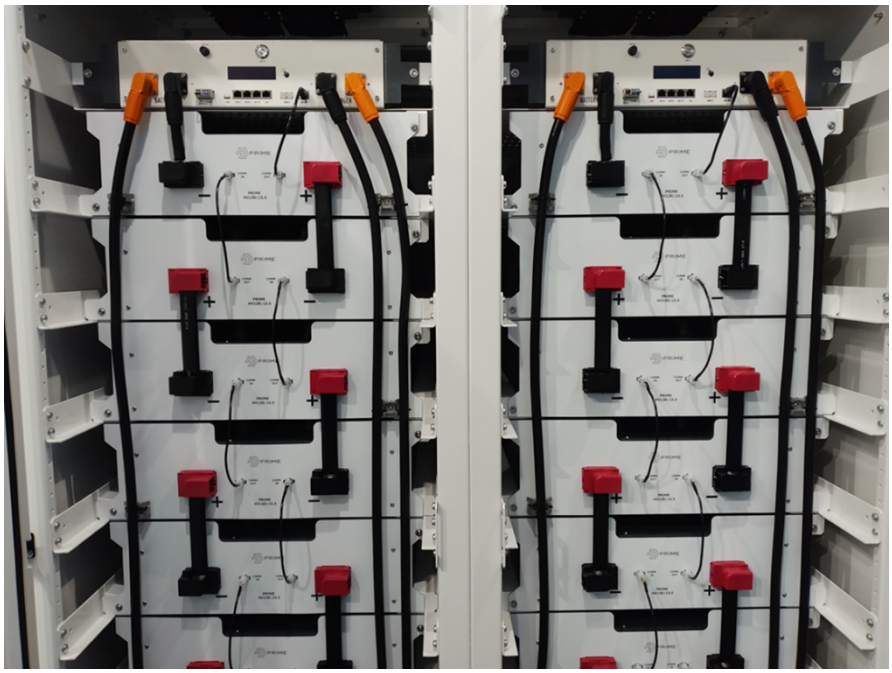
Abbildung 18: Beispiel für All-In-One Energiespeichersystem

Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Obwohl sich die Batteriemodule in diesem Gehäuse befinden, sind All-in-One Lösungen i.d.R. erweiterbar. Das heißt es können nachträglich weitere Batterie(-module) in das Gehäuse eingebaut werden. Die Batterie(-module) werden separat am Markt angeboten.

Neben den All-in-One Lösungen gibt es auch Energiespeichersysteme, die mit externen Wechselrichtern betrieben werden. Diese Systeme werden z.B. von BYD und LG Chem angeboten. Die LG Chem Modelle bestehen dabei in der Regel aus nur einem Batterie(-modul). BYD bietet einige Systeme mit einem modularen Steckdesign an. Bei diesem werden die Batteriemodule aufeinandergestapelt. Es gibt keine Verkabelung und kein externes Gehäuse. Auch diese Systeme können mit unterschiedlichen Anzahlen an Batterie(-modulen) betrieben und nachträglich aufgerüstet werden. Ein Beispiel für einzelne Batterie(-module) in einem Energiespeichersystem wird in der Abbildung 19 gezeigt.

Abbildung 19: Beispiel für Batterie(-module) in einem Energiespeichersystem



Quelle: Eigene Abbildung, Dr. Brüning Engineering UG

Bei Energiespeichersystemen stellt sich also die Frage, welche Einheit in einem möglichen Pfandsystem als Pfandgut angesehen werden sollte. Da Energiespeichersysteme modular erweiterbar sind und die Batterie(-module) einzeln verkauft werden, erscheint es sinnvoll, die einzelnen Batterie(-module) als eine Batterie und damit als mögliches Pfandgut zu betrachten.

Gewerbespeicher ähneln grundsätzlich den in Tabelle 11 betrachteten Heimspeichern. Der Übergang zwischen beiden Systemen ist fließend. Typischerweise gibt es mehr Gewerbespeicher, die mit externen Wechselrichtern betrieben werden. Einzelne Batterien können eine etwas größere Kapazität haben, dies muss aber nicht der Fall sein. Gewerbespeicher mit größerer Kapazität können, z.B. auch über eine größere Anzahl an Batterien realisiert werden. Abmessungen und Gewichte der Batterien sind sich prinzipiell ähnlich Zaharoff, 2020.

4.2.5 Ausblick auf potentielle weitere Anwendungsfelder

Wie einführend beschrieben, werden hier Anwendungsfelder betrachtet, in denen LIB bereits in größeren Mengen eingesetzt werden. Es kann weitere Anwendungsfelder geben, bei denen erwartet wird, dass sich LIB mittelfristig im Markt durchsetzen. Dies ist laut der Interviews von den Expertinnen und Experten z.B. bei Reinigungsmaschinen sowie Baumaschinen der Fall. Bei Reinigungsmaschinen wird der LIB-Anteil aktuell auf unter 3 % der insgesamt eingesetzten Reinigungsmaschinen geschätzt, bei Baumaschinen auf unter 1 %.

In den Interviews der Expertinnen und Experten wurde auch das Potential von LIB in Bezug auf Kurzzeitspeicher für die Notstromversorgung abgefragt. Diese werden z.B. als unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) in Servern oder in Rechenzentren sowie in (Netzknotenpunkten von) Mobilfunkanlagen, in Krankenhäusern oder in Notbeleuchtungen eingesetzt. Laut der Interviews der Expertinnen und Experten kommen LIB nur vereinzelt in Notbeleuchtungssystemen vor. In USVs oder anderen Notstromsystemen gibt es noch keine LIB im Markt sondern nur Prototypen bzw. Forschungsprojekte. Insgesamt wird bei den Kurzzeitspeichern auch mittelfristig kaum Potential gesehen. Stattdessen werden Bleibatterien eingesetzt. Diese sind zum einen günstiger und zum anderen unempfindlicher gegenüber langen Phasen in denen keine Ladung

und Entladung stattfindet. Während erwartet wird, dass die Kosten von LIB weiter fallen, stellen diese Phasen ohne Ladung und Entladung eine technische Hürde für den Einsatz von LIB im Kurzzeitspeichersegment dar, die mittelfristig nicht zu überwinden ist.

5 Fehlwürfe in haushaltsnahen Sammelsystemen

Fehlwürfe von LIB können potentiell für Schadensereignisse verantwortlich sein. Ziel der Betrachtung von Fehlwürfen ist daher eine Abschätzung des Aufkommens von Batterien und, wenn möglich LIB, in verschiedenen haushaltsnahen Abfallströmen in Deutschland. Dadurch soll auch überprüft werden, welche Mengen an Fehlwürfen durch ein Pfand potentiell in ordnungsgemäße Entsorgungswege zur Reduzierung von Schadensereignissen gelenkt werden könnten.

Für Restabfälle liegt eine Veröffentlichung von Dornbusch et al., 2020 vor, die bundesweit das Aufkommen von Batterien und EAG in diesem Entsorgungspfad repräsentativ ausgewertet hat.[25] Ein Ziel der Analysen in diesem Projekt war eine Ausweitung auf weitere Abfallströme. Im Projekt wurde daher eine Metaauswertung von Abfallanalysen durchgeführt. Die Abfallanalysen wurden zuerst recherchiert und anschließend wurden Kriterien für die vergleichende Auswertung festgelegt. Dann wurden die Analysen systematisiert und ausgewertet. Die Vorgehensweise wird nachfolgend genauer beschrieben.

Recherchiert wurden Analysen zu allen Abfallstoffströmen wie Restabfall, LVP-Abfälle aus dem Dualen System (Verpackungsabfall aus gelber Tonne, gelbem Sack, Wertstofftonne), Altpapier und Bioabfall. In Deutschland sind die Gebietskörperschaften, also Städte und Kreise sowie in einigen Fällen Zusammenschlüsse von Städten und Kreisen für die öffentliche Abfallwirtschaft zuständig. Für diese örE bestehen keine Verpflichtungen Abfallanalysen durchzuführen oder zu veröffentlichen. Allerdings erfolgen Veröffentlichungen zum Teil auf freiwilliger Basis. Um das Aufkommen von Batterien in irregulären Abfallströmen festzustellen, wurden daher die Internetauftritte der örE in Deutschland nach veröffentlichten Analysen durchsucht. Wenn es Verlinkungen zu kreisangehörigen Städten gab, die die Abfallsammlung eigenständig durchführen, wurden deren Internetseiten mit einbezogen. Darüber hinaus wurden örE im Rahmen der Stakeholderbefragungen darum gebeten, Analyseergebnisse zur Verfügung zu stellen. Neben den Abfallanalysen wurden auf den Internetseiten der örE sowohl Abfallwirtschaftskonzepte als auch Kurzberichte oder Zusammenfassungen gefunden, die Informationen zu durchgeführten Abfallanalysen enthielten. Um die Datenbasis weiter zu vergrößern, wurden diese Quellen mit in die Analyse einbezogen, wenn die nachfolgenden Mindestkriterien erfüllt waren:

- Ergebnisse stammen aus einer Abfallanalyse.
- Der Untersuchungszeitraum ist benannt.
- Der untersuchte Stoffstrom ist benannt.
- Das Untersuchungsgebiet ist benannt.
- Die Ergebnisse sind in mindestens einer der üblichen Einheiten Gewichtsprozent oder kg pro Einwohner und Jahr angegeben.

Neben Abfallanalysen von örE, hat der Auftragnehmer cyclos GmbH einige selbst durchgeführte Abfallanalysen in anonymisierter Form für die Auswertungen zur Verfügung gestellt.

[25] Im Jahr 2017 initiierte das Umweltbundesamt das Forschungsvorhaben „Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien“. Zielsetzung des Projekts war die Schließung von Datenlücken zur Zusammensetzung des Restmülls in Deutschland, u.a. auch im Hinblick auf die Anteile von Problemstoffen wie bspw. Altbatterien und EAG. Veröffentlicht als UBA-Texte 113/2020 unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-analyse-von-siedlungsrestabfaellen.

In vielen Abfallanalysen waren Angaben zur Menge der Elektronik)altgeräte im Abfallstrom enthalten. Da diese Fraktion (lithiumhaltige) Batterien enthalten kann, wurde sie in der Auswertung mit betrachtet. Allerdings soll darauf hingewiesen werden, dass in keinem der gefundenen Berichte eine Unterscheidung vorgenommen wurden, ob die Elektro(nik)altgeräte Batterien enthielten oder nicht.

Die Fraktionen, die im Rahmen dieser Auswertung betrachtet werden, sind demnach:

- Altbatterien
- Elektro(nik)altgeräte

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass in allen Abfallanalysen nur die Fraktion Altbatterien betrachtet wird. Dabei muss es sich nicht um LIB handeln. Eine Angabe speziell zu LIB war in keiner der Analysen enthalten.

Zu beachten ist weiterhin, dass in den meisten ausgewerteten Abfallanalysen, keine Unterscheidung nach Primär- oder Sekundärbatterien vorgenommen wurde. Nur in einer Abfallanalyse war die Kategorie Sekundärbatterie einzeln ausgewiesen. Der angegebene Wert ist jedoch statistisch Null.

Alle Abfallanalysen, die keine Informationen zu den betrachteten Fraktionen Altbatterien oder EAG enthielten, wurden von der Auswertung ausgenommen. Analysen, die vor 2009 durchgeführt wurden, wurden ebenfalls bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Es ist möglich, dass einige örE während des Betrachtungszeitraums mehr als eine Abfallanalyse veröffentlicht haben. In diesem Fall wurden alle Analysen, die nach 2008 durchgeführt wurden, in die die Auswertung aufgenommen.

Bei der Auswertung fiel in Bezug auf die Fraktionen weiterhin auf, dass nicht in allen Berichten dieselben Einheiten verwendet wurden. Um eine möglichst große Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die am häufigsten vorkommenden Einheiten identifiziert und für die Analyse ausgewählt:

- Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/(EW*a))
- Gewichtsprozent (%)

Wenn Angaben in Gewichtsprozent vorlagen, wurde darauf geachtet, dass sich diese immer auf die gesamte untersuchte Abfallmenge beziehen (d.h. auf Grob-, Mittel- und Feinfraktion). Abfallanalysen, die keine Daten in den beiden genannten Einheiten enthielten, wurden gestrichen.

Nach der Auswahl aber auch dem Ausschluss von Abfallanalysen nach den o.g. Kriterien, mussten alle Analysen im Bereich Bioabfall und Altpapier ausgeschlossen werden. Sie waren entweder veraltet oder enthielten keine Angaben zu den betrachteten Fraktionen. In einigen dieser ausgeschlossenen Analysen waren zwar sogenannte „Problemstoffe“ oder „Störstoffe“ fokussiert. Damit waren allerdings mehrfach Fraktionen wie Plastiktüten bezeichnet, die in den betrachteten Systemen stören. In einigen Fällen wurde nicht deutlich, ob ggf. Schadstoffe gemeint waren und es waren keine gesonderten Angaben zu Batterien enthalten.

Nach der Streichung von Abfallanalysen von vor 2009 sowie Abfallanalysen, die keine relevanten Fraktionen betrachten, konnten 47 Restabfallanalysen und 18 Analysen über LVP-Abfälle aus dem Dualen System (Verpackungsabfall aus gelber Tonne, gelbem Sack, Wertstofftonne) ausgewertet werden.

In einigen Fällen enthielten die gefundenen Berichte sowohl detaillierte Daten zu einzelnen Sortierkampagnen, als auch hochgerechnete Daten, die sich auf gesamte Stadt- bzw. Kreisgebiet

beziehen. In einigen Fällen, lagen nur Daten vor, die bereits auf ein Stadt- oder Kreisgebiet sowie ein Jahr hochgerechnet waren. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Berichten herzustellen, wurde entschieden, in der Auswertung mit den hochgerechneten Daten zu arbeiten.

5.1 Restabfall – regionale Einzelanalysen

Die nachfolgende Tabelle 12 gibt wieder, welche Angaben zu den Fraktionen Altbatterien und EAG in den ausgewerteten Restabfallanalysen enthalten sind. Wenn Sortierkampagnen aus zwei Jahren in eine Abfallanalyse eingeflossen sind, enthält die Spalte Jahr eine doppelte Angabe. Wenn Angaben zu mehr als einer Gebietskörperschaft in einer Quelle veröffentlicht wurden, kommt diese Quelle in der Tabelle mehrfach vor.

Tabelle 12: Mengen / Anteile relevanter Fraktionen im / am Restabfall (n= 47)

Quelle	Gebietskörperschaft	Jahr	Batterien [Gew.-%]	Batterien [kg / (EW*a)]	EAG [Gew.-%]	EAG [kg / (EW*a)]
13	Weimar	2009 / 2010	0,03	0,00	0,96	1,50
1	LK Stormarn	2010	k.A.	k.A.	0,61	k.A.
1	LK Herzogtum Lauenburg	2010	k.A.	k.A.	0,88	k.A.
9	Stadt Leipzig	2010	0,12	0,10	0,65	0,80
10	Eisenach	2010	0,06	0,10	0,58	0,60
10	LK Hildburghausen	2010	0,04	0,10	0,19	0,30
10	LK Schmalkalden-Meiningen	2010	0,14	0,20	0,65	0,80
10	LK Sonneberg	2010	0,18	0,20	0,56	0,60
10	Stadt Suhl	2010	0,05	0,10	0,58	1,00
12	Heidelberg	2010	k.A.	k.A.	k.A.	1,17
16	LK Cuxhaven	2010	k.A.	k.A.	1,00	1,50
27	Südbrandenburgischer Abfallzweckverband	2010 / 2011	0,07	0,10	1,38	2,10
14	LK Wesermarsch	2011 / 2011	k.A.	k.A.	0,98	k.A.
23	LK Leipzig	2011	0,03	0,00	0,43	0,40
24	LK Wesel	201 / 2012	k.A.	k.A.	0,90	k.A.
40	Anonym	2011	0,02	0,05	0,33	0,75
2	LK Kitzingen	2012 / 2013	k.A.	k.A.	k.A.	0,70
3	Wasserburg am Inn	2012 / 2013	k.A.	k.A.	0,30	0,20
5	Abfallwirtschaftszweck-verband Südniedersachsen	2012	k.A.	k.A.	1,02	1,60

Quelle	Gebietskörperschaft	Jahr	Batterien [Gew.-%]	Batterien [kg / (EW*a)]	EAG [Gew.-%]	EAG [kg / (EW*a)]
8	Rheingau-Taunus Kreis	2012	k.A.	k.A.	0,80	0,70
18	LK Viersen	2012 / 2013	k.A.	k.A.	0,60	k.A.
29	LK Kassel	2012	k.A.	k.A.	k.A.	0,90
36	Mannheim	2012	k.A.	k.A.	0,33	0,60
37	Krefeld	2012	k.A.	k.A.	k.A.	2,5
40	Anonym	2012	0,03	0,06	0,80	1,54
9	Stadt Leipzig	2013	0,06	0,10	0,40	0,40
19	Wiesbaden	2013	0,10	0,00	0,70	1,20
39	Weiden i.d. Oberpfalz	2013	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
39	LK Tirschenreuth	2013	k.A.	k.A.	0,50	0,60
4	Abfallwirtschaftszweck-verband Ostthüringen	2014	0,12	0,20	1,07	1,50
7	Halle	2014	k.A.	0,01	k.A.	1,53
17	Emden	2014	k.A.	k.A.	0,90	k.A.
28	LK Ludwigslust-Parchim	2014	k.A.	k.A.	0,60	0,70
39	Neustadt a.d. Waldnaab	2014	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
6	Jena	2015 / 2016	0,08	0,10	0,81	0,80
11	Regensburg	2016 / 2016	k.A.	k.A.	1,56	2,61
33	LK Stormarn	2015	k.A.	k.A.	1,04	k.A.
33	LK Herzogtum-Lauenburg	2015	k.A.	k.A.	0,83	1,18
30	LK Schleswig-Flensburg	2016 / 2017	k.A.	k.A.	0,82	1,14
38	München	2016	k.A.	k.A.	0,60	k.A.
41	LK Bautzen	2016	k.A.	k.A.	1,20	k.A.
32	Emden	2018	k.A.	k.A.	k.A.	1,00
40	Anonym	2018	0,10	0,02	0,90	1,40
31	Stadt Leipzig	2019 / 2020	0,06	0,10	0,67	0,70
34	Wasserburg am Inn	2019 / 2020	k.A.	k.A.	0,30	0,26
35	Fürstenfeldbruck	2019	k.A.	k.A.	0,30	0,40
40	Anonym	2019	4,00	0,06	0,70	1,11

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In 20 von den 47 Restabfallanalysen ist zu der Fraktion Altbatterien eine Angabe in der Einheit kg pro Einwohner und Jahr enthalten. Der Wert schwankt zwischen <0,01 kg/(EW*a) und 0,20 kg/(EW*a). Der arithmetische Mittelwert der in der Tabelle dargestellten Zahlen liegt bei ca. 0,08 kg/(EW*a). Die in der Tabelle 12 dargestellten Ergebnisse wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet.

In 36 von den 47 Restabfallanalysen ist zu der Fraktion EAG eine Angabe in der Einheit kg pro Einwohner und Jahr enthalten. Der Wert schwankt zwischen 0,3 kg/(EW*a) und 2,61 kg/(EW*a). Der arithmetische Mittelwert beträgt ca. 1 kg/(EW*a). Die in der Tabelle 12 dargestellten Ergebnisse wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet.

Bei allen Zahlenangaben und in Bezug auf die gebildeten Mittelwerte, ist zu beachten, dass die bekannten Zahlen ggf. schon in den Restabfallanalysen auf zwei Nachkommastellen gerundet wurden.

5.2 LVP-Abfälle aus der haushaltsnahen Sammlung – regionale Einzelanalysen

Die nachfolgende Tabelle 13 gibt wieder, welche Angaben zu den Fraktionen Altbatterien und EAG in den ausgewerteten LVP-Analysen enthalten sind. Wenn Sortierkampagnen aus zwei Jahren in eine Abfallanalyse eingeflossen sind, enthält die Spalte Jahr eine doppelte Angabe. Zudem beziehen sich die LVP-Abfallanalysen entweder auf LVP-Abfälle im Verpackungsabfall (gelbe Tonne/ gelber Sack – System „LVP“) oder in der Wertstofftonne (System „WST“)

Tabelle 13: Mengen / Anteile relevanter Fraktionen im / an LVP-Abfällen (n=18)

Quelle	Gebiets-körperschaft	Jahr	System	Batterien [Gew.%]	Batterien [kg / (EW*a)]	EAG [Gew.%]	EAG [kg / (EW*a)]
40	Anonym	2010	LVP	0,31	0,05	0,70	0,11
40	Anonym	2010	LVP	0,11	0,03	1,50	0,42
40	Anonym	2010	LVP	0,13	0,04	0,42	0,12
24	LK Wesel	2011	LVP	k.A.	k.A.	0,80	k.A.
40	Anonym	2011	WST	0,02	0,01	1,50	0,52
40	Anonym	2011	WST	0,10	0,03	1,20	0,39
40	Anonym	2011	WST	0,07	0,01	1,12	0,18
40	Anonym	2011	LVP	0,06	0,02	1,27	0,35
2	LK Kitzingen	2012 / 2013	LVP	k.A.	k.A.	k.A.	0,10
18	Viersen	2012 / 2013	LVP	k.A.	k.A.	0,82	k.A.
40	Anonym	2012	WST	0,10	0,03	0,60	0,20
40	Anonym	2012	LVP	0,06	0,02	0,97	0,26
40	Anonym	2012	WST	0,09	0,02	0,99	0,18

Quelle	Gebiets-körperschaft	Jahr	System	Batterien [Gew.%]	Batterien [kg / (EW*a)]	EAG [Gew.%]	EAG [kg / (EW*a)]
40	Anonym	2012	WST	k.A.	k.A.	1,10	0,38
40	Anonym	2013	WST	0,08	0,03	2,67	0,88
40	Anonym	2013	WST	0,09	0,03	0,81	0,23
41	Paderborn	2014	LVP	k.A.	k.A.	0,40	0,10
40	Anonym	2014	WST	0,08	0,03	1,80	0,61

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In 13 von den 18 LVP-Analysen ist zu der Fraktion Altbatterien eine Angabe in der Einheit kg pro Einwohner und Jahr enthalten. Der Wert schwankt zwischen <0,01 kg/(EW*a) und 0,05 kg/(EW*a). Der arithmetische Mittelwert der in der Tabelle dargestellten Zahlen liegt bei ca. 0,03 kg/(EW*a). Die Menge der Batterie-Fehlwürfe in der haushaltsnahen Sammlung von LVP-Abfällen liegt also unter der Menge der Batterie-Fehlwürfe im Restabfall.

In 16 von den 18 Restabfallanalysen ist zu der Fraktion EAG eine Angabe in der Einheit kg pro Einwohner und Jahr enthalten. Der Wert schwankt zwischen 0,1 kg/(EW*a) und 0,52 kg/(EW*a). Der arithmetische Mittelwert beträgt ca. 0,31 kg/(EW*a). Die Menge der EAG-Fehlwürfe in der haushaltsnahmen Sammlung von LVP-Abfällen liegt also ebenfalls unter der entsprechenden Fehlwurfmenge im Restabfall.

Die hier dargestellten Zahlenangaben wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet. Ggf. wurden die Angaben in den Abfallanalysen ebenfalls gerundet.

5.3 Gesamtbetrachtung der regionalen Einzelanalysen und Vergleich mit der bundesweiten Siedlungsrestabfallanalyse

Um aus den Werten in den regionalen Einzelanalysen Mengenabschätzungen von Altbatterien und EAG in Abfallströmen in Deutschland generieren zu können, kann man die Mengen in kg/EW*a mit einer angenommenen Einwohnerzahl von 83 Millionen hochrechnen. In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die Ergebnisse einer solchen Rechnung dargestellt. Dabei wurde zunächst mit den minimalen und maximalen vorkommenden Werten aus den regionalen Einzel-Abfallanalysen (Restabfall vgl. Tabelle 12; LVP/ Wertstofftonne vgl. Tabelle 13) gerechnet, um eine Spannbreite zu bestimmen (vgl. Spalte 6). Weiterhin wurde mit dem arithmetischen Mittel ($\bar{x}$)aus den Abfallanalysen gerechnet.

Tabelle 14: Fehlwürfe an EAG und Batterien in haushaltsnahmen Abfallströmen ermittelt aus den regionalen Einzelanalysen

Haushaltsnahe Abfallströme	Fraktion	Min (kg/EW*a)[26]	Max (kg/EW*a)[27]	x̄	Spanne DE p. a. (t)[28]	Hochrechnung DE p. a. (t)[29]	Menge in kg/(EW*a)[30]	Hochrechnung der Menge auf das Bundesgebiet (t)[31]
Restabfall	Batterien	0,01	0,2	0,08	830 - 16.600	6.640	0,067	5.500
Restabfall	EAG	0,3	2,61	1,00	24.900 - 216.630	84.821	1,04	86.000
LVP / Wertstofftonne	Batterien	0,01	0,05	0,03	830 - 4.150	2.090	-	-
LVP / Wertstofftonne	EAG	0,1	0,52	0,31	8.300 - 43.160	26.141	-	-

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Demnach sind im Restabfall zwischen 24.900 - 216.630 t EAG und 830 - 16.600 t Altbatterien pro Jahr enthalten. Bei der LVP-Sammlung bzw. in Wertstofftonnen sind danach pro Jahr zwischen 8.300 - 43.160 t EAG und 830 - 4.150 Altbatterien enthalten. In der haushaltsnahen Sammlung über diese beiden Abfallströme sind demnach zwischen 33.200 - 259.790 t EAG und 1.660 - 20.750 t Altbatterien als Fehlwürfe enthalten.

Wenn man die Werte für Deutschland mit dem Mittelwert aus den Abfallanalysen hochrechnet ergeben sich Fehlwurfmengen von ca. 6.640 t Altbatterien im Restabfall, ca. 2.090 Altbatterien in der LVP Sammlung bzw. Wertstofftonne und ca. 8.730 t Altbatterien in beiden Abfallströmen. Bei den EAG sind ca. 84.821 t im Restabfall, ca. 26.141 t in der LVP Sammlung bzw. Wertstofftonne und ca. 110.962 t in beiden Abfallströmen.

Aufgrund der geringen Anzahl an verwendeten Datenpunkten und der nicht repräsentativen Auswahl von Untersuchungsgebieten sind diese Zahlen nur für einzelne Regionen repräsentativ und nicht unbedingt für gesamt Deutschland.

Da die Anzahl der Datenpunkte der regionalen Einzelanalysen für die Bestimmung der Fehlwurfmengen in der LVP- bzw. Wertstofftonnen-Sammlung (vgl. Tabelle 13) mit 17 Einzelwerten für EAG und 13 Einzelwerten für Batterien noch geringer war, kann der in der Tabelle 14 auf

[26] aus regionalen Einzelanalysen
[27] aus regionalen Einzelanalysen
[28] berechnet mit Minimal- und Maximalwert
[29] berechnet mit x̄
[30] nach Dornbusch et al., 2020
[31] nach Dornbusch et al., 2020

Deutschland hochgerechnete Mittelwert für Batterien bzw. EAG nur eine grobe Orientierung darstellen. Insbesondere sollten auch die angegebenen Spannbreiten mit beachtet werden.

Vergleich zur bundesweiten Siedlungsabfallanalyse: Um die Aussagekraft der zuvor ausgeführten regionalen Einzel-Abfallanalysen besser einschätzen zu können, wird das Ergebnis dieser Restabfallanalysen mit der vom Umweltbundesamt initiierten bundesweiten Analyse des Siedlungsrestabfalls nach Dornbusch et al., 2020 verglichen. Die Untersuchungen von Dornbusch et al., 2020 wurde in für Deutschland repräsentativen Regionen durchgeführt. Für EAG und Batterien im Restabfall kommen die Autoren zu den in der Tabelle 14 in den rechten zwei Spalten dargestellten Ergebnissen.

In Bezug auf **Batterien im Restabfall** liegt der von Dornbusch et al., 2020 ermittelte Wert von 0,067 kg/(EW*a) Batterien im bundesweiten Restabfall leicht unter dem aus den regionalen Einzelanalysen ermittelten arithmetischen Mittelwert von 0,08 kg/(EW*a). Dementsprechend liegt auch der von Dornbusch et al für Deutschland hochgerechnete Wert von 5.500 t unter dem aus den regionalen Einzelanalysen ermittelten Wert von 6.640 t. Sowohl der von Dornbusch et al. angegebene Wert in kg/(EW*a) als auch der absolute Wert liegen innerhalb der aus den regionalen Einzelanalysen ermittelten Spannbreiten (siehe Tabelle 14).

Zusätzlich erwähnt werden sollten auch die differenzierten Ergebnisse der bundesweiten Untersuchung nach Dornbusch et al., 2020 hinsichtlich der jeweiligen Siedlungsstrukturen. So wurden in der ländlichen Struktur 0,09 kg/(EW*a) Altbatterien im Restmüll identifiziert. In den Strukturen "ländlich dicht" und "städtisch" betrug die Masse hingegen nur jeweils nur 0,06 kg/(EW*a). Diese Ergebnisse können ein Indiz dafür sein, dass ein dichtes Sammelnetz, wie im städtischen und ländlich dichten Bereich, schon hohe Anreize für die getrennte Sammlung bieten kann und Fehlwürfe von Endnutzern mildert.

Unabhängig von dem Anteil von LIB an den Fehlwurfmengen, kann die Menge der ermittelten Fehlwürfe mit der der ordnungsgemäß entsorgten Altbatterien verglichen werden.

Laut UBA, 2021 wurden 2020 26.343 t Geräte-Altbatterien über den regulären Entsorgungsweg erfasst. Wie zuvor dargestellt, ergibt sich aus den auf Deutschland hochgerechneten Mittelwerten der untersuchten regionalen Einzelanalysen (vgl. Tabelle 14) eine Fehlwurfmenge von 8.730 t Batterien in den Abfallströmen Restabfall und LVP bzw. Wertstofftonne. . Diese hochgerechnete Fehlwurfmenge entspricht ca. 31 % der ordnungsgemäß gesammelten Menge an Geräte-Altbatterien.

In Bezug auf die aufgezeigten Altbatterie-Fehlwurfmengen muss betont werden, dass diese nicht mit LIB gleichzusetzen sind. LIB stellen nur eine Teilmenge der Altbatterie-Fehlwürfe dar. In der Tabelle 15 sind die Anteile an Primär- und Sekundärbatterien im deutschen Restabfall nach der Analyse von Dornbusch et al. dargestellt.

Tabelle 15: Anteile von Primär- und Sekundärbatterien im Restabfall nach Dornbusch et al., 2020

Stoffgruppen	Deutschland Gew.-%	Deutschland kg/(E*a)
Altbatterien	100,0	0,067
Primärbatterien	87,7	0,059

Stoffgruppen	Deutschland Gew.-%	Deutschland kg/(E*a)
Sekundärbatterien	8,4	0,006
Nicht identifizierbare Altbatterien	3,9	0,003

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, nach Dornbusch et al., 2020

Da nur ein Teil der LIB Sekundärbatterien sind, kann angenommen werden, dass die Masse der LIB im Restabfall tendenziell weniger als 0,006 kg/(EW*a) ausmacht. Hochgerechnet auf 83 Millionen Einwohner wäre dies ein absoluter Wert von unter 500 t je Jahr. Die Masse der LIB in der Kategorie der Primärbatterien wird aufgrund des geringen Marktvolumens in dieser Kategorie als vernachlässigbar angenommen. Zu beachten ist allerdings, dass die Verkaufsmenge an LIB in den letzten Jahren stark gestiegen ist. In den nächsten Jahren ist daher mit steigenden Mengen an entsorgten LIB und damit auch mit mehr Fehlwürfen von LIB zu rechnen.

In Bezug auf **EAG im Restabfall** liegen das aus Deutschland hochgerechnete Ergebnis aus den regionalen Einzelanalysen und der bundesweiten Analyse nach Dornbusch et al., 2020 noch deutlich näher beieinander, wie ein Vergleich der absoluten Werte von ca. 84.821 t und 86.000 t EAG im Restabfall zeigt.

Unabhängig von dem Anteil von (möglicherweise batteriehaltigen) EAG an den Fehlwurfmengen, kann die Menge der ermittelten Fehlwürfe mit der der ordnungsgemäß entsorgten Menge an EAG verglichen werden. Die hochgerechnete Fehlwurfmenge von ca. 110.962 t in den Abfallströmen Restabfall und LVP bzw. Wertstofftonne entspricht ca. 13% der ordnungsgemäß aus privaten Haushalten gesammelten Menge an EAG.[32]

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass die Fehlwurfmengen an Batterien bzw. möglicherweise (lithium)batteriehaltigen EAG in der untersuchten haushaltsnahen Sammlung eine durchaus relevante Größenordnung einnehmen. An dieser Stelle sei auch nochmals erwähnt, dass Fehlwürfe, die in anderen haushaltsnahen Abfallströmen (wie Altpapier oder Bioabfall) vorkommen (können), bei dieser Betrachtung noch nicht mitberücksichtigt wurden, da die Datengrundlagen nicht eindeutig von EAG bzw. Batterien, sondern von „Problemstoffen“ sprechen. Zudem lagen für weitere mögliche nicht-ordnungsgemäße Abfallströme, in denen Altbatterien bzw. EAG zu erwarten sind, keine Abfallanalysen vor. Dementsprechend sind die in diesem Kapitel aufgeführten Fehlwurfmengen als eine Untergrenze für die gesamte Fehlwurfmenge anzusehen. Es ist anzunehmen, dass die gesamte Fehlwurfmenge höher, als hier ausgeführt, ist. Eine Reduzierung von LIB Fehlwürfen in haushaltsnahen Abfallströmen ist durch ein mögliches Pfand denkbar und anzustreben.

[32] 835.131 t in 2019 laut BMUV, 2021

6 Schadensereignisse durch LIB

In Winter 2020 (Vortest, Phase 1) und Frühjar 2021 (Phase 2) wurden Umfragen bei **Entsorgungsbetrieben** sowie **örE** durchgeführt. Abgefragte Themengebiete waren Schadensereignisse und ihre Ursachen sowie Sicherheitsmaßnahmen, die ergriffen werden, um Schadensereignisse zu vermeiden. Bei örE wurde zudem nach der Erfassungssituation von LIB und EAG, die LIB enthalten, abgefragt.

In Phase 1 wurden Betriebe bzw. Ansprechpartner*innen recherchiert, bei denen Brandfälle vorkamen. Mit den Ansprechpartner*innen wurden erste telefonische Interviews geführt, die Antworten aufgenommen und der Fragebogen auf Verständlichkeit überprüft.

In Phase 2 wurde die Zielgruppe der Umfrage erweitert und es wurden potentiell alle Entsorgungsbetriebe und örE, bei denen Batterien vorkommen können, eingeladen teilzunehmen. Der strukturierte Fragebogen wurde über die Verteiler der Verbände BDE, bvse, VDM und VKU verbreitet.

Die Umfrage konnte somit auch von Akteuren beantwortet werden, bei denen kein Schadensereignis stattgefunden hat. In diesen Fällen wurden die Antworten zu Sicherheitsmaßnahmen ausgewertet. Die Zielgruppe war entsprechend der Zielstellung nicht auf Entsorgungsbetriebe für bestimmte Stoffströme, wie z.B. EAG oder Altbatterien, beschränkt, sondern richtete sich an alle Betriebe der Entsorgungswirtschaft. So haben z.B. auch Sortieranlagen für Leichtverpackungsabfälle (LVP-Abfälle) etc. teilgenommen, da bei diesen Betrieben LIB als Fehlwürfe vorkommen können.

Insgesamt konnten 101 Antworten ausgewertet werden, davon 89 von Entsorgungsbetrieben und 12 von örE. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Antworten der Entsorgungsbetriebe sind nachfolgend umfassend dargestellt. Die Antworten der örE werden aufgrund der geringen Antwortzahlen und Aussagekraft kürzer zusammengefasst.

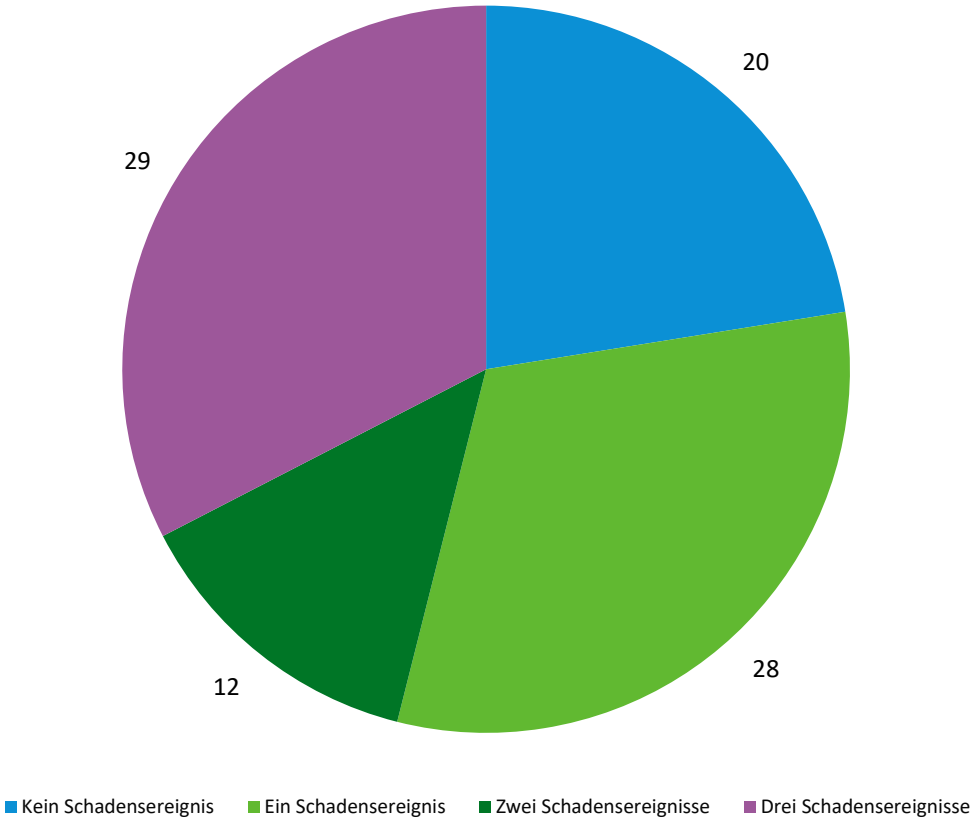
6.1 Entsorgungsbetriebe

Es liegen 89 Antworten von Entsorgungsbetrieben vor, die ausgewertet werden konnten. Von den 89 Entsorgungsbetrieben wurden Angaben zu 139 Schadensereignissen gemacht, bei denen Batterien als Schadensauslöser vermutet werden.

Von den Antwortenden gaben 20 an, dass bei Ihnen noch keine derartigen Schadensereignisse vorkamen, 28 machten Angaben zu einem derartigen Schadensereignis, 12 machten Angaben zu zwei derartigen Schadensereignissen und 29 Teilnehmerinnen und Teilnehmer machten Angaben zu drei derartigen Schadensereignissen. Die Zahl der Schadenereignisse je Teilnehmerin und Teilnehmer ist der Abbildung 20 zu entnehmen. Dabei geht es nur um Schadensereignisse, bei denen Batterien als Schadensursache vermutet werden.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in dem Fragebogen detaillierte Angaben zu den drei größten Schadensereignissen erfragt wurden, bei denen LIB als Schadensursache vermutet werden. Es ist also möglich, dass bei den betroffenen Entsorgungsbetrieben auch mehr als drei größere Schadensereignisse vorgekommen sind.

Abbildung 20: Anzahl Schadensereignisse je Teilnehmerin und Teilnehmer – Entsorgungsbetriebe (n=89)

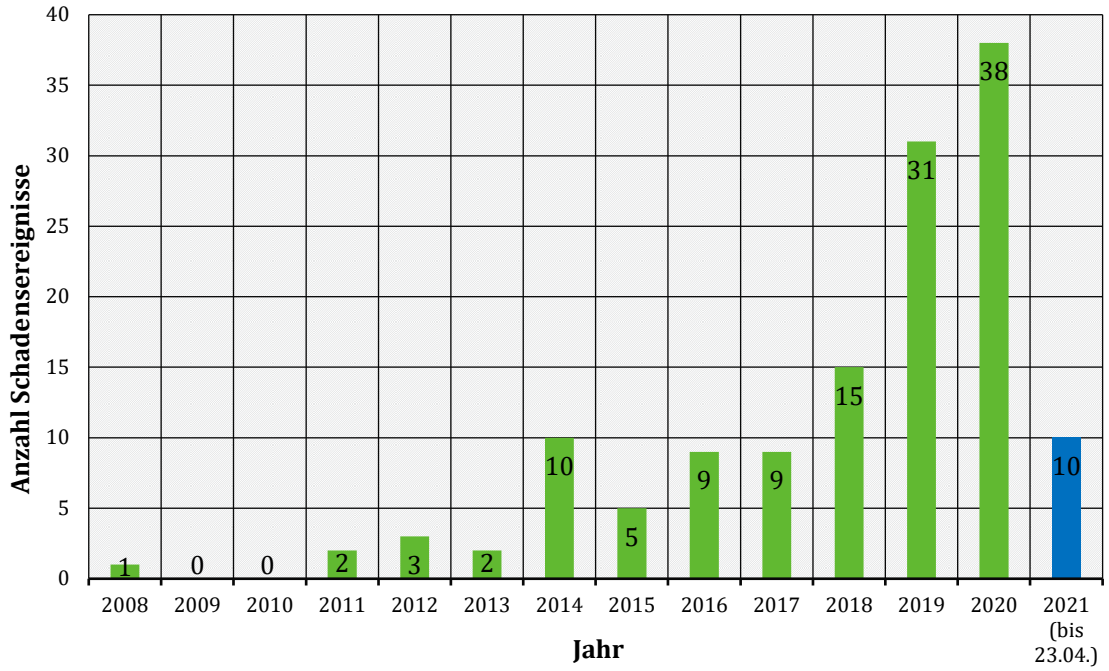


Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In Bezug auf die drei größten Schadensereignisse wurden von den Teilnehmenden weitere Details erfragt, z.B. zum Jahr des Schadensereignisses, betroffenen Abfallströmen, Schadenshöhen etc. Die Anzahl **Schadensereignisse je Jahr** zu denen detaillierte Angaben von Entsorgungsbetrieben gemacht wurden, ist in der Abbildung 21 dargestellt.

Insgesamt ist seit 2008 eine Steigerung der Anzahl an genannten Schadensereignissen je Jahr zu erkennen. Mit jeweils mehr als 30 Schadensereignissen fallen die Ereignisse in die Jahre 2019 und 2020. In allen Jahren davor liegt die Zahl der Schadensereignisse bei bis zu 15. Für 2021 wurden Angaben zu 10 Schadensereignissen gemacht. In diesem Zusammenhang ist aber zu beachten, dass der Befragungszeitraum am 23.04. dieses Jahres endete.

Abbildung 21: Anzahl Schadenereignisse je Jahr – Entsorgungsbetriebe (n=139)



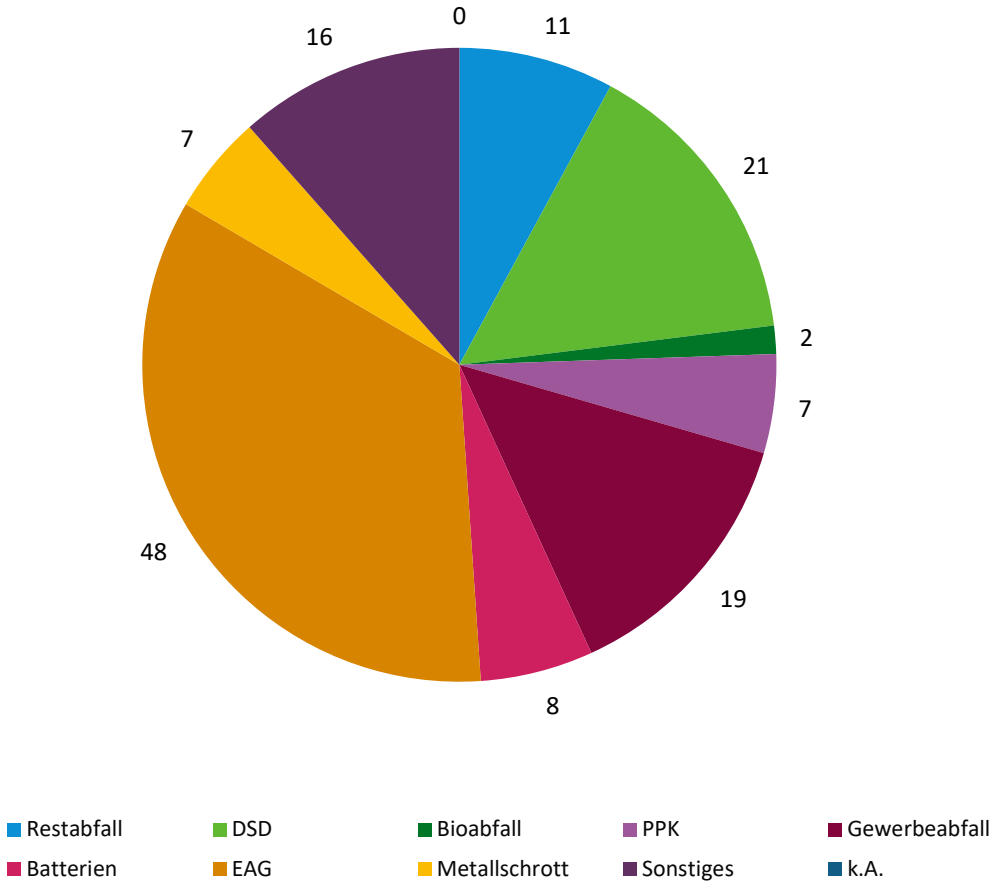
Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Gefragt nach dem **Abfallstrom, der von dem Schadensereignis betroffen war**, geben die meisten Teilnehmenden den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte (48 Nennungen) an. Gefolgt wird dieser von den Abfallströmen Leichtverpackungen (LVP) aus privaten Haushalten (21 Nennungen), Gewerbeabfall (19 Nennungen) und Sonstiges (16 Nennungen). Die Anzahl genannter Schadensereignisse je Abfallstrom sind der Abbildung 22 zu entnehmen.

Zum Abfallstrom „Sonstiges“ machten viele Teilnehmenden weitere Angaben. In den meisten Fällen, handelt es sich um gemischte Abfälle. Mehrfach genannt werden „Restabfall und Gewerbeabfall“, „Sperrabfall und Elektro(nik)altgeräte“ sowie „Mischschrott und Elektro(nik)altgeräte“. Als sonstige nicht gemischte Abfallströme sind je einmal „Sperrabfall“ und „Bauschutt“ genannt.

Bei einer detaillierteren Betrachtung von Abfallströmen und Jahren, wird deutlich, dass für fast alle Jahre für den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte die weitaus meisten Schadensereignisse genannt werden. Nur für 2011 und 2013 werden für Elektro(nik)altgeräte genauso viele Schadenereignisse angegeben wie für die Abfallströme LVP aus privaten Haushalten bzw. Altpapier (PPK / Papier, Pappe Kartonagen).

Abbildung 22: Anzahl Schadensereignisse je Abfallstrom – Entsorgungsbetriebe (n=139)

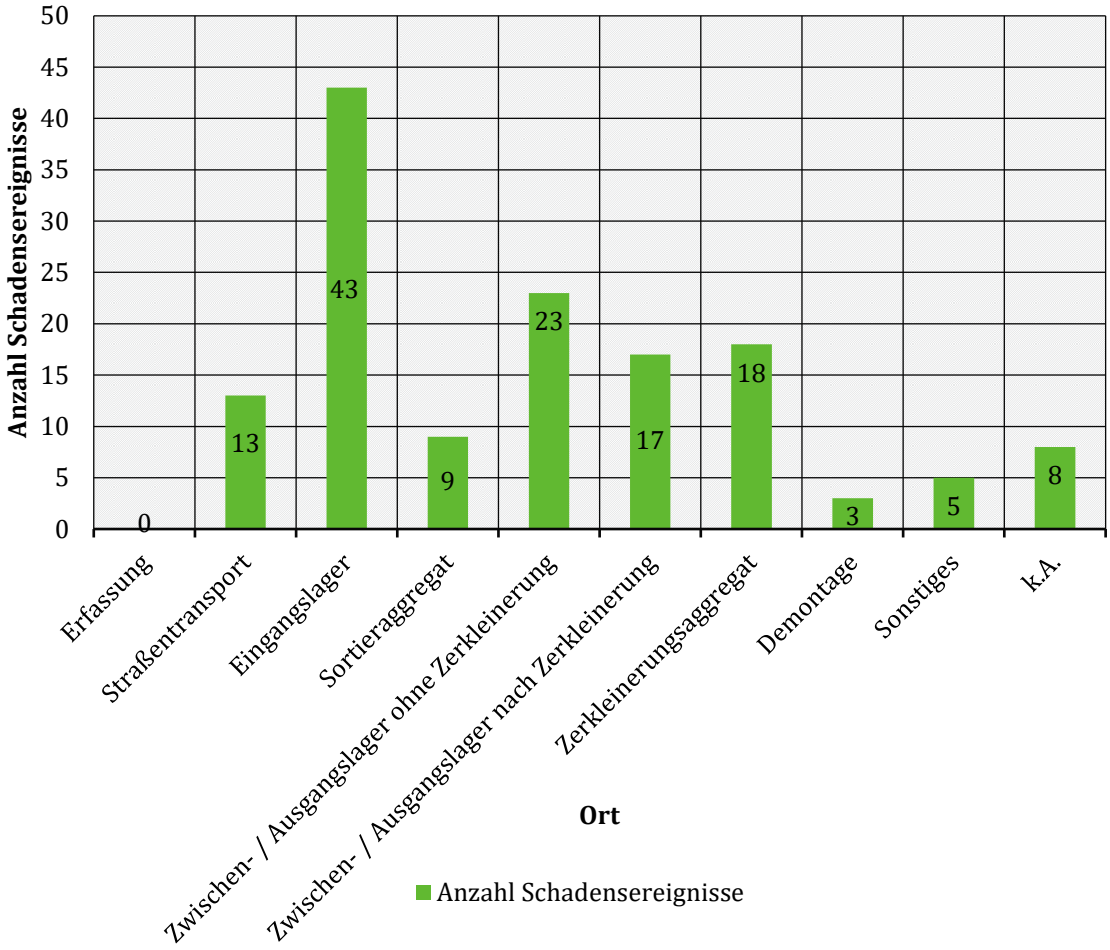


Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In Bezug auf die drei größten Schadensereignisse in den Betrieben, wurden die Teilnehmenden gefragt **in welchem Anlagenteil bzw. bei welchem Prozessschritt** das jeweilige Schadensereignis ausgelöst wurde. Nach den Angaben der Teilnehmenden entstanden mit 43 Nennungen (ca. 30% der Fälle) die meisten Schadensereignisse im Eingangslager. Die Antworten sind in der Abbildung 23 dargestellt.

Zu dem Punkt „Sonstiges“ erläuterten die Teilnehmenden, dass Schadensereignisse in einer Filteranlage, einer Ballenpresse, im sog. Eisenlager oder in Mischbunkern ausgelöst wurden.

Abbildung 23: Ort der Schadensauslösung – Entsorgungsbetriebe (n=139)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Bei den Antworten zum **Ort der Schadensauslösung** ergaben sich Unterschiede zwischen den einzelnen Abfallströmen. Die Zahl der Nennungen von Orten der Schadensauslösung je Abfallstrom ist in der Tabelle 16 wiedergegeben.

Es zeigt sich, dass insgesamt der Anlagenteil Eingangslager am häufigsten genannt wurde, da dieses bei dem am stärksten vertretenen Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte als Ort der Schadensauslösung dominierte. Bei diesem Abfallstrom wurde „Eingangslager" sogar in ca. 52 % aller Fälle genannt. Es folgt der Anlagenteil „Zwischen- / Ausgangslager ohne vorherige Zerkleinerung" mit 11 Nennungen (ca. 23 %). Die Zahl der Nennungen für alle weiteren möglichen Anlagenteile oder Prozessschritte war einstellig.

Bei dem Abfallstrom LVP aus privaten Haushalten wurde der Anlagenteil „Zwischen- / Ausgangslager nach Zerkleinerung" häufiger genannt als das Eingangslager oder der Ort Zerkleinerungsaggregat. Beim Abfallstrom Gewerbeabfall entfielen die meisten Nennungen dagegen auf den Punkt „Zerkleinerungsaggregat", während der Punkt „Eingangslager" nicht genannt wurde. Für die weiteren Abfallströme liegen zu wenige Schadensereignisse vor, als dass detailliertere Aussagen möglich sind.

Insgesamt ergibt sich nur beim Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte, dass Schadensereignisse gehäuft in Lagerbereichen und insbesondere im Eingangslager ausgelöst wurden. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass batteriehaltige Elektro(nik)altgeräte bereits vor oder bei der Anlieferung an den Behandlungsanlagen mechanischen Einwirkungen und ggf. Beschädigungen ausge-

setzt sind, die zu Schadensereignissen führen können, sowie darauf, dass der EAG-Strom fälschlicherweise auch lose Altbatterien enthält.

Tabelle 16: Ort der Schadensauslösung je Abfallstrom (n=139)

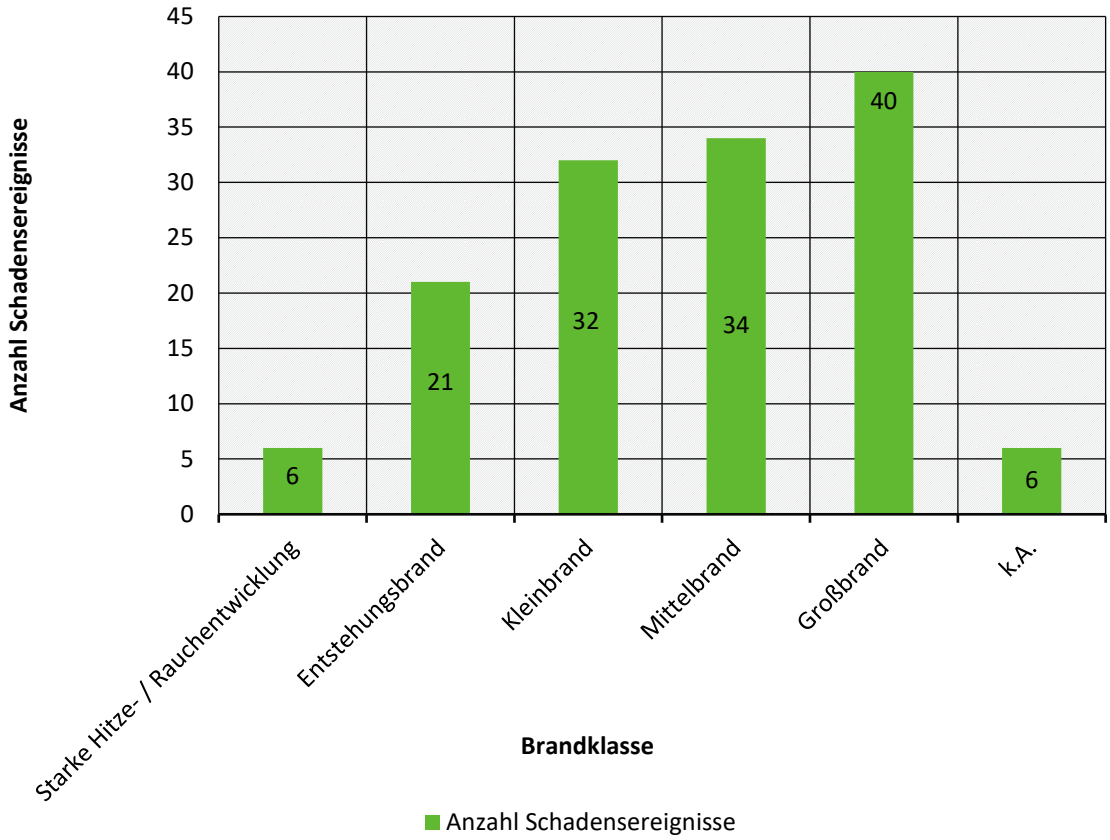
Ort	Altbatterien	Bioabfall	LVP	EAG	Gewerbeabfall	Metallschrott	PPK	Restabfall	Sonstiges	Gesamt
Erfassung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Straßentransport	3	0	2	4	2	0	1	1	0	**13**
Eingangslager	3	1	2	25	0	2	0	4	6	**43**
Sortieraggregat	0	0	5	0	1	0	3	0	0	**9**
Zwischen- / Ausgangslager ohne Zerkleinerung	1	0	2	11	1	2	1	0	5	**23**
Zwischen- / Ausgangslager nach Zerkleinerung	0	0	7	2	3	2	1	2	0	**17**
Zerkleinerungsaggregat	0	1	2	2	9	0	1	0	3	**18**
Demontage	0	0	0	3	0	0	0	0	0	**3**
Sonstiges	0	0	1	1	0	1	0	1	1	**5**
k.A.	1	0	0	0	3	0	0	3	1	**8**

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Die Frage nach den **Brandklassen der Schadensereignisse** zeigt, dass die Teilnehmenden Angaben zu 40 Großbränden und jeweils mehr als 30 Mittelbränden und Kleinbränden machten. Die Angaben zu Brandklassen sind in der Abbildung 24 dargestellt.

Die Angaben der Teilnehmenden zeigen, dass es mehrere Groß- und Mittelbrände gab, bei denen Batterien als Schadensursache vermutet wurden. Es ist allerdings zu beachten, dass in der Umfrage Details zu den drei größten Schadensereignissen erfragt wurden. Daher kann es sein, dass im Betriebsalltag häufig noch weitere Schadensereignisse geringeren Ausmaßes vorkommen, als hier angegeben.

Abbildung 24: Brandklassen der drei größten Schadensereignisse – Entsorgungsbetriebe (n=139)



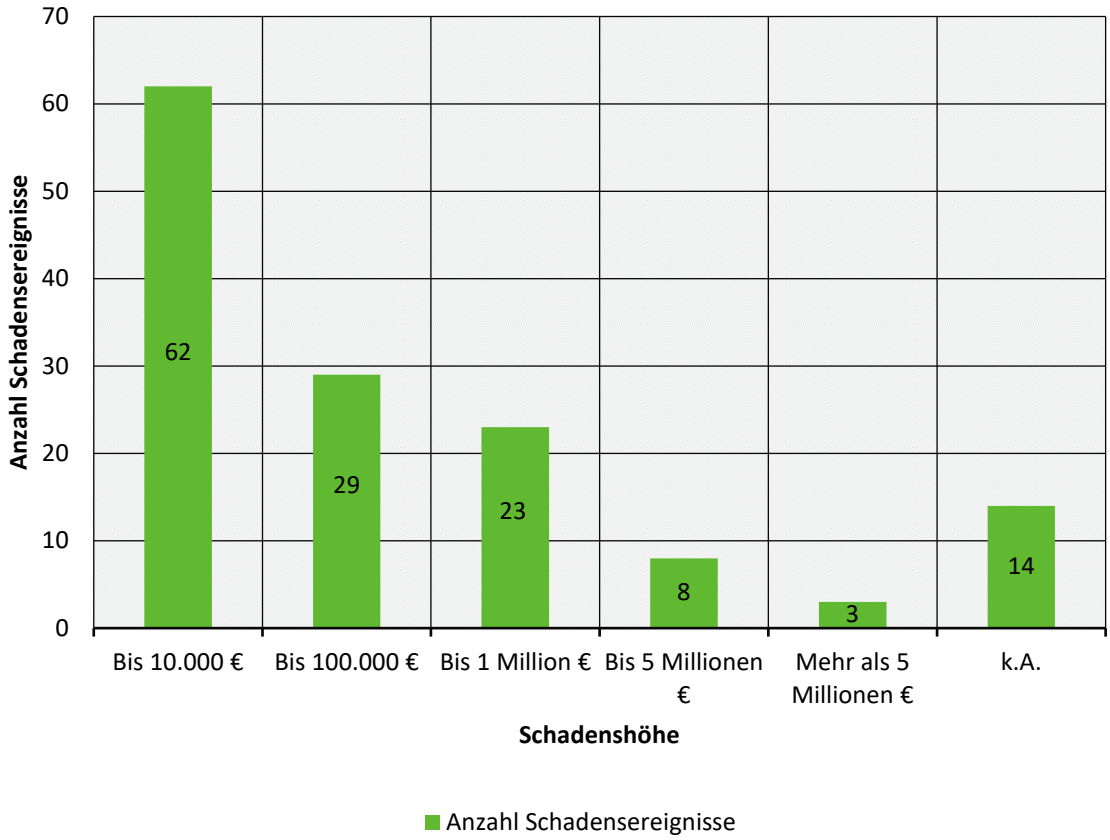
Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Die **Angaben zur Schadenshöhe** zeigen, dass diese in 62 von 139 Fällen (ca. 44 %) bei bis zu 10.000 Euro lag. Die Zahl der Nennungen nimmt mit der Schadenshöhe ab (siehe Abbildung 25). In acht Fällen (ca. 6 %) lag die Schadenshöhe zwischen einer und fünf Millionen Euro und in drei Fällen (ca. 2 %) bei mehr als 5 Millionen Euro.

Die abnehmende Anzahl an Nennungen bei steigender Schadenshöhe ist durchgängig bei allen Abfallströmen gegeben.

Neben den Sachschäden, gaben sechs Befragte leichte Personenschäden und ein(e) Befragte(r) einen schweren Personenschaden an.

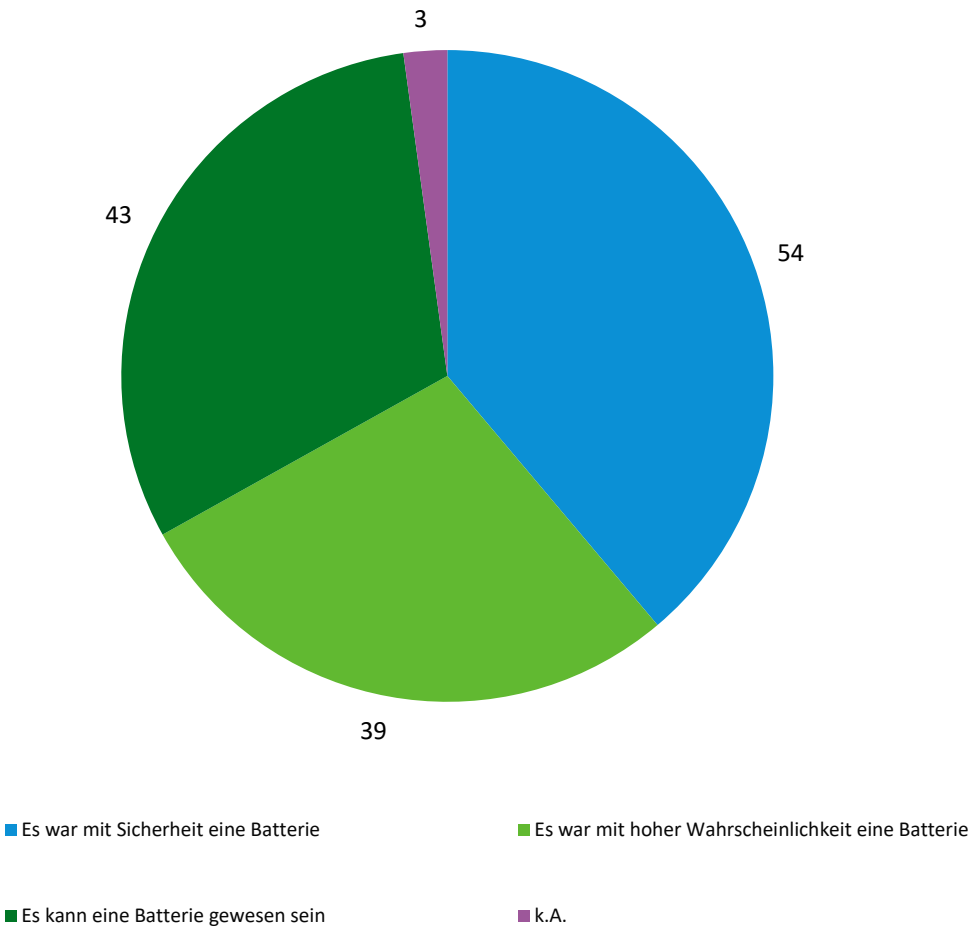
Abbildung 25: Höhen der Schadensereignisse – Entsorgungsbetriebe (n=139)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Eine weitere Fragestellung der Umfrage zielte darauf ab, festzustellen, **wie wahrscheinlich es sei, dass eine Batterie der tatsächliche Schadensauslöser war**. Die Teilnehmenden erklärten, dass 54 der 139 Schadensereignisse „mit Sicherheit" von einer Batterie „ausgelöst wurden". Bei weiteren 39 Schadensereignissen gehen die Teilnehmenden mit „hoher Wahrscheinlichkeit" davon aus, dass eine Batterie Auslöser des Schadensereignisses „war", bei 43 Schadensereignissen, dass es eine Batterie „gewesen sein" kann. In der Gesamtschau zur Schadensauslösung wird gemäß den Angaben der Entsorgungsbetriebe die Schlüsselrolle der Altbatterien deutlich. Lediglich zu drei Schadensereignissen wurden keine Angaben gemacht. Diese Angaben sind in der nachfolgenden Abbildung 26 verdeutlicht.

Abbildung 26: Angaben zu Batterien als Schadensauslöser – Entsorgungsbetriebe (n=139)

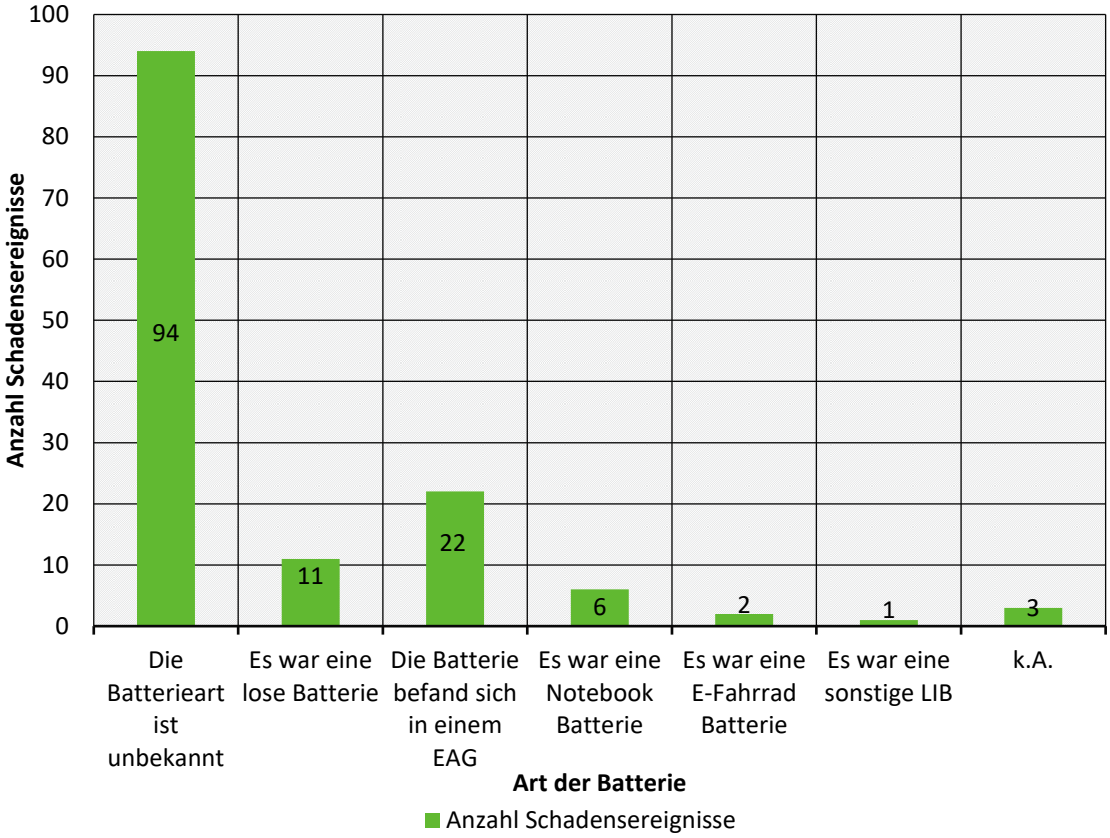


Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Des Weiteren wurden die Teilnehmenden gebeten eine Einschätzung zu geben, ob **bestimmte Batterien besonders häufig Auslöser von Schadensereignissen** sind.

Dabei zeigt sich, dass in den weitaus meisten Fällen nicht bekannt ist, welche Art Batterie das Schadensereignis ausgelöst hat. Die Befragten gaben zu 94 Schadensereignissen an, dass die genaue Art der Batterie nicht bekannt ist. Zu elf Schadensereignissen können die Befragten spezifizieren, dass es eine lose Batterie war und zu 22 Schadensereignissen, dass sich die Batterie in einem Elektro(nik)altgerät befand. Nur für neun Schadensereignisse sind die Batterien noch genauer spezifiziert. In sechs Fällen handelt es sich um eine lose Notebookbatterie, zwei Mal um eine E-Fahrradbatterie und einmal um eine sonstige LIB. Zu diesem Fall spezifiziert die Teilnehmerin / der Teilnehmer, dass es sich um eine LIB für eine Notbeleuchtungsanlage handelte (vgl. Abbildung 27).

Abbildung 27: Angaben zur Art der Batterie — Entsorgungsbetriebe (n=139)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Einige Teilnehmende machten **sonstige Angaben**, aus denen hervorgeht, dass die Batterie in den meisten Fällen nach dem Schadensereignis nicht mehr zu erkennen war. In vielen Fällen waren die betroffenen Abfallströme soweit zerstört, dass nicht mehr ersichtlich war, ob es sich um lose Batterien oder Elektro(nik)altgeräte handelte. Einige Teilnehmende gaben auch an, dass nicht festzustellen war, von wo das Schadensereignis ausging. Bei den Schadensereignissen, bei denen die Art der Batterie bekannt war, handelt es sich oft um Entstehungsbrände. Teilnehmende haben in einigen Fällen im Zusatzfeld angegeben, dass Mitarbeiter die Batterie während der Rauchentwicklung oder der Entstehung des Brandes beobachten konnten.

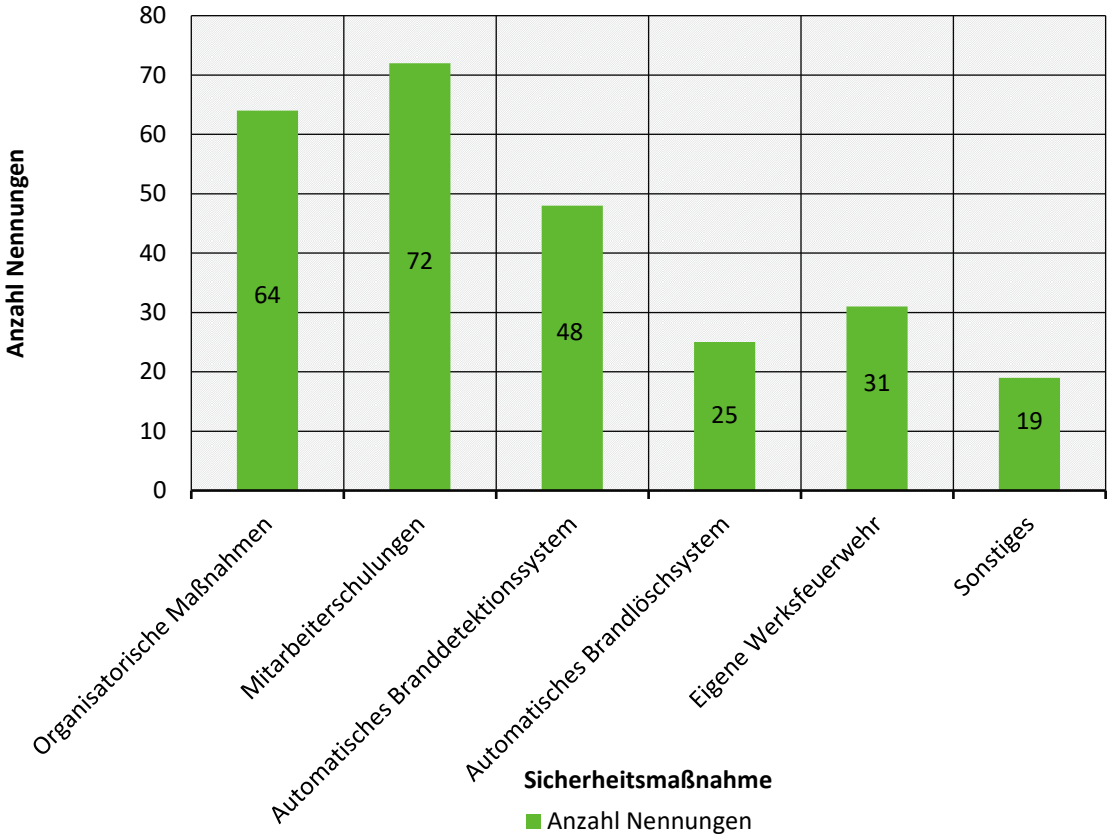
Die Zahl der Fälle, in denen die Art der Batterie bekannt ist, ist insgesamt zu gering, als das einzelne Batteriearten als besonders gefährdend eingestuft werden könnten.

Teilnehmende wurden weiterhin zu **Sicherheitsmaßnahmen** befragt, die sie ergreifen, um Schadensereignisse durch LIB zu verhindern. Dieser Fragenblock zu Sicherheitsmaßnahmen, wurde auch von den Teilnehmenden beantwortet, bei denen noch kein Schadensereignis aufgetreten ist. Die Zahl der Antworten, entspricht hier der Zahl der Teilnehmenden (n=89) und nicht der Zahl der Schadensereignisse (n=139), zu denen detailliertere Angaben vorliegen.

Zunächst wurde die **Anwendung möglicher Sicherheitsmaßnahmen** generell abgefragt. Die Antworten der teilnehmenden Entsorgungsbetriebe sind in der Abbildung 28 dargestellt. Die Punkte Mitarbeiterschulung und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen wurden am häufigsten genannt. Automatische Branddetektionssysteme wurden häufiger eingesetzt als automatische Brandlöschsysteme. Eine eigene Werksfeuerwehr hat eine geringere Anzahl der Teilnehmenden.

Die Teilnehmenden gaben bei dieser Frage ferner an, sonstige Maßnahmen umzusetzen. Zu diesen sonstigen Maßnahmen werden am häufigsten Brandschutzkonzepte und Brandbegehungen genannt. Allerdings haben insgesamt weniger als die Hälfte der Teilnehmenden Brandschutzkonzepte oder führen Brandbegehungen durch. Die Teilnehmenden wurden darüber hinaus zu den Kosten, für die von ihnen ergriffenen Sicherheitsmaßnahmen befragt. Erfragt wurden in diesem Zusammenhang sowohl einmalige Investitionskosten, als auch wiederkehrende beziehungsweise laufende Kosten pro Jahr.

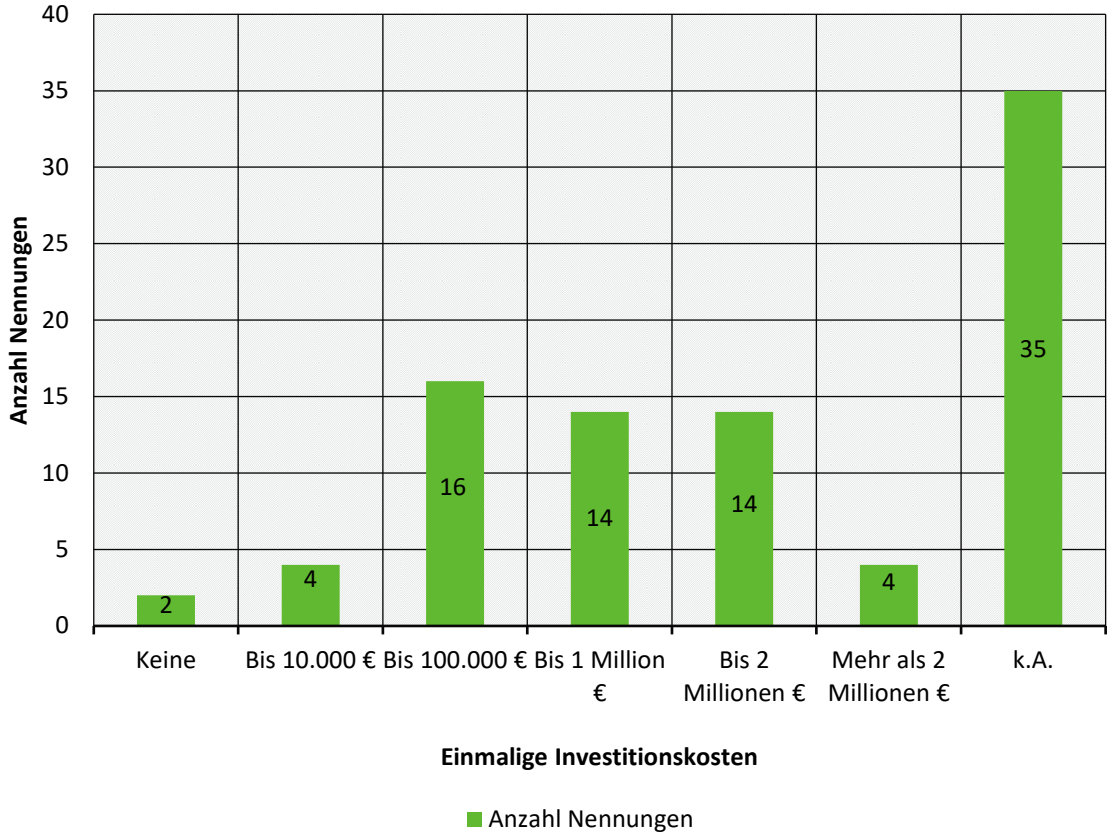
Abbildung 28: Arten von Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89, Mehrfachnennungen möglich)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Vergleichsweise viele der Befragten, machten zu den **Kosten** keine Angaben. In Bezug auf die einmaligen Investitionskosten wurde die Kategorie zehntausend bis hunderttausend Euro am häufigsten genannt, dicht gefolgt von hunderttausend bis zu einer Millionen Euro sowie von einer Million bis zwei Millionen Euro. Die Angaben zu einmaligen Investitionskosten sind in der nachfolgenden Abbildung 29 dargestellt

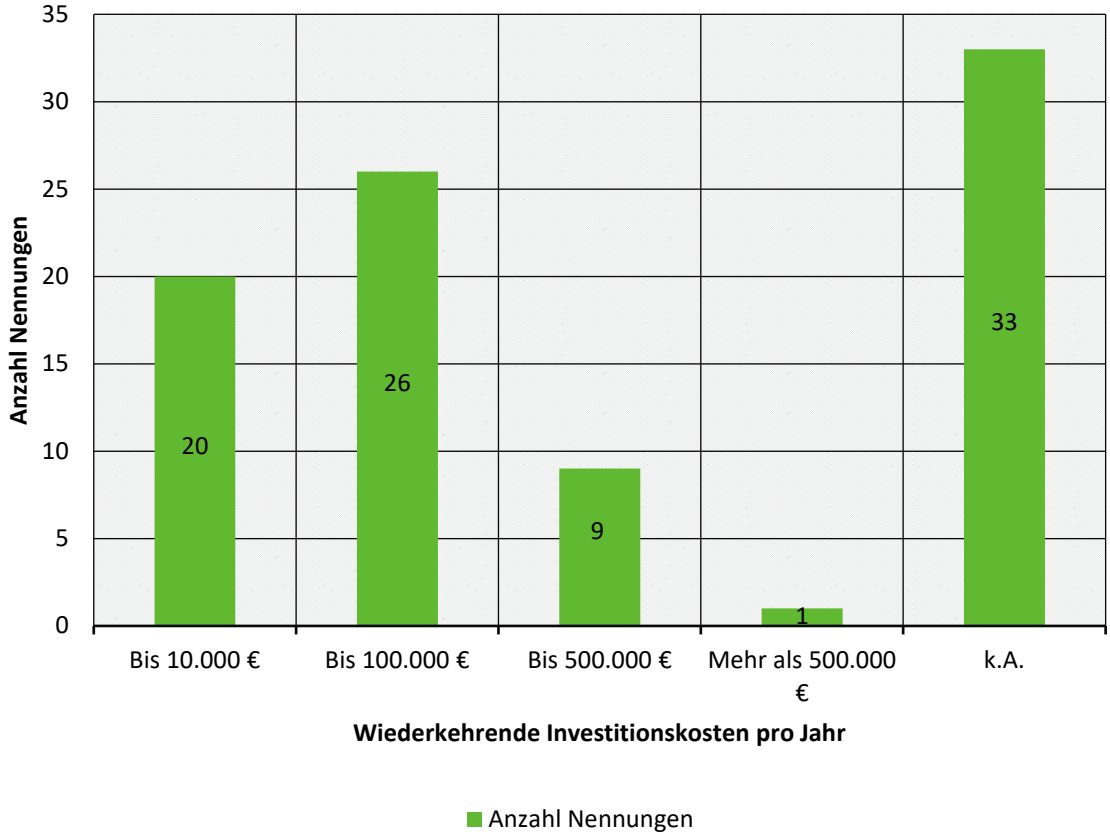
Abbildung 29: Einmalige Investitionskosten für Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In Bezug auf die **wiederkehrenden oder laufenden Kosten** (vgl. Abbildung 30) wurden Angaben in Euro pro Jahr gemacht. Die häufigste Nennung war auch hier zehntausend bis hunderttausend Euro gefolgt von der Kategorie bis zu zehntausend Euro. Höhere jährlich wiederkehrende Kosten wurden seltener genannt. Nur in einem Fall liegen diese bei mehr als 500.000€.

Abbildung 30: Wiederkehrende Investitionskosten für Sicherheitsmaßnahmen – Entsorgungsbetriebe (n=89)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Die Teilnehmenden wurden weiterhin gefragt, wie sich ihrer Meinung nach ihre **Kosten entwickeln** würden, wenn die Zahl von Schadensereignissen durch LIB stark verringert werden könnte. Sowohl in Bezug auf die einmaligen Investitionskosten als auch auf wiederkehrende Investitionskosten, ging jeweils eine Mehrheit der Befragten davon aus, dass die Kosten gleich hoch bleiben würden. Am zweithäufigsten machten die Teilnehmenden dazu keine Angaben und immerhin geht jeweils davon aus, dass die Kosten sinken würden. Die Anzahl der Nennungen ist in der Tabelle 17 dargestellt.

Mit 16 Teilnehmenden, machen bei dieser Frage vergleichsweise viele der Befragten zusätzliche Angaben im Freifeld. Dabei erläutern sie einhellig, dass die Versicherung auch bei einer geringeren Anzahl LIB oder Schadensereignisse durch LIB dieselben Investitionen in Sicherheitsmaßnahmen verlangt. Mehrfach wiesen die Befragten darauf hin, dass Sicherheitsmaßnahmen auch aufgrund von anderen möglichen Schadensauslösern ergriffen werden müssen. Explizit genannt werden in diesem Zusammenhang die Druckbehälter.

Tabelle 17: Kostenentwicklung bei Verringerung von Schadensereignissen durch LIB (n=89)

Kosten	Bleiben gleich	Würden sinken	Nicht bekannt	k.A.
Einmalige Investitionskosten	38	17	7	27
Wiederkehrende Investitionskosten	38	18	6	27

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass es eine relevante Zahl an Schadensereignissen in Entsorgungsbetrieben gibt, bei denen mit großer Wahrscheinlichkeit LIB Schadensauslöser sind.[33] Welche Art bzw. welcher Typ LIB dabei potenzieller Auslöser ist, kann häufig nicht eindeutig bestimmt werden. Während die meisten Fälle in Erstbehandlungsanlagen für EAG auftreten, gibt es auch Fälle in Entsorgungsbetrieben, in denen die schadensauslösenden Batterien als Fehlwürfe vorkommen. Die Reduzierung von solchen Fehlwürfen durch ein mögliches Pfand auf LIB ist denkbar.

6.2 Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger

Von den zwölf an der Umfrage beteiligten örE wurden Angaben zu neun Schadensereignissen gemacht, bei denen Batterien als Schadensauslöser vermutet werden. Vier Teilnehmerinnen / Teilnehmer machten dabei Angaben zu einem Schadensereignis und je eine teilnehmende Person machte Angaben zu zwei bzw. drei Schadensereignissen. Damit liegen Aussagen zu neun Schadensereignissen vor.

Fünf Schadensereignisse bezogen sich auf den Abfallstrom der Altbatterien, zwei auf den Abfallstrom Elektro(nik)altgeräte und zwei Schadensereignisse auf sonstige Abfallströme (Kabelsammlung und Altpapiersammlung). In allen Fällen traten die Schadensereignisse bei der Erfassung am Wertstoffhof auf.

Die Befragten geben in fünf Fällen an, dass es sich um Kleinbrände handelte und in zwei Fällen, dass es sich um einen Mittelbrand handelte. In zwei Fällen liegt zur Brandklasse keine Aussage vor.

Die Frage zur Schadenshöhe wurde für fünf der Schadensereignisse beantwortet. Bei diesen fünf Ereignissen lag der Schaden bei bis zu zehntausend Euro.

Bei sechs von neun Schadensereignissen sei entsprechend der Befragten, der Schaden „mit Sicherheit“ von einer Batterie ausgelöst wurden. Zwei Mal wurde die Antwort „es kann eine Batterie gewesen sein“ ausgewählt und ein Mal wurde die Antwort ausgewählt, dass es „mit hoher Wahrscheinlichkeit“ eine Batterie war. Nähere Angaben zur Art der Batterie liegen in zwei Fällen vor: Als Schadensauslöser wurden jeweils eine Notebook-Batterie und eine Batterie in einem Akkustaubsauger (Fehlwurf im Presscontainer) genannt.

In Bezug auf Sicherheitsmaßnahmen geben alle zwölf Befragten an, organisatorische Maßnahmen und Mitarbeiterschulungen einzusetzen. Bei zwei der Befragten waren auch automatische Detektionssysteme im Einsatz.

Die Frage nach den Kosten für Sicherheitsmaßnahmen wurde von acht Teilnehmenden beantwortet. Die einmaligen Investitionskosten betrugen drei Mal bis zu zehntausend Euro und zwei Mal bei bis zu hunderttausend Euro. Höhere Investitionskosten wurden von solchen Teilnehmenden genannt, die über ein automatisches Detektionssystem verfügten. Die übrigen drei Teilnehmenden gaben an, keine einmaligen Investitionskosten getätigt zu haben. Die wiederkehrenden Kosten pro Jahr betrugen in acht Fällen bis zu 10.000 Euro und in einem Fall bis zu 100.000 Euro. Zehn von zwölf Teilnehmenden gingen davon aus, dass ihre einmaligen und wiederkehrenden Kosten gleichbleiben, wenn die Zahl der Schadensereignisse durch LIB stark verringert werden könnte. Zwei Befragte haben dazu keine Aussage gemacht.

[33] Weitere Brandauslösende Umstände oder Produkte sind unter anderem: elektrostatische Entladungen, Gaskartuschen, Kondensatoren, ungelöschter Kalk, Scherben, Batteriekurschlüsse, Sprühdosen und Lacke (entzündliche Füllmittel, Feuerwerk, Signalraketen, Streichhölzer, Selbstentzündung, Rauchen in der Anlage, Brandstiftung, Blitzschlag, Funkenschlag und Reibungshitze

7 Abschätzung in Verkehr gebrachter Mengen

Bei den Überlegungen zur möglichen Einführung einer Pfandpflicht auf LIB ist es wichtig einzuschätzen, welche Mengen an Pfandgut (hier: LIB) mit diesem Pfand belegt würden und von einem System abgewickelt werden müssten.

Wie im Kapitel 2 beschrieben, werden Batterien grundsätzlich in Gerätebatterien, Fahrzeugbatterien und Industriebatterien unterschieden. Bei der Ermittlung der Mengen an Pfandgut treten insbesondere zwei Herausforderungen auf. Zunächst wird bei der Recherche klar, dass in vielen Bereichen für die in Verkehr gebrachten Batterien und LIB keine Daten vorliegen. Dies gilt in besonderem Maße für Industriebatterien, die nicht dem Monitoring unterliegen.

Die zweite große Herausforderung ist, dass Angaben zum Pfandgut in der Einheit „Stück“ notwendig sind. In dieser Einheit liegen allerdings, selbst in Bereichen in denen es zum Teil Informationen gibt, wie z.B. bei den Gerätebatterien, nur eingeschränkt Daten vor. Existierende Daten kommen z.B. in den Einheiten Masse (t, kg) oder Umsatz (€)vor. Mengen in der Einheit „Stück“ müssen in diesen Fällen errechnet werden.

Beide Herausforderungen haben zur Folge, dass Stückzahlen zu möglichen Pfandgütern nur als grobe Abschätzungen angegeben werden können. Nachfolgend sind die Daten dargestellt, die zu LIB bekannt sind. Unterschieden wird zwischen Gerätebatterien (Kapitel 7.1) und Industriebatterien (Kapitel 7.2).

7.1 Gerätebatterien

Für Gerätebatterien veröffentlichen die Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien jährlich Daten zu in Verkehr gebrachten und entsorgten Batterien in ihren Berichten zur Erfolgskontrolle.

Die Stiftung GRS Batterien veröffentlicht für die in Verkehr gebrachten Batterien sowohl deren Massen als auch Stückzahlen. Die weiteren Rücknahmesysteme veröffentlichen nur Massen der in Verkehr gebrachten Batterien. Zu den entsorgten Mengen veröffentlichen alle Rücknahmesysteme Massenangaben.

7.1.1 Durchschnittsgewichte

Die von GRS Batterien veröffentlichten Zahlen zu Massen und Stück der in Verkehr gebrachten Batterien, können genutzt werden, um Durchschnittsgewichte von Batterien zu bestimmen. Anhand der Durchschnittsgewichte können wiederum die Massenangaben der weiteren Systeme näherungsweise in Stückzahlen umgerechnet werden.

Im Anhang A sind die Angaben der Stiftung GRS Batterien zu iVgM der Batterien der Jahre 2015 bis 2019 aufgeführt. Aus den Angaben in kg und Stück lassen sich für jedes Jahr die Durchschnittsgewichte der Batterien eines chemischen Systems errechnen (siehe jeweils ganz rechte Spalte der Tabellen im Anhang A).

Betrachtet man die berechneten Durchschnittsgewichte wird deutlich, dass sie in den verschiedenen Jahren statistischen Fehlern unterliegen. Um einen Referenzwert für Durchschnittsgewichte zu erhalten, ist es daher sinnvoll einen arithmetischen Mittelwert aus den Durchschnittsgewichten verschiedener Jahre zu bilden. Bei der Betrachtung der Tabellen wird deutlich, dass es im Jahr 2017 bei den Durchschnittsgewichten sehr starke Abweichungen im Vergleich zu den weiteren Jahren gibt, die nicht aufgeklärt werden können. Daher wird aus den Durchschnittsgewichten von 2015 bis 2019 ein arithmetischer Mittelwert gebildet, wobei die Zahlen für 2017 gestrichen werden (siehe nachfolgende Tabelle 18). Zur besseren Lesbarkeit erfolgt die Darstellung der Durchschnittsgewichte in Gramm.

Mit diesem Vorgehen erhält man folgenden Durchschnittsgewichte für Batterietypen und chemische Systeme:

Tabelle 18: Durchschnittsgewichte [g] Gerätebatterien 2015 bis 2019 und arithmetischer Mittelwert nach GRS Batterien

Primär- / Sekundärzellen	Chemisches System	2019 [g]	2018 [g]	2016 [g]	2015 [g]	$\bar{x}$ [g]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	17,468	16,727	35,854	37,485	26,884
	Alkali-Mangan	19,858	18,776	21,629	22,958	20,805
	Zink-Luft	117,647	100,000	33,994	24,206	68,962
	Lithium	15,602	14,541	15,153	15,948	15,311
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	2,189	2,307	2,353	2,242	2,273
	Alkali-Mangan	1,954	1,690	1,913	1,828	1,846
	Zink-Luft	0,733	0,736	0,673	0,696	0,709
	Lithium	3,265	3,092	3,316	3,100	3,193
Summe Primärzellen		**11,953**	**13,818**	**16,145**	**17,097**	**14,753**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	19,460	20,658	24,113	17,313	20,386
	Lithium-Ionen	120,330	97,553	103,701	93,853	103,859
	Nickel-Metallhydrid	23,358	19,443	22,494	23,848	22,286
	Blei	1564,780	1366,385	599,044	572,519	1025,682
	Nickel-Cadmium	246,851	178,385	89,232	241,904	189,093
Knopfzellen	Lithium-Ionen	1,854	3,534	3,017	3,407	2,953
	Nickel-Metallhydrid	3,276	3,493	2,670	4,831	3,567
	Nickel-Cadmium	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Summe Sekundärzellen		**81,153**	**62,312**	**64,492**	**55,934**	**65,973**
Summe Batterien		**21,730**	**18,718**	**20,379**	**20,825**	**20,413**

Quelle: GRS Batterien

7.1.2 In Verkehr gebrachte Mengen

Wie beschrieben, veröffentlichen die Rücknahmesysteme für Geräte-Altbatterien Daten zur Masse der in Verkehr gebrachten Gerätebatterien; hierbei wird allerdings nicht zwischen separat/ „lose“ in Verkehr gebrachten Batterien und in Produkten eingebauten bzw. dem Produkt beiliegenden Batterien unterschieden. Im Anhang B sind die Mengendaten der weiteren Rücknahmesysteme für die Jahre 2019 und 2018 aufgeführt. Eine Umrechnung in Stückzahlen erfolgte mit dem in Tabelle 18 dargestellten arithmetischen Mittelwert der Durchschnittsgewichte. Die in den nachfolgenden Tabellen dargestellten in Verkehr gebrachten Mengen unterscheiden immer zwischen Primär- und Sekundärzellen sowie zwischen Rundzellen und Knopfzellen. Die Beschreibung Rundzellen beinhaltet auch prismatische Zellen und Blockzellen.

Für das Berichtsjahr 2019 zeigen die Berechnungen, dass ca. 2,7 Milliarden Stück Batterien in Deutschland in Verkehr gebracht wurden und ca. 360 Millionen Stück davon LIB waren. Eine Übersicht der berechneten (Lithium-) Batteriestückzahlen ist in der Tabelle 19 wiedergegeben. Berücksichtigt wurden die Angaben der in Anhang A und B aufgelisteten Rücknahmesysteme (CCR Rebat, Ecobat, ERP, GRS, ÖkoReCell) für Geräte-Altbatterien (Zu Details bzgl. chemischen Systemen und Rücknahmesystemen siehe Anhang A und B).

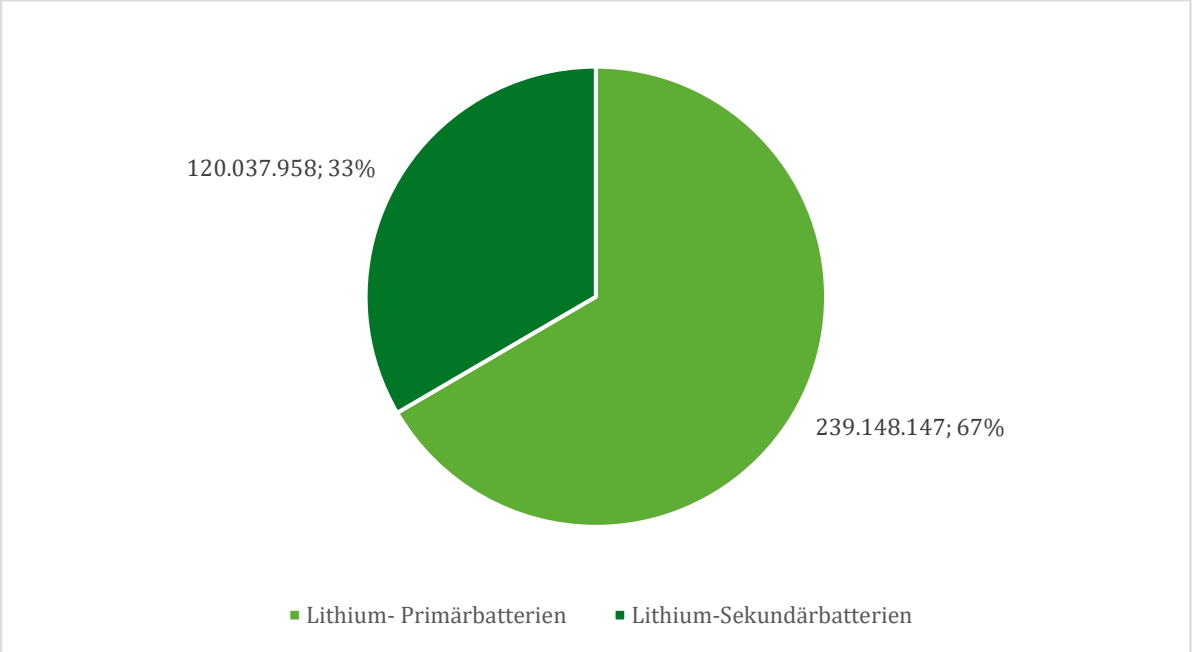
Tabelle 19: Berechnete Stückzahlen LIB-Gerätebatterien 2019 und 2018

Primär- / Sekundärzellen	Batterien [Stk] 2019	davon LIB [Stk] 2019	Batterien [Stk] 2018	davon LIB [Stk] 2018
Primär-Rundzellen	1.861.294.615	44.547.593	1.883.147.301	49.070.680
Primär-Knopfzellen	564.544.648	194.600.554	550.686.680	176.168.107
Sekundär-Rundzellen	214.788.603	109.181.384	234.854.388	108.259.448
Sekundär-Knopfzellen	14.180.894	10.856.575	8.906.395	5.522.170
Summe Primärbatterien	2.425.839.263	239.148.147	2.433.833.981	225.238.787
Summe Sekundärbatterien	228.969.497	120.037.958	243.760.783	113.781.619
Summe Rundzellen	2.076.083.218	153.728.977	2.118.001.689	157.330.128
Summe Knopfzellen	578.725.542	205.457.129	559.593.075	181.690.277
Gesamtsumme	**2.654.808.760**	**359.186.105**	**2.677.594.764**	**339.020.405**

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Eine genauere Betrachtung der in Verkehr gebrachten LIB für 2019 zeigt, dass nach Stückzahlen ca. zwei Drittel der LIB Primärbatterien und ca. ein Drittel der LIB Sekundärbatterien sind. Dies wird in der Abbildung 31 graphisch verdeutlicht.

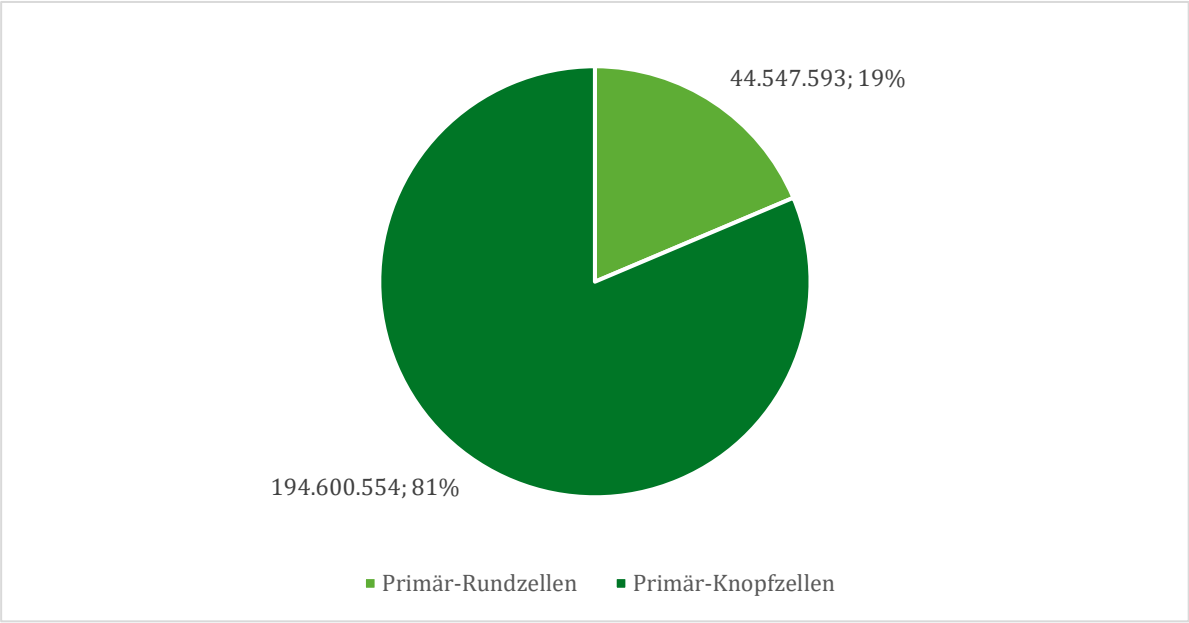
Abbildung 31: Mengen und Aufteilung der lithiumhaltigen Primär- und Sekundärbatterien 2019



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Wie anhand der Tabelle 19 aufgezeigt wird, dominierten die Primär-Knopfzellen im Jahr 2019 mit 194.600.554 in Verkehr gebrachten Stück in den 239.148.147 in Verkehr gebrachten Stück Lithium Primärbatterien. Damit bilden die Primär-Knopfzellen einen Anteil von 81% der in Verkehr gebrachten Lithium-Primärbatterien (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32: Mengen und Aufteilung der Rund[34]- und Knopfzellen bei lithiumhaltigen Primärbatterien 2019

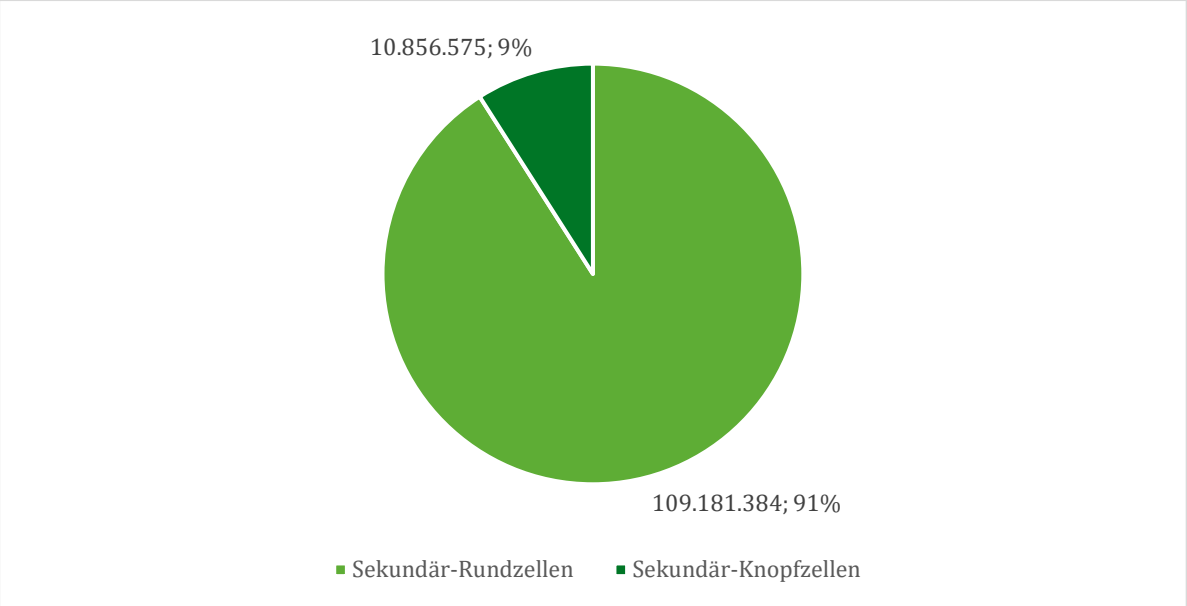


Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

[34] Die Beschreibung Rundzellen beinhaltet auch prismatische Zellen und Blockzellen.

Wie mit Abbildung 33 veranschaulicht wird, belief sich bei den im Jahr 2019 in Verkehr gebrachten 120.037.958 Lithium-Sekundärbatterien dagegen der Anteil der in Verkehr gebrachten Lithium-Rundzellen mit 109.181.384 Stück auf ca. 91%.

Abbildung 33: Mengen und Aufteilung der Rund- und Knopfzellen bei lithiumhaltigen Sekundärbatterien 2019

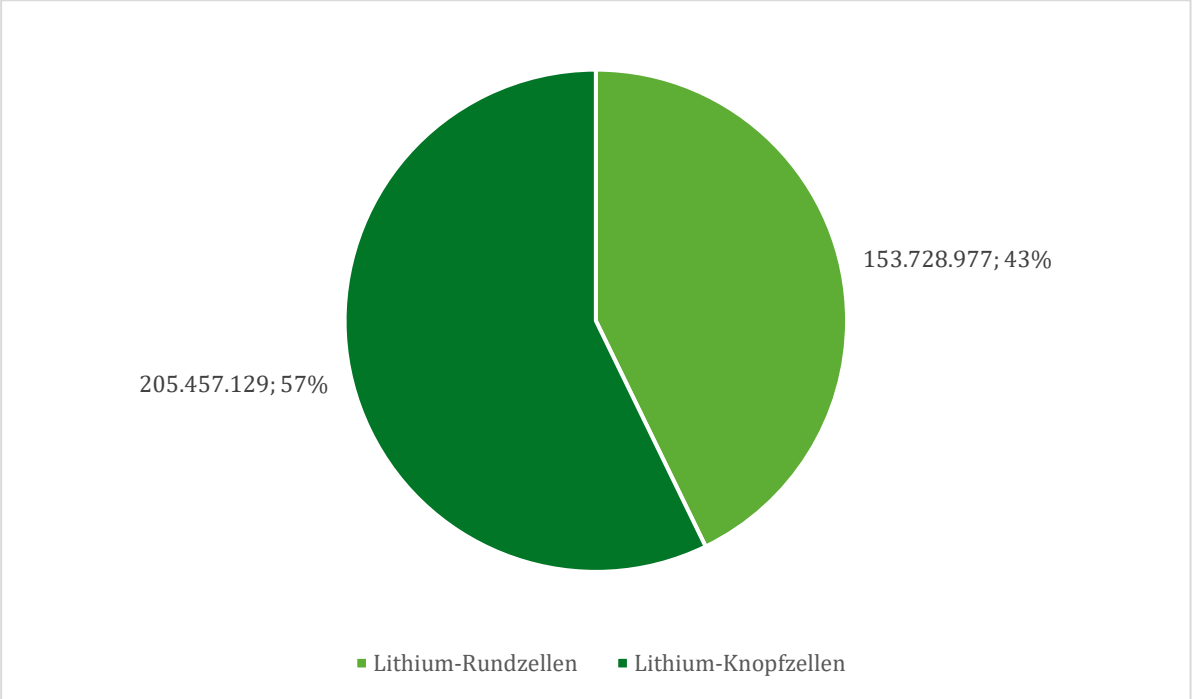


Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In der Abbildung 34 sind die im Jahr 2019 in Verkehr gebrachten Mengen an LIB Knopfzellen (Primär- und Sekundärbatterien) sowie Rundzellen[35] (Primär- und Sekundärbatterien) nebst Aufteilung dargestellt.

[35] Die Beschreibung Rundzellen beinhaltet auch prismatische Zellen und Blockzellen.

Abbildung 34: Mengen und Aufteilung der lithiumhaltigen Knopf- und Rundzellen im Jahr 2019



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Im Jahr 2019 wurden über 200 Millionen Stück lithiumhaltige Knopfzellen und mehr als 150 Millionen Stück lithiumhaltige Rundzellen in Verkehr gebracht.

Eingebaute bzw. dem Produkt beiliegend in Verkehr gebrachte Gerätebatterien

Das Erfassen von separaten Daten über die Menge bzw. das Mengenverhältnis an Gerätebatterien, die separat /"lose" in Verkehr gebracht werden und Gerätebatterien die eingebaut bzw. dem Elektrogerät beiliegend in Verkehr gebracht werden, ist im Rahmen der Erfolgskontrolle für Gerätebatterien nach BattG nicht vorgesehen. Es wird also nicht zwischen separat/ „lose" in Verkehr gebrachten Batterien und in Produkten eingebauten bzw. dem Produkt beiliegenden Batterien unterschieden. Für die Ergebnisbewertung der drei Kernziele dieses Forschungsvorhabens ist es jedoch wichtig zu betrachten und aufzuzeigen, dass ein Großteil der (lithiumhaltigen) Gerätebatterien auch eingebaut bzw. dem Produkt beiliegend in Verkehr gebracht werden. Ein mögliches Pfandsystem ohne die Einbeziehung von eingebauten bzw. beiliegenden lithiumhaltigen Gerätebatterien (sondern nur von separat in Verkehr gebrachten Gerätebatterien) hätte eine wesentlich geringere Wirkung hinsichtlich des Brand- und Ressourcenaspekts.

Die Rechercheergebnisse im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigen, dass entsprechende Daten für Deutschland aktuell nicht erhoben werden beziehungsweise nicht zur Verfügung gestellt werden können.

Im Rahmen der Studie von Perchards & SagisEPR, 2016 wird auf die mangelhafte Datenlage bezüglich des Mengenverhältnisses der in Verkehr gebrachten separaten Gerätebatterien und in Elektro- bzw. Elektronikgeräten integrierten Gerätebatterien eingegangen.

Die Studie bezieht sich im Zusammenhang mit Mengenmeldungen und der gesetzlichen Sammelquote auf Primärrecherchen zu Veröffentlichungen von Sammelorganisationen und nationalen Behörden. Die Daten wurden, unterstützt durch Fragebögen und Interviews mit Vertretern der Organisationen, quantitativ beschrieben und auf Korrelationen untersucht. Sie trifft im Kon-

text der einzelnen EU-Länder Aussagen über die erreichten Sammelziele und umreißt Möglichkeiten der Optimierung.

Sekundär wurden in diesem Rahmen auch Daten zu in Verkehr gebrachten Gerätebatterien in Bezug auf die Mengenverhältnisse ausgewertet. Dabei wurde insbesondere eine zusammengefasste überschlägige Schätzung für Belgien, Deutschland, Frankreich und die Schweiz vorgenommen.

Laut Perchards & SagisEPR, 2016 machte 2013 der Massenanteil der in Elektro- und Elektronikgeräten integrierten Gerätebatterien (Primär- und Sekundärbatterien) mehr als 1/3 des gesamten in Verkehr gebrachten Gewichts von Gerätebatterien aus. 2004 waren es noch etwa 18 %.

Der in Verkehr gebrachte Massenanteil an in Elektro- und Elektronikgeräte integrierten wiederaufladbaren Gerätebatterien lag 2013 bei über 75 % gegenüber des Massenanteils der separat in Verkehr gebrachten wiederaufladbaren Gerätebatterien.

Bei den Gerätebatterien ist der in Verkehr gebrachte Massenanteil der Sekundärbatterien von 10 - 20 % im Jahr 2004 auf 30 - 40 % im Jahr 2013 gestiegen. Der Anteil in Bezug auf die Stückzahlen ist von etwa 8 % auf 12 % gestiegen. Die meisten der Sekundärbatterien sind Lithium-Ionen-Batterien. Der Massenanteil der in Verkehr gebrachten lithiumhaltigen Sekundärbatterien ist seit 2004 bis 2013 auf etwa 20 - 25% angestiegen. In Deutschland ist in diesem Zeitraum das Wachstum mit einer Zunahme um den Faktor 4,5 nach Gewicht und dem Faktor 1,3 nach Einheit aufgeführt [Perchards & SagisEPR, 2016].

Es wird prognostiziert, dass sich der Wachstumstrend fortsetzt, da Lithium-Ionen-Batterien neue Anwendungen ermöglichen und Batterien anderer chem. Systeme, insbesondere Nickel, in bestehenden Anwendungen ersetzen.

Laut der Abschätzung aus Perchards & SagisEPR, 2016 wird somit aufgezeigt, dass 2013 der Anteil der in Elektro- und Elektronikgeräten integriert in Verkehr gebrachten Gerätebatterien bei schätzungsweise 75% lag. Entsprechend wurden circa 25 % der Gerätebatterien separat in Verkehr gebracht. Für die Zahlen in Deutschland kann das als Richtschnur für die in Verkehr gebrachten Anteile angesehen werden.

7.2 Industriebatterien

Bei den Industriebatterien können mehrere besonders relevante Sektoren unterschieden werden. Dazu gehören:

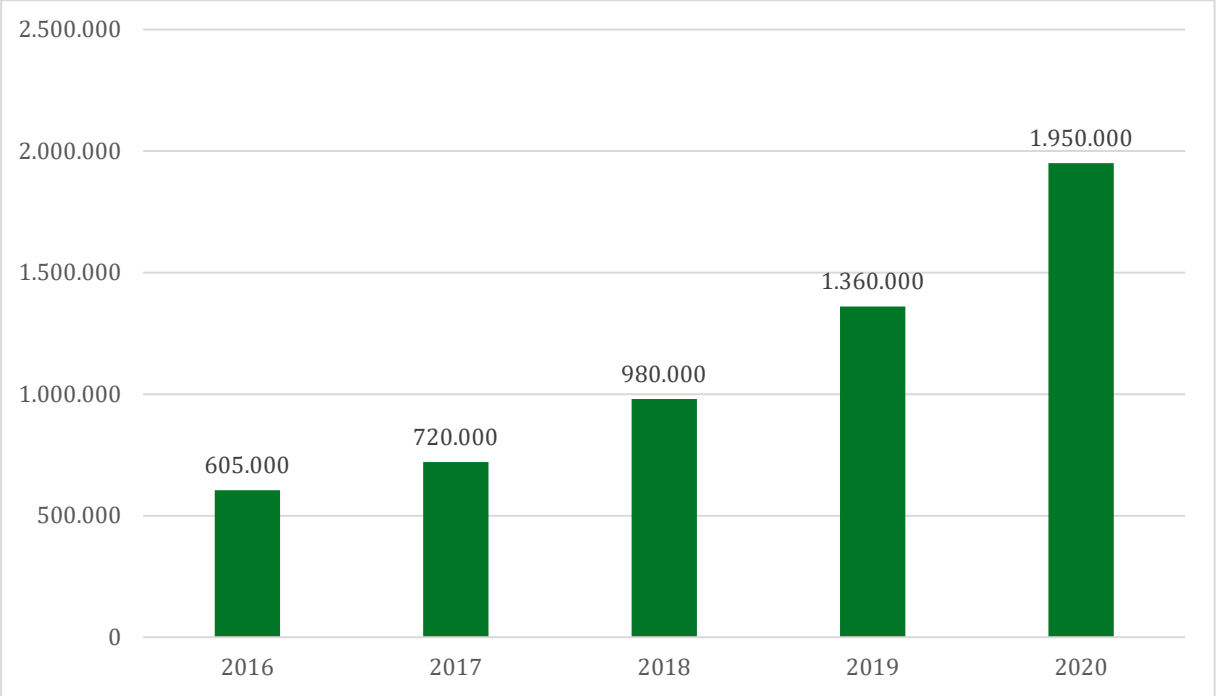
- Haushaltsnahe Industriebatterien: z.B. Batterien von Elektro-Fahrrädern
- Elektro-Mobilität: Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie weitere Traktionsbatterien Flurförderzeuge, Reinigungsfahrzeuge
- Energiespeichersysteme: Batteriespeicher für Erneuerbare Energien

Bei den nachfolgenden Angaben zu in Verkehr gebrachten Mengen wird nach diesen Sektoren unterschieden.

7.2.1 Haushaltsnahe Industriebatterien

Zu den Industriebatterien, die dennoch haushaltsnah von Privatpersonen eingesetzt werden, gehören bspw. Batterien in Elektro-Fahrrädern. Die Zahl der in Verkehr gebrachten Batterien, die gemeinsam mit dem Elektro-Fahrrad verkauft werden, geht aus den Marktzahlen hervor, die jährlich von Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) veröffentlicht werden. Diese Verkaufszahlen von Elektro-Fahrrädern sind in der nachfolgenden Abbildung 35 dargestellt.

Abbildung 35: Verkaufszahlen von Elektro-Fahrrädern in Deutschland pro Jahr [Stück]



Quelle: ZIV 2021

Wie der Abbildung 35 zu entnehmen ist, wurden im Jahr 2019 fast 1,4 Millionen und 2020 fast 2 Millionen Stück Elektro-Fahrräder verkauft.

Die Verkaufszahlen zeigen, dass der Markt für Elektro-Fahrräder eine große Dynamik aufweist. Zum Beispiel waren die Verkaufszahlen im Jahr 2020 doppelt so hoch wie die Verkaufszahlen im Jahr 2018. Im Jahr2019 betrug der Anteil von Elektro-Fahrrädern am Fahrradgesamtmarkt ca. 32 % [ZIV, 2020], ein Jahr später waren es bereits ca. 39 % [ZIV, 2021]. Der ZIV erwartet weiterhin ein starkes Marktwachstum.

7.2.2 Elektro-Mobilität

Daten zu den neu zugelassenen Fahrzeugen werden in Deutschland vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) monats- und jahresweise veröffentlicht. Diese Daten umfassen u.a. Aufschlüsselungen nach Fahrzeugklassen (Personenkraftwagen (PKW) oder Nutzfahrzeuge) und Antriebsarten.

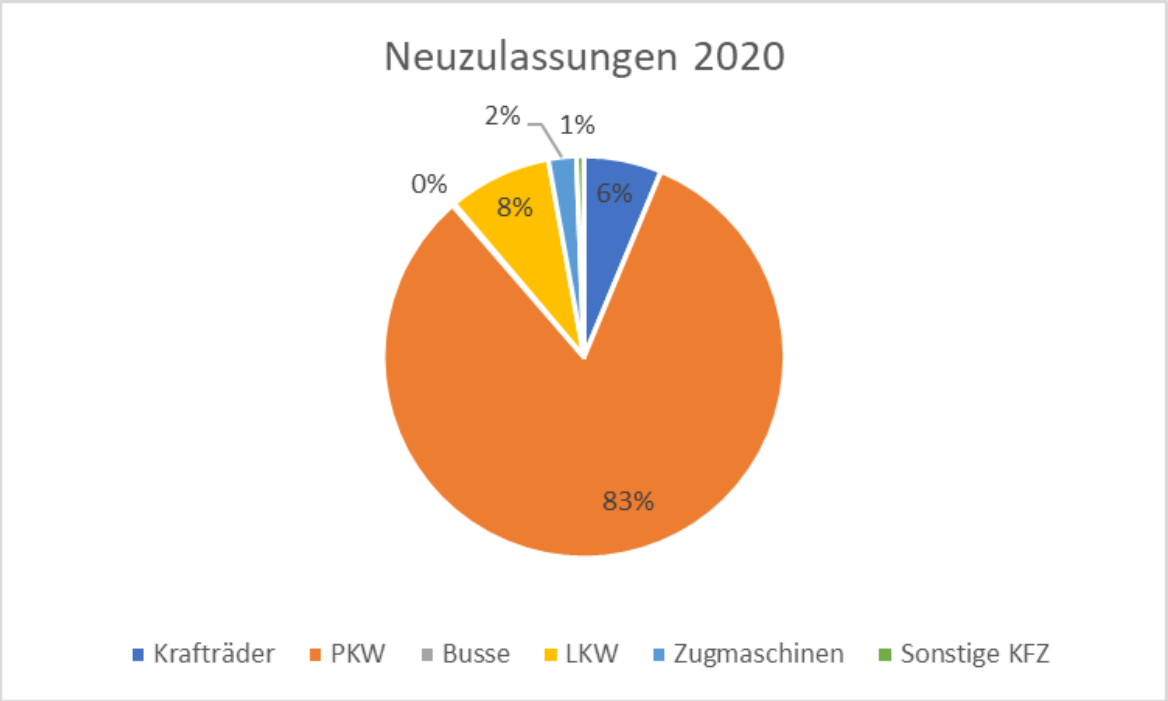
Personenkraftwagen haben den weitaus größten Anteil an den im Jahr neu zugelassenen Fahrzeugen in Deutschland. Dies gilt unabhängig von der Antriebsart. Die absoluten Zahlen zu neu zugelassenen Fahrzeugen je Fahrzeugklasse im Jahr 2020 sind in der nachfolgenden Abbildung 36 dargestellt.

Von insgesamt 3.542.439 in 2020 neu zugelassenen Fahrzeugen sind 2.917.678 oder rund 83% Personenkraftwagen. Die Lastkraftwagen (LKW) machen mit 295.166 Fahrzeugen die zweithäufigste Fahrzeugklasse aus und haben noch einen Anteil von rund 8%.

Zu den in der Abbildung 36 dargestellten Fahrzeugklassen werden jährlich u.a. Daten zu den von Januar bis Dezember neu zugelassenen Batterieelektrischen-, Plug-In-Hybrid- und Brennstoffzellen-Antrieben veröffentlich. Die Daten für Hybrid-Antriebe liegen zurückliegend bis 2017 vor. Der Anteil von zugelassenen Fahrzeugen mit Brennstoffzellen-Antrieb (FCEV) bewegt sich laut Daten des KBA nur im Rahmen von PKW-Zulassungen. Der Zulassungen der PKW mit Brennstoffzellenantrieb beliefen sich auf 120 im Jahr 2017, 151 im Jahr 2018, 208 im Jahr 2019 und

308 im Jahr 2020. Die jährlichen Anteile zugelassener PKW mit Brennstoffzellen-Antrieb befinden sich im Verhältnis zu den PKW-Gesamtzulassungen somit unter 0.01%. Daher werden in den weiteren Betrachtungen die Anteile der Brennstoffzellen-Antriebe nicht aufgeführt.

Abbildung 36: Neuzugelassene Fahrzeuge 2020 (alle Antriebsarten)



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020

Der Einsatz von LIB als Fahrzeugbatterie (Starterbatterie), wie sie am Markt ebenfalls in Kraftfahrzeugen mit allen Antriebsarten vorkommen können, ist nach Aussagen von LIB-Herstellern aktuell ausschließlich in Nischenbereichen der Fall. Im Bereich des weltweiten Batteriemarkts nehmen Blei-Säure-Batterien als Starterbatterien derzeit einen Anteil von ca. 90% ein. Bei elektrischen Fuhrparks sind es circa 77%. Eine zeitnahe Trendwende ist mit einer jährlichen Zuwachsrate in Höhe von 2-3% bezüglich der Verwendung von LIB als Starterbatterien nach Brancheneinschätzungen nicht zu erwarten [Automotive, 2022].

In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die Daten zu neu zugelassenen Personenkraftwagen von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Im Jahr 2020 wurden laut KBA 722.335 Personenkraftwagen mit Batterieelektrischem- oder mit Plug-In-Hybrid-Antrieb zugelassen. Diese Zahl stellt einen Richtwert und die Obergrenze für Personenkraftwagen dar, die mit LIB (als Traktionsbatterien) in Verkehr gebracht werden. Bei Batterieelektrischen- und Plug-In-Hybrid-und Hybrid-Antrieben ist davon auszugehen, dass der weit überwiegende Anteil LIB enthält.

Wie aus der Tabelle 20 deutlich wird, nimmt die Menge der PKW mit batterieelektrischen Antrieb (BEV), mit Hybrid Plug-In-Hybrid-Antrieb (PHEV) sowie mit Hybrid-Antrieb (HEV) jährlich stark zu. In Bezug auf die drei Antriebsarten erhöhte sich die Zahl der zugelassenen Personenkraftwagen im Jahr 2020 mit einer Summe von über 720.000 und im Vergleich zum Vorjahr mit über 300.000 um mehr als 100 Prozent. Dabei hatte sich im Jahr 2019 die Zahl der Zulassungen von über 300.000 gegenüber den circa 166.000 Zulassungen im Jahre 2018 bereits annähernd verdoppelt. Der jährliche prozentuale Anteil neu zugelassener Personenkraftwagen der Elektro-Mobilität am Gesamtmarkt ist im Zeitraum von 2017 bis 2020 von ca. 3 % auf 25 % gestiegen. Es ist weiterhin mit einem starken Marktwachstum und steigenden Zulassungszahlen zu rechnen.

Tabelle 20: Neu zugelassene PKW nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	3.441.262	3.323.264	25.056	29.436	55.239	109.851	3
2018	3.435.778	3.253.830	36.062	31.442	98.816	166.471	5
2019	3.607.258	3.289.624	63.281	45.348	193.902	302.739	8
2020	2.917.678	2.181.619	194.163	200.469	327.395	722.335	25

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021a; KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die Daten der neu zugelassenen Lastkraftwagen von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Laut KBA wurden demnach im Jahr 2020 mehr als 10.200 LKW mit Batterieelektrischem- oder mit Hybridantrieb zugelassen. Batterieelektrische Lastkraftwagen dominieren gegenüber Hybrid-LKW deutlich. Insgesamt betrug im Jahr 2020 der Anteil der Lastkraftwagen der Elektro-Mobilität gemessen am Lastkraftwagen-Gesamtmarkt ca. 3%. In Bezug auf die Antriebsarten Benzin und Diesel waren die Zahlen von 2019 zu 2020 sowohl bei den PKW-Zulassungen als auch bei den LKW-Zulassungen rückläufig.

Tabelle 21: Neu zugelassene Lastkraftwagen nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	306.609	187.402	5.183	7	87	5.277	2
2018	321.966	313.665	6.194	5	125	6.324	2
2019	343.708	333.331	7.170	33	302	7.505	2
2020	295.166	281.800	9.269	204	735	10.208	3

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

In der nachfolgenden Tabelle 22 sind die Daten der zu neu zugelassenen Krafträder von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Im Jahr 2020 wurden laut KBA 3.424 Krafträder der Elektro-Mobilität neu zugelassen. Dabei kommen fast nur batterieelektrische Krafträder vor. Insgesamt liegt der Anteil der Krafträder der Elektro-Mobilität gemessen am Kraftrad-Gesamtmarkt bei ca. 2%.

Tabelle 22: Neu zugelassene Krafträder nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	143.885	142.863	981	2	5	988	1

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2018	158.258	157.073	1.154	0	4	1.158	1
2019	168.307	165.984	2.295	1	3	2.299	1
2020	221.994	218.538	3.421	0	3	3.424	2

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

In der nachfolgenden Tabelle 23 sind die Daten zu neu zugelassenen Zugmaschinen von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Die Neuzulassungen von Zugmaschinen mit Antrieben der Elektro-Mobilität betrugen laut KBA im Jahr 2020 weniger als 100 Stück. Das ist ein prozentualer Anteil von unter 1%. Es kommen fast nur batterieelektrische Zugmaschinen und keine Hybrid-fahrzeuge vor.

Tabelle 23: Neu zugelassene Zugmaschinen nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	85.414	85.227	93	1	6	100	0
2018	82.923	82.747	63	2	1	66	0
2019	86.039	85.145	77	4	5	86	0
2020	79.642	78.150	81	2	6	89	0

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

In der nachfolgenden Tabelle 24 sind die Daten der neu zugelassenen sonstigen Kraftfahrzeuge von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Die Neuzulassungen von sonstigen Kraftfahrzeugen mit Antrieben der Elektro-Mobilität erreichten laut KBA im Jahr 2020 422 Stück. Das ist ein prozentualer Anteil von ca. 2%. Bei den sonstigen Fahrzeugen kommen sowohl Batterieelektrische-Fahrzeuge als auch Hybrid-Fahrzeuge vor.

Tabelle 24: Neu zugelassene sonstige KFZ nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	18.234	18.099	56	11	1	68	0
2018	18.902	18.777	63	18	3	84	0
2019	21.036	20.806	96	1	17	114	1
2020	21.499	21.002	171	19	232	422	2

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

In der nachfolgenden Tabelle 25 sind die Daten zu neu zugelassenen Kraftomnibusse von 2017 bis 2020 je Antriebsart dargestellt. Die Neuzulassungen von Bussen mit Antrieben der Elektro-Mobilität betrugen laut KBA im Jahr 2020 1.614 Stück. Das ist ein prozentualer Anteil von ca.25%. Im Gegensatz zu den anderen Fahrzeugklassen gibt es damit bei den Bussen mit Elektroantrieben eine ähnliche Steigerung des prozentualen Anteils wie im PKW-Bereich. Die absoluten Zulassungszahlen von Bussen aller Antriebsarten sind allerdings die geringsten aller Fahrzeugklassen. Bei Bussen der Elektro-Mobilität überwiegt die Antriebsart HEV.

Tabelle 25: Neu zugelassene Busse nach Antriebsart

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	6697	6572	23	0	52	75	1
2018	6687	6369	45	0	227	272	4
2019	6437	5729	180	0	454	634	10
2020	6460	4810	370	2	1242	1.614	25

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

Die jährlichen Mengen der neu zugelassenen Kraftfahrzeuge je Antriebsart und ihre Entwicklung im Zeitraum von 2017 bis 2020 sind in Tabelle 26 zusammengefasst. So wurden im Jahr 2020 laut KBA insgesamt 738.092 Fahrzeuge der Elektro-Mobilität neu zugelassen. Bei der Betrachtung der Daten in den zuvor dargestellten Tabellen, wird deutlich, dass diese Zahl fast vollständig vom PKW-Sektor dominiert wird. Wir machen darauf aufmerksam, dass die ermittelten 738.092 Fahrzeuge der Elektro-Mobilität nicht ausschließlich sondern nur größtenteils mit lithiumhaltigen Traktionsbatterien in Verkehr gebracht werden. Insbesondere bei Batterieelektrischen-Antrieben und Plug-In-Hybrid-Antrieben überwiegt der LIB-Anteil deutlich. Auch bei Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen, Hybrid-Fahrzeugen und Brennstoffzellen ist von einem hohen Anteil Fahrzeugen auszugehen, die LIB als Traktionsbatterien enthalten.

Da die Zahl der Fahrzeuge der Elektro-Mobilität stark vom enorm wachsenden PKW-Markt der Elektro-Mobilität dominiert wird, sollten die Mengen der in Verkehr gebrachten Fahrzeuge für das Jahr 2020 nur als eine Momentaufnahme betrachtet werden. Es ist weiterhin mit einem starken Marktwachstum und steigenden Zulassungszahlen zu rechnen. Laut der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität ist davon auszugehen, dass es im Bereich des Schwerlastverkehrs (LKW, Sattelzüge, Busse) vielversprechende Entwicklungen im Hinblick auf Brennstoffzellenantriebe geben wird [NPM,2021]. Bei diesen Fahrzeugklassen wird von einem Anstieg der Brennstoffzellen-Fahrzeuge, bei PKW und Krafträdern hingegen ein Anstieg der Batterieelektrische-Antriebe erwartet.

Tabelle 26: Neu zugelassene KFZ insgesamt nach Antriebsart

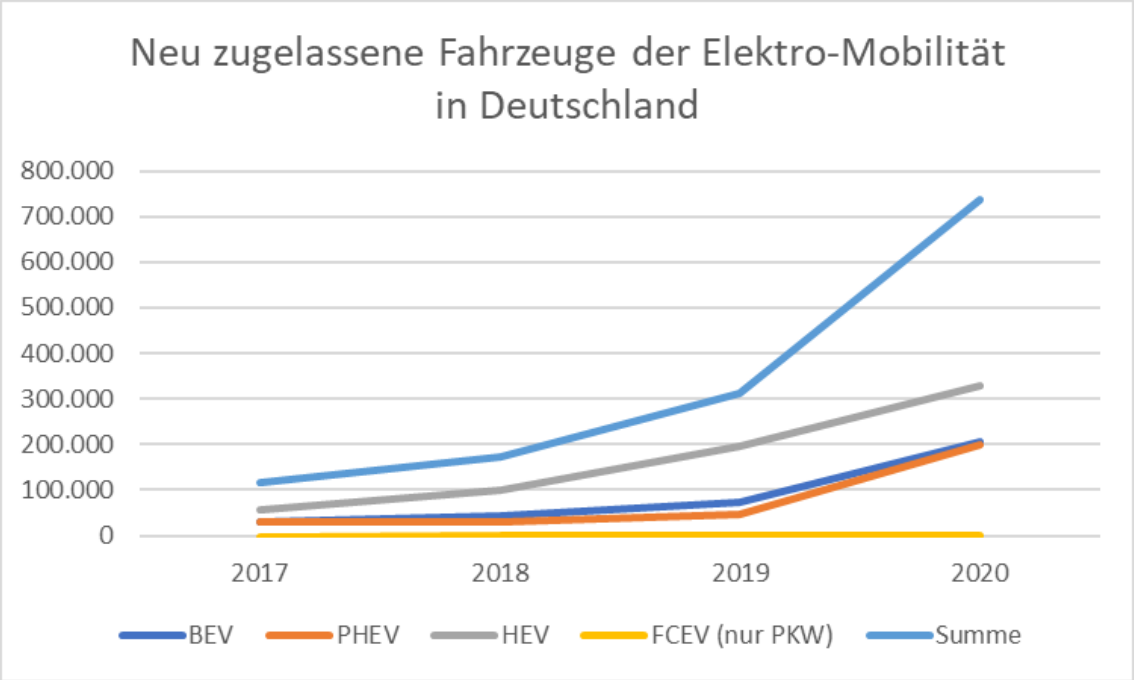
Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2017	4.002.101	3.763.427	31.392	29.457	55.390	116.359	3

Jahr	Insgesamt	Benzin und Diesel	BEV	PHEV	HEV	Summe Elektro-Mobilität	Anteil Elektro-Mobilität [%]
2018	4.024.514	3.832.461	43.581	31.467	99.176	174.375	4
2019	4.232.785	3.900.619	73.099	45.387	194.683	313.377	7
2020	3.542.439	2.785.919	207.475	200.696	329.613	738.092	21

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, zusammengestellt aus KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

Die Entwicklung in Bezug auf die Antriebe der Elektro-Mobilität und damit der in Verkehr gebrachten LIB in Fahrzeugen der Elektro-Mobilität wird in der Abbildung 37 grafisch verdeutlicht.

Abbildung 37: Neu zugelassene Fahrzeuge der Elektro-Mobilität in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG, aus KBA, 2021a; KBA, 2021b; KBA, 2020; KBA, 2019; KBA, 2018

7.2.3 Flurförderzeuge

Neben den Antriebsbatterien für Fahrzeuge der Elektro-Mobilität gibt es auch Batterien für den Antrieb oder von innerbetrieblich eingesetzten Fahrzeugen. Das sind Flurförderzeuge (FFZ) wie Gabelstapler oder Hebebühnen. Für diese Fahrzeuge ohne Straßenzulassung liegen keine Daten des KBA vor.

Daten zu in Verkehr gebrachten Mengen werden von der FEM[36] veröffentlicht und liegen für Europa allerdings nicht für Deutschland vor. Diese können als Obergrenze für die Zahlen in Deutschland angesehen werden und als Richtschnur für die Größe des Markts für Flurförderzeuge. Die FEM veröffentlicht jährlich Daten zu Auftragseingängen und Auslieferungen von Flur-

[36] European Federation Of Materials Handling

förderzeugen (in Stück) nach Kontinenten und Klassen (World Industrial Truck Statistics, WITS). Für diese Statistik liefern sieben Verbände weltweit Daten von Herstellern von Flurförderzeugen [FEM, 2021].

Unterschieden wird dabei nach Flurförderzeugen mit elektrischen Antrieben und Fahrern (Klassen 1 und 2), und Flurförderzeugen mit Antrieben durch Verbrennungsmotoren (Klassen 4 und 5). Die Klassen 4 und 5 können mit Diesel, Gas oder Autogas betrieben werden. Weiterhin beinhalten die Statistik Daten zu elektrischen, handgeführten Flurförderzeugen (Klasse 3). Dies sind z.B. elektrische Handhubwagen. In den elektrischen Flurförderzeugen können dabei sowohl Blei-Säure Batterien als auch LIB vorkommen. In der nachfolgenden Tabelle 27 sind die von der FEM veröffentlichten Marktzahlen für Flurförderzeuge in Europa der letzten Jahre dargestellt.

Tabelle 27: Markt für Flurförderzeuge in Europa

	E-Antrieb (Kl. 1, 2) [St.]	E- Antrieb (Kl. 1,2) [%]	Elektrisch, handgeführt (Kl. 3) [St.]	Elektrisch, handgeführt (Kl. 3) [%]	Verbrennungsmotor (Kl. 4, 5) [St.]	Verbrennungsmotor (Kl. 4, 5) [%]	Summe FFZ [St.]
Bestellungen							
2018	146.606	28	296.994	57	80.463	15	524.063
2019	136.917	28	280.434	57	73.203	15	490.551
2020	119.807	26	283.256	61	61.121	13	464.184
Auslieferungen							
2018	141.601	28	289.270	57	77.541	15	508.412
2019	145.274	29	283.909	56	74.511	15	503.694
2020	115.599	25	282.142	62	59.776	13	457.517

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG nach FEM, 2021; FEM, 2020

Laut FEM, 2021 betrug die in Verkehr gebrachte (ausgelieferte) Menge an Flurförderzeugen in Europa im Jahr 2020 fast 460.000. Die Anzahl der Fahrzeuge, die LIB enthalten (Klassen 1, 2, 3) könnten, wird mit 397.741 ausgewiesen. Die Verkaufszahlen insgesamt sind für die Jahre 2019 und 2020 leicht rückläufig. Dafür wird die Corona Krise verantwortlich gemacht [Fischer, 2019].

Die prozentualen Anteile der verschiedenen Klassen an Flurförderzeugen sind von 2018 bis 2020 relativ stabil. Anders als im Privatbereich gibt es bisher keine stark steigenden Verkaufszahlen bei den Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben.

Wenn man die handgeführte Klasse 3 ausschließt und die Anteile der Antriebsarten betrachtet, zeigt sich im Zeitraum von 2018 bis 2020 eine relativ stabile Verteilung. Im Jahr 2020 betrug der Anteil der Flurförderzeuge mit elektrischem Antrieb gemessen am Gesamtmarkt ca. 66 % (siehe Tabelle 28).

Tabelle 28: Anteile der Antriebsarten ausgelieferter Flurförderzeugen in Europa

Jahr	E-Antrieb (Kl. 1, 2) [St.]	E-Antrieb (Kl. 1, 2) [%]	Verbrennungs-motor (Kl. 4, 5) [St.]	Verbrennungs-motor (Kl. 4, 5) [%]	Summe (Kl. 1, 2, 4, 5) [St.]
2018	141601	65	77541	35	219142
2019	145274	66	74511	34	219785
2020	115599	66	59776	34	175375

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

In Nordamerika (USA, Kanada und Mexiko) sind die Anteile vergleichbar. Die Flurförderzeuge mit elektrischem Antrieb machen dort laut Johnson, 2019 64% des Marktes und die mit Verbrennungsmotor 36% aus. Für Nordamerika sind zum Teil historische Daten enthalten. Diese sind in der Tabelle 29 wiedergegeben.

Tabelle 29: Anteile der Antriebsarten ausgelieferter Flurförderzeugen in Nordamerika

	E-Antrieb [%]	Verbrennungsmotor [%]
1994	52	48
2001	58	42
2009	66	34
2016	66	34
2018	64	36

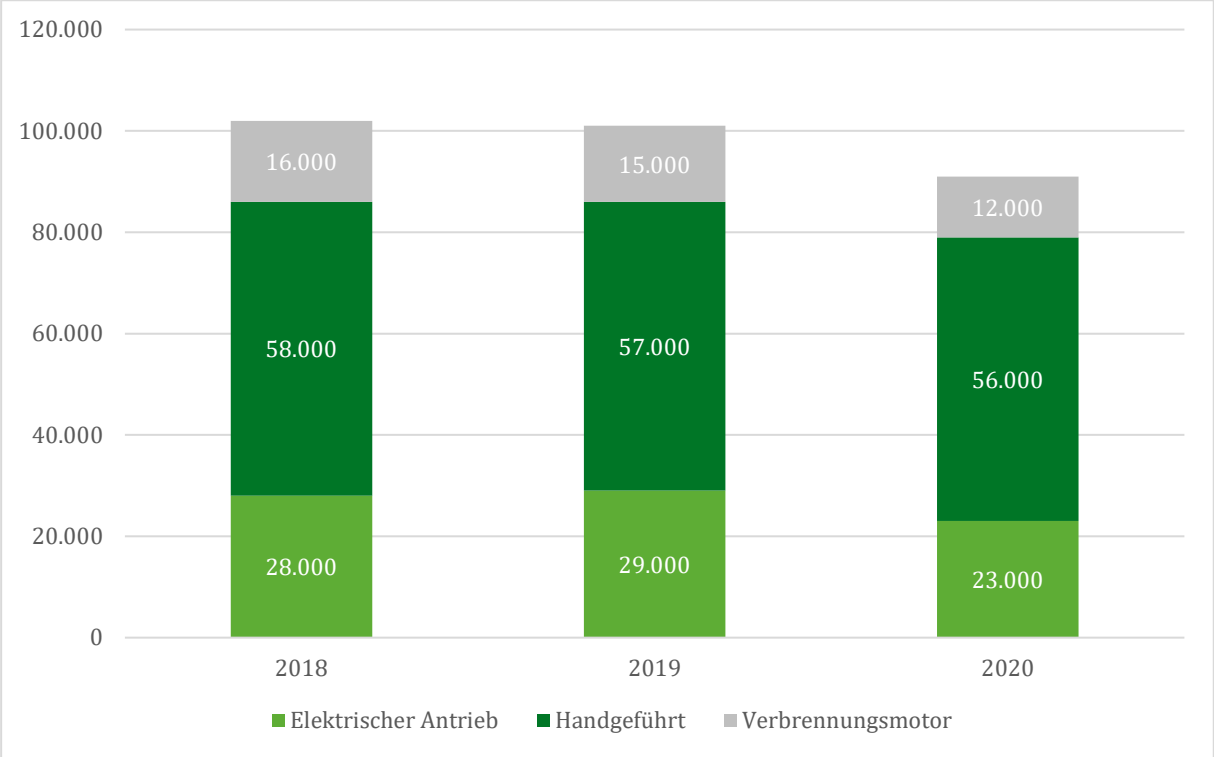
Quelle: Johnson, 2019

Aufgrund der aktuell sehr ähnlichen Verteilung der Antriebsarten und der Aussagen von Interviewpartner*innen wird davon ausgegangen, dass die Marktentwicklung in Europa vergleichbar ist. Es gab demnach einen langen Zeitraum von 30 Jahren hinweg einen Trend zur Elektrifizierung von Flurförderzeugen aber auch vor der Sondersituation durch das Corona Virus keinen sprunghaften Anstieg von Fahrzeugen mit Elektro-Antrieben.

Die in der Tabelle 27 angegebenen Zahlen gelten für den europäischen Kontinent. Darunter fasst die FEM nicht die EU-Staaten, sondern 53 Staaten z.B. auch Russland oder die Türkei. Zu Verkaufszahlen in Deutschland liegen nur wenige Informationen vor. So wurden laut Fischer, 2019 in Deutschland von Juli 2018 bis Juli 2019 insgesamt über alle Klassen ca. 100.000 Flurförderzeuge bestellt. Diese Anzahl stellt eine absolute Obergrenze für Flurförderzeuge mit LIB dar, da auch Flurförderzeuge mit Verbrennungsmotoren in der genannten Menge enthalten sind.

Detaillierte Zahlen können nur abgeschätzt werden: Demnach wurden die Mengen und die Aufteilung der Antriebsarten des europäischen Marktes herangezogen. Für Deutschland hieße dies bei allen Klassen sowie bei den Bestellungen und Auslieferungen ca. 20% der europäischen Verkaufszahlen. Unter diesen Annahmen ergeben sich die in der Abbildung 38 dargestellten Auslieferungszahlen für Deutschland.

Abbildung 38: Abschätzung ausgelieferte Flurförderzeuge in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG

Nach der Abschätzung wurden in Deutschland in 2020 ca. 23.000 Stück elektrisch angetriebene Flurförderzeuge und ca. 56.000 handgeführte, elektrische Flurförderzeuge in Verkehr gebracht (Abbildung 38). Die Summe dieser Fahrzeugklassen (1, 2, 3), die LIB enthalten könnten, beträgt ca. 79.000 Stück.

Daten zu Arten von Batterien in Flurförderzeugen konnten weder von der FEM, weiteren Verbänden oder Sekundärquellen ausfindig gemacht werden.

Zur Einschätzung des Marktes wurden daher Interviews mit Expertinnen und Experten von 3 Batterieherstellern geführt. Die erhaltenen Kernaussagen zur Marktentwicklung sind im Folgenden zusammengefasst.

Blei-Säure Batterien machen laut Aussage aller Interviewpartner*innen den größten Anteil bei den Batterien für Flurförderzeuge aus. LIB werden allerdings von allen größeren Herstellern für fast alle Fahrzeugvarianten angeboten. Alle Hersteller gehen davon aus, dass LIB in den nächsten Jahren Marktanteile hinzugewinnen, Produktionskapazitäten steigen werden und parallel die Preise für LIB fallen dürften. In Bezug auf Marktanteile macht ein Hersteller eine konkrete Angabe und geht von unter 20 % LIB Marktanteil aus, ein weiterer Hersteller geht von unter 25 % LIB Anteil bei den Batterien im Bereich der Flurförderzeuge aus.

Wenn man von einem LIB Anteil von unter 25 % ausgeht, ergeben sich für 2020 weniger als 19.750 (25 % von 79.000) in Verkehr gebrachte Flurförderzeuge mit LIB in Deutschland. Diese sehr grobe Abschätzung ist als Richtwert zu sehen und beinhaltet die zuvor beschriebenen Annahmen.

7.2.4 Energiespeicher

Daten zum Bestand und zur Inbetriebnahme von Energiespeichern (einschließlich Batteriespeichern) in Deutschland werden im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur

veröffentlicht[37]. Dort müssen u.a. Betreiber von ortsfesten Stromspeichern ihre Anlagen registrieren. Eine Abfrage in dem Register ergab, dass 42.232 Stromspeicher im Jahr 2019 und 85.565 Stromspeicher im Jahr 2020 in Betrieb genommen wurden. Eine Analyse der Einträge des Registers offenbarte auch, dass das Registrierungsdatum der Speicher bei einer Vielzahl von Fällen bis zu einigen Jahren hinter der Inbetriebnahme der Einheit liegt. Viele Stromspeicher wurden also erst mit erheblicher Verzögerung registriert. Da dies als Hinweis gewertet werden kann, dass im Marktstammdatenregister eine größere Registrierungslücke bzw. ein Registrierungsnachlauf bestehen kann, wurden weitere Quellen zur Ermittlung der Anzahl der Batteriespeicher herangezogen.

Der Systematik von Figgener et al., 2020; 2021 folgend werden Batteriespeicher der Kategorien

- Heimspeicher (Home Storage Systems, HSS),
- Gewerbespeicher (Industrial Storage Systems, ISS) und
- Großspeicher (Large Storage Systems, LSS)

unterschieden.

Nähere Daten zum Bestand bzw. zum Zubau von **Heimspeichern** wurden u.a. vom Bundesverband Energiespeicher Systeme (BVES), Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) und vom Marktforschungsunternehmen EUPD Research veröffentlicht. Diese Zahlen zum Zubau von Heimspeichern sind in der Tabelle 30 wiedergegeben.

Tabelle 30: Installation von Heimspeichern pro Jahr

Jahr	Zahl der HSS laut BVES	Installierte HSS nach BVES (errech-net)	Installierte HSS laut BSW	Installierte HSS laut EUPD Research
2015	31.000	k. A.	17.000	k. A.
2016	53.000	22.000	20.000	k. A.
2017	85.000	32.000	31.000	37.500
2018	125.000	40.000	40.000	45.000
2019	185.000 [BVES, 2020]	60.000	60.000	65.000
2020	-	-	88.000	-

Quelle: Eigene Darstellung, Dr. Brüning Engineering UG nach BVES, 2021; BSW, 2021; EUPD, 2019

BVES und BSW geben für 2019 jeweils 60.000 neu installierte (in Verkehr gebrachte) Batterie-Heimspeicher an, die Zahl von EUPD Research liegt leicht darüber. Figgener et al., 2021 geben in ihrer Schätzung ebenfalls von 60.000 installierten Heimspeichern in 2019 aus. Daher wird diese Zahl als beste Schätzung angesehen. Für das Jahr 2020 lagen zum Zeitpunkt der Recherche noch keine vollständigen Daten vor. Bei der Betrachtung der Entwicklung der Daten wird deutlich, dass die Zahl der neu installierten Heimspeicher von Jahr zu Jahr kräftig zunahm (vgl. Tabelle 30).

[37] https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht

Laut Figgener et al., 2021 werden in neu installierten Heimspeichern fast ausschließlich LIB verbaut. Blei-Säure Batterien hingegen verlieren zunehmend an Bedeutung. Die Zahl von ca. 60.000 Stück pro Jahr wird daher mit der Menge an zugebauten LIB Heimspeichern gleichgesetzt.

Zahlen zu **Gewerbespeicher** werden von den Verbänden nicht veröffentlicht und liegen nur nach Figgener (ISEA RWTH Aachen) aus verschiedenen Veröffentlichungen vor. Die Auswertungen beziehen sich auf die Registrierungen im Marktstammdatenregister. Dabei weisen die Autoren darauf hin, dass die Daten nicht den gesamten Markt abbilden dürften. In Figgener et al., 2021 ist die Zahl der Gewerbespeicher mit einem Bestand von 700 Stück in Deutschland im Jahr 2019 angegeben. Laut Figgener und Hecht, 2021 waren Ende 2020 1550 Gewerbespeicher registriert. Zum Zubau geben die Autoren 380 neu registrierte Gewerbespeicher im Jahr 2019 und 650 Stück im Jahr 2020 an.

Nach Figgener et al., 2021 wurden 2019 bei 87 % der neu registrierten Gewerbespeicher LIB als Batterien eingesetzt. Die Zahl der neuen LIB-Gewerbespeicher liegt demach bei ca. 560 Stück. Dies ist weniger als ein Prozent der Menge der LIB Heimspeicher.

Die Zahl der in Verkehr gebrachten Batterien / LIB in **Großspeichern** ist unstetig. Sie hängt von den jährlich fertiggestellten Batteriespeicherkraftwerke und der Anzahl verbauter Batterien/ LIB in Großspeichern ab.

Beide Faktoren können stark schwanken. Die Gesamtzahl der Batteriespeicherkraftwerke mit LIB in Deutschland betrug laut Figgener et al., 2021 48, wobei sechs dieser Kraftwerke Second-Life Batterien[38] verwenden.

Zum Zubau pro Jahr sind keine vollständigen Dokumentationen bekannt. Ein Großspeicher beispielsweise, der 2019 ans Netz gegangen ist, befindet sich in Bordesholm [VBB, 2019]. In diesem werden 48.000 LIB zur Stromspeicherung eingesetzt [Holsteiner Zeitung, 2019]. Für einen Großspeicher können also mehrere zehntausend Batterien oder LIB benötigt werden.

Wie im Kapitel 4.2.4.4 beschrieben, enthalten Energiespeichersysteme in vielen Fällen mehrere Batteriemodule und sind modular erweiterbar. Im Sinne eines Pfands erscheint es sinnvoll, diese Batteriemodule als Pfandgut zu betrachten. Die Zahl der Heimspeicher und Gewerbespeicher entspricht daher nicht der Anzahl an LIB, die in diesen Speichern eingesetzt werden. Zur durchschnittlichen Anzahl an LIB in Heim- und Gewerbespeichern liegen Aussagen aus Intervies mit Expertinnen und Experten vor. Auf dieser Grundlage wird die Annahme getroffen, dass in Heimpeichern ca. zwei Batterien eingesetzt werden. Bei Gewerbespeichern wird die Annahme getroffen, dass ca. zehn Batterien eingesetzt werden. Unter diesen Annahmen wird die Anzahl der im Jahr 2019 in Verkehr gebrachten LIB in Heim- und Gewerbespeichern auf ca. 126.500 geschätzt. Bei der Annahme, dass jedes Jahr mindestens ein Großspeicher neu in Betrieb genommen wird, kommen noch mehrere 10.000 LIB hinzu.

[38] Second-Life Batterien bezeichnet Batterien deren Lebensdauer durch Verwendung in einem neunen Anwendungszweck verlängert wurde, da diese für den alten Zweck nicht mehr genutzt wurden bzw. werden konnten. Das können sowohl gebrauchte Batterien, die den Abfallstatus noch nicht erreicht hatten, sein oder zur Wiederverwendung vorbereitete Abfallbatterien.

8 Anforderung an und Eignung von Pfandsystemen für das Pfandgut LIB

Zur Zielerreichung der im Kapitel 1 beschriebenen Vorgaben (vor allem Reduzierung von Brandereignissen und Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien) werden in den nachfolgenden Kapiteln 8.1 und 8.2 Anforderungen an ein Pfandsystem für LIB und weitere Mechanismen, die berücksichtigt werden müssen, formuliert. Ferner werden sowohl die Anforderungen als auch die weiteren Mechanismen hinsichtlich der in Kapitel 3.1 vorgestellten Grundprinzipien qualitativ und in Relation zueinander eingeordnet.

Kapitel 8.3 soll dazu dienen, die Erkenntnisse und Ergebnisse vor dem Hintergrund von Arbeitshypothesen zur Einführung eines Pfandes auf LIB, zur Reduzierung und Vermeidung von Brandereignissen, einzuordnen.

8.1 Anforderungen und Kriterien von Pfandsystemen für LIB

Besonders relevant für die o.g. Zielerreichung ist zunächst, dass die Pfandsystematik geeignet ist, ggf. bis auf wenige Ausnahmen, sämtliche Marken und Typen von LIB (auch unter Berücksichtigung des Verbaus in Elektro(nik)geräten) abzubilden, damit eine größtmögliche Menge ordnungsgemäß zurückgeführt werden kann und die Diffusion in andere Abfallströme deutlich reduziert wird. Vor diesem Hintergrund wird bei der nachfolgenden ersten Einstufung der beschriebenen Pfandsysteme für das Pfandgut LIB angenommen, dass diese entsprechend flächendeckend und umfassend umgesetzt werden. Grundanforderungen sind:

- **Erfassungsgrad / Lenkungswirkung:** Besonders vor dem Hintergrund der möglichen Reduzierung von Brandereignissen muss ein höchst möglicher Erfassungsgrad über das Pfandsystem gewährleistet werden, um die Diffusion in z.B. andere Abfallströme zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Dieser ist im Wesentlichen abhängig von der praktischen Umsetzung und Erreichbarkeit von Sammel- und Rücknahmestellen (siehe hierzu Verbraucherfreundlichkeit), aber u.a. auch von der Höhe des Pfandwertes.[39]

- **Verbraucherfreundlichkeit:** Die Verbraucherfreundlichkeit hängt im hohen Maße von der Erreichbarkeit (u. a. Anzahl und Orte der Rückgabemöglichkeiten) und der Art und Weise der Umsetzung der Rückgabe ab (z. B. markenunabhängig, markenspezifisch, händlerspezifisch, nur auf Nachweis des Kaufes). Besonders verbraucherfreundliche Pfandsysteme erzielen in der Regel hohe Erfassungsgrade.

- **Rechtlicher Rahmen:** Mit dem BattG liegt ein rechtlicher Rahmen für den Umgang mit Batterien und Akkumulatoren vor und umfasst auch die Teilmenge an LIB. Es ist daher wichtig, dass dieser rechtliche Rahmen mit den vorgestellten Grundprinzipien der Pfandsysteme vereinbar ist.[40]

- **Administrativer Aufwand:** Administrativer Aufwand meint in diesem Zusammenhang verwaltungstechnische Prozesse, die erforderlich sind, um die Rücknahme und daraus folgende weitere Schritte umzusetzen.

[39] Dieser Aspekt wird nach Festlegung der grundsätzlichen Eignung der beschriebenen GP diskutiert.
[40] Die Ergebnisse dieser Untersuchung berücksichtigen an dieser Stelle die zum Zeitpunkt der Berichtserstellung gültige nationale Gesetzgebung. Für zukünftige Entwicklungen sind neben etwaigen Gesetzestextänderungen auch die Novellierung des Rechtsrahmen auf europäischer Ebene maßgeblich.

- **Operationaler Aufwand:** Operationaler Aufwand entsteht durch die Schaffung von Infrastruktur und Umsetzung praktischer Tätigkeiten, die im Rahmen der Rücknahme und daraus folgender weiterer Schritte resultieren.
- **Missbrauchsanfälligkeit:** Die Missbrauchsanfälligkeit drückt das Risiko aus, wie das Pfandsystem aus falscher Anreizsetzung durch handelnde Akteure missbraucht werden könnte.[41]
- **Kosten:** Resultierende Kosten aus systemisch entstehenden Aufwänden als erste Einschätzung.

Eine erste Einstufung der Eignung vorgestellter Grundprinzipien (GP) (vgl. Kapitel 3.1) für ein Pfandgut LIB stellt 3.1 dar. Neben der Einstufung von „++“ (deutliche Vorteile) bis „--“ (deutliche Nachteile) sind zu den jeweiligen Anforderungen eine Kurzbegründung sowie zur Umsetzung notwendige Erfordernisse beschrieben.

Tabelle 31: Erste Einstufung der Eignung von Pfandsystemen für das Pfandgut LIB

Anforderung / Kriterium	GP 1 „Eins zu Eins“ Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Vertreibern	GP 2 Ausgestaltung und Organisation des Pfandsystems durch Hersteller	GP 3 Pfandsystem mit übergeordneter Clearingstelle
Erfassungsgrad / Lenkungswirkung	- (geringer Erfassungsgrad, da die Rückgabe für den Endnutzer auf die jeweilige Verkaufsstelle limitiert ist) **Erfordert:** Um eine umfassende und flächendeckende Rücknahme von LIB ansatzweise zu gewährleisten, muss der Handel vollumfänglich partizipieren	- (geringer Erfassungsgrad, da die Rückgabe für den Endnutzer auf bestimmte Vertreiber limitiert ist, bei denen dieselben Marken/Batterietypen veräußert werden) **Erfordert:** Um eine umfassende und flächendeckende Rücknahme von LIB zu gewährleisten, müssen Hersteller und Handel vollumfänglich kooperieren	+ (hoher Erfassungsgrad, da die Rückgabe für den Endnutzer ort- und markenunabhängig erfolgen kann) **Erfordert:** Vollumfängliche Kooperation beteiligter Hersteller und Vertreiber, Mechanismen zur Herstellerzuordnung der zurückgenommenen LIB, Erfolg abhängig von Festlegung einer geeigneter Pfandhöhe
Verbraucherfreundlichkeit	-- (sehr geringe Verbraucherfreundlichkeit, da die Rückgabe nur an der Verkaufsstelle mit eindeutigem Nachweis erfolgen kann), Verbrauchernachteil bei Insolvenz/ Geschäftsaufgabe, da Pfand nicht mehr erstattet werden kann. **Erfordert:** Aufbewahrung des Kaufnachweises (Pfandbeleg) durch Endnutzer	- (geringe Verbraucherfreundlichkeit, da die Rückgabe nur bei Vertreibern erfolgen kann, die dieselben Marken/Batterietypen veräußern) **Erfordert:** Kenntnis des Endnutzers oder Informationsbereitstellung durch Vertreiber über das Warenangebot der Vertreiber, Kennzeichnung	0 (hohe Verbraucherfreundlichkeit, da die Rückgabe marken- und vertreiberunabhängig ist **Erfordert:** Ggf. Unterscheidung nach Batterietypen, Kennzeichnung zur eindeutigen Zuordnung (i.d.R. EAN-Code plus ggf. ergänzend Pfandlabel)
Rechtlicher Rahmen	- (schwer vereinbar mit aktueller Rechtslage, da Vertreiber nur Rücknahmestellen ohne weitere Verantwortung sind, aber Überlassungspflichten für Gerätebatte-	+ (gute Vereinbarkeit mit aktueller Rechtslage, da die Umsetzung herstellereigener Rücknahmesysteme für Gerätebatterien bereits im BattG verankert und praktisch	+ (gute Vereinbarkeit mit aktueller Rechtslage, da die Umsetzung herstellereigener Rücknahmesysteme für Gerätebatterien bereits im BattG verankert und praktisch

[41] Methoden und Mechanismen zur Reduzierung dieser Risiken werden nach Festlegung der grundsätzlichen Eignung der beschriebenen GP aufgezeigt.

Anforderung / Kriterium	GP 1 „Eins zu Eins“ Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Vertreibern	GP 2 Ausgestaltung und Organisation des Pfandsystems durch Hersteller	GP 3 Pfandsystem mit übergeordneter Clearingstelle
	rien haben; für Industriebatterien, verbaute LIB in EAG möglich) **Erfordert:** Rechtliche Anpassung auf EU-Ebene und nationaler Umsetzung im Rahmen des BattG, ElektroG, sofern fest verbaute LIB über Pfandsystem erfasst werden sollen	implementiert ist. Für Industriebatterien bedarf es entsprechender neuer Regelungen, um ein Pfandsystem hier auch leicht implementieren zu können) **Erfordert:** Rechtliche Anpassung auf EU-Ebene und nationaler Umsetzung im Rahmen des BattG mit Blick auf lithiumhaltige Industriebatterien und des ElektroG, sofern fest verbaute LIB über Pfandsystem erfasst werden sollen	implementiert ist. Für Industriebatterien bedarf es entsprechender neuer Regelungen, um ein Pfandsystem hier auch leicht implementieren zu können) **Erfordert:** Rechtliche Anpassungen auf EU-Ebene und nationaler Umsetzung (vor allem des ElektroG), sofern fest verbaute LIB über Pfandsystem erfasst werden sollen, Implementierung einer Clearingstelle für Zuordnung bei Rücknahme, Kennzeichnung
Administrativer Aufwand	++ (sehr gering, ausschließlich beim Vertreiber verortet und dort zu implementieren; Kennzeichnung der LIB von Vorteil) **Erfordert:** Einführung eines händlerindividuellem Nachweissystems bei Rücknahme	- (hoch, da Vertreiber den jeweiligen Herstellern Rücknahmemengen/-anzahl zur Rückerstattung des Pfandbetrages nachweisen müssen; Kennzeichnung der LIB erforderlich) **Erfordert:** Transparenz und Verbraucherführung über die Möglichkeit der Rücknahme von LIB, Abstimmungen zwischen Vertreiber und jeweiligem Hersteller.	-- (sehr hoch, da u.a. Kennzeichnung der LIB erforderlich und eine Clearingstelle implementiert und betrieben werden muss sowie nachweisbare Rücknahme der LIB, woraus eine hohe systemische Komplexität resultiert) **Erfordert**: Hohe Komplexität Möglichkeit: Automaten-Rückgabe (wird später besprochen)
Operationeller Aufwand	+ (gering, lediglich Rücknahmeabwicklung und Verwertung durch Vertreiber) **Erfordert:** interne Strukturen bei Vertreiber zur Nachweisführung bei Rückgabe	0 (mittel, an Kassensystem anbinden, Abverkauf nachweisen) **Erfordert:** Anpassung des Kassensystems für Datenmeldung der Vertreiber an Hersteller	- (mittel, an Kassensystem anbinden, Abverkauf nachweisen (Händler, Clearingstelle), Bereitstellung zur weiteren Entsorgung bzw. Verwertung) **Erfordert:** Anpassung des Kassensystems für Datenmeldung an Clearingstelle
Missbrauchsanfälligkeit	- (anfällig an der Schnittstelle Vertreiber / Endnutzer durch Fälschung des Kaufnachweises, aufgrund geringer Mengen nicht lohnend) **Optional:** Fälschungssichere Nachweise	-- (sehr anfällig an der Schnittstelle Vertreiber / Hersteller durch Manipulation von Rücknahmemengen und daran gekoppelte Zahlungen) **Erfordert:** Nachvollziehbare und Prüfbare Mengendokumentation sowie Mechanismen für deren Prüfung, Sanktionen	0 (mittel, unter der Voraussetzung, dass Kennzeichnungen, Clearingstelle implementiert sind) **Erfordert:** fälschungssichere Kennzeichnung, Eindeutig nachweisbare Rücknahme des Vertreibers
Kosten	++ (sehr gering, Kosten entstehen ausschließlich bei Vertreibern zur Herstellung der Pfandbelege	0 (mittel, Kosten für Vertreiber für die Anpassung z.B. des Kassensystems, Aufwandskosten der Vertreiber für Datenmeldung an Hersteller sowie ggf. Kosten für Bereitstellung zur Verwertung,	- (hoch, Implementierung einer neuen Entität, einheitliches Kennzeichnungssystem, Infrastruktur zur Rücknahme und anschließende Logistik)

Anforderung / Kriterium	GP 1 „Eins zu Eins“ Beziehung zwischen Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Vertreibern	GP 2 Ausgestaltung und Organisation des Pfandsystems durch Hersteller	GP 3 Pfandsystem mit übergeordneter Clearingstelle
		Aufwandskosten der Hersteller für Prüfung der Datenmeldung und ggf. Abholung der Mengen zur Verwertung)	

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

8.2 Weitere Mechanismen bei Pfandsystemen für LIB

Neben den in Tabelle 31 genannten Anforderungen und Kriterien bestehen im Kontext für das Pfandgut LIB weitere Mechanismen, die bei der Implementierung eines Pfandsystems berücksichtigt werden müssen. Nachfolgend werden diese Mechanismen hinsichtlich der aufgestellten GP diskutiert und hinsichtlich ihrer Wirkung und Umsetzbarkeit in Relation eingestuft.

- **Kennzeichnung von LIB:** Kennzeichnungen verfolgen grundsätzlich zwei Ziele. Zum einen soll mithilfe der Kennzeichnung der Verbraucher gelenkt werden, das Pfandgut als solches zu erkennen und bei Rücknahmestellen abzugeben. Ein Beispiel hierfür ist z. B. das DPG-Logo für Einwegflaschenpfand (siehe Abbildung rechts[42]), welches durch die Verwendung von sog. Sicherheitsfarbe, (die nur an Druckereien geliefert wird, die durch von der DPG zugelassene Zertifizierer als sog. Farbverwender zugelassen und jährlich geprüft werden) auch fälschungssicher ausgestaltet werden kann. Zum anderen sind Kennzeichnungen erforderlich, die eine eindeutige Zuordnung des Pfandgutes zum verantwortlichen Hersteller ermöglichen. Dies erfolgt z. B. über den EAN-Code, mit denen Produkte, die in Verkehr gebracht werden, gekennzeichnet werden.[43]

  Es wird angenommen, dass ein Pfandsystem für LIB parallel zur bereits implementierten Rücknahme von anderweitigen Batterien und Akkumulatoren besteht, d. h., dass es für den Verbraucher schwer unterscheidbare Batterien und Akkumulatoren gibt, die nicht bepfandet sind. Vor diesem Hintergrund ist zum Zwecke der Verbraucherführung und -transparenz die Verwendung von Kennzeichnungen im Sinne eines Labels dringend zu empfehlen.

Tabelle 32: Umsetzung von Kennzeichnungen in GP

Mechanismus	GP 1	GP 2	GP 3
Kennzeichnung	Kennzeichnung zur Verbraucherlenkung von Vorteil und zielführend, damit zwischen bepfandeten und nicht bepfandeten Batterien und Akkumulatoren unterschieden werden kann	Erforderlich und Kennzeichnung zur Verbraucherlenkung zielführend, damit zwischen bepfandeten und nicht bepfandeten Batterien und Akkumulatoren unterschieden werden kann	Zwingend erforderliche eindeutige Kennzeichnung für späteres Clearing, Kennzeichnung zur Verbraucherlenkung zielführend, damit zwischen bepfandeten und nicht bepfandeten Batterien und Akkumulatoren unterschieden werden kann

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

- **Rückgabe beschädigter LIB:** Beschädigte LIB unterliegen einem besonderen Gefahrenpotential, weshalb es in der bestehenden Rücknahmepraxis gesonderte Anforderungen an die

[42] https://araxxon.de/shop/pfand-025/
[43] Solche Kennzeichnungen können aus binnenmarktrechtlichen Gründen nur EU-weit verbindlich festgelegt werden.

Sicherung, Lagerung (Empfehlungen des VdS-Merkblatts 3103 folgend[44]) und den Transport z. B. gemäß „SV 376 – Defekte Akkus“, „P906 und P911 – Verpackungsvorschriften für besonders gefährliche Zellen“ gibt. Diese Anforderungen müssen auch bei einem Pfandsystem in vergleichbarer Wirksamkeit erfüllt werden. Gleichzeitig sollte zwingend auch die Rückerstattung des Pfandbetrages an den Endnutzer im Sinne der Lenkungswirkung gewährleistet sein, da sonst gerade für LIB mit hohem Gefahrenpotential eine geordnete Rückführung angezweifelt werden kann (vgl. Tabelle 33).

Grundsätzlich ist die Rücknahme beschädigter LIB – sowohl mit als auch ohne Pfand – kritisch. Sofern die Rücknahme im direkten Kundenkontakt erfolgt, kann die annehmende Person individuell und nach geltenden Anforderungen damit umgehen. Diese Möglichkeit besteht nicht bei automatisierten Rücknahmemechanismen.

Tabelle 33: Umsetzung der Rückgabe beschädigter LIB in GP

Mechanismus	GP 1	GP 2	GP 3
Rückgabe beschädigter LIB[45]	Rückerstattung erfolgt bei Vorlage des Kaufnachweises, Rücknehmer/Vertreiber muss für die Rücknahme beschädigter LIB ausgebildet und ausgestattet sein. Erhöhte Sicherheitsanforderungen im Rahmen der Rücknahme beschädigter LIB ergeben sich jedoch nicht, da diese auch unabhängig von einem Pfandsystem bestehen.	Rückerstattung muss bei jedem teilnehmenden Vertreiber möglich sein, Rücknehmer/Vertreiber muss für die Rücknahme beschädigter LIB ausgebildet und ausgestattet sein. Erhöhte Sicherheitsanforderungen im Rahmen der Rücknahme beschädigter LIB ergeben sich jedoch nicht, da diese auch unabhängig von einem Pfandsystem bestehen.	Rückerstattung muss bei jedem Vertreiber möglich sein, Rücknahme und Erstattung muss auch erfolgen, wenn von der Beschädigung auch die Kennzeichnung betroffen ist, dem Kennzeichen die Zugehörigkeit zum Pfandsystem zu entnehmen ist, Rücknehmer/Vertreiber muss für die Rücknahme beschädigter LIB ausgebildet und ausgestattet sein. Für automatengestützte Rücknahme kritisch zu bewerten. Erhöhte Sicherheitsanforderungen im Rahmen der Rücknahme beschädigter LIB ergeben sich jedoch nicht, da diese auch unabhängig von einem Pfandsystem bestehen.

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

- **Automatengestützte Rücknahme von LIB:** Eine automatisierte Rücknahme, z. B. in Form von Rücknahmeautomaten, erfordert spezielle Voraussetzungen für die Zuführung der LIB, ggf. Entwertung der Kennzeichnung, Lagerung/Sicherung (siehe auch Tabelle 34).

  Bzgl. der Zuführung gilt das Prinzip, je homogener die Dimension bzw. formliche Ausgestaltung des Pfandgutes ist, desto einfacher ist die Zuführung und das automatische Auslesen der aufgebrachten Kennzeichnungen. Insofern können sich Pfandautomaten vornehmlich für den Batterietyp der (standardisierten/typisierten) separaten/ “losen“ Gerätebatterie(-bauform) eignen, die Einbeziehung abweichender nicht standardisierter/typisierter Bauformen erfordert bauliche Anpassungen. Für in EAG verbaute LIB eignet sich die automatisierte Rücknahme via Pfandautomaten aufgrund nicht zugänglicher LIB nicht direkt. In diesem Fall wären Kennzeichnungen über LIB auf dem EAG erforderlich.

  Um ein erneutes Auslesen des Pfandgutes und damit die Missbrauchsanfälligkeit zu reduzieren, werden Pfandgüter oder zumindest deren eindeutige Kennzeichnung entwertet, indem sie z. B. physisch zerstört oder digital entwertet werden. Dieser Vorgang sollte unmittelbar nach der Auslesung erfolgen. Da gerade die mechanische Beanspruchung von LIB kritisch im

[44] Publikation der deutschen Versicherer (GDV e. V.) zur Schadenverhütung: Lithium-Batterien, 06/2019, abzurufen unter: https://shop.vds.de/publikation/vds-3103

[45] Aus dem BattG geht kein Ablehnungsrecht für die Rücknahme beschädigter Altbatterien und Altakkus seitens der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (z.B. kommunaler Wertstoffhof) oder Vertreiber (Händler) hervor. Das BattG gilt gleichermaßen für beschädigte und unbeschädigte Batterien [Deutscher Bundestag, 2020].

Hinblick auf das Gefahrenpotential ist, muss an dieser Stelle eine vergleichsweise schonende Entwertung des Kennzeichens erfolgen. Ferner müssen Lagerstätten/Rücknahmebehältnisse im Rahmen der automatisierten Rücknahme aller lithiumhaltigen (Geräte)Batterien so ausgestaltet sein, dass sie sämtlichen Sicherheitsanforderungen entsprechen. Dies gilt besonders vor dem Risiko, dass sowohl beschädigte als auch nicht offensichtlich beschädigte LIB dort enthalten sein können.

Tabelle 34: Umsetzung der automatisierten Rücknahme LIB in GP

Mechanismus	GP 1	GP 2	GP 3
Automatisierte Rücknahme	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich, aber optional möglich	Aufgrund der Markenvielfalt und parallel zu generierenden elektronischen Nachweisführung anzustreben, bei allerdings bestehenden technischen Herausforderungen

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

- **(Ver-)Bauformen:** In Elektro(nik)geräten fest verbaute und für Verbraucher in der Regel nicht zugängliche LIB haben zur Folge, dass eine parallele Rücknahme von EAG und LIB erfolgt. Rechtlich ist zu prüfen, inwiefern dies mit den nebeneinander gültigen Rechtsgrundlagen des BattG und ElektroG vereinbar ist und ob ggf. Möglichkeiten für differenzierte Anforderungen bestehen. Es ist abzusehen, dass dies mit einem erhöhten Regelungsbedarf, Dokumentations- und Kontrollaufwand einhergeht. Dies betrifft vor allem die Umsetzung von Rücknahmestellen: während EAG zum großen Anteil über örE gesammelt, aber auch (zunehmend) über Vertreiber zurückgenommen werden, erfolgt die Rücknahme von Batterien weitgehend an Verkaufsstellen (Vertreiber). Ferner ist es wichtig, dass EAG mit enthaltenen LIB in ihrer weitgehend ursprünglichen Produktidentität abgegeben werden. In der finanziellen Abwicklung muss bedacht werden, an welcher Stelle ein Pfandbetrag erstmals zu erheben ist (mit Verbau, bei Inverkehrbringen des Elektro(nik)gerätes) und wer verantwortlich ist (der Hersteller der LIB als Komponente eines Elektro(nik)gerätes oder der Hersteller des Elektro(nik)gerätes). Automatisierte Rücknahmemechanismen von in EAG verbauten LIB können praktikabel sein, wenn Elektro(nik)geräte entsprechend gekennzeichnet sind.
- **Pfandhöhe:** Die Pfandhöhe ist ausschließlich als Anreizmodell zur Rückgabe von Pfandgütern zu verstehen. Deshalb ist die Pfandhöhe immer höher als der eigentliche „Restwert" des Pfandgutes.[46] Gemäß Bötcher/Böhm 1992[47] haben Studien ergeben, dass ab einem bestimmten Betrag eine Erhöhung des Pfandes keine feststellbaren Veränderungen der Rücklaufquote mehr zur Folge hat. Gleichzeitig bedeutet ein hoher Pfandbetrag eine erhebliche Kapitalbindung.[48]

  Gemäß dem Forschungsprojekt RePro[49] sollte die Bewertung eines Pfandsystems den Aufwand für das ökonomische Anreizsystem im Verhältnis mit der zusätzlich gesammelten Ab-

[46] Im Falle von Elektro(nik)geräten wie Mobiltelefonen muss darüber hinaus der vom Letztnutzer „empfundene" Wert berücksichtigt werden [RePro], weshalb in diesem Kontext von Pfandbeträgen von bis zu 100 € diskutiert wurde. Dies trifft auf LIB nicht zu, da zu diesen keine differenzierte Beziehung mit dem Nutzendem besteht.
[47] Bötcher, K.; Böhm, E.: Untersuchungen über die Auswirkungen geplanter gesetzlicher Beschränkungen auf die Verwendung, Verbreitung und Substitution von Cadmium in Produkten Forschungsbericht Nr. 104 08 320, Umweltbundesamt 1992
[48] Dieses Argument wurde im Rahmen der Diskussion für die Einführung eines Pfandsystems für Cadmiumhaltige Batterien von der Bundesregierung bei der Verabschiedung der damaligen Batterierichtlinie gegen ein allgemeines Pfand benannt. Es wurde betont, dass das gebundene Geld durch das Pfand wie ein zinsloser Zwangskredit der Verbraucher*innen an den Handel wirken würde (Quelle: Michaelis, P.: Ökonomische Aspekte der Abfallgesetzgebung in: Siebert, H. (Hrsg.): Kieler Studien, Mohr, Tübingen, 1993).
[49] UBA- Texte | 52/2019. Sander et al., 2019: Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten (RePro) (FKZ: 3711 95 318). Abrufbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/abfallwirtschaftliche-produktverantwortung-unter

fallmenge betrachten. Es sollte beachtet werden, dass das ökonomische Anreizsystem noch keine Vorgaben zu dem physischen Sammelsystem bedingt (also z. B. zur Dichte und Erreichbarkeit der Sammelstellen) und dass die Potenziale zur Erhöhung von Sammelmengen durch ökonomische Anreize deutlich von den bisher erfassten Anteilen und vom Komfort des bestehenden Sammelsystems abhängig sein werden. Diese Aussagen entstammen dem Kontext für ein Pfandsystem von kleinen EAG sind aber generell auch auf LIB ableitbar und zutreffend, mit der Besonderheit, dass die Vermeidung der Diffusion von LIB in andere Abfallströme die zu priorisierende Zielsetzung ist.

Bei einem umfassenden, markenunabhängigen Pfandsystem, wie GP 3 es beschreibt, wäre ein einheitlicher Pfandbetrag in Bezug auf die finanzielle Abwicklung anzustreben. Da LIB in unterschiedlichen Batterietypen und -größen auftreten, besteht aber auch die Möglichkeit, einen Pfandbetrag an diese Kriterien zu koppeln d.h. an bestimmte Cluster an Batterietypen. Da die Rückgabemöglichkeiten nach GP 1 und GP 2 eingeschränkt sind, kann sich im GP 3 der Anreiz zur Rückgabe am dienlichsten entfalten, weshalb dort von einem vergleichsweise niedrigeren Pfandbetrag ausgegangen werden kann.

Eine abschließende Beurteilung für welche Batterietypen ein Pfand geeignet sein kann und welche Pfandhöhen als zielführend empfunden werden, ist abschließend unter Berücksichtigung der nachfolgenden Hypothesen in Kapitel 8.3 dem Kapitel 10 zu entnehmen.

8.3 Hypothesen zur Eignung eines Pfandsystems für LIB

Auf Basis der erlangten Umfrageergebnisse zu Schadenereignissen, den gesammelten Daten zu jährlichen Inverkehrbringungsmengen, betrachteten Grundprinzipien und den damit einhergehenden Anforderungen und Mechanismen eines Pfandsystems für LIB, wurden nachfolgende Hypothesen zur Eignung eines Pfandsystems für LIB abgeleitet.

- Gemäß den Umfrageergebnissen kann ein Zusammenhang zwischen Bränden und Batterien als Auslöser der Schadensereignisse hergestellt werden. Demnach seien gemäß den befragten Entsorgungsbetrieben 93 der 139 Schadensereignisse „mit Sicherheit“ oder mit „hoher Wahrscheinlichkeit“ von einer Batterie ausgelöst wurden. Bei weiteren 43 Schadensereignissen geht man davon aus, dass es "eine Batterie gewesen sein kann“. Die Angaben der Entsorgungsbetriebe sind in Abbildung 26 in Verbindung mit Abbildung 22 und Tabelle 16 dargestellt.
  Nähere Hinweise zur Batterieart (Geräte- oder Industriebatterie) bzw. ob eingebaute oder lose Altbatterien zum Schadensereignis führten, lagen den Befragten lediglich zu neun Vorfällen vor. So werden für sechs Ereignisse lose Notebookbatterien, für zwei Ereignisse E-Fahrradbatterien und in einem Fall LIB für Notbeleuchtungsgeräte verantwortlich gemacht. In der Gesamtschau offenbaren die Ergebnisse das hohe Gefahrenpotenzial, das von lithiumhaltigen Altbatterien ausgeht, sehr deutlich. Eine mögliche Eingrenzung eines LIB-Pfandsystems auf spezifische Batteriearten und Anwendungsbereiche, gerade wegen dem Gebot der Verhältnismäßigkeit eines möglichen Pfandsystems (speziell in Punkto Wirksamkeit und Aufwand eines möglichen Pfandsystems), kann zunächst mit Hilfe der aufgezeigten Informationen zur Schadensauslösung abgeleitet werden. Demnach gab es Schadensfälle, die von eingebauten und losen lithiumhaltigen Gerätebatterien sowie von haushaltsnahen Industriebatterien verursacht wurden. Lithiumhaltige Industriebatterien im Anwendungsbereich der Elektro-Mobilität, der Flurförderfahrzeuge und der Energiespeicher waren hingegen nicht als Schadensverursacher sichtbar. Aus der Perspektive der Schadensvermeidung entlang der Erfassungs- und Abfallbehandlungskette wären Altbatterien dieser Anwendungsbereiche demnach eher unerheblich.

- Ein „einheitliches“ Pfandsystem wäre für eingebaute und lose lithiumhaltige Gerätebatterien sowie haushaltsnahe Industriebatterien (z.B. aus Elektrofahrrädern und E-Scootern) vorstellbar. Die größte Gruppe „abfalltonnengängiger“ bzw. „fehlwurfanfälliger“ lithiumhaltiger Altbatterien bzw. (Lithium-)batteriehaltiger EAG, welche die Ursache von Brandereignissen sein können, werden so in den Fokus genommen. Die Komplexität einzelner Pfandsysteme hinsichtlich Organisation (evtl. notwendige Clearingstelle) und operationeller Umsetzung des Pfandausgleichs bei der Rücknahme ist jedoch enorm (vgl. Kapitel 3.1). Diesbezüglich sollte in Erwägung gezogen werden, unterschiedliche Pfandsysteme für die benannten Batteriearten und (Ver-)Bauweisen einzuführen. Den unterschiedlichen Gegebenheiten und Anforderungen der Rücknahmestellen könnte so eingehender Beachtung geschenkt werden. Ein „einheitliches“ Pfandsystem für alle LIB Batterietypen (Industrie-, Geräte- und Fahrzeugbatterien) und (Ver-)Bauformen ist nicht vorstellbar. Die Komplexität eines solchen Systems in der Organisation (notwendige Clearingstelle, Pfandausgleich) und in der operationellen Umsetzung der Rücknahme ist enorm.

- Ein vorzusehendes umfassendes Pfandsystem kann seine volle Wirkung nur dann erzielen, wenn es verpflichtend und somit rechtlich verankert ist. Das bedeutet, dass sämtliche Rücknahmestellen in ein solches System zu implementieren wären. Aufgrund des hohen Umsetzungsaufwandes kann dies jedoch dazu führen, dass künftig eine geringere Anzahl von Rückgabemöglichkeiten als derzeit, insbesondere durch Angebotsverringerung im Handel (kleinere Verkaufsstellen), für Endnutzer zur Verfügung stehen könnte. Die Auswirkung auf die parallele Sammelstrukturen nicht-bepfandeter sonstiger Batterien kann an dieser Stelle nicht bestimmt werden.

- Diffusionen in anderweitige nicht ordnungsgemäße Abfallströme sollen so weit wie möglich vermieden werden.

  Zur *Reduzierung von solchen Diffusionen* können die Lösungen gemäß GP 1 (vertreiberbasierte „Eins zu Eins“ Rücknahme) sowie GP 2 (herstellerinitiierte Rücknahme bei Vertreiber) entsprechend zur Zielerreichung beitragen.

  Zur *weitestgehenden Vermeidung von Diffusionen* ist jedoch anzunehmen, dass LIB bei Einführung des GP 3 (marken- und ortsunabhängige Rücknahme) in höchstem Maße dem ordnungsgemäßen Abfallstrom zugeführt werden. Vor diesem Hintergrund wäre GP 3 zu favorisieren. Die Umsetzung nach GP 3 erfordert neben einer Kennzeichnung der Batterien jedoch sehr aufwändige Mechanismen, wie die Einführung einer Clearingstelle und diverse vertragliche Regelungen zwischen Herstellern und Vertreibern.

- Eine automatengestützte Rücknahme von LIB bietet sich vor allem für unbeschädigte Gerätebatterien und unbeschädigte haushaltsnahe Industriebatterien an. Diese Automaten müssen den entsprechenden Sicherheitsanforderungen im Umgang mit LIB entsprechen. Zu beachten ist jeweils der rechtliche Regelungsbedarf für Kennzeichnungsanforderungen auf Batterien und Elektro(nik)geräten (insbesondere auf EU-Ebene, im BattG und ElektroG). Die Anforderungen an die Kennzeichnung wären unterschiedlich: je nachdem ob eine automatengestützte oder lediglich manuelle pfandbasierte Rücknahme angestrebt wird.

- Der Umstand, dass ein Pfandsystem zwar auf LIB aber nicht auf anderweitige Batterien erhoben werden soll, macht eine verbraucherführende Kennzeichnung für (fast) alle Pfand-Grundprinzipien zwecks der Unterscheidung von bepfandeten und nicht bepfandeten Batterien unumgänglich. Die Kennzeichnung bzw. das Pfandsymbol dient der Bestimmung der Zugehörigkeit, Abgrenzung, Legitimation und Verbraucherführung. Die Einführung dieser Vorgaben kann nur auf EU-Ebene erfolgen. Ferner sind darüber hinaus evtl. weitere Kenn-

zeichnungen zur Anbindung an Kassensysteme erforderlich, um die Verkaufsmengen und die Rücknahmemengen eindeutig nachzuweisen.

- Da ein großer Teil der LIB nicht lose, sondern in Elektro(nik)geräten eingebaut in Verkehr gebracht werden (vgl. Kapitel 7.1.2), sollten diese von Beginn an Bestandteil der Betrachtungen zur möglichen Einführung einer Pfandpflicht sein. Bei einem Ausschluss eingebauter Batterien verbliebe eine weitaus geringere Menge LIB mit geschwächtem Einfluss auf die Zielsetzung des Pfandsystems. Daher muss bedacht werden, dass neben den Vertreibern von Batterien auch Vertreiber von Elektro(nik)geräten sowie örE, die derzeit überwiegend EAG von Endnutzern erfassen, in das jeweilige Pfandsystem eingebunden werden müssen.
- Beschädigte und zerstörte LIB weisen ein erhöhtes Gefahrenpotential auf, weshalb sicherheitstechnische Anforderungen auch bei einem Pfandsystem in vergleichbarer Wirksamkeit erfüllt werden müssen. Es kann erwartet werden, dass bei Einführung eines Pfandsystems beschädigte und zerstörte LIB frühzeitig und häufiger als derzeit bei der Rücknahme erkannt werden. Die frühzeitige Separierung bestimmter LIB käme der Gewährleistung sicherheitstechnischer Zielsetzungen und Schadensfallminimierung zugute.
- Eine Pfandlösung erfordert die Setzung von Rahmenbedingungen und Zeit bis die gewünschten Ergebnisse sichtbar werden, insbesondere da bereits im Markt befindliche LIB nicht nachträglich bepfandet werden können.
- Mit Blick auf die Zielsetzung – Schadensereignisse durch LIB in irregulären Abfallströmen zu minimieren – werden anfallende lithiumhaltige Altbatterien aus Regelungsbereichen außerhalb Deutschlands die Erreichung der Ziele erschweren. Die Menge aus Regelungsbereichen außerhalb des Geltungsbereiches wird jedoch als verhältnismäßig gering eingeschätzt.
- Ein Pfandsystem kann je nach Ausgestaltung positive Synergieeffekte auf die Sammelmenge von Batterien haben. Im Fall von fest verbauten bepfandeten LIB in Elektro(nik)geräten wären auch hinsichtlich der Sammelmenge von EAG positive Auswirkungen anzunehmen. Ist die Lenkungswirkung des Pfandsystems so groß, dass Mengen in reguläre Ströme zurückgeführt würden, die ohne Pfandsysteme in irregulären Entsorgungspfaden anlanden, hätte dies zwangsweise eine Steigerung der Erfassungsmengen zur Folge. Wie zuvor erwähnt, müssen bei der Ausgestaltung des Pfandsystems entsprechende Akteure (wie z.B. Vertreiber, örE) vollumfänglich eingebunden werden. Die Erhöhung der Sammelmenge ist dabei maßgeblich auch an das korrekte (legale) Verhalten der entsprechenden Akteure im Rücknahmeprozess geknüpft.
- Aufgrund der teilweise langen Lebens- bzw. Verweildauern von zum einen fest verbauten sowie losen LIB würde ein Pfandsystem erst mit Verzögerung zu einer Steigerung der Sammelmengen in den entsprechenden Bereichen führen. Je nach Pfandhöhe wäre es sogar denkbar, dass durch die höheren Einkaufpreise (Gerätepreis + Pfand) der Verbraucher in Gänze aufgrund der finanziellen Mehrbelastung weniger Geräte kauft und der Anteil in den Haushalten (geringfügig) sinkt.
- Der Aspekt der „Weiterverwendung“ (Abfallvermeidung) sollte bei der Einführung eines Pfandsystems bedacht werden. So sollten (je nach Pfand-Grundprinzip) Pfandmarken und auch Pfandgut-Kennzeichnungen, sowohl von losen als auch fest verbauten LIB, bei der Weitergabe nicht verloren gehen. Pfandmarken problemlos an Folgenutzer übertragen werden können.

Abschließend kann an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass die zu erwartende Zielerreichung – Vermeidung von Diffusionen in anderweitige Abfallströme zur Minimierung von Brandereignissen und die Steigerung der Sammelmenge von LIB sowie von EAG, in denen LIB verbaut sind – mithilfe eines Pfandsystems, stark von der Festlegung der Batterieart(en) und (Ver-)Bauweisen, die dem Pfandsystem unterliegen sollten, bestimmt sein wird. Aufgrund der überaus hohen Mengen/ Stückzahlen der lithiumhaltigen losen und eingebauten Gerätebatterien (vgl. Kapitel 7) hätte eine Pfandsystem für diese Gruppe durchaus große positive Effekte. Ein mögliches Pfandsystem ohne die Einbeziehung von eingebauten bzw. beiliegenden lithiumhaltigen Gerätebatterien (sondern nur von lose/separat in Verkehr gebrachten Gerätebatterien) hätte eine wesentlich geringere Wirkung hinsichtlich des Brand- und Ressourcenaspekts.

Auch branchenspezifische Pfandsysteme wären denkbar und könnten zur Verbesserung der derzeitigen Sachlage beitragen. Dem spezifischen Pfandsystem, das z.B. nach GP 1 ausgelegt sein könnte, unterlägen dann vorrangig lose und eingebaute LIB für Handwerksgeräte (z.B. Akkuschrauber) und Elektro-Fahrräder. Aufgrund des allerdings nur sehr geringen Marktanteils am LIB-Gesamtmarkt in Deutschland, würde sich die Wirksamkeit eines spezifischen Pfandsystems folglich nur auf das jeweilige Segment beschränken.

Im nachfolgenden Kapitel 9 wird daher der Fokus der weiteren Betrachtungen auf die Modelle „einheitliches Pfandsystem“ für in Elektro(nik)geräte eingebaute und lose lithiumhaltige Gerätebatterien sowie für haushaltsnahe Industriebatterien, Industriebatterien im Bereich der E-Mobilität und Energiespeichersysteme einschließlich Gruppen von LIB (Cluster), die sich besonders gut für ein Pfand eignen könnten (z.B. LIB für Elektrowerkzeuge), gelegt

9 Ergebnisbewertung von Pfandsystemen

Ausgehend von den vorgestellten Grundprinzipien von Pfandsystemen (vgl. Kapitel 3.1) und vorangestellten technischen sowie Fehlwurf-, Schadensereignis- und Mengen-Betrachtungen (vgl. Kapitel 4 bis 7) wird im Folgenden eine Clusterung von LIB-Gruppen vorgenommen und diese mit relevanten Aspekten bzgl. einer Pfandsystematik gegenübergestellt. Auf Basis der nachfolgenden Matrix (vgl. Tabelle 35 und Tabelle 36) soll die Grundlage für eine Bewertung möglicher, auf diese Cluster angepasster Pfandsysteme geschaffen werden. Ausgehend von Strukturen und Erkenntnissen bestehender Pfandsysteme ist dabei grundsätzlich eine Clusterung nach Bauformen (z. B. prismatische Akkumulatoren) oder Typen (z. B. nach Kapazität oder nach Nennleistung) zielführend, um das darauf aufbauende Pfandsystem sowohl für Hersteller und Inverkehrbringer als auch die abgebenden Endnutzer möglichst einheitlich und damit eindeutig auszugestalten. Aufgrund der hohen Vielzahl und dem Umstand, dass völlig unterschiedliche Lösungen beispielsweise in denselben Gerätetypen verwendet werden (z. B. fest verbauter oder wechselbarer Akkumulator in einem Akkuschrauber), ist eine solche Einteilung an dieser Stelle nicht möglich. Insofern wurde eine Clusterung auf Grundlage der Nutzungsart bzw. des Einsatzzweckes vorgenommen. Nachfolgend werden die gewählten Cluster begründet dargestellt.

9.1 Vergleichbare Untersuchungen

Mit der Studie „Assessment of options to improve particular aspects of the EU regulatory framework on batteries“ [EU Commission, 2021] und des Artikels „Pfandsysteme: Ein geeigneter Lösungsweg zur Verbesserung der Rücknahme von Lithium-Altbatterien (?)“ [Hobohm und Chryssos, 2021] wurde das Thema Pfand mit dem Fokus auf alle Arten/Typen von LIB in der jüngeren Vergangenheit betrachtet.

Nach Einschätzung des Ökoinstituts et al., 2021 sind folgende Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Einführung eines Pfandsystems (in diesem Fall „tragbare Batterien“) von Bedeutung, um ungewollte negative Effekte zu vermeiden, die auch z. T. für die Autoren [Hobohm und Chryssos, 2021] entscheidend sind:

- Grenzüberschreitende Gültigkeit von Pfandsystemen
- Entnehmbarkeit von Batterien in Elektro(nik)geräten
- Lebensdauer verschiedener Batterietypologien
- Pfandhöhe in Relation zum Verkaufspreis verschiedener Batterietypologien
- Anreize Batterien zu kaufen, für die kein Pfand erhoben wird
- Unterscheidung zwischen “bepfandeten” und “nicht-bepfandeten”
- Fake Batterien[50]
- Kennzeichnung von Batterien
- Rücknahmepunkte müssen verbraucherfreundlich sein

Wie auch in Kapitel 8.1 dargestellt, müssen die Anforderungen umgesetzt bzw. die Hürden durch eine geeignete Ausgestaltung des Pfandsystems überwunden werden. In der Studie „Assessment

[50] Fake Batterien sind Fälschungen oder nicht autorisierte Nachbildungen des echten Produktes [Brown, 2021].

of options to improve particular aspects of the EU regulatory framework on batteries“ [Ökoinstitut et al., 2021] wurden im Weiteren folgende Cluster mit folgendem Resultat zur Eignung eines Pfandsystems betrachtet (vgl. Clusterung nach Kapitel 9):

- Standard entnehmbare (d.h. eingebaut und lose) Batterien („Allzweck-Gerätebatterien“ Größe AA/ AAA/ 9Volt/ Knopfzellen etc.; primär und wiederaufladbar)/ kleine Geräte-Batterien: Die Implementierung für diese Batterietypen sei besonders herausfordernd, da die Batterien an sich von geringem Wert sind und folglich die Festsetzung eines wirksamen Pfandbetrages schwierig ist. Eine Kennzeichnung ist obligatorisch, die Rücknahme könnte automatengestützt oder manuell erfolgen, führt aber zu Brandrisiken im Rahmen des Rücknahmeprozesses durch enthaltene LIB. Einem solchen System wird eine geringe Erwartung an eine praktische Umsetzung zugeschrieben.
- Lithiumhaltige Gerätebatterien fest verbaut in Elektro(nik)geräten (Mobiltelefon, Zahnbürste, Staubsauger, Rasierapparat): Dieser Typ Batterien unterliegt nach wie vor einem stetigen Wachstum, ist aber in vielen Fällen durch den Endnutzer nicht entnehmbar. Es sei fraglich, ob ein Pfandsystem für Batterien (rechtlich) auf die die Batterien umschließenden Elektro(nik)geräte übertragen werden kann. Auch die Kennzeichnung der Geräte sowie Unkenntlichmachung nach Rücknahme sind obligatorisch. Ein Pfandsystem sollte demnach an die bestehenden Sammel- und Rücknahmestellen für EAG gekoppelt werden (in Deutschland im Wesentlichen örE und Vertreiber) und separat gelagert werden.[51]
- E-Fahrräder (und E-Scooter), Li-Ion Batterien und elektrische Werkzeuge: Neben Brandrisiken wird hierfür vor allem die vergleichsweise lange Nutzungsdauer als hinderlich eingestuft, da der Nachweis oder das Wissen über das Pfandsystem beim Zeitpunkt der Rückgabe nicht mehr bestehen.

Bei verpflichtender Umsetzung eines Pfandsystems prognostizieren die Autoren der Studie eine Steigerung der Erfassungsrate zwischen 15 und 25 %. Die abgeschätzten Steigerungsratenverschiedener Batterietypen und -arten sowie die dafür zugrundeliegenden Annahmen sind dem Anhang C zu entnehmen.

Als Alternative zu einem Pfandsystem wird die Umsetzung einer separaten Haushaltsabholung von entnehmbaren Gerätebatterien diskutiert, welche gemäß den Annahmen die gleichen Steigerungsraten wie ein Pfandsystem aufweisen. Dies kann in Kombination mit der Abholung anderweitiger Abfälle erfolgen, indem die Erfassung und der Transport entsprechend segmentiert ist. Damit verbunden sind aber der logistische Aufwand, Risiken bei Lagerung und Abfuhr, u.a. sind beim Transport von Altbatterien außerhalb des privaten Bereichs die Regelungen des ADR zu berücksichtigen. LIB werden als nicht geeignet für die Haushaltsabholung angesehen.

Ferner wurden die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen betrachtet, wobei die jeweils geltenden nationalen Regelungen zur Produktverantwortung außer Acht gelassen wurden.[52]

Aufgrund der angenommenen Steigerungsraten in der Erfassung werden die aufgestellten Szenarien und auch der Einführung eines Pfandsystems eine ökologische Entlastung attestiert. Be-

[51] Die Sammlung von EAG, die Batterien enthalten, erfolgt bei örE in separaten Sammelgruppen.

[52] Pfandsysteme werden auf europäischer Ebene in den folgenden Artikeln angesprochen:

- Artikel 4 Abs. 3 Abfallrahmen-Richtlinie i. V. m. Annex IVa: Suggested use of deposit refund schemes and other measures to encourage efficient collection of used products and materials.
- Artikel 9 Abs. 1 Buchstabe a Einwegkunststoff-Richtlinie: Member States may inter alia establish deposit refund schemes.
- Artikel 5 Abs. 1 Buchstabe a Verpackungs-Richtlinie: Measures may include, inter alia the use of deposit-return schemes.

Für EAG gilt lediglich, dass diese von privaten Endnutzern kostenfrei abgegeben werden können und hierzu Systeme einzurichten sind (vgl. Artikel 5 Abs. 2 der WEEE-Richtlinie).

züglich der ökonomischen Auswirkungen wird in Orientierung an den Aufbau des Pfandsystems für Getränkeverpackungen in Österreich angenommen, dass diese nicht geringer als 156 Millionen Euro für ein Land vergleichbarer Größe sein werden. Hinzu kommen mindestens 62 Millionen Euro jährlich für die operationale Umsetzung. Weitere finanzielle Risiken liegen in der Beschädigung des Rücknahmesystems durch Brand, übermäßiges Clearing aufgrund nicht geeigneter Kennzeichnung, Betrug und dem sog. Pfand-Tourismus, sofern Anrainerstaaten kein Pfandsystem haben und somit Käufer ausweichen. Bei der ebenfalls betrachteten Haushaltssammlung ist mit vergleichsweise niedrigeren Kosten zu rechnen (zwischen 12,5 und 38 Millionen Euro pro Jahr).

Für kleine Gerätebatterien wird sowohl eine Pfandlösung als auch eine Haushaltsabholung nicht empfohlen. Abschließend kommen die Autoren zur Empfehlung, dass ein Pfandsystem für das Teilsegment größerer Geräte- bzw. Industriebatterien (z.B. für Elektrowerkzeuge, E-Fahrräder und E-Scooter) auf rechtlich verpflichtender Basis die zu präferierende Lösung ist, unter Berücksichtigung der Kapitalbindung bei langlebigen Produkten, die als nicht vernachlässigbarer Punkt innerhalb der Ausgestaltung eines Pfandsystems benannt wird.

Den Autoren des Artikels „Pfandsysteme: Ein geeigneter Lösungsweg zur Verbesserung der Rücknahme von Lithium-Altbatterien (?)“ hingegen erscheint ein „übergreifendes Pfandrücknahmesystem für LIB“ für nicht zweckmäßig. Parallel empfehlen sie die Konzipierung eines zunächst zeitlich begrenzten Pilotpfandprojektes. Die nachfolgende Abbildung 39 bildet die wesentlichen Gründe in einer vergleichenden Darstellung zu Einweggetränkeverpackungen und Blei-Säure-Fahrzeugbatterien ab.

Abbildung 39: Vergleichende Darstellung der Eignung eines Pfandsystems für alle Arten/Typen von LIB und Wirkung auf die Sammelquote

Pfandsysteme	Einweg-Getränkeverpackungen	Pb-Fahrzeugbatterien	Li-Batterien gesamt	Wirkung auf Sammelquote für Li-Batterien
Verweilzeit beim Endverbraucher	< 1 Jahr	5–15 Jahre	10–15 Jahre	↓
Pfandentgelt	bis zu 0,25 €/Flasche	7,50 €/Batterie	offen	–
Wertigkeit Rohstoff	Erlös: ca. 200 €/t[1]	Erlös: ca. 500 €/t	Kosten: >> 1.000 €/t	↓↓
Wirtschaftliches Interesse Rohstoffkreislaufführung	Mittel	Hoch	Niedrig	↓↓
Erfassungsstruktur	Handel	Handel, Altautoverwerter	Handel, örE, EAG-Verwerter, Altautoverwerter, frw. Sammelstellen	↓
Produktvielfalt/Zu erfassende Produktarten (gesetzliche Abgrenzungen)	Gering – PET-Einweggetränkeverpackungen	Gering – Pb-Fahrzeugbatterien	Sehr hoch – Li-Gerätebatterien – Li-Industriebatterien –Li-Fahrzeugbatterien – Elektrogeräte mit inkludierten Li-Batterien	↓↓
Erkennbarkeit der Pfandprodukte für Verbraucher	Gut mit Logo-Kennzeichnung	Gut	Sehr schwierig aufgrund Produktvielfalt	↓↓
Gesetzliche Anforderungen an Sammelquoten	Gesetzliches Ziel: 70 %	Keine gesetzliche Sammelquote, aktuell ca. 82 %	Uneinheitlich je nach Produktart	↓
Kreis der gesetzlich verpflichteten Hersteller	Einheitlich identifizierbar: Getränkeindustrie/Handel	Einheitlich identifizierbar: Kfz-/Batteriehersteller	Uneinheitlich: Batterie-/Gerätehersteller, Importeure	↓
Verhältnis der an Pfandeinnahme/-auszahlung beteiligten Kreise	1:1 (Handel : Handel)	1:2 (Handel : Handel, Verwerter)	1:5 (Handel : Handel, örE, EAG-Verwerter, Altautoverwerter, frw. Sammelstellen)	↓↓
Anteil grenzüberschreitender Produktim- und -exporte	Gering	Mittel	Hoch	↓
Anzahl Rücknahmestellen	Ca. 45.000[1]	Ca. 40.000[2]	Ca. 170.000[3]	↓
Komplexität Einnahme/Auszahlung Pfandentgelte	Niedrig	Niedrig	Sehr hoch	↓↓
Pfandclearing	Erforderlich	Nicht erforderlich	Erforderlich	–
Kapitalbindung	Niedrig	0[4]	Sehr hoch	↓
Abschätzung Aufwand/Nutzen	Mittel	Niedrig	Sehr hoch	↓↓

[1] https://einweg-mit-pfand.de/beitrag/das-erreichen-der-70-prozent-mehrweg-quote-und-die-folgen.html
[2] https://de.statista.com/statistik/daten/studie/74642/umfrage/kfz-betriebe-in-deutschland-seit-2004/; https://de.statista.com/statistik/daten/studie/205295/umfrage/groesste-deutsche-baumaerkte-nach-anzahl-der-filialen/
[3] GRS Berechnung auf Basis der in der Vergangenheit am Gemeinsamen Rücknahmesystem angeschlossenen gesetzlichen und freiwilligen Sammelstellen
[4] Pfandauszahlung wird in der Regel aus Verwertungserlösen entgolten

Quelle: Hobohm und Chryssos aus Müll & Abfall 3/21

Grundlegend wäre aber für einen klar abgrenzbaren Branchenbereich ein Pfandsystem denkbar. Die tabellarische Argumentation ist Abbildung 40 zu entnehmen. Hierunter fallen gemäß [Hobohm und Chryssos, 2021] zum Bespiel stationäre Speichersysteme. Die Autoren benennen zudem folgende Punkte, die bei der Einführung eines Pfandsystems berücksichtigt werden sollten:

- Für den Verbraucher leicht identifizierbare Produkte
- Klar abgrenzbare Vertriebs- und Rücknahmestrukturen
- Enge Hersteller- und Vertreiberbindungen

Abbildung 40: Eignung eines Pfandsystems für LIB-Industriebatterien in einem Branchensystem

	Li-Batterien gesamt	Wirkung auf Sammelquote für Li-Batterien	Li-Industriebatterien in einem Branchensystem (am fiktiven Beispiel für stationäre Energiespeicher)	Wirkung auf Sammelquote für E-Bike-Batterien
Verweilzeit beim Endverbraucher	10–15 Jahre	↓	10–15 Jahre	↓
Pfandentgelt	offen	–	offen	–
Wertigkeit Rohstoff	Kosten: >> 1.000 €/t	↓↓	Kostenneutral	↑
Wirtschaftliches Interesse Rohstoffkreislaufführung	Niedrig	↓↓	Hoch	↑↑
Erfassungsstruktur	Handel, örE, EAG-Verwerter, Altautoverwerter, frw. Sammelstellen	↓	Vorwiegend Elektrohandwerk, Servicebetriebe, örE, EAG-Verwerter	↑↑
Produktvielfalt/Zu erfassende Produktarten (gesetzliche Abgrenzungen)	Sehr hoch – Li-Gerätebatterien – Li-Industriebatterien –Li-Fahrzeugbatterien – Elektrogeräte mit inkludierten Li-Batterien	↓↓	Gering – Li-Industriebatterien	↑
Erkennbarkeit der Pfandprodukte für Verbraucher	Sehr schwierig aufgrund Produktvielfalt	↓↓	Sehr gut	↑↑
Gesetzliche Anforderungen an Sammelquoten	Uneinheitlich je nach Produktart	↓	Keine gesetzliche Sammelquote	↑
Kreis der gesetzlich verpflichteten Hersteller	Uneinheitlich: Batterie-/Gerätehersteller, Importeure	↓	Einheitlich identifizierbar: Speicherhersteller, Elektrohandwerk	↑
Verhältnis der an Pfandeinnahme/-auszahlung beteiligten Kreise	1:5 (Handel : Handel, örE, EAG-Verwerter, Altautoverwerter, frw. Sammelstellen)	↓↓	1:3 (Fachhandel/-betriebe : vorwiegend Fachhandel/-betriebe, örE, EAG-Verwerter)	↑
Anteil grenzüberschreitender Produkt-importe und -exporte	Hoch	↓	Mittel	↑
Anzahl Rücknahmestellen	Ca. 170.000[3]	↓	Ca. 5.000[3]	↑↑
Komplexität Einnahme/ Auszahlung Pfandentgelte	Sehr hoch	↓↓	Niedrig	↑
Pfandclearing	Erforderlich	–	Nicht erforderlich	–
Kapitalbindung	Sehr hoch	↓	Niedrig	↑
Abschätzung Aufwand/Nutzen	Sehr hoch	↓↓	Mittel	↑

[1] https://einweg-mit-pfand.de/beitrag/das-erreichen-der-70-prozent-mehrweg-quote-und-die-folgen.html
[2] https://de.statista.com/statistik/daten/studie/74642/umfrage/kfz-betriebe-in-deutschland-seit-2004/; https://de.statista.com/statistik/daten/studie/205295/umfrage/groesste-deutsche-baumaerkte-nach-anzahl-der-filialen/
[3] GRS Berechnung auf Basis der bekannten E-Bike-Vertreiber, Anzahl öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger und EAG-Verwerter
[4] Pfandauszahlung wird in der Regel aus Verwertungserlösen entgolten

Quelle: Hobohm und Chryssos aus Müll & Abfall 3/21

9.2 Gerätebatterien

- **Batterien, nicht eingebaut (lose):** Dazu zählen Batterien, die nicht in Geräten verbaut sind. Das Spektrum der Batterien ist dabei sehr breit und beinhaltet unterschiedliche Bauformen und Größen. Der Einsatz der Batterien ist breit gefächert (u. a. Kinderspielzeug, Küchengeräte, ITK-Geräte, Unterhaltungselektronik, Taschenrechner, Taschenlampen).
- **Geräte mit eingebauten Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar (fest verbaut):** Dazu zählen Batterien, die fest in Elektro- und Elektronikgeräten verbaut sind. Das Spektrum der Geräte ist dabei sehr breit und beinhaltet u. a. Kinderspielzeug, Küchengeräte, ITK-Geräte, Unterhaltungselektronik, Werkzeuge, Gartengeräte.
- **In ITK-Geräten eingebaute Batterien („ITK-Batterien"), von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Gemeint sind Batterien, die aus ITK-Geräten entnehmbar sind. Viele aktuelle ITK-Geräte haben bereits fest verbaute Batterien. Bei Smartphones und Tablets ist dieser Anteil besonders groß. Bei Notebooks sind Schätzungen zufolge noch ca. 5 % der Batterien entnehmbar. Diese machen daher einen Großteil dieser Gruppe aus. Wechselbare ITK-Batterien werden von weiteren wechselbaren Batterien unterschieden, da sie oftmals etwas höhere Nennkapazitäten haben.

- **In Elektrowerkzeugen eingebaute Batterien („Werkzeugbatterien"), von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Gemeint sind Batterien aus Werkzeugen oder Gartengeräten, die entnehmbar sind. Diese Art Batterien sind i.d.R. in mehreren Werkzeugen wie Bohrmaschinen, Winkelschleifern etc. und Gartengeräten wie Heckenscheren, Rasenmähern etc. eines Herstellers einsetzbar. Wechselbare Werkzeugbatterien werden von weiteren wechselbaren Batterien unterschieden, da sie oftmals etwas höhere Nennkapazitäten haben.
- **Powerbanks:** Gemeint sind Powerbanks als Batterien[53] die nur aus einer Batterie und der Steuerung dieser Batterie bestehen und dafür bestimmt sind Strom zu speichern und Elektrogeräte mit diesem Strom aufzuladen. Powerbanks werden als Gruppe gewählt, da sie vergleichsweise hohe Nennkapazitäten aufweisen können.
- **Sonstige eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Gemeint sind Batterien, die nicht unter die oben aufgezeigte Systematik fallen. Dazu zählen im Wesentlichen entnehmbare Batterien, die nicht aus Werkzeugen oder ITK-Geräte stammen.

Durch die Wahl der Cluster wird mithilfe der in Tabelle 35 und Tabelle 36 dargestellten Matrix eine Aussage über das **Lenkungsbedürfnis** und **erzielbare Lenkungswirkung**, die durch ein Pfandsystem resultiert, getroffen.

Demnach besteht grundsätzlich ein **hohes Lenkungsbedürfnis**, wenn die Gefahr besteht, dass LIB bzw. LIB-haltige Geräte nicht den ordnungsgemäßen Entsorgungswegen zugeführt werden (trifft überwiegend auf den Bereich der Gerätebatterien bzw. batteriehaltigen EAG und zum Teil haushaltsnahen Industriebatterien bei Nutzung durch privaten Endverbraucher zu). Bestehen hingegen „feste" bzw. eindeutig identifizierbare Rücknahmewege (trifft überwiegend im Bereich der Industriebatterien, bei Rückgabe über Fachwerkstätten, Vertreiber etc. zu) resultiert daraus ein vergleichsweise **geringeres Lenkungsbedürfnis**, da angenommen werden kann, dass die bestehenden Rückgabestrukturen bereits genutzt, wenn auch optimiert werden können.

Die **erzielbare Lenkungswirkung** eines möglichen Pfandsystems ist auf das jeweilige Cluster beschränkt, das mitunter nur einen geringen Anteil an der Gesamtmenge an LIB ausmacht. Ferner ist zu beachten, dass durch ein Pfandsystem bestehende Systeme ersetzt bzw. bereits erreichte Erfassungsquoten lediglich verbessert werden können. Insofern sind Alternativen wie Branchenlösungen und/oder differenzierte Rücknahmesysteme und -praktiken zu prüfen.

[53] Eine Powerbank wird ausgehend von den Funktionen der Powerbank entweder als Batterie nach § 2 Absatz 2 BattG oder als Elektrogerät nach § 3 Nr. 1 ElektroG eingeordnet. Powerbanks mit Ladestandanzeigen und/oder verschiedenen Ladeschnittstellen, werden als Batterien nach § 2 Absatz 2 BattG eingeordnet und müssen als solche behandelt werden. Powerbanks mit weiteren Funktionen wie z.B. Leuchte, Radio, USB-Datenspeicher etc. werden als Elektrogeräte nach § 3 Nr. 1 ElektroG eingeordnet und müssen als solche behandelt werden [Stiftung ear, 2022]; https://www.stiftung-ear.de/fileadmin/Dokumente/Anwendungshilfe_EinordngBattGElektroG.pdf

Tabelle 35: LIB-Matrix Gerätebatterien – zur Herleitung möglicher Lenkungsbedürfnisse und erzielbarer Lenkungswirkungen

LIB-Cluster	spezifische Masse [kg/Stück]	Stück [D] Jahr 2019	Größe/ Bauform	Nennenergie/ Nennkapazität	Kennzeichnungsmöglichkeit bei Inverkehrbringen	Kosten des Produkts/ Geräts	Kosten der Batterie	Verkaufsstelle	überwiegende Nutzung (privat oder gewerblich)[54]	Nutzungsdauer der Batterie	Bindung der Batterie zum Produkt/ Gerät	Austausch der Batterie	Erfassungsstelle
Gerätebatterien, nicht eingebaut (lose)[55]	diverse	ca. 350 Millionen Gerätebatterien in Deutschland pro Jahr	nicht standardisiert, diverse	eher gering	auf Batterie	gering bis mittel	gering bis mittel	Elektrofach- und Einzelhandel, Fernabsatz	sowohl privat als auch gewerblich	gering bis mittel	keine unmittelbare, da wechselbar, aber spezielle Bauformen für bestimmte Geräte	erfolgt i.d.R. am Ende der Lebensdauer durch Endnutzer	über Sammel- und Rücknahmestellen von Geräte-Altbatterien (Vertreiber, örE, freiwillige Sammelstellen)
in Elektro(nik)geräte eingebaute Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar (fest verbaut)	gering, ca. 0,02 g bis 5 kg		nicht standardisiert, klein	sehr gering (bis 5000 mAh)	auf Elektrogerät	gering bis hoch	sehr gering bis mittel	Elektrofach- und Einzelhandel, Fernabsatz, Weiternutzung über Gebrauchthandel möglich (gewerblich und privat)	überwiegend private Nutzung, anteilig gewerbliche Nutzung	gering bis mittel, Nutzungsdauer gekoppelt an Nutzungsdauer Elektro(nik)gerät	vollständig gegeben, da fest verbaut	erfolgt nur in Einzel-/ Ausnahmefällen, z.B. durch Reparatur in Fachhandel/ -Werkstatt	über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahmestellen, u.a. der Hersteller)
speziell: In ITK-Geräten eingebaute Batterien („ITK-Batterien"), von Endnutzern problemlos entnehmbar	gering, 0,5 bis 3 kg		nicht standardisiert, klein (ca. 40*10*1 cm)	gering (bis 10.000 mAh)	auf Batterie	mittel bis hoch	mittel	Elektrofach- und Einzelhandel, Fernabsatz, ausgewählter Einzelhandel, Weiternutzung über Gebrauchthandel möglich (gewerblich und privat)	überwiegend private Nutzung, anteilig gewerbliche Nutzung	mittel (ca. 6 Jahre)	keine unmittelbare, da wechselbar, aber spezielle Bauformen für bestimmte Geräte	erfolgt durch Neukauf eines (zusätzlichen) Akkumulators	wenn separiert, über Sammel- und Rücknahmestellen von Geräte-Altbatterien (Vertreiber, örE, freiwillige Sammelstellen); sonst über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahme-

[54] Die Aussage private oder gewerbliche Nutzung bezieht sich allein auf die Nutzung durch die Anwender*Innen und nicht auf die Geräteart, d.h. ob das dazugehörige Produkt bzw. Gerät als Gerät zur Nutzung in privaten Haushalten oder anderen als privaten Haushalten registriert ist.
[55] Siehe Ausführungen in Kapitel 7.1.2 zu der Abschätzung in Verkehr gebrachter Massenanteile nach Perchards & SagisEPR, 2016.

													stellen, u.a. der Hersteller)
speziell: In Elektrowerkzeugen eingebaute Batterien („Werkzeugbatterien“), von Endnutzern problemlos entnehmbar	gering, 0,5 bis 3 kg		nicht standardisiert, klein (10*10*10 cm)	gering (bis 10.000 mAh)	auf Batterie	mittel	mittel	Fach- und Baumärkte, Fernabsatz, ausgewählter Einzelhandel, Weiternutzung über Gebrauchthandel möglich (gewerblich und privat)	überwiegend private Nutzung, sowie größerer Anteil gewerbliche Nutzung	mittel (ca. 6 Jahre)	keine unmittelbare, da wechselbar, aber spezielle Bauformen für bestimmte Geräte	erfolgt durch Neukauf eines (zusätzlichen) Akkumulators	wenn separiert, über Sammel- und Rücknahmestellen von Geräte-Altbatterien (Vertreiber, örE, freiwillige Sammelstellen); sonst über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahmestellen, u.a. der Hersteller)
Powerbanks	gering, 0,2 bis 2 kg		nicht standardisiert, klein (bis ca. 20*10*3 cm)	gering (bis 20.000 mAh)	auf Batterie bzw. Elektrogerät	mittel (wenn Elektrogerät) bzw. nicht zutreffend (wenn (Produkt gleich Batterie ist)	mittel	Elektrofach- und Einzelhandel, Fernabsatz,	überwiegend private Nutzung	mittel	vollständig gegeben, (ggf. ist Batterie gleich Produkt)	nicht vorgesehen, (Neukauf notwendig)	wenn Produkt eine Batterie ist, über Sammel- und Rücknahmestellen von Geräte-Altbatterien (Vertreiber, örE, freiwillige Sammelstellen); sonst über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahmestellen, u.a. der Hersteller)

Quelle: Eigene Darstellung, cyclos GmbH und Dr. Brüning Engineering UG

9.3 Industriebatterien

- **Haushaltsnahe Industriebatterien**
  - **Eingebaute Elektrofahrrad[56]-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Gemeint sind Batterien aus E-Fahrrädern und Pedelecs sowie entnehmbare E-Scooter Batterien. Diese Gruppe an LIB ist grundlegend austauschbar und hat ähnliche Nennkapazitäten
  - **Eingebaute E-Scooter Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar:** Gemeint sind E-Scooter Batterien, die nicht aus dem Fahrzeug entnommen werden können. Sie haben ähnliche Nennkapazitäten wie E-Bike-Batterien, sind aber fest mit dem Scooter verbunden.
- **Elektromobilität**
  - **Eingebaute Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge:** Gemeint sind Batterien aus Straßenfahrzeugen, die unter das Stichwort E-Mobilität fallen und eine Straßenzulassung haben. Dazu zählen u. a. Batterien aus Elektro-Rollern, Elektro-PKW, Elektro-Nutzfahrzeugen und Hybrid-PKW oder -Nutzfahrzeugen.
  - **Eingebaute Sonstige Traktionsbatterien / FFZ:** Gemeint sind Batterien aus Fahrzeugen, die keine Straßenzulassung haben und gewerblich auf Betriebsgeländen genutzt werden. Dazu zählen u. a. Batterien aus Elektro-Gabelstaplern, Elektro-Hubwagen oder Elektro-Reinigungsfahrzeugen und -maschinen.
- **Energiespeichersysteme**
  - **(Strom-)Speicherbatterien:** Gemeint sind Batterien, die Strom zwischenspeichern. Dazu zählen u. a. Speicherbatterien für Windenergieanlagen, Photovoltaikparks oder Photovoltaikanlagen auf Wohnhäusern (sogenannte „Heimspeicher“). Ebenso zählen Speicherbatterien für die Notstromversorgung, z. B. im Bereich EDV oder Beleuchtung dazu.
- **„Rest“:** Gemeint sind Industriebatterien, die nicht in die oben aufgezeigten Kategorien fallen.

.

[56] Der Begriff Elektro-Fahrrad dient als Oberbegriff für spezielle elektrische Fahrradtypen wie E-Bikes, Pedelecs und S-Pedelecs. Je nach Elektro-Fahrrad Typ kann eine Typengenehmigung erforderlich sein, welche Auswirkungen auf das rechtliche Regelungsregime und die spätere Entsorgung des Produkts haben kann. Siehe auch https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektrogeraete/e-bike-pedelec

Tabelle 36: LIB-Matrix Industriebatterien – zur Herleitung möglicher Lenkungsbedürfnisse und erzielbarer Lenkungswirkungen

LIB-Cluster	spezifische. Masse [kg/Stück]	Stück [D]	Größe/ Bauform	Nennenergie/ Nennkapazität	Kennzeichnungsmöglichkeit bei Inverkehrbringen	Kosten des Produkts/ Geräts	Kosten der Batterie	Verkaufsstelle	überwiegende Nutzung (privat oder gewerblich)[57]	Nutzungsdauer der Batterie	Bindung der Batterie zum Produkt/ Gerät	Austausch der Batterie	Erfassungsstelle
Haushaltsnahe Industriebatterien: **eingebaute E-Fahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar**	gering, 1 bis 6,5 kg	E-Fahrrad: ca. 1.360.000 (Jahr 2019) E-Scooter: (ca. 54.000 gewerblich genutzte E-Scooter (September 2019))[58]	nicht standardisiert, klein (ca. 40*5*5 cm)	mittel (bis 5.000 bis 20.000 mAh).	auf Batterie	sehr hoch bis hoch	hoch	Fachhandel, Fernabsatz	private und gewerbliche Nutzung	E-Fahrrad: hoch (ca. 8 bis 10 Jahre) E-Scooter: hoch bis mittel (2 bis 3 Jahre in gewerblicher Nutzung[59], bei privater Nutzung länger)	läuft mit Produkt, kann in Nutzungsphase ausgetauscht werden.	durch Fachwerkstätten, Fachhandel, Endnutzer	wenn separiert über Rücknahmestellen von Industrie-Altbatterien (Vertreiber, evtl. örE fakultativ); sonst über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahmestellen, u.a. der Hersteller)
Haushaltsnahe Industriebatterien: **E-Scooter Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar**	gering, 1 bis max. 5 kg	unbekannt (ca. 54.000 gewerblich genutzte E-Scooter (September 2019))	nicht standardisiert, klein (ca. 40*5*5cm)	mittel (bis 5.000 bis 20.000 mAh)	auf E-Scooter sowie innerhalb auf Batterie	sehr hoch bis hoch	hoch	Fachhandel, Fernabsatz	gewerbliche Nutzung, anteilig auch private Nutzung	hoch bis mittel (2 bis 3 Jahre in gewerblicher Nutzung, bei privater Nutzung länger)	läuft mit Produkt, kann in Nutzungsphase ggf. durch Fachwerkstätten ausgetauscht werden	durch Fachwerkstätten	über EAG-Entsorgung (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige rücknahmestellen, u.a. der Hersteller)

[57] Die Aussage private oder gewerbliche Nutzung bezieht sich allein auf die Nutzung durch die Anwender*Innen und nicht auf die Geräteart, d.h. ob das dazugehörige Produkt bzw. Gerät als Gerät zur Nutzung in privaten Haushalten oder anderen als privaten Haushalten registriert ist.
[58] https://de.statista.com/themen/7054/e-scooter/
[59] entsprechend der Angaben verschiedener E-Scooter Verleihfirmen

Elektromobilität: **eingebaute Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge**	sehr hoch, 200-700kg	ca. 700.000 (Jahr 2019)	nicht standardisiert, sehr groß (bis zu 2*2 m Grundfläche)	sehr hoch (40 bis 100 kWh)	auf Batterie	sehr hoch	sehr hoch	Fachhandel, Weiternutzung über Gebrauchthandel möglich (gewerblich und privat) , Fernabsatz	gewerbliche und private Nutzung	hoch (ca. 10 Jahre)	läuft mit Produkt, kann in Nutzungsphase ausgetauscht werden	i.d.R. durch Fachwerkstätten	An- und Rücknahmestellen nach AltfahrzeugV, Rücknahmestellen von Industrie-Altbatterien (Vertreiber, ggf. direkt über Hersteller)
Elektromobilität: **eingebaute sonstige Traktionsbatterien/ FFZ**	sehr hoch, 100-1000kg	ca. 20.000 in Deutschland	nicht standardisiert, sehr groß (bis zu 1*1 m Grundfläche)	hoch (5 bis 40 kWh, 200.000 bis 500.000 mAh)	auf Batterie	sehr hoch bis hoch	sehr hoch	Fachhandel, Fernabsatz	überwiegend gewerbliche Nutzung	hoch (ca. 10 Jahre)	austauchbar durch Fachwerkstätten	durch Fachwerkstätten, Elektrohandwerk	Rücknahmestellen von Industrie-Altbatterien (Vertreiber, ggf. nutzen gewerbl. Endnutzer Herstellerlösungen direkt ohne Umweg über die Vertreiber)
Energiespeichersysteme: **(Strom-)Speicherbatterien**	hoch ca. 60 kg	ca. 126.500 (Jahr 2019) (zzgl. mehrere 10.000 LIB in Großspeichern)	nicht standardisiert, groß (ca. 50*50*140 cm)	hoch (20.000 bis 100.000 mAh)	auf Batterie	nicht zutreffend (ist Produkt)	sehr hoch	Fachhandel, Fernabsatz	gewerbliche Nutzung, anteilig auch private Nutzung	sehr hoch (ca. 15 Jahre)	keine, Batterie ist in diesem Sinne Produkt bzw. Komponente	durch Elektrohandwerk	Rücknahmestellen von Industrie-Altbatterien (Vertreiber, evtl. örE fakultativ), ggf. nutzen gewerbl. Endnutzer Herstellerlösungen direkt ohne Umweg über die Vertreiber)

Quelle: Eigene Darstellung, cyclos GmbH und Dr. Brüning Engineering UG

9.4 Lenkungsbedürfnis und erzielbare Lenkungswirkung durch ein Pfandsystem

Nachfolgend wird in Ableitung an die o.g. Informationen der Matrizen eine Einstufung zum Lenkungsbedürfnis und der erzielbaren Lenkungswirkung getroffen. Diese folgt der o. g. Clusterung.

9.4.1 Gerätebatterien

- **Batterien, nicht eingebaut (lose):** Lose Batterien werden sowohl über den Fachhandel als auch über den allgemeinen Einzelhandel und über den Fernabsatz an private sowie gewerbliche Nutzer vertrieben. Entsorgt werden diese Batterien in der Regel über die entsprechenden Batterieerfassungssysteme (Vertreiber, örE, freiwillige Sammelstellen) bzw. falls im/am Gerät verbleibend, in der EAG-Erfassung. Aufgrund des Fehlverhaltens der Endnutzer bei der Entledigung können Fehlzuweisungen in andere Abfallströme (besonders aus der privaten Nutzung) nicht ausgeschlossen werden, wodurch ein Lenkungsbedürfnis entsteht.

  Sollte das Lenkungsbedürfnis durch ein Pfandsystem gelöst werden, wären entsprechende Kennzeichnungen auf den Batterien nötig, die so gestaltet werden müssten, dass die trotz der unterschiedlichen Bauformen eindeutig erkennbar ist. Die benannten Vertriebswege wären in das Pfandsystem einzubinden. Vor dem Hintergrund der Verbraucherfreundlichkeit und möglichst hohen Rücklaufquoten (Abgabemöglichkeit unabhängig von Marke und Kaufort) ist eine Clearingsystematik hierfür allerdings unabdingbar. Ferner ist zu prüfen, wie der Fernabsatz in dem Pfandsystem adäquat abgebildet werden kann. Eine angemessene Pfandhöhe ist zudem entscheidend für die Lenkungswirkung unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit (Kosten der Batterie).

- **Elektro(nik)geräte mit eingebauten Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar:** Eine Vielzahl von Elektro(nik)geräten verfügen über fest verbaute LIB unterschiedlicher Bauformen. Diese werden mit den Elektro(nik)geräten über den Elektrofachhandel, ausgewählten Einzelhandel und in hohem Maße auch über den Fernabsatz vertrieben und gelangen in der Entsorgungsphase in der Regel mit den umschließenden EAG sowohl in ElektroG-konforme aber auch (örE, Vertreiber, EBA, freiwillige Rücknahmestellen (u.a. Hersteller)) nicht ElektroG-konforme Entsorgungswege (Restmüll, Sperrmüll, Verpackungsmüll/ gelbe Tonne/ gelber Sack, Altpapiersammlung, Biotonne, Metallschrott, Natur und weitere). Die Auswertungen der Abfallanalysen (vgl. Kapitel 5) zeigen, dass regelmäßig EAG nicht getrennt erfasst und falschen Erfassungssystemen zugewiesen werden. Während die Rücknahmestellen der ElektroG-konformen Erfassung und die EBAs grundsätzlich auf das Vorhandensein von LIB vorbereitet sind (bei EBAs auch unter der Voraussetzung das batteriehaltige EAG vom örE korrekt in separaten Behältnissen gesammelt werden), sind die nicht ElektroG-konformen Erfassungssysteme nicht auf das Vorhandensein von LIB vorbereitet.

  Insofern besteht ein Lenkungsbedürfnis. Gleichzeitig bedeutet ein Pfandsystem eine große Herausforderung in Punkto Pfanderhebung beim Inverkehrbringen, aber auch bei der technischen Ausgestaltung der Rücknahme, welche darüber hinaus praktikabel und verbraucherfreundlich ausgestaltet werden muss, um diese Lenkungswirkung zu erzielen.

- **In ITK-Geräten eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** In der Regel zählen ITK-Batterien als Bestandteil der Erstausstattung von Elektro(nik)geräten unabhängig davon, ob sie von Endnutzern oder lediglich Fachbetrieben entnommen werden können. Von Endnutzern problemlos entnehmbare Batterien können in diesem Zusammen-

hang auch vom Endnutzer selbst entsorgt werden. In diesem Fall besteht ein Lenkungsbedürfnis, um Fehlwürfe in andere Abfallströme zu vermeiden. Grundlegend gelten hier die gleichen Rücknahmewege, wie für nicht-lithiumhaltige Batterien, die bereits auf gute Verbraucherakzeptanz stoßen. Verbleibt die Batterie im Gerät, wird durch den Nutzenden in der Regel der Rückgabeweg eines EAG genutzt. Ein Pfandsystem setzt an dieser Stelle eine eindeutige Kennzeichnung der Batterien in ITK-Geräten voraus. Entscheidend ist an dieser Stelle auch der Zeitpunkt der Pfanderhebung bzw. auf welche Akteure in der Kette diese ebenfalls übergeht, da die erste Batterie in der Regel gemeinsam mit dem Elektro(nik)gerät vertrieben wird. Die Lenkungswirkung ist in erster Linie an die Kenntnis der Nutzenden über das bestehende Pfandsystem und seiner Rückgabemöglichkeiten (voraussichtlich direkt, manuell) gekoppelt und kann durch eine angemessene Pfandhöhe verstärkt werden (siehe hierzu auch Kapitel 10.2). Besonders bei wechselbaren Batterien würde die Gefahr des Entwendens/ des Diebstahls während der Nutzungsphase erhöht.

- **In Elektrowerkzeugen eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Werkzeugakkumulatoren (wechselbar) werden sowohl über Fach- und Baumärkte, den ausgewählten Einzelhandel und über den Fernabsatz an private und gewerbliche Nutzer vertrieben. Ferner können zusätzliche (Wechsel-)Akkumulatoren separat erworben werden. Entsorgt werden die ausgedienten Batterien sofern sie vom Endnutzer vom (Alt-)Gerät getrennt werden, in den entsprechenden Batterieerfassungssystemen bzw. falls im/am Gerät verbleibend, in der EAG-Erfassung. Aufgrund des Fehlverhaltens der Endnutzer bei der Entledigung können Fehlzuweisungen in andere Abfallströme (besonders aus der privaten Nutzung) nicht ausgeschlossen werden, wodurch ein Lenkungsbedürfnis entsteht.

  Sollte das Lenkungsbedürfnis durch ein Pfandsystem gelöst werden, wären entsprechende Kennzeichnungen sowohl auf den Elektro(nik)geräten als auch auf den Batterien nötig. Die benannten Vertriebswege wären in das Pfandsystem einzubinden. Vor dem Hintergrund der Verbraucherfreundlichkeit und möglichst hohen Rücklaufquoten (Abgabemöglichkeit unabhängig von Marke und Kaufort) ist eine Clearingsystematik hierfür allerdings unabdingbar. Ferner ist zu prüfen, wie der Fernabsatz (besonders auch Importe oder Exporte von Gebrauchtgeräten) in dem Pfandsystem adäquat abgebildet werden kann.

  Die Lenkungswirkung würde in erster Linie aufgrund der Nutzerkenntnis zum bestehenden Pfandsystem und seinen Rückgabemöglichkeiten (voraussichtlich direkt, manuell) erzielt werden. Eine angemessene Pfandhöhe würde die Effekte noch verstärken (siehe hierzu auch Kapitel 10.2). Besonders bei wechselbaren Batterien würde die Gefahr des Entwendens/ des Diebstahls während der Nutzungsphase erhöht (bspw. geparkte E-Bikes mit leicht zugänglichen Wechselakkus).

- **Powerbanks:** Powerbanks werden in verschiedensten Ausführungen auf den Markt gebracht – je nach Ausführung und Zusatzfunktion als Batterie oder Elektro(nik)gerät. Powerbanks mit Ladestandanzeigen zählen zu den Batterien, während Powerbanks mit Zusatzfunktionen wie Wecker, Leuchten etc. den Elektro(nik)geräten zugeordnet werden. Für ein Pfandsystem wäre an dieser Stelle eine eindeutige Kennung wäre von Nöten, um die Abgrenzung zwischen Batterie und Elektro(nik)gerät zu gewährleisten. Durch die verschiedenen Verbauformen vor allem die Größe betreffend, ist eine pauschale Pfandhöhe schwer festzulegen und zu begründen (siehe hierzu auch Kapitel 10.2). Ein Lenkungsbedürfnis für Powerbanks ist aus Verbrauchersicht grundlegend vorhanden. Möglicherweise wären Aufklärungskampagnen ein geeignetes Mittel, um die Ziele mit weniger Aufwand zu erreichen. Die Lenkungswirkung eines Pfandsystems wird aus den o.g. Gründen als eher unbedeutend eingestuft.

- **Sonstige eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Hier gelten vom Grundsatz her dieselben Bedingungen wie für „in ITK-Geräten eingebaute, vom Endnutzer problemlos entnehmbare“ Batterien

Fazit

In der Tabelle 37 sind die beschriebenen Ableitungen in einer Übersicht zusammengefasst. Ein Lenkungsbedürfnis wurde für alle Produktgruppen im Gerätebatteriebereich erkannt. Sofern das Pfandgut als solches durch eindeutige Kennzeichnungen auf der Batterie und dem Gerät für Produktgruppen klar identifiziert werden kann, sind positive Auswirkungen zu erwarten.

Im Fall der Geräte mit eingebauten Batterien müssten bei Ausgestaltung eines Pfandsystems auch die rechtlichen Regelungen der Elektro(nik)geräte (gemäß ElektroG) berücksichtigt und angepasst werden. Die Notwendigkeit von eindeutigen Kennzeichnungen und eindeutigen Verantwortlichkeiten führen jedoch zu einem Mehraufwand.

Bei einer Einführung eines Pfandsystems für die Produktgruppen „lithiumhaltige nicht eingebaute Gerätebatterien (lose)“ sowie „Geräte mit eingebauten lithiumhaltigen Gerätebatterien“ wäre die mit Abstand höchste Lenkungswirkung zu erwarten und somit auch eine Reduzierung der Brandgefahr in irregulären Abfallströmen zu erzielen. Gleichzeitige ergäben sich weitere (Synergie-)Effekte: So besteht ein Potenzial neben der Altbatteriesammelmenge auch die Sammelmenge von (batteriehaltigen) EAG zu steigern. Bei Pfandsystemen hingegen, die auf spezifische Produktgruppen begrenzt werden, bliebe die erzielbare Lenkungswirkung auch auf diesen Teilbereich beschränkt und es könnten weiterhin größere Diffusionen von LIB in nicht ordnungsgemäße Abfallströme stattfinden.

Tabelle 37: Lenkungsbedürfnis für Gerätebatterien und erzielbare Lenkungswirkung durch ein Pfandsystem von Clustern

Cluster	Lenkungsbedürfnis	Lenkungswirkung	Wirkung auf Reduzierung von Bränden	Wirkung auf Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien	Wirkung auf Synergieeffekte der Sammelmenge von EAG
Batterien, nicht eingebaut (lose)	Vorhanden. Aufgrund des Fehlverhaltens der Endnutzer bei der Entledigung können Fehlzuweisungen in andere Abfallströme (besonders aus der privaten Nutzung) nicht ausgeschlossen werden, wodurch ein Lenkungsbedürfnis entsteht.	Höchste zu erwartende Lenkungswirkung – zusammen mit der Produktgruppe „Elektro(nik)geräte mit eingebauten Batterien. Pfandgut muss aber als solches klar identifiziert werden können, eindeutige Kennzeichnung auf Batterien notwendig	+	++	0
Elektro(nik)geräte mit eingebauten Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar	Vorhanden. Kann in nicht ElektroG-konforme Entsorgungswege (mitunter nicht auf LIB vorbereitet) gelangen. Darüber hinaus treten durch die private Nutzung Verluste auf, indem EAG nicht getrennt erfasst und falschen Erfassungssystemen zugewiesen werden.	Höchste zu erwartende Lenkungswirkung – zusammen mit der Produktgruppe „Batterien, nicht eingebaut (lose)“. Pfandgut muss aber als solches klar identifiziert werden können, eindeutige Kennzeichnung auf Batterien und Gerät, rechtliche Abgrenzung und Definition der Verantwortlichkeiten innerhalb des Pfandsystems	+	++	++

Cluster	Lenkungsbedürfnis	Lenkungswirkung	Wirkung auf Reduzierung von Bränden	Wirkung auf Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien	Wirkung auf Synergieeffekte der Sammelmenge von EAG
In ITK-Geräten eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	Vorhanden. Von Endnutzern problemlos entnehmbare Batterien können in diesem Zusammenhang auch vom Endnutzer selbst entsorgt werden. In diesem Fall besteht ein Lenkungsbedürfnis, um Fehlwürfe in andere Abfallströme zu vermeiden. Darüber hinaus treten durch die private Nutzung Verluste auf, indem EAG nicht getrennt erfasst und falschen Erfassungssystemen zugewiesen werden.	Die erzielbare Lenkungswirkung bliebe auf das jeweilige Cluster beschränkt, da der Anteil der Batterien für ITK-Geräte gemessen an der Gesamtmenge der LIB gering ist. Die Lenkungswirkung ist in erster Linie an die Kenntnis der Nutzenden über das bestehende Pfandsystem und seiner Rückgabemöglichkeiten (voraussichtlich direkt, manuell) gekoppelt und kann durch eine angemessene Pfandhöhe verstärkt werden (siehe hierzu auch Kapitel 10.2). Pfandgut muss als solches klar identifiziert werden, daher Kennzeichnung auf Batterien und Gerät.	+	+	0
In Elektrowerkzeugen eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	Vorhanden. Von Endnutzern problemlos entnehmbare Batterien können in diesem Zusammenhang auch vom Endnutzer selbst entsorgt werden. In diesem Fall besteht ein Lenkungsbedürfnis, um Fehlwürfe in andere Abfallströme zu vermeiden. Darüber hinaus treten durch die private Nutzung Verluste auf, indem EAG nicht getrennt erfasst und falschen Erfassungssystemen zugewiesen werden.	Die erzielbare Lenkungswirkung bliebe jedoch auf das jeweilige Cluster beschränkt, da der Anteil der Batterien in Elektrowerkzeugen gemessen an der Gesamtmenge der LIB gering ist. Die Lenkungswirkung würde in erster Linie aufgrund der Nutzerkenntnis zum bestehenden Pfandsystem und seinen Rückgabemöglichkeiten (voraussichtlich direkt, manuell) erzielt werden. Eine angemessene Pfandhöhe würde die Effekte noch verstärken (siehe hierzu auch Kapitel 10.2). Pfandgut muss als solches klar identifiziert werden, daher Kennzeichnung auf Batterien und Gerät.	+	++	0
Powerbanks	Vorhanden, im Sinne der Wahl des korrekten Entsorgungsweges. Möglicherweise wären Aufklärungskampagnen ein geeignetes Mittel, um die Ziele mit weniger Aufwand zu erreichen.	Hätte Auswirkung – die erzielbare Lenkungswirkung bliebe jedoch auf das jeweilige Cluster beschränkt, da der Anteil der Powerbanks gemessen an der Gesamtmenge der LIB gering ist. Pfandgut muss als solches klar identifiziert werden, daher Kennzeichnung auf Produkt.	+	+	0

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

9.4.2 Industriebatterien

► **Haushaltsnahe Industriebatterien**

- **Eingebaute Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar:** Die Nutzung der wechselbaren E-Fahrrad bzw. E-Scooter Batterien beschränkt sich vorrangig auf den privaten Bereich. Der Austausch kann über den Fachhandel oder Fachwerkstätten sowie durch den Nutzenden selbst erfolgen, sodass ein Lenkungsbedürfnis aus Verbrauchersicht gegeben ist. Vertreiber von Industriebatterien (z. B. Pedelec-Akkus) sind nach § 9 BattG verpflichtet, vom Endnutzer Altbatterien an oder in unmittelbarer Nähe der Verkaufsstelle zurückzunehmen. Hersteller von Batterien (Importeure, Produzenten, etc.) sind darüber hinaus nach § 8 BattG verpflichtet, den Vertreibern eine zumutbare und kostenfreie Rückgabemöglichkeit der zurückgenommenen Altbatterien anzubieten. Aufgrund des Fehlverhaltens oder mangelndem Wissen der Endnutzer bei der Entledigung können Fehlwürfe der Batterie bzw. sogar des ganzen Produkts – da ein Fahrrad ohne elektrische Funktionen sowie auch ein E-Bike oder S-Pedelec grundsätzlich nicht dem ElektroG unterliegen – in andere Abfallströme (z.B. Sperrmüll oder Metallschrott) nicht ausgeschlossen werden, wodurch ein Lenkungsbedürfnis entsteht.
  Aktuell gibt es bereits Branchenlösungen, die die Rücknahme bei Vertreibern sowie bei teilnehmenden örE auf Kosten der Hersteller strukturiert und gezielt abbilden. Ein Pfandsystem könnte daher an dieser Stelle die bereits etablierten und bekannten Strukturen hinsichtlich ihrer Effizienz verbessern und voraussichtlich zu einer erhöhten Lenkungswirkung bzgl. der Rückgabe und Sammelmenge führen. Allerdings würde dies erweiterte Aufwände für den rücknehmenden Vertreiber bedeuten. Durch die Langlebigkeit der genannten Batterien sind aktuell die Rücklaufquoten noch gering, sodass abschließend nicht beurteilt werden kann, ob aus Verbrauchersicht ein noch transparenterer Rücknahmeweg von Nöten sein wird, da das Lenkungsbedürfnis zukünftig durch erhöhte Rückgaben an Altbatterien ansteigen könnte.

- **Eingebaute E-Scooter Batterien, von Endnutzern <u>nicht</u> problemlos entnehmbar:** Durch die fest verbaute Bauform ist die Batterie i.d.R. nur durch den Fachhandel bzw. eine Fachwerkstatt auszutauschen. In diesem Zuge ist das Lenkungsbedürfnis der Verbraucher und Verbraucherin als eher gering anzusehen, da die Wege des Austausches und der gekoppelten Entsorgung festgelegt sind. Fallen die Batterien im Zuge eines Austausches nicht gesondert an, wird i.d.R. der komplette E-Scooter in die Entsorgung übergeben. Als ganzes Produkt fällt der E-Scooter unter die rechtlichen Rahmenbedingungen des ElektroG. Für die Einführung eines Pfandsystems würde dieses auch eine rechtliche Anpassung des ElektroG bedeuten und eine eindeutige Kennzeichnung und Abgrenzung zu anderen Produkten mit wechselbaren Batterien wäre notwendig.

► **Elektromobilität**

- **Eingebaute Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge:** Batterien in Straßenfahrzeugen weisen in der sehr langen Nutzungsphase klare Entsorgungswege auf. Sowohl der Erwerb als auch die Entsorgung sind vorgezeichnet, indem die Batterie mit dem Fahrzeug erworben oder geleast wird. Der Austausch erfolgt ausschließlich über Fachwerkwerkstätten ggf. via Marke und/ oder Vertreiber. Insofern besteht kein gesondertes Lenkungsbedürfnis, um ungewollte Verluste zu vermeiden. Ein Pfandsystem in diesem Segment führt daher auch nicht zu einer erhöhten Lenkungswirkung in einen sachgerechten Entsorgungsweg, zumal die Batterie mitunter nicht Eigentum der Nut-

zenden ist und auch aufgrund des vergleichsweise hohen Verkaufspreises von Straßenfahrzeugen nur ein geringer finanzieller Anreiz aufgebaut werden kann.

- **Eingebaute sonstige Traktionsbatterien / FFZ:** Bei den sonstigen Transaktionsbatterien sind die Vertriebs- und Entsorgungswege ähnlich wie bei den Batterien in Straßenfahrzeugen klar implementiert. Das Vorkommen der Batterien beschränkt sich vorwiegend auf den gewerblichen Bereich. Der Austausch solcher Batterien erfolgt in der Regel über Fachwerkstätten oder das Elektrohandwerk. Es ist davon auszugehen, dass dort höhere Mengen anfallen und diese daher in ordnungsgemäße Entsorgungswege übergeben werden. Des Weiteren besteht auch für diese Batterien der Entsorgungsweg oder die Rückgabe bei Leasing im „Komplettfahrzeug" (z. B. geleaster oder gemieteter Stapler). Demnach besteht kein gesondertes Lenkungsbedürfnis für diese Batterien und ein Pfandsystem würde nicht zu einer erhöhten Lenkungswirkung führen.

► **Energiespeichersysteme**

- **(Strom)speicherbatterien:** Das Lenkungsbedürfnis bei der Rückgabe und Entsorgung von (Strom)speicherbatterien wird als sehr gering eingestuft. Die Nutzungsdauer dieser Batterien ist sehr hoch und zudem besteht aufgrund der Langlebigkeit i.d.R. ein großes Interesse an einer Weitervermarktung (oftmals Export ganzer z. B. Windenergieanlagen/ -parks in Drittländer). Ein Pfandsystem würde diesen Aspekt der Weiternutzung im Ausland eher behindern.

Fazit

In der Tabelle 38 sind die beschriebenen Ableitungen in einer Übersicht zusammengefasst. Aktuell ist lediglich für die Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, die von Endnutzern problemlos entnehmbar sind, eine erhöhte Lenkungswirkung zu erwarten. Für dieses Cluster wäre aufgrund der bestehenden Vertriebsstruktur und der ähnlichen Bauformen der Batterien ein Pfandsystem denkbar. Aufgrund der langen Lebensdauer dieser Batterien ist ein Pfandsystem in Bezug auf die Erhöhung der Sammelmenge allerdings zeitversetzt zu sehen. Dies bedeutet, dass dadurch eine Kapitalbindung erfolgt. Ferner kann auf bereits in Verkehr gebrachte Batterien/ Produkte nachträglich kein Pfand erhoben werden, so dass eine noch eindeutigere Kennzeichnung der Pfandgüter sowie gezielte Aufklärungskampagnen von Nöten sein werden. Durch die lange Lebensdauer könnte außerdem ein zukünftig wachsender Gebrauchtgerätemarkt entstehen, der durch ein Pfandsystem je nach Ausgestaltung gehemmt werden kann. Gerade in Bezug auf Exporte von Gebrauchtgeräten würde dieses einen Pfandschlupf und eine Benachteiligung des Verkaufenden nach sich ziehen, sofern er den Pfandbetrag nicht auf den Verkaufspreis seiner gebrauchten Batterie oder auf das komplette Gebrauchtgerät aufschlagen würde.

Tabelle 38: Lenkungsbedürfnis für Industriebatterien und erzielbare Lenkungswirkung von Clustern

Cluster	Mengenpotenzial	Lenkungsbedürfnis	Lenkungswirkung	Wirkung auf Reduzierung von Bränden	Wirkung auf Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien	Wirkung auf Synergieeffekte der Sammelmenge von EAG
Eingebaute Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	1.360.000 (Jahr 2019)	Vorhanden. Aufgrund des Fehlverhaltens oder mangelndem Wissen der Endnutzer bei der Entledigung können Fehlwürfe der Batterie bzw. sogar des ganzen Produkts – da ein Fahrrad ohne elektrische Funktionen sowie auch ein E-Bike oder S-Pedelec grundsätzlich nicht dem ElektroG unterliegen – in andere Abfallströme (z.B. Sperrmüll oder Metallschrott) nicht ausgeschlossen werden, wodurch ein Lenkungsbedürfnis entsteht. Bei steigenden Rückgabemengen ggf. auch steigendes Lenkungsbedürfnis.	Erhöhte Lenkungswirkung. Pfandgut muss aber als solches klar identifiziert werden können, eindeutige Kennzeichnung auf Akku und Produkt/Gerät, rechtliche Abgrenzung und Definition der Verantwortlichkeiten innerhalb des Pfandsystems	+	+	0
Eingebaute E-Scooter Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar	Ca. 20.000 in Deutschland	Aktuell gering, Durch die fest verbaute Bauform ist die Batterie i.d.R. nur durch den Fachhandel bzw. eine Fachwerkstatt auszutauschen. In diesem Zuge ist das Lenkungsbedürfnis der Verbraucher und Verbraucherin als eher gering anzusehen, da die Wege des Austausches und der gekoppelten Entsorgung festgelegt sind. Bei steigender Rückgabemengen ggf. auch steigendes Lenkungsbedürfnis.	Aktuell eher geringe – lange Nutzungsdauer der Geräte stehen Pfandsystem entgegen.	0/+	0/+	+

Cluster	Mengenpotenzial	Lenkungsbedürfnis	Lenkungswirkung	Wirkung auf Reduzierung von Bränden	Wirkung auf Steigerung der Sammelmenge von Altbatterien	Wirkung auf Synergieeffekte der Sammelmenge von EAG
Eingebaute Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge	Ca. 700.000 Stück	Nicht vorhanden – gezielte Rückgabe über Handel, Werkstätten	Keine – unter Berücksichtigung des Abflusses an Gebrauchtfahrzeugen ist mit keiner relevanten Erhöhung der Rückgabemenge aufgrund eines Pfandsystems zu rechnen	0	0	0
Eingebaute sonstige Traktionsbatterien / FFZ	Ca. 20.000 in Deutschland	Eher nicht vorhanden – i.d.R. gezielte Rückgabe über Handel, Werkstätten	Ggf. minimale Auswirkungen – Pfandgut muss aber als solches klar identifiziert werden können, eindeutige Kennzeichnung	+	+	0
(Strom-)Speicherbatterien	Heimspeicher: ca. 60.000 (Jahr 2019) Dazu kommen mehrere 10.000 LIB in Gewerbe- und Großspeichern	Nicht vorhanden – gezielte Rückgabe über Hersteller, Fachhandwerk, Elektrofachhandel und vorrangig Weiterverwendung im Ausland aufgrund langer Lebensdauer	Keine – würde Weiternutzung hemmen, da eine direkte Vermarktung ins Ausland durch Endnutzer nicht möglich (je nach Ausgestaltung des Pfandsystems kein Pfandausgleich auf Verbraucher oder Handelsebene)	0	0	0

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

10 Fazit

10.1 Fazit Pfand auf LIB zur Vermeidung von Brandereignissen

Neben den technischen und organisatorischen Anforderungen, welche die Einführung eines Pfandsystems im Bereich LIB mit sich bringen (u. a. Fragestellungen zur automatisierten Rückgabe, Lagerung, Kennzeichnung) kann aus den Matrizen in Kapitel 9 geschlussfolgert werden, dass ein „einheitliches“ Pfandsystem für alle LIB-Arten (Industrie-, Geräte- und Fahrzeugbatterien) und (Ver-)Bauformen organisatorisch und praktisch aktuell nicht umsetzbar ist bzw. wäre. Die Komplexität eines solchen vollumfassenden Systems ist in der Organisation (notwendige Kennzeichnung, Clearingstelle, Pfandausgleich) und in der operationellen Umsetzung der Rücknahmeprozesse enorm hoch.

Folglich werden spezifische Pfandsysteme, die sich auf Gerätebatterien und Industriebatterien bzw. einzelne Produktgruppen (LIB Cluster für Geräte- und Industriebatterien, (Ver-)Bauformen und Anwendungsbereichen) konzentrieren, als am ehesten denkbar angesehen. Der Zielstellung entsprechend sind dies Teillösungen, die sich zur Reduzierung und Vermeidung von Brandereignissen sowie zur Erhöhung der Sammelmenge von LIB eignen.[60] Besonders herauszuheben ist, dass im Bereich der **Gerätebatterien** ein Lenkungsbedürfnis für alle Cluster ausgemacht wurde (vgl. Tabelle 37).

Sofern das Pfandgut als solches durch eindeutige Kennzeichnungen auf der Batterie und dem Gerät klar identifiziert werden kann, sind positive Auswirkungen zu erwarten.

Bei einer Einführung eines Pfandsystems für die Produktgruppen „lithiumhaltige nicht eingebaute Gerätebatterien (lose)“ sowie „Geräte mit eingebauten lithiumhaltigen Gerätebatterien“ wäre die vergleichsweise höchste Lenkungswirkung und somit Reduzierung der Brandgefahr zu erwarten. Im Fall der Geräte mit eingebauten Batterien müssten bei Ausgestaltung eines Pfandsystems auch die rechtlichen Regelungen des Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG) berücksichtigt und angepasst werden. Gleichzeitig ergäben sich zu erwartende Synergieeffekte: So besteht ein Potenzial, neben der Altbatteriesammelmenge auch die Sammelmenge von EAG zu steigern. Ein derartiges Pfandsystem, dem sowohl lose lithiumhaltige als auch eingebaute lithiumhaltige Gerätebatterien unterlägen, wäre in der praktischen Umsetzung komplex. Insbesondere die Pfanderhebung beim Inverkehrbringen, die technische Ausgestaltung der Rücknahme, welche praktikabel und verbraucherfreundlich ausgestaltet werden muss, sowie eine Kennzeichnung auf der Batterie und dem Gerät, um als Pfandgut klar identifizierbar zu sein, werden als besonders herausfordernd angesehen.

Bei Pfandsystemen, die nur auf spezifische Produktgruppen begrenzt werden (bspw. eingebaute Batterien in Elektrowerkzeugen und ITK-Geräten), bliebe die erzielbare Lenkungswirkung auf die vergleichsweise geringe Menge dieses Teilbereichs beschränkt. Zu erwarten wären in diesem Fall andauernde größere Diffusionen von LIB in nicht ordnungsgemäße Abfallströme.

Im Bereich der **Industriebatterien** wurde ein Lenkungsbedürfnis nahezu ausschließlich im Cluster „eingebaute Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar“ identifiziert. Aufgrund des Fehlverhaltens der Endnutzer, u.a. wegen mangelndem

[60] Es konnte nicht abschließend geklärt werden, welche LIB-Arten oder -Typen zu den Brandereignissen entlang der Entsorgungskette geführt haben. Insofern können mögliche benannte Teillösungen immanent nur begrenzt die geforderten Ziele, Reduzierung bzw. Vermeidung von Brandereignissen sowie eine relevante Erhöhung der Sammelmenge von LIB und in Synergie von LIB enthaltenden EAG, erfüllen.

Wissen hinsichtlich der Entsorgung, können Fehlwürfe von Batterien bzw. sogar von Geräten/ Produkten inklusive Batterien in andere Abfallströme nicht ausgeschlossen werden (z.B. Sperrmüll oder Metallschrott, da Fahrräder ohne elektrische Funktionen und E-Bikes oder S-Pedelecs grundsätzlich nicht dem ElektroG unterliegen). Um eine Lenkungswirkung zu erzielen, muss das Pfandgut als solches klar erkennbar sein. Ein Pfandsystem an dieser Stelle könnte die bereits etablierten und bekannten Strukturen hinsichtlich ihrer Effizienz verbessern und voraussichtlich zu einer erhöhten Lenkungswirkung bzgl. der Rückgabe und Steigerung der Sammelmenge führen.

Zudem besteht ein geringes Lenkungsbedürfnis für „eingebaute E-Scooter Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar". Durch die feste Verbauung kann die Batterie in der Regel nur durch den Fachhandel bzw. eine Fachwerkstatt ausgetauscht werden. Die Wege des Austausches und der gekoppelten Entsorgung sind dadurch größtenteils vorbestimmt und etabliert. Im Falle der Entsorgung des ganzen Geräts, statt nur dem Austausch der Batterie, besteht die Gefahr einer Fehlzuweisung zu einem falschen nicht-ElektroG-konformen Abfallstrom. Das Lenkungsbedürfnis der Verbraucherinnen und Verbraucher ist daher als gering anzusehen. Bei steigenden Mengen kann das Lenkungsbedürfnis. ggf. zunehmen. Bei der Einführung eines Pfandsystems wäre eine rechtliche Anpassung des ElektroG sowie eine eindeutige Kennzeichnung und Abgrenzung zu anderen Produkten mit wechselbaren Batterien notwendig. Die aktuell geringe Mengenrelevanz in Bezug auf die Rücknahme sowie bereits bestehende Rücknahmelösungen schaffen daher eine Ausgangslage, die lediglich eine Optimierung, d.h. eher geringfügige Lenkungswirkungen erwarten lässt.

Für „Eingebaute Traktionsbatterien für Elektro- und Hybridfahrzeuge", „Eingebaute sonstige Traktionsbatterien / FFZ" und „Energiespeichersysteme" wurde kein gesondertes Lenkungsbedürfnis erkannt. Sowohl der Erwerb als auch die Entsorgung sind vorgezeichnet, da die Batterie mit dem Fahrzeug erworben oder geleast wird. Der Austausch erfolgt nahezu ausschließlich über Fachwerkwerkstätten ggf. via Marke und/ oder Vertreiber. Bei einem Pfandsystem für diese Cluster wäre daher keine erhöhte Lenkungswirkung zu erwarten.

Bezugnehmend auf die Aufgabenstellung, wonach drei Optionen zur Weiterführung der Untersuchung gegeben sind,

- wird die Option 0 – kein Pfand auf LIB als nicht förderlich erachtet, weil dadurch die grundsätzlich verbesserungswürdige Ausgangssituation erhalten bliebe
- wird die Option 1 – ein Pfand auf sämtliche LIB (Industrie-, Geräte- und Fahrzeugbatterien) – als organisatorisch und praktisch aktuell nicht umsetzbar angesehen;
- wird insbesondere die Option 2 – ein Pfand auf ausgewählte LIB, z. B. „lithiumhaltige nicht eingebaute Gerätebatterien (lose)", „in Elektro(nik)geräte eingebaute lithiumhaltige Gerätebatterien" und auch haushaltsnahe Industriebatterien, speziell „eingebaute Elektrofahrrad Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar" – als vorstellbar angesehen. Eine Einführung von Pfandsystemen in diesen Teilsegmenten könnte hinsichtlich der Zielstellungen – Vermeidung von Diffusion in anderweitige Abfallströme zur Reduzierung von Brandereignissen, der Steigerung der Sammelmenge von LIB sowie von EAG, in denen LIB verbaut sind – positive Auswirkungen entfalten und wäre im Ergebnis geeignet, die Projektziele in gewissem Maße zu unterstützen.

Nach Vorstellung und gemeinsamer Diskussion mit dem Bundesumweltministerium und dem Umweltbundesamt werden nachfolgend weitere Handlungsempfehlungen, mögliche Maßnahmen sowie Alternativlösungen zur Zielerreichung dargestellt (kein Pfandsystem), die ebenfalls eine positive Wirkung auf eine zielgerichtete Erfassung von LIB haben (könnten).

10.2 Mögliche Pfandhöhen auf LIB in ausgewählten Teilsegmenten

Tabelle 39 listet vorgeschlagene und diskutierte Pfandhöhen auf Batterien bzw. Produkte/Geräte aus Studien, Praxisbeispielen und Verbändepositionen vergleichend auf und stellt sie den Produktkosten der Batterie bzw. des batteriehaltigen Produkts/Geräts sowie einem denkbaren Pfandhöhenbereich je Batteriecluster, für das ein Pfand denkbar wäre, gegenüber.

Tabelle 39: Gegenüberstellung von Pfandhöhen, Produktkosten und möglichen Pfandhöhenbereichen je vorgeschlagenem Batteriecluster

Cluster	Beispiele für Pfandhöhen aus Studien, der Praxis, Verbändepositionen etc.	Kosten der Batterie/ Akku	Kosten des Produkts/Geräts	denkbarer Pfandhöhenbereich für mögl. Umsetzung
Kleine bis mittelgroße Gerätebatterien, nicht eingebaut (lose)	0,10 - 0,50 €[61]	0,80 - 3,00 €	Unabhängig davon	0,15 - 0,50 €
Elektro(nik)geräte mit eingebauten Batterien, von Endnutzern nicht problemlos entnehmbar	10,00 - 50,00 €[62]	Nicht bestimmbar; abhängig von Batterieart und -typ	20,00 - 1.350,00 €	10,00 - 50,00 €
In ITK-Geräten eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	10,00 - 15,00 €[63]	20,00 - 30,00 €	108,00 - 650,00 €[64]	10,00 - 15,00 €
In Elektrowerkzeugen eingebaute Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	20,00 €[65]	20,00 - 150,00 €	30,00 - 300,00 €	10,00 - 20,00 €
Eingebaute Elektrofahrrad-Batterien / E-Scooter Batterien, von Endnutzern problemlos entnehmbar	50,00 €[66]	220,00 - 1.250,00 €[67]	349,00 - 15.000,00 €[68]	50,00€

Quelle: eigene Darstellung, cyclos GmbH

Die denkbaren Pfandhöhen orientieren sich an den bereits öffentlich vorgeschlagenen und diskutierten Pfandhöhen, die in Bezug auf die Produktkosten als vorstellbar angesehen werden. Für kleine bis mittelgroße lose Gerätebatterien bildet die denkbare Pfandhöhe einen relevanten Anteil der Batteriekosten ab und liegt höher als der materielle Wert, den die Altbatterie noch hat. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass, vergleichbar zu dem Flaschenpfand, eine erhöhte Rückführung zu erwarten ist. Neben der Pfandhöhe ist für dieses Cluster besonders die Erreichbarkeit der Rückgabemöglichkeit und einfache Umsetzung der Rückgabe durch Verbraucherinnen und Verbraucher das entscheidende Merkmal bzgl. der Lenkungswirkung.

[61] Quelle: [Ökoinstitut, 2021]
[62] Quelle: [UBA, 2021b]
[63] Quelle: [Ökoinstitut, 2021]
[64] Quelle: [Kluczniok, J., Schuiszill, D., 2022]
[65] Quelle: [Ökoinstitut, 2021]
[66] Quelle: [Ökoinstitut, 2021]
[67] Quelle: [Escooterblog, 2021], [Akkuman, n.y.]
[68] Quelle: [Fahrrad XXL, n.y.]

Für alle anderen Cluster, die höherpreisige LIB repräsentieren, orientiert sich die mögliche Pfandhöhe umgekehrt an einer zumutbaren Belastung durch Verbraucherinnen und Verbraucher in Relation zu den Elektro(nik)geräten in deren Kontext diese LIB erworben werden. Insofern stellt die Empfehlung dieser Pfandhöhen einen ökonomischen Kompromiss dar von dem ausgegangen wird, dass Verbraucherinnen und Verbraucher diesen weitestgehend tragen können.

10.3 Weitere Handlungsempfehlungen, Maßnahmen und Alternativen zur Fortentwicklung der Sammlung von LIB

Nachfolgend werden Handlungsempfehlungen, Maßnahmen und mögliche Alternativen neben einem Pfand zur Fortentwicklung der differenzierten Sammlung von LIB ausgeführt, die zum Ziel haben, die nicht sachgerechte Erfassung von LIB zu reduzieren und den Umgang mit LIB in den Prozessen der Abfallerfassung, -transport und -behandlung zu verbessern.

Zu diesen Zwecken der sicheren Erfassung von und des sicheren Umgangs mit LIB in Entsorgungsprozessen hat sich ebenfalls ein Zusammenschluss aus der Praxis[69] zusammengefunden, um auf Grundlage von Befragungen mit Expertinnen und Experten, Konsultationen und Literaturrecherchen akteursspezifische Empfehlungen und Umsetzungsvorschläge („good practices“) zu entwickeln und zu adressieren, hinsichtlich der Verringerung LIB-begründeter Brandereignisse. Der im Juli 2021 veröffentlichte Bericht des Zusammenschlusses „Recommendations for tackling fires caused by Lithium batteries in WEEE” von Herreras-Martinez et al., 2021 beschreibt im Detail Hintergründe und verortet die Empfehlungen entlang der Kette vom Inverkehrbringen bis zur Entsorgung, wie auch in Tabelle 40 dargestellt. Die Umsetzung der Empfehlungen richtet sich sowohl an Hersteller, Erfasser und Transporteure sowie Vor- und Letztbehandler von Batterien und Akkumulatoren als auch Systeme zur Umsetzung der Produzentenverantwortung, lokale Entitäten und den Gesetzgeber.

Tabelle 40: Liste und Verortung von Empfehlungen zur Verringerung von Brandereignissen

	Design	Collection	Logistics	Pre-treatment	Final treatment	Local entities	PROs	Policy makers
Labelling of EEE	+							
Improved design of EEE containing batteries	+							
Improved design of batteries	+							
Sorting of WEEE containing LBs at collection facilities. Proper handling.		+						
Removal of batteries from WEEE at		+						

[69] Diesem Zusammenschluss wohnten bei: European Recycling Industries' Confederation (EuRIC), European Electronics Recyclers Association (EERA), European association of national collection schemes for batteries (Eucobat), eine in Frankreich akkreditierte non-profit Organisation zur Umsetzung der Produzentenverantwortung (ecosystem), Municipal Waste Europe (mwe – European umbrella association representing public responsibility for waste, weeeforum (international association representing forty-three producer responsibility organisations) und WEEELABEX (international non-profit legal entity, that sets up qualification auditors in the WEEELABEX standards) mit seinen zugehörigen Unterorganisationen.

	Design	Collection	Logistics	Pre-treatment	Final treatment	Local entities	PROs	Policy makers
collection facilities. Proper handling.								
Dedicated receptacles for WEEE containing LIBs		+	+	+				
Dedicated receptacles for LIBs		+	+	+	+			
Emergency measures at colletion facilities: fire prevention, detection and mitigation		+						
WEEE disposal at specific retail colletion points		+						
Receptacles for retail collection points		+						
Specific training to staff | Logistics			+					
Operational measures. Prevention of fires | Logistics			+					
Emergency measures and infrastructure at logistics facilities. Fire detection and extinguishing			+					
Specific receptacles for WEEE containing LBs and LBs | Logistics			+					
Specific training to staff | Pre-treatment				+				
Operational measures. Prevention of fires | Pre-treatment				+				
Emergency measures and infrastructure at pre-treatment facilities. Fire detection and extinguishing				+				
Specific receptacles for WEEE containing LBs and LBs | Pre-treatment				+				

	Design	Collection	Logistics	Pre-treatment	Final treatment	Local entities	PROs	Policy makers
Specific training to staff | Final treatment					+			
Operational measures. Fire prevention | Final treatment					+			
Emergency measures and infrastructure at final treatment facilites. Fire detection and extinguishing					+			
Specific receptacles for LBs | Final treatment					+			
Data collection on fires caused by WEEE containing LBs and LBs | PROs							+	
Specific conditions in contracts with waste management companies | PROs							+	
Enforce and raise awareness on prevention, detection and extinguishing of fires						+	+	
Data collection on fires caused by WEEE containing LBs and single LBs								+
Address insurance coverage to waste management facilities				+	+			+

Quelle: Herreras-Martinez et al., 2021

Die Einführung eines Pfandes, wie im hier vorliegenden UBA-Sachverständigengutachten diskutiert und analysiert wurde, war nicht Bestandteil der Empfehlungen nach Herreras-Martinez et al., 2021. Vielmehr zielen die in Tabelle 40 aufgeführten Empfehlungen auf die Verbesserung bestehender Praktiken ab und können auch in Bezug auf die in Deutschland bestehenden Herausforderungen Anwendung finden.

Im Einzelnen werden in der Studie „Recommendations for tackling fires caused by Lithium batteries in WEEE“ nach Herreras-Martinez et al., 2021 konkret vorgeschlagen:

Design und Inverkehrbringen

- Kennzeichnung von Elektro(nik)geräten, die LIB enthalten – Empfehlungen: Bereitstellung von Verbraucherinformationen und Informationen für beteiligte Akteure entlang der Ent-

sorgung- bzw. Verwertungskette; perspektivisch Initiierung eines EU geförderten Pilotprojektes in Kooperation zwischen Herstellern und der Entsorgungswirtschaft sowie freiwilligen Initiativen und Bereitstellung von Informationen an die Entsorgungswirtschaft über die I4R Plattform.[70]

- Verbessertes Produktdesign von Elektro(nik)geräten, die LIB enthalten – Empfehlungen: einfache manuelle Entnahme durch den Endnutzer ggf. ohne oder mit allgemein verfügbarem Werkzeug; Substitution von fest verbauten LIB durch entnehmbare/ austauschbare LIB; perspektivische Revision der europäischen WEEE- und Batterie-Richtlinie mit einheitlichen EU-weiten Vorgaben bzgl. der leichten Entnehmbarkeit/ Austauschbarkeit von Batterien.
- Verbessertes Produktdesign von LIB – Empfehlungen: u.a. Entwicklung nicht-entflammbarer, thermisch stabiler Elektrolyte und/oder Kathoden; perspektivische Revision der europäischen Batterie-Richtlinie mit einheitlichen EU-weiten Vorgaben bzw. Aufnahme solcher Anforderungen im Rahmen der CE-Kennzeichnung und CENELEC Standards.

Erfassung

- Getrennte Erfassung von Elektroaltgeräten, die LIB enthalten, von anderen Abfallströmen sowie von bereits getrennt erfassten batteriefreien Elektroaltgeräten.
- Vermeidung bzw. Reduzierung möglicher LIB-beschädigender mechanischer Einflüsse während Lagerung, Handling, Transport und Verladung von LIB bzw. batteriehaltigen Elektroaltgeräten
- Aufklärung und Sensibilisierung der Akteure entlang der Entsorgungskette von Batterien, Elektroaltgeräten und anderen Abfallströmen (u.a. Verbraucherinnen und Verbraucher, Personal an Sammel- und Rücknahmestellen, Personal in Abfallsortier- und -behandlungsanlagen) bzgl. Risiken und Gefahren die von (falsch entsorgten) LIB ausgehen können
- Transparenz gegenüber den Verbraucherinnen und Verbrauchern über Vereinbarungen zwischen System, das für die Umsetzung der Produzentenverantwortung zuständig ist, und dem Handel

Sortierung, Entnahme, Lagerung

- Empfehlungen zum Umgang mit LIB enthaltenden Elektro(nik)geräten bei Sortierung von Elektro(nik)altgeräten, Entnahme von LIB sowie Lagerung (durch z.B. Training und Informationsbereitstellung)
- Bereitstellung geeigneter, ADR konformer Behältnisse für den Transport.
- Systeme zur Branderkennung, -vermeidung und -bekämpfung (Risikoanalyse, Notfallpläne, ggf. Akkreditierung in Kooperation mit Kommunen und Feuerwehren).

Generelles Mitarbeitertraining

- in Zusammenarbeit mit Systembetreibern zur Umsetzung der Produzentenverantwortung bezüglich Identifikation von LIB und Elektroaltgeräten, die LIB enthalten, Handling, geeignete Sammel- und Lagerbehälter, Verladung und Transport sowie Sicherheitsanweisungen, insbesondere im Brandfall,

[70] Verfügbar unter: https://i4r-platform.eu/.

Maßnahmen zur Brandvermeidung beim Umgang mit LIB und EAG, die LIB enthalten

- Organisatorische Maßnahmen:
  - Protokolle/Standards zur geeigneten Verladung und Sicherung von LIB enthaltenden EAG
  - Vertragliche Vereinbarungen/Klauseln zur Gewährleistung der Übereinstimmung mit ADR Vorgaben
  - Zertifikate/Lizensierungen über regelmäßige Trainings von betroffenen Mitarbeitern
  - Erstellung und Training für Notfallpläne unter Einbindung der örtlichen Feuerwehr
- Operationelle Maßnahmen:
  - Transport in geeigneten, feuerfesten Behältnissen
  - Kürze Abholrhythmen, um Lagermenge gering zu halten
  - Frühzeitige Isolierung beschädigter LIB
  - Regelmäßige Inspektionen an Anlagen und Abgleich, der Menge mit vorzuhaltenden Brandbekämpfungsmaßnahmen
  - Geeignete Lagerung, u.a. getrennt von anderen Abfallfraktionen (z.B. Brandschutzwände), überdacht, grundsätzlich geringe Lagermengen anstreben, Raucherkennungssysteme, Temperaturmessungen, Zugänglichkeit für Brandbekämpfung gewährleisten
  - Geeignete Abladung, u.a. schonende Abladung, Bereitstellung eines Greifers zur Separierung von Brandherden

Die genannten Maßnahmen stellen einen Auszug der benannten Studie dar, deren Empfehlungen auf praktischen Ebenen (Erfassung, Verladung, Lagerung, Behandlung) für separate LIB wie auch LIB enthaltende EAG gleichermaßen Anwendung finden können.

Insofern ist die **Handlungsempfehlung, unabhängig davon, ob ein Pfandsystem eingeführt wird oder nicht:** diese zuvor aufgeführten Maßnahmen mit der bestehenden Regelsetzung in Deutschland zu vergleichen, Lücken bzw. sinnvoll zu ergänzende Maßnahmen zu identifizieren und einzuführen sowie die Umsetzung bzw. das Vorhalten von Brandvermeidungs- und Brandbekämpfungsmaßnahmen zu prüfen und/oder stärker in bestehenden Zertifizierungen und Auditierungen abzubilden.

10.3.1 Organisatorische Maßnahme

Schadensfälle/Brandereignisse zentral melden und erfassen

Aus den Erkenntnissen bei der Auswertung von Schadensereignissen bei der Abfallentsorgung wurde ersichtlich, dass nur in Ausnahmefällen eine abschließende Zuordnung auf den brandauslösenden Gegenstand ermittelt werden konnte. Zwar steht oftmals die Vermutung im Raum, dass Schadensereignisse von LIB ausgelöst wurden, allerdings ist in diesen Fällen meist nicht bekannt, welcher Art bzw. welchen Typs die jeweilige LIB war. Für die Umsetzung gezielter Maßnahmen bei der Rückgabe und Erfassung (z.B. durch ein Pfandsystem oder spezifischen Branchenlösungen) ist eine Erkenntnis darüber essentiell. Daher wird empfohlen, ein zentrales Meldesystem zu errichten, an das Akteure der Abfallentsorgungsbranche (Sammel- und Rücknah-

mestellen, Abfallsortier-, -behandlungs- und -recyclinganlagen) solche Schadensereignisse melden können und aus denen mittelfristig Muster erkennbar sind. Grunddaten bei dieser Meldung sollten mindestens sein: betroffener Abfallstrom, Ort / Prozess an/ bei dem das Ereignis ausgelöst wurde, Brandklasse, vermutete Ursache, betroffener Betrieb und Ansprechpartner und Ansprechpartnerinnen.

10.3.2 Technische Maßnahmen

Ordnungsgemäße Erfassung von batteriehaltigen Elektro(nik)altgeräten an Wertstoffhöfen

Die Umfrage zu Schadensereignissen (vgl. Kapitel 6) hat gezeigt, dass Schadensereignisse überwiegend in EBA für Elektro(nik)altgeräte auftreten. Weiterhin treten die Schadensereignisse gehäuft in Lagerbereichen und hier insbesondere bereits im Eingangslager auf. Die Schwerpunktinterviews mit Erstbehandlungsanlagen ergaben, dass die separate Erfassung von batteriehaltigen Elektro(nik)altgeräten an Wertstoffhöfen nicht flächendeckend umgesetzt ist. Die Befüllung von Behältnissen muss an allen Wertstoffhöfen so umgesetzt sein, dass batteriehaltige Elektro(nik)altgeräte separat erfasst werden. Dies ist vom Personal des Wertstoffhofs zu kontrollieren. Selbiges gilt für das Entfernen von nicht vom Altgerät umschlossenen Batterien.

Ordnungsgemäße Behandlung bei und durch Erstbehandlungsanlagen für EAG

Die Anlieferung der ordnungsgemäß erfassten Elektro(nik)altgeräte muss sachgemäß erfolgen. Die Entfrachtung von Batterien hat zu erfolgen, bevor Altgeräte mechanische Prozesse (Schrottscheren, Vorbrecher, Zerkleinerungsaggregate) durchlaufen, bei denen die Batterie beschädigt werden könnte.

Technische Maßnahme: Brandbekämpfungsmaßnahmen

Erstbehandlungsanlagen haben ein Betriebshandbuch zu erstellen [vgl. auch LAGA M 31 A]. In diesem Betriebshandbuch sind „für den Normalbetrieb, für den Umgang mit bestimmten EAG und Abfallarten, für die Instandhaltung und für Betriebsstörungen die für eine ordnungsgemäße Entsorgung der EAG sowie die Betriebssicherheit und den Arbeitsschutz erforderlichen Maßnahmen festzulegen. Diese sind mit Brandschutz-, Alarm- und Maßnahmenplänen abzustimmen.“

10.3.3 Rechtliche Maßnahmen

Differenzierte Regelungen für LIB in BattG und ElektroG

Sowohl BattG und ElektroG sowie die zugehörigen Mitteilungen 31 A und B der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall zum Vollzug des ElektroG [LAGA M 31 und B] geben Informationen und Regularien für den Umgang mit Batterien allgemein (und deren Rückführungssystematik) und im Besonderen auch zu LIB und deren Gefahrenpotential.

Die LAGA M 31 B spricht beispielsweise die Brandgefährlichkeit von in EAG enthaltenen Stoffen und Bestandteilen an. Aus der Mitteilung hervorzuheben ist, die benannte Erforderlichkeit einer eigenen Abfallschlüsselnummer nach AVV für LIB; es heißt: „Die AVV enthält keinen eigenen gefährlichen AS für Lithiumbatterien sowie keine entsprechenden Spiegeleinträge. Deformierte, defekte oder beschädigte Lithiumbatterien verfügen aber über ein hohes Gefährdungspotential (Brand).“

Ferner führt die LAGA M 31 B folgende Klarstellung aus bzw. weist deutlich auf rechtliche Grundlagen hin: „Auf Grund ihres batterieimmanenten Risikos sind Lithiumbatterien als Gefahrgut der Klasse 9 eingestuft. Es gelten insofern die Anforderungen nach Gefahrgutrecht. Bei grenzüberschreitender Verbringung sind Lithiumbatterien unabhängig vom Basel-Code notifizierungspflichtig." Es besteht Abgabepflicht für die durch Erstbehandlungsanlagen aus Altgeräten entfernten Gerätebatterien an die Rücknahmesysteme für Gerätebatterien.

Zur Erfüllung der bestehenden Rücknahmepflichten gemäß § 5 BattG hat jeder Hersteller von Gerätebatterien oder dessen Bevollmächtigter ein eigenes Eigenrücknahmesystem für Geräte-Altbatterien einzurichten und zu betreiben, welches vorher durch die stiftung ear genehmigt werden muss. Dabei können mehrere Hersteller (bzw. Bevollmächtigte) bei der Einrichtung und dem Betrieb ihres Eigenrücknahmesystems mit der Beauftragung eines gemeinsamen Dritten zusammenwirken. Zudem können sich Hersteller zur Erfüllung der Rücknahmepflicht für Gerätebatterien einem genehmigten Eigenrücknahmesystem anschließen. Für die Rücknahmesysteme von Geräte-Altbatterien gelten Dokumentations- und Mitteilungspflichten (Erfolgskontrolle gemäß § 15 BattG) sowie eine gesetzlich vorgegebene Mindestsammelquote für Gerätebatterien, die jedes Rücknahmesystem erreichen muss. Anhand dieser Erfolgskontrolle lassen sich Aussagen über die Effizienz der Rücknahme von Gerätebatterien ableiten. Da für Hersteller von Fahrzeug- und Industriebatterien keine Beteiligungspflicht an einem Rücknahmesystem existiert und abweichende Mitteilungspflichten gelten, ist es dagegen schwerer Aussagen über die Effizienz der Erfassung von Fahrzeug- und Industriebatterien zu treffen. Vergleichbare Herausforderungen bestehen auch bei der Rücknahme von sog. b2b-Geräten im Rahmen des ElektroG und Industrie- bzw. Gewerbeverpackungen. Für letztere gibt es Überlegungen, diese in eine vergleichbare Dokumentationssystematik wie Haushaltsverpackungen zu überführen, was in Analogie auch für b2b-Geräte gemäß ElektroG und Fahrzeug- und Industriebatterien gelten kann.

Grundsätzlich fehlen im BattG differenzierte rechtliche Auslegungen und Regelungen die das Gefahrenpotenzial der LIB gesondert berücksichtigen. An den Umgang mit LIB sollten daher klare Verantwortlichkeiten, unterteilt in die einzelnen Prozesse des Inverkehrbringens, der Erfassung und Verwertung, geknüpft sein. Die Vorgaben sollten zudem sanktioniert werden können.

10.3.4 Kommunikative Maßnahmen

Verbrauchersensibilisierung- und Lenkung durch Anreize, „Abschreckung" und Kommunikation

Verbraucherinnen und Verbraucher spielen eine zentrale Rolle hinsichtlich der Wahl des korrekten und ordnungsgemäßen Entsorgungspfads von LIB. Eine Lenkung von LIB in den korrekten Abfallstrom kann auch durch Anreize oder Sensibilisierungsmaßnahmen („Abschreckung"), wie sogenannte Bonus- oder Malussysteme sowie über Kommunikationsmaßnahmen gesteuert werden.

Bonussysteme für Verbraucherinnen und Verbraucher sind in der Regel nicht rechtlich geregelt. So können herstellerspezifische Lösungen (z.B. Tausch, Prämie bei Abgabe und Neukauf, Rabatt) einen ökonomischen Anreiz schaffen, dass mehr LIB ordnungsgemäß abgegeben werden. Als Alternative zu herstellerspezifischen Lösungen könnte eine Fondslösung dienen.

Fondslösung: Wie das Beispiel der Fondlösung für Dänemark im Kapitel 3.2.2 verdeutlicht, kann durch eine solche Finanzierungssystematik ein ökonomisches Anreizsystem zur Erhöhung der Sammlung von LIB grundsätzlich erreicht werden.

Die Idee für dieses Modell ist, dass die Erfassung und Verwertung von LIB über einen zentralen Fonds gesteuert wird. Hierzu gibt es ein zentrales Register, welches gleichzeitig Verwalter dieses Fonds ist.

Alle verpflichteten Hersteller und Importeure von LIB (unabhängig davon ob die LIB im Gerät eingebaut oder lose sind) müssen sich demnach bei diesem Register registrieren lassen und für ihre in Deutschland in Verkehr gebrachten LIB einen festgelegten Betrag zahlen, der nach festzulegenden Kriterien gestaffelt sein kann. Dieser Ansatz folgt dem Prinzip der erweiterten Produktverantwortung.

Aus diesem Fonds werden Beträge je nachgewiesenem Sammel- und/oder Verwertungserfolg (pro kg, pro Tonne) ausbezahlt. Je nach Höhe des Auszahlungsbetrags resultiert dadurch die Stärke der finanziellen Anreizsetzung in Erfassung und/oder Verwertung. Teilnehmende (Erfasser und/oder Verwerter) müssen hierzu ebenfalls registriert und deren Eignung und Leistungsfähigkeit nachgewiesen sein (z.B. im Rahmen von Zertifizierungen). Die Erstellung eines nachvollziehbaren Mengenstromnachweises ist obligatorisch. Ferner sind Methoden zur Abgrenzung „nicht auszahlungswürdiger" LIB (z.B. aus dem Ausland) zu entwickeln, weshalb auch eine Kennzeichnung der LIB zielführend wäre.

Ein solches Fondssystem könnte auch an eine direkte Prämie an die abgebenden Verbraucherinnen und Verbraucher gekoppelt sein, um auch in dieser Schnittstelle direkte Anreize zu setzen. In diesem Fall ist festzulegen, ob diese Prämien über die Beträge an Erfasser kompensiert werden sollen oder Rückgabestellen entsprechend direkt finanziell ausgeglichen werden. Letzteres erfordert die direkte Einbindung dieser zahlreichen Rückgabestellen in das Fondsystem mit einhergehender höherer Komplexität.

Bei diesem Fondsmodell ist zu beachten, dass in Deutschland sehr restriktive kartellrechtliche Vorgaben zu berücksichtigen sind. Diese können dazu führen, dass ein solches Modell in Deutschland – anders als in anderen europäischen Ländern – nicht oder nur unter sehr strengen Auflagen realisiert werden kann.

Umgekehrt, im Sinne eines **Malussystems**, ist die Getrennterfassungspflicht gemäß § 11 BattG nicht bußgeldbewährt. Auch wenn der Vollzug an dieser Stelle nicht umfassend und mitunter sehr aufwändig sein kann, wäre aufgrund des besonderen Gefährdungspotentials eine mögliche Regelung als Sensibilisierung bzw. „Abschreckung" anzudenken. So wird beispielsweise in vielen Kommunen Littering entsprechend bestraft. Ergänzend dazu, könnte der in Abbildung 41 dargestellte Warnhinweis demnach mit einem noch deutlicheren Hinweis über das Bußgeld erweitert werden.

Mit der Novelle des ElektroG konkretisiert der Gesetzgeber, dass gemäß § 4 Abs. 4 ElektroG jeder Hersteller Elektro- und Elektronikgeräten, die eine Batterie oder einen Akkumulator enthalten, Angaben beizufügen hat, welche den Endnutzer über den Typ und das chemische System der Batterie oder des Akkumulators und über deren sichere Entnahme informieren. Dies wird voraussichtlich über Gebrauchs- und Entsorgungshinweise erfolgen, nicht aber über das Gerät oder die Batterie selbst (hier wäre eine „Kenntlichmachung von LIB" (siehe nachfolgende Kommunikationsmaßnahmen) eine ergänzende und unterstützende Maßnahme). Die Getrennterfassungspflicht und Entnahmepflicht von nicht umschlossenen Batterien durch den Letztbesitzer nach § 10 ElektroG ist wie die Getrennterfassungspflicht nach BattG nicht bußgeldbewährt.

Gezielte Kommunikationsmaßnahmen, die bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern ansetzen, können über das Gefahrenpo-

tential von LIB aufklären und sensibilisieren und zur Verbesserung der Entsorgungssituation beitragen.

Verbraucheransprache (z.B. Kampagne des BDE „Brennpunkt: Batterie“): Der Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft (BDE) beispielsweise hat im Juli 2020 eine bundesweite Kampagne „Brennpunkt: Batterie“ gestartet. Zum Maßnahmepaket gehörte eine bundesweite Aufkleberaktion (Warnsticker), um Fehlwürfe von LIB in falsche Abfallströme einzudämmen und auf die richtigen Entsorgungswege aufmerksam zu machen. Die auffällig gestalteten Aufkleber signalisieren, dass eine falsch entsorgte Batterie nicht nur für das Personal von Entsorgungsbetrieben, sondern auch für die Verbraucherinnen und Verbraucher selbst gefährlich werden kann (siehe Abbildung 41). Zu den weiteren Maßnahmen der Initiative gehörten unter anderem ein Aufklärungsvideo mit Hinweisen zur richtigen Entsorgung von Lithium-Ionen-Batterien sowie eine Social-Media-Kampagne. Eine verstärkte Aufklärung kann dabei helfen die Verbraucherinnen und Verbraucher für die Thematik zu sensibilisieren.

Abbildung 41: „Warnsticker“ der BDE Kampagne „Brennpunkt: Batterie“

Quelle: https://www.bde.de/themen/brennpunkt-batterie/

Ansprache von (Mitarbeitenden bei) örE (z.B. Kampagne des VKU, der stiftung ear und des ZVEI): Schulungen für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Wertstoffhöfen und anderen personenbetreuten Sammel- und Rücknahmestellen sind ein zentraler Ansatzpunkt hinsichtlich der korrekten Erkennung und Erfassung von batteriehaltigen Elektro(nik)altgeräten. Beispielsweise hat der Verband kommunaler Unternehmen (VKU) in Zusammenarbeit mit der stiftung ear und dem ZVEI ein Schulungsvideo sowie einen Leitfaden erstellt, welche erläutern, wie batteriebetriebene Elektro(nik)altgeräte zu identifizieren sind, welche Batterien aus ihnen zu entnehmen sind und wie Elektro(nik)altgeräten und Batterien den korrekten Sammelbehältnissen zuzuordnen sind [VKU, 2020].

Aufmerksamkeit auf LIB lenken / Kenntlichmachung von LIB („roter Punkt“): Eine „besondere“ Kennzeichnung – z.B. eindeutige und auffällige Warn- und/oder Entsorgungshinweise, kurz „roter Punkt“ – direkt auf der LIB sowie auf LIB-betriebenen/-haltigen Elektrogeräten erregt Aufmerksamkeit und kann eine lenkende Wirkung aus Verbraucherinnen und Verbraucher haben sowie auch Erfassern und Transporteuren von EAG und/oder Batterien schnell und eindeutig das Vorhandensein von LIB anzeigen. Dies wäre u.a. hilfreich bei der Erfassung von batteriehaltigen Geräten beim örE und ermöglicht darüber hinaus eine größere Trennschärfe. Eine solche einheitliche Symbolik ist komplementär zu z.B. Verbraucherhinweisen auf Sammelbehältnissen, in denen LIB nicht eingeworfen werden dürfen.

Um eine solche Kennzeichnung mit einer erzielbaren Wirkung umsetzen zu können, sollte diese verpflichtend sein (vgl. auch Kennzeichnungspflicht von Batterien und Elektro(nik)geräten mit dem Symbol der durchgestrichenen Mülltonne) und bedarf daher einer rechtlichen Gesetzesanpassung, im optimalen Fall europaweit. Eine gesonderte Kennzeichnung wäre auch bei Einführung des Bonussystems „Fondslösung“ sowie bei „Branchenlösungen für ausgewählte LIB“ hilfreich und zielführend.

10.3.5 Systemische Maßnahmen

Branchenlösungen für ausgewählte LIB

Branchenlösungen für bestimmte Cluster von LIB sind in Deutschland bereits am Markt etabliert. Vor knapp 10 Jahren hat z. B. GRS Batterien (GRS) in Zusammenarbeit mit dem Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) eine Branchenlösung für die flächendeckende Rücknahme von E-Fahrrad Antriebsbatterien entwickelt. Die Rücknahme für dieses Segment der LIB ist klar definiert, sodass über eine Branchenlösung die Rücknahme der Altbatterien und die anschließende ordnungsgemäße Entsorgung strukturiert erfolgen kann. Gerade vor dem Hintergrund der Fragestellung (Eindämmung von Brandereignissen) gewährleisten Branchenlösungen eine sichere Sammlung über den Transport bis hin zur Verwertung, da erforderliche Sicherheitsanforderungen durch den Anbietenden erfüllt werden. Dieser Service, ist für die rücknehmenden Vertreiber kostenlos, sodass sich die zusätzlichen Aufwände für die Rücknahme auf ein Minimum begrenzen. Die Bereitstellung der benötigten Sammelbehälter erfolgt durch das Rücknahmesystem, die Finanzierung über die partizipierenden Hersteller. Eine auf mehr Rücklauf von Altbatterien abzielende Verbraucheraufklärung wäre unterstützend notwendig. In diesem Zusammenhang sollten den Verbraucherinnen und Verbrauchern die Rücknahmewege von LIB transparent aufgezeigt werden. Die Branchenlösung könnte so eine größere Lenkungswirkung erzielen und möglicherweise eine gute Alternative zu einem Pfandsystem sein.

10.3.6 Erweiternde Maßnahmen

Intensivierung der ordnungsgemäßen Erfassung von LIB durch bereits bestehende Strukturen

Zur Vermeidung von Diffusionen von LIB in falsche nicht ordnungsgemäße Abfallströme sollte die Möglichkeit zur getrennten Entsorgung so früh und komfortabel wie möglich für Verbraucherinnen und Verbraucher möglich sein.

Geschehen könnte dies durch die Intensivierung der Erfassung von LIB via Schadstoffmobil (höhere Regelmäßigkeit, verbrauchernah) oder auch die Prüfung einer Möglichkeit der getrennten Haushaltsabholung. Hierfür müssten zusätzlich einzuhaltende Entsorgungsanweisungen kommuniziert werden, um nicht das Gefahrenpotential beim privaten Haushalt zu erhöhen; zudem ist die ADR-Konformität zu berücksichtigen.

Thekenmodelle am Wertstoffhof könnten die gezielte Rücknahme von LIB und batteriehaltigen EAG sowie die sichere Zuführung zum korrekten Abfallstrom bzw. Sammelbehältnis steuern.

11 Quellenverzeichnis

Automotive (2022): Automotive Fachmedien. Lithium Ionen Starterbatterien im PKW. Online-Artikel vom 04.04.2022. Zuletzt abgerufen am 27.07.2022 unter: https://www.automotive.at/kfz-technik/lithium-ionen-starterbatterien-fuer-das-auto-pkw-48426

Batteries Europe (Hrsg.) (2021): Batteries Europe ETIP WG2: Raw Materials and Recycling Roadmap. Zuletzt abgerufen am 15.11.2021 unter: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/raw_materials_and_recycling_roadmap_2.pdf

BMUV (2021): Daten über Elektro- und Elektronikgeräte in Deutschland aus dem Jahr 2019. Zuletzt abgerufen am 13.01.2021 unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/elektronikgeraete_daten_2019_bf.pdf

Brown (2021): Engineering360. The growing danger of counterfeit batteries. Online-Artikel vom 20.09.2021. Zuletzt abgerufen am 06.07.2022 unter: https://electronics360.globalspec.com/article/17259/the-growing-danger-of-counterfeit-batteries

BSW (2021): Solarbatterieboom. Bundesverband Solarwirtschaft. Zuletzt abgerufen am 22.04.2021 unter: https://www.solarwirtschaft.de/2021/02/18/solarbatterie-boom/

Businessportal Norwegen (2017): Erster Batterie-Rückgabe-Automat bei Coop in Betrieb. Online-Artikel vom 10.05.2017. Zuletzt abgerufen am 04.08.2022 unter: https://businessportal-norwegen.com/2017/05/10/erster-batterie-rueckgabe-automat-bei-coop-in-betrieb/

BVES (2021): Branchenanalyse 2021 - Entwicklung und Perspektiven der Energiespeicherbranche in Deutschland. Bundesverband Energiespeichersysteme. Berlin. Zuletzt abgerufen am 29.07.2021 unter: https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/03/2021_BVES_Branchenanalyse.pdf

Deutscher Bundestag (2020): Drucksache 19/19322 19. Wahlperiode 19.05.2020. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Marc Jongen, Dr. Götz Frömming, Nicole Höchst, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD– Drucksache 19/18892 – Recycling- und Entsorgungsstrategien für Elektroautobatterien. Zuletzt abgerufen am 05.11.2021 unter: https://dserver.bundestag.de/btd/19/193/1919322.pdf

Dornbusch, Dr. H-J.; Hannes, L.; Santjer, M.; Böhm, C.; Wüst, S.; Zwisele, Dr. B.; Kern, Dr. M.; Siepenkothen, H-J.; Kanthak, M. (2020): Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien. UBA Texte 113/2020. Forschungskennzahl3717 35 344 0. Dessau-Roßlaut 2020. Zuletzt abgerufen am 10.08.2021 unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-analyse-von-siedlungsrestabfaellen

DUH (2020): Novelle des Batteriegesetzes. Stellungnahme der Deutschen Umwelthilfe. Sitzung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Bundestag am 09.09.2020: Öffentliche Anhörung zum Entwurf eines ersten Gesetzes zur Änderung des Batteriegesetzes (BattG) BT Drsn. 19/199330, 19/21610 https://www.bundestag.de/resource/blob/790786/b657146b6b3ac263bb98ff8c3a7b42e0/DUH-Thomas-Fischer-data.pdf

ElektroG: Referentenentwurf für ein Erstes Gesetz zur Änderung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes vom 16.09.2020, abrufbar unter: https://www.bmu.de/gesetz/referentenentwurf-fuer-ein-erstes-gesetz-zur-aenderung-des-elektro-und-elektronikgeraetegesetzes

EU commission 2021: ASSESSMENT OF OPTIONS TO IMPROVE PARTICULAR ASPECTS OF THE EU REGULATORY FRAMEWORK ON BATTERIES. Abzurufen unter https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/78f09953-8c53-11eb-b85c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-209077070

EUPD (2019): Ende 2019 sind gut 200.000 Heimspeicher in Deutschland installiert. Sonnen und BYD als führende Anbieter. EUPD Research. Zuletzt abgerufen am 05.11.2021 unter: https://www.eupd-research.com/ende-2019-sind-gut-200000-heimspeicher-in-deutschland-installiert/

EUPD (2021): Heimspeichermarkt wächst 2021 um 150.000 Systeme. EUPD Research 2021. Zuletzt abgerufen am 14.06.2021 unter: https://www.photovoltaik.eu/solarspeicher/eupd-heimspeichermarkt-waechst-2021-um-150000-systeme

FEM (2020): World Industrial Truck Statistics. Information Sheet Q2 – 2020. European Materials Handling Federation. Product Group Industrial Trucks. Frankfurt. Zuletzt abgerufen am 04.11.2021 unter: https://www.fem-eur.com/wp-content/uploads/2020/08/IT-WITS-2020-Q2.pdf

FEM (2021): World Industrial Truck Statistics. Information Sheet Q1 – 2021. European Materials Handling Federation. Product Group Industrial Trucks. Frankfurt. Zuletzt abgerufen am 04.11.2021 unter: https://www.fem-eur.com/product-groups/industrial-trucks/

Figgener, J. et al. (2020): The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review. Journal of Energy Storage (29) 2020. Zuletzt abgerufen am 20.09.2021 unter: https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101153

Figgener, J. et al. (2021): The development of stationary battery storage systems in Germany – status 2020. Journal of Energy Storage (33) 2021. Zuletzt abgerufen am 20.09.2021 unter: https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101982

Figgener, J.: Hecht, C. (2021): Gewerbespeichermarkt zieht an: 43 Megawattstunden für 2020 im Marktstammdatenregister gemeldet. PV Magazin. Zuletzt abgerufen am 04.11.2021 unter: https://www.pv-magazine.de/2021/04/28/gewerbespeichermarkt-zieht-an-43-megawattstunden-fuer-2020-im-marktstammdatenregister-gemeldet/

Fischer, M. (2019): Presentation AITO Presidents' Forum 2019. European Industrial Truck Market. Country Trends. San Diego. Zuletzt abgerufen am 04.11.2021 unter: https://www.fem-eur.com/wp-content/uploads/2019/11/FEM.pdf

Görmann, M. (2019): Kein Stromausfall beim Stromausfall. Holsteiner Zeitung 2019. Zuletzt abgerufen am 06.10.2021 unter: https://www.vb-bordesholm.de/batteriespeicher.html

GRS (2019): Position: Pfand für Lithium Batterien ist nicht zielführend. https://www.grs-batterien.de/newsroom/details/grs-position-pfand-fuer-lithiumbatterien-ist-nicht-zielfuehrend/

GRS (2020): Telefonisches Interview

Haslinger, R. (2017): Batterien immer effizienter: Reichweiten bis 600 km. Sonne, Wind und Wärme 09/2017. Zuletzt abgerufen am 04.10.2021 unter: https://www.sonnewindwaerme.de/mobilitaet/batterien-immer-effizienter-reichweiten-600-km

HDE (2020): Stellungnahme HDE. Öffentliche Anhörung zum Gesetzentwurf der Bundesregierung für ein Erstes Gesetz zur Änderung des Batteriegesetzes https://einzelhandel.de/index.php?option=com_attachments&task=download&id=10469

Herreras-Martínez, L., Anta, M., Bountis, R. (2021): Recommendations for tackling fires caused by lithium batteries in WEEE- A report of the Batteries Roundtable. Zuletzt abgerufen am 05.11.2021 unter: https://weee-forum.org/wp-content/uploads/2021/07/Tackling-fires-caused-by-batteries-in-e-waste.pdf

Hobohm, J.; Chryssos, C. (2021): Pfandsysteme. Müll und Abfall. Ausgabe 03/2021

Johnson, S. (2019): Präsentation AITO Presidents' Forum 2019. North American Truck Lift Industry. IC vs. Electric Trend. Coronado, California. Zuletzt abgerufen am 10.08.2021 unter: https://www.fem-eur.com/wp-content/uploads/2019/11/ITA.pdf

Kampker, A.: Vallée, D.; Schnettler, A. (Hrsg.) (2018): Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. 2. Auflage. Springer Vieweg. Berlin.2018.

Karle, Anton (2020): Elektromobilität. Grundlagen und Praxis. 4. Aktualisierte Auflage. Carl Hanser Verlag. München 2020

KBA (2018): Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Jahr 2017. FZ 14. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg 2017. Zuletzt abgerufen am 24.09.2021 unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14_2017_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1

KBA (2019): Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Jahr 2018. FZ 14. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg 2018. Zuletzt abgerufen am 24.09.2021 unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14_2018_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1

KBA (2020): Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Jahr 2019. FZ 14. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg 2020. Zuletzt abgerufen am 24.09.2021 unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14_2019_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1

KBA (2021a): Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb – Monatsergebnisse Januar 2021. FZ28. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg. 2021. Zuletzt abgerufen am 23.09.2021 unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_node.html

KBA (2021b): Fahrzeugzulassungen (FZ). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Jahr 2020. FZ 14. Kraftfahrt-Bundesamt. Flensburg 2021. Zuletzt abgerufen am 24.09.2021 unter: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ14/fz14_2020_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Korthauer, R. (Hrsg.) (2018): Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications. Springer 2018. Zuletzt abgerufen am 16.07.2021 unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53071-9

Lovhefte-Avfallsforskriften (2017): norwegische nationale Abfallverordnung. Zuletzt abgerufen am 04.08.2022 unter: https://norsirk.no/wp-content/uploads/2017/11/Lovhefte-Avfallsforskriften-Norsirk-17_web.pdf?_x_tr_sl=no&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de&_x_tr_pto=sc

Neugebauer, S. (2021): Persönliche Mitteilung Stephan Neugebauer, BMW am 24.11.2021

Ökoinstitut et al. (2021): European Commission, Directorate-General for Environment, Stahl, H., Mehlhart, G., Gsell, M., et al., Assessment of options to improve particular aspects of the EU regulatory framework on batteries : final report, Publications Office, 2021, https://data.europa.eu/doi/10.2779/432234

Perchards & SagisEPR (2016) Study on behalf of the European Portable Battery Association (EPBA), The collection of waste portable batteries in Europe in view of the achievability of the collection targets set by Batteries Directive 2006/66/EC. August 2013,Update December 2016 (full final version).

Rahimzei, E.; Sann, K.; Vogel, Dr. M. (2015): Kompendium: Li-Ionen-Batterien im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic. Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen. VDE Verband der Elektrotechnik. Frankfurt am Main. 2015. Zuletzt abgerufen am 28.07.2021 unter: https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/IKT-EM/ikt2-komp-lithium-ionen.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Sterner, M.: Stadler, I. (Hrsg.) (2017): Energiespeicher. Bedarf, Technologie, Integration. 2. Auflage. Springer Vieweg. Regensburg, Köln. 2017.

Stiftung ear (2022): Anwendungshilfe zur Einordnung von Batterien und Batterien enthaltenden Geräten in den Anwendungsbereich des Batteriegesetzes (BattG) bzw. des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG). Zuletzt abgerufen am 06.07.2022 unter: https://www.stiftung-ear.de/fileadmin/Dokumente/Anwendungshilfe_EinordngBattGElektroG.pdf

UBA (2021): Altbatterien. Gerätebatterien. Gesetzliche Sammelquote wird auch im Berichtsjahr 2020 erreicht. Zuletzt abgerufen am 13.01.2021 unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#die-sammelquote-fur-geratebatterien-sank-im-jahr-2020-auf-knapp-46-prozent

VBB (2019): Der Batteriespeicher ist seit 13.05.2019 in Betrieb. Versorgungsbetriebe Bordesholm. Zuletzt abgerufen am 06.10.201 unter: https://www.vb-bordesholm.de/batteriespeicher.html

VDMA Batterieproduktion (Hrsg.) (2020): Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. Frankfurt am Main. 2020. Zuletzt abgerufen am 10.10.2021 unter: https://www.vdma.org/c/document_library/get_file?uuid=6037f526-9679-43a2-35a1-513090abd700&groupId=34570

VKU (2020): Batteriebetriebene Altgeräte: Neues Schulungsvideo und Leitfaden online. Verband kommunaler Unternehmen. 2020. Zuletzt abgerufen am 10.01. 2022 unter: https://www.vku.de/abfallwirtschaft/batteriebetriebene-altgeraete-neues-schulungsvideo-und-leitfaden-online/

Warmbold, J. (2020): Weltrangliste Flurförderzeuge 2019/2020. DHF Intralogistik 12/2020. Zuletzt abgerufen am 22.01.2021 unter: https://dhf-magazin.com/downloadarea/

Wilms, H.: „Pfand auf alles“ – eine Lösung für geschlossene Wertstoffkreisläufe in einer Kreislaufwirtschaft. Studie im Auftrag der Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen. Dezember 2020. https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/umwelt/PDF/Wuppertal_Institut_Studie-Pfandsysteme_final.pdf

Zaharoff, A. (2021): Persönliche Mitteilung Andrea Zaharoff, Prime Batteries am 02.12.2021

ZIV (2020): Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 2019. Wirtschaftspressekonferenz am 11. März 2020 in Berlin. Zuletzt abgerufen am 30.03.2021 unter: https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK-2020_11-03-2020_Praesentation.pdf

ZVEI (2020): Stellungnahme zu Vorschlägen für die Einführung eines Pfandsystems für Lithiumbatterien https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2019/Dezember/Stellungnahme_zu_Vorschlaegen_fuer_die_Einfuehrung_eines_Pfandsystems_fuer_Lithiumbatterien/Stellungnahme-Einfuehrung-Pfandsystem-Lithiumbatterien.pdf

ZIV (2021): Marktdaten 2021. Zuletzt abgerufen am 30.03.2021 unter: https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2021_10.03._Fahrrad-_und_E-Bike_Markt_2020.pdf

Quellen – Abfallanalysen[71]

[1] Restabfallanalysen für die AWSH Abfallwirtschaft Südholstein GmbH https://www.awsh.de/fileadmin/media/PDFs/AWK/Abfallanalyse_AWSH.pdf

[2] Hausmüllanalyse 2012 / 2013 im Landkreis Kitzingen https://www.abfallwelt.de/fileadmin/Abfallwelt/Dokumente/Abfallbilanz/Hausmuellanalyse_2013_web.pdf

[3] Durchführung einer Hausmüllanalyse in der Stadt Wasserburg a. Inn https://www.wasserburg.de/de/download/abfallwirtschaft_hausmuellanalyse.pdf

[4] Endbericht Hausmüllanalyse 2014 Abfallwirtschaftszweckverband Ostthüringen https://www.awv-ot.de/files/14FF5AE0C12/EB%20HMA%20AWV.pdf

[5] Orientierende Restmüllanalyse Abfallwirtschaftszweckverband Südniedersachsen https://www.as-nds.de/upload/Bericht_Analyse_AZV_Suedniedersachsen_2012.pdf

[6] Hausmüllanalyse der Stadt Jena: https://www.jena.de/fm/1727/Endbericht%20HMA%202015_2016-neu.pdf

[7] Hausmüllanalyse vom 26. September 2014 https://m.halle.de/VeroeffentlichungenBinaries/666/897/hausm_llanalyse_2014_komplett.pdf

[8] Hausmüllanalyse 2012 Rheingau-Taunus-Kreis https://www.eaw-rheingau-taunus.de/files/Hausmuellanalyse_2012homepage_IIx.pdf

[9] Stadt Leipzig Endbericht Restabfallanalyse 2013: https://www.stadtreinigung-leipzig.de/über-uns/praktika/restabfallanalyse-2013.html

[10] SHC Sabrowski-Hertrich-Consult GmbH: Hausmüllanalyse 2009/2010 Endbericht für den Zweckverband für Abfallwirtschaft Südwestthüringen, Erlenbach am Main, 06. August 2010

[11] Wertstoffpotenzialbericht Stadt Regensburg https://www.regensburg.de/fm/121/wertstoffpotenzialbericht.pdf

[12] Abfallwirtschaftskonzept der Stadt Heidelberg https://www.heidelberg.de/site/Heidelberg_ROOT/get/documents_E877006183/heidelberg/Objektdatenbank/70/PDF/70_pdf_Abfallwirtschaftskonzept_2012.pdf

[13] Abfallwirtschaftskonzept Stadt Weimar 2011 – 2015 https://stadt.weimar.de/fileadmin/redaktion/Dokumente/stadtrat/beschluesse/2011/s23/2011_050_-_Beschluss_Abfallwirtschaftskonzept_der_Stadt_Weimar_2011_-_2015_01.pdf

[14] Abfallwirtschaftskonzept für den Landkreis Wesermarsch https://www.gib-entsorgung.de/fileadmin/Inhalte/PDF-Dokumente/2012_Final.pdf

[16] Landkreis Cuxhaven Abfallwirtschaftskonzept 2014-2020 http://www.landkreis-cuxhaven.de/media/custom/578_1462_1.PDF?1400239095

[17] Stadt Emden Abfallwirtschaftskonzept 2015-2019 http://www.bee-emden.de/fileadmin/media/downloads/entsorgungswegweiser/abfallwirtschaftskonzept_2015-19.pdf

[18] Abfallwirtschaftskonzept 4. Fortschreibung Kreis Viersen http://www.kreis-

[71] Die Quellen der Abfallanalysen wurden zunächst getrennt dargestellt, um weitere Quellen aus der Stakeholderbefragung besser in die laufende Auswertung integrieren zu können. Für den Endbericht kann die Darstellungsform angepasst werden.

viersen.de/C1257662003612CB/0/63C1812AF205BFA2C1257C30004AC13A/$File/10-Anlage+TOP+4+AWK+Entwurf+komplett.pdf?OpenElement

[19] Abfallwirtschaftskonzept Landeshauptstadt Wiesbaden: https://www.elw.de/fileadmin/Redakteur/PDF/Abfallwirtschaftskonzept_2015_Langfassung.pdf

[23] Abfallwirtschaftskonzept Landkreis Leipzig 2012 bis 2018: https://www.landkreisleipzig.de/pressedokumente/phpL0jZEM20120614142101.pdf

[24] Entwurf Fortschreibung Abfallwirtschaftskonzept Kreis Wesel 2013 – 2017 https://www.kreis-wesel.de/www%5Ckreistag%5Csitzungsdienst8.nsf/HTML/5F2D4968ADA30077C1257A6100324619/$FILE/Anlage%20zu%20Kreis%20Wesel%20Drucksache%201150%20VIII_%20AWK_1.pdf

[27] 3. Fortschreibung des Abfallwirtschaftskonzeptes des Südbrandenburgischen Abfallzweckverbandes- http://www.sbazv.de/fileadmin/user_upload/PDF/Infomaterial/AWK-Endstand-2015/AWK-Endstand-2015.pdf

[28] Abfallwirtschaftskonzept Landkreis Ludwigslust-Parchim http://www.kreis-lup.de/export/sites/LUP/.galleries/PDF-LUP3/PDF-FD70/Abfallwirtschaftskonzept/Abfallwirtschaftskonzept-Landkreis-Ludwigslust-Parchim.pdf

[29] Graue Wertstofftonne Ergebnisbericht zur weiteren Wertstoffentfrachtung von Hausmüll https://www.as-nds.de/upload/Bericht_Graue_Wertstofftonne_28_Feb_2013.pdf

[30] Bio- und Restabfallanalyse im Kreis Schwesig-Flensburg https://www.asf-online.de/fileadmin/media/Downloads/Rest-und_Bioabfallanalyse_ASF_2016_17.pdf

[31] Stadt Leipzig Restabfallanalyse 2020: https://stadtreinigung-leipzig.de/upload/files/2021/restabfallanalyse-2019-2020.pdf

[32] Stadt Emden Abfallwirtschaftskonzept 2020-2024 https://www.bee-em-den.de/fileadmin/media/downloads/entsorgungswegweiser/abfallwirtschaftskonzept2020_2024.pdf

[33] Restabfallanalysen für die AWSH Abfallwirtschaft Südholstein GmbH https://www.awsh.de/fileadmin/media/PDFs/2015-09-29-Abschlussbericht-Hausmuellanalyse_AWSH.pdf

[34] Vorstellung Ergebnisse der Restabfallanalyse in der Stadt Wasserburg am Inn https://www.wasserburg.de/fileadmin/Dateien/Dateien/Wasserburg/Stadt_Buerger/Abfallentsorgung/restabfallanalyse_2019_praesentation.pdf

[35] Zusammensetzung des Restabfalls im Landkreis Fürstenfeldbruck https://www.awb-ffb.de/fileadmin/user_upload/awb-ffb/dokumente/Veroeffentlichungen/Restmuellanalyse_2019.pdf

[36] Abfallwirtschaftskonzept für die Stadt Mannheim 2015 – 2024: https://www.mannheim.de/sites/default/files/page/74201/abfallwirtschaftskonzept_lang.pdf

[37} Abfallwirtschaftskonzept der Stadt Krefeld Fortschreibung 2015 / 2016: https://www.krefeld.de/C1257CBD001F275F/files/awk_krefeld_ratsbeschluss_vom_08_12_2016.pdf/$file/awk_krefeld_ratsbeschluss_vom_08_12_2016.pdf?OpenElement#

[38] Abfallwirtschaftskonzept 2017–2026 Landeshauptstadt München https://www.awm-muenchen.de/fileadmin/Dateien_pdfs/2017_AWM_Abfallwirtschaftskonzept.pdf

[39] Landkreis Tirschenreuth, Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab, Stadt Weiden i.d.OPf.: Klimaschutzteilkonzept zur klimafreundlichen Abfallentsorgung https://www.neustadt.de/media/2811/klimafreundliche-abfallentsorgung-wen-new-tir-final.pdf

[40} Abfallanalyse der cyclos GmbH, anonymisiert zur Verfügung gestellt

[41] Begleitung eines Modellversuchs zur Einführung einer Wertstofftonne im Kreis Paderborn https://www.ave-kreis-paderborn.de/wp-content/uploads/infa-ergebnisbericht2014.pdf

A Erfolgskontrollen GRS Batterien (Angaben in kg und Stück)

In diesem Anhang sind die Daten zur Menge der in Verkehr gebrachten Geräte-Batterien von GRS Batterien aus den Jahren 2015 bis 2019 wiedergegeben. Die in den nachfolgenden Tabellen dargestellten in Verkehr gebrachten Mengen unterscheiden immer zwischen Primär- und Sekundärzellen sowie zwischen Rundzellen und Knopfzellen. Die Beschreibung Rundzellen beinhaltet auch prismatische Zellen und Blockzellen.

Tabelle 41: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2019

Primär / Sekundärzellen	Chemisches System	Gewicht [kg]	Anzahl [Stück]	Durchschnittsgewicht [kg]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	1.432.000,00	81.979.000,00	0,017467888
	Alkali-Mangan	8.835.000,00	444.916.000,00	0,019857681
	Zink-Luft	2.000,00	17.000,00	0,117647059
	Lithium	425.000,00	27.240.000,00	0,015602056
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	100.000,00	45.682.000,00	0,002189046
	Alkali-Mangan	195.000,00	99.777.000,00	0,001954358
	Zink-Luft	104.000,00	141.795.000,00	0,000733453
	Lithium	389.000,00	119.153.000,00	0,00326471
Summe Primärzellen		**11.482.000,00**	**960.559.000,00**	**0,011953456**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	165.000,00	8.479.000,00	0,019459842
	Lithium-Ionen	10.071.000,00	83.695.000,00	0,120329769
	Nickel-Metallhydrid	1.221.000,00	52.274.000,00	0,023357692
	Blei	1.244.000,00	795.000,00	1,564779874
	Nickel-Cadmium	98.000,00	397.000,00	0,246851385
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	19.000,00	10.247.000,00	0,001854201
	Nickel-Metallhydrid	7.000,00	2.137.000,00	0,00327562
	Nickel-Cadmium	0,00	10.000,00	0
Summe Sekundärzellen		**12.825.000,00**	**158.034.000,00**	**0,081153423**
Summe		**24.307.000,00**	**1.118.593.000,00**	**0,021729977**

Tabelle 42: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2018

Primär / Sekundär-zellen	Chemisches System	Gewicht [kg]	Anzahl [Stück]	Durchschnitts-gewicht [kg]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	1.192.000,00	71.260.000,00	0,016727477
	Alkali-Mangan	21.308.000,00	1.134.827.000,00	0,01877643
	Zink-Luft	3.000,00	30.000,00	0,10000000
	Lithium	454.000,00	31.221.000,00	0,014541495
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	93.000,00	40.305.000,00	0,002307406
	Alkali-Mangan	175.000,00	103.577.000,00	0,001689564
	Zink-Luft	151.000,00	205.251.000,00	0,000735685
	Lithium	419.000,00	135.516.000,00	0,003091886
Summe Primärzellen		**23.795.000,00**	**1.721.987.000,00**	**0,013818339**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	174.000,00	8.423.000,00	0,020657723
	Lithium-Ionen	8.947.000,00	91.714.000,00	0,097553263
	Nickel-Metallhydrid	1.647.000,00	84.707.000,00	0,019443493
	Blei	1.130.000,00	827.000,00	1,366384522
	Nickel-Cadmium	137.000,00	768.000,00	0,178385417
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	17.000,00	4.811.000,00	0,003533569
	Nickel-Metallhydrid	8.000,00	2.290.000,00	0,00349345
	Nickel-Cadmium	0,00	1.000,00	0
Summe Sekundärzellen		**12.060.000,00**	**193.541.000,00**	**0,062312378**
Summe		**35.855.000,00**	**1.915.528.000,00**	**0,018718077**

Tabelle 43: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2017

Primär / Sekundär-zellen	Chemisches System	Gewicht [kg]	Anzahl [Stück]	Durchschnitts-gewicht [kg]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	1.403.000	530.006.000,00	0,00264714
	Alkali-Mangan	21.772.000	167.354.000,00	0,130095486
	Zink-Luft	19.000	151.028.000,00	0,000125804
	Lithium	545.000	2.635.000,00	0,20683112
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	129.000	2.265.000,00	0,056953642
	Alkali-Mangan	183.000	8.202.000,00	0,022311631
	Zink-Luft	174.000	2.954.000,00	0,058903182
	Lithium	639.000	234.000,00	2,730769231
Summe Primärzellen		**24.864.000,00**	**864.678.000,00**	**0,028755213**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	1.233.000,00	113.789.000,00	0,010835845
	Lithium-Ionen	8.695.000,00	1.185.747.000,00	0,00733293
	Nickel-Metallhydrid	2.012.000,00	2.480.000,00	0,811290323
	Blei	1.196.000,00	87.386.000,00	0,013686403
	Nickel-Cadmium	162.000,00	103.223.000,00	0,001569418
Sekundär Knopfzellen	Lithium-Ionen	14.000,00	196.775.000,00	7,11472E-05
	Nickel-Metallhydrid	6.000,00	273.722.000,00	2,19201E-05
	Nickel-Cadmium	0,00	333.054.000,00	0
Summe Sekundärzellen		**13.318.000,00**	**2.296.176.000,00**	**0,005800078**
Summe		**38.182.000,00**	**3.160.854.000,00**	**0,012079647**

Tabelle 44: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2016

Primär / Sekundär-zellen	Chemisches System	Gewicht [kg]	Anzahl [Stück]	Durchschnitts-gewicht [kg]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	1.739.000	48.502.000,00	0,035854192
	Alkali-Mangan	22.432.000	1.037.105.000,00	0,02162944
	Zink-Luft	12.000	353.000,00	0,033994334
	Lithium	478.000	31.545.000,00	0,015152956
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	71.000	30.170.000,00	0,002353331
	Alkali-Mangan	162.000	84.697.000,00	0,001912701
	Zink-Luft	137.000	203.698.000,00	0,000672564
	Lithium	477.000	143.867.000,00	0,003315562
Summe Primärzellen		**25.508.000,00**	**1.579.937.000,00**	**0,016144948**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	36.000,00	1.493.000,00	0,024112525
	Lithium-Ionen	6.904.000,00	66.576.000,00	0,103701033
	Nickel-Metallhydrid	1.654.000,00	73.531.000,00	0,022493914
	Blei	877.000,00	1.464.000,00	0,599043716
	Nickel-Cadmium	295.000,00	3.306.000,00	0,0892317
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	8.000,00	2.652.000,00	0,003016591
	Nickel-Metallhydrid	7.000,00	2.622.000,00	0,002669718
	Nickel-Cadmium	0,00	19.000,00	0
Summe Sekundärzellen		**9.781.000,00**	**151.663.000,00**	0,064491669
Summe		**35.289.000,00**	**1.731.600.000,00**	0,020379418

Tabelle 45: iVgM Gerätebatterien von GRS Batterien 2015

Primär / Sekundär-zellen	Chemisches System	Gewicht [kg]	Anzahl [Stück]	Durchschnitts-gewicht [kg]
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	1.786.000	47.646.000,00	0,037484784
	Alkali-Mangan	22.152.000	964.884.000,00	0,0229582
	Zink-Luft	16.000	661.000,00	0,024205749
	Lithium	491.000	30.787.000,00	0,01594829
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	64.000	28.552.000,00	0,002241524
	Alkali-Mangan	169.000	92.445.000,00	0,001828114
	Zink-Luft	125.000	179.558.000,00	0,000696154
	Lithium	402.000	129.693.000,00	0,003099628
Summe Primärzellen		**25.205.000,00**	**1.474.226.000,00**	**0,017097107**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	29.000,00	1.675.000,00	0,017313433
	Lithium-Ionen	5.500.000,00	58.602.000,00	0,093853452
	Nickel-Metallhydrid	2.086.000,00	87.469.000,00	0,023848449
	Blei	750.000,00	1.310.000,00	0,572519084
	Nickel-Cadmium	366.000,00	1.513.000,00	0,241903503
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	10.000,00	2.935.000,00	0,003407155
	Nickel-Metallhydrid	14.000,00	2.898.000,00	0,004830918
	Nickel-Cadmium	0,00	122.000,00	0
Summe Sekundärzellen		**8.755.000,00**	**156.524.000,00**	**0,055933914**
Summe		**33.960.000,00**	**1.630.750.000,00**	**0,020824774**

B Erfolgskontrollen weiterer Rücknahmesysteme und errechnete Stückzahlen

In diesem Anhang sind die Gewichtsangaben zu iVgM Geräte-Batterien der (ehemaligen) Rücknahmesysteme Rebat, Ecobat, ERP und ÖcoReCell wiedergegeben. Die darüber hinaus dargestellten Stückzahlen wurden aus den Gewichtsangaben sowie dem Mittelwert der Durchschnittsgewichte aus der Tabelle 18 berechnet. Um die Lesbarkeit zu verbessern werden die Zahlen von jeweils zwei Rücknahmesystemen in einer Tabelle dargestellt. Bei Zellen mit dem Wert 0 liegen die entsprechenden Daten nicht vor. Die in den nachfolgenden Tabellen dargestellten in Verkehr gebrachten Mengen unterscheiden immer zwischen Primär- und Sekundärzellen sowie zwischen Rundzellen und Knopfzellen. Die Beschreibung Rundzellen beinhaltet auch prismatische Zellen und Blockzellen.

Tabelle 46: iVgM Gerätebatterien von Rebat und Ecobat 2019

Primär / Sekundärzellen	Chemisches System	Gewicht [kg] Rebat	Anzahl [Stück] Rebat	Gewicht [kg] Ecobat	Anzahl [Stück] Ecobat
Primär-Rundzellen	Zink-Kohle	2.759.800	102.657.439	0	0
	Alkali-Mangan	16.396.600	788.092.045	1.592.100	76.523.264
	Zink-Luft	126.000	1.827.099	0	0
	Lithium	179.700	11.736.507	0	0
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	17.600	7.743.661	100	43.998
	Alkali-Mangan	73.000	39.541.015	400	216.663
	Zink-Luft	44.400	62.582.457	0	0
	Lithium	179.600	56.248.986	7.300	2.286.290
Summe Primärzellen		**19.776.700**	**1.070.429.209**	**1.599.900**	**79.070.214**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	0	0	0	0
	Lithium-Ionen	1.771.300	17.054.791	37.900	364.916
	Nickel-Metallhydrid	583.900	26.200.438	63.000	2.826.901
	Blei	869.200	847.436	0	0
	Nickel-Cadmium	27.100	143.316	0	0
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	1.100	372.518	0	0
	Nickel-Metallhydrid	1.100	308.346	0	0
	Nickel-Cadmium	0	0	0	0
Summe Sekundärzellen		**3.253.700**	**44.926.844**	**100.900**	**3.191.818**
Summe		**23.030.400**	**1.115.356.053**	**1.700.800**	**82.262.032**

Tabelle 47: iVgM Gerätebatterien von ERP und ÖcoReCell 2019

Primär / Sekundärzellen	Chemisches System	Gewicht [kg] ERP	Anzahl [Stück] ERP	Gewicht [kg] ÖcoReCell	Anzahl [Stück] ÖcoReCell
Primär Rundzellen	Zink-Kohle	118.600	4.411.614	86.300	1.221.060
	Alkali-Mangan	5.293.200	254.414.258	0	0
	Zink-Luft	200	2.900	0	0
	Lithium	84.700	5.531.899	600	39.187
Primär-Knopfzellen	Silberoxid	16.300	7.171.686	100	43.998
	Alkali-Mangan	22.600	12.241.465	2.300	1.245.813
	Zink-Luft	8.700	12.262.779	200	281.903
	Lithium	52.100	16.317.217	1.900	595.062
Summe Primärzellen		**5.596.400**	**312.353.817**	**91.400**	**3.427.023**
Sekundär-Rundzellen	Alkali-Mangan	100	4.905	0	0
	Lithium-Ionen	828.100	7.973.281	9.700	93.396
	Nickel-Metallhydrid	300.100	13.465.921	700	31.410
	Blei	10.000	9.750	2.100	2.047
	Nickel-Cadmium	24.600	130.095	0	0
Sekundär-Knopfzellen	Lithium-Ionen	700	237.057	0	0
	Nickel-Metallhydrid	3.100	868.974	0	0
	Nickel-Cadmium	0	0	0	0
Summe Sekundärzellen		**1.166.700**	**22.689.982**	**12.500**	**126.853**
Summe		**6.763.100**	**335.043.799**	**103.900**	**3.553.876**

Tabelle 48: iVgM Gerätebatterien von Rebat, ERP und ÖcoReCell 2018

Primär / Sekundär-zellen	Chemi-sches System	Gewicht [kg] Rebat	Anzahl [Stück] Rebat	Gewicht [kg] ERP	Anzahl [Stück] ERP	Gewicht [kg] ÖcoReCell	Anzahl [Stück] ÖcoReCell
Primär-Rundzel-len	Zink-Kohle	2.826.500	105.138.507	127.600	4.746.391	80.500	1.138.996
	Alkali-Mangan	5.770.200	277.340.956	3.990.100	191.781.593	0	0
	Zink-Luft	4.800	69.604	200	2.900	0	0
	Lithium	207.200	13.532.578	61.700	4.029.730	4.400	287.371
Primär-Knopfzel-len	Silber-oxid	9.200	4.047.823	7.700	3.387.852	0	0
	Alkali-Mangan	80.100	43.386.785	20.800	11.266.481	600	324.995
	Zink-Luft	4.300	6.060.914	3.100	4.369.496	200	281.903
	Lithium	78.600	24.616.761	50.100	15.690.836	1.100	344.509
Summe Primär-zellen		**8.980.900**	**474.193.928**	**4.261.300**	**235.275.279**	**86.800**	**2.377.774**
Sekundär-Rundzel-len	Alkali-Mangan	900	44.148	200	9.811	0	0
	Lithium-Ionen	1.097.800	10.570.061	588.000	5.661.501	32.600	313.886
	Nickel-Metall-hydrid	428.000	19.204.979	263.100	11.805.678	800	35.897
	Blei	499.300	486.798	6.200	6.045	0	0
	Nickel-Cadmium	35.000	185.094	17.300	91.489	0	0
Sekundär-Knopfzel-len	Lithium-Ionen	1.300	440.248	800	270.922	0	0
	Nickel-Metall-hydrid	700	196.220	3.200	897.005	0	0
	Nickel-Cadmium	0	0	0	0	0	
Summe Sekundär-		**2.063.000**	**31.127.549**	**878.800**	**18.742.451**	**33.400**	**349.783**

Primär / Sekundär-zellen	Chemi-sches System	Gewicht [kg] Rebat	Anzahl [Stück] Rebat	Gewicht [kg] ERP	Anzahl [Stück] ERP	Gewicht [kg] ÖcoReCell	Anzahl [Stück] ÖcoReCell
zellen							
Summe		11.043.900	505.321.477	5.140.100	254.017.730	120.200	2.727.557

C Abgeschätzte Steigerungsraten nach Einführung eines Pfandsystems nach Ökoinstitut et al., 2021

Abbildung 42: Abgeschätzte Steigerungsraten nach Einführung eines Pfandsystems

Terms for batteries used in the calculation	Chemistry	Return point in the scenario	Estimated increase in the% collection rates compared to baseline	Main assumptions behind estimated increase in collection rates
Pedelec (e-bike, e scooter)	Li- ion	Retailers (manual)	20%	The deposit amount is a good incentive for consumers to bring the removable battery back
Electronic equipment (mobile phones, notebook)			15%	The deposit amount is a good incentive, but concerns with data privacy will be a deterrent for consumers to bring back batteries in appliances that cannot be removed by end users. If the battery can be easily removed, it can be returned without the device.
Electronic equipment (toothbrushes, electric shaver)			15%	The deposit amount is a good incentive and high enough to be an incentive for consumer to bring the battery back, but some appliances containing batteries that cannot be removed by the end users, might still be stored at home. If the battery can be easily removed, it can be returned without the device.
New applications (Cleaning robots, mowing robots, drone,)			15%	The deposit amount is a good incentive and high enough to be an incentive for consumer to bring the battery back. Some appliances containing batteries that cannot be removed by end users might still be stored at home. If the battery can be easily removed, it can be returned without the device.
Power tool (cordless screwdriver)		Retailers (manual)	25%	The deposit amount is a good incentive and high enough to be an incentive for consumer to bring the removable battery back.

Quelle: [Ökoinstitut et al., 2021]