

Endbericht

Brandereignisse in der Entsorgungswirtschaft

Erstellt durch



prognos

für



Auftraggebende Verbände

ASA – Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.

Westring 10, 59320 Ennigerloh

BDE – Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V.

Von-der-Heydt-Straße 2, 10785 Berlin

bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.

Fränkische Straße 2, 53229 Bonn

CMA – Circular Metal Association

Wallstraße 58, 10179 Berlin

VKU – Verband kommunaler Unternehmen e.V.

Invalidenstraße 91, 10115 Berlin

Bearbeitung durch

INFA – Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH

Beckumer Straße 36, 59229 Ahlen

info@infa.de

Dr. Niklas Heller

u&i – umwelttechnik und ingenieure GmbH

Wöhlerstraße 42, 30163 Hannover

info@qualitaet.de

Dr. Tammo Rebling

Thorsten Rogge

Sebastian May

Prognos AG

Domshof 21, 28195 Bremen

info@prognos.com

Dr. Jan Trenczek

Stand: 07.10.2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Vorwort der auftraggebenden Verbände.....	2
1 Einleitung	4
2 Erkenntnisse aus der Verbändeumfrage	4
2.1 Anlagenverteilung	5
2.2 Eingesetzte Brandmelde- und Löschtechnik	7
2.3 Entwicklung und Betroffenheit durch Brandereignisse	9
2.4 Erkennung, Ursachen und Entstehungsorte von Bränden.....	11
2.5 Ausbreitung und Löschmaßnahmen	15
2.6 Schäden und betriebliche Folgen.....	17
2.7 Konsequenzen, Versicherungsschutz und Handlungsbedarfe	19
3 Problemstellung und Ausgangssituation	21
3.1 Technische Grundlagen: Ursache, Entstehung und Mechanismen bei Bränden von LIB	21
3.2 Marktentwicklung & Mengentrends	22
3.3 Entsorgungsrealität & Fehlwurfproblematik.....	24
4 Stand der Forschung.....	26
4.1 Befunde zu batteriebedingten Brandereignissen in der Abfallwirtschaft	26
4.2 Erkenntnisse zu Ursachen & Häufigkeiten	31
4.3 Österreich als Vergleichsfall	33
4.4 Bewertung der Aussagekraft & Forschungsstand	35
5 Analyse & Hypothesenbildung	36
5.1 Qualitative Korrelationsanalyse	37

5.2	Abgeleitete Hypothesen.....	38
5.3	Identifikation kritischer Anlagenbereiche.....	41
5.4	Ursachenmodell.....	42
6	Volkswirtschaftliche Kosten, Ausblick und Auswirkungen auf die Versicherbarkeit	45
6.1	Abschätzung volkswirtschaftlicher Schäden	46
6.1.1	Definition und Beschreibung von Schadensereignissen.....	46
6.1.2	Systematik und Darstellung der Schadenskomponenten	48
6.1.3	Festlegung von Kostenfaktoren der Intervalle	50
6.1.4	Ergebnisse der Abschätzung volkswirtschaftlicher Schäden.....	54
6.1.5	Schäden durch batteriebezogene Brandereignisse.....	55
6.1.6	Potenzielle Untererfassung der Schäden durch nicht in der Umfrage abgedeckte Brände	56
6.2	Ausblick	57
6.2.1	Risikoszenario	60
6.2.2	Referenzszenario	60
6.2.3	Stabilisierungsszenario	61
6.2.4	Systemisches Resilienzszenario.....	61
6.2.5	Einordnung der Szenarien	62
6.3	Auswirkungen auf die Versicherbarkeit.....	62
7	Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten.....	65
7.1	Maßnahmen innerhalb der Entsorgungswirtschaft.....	65
7.1.1	Bestehende Maßnahmen und deren Grenzen	66
7.1.2	Erweiterte technische und prozessbezogene Lösungsansätze	68
7.2	Übergeordnete Maßnahmen.....	69
7.2.1	Kommunikations- und Verbraucheransätze	69
7.2.2	Rechtliche und ökonomische Instrumente	73
7.3	Bewertung und Einordnung	82



8	Fazit und Ausblick	85
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	85
8.2	Schlussfolgerung	87
8.3	Ausblick und weiterer Untersuchungsbedarf	89
9	Literaturverzeichnis.....	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standorte der Unternehmen	5
Abbildung 2: Entwicklung von gefährlichen Hotspot-Ereignissen und Bränden 2021 bis 2025	10
Abbildung 3: Anteil der betroffenen Anlagen	11
Abbildung 4: Gesicherte und wahrscheinliche Brandursachen.....	13
Abbildung 5: Orte, an denen Brände überwiegend entstanden sind.....	15
Abbildung 6: Entwicklung der unterschiedlichen Löschmaßnahmen	16
Abbildung 7: Verteilung der Sach- und Personenschäden im Betrachtungszeitraum	17
Abbildung 8: Entwicklung der in Verkehr gebrachten Batterien und der Sammelquoten in Deutschland im Zeitraum 2009 - 2023	23
Abbildung 9: Entwicklung der Brände in Abfallanlagen von 2011 - 2024 in Nordrhein-Westfalen	27
Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf gemeldeter Brandereignisse in der Abfallwirtschaft in Frankreich (2017-2023)	28
Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf batteriebedingter Brandereignisse sowie der betroffenen Anlagen in der US-amerikanischen Abfall- und Recyclingwirtschaft (2013-2020)	30
Abbildung 12: Ergebnisse einer Befragung japanischer Kommunen zu batteriebezogenen Sicherheitsvorfällen in der Abfallwirtschaft, differenziert nach der Art des Ereignisses (Geschäftsjahr 2020 und 2021)	31
Abbildung 13: Ablaufschema Batterien in der Abfallbehandlung	39
Abbildung 14: Ursachen für Fehlwürfe von LIB in der Abfallwirtschaft	43
Abbildung 15: Ishikawa-Diagramm zur Visualisierung der Ursachen von LIB-Bränden in der Abfallwirtschaft	44
Abbildung 16: Schadenssystematik	48
Abbildung 17: Übersicht über erfasste Schäden	55
Abbildung 18: Übersicht über erfasste Schäden mit Bezug zu Lithium-Ionen-Batterien als wahrscheinlichste Brandursache	56
Abbildung 19: Potenzielle Szenarien batteriebedingter Brand- und Schadensereignisse bis 2030	59

Abbildung 20: Warnaufkleber für Abfallbehälter aus der Kampagne „Brennpunkt: Batterie“ (Quelle: BDE, abgedruckt in UBA Texte 60/2023, Abbildung 41)	71
Abbildung 21: Symbol für die getrennte Sammlung nach Anhang VI Teil B der Verordnung (EU) 2023/1542	71
Abbildung 22: Verwendungszwecke des Präventions- und Ausgleichsfonds im Verlauf der Ursachenkette	79
Abbildung 23: Brandpräventionsdreieck zur Reduktion batteriebedingter Brandereignisse	82
Abbildung 24: Zeitliche Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion batteriebedingter Brandrisiken	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anlagenarten und Jahreskapazität	6
Tabelle 2:	Brandmelde- und Branderkennungstechnik	7
Tabelle 3:	Löschtechnik	8
Tabelle 4:	Definition Hotspot und Brand	9
Tabelle 5:	Häufigste Arten der Brandentdeckung (2021 bis 2025)	12
Tabelle 6:	Skizzierung von Brandereignissen unterschiedlicher Größenordnungen	46
Tabelle 7:	Übersicht und Beschreibung potenziell relevanter Schadensdimensionen	48
Tabelle 8:	Übersicht etablierter Detektionsmaßnahmen	66

Abkürzungsverzeichnis

ASA	Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.
BattDG	Batterierecht-Durchführungsgesetz
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V.
BDSV	Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.
BMUKN	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BR-Drs.	Bundesratsdrucksache
BT-Drs.	Bundestagsdrucksache
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
CMA	Circular Metal Association
EAG	Elektro- und Elektronikaltgeräte
FM Global	FM (ehemals FM Global)
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LIB	Lithiumbasierte Batteriesysteme und Akkumulatoren
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
UBA	Umweltbundesamt
VDM	Verband Deutscher Metallhändler und Recycler e.V.
VdS	VdS Schadenverhütung GmbH
VKU	Verband kommunaler Unternehmen e.V.

Vorwort der auftraggebenden Verbände

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt aus Sicht der auftraggebenden Verbände (ASA, BDE, bvse, CMA¹, VKU) die Ausgangslage und den Anlass für die Beauftragung dieser Studie. Er gibt die Position der Verbände wieder und dient als Einordnung der nachfolgenden wissenschaftlichen Untersuchung.

Elektronikgeräte, die mit Lithium-Ionen-Batterien bzw. Lithium-Ionen-Akkumulatoren betrieben werden, nehmen immer mehr zu. Durch ihre hohe Energiedichte sorgen diese Batterien unter anderem für eine lange „kabellose“ Betriebszeit der Elektrogeräte. Dies wird von den Konsumentinnen und Konsumenten auch sehr begrüßt und daher werden Lithium-Ionen-Batterien bzw. mit ihnen betriebene Geräte stark nachgefragt, weswegen von einem Absatz von Lithium-Ionen-Batterien auf hohem Niveau auch in nächster Zukunft auszugehen sein wird.

Von Lithium-Ionen-Batterien in loser Form ebenso wie von in Geräten eingebauten Lithium-Ionen-Batterien können allerdings in der Entsorgung große Brandgefahren ausgehen, und zwar dann, wenn sie nicht über die für diese Stoffströme vorgesehenen spezifischen Entsorgungswege entsorgt werden. Werden die Batterien nicht innerhalb der entsprechenden Batteriesammelsysteme oder die batteriebetriebenen Elektroaltgeräte nicht über die Sammelstellen für Elektroschrott erfasst, sondern landen etwa im Restmüll, beim Verpackungsmüll oder in der Papiertonne, so können durch die mechanischen Verdichtungs- oder Shredderprozesse in den Fahrzeugen oder Anlagen die Batterien beschädigt werden und häufig verheerende Brände auslösen. Technisch gesehen lösen solche Beschädigungen oft einen sogenannten „Thermal Runaway“ (thermisches Durchgehen) aus. Dabei beschleunigt sich eine chemische Reaktion innerhalb der Batterie durch steigende Temperaturen selbst, bis sie birst und brennt. Besteht ein Akku aus mehreren Zellen, kann die Hitze auf benachbarte Zellen überspringen („Thermal Propagation“), was die Brandbekämpfung extrem erschwert. Solche Brände lassen sich nicht klassisch löschen, da das Lithium mit Sauerstoff reagiert. Betroffene Batterien müssen unter Einsatz enormer Wassermengen dauerhaft gekühlt werden.

Zwar sind die gesonderten Sammelwege für Altbatterien und Elektroaltgeräte gut eingeführt, allerdings begünstigen verschiedene Trends den Umstand, dass die Batterien bzw. die Elektronikgeräte, die Batterien enthalten, einfach über den Hausmüll entsorgt werden.

Einer dieser Trends ist die Miniaturisierung von Geräten. Einweg-E-Vapes, kleine Kopfhörer, Rauchmelder sind alles Geräte, die in jede Mülltonne passen und deren Gefährdungspotenzial – auch aufgrund ihrer geringen Größe – von der Bevölkerung unterschätzt wird. Dennoch enthalten sie alle Batterien, deren Beschädigung direkt zum Brand führen kann. Massenprodukte wie Einweg-E-Vapes werden darüber hinaus allgemein als Wegwerfartikel angesehen, nur selten wird ihretwegen der Wertstoffhof oder Abgabestellen im Handel aufgesucht. Ein weiterer Trend ist, dass immer mehr Gebrauchsgegenstände des Alltags – wie Kleidung, Schuhe, Möbel, Glückwunschkarten – mit elektronischen Funktionen ausgestattet werden. Die Bürgerinnen und Bürger behandeln diese Gegenstände, wenn sie zu Abfall werden, jedoch überwiegend nicht als Elektroschrott, sondern entsorgen sie über die Altkleidercontainer, den Sperrmüll oder die

¹ Im Verlauf der Projektbearbeitung schlossen sich die beiden auftraggebenden Verbände, die Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen (BDSV) und der Verband Deutscher Metallhändler und Recycler (VDM), zur Circular Metal Association (CMA) zusammen.

Papiertonne. Dies ist unter anderem ein Grund dafür, dass die aktuelle Sammelquote für Elektroaltgeräte bei unter 30 Prozent im Vergleich zu den gesetzlich vorgeschriebenen 65 Prozent liegt.

Insgesamt finden nahezu täglich Brände in deutschen Abfallbehandlungsanlagen, Abfallsammelfahrzeugen, Abfalllagern oder Wertstoffhöfen statt, wo entweder die Ursache für den Brand durch eine Lithium-Batterie nachgewiesen werden konnte oder dieser mit hoher Wahrscheinlichkeit vermutet wird. Daten der im Jahr 2023 im Rahmen der gemeinsamen Arbeit zur Aktualisierung der VdS 2517 durchgeführten Verbändenumfrage belegen die Dringlichkeit: Der Anteil der Brandfälle, die auf Lithium-Ionen-Batterien zurückzuführen sind, stieg von rund 65 % im Jahr 2018 auf etwa 78 % im Jahr 2022.

Das rasant zunehmende Brandgeschehen in den Anlagen bedroht nicht nur Existenzen der betroffenen Betriebe und die Gesundheit der Mitarbeiter, es kann auch mittelfristig zu einer Gefährdung der Entsorgungssicherheit führen, wenn Anlagen völlig abbrennen und Abfälle über eine längere Zeit nicht mehr angenommen und behandelt werden können. Im schlimmsten Fall wird die Anlage nicht mehr aufgebaut und fehlt dauerhaft im Entsorgungsnetz. Gravierende Auswirkungen hat das statistisch nachweisbare höhere Brandgeschehen auch auf die Versicherbarkeit von Anlagen. Versicherungsunternehmen ziehen sich aufgrund der gestiegenen Risiken aus dem Entsorgungsmarkt zurück oder erhöhen die Versicherungsprämien bzw. die Eigenanteile der Versicherten exorbitant.

Diese Umstände machen ein Handeln zugunsten einer Minimierung der Brände, aber auch zu einer faireren Verteilung der Risiken und der Kostentragung dringend notwendig. Aus diesem Grunde wurde Ende 2025 beim Bundesumweltministerium ein Runder Tisch gegründet, der hierfür kurzfristige Maßnahmen entwickeln soll.

- ASA** Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.
- BDE** Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V.
- bvse** bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
- CMA** Circular Metal Association
- VKU** Verband kommunaler Unternehmen e.V.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklungen haben die beteiligten Verbände die vorliegende Studie beauftragt. Ein zentrales Element war die Aktualisierung der bereits im Jahr 2023 durchgeführten Verbändeumfrage, auf deren Ergebnissen auch die im vorstehenden Problemaufriss dargestellten Entwicklungen beruhen. Ihre Auswertung bildet Kapitel 2. Da Brandereignisse in der Abfallwirtschaft in Deutschland nicht systematisch erfasst werden, liefert die Umfrage zugleich eigene empirische Daten. Sie erfasst 181 Anlagen aus allen Bundesländern für die Jahre 2021 bis 2025 und geht dabei über die reine Zahl der Brandereignisse hinaus, indem sie auch Schäden, betriebliche Folgen und Versicherungsschutz erhebt.

Die technischen und marktseitigen Grundlagen der Brandentstehung sowie der nationale und internationale Forschungsstand folgen in den Kapiteln 3 und 4. Kapitel 5 führt beide Stränge zusammen, leitet daraus Hypothesen ab und entwickelt ein zweistufiges Ursachenmodell.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen einschließlich der Versicherbarkeit behandelt Kapitel 6, mögliche technische, organisatorische und regulatorische Lösungsansätze Kapitel 7. Kapitel 8 zieht die Schlussfolgerungen und benennt den weiteren Untersuchungsbedarf.

Die Befunde der Verbändeumfrage, der ausgewerteten Literatur und der internationalen Studien fügen sich dabei zu einem konsistenten Bild. Wo sich die Brandursache gesichert feststellen lässt, sind Lithium-Ionen-Batterien mit Abstand die häufigste Ursache. Eine alternative Erklärung, die das beobachtete Brandgeschehen in vergleichbarer Weise abbildet, liegt derzeit nicht vor.

Ergebnisse einzelner Arbeitspakete der Studie wurden fortlaufend im Rahmen des im Vorwort genannten Runden Tisches beim Bundesumweltministerium vorgestellt und in den dortigen fachlichen Austausch eingebracht.

2 Erkenntnisse aus der Verbändeumfrage

Zu Beginn des Jahres 2026 haben die auftraggebenden Verbände eine Umfrage zu Brandereignissen in der Recycling- und Entsorgungswirtschaft konzipiert und ihre Mitgliedsunternehmen gebeten, an dieser teilzunehmen. Die Fragen basieren auf einer Aktualisierung und Erweiterung einer bereits im Jahr 2023 durch die Verbände ASA, BDE, bvse und VKU durchgeführten Umfrage zur gleichen Thematik.

Die Umfrage konnte von den Unternehmen online und anonym ausgefüllt werden und war im Zeitraum vom 09.02.2026 bis zum 24.03.2026 aktiv. Angeschrieben wurden die Mitglieder der auftraggebenden Verbände. Darüber hinaus wurde die Umfrage öffentlich bekannt gemacht. 181 Unternehmen aus allen Bundesländern haben die Umfrage vollständig und plausibel abgeschlossen (vgl. Abbildung 1). Die Angaben beziehen sich auf die Jahre 2021 bis 2025. Alle fünf Betrachtungsjahre wurden in derselben Erhebung und von denselben Befragten erfasst. Die Jahre sind damit unmittelbar miteinander vergleichbar und die Entwicklung im Zeitverlauf lässt sich direkt ablesen. Die Ergebnisse sowie wesentliche Erkenntnisse aus dieser Umfrage werden im Folgenden dargestellt und eingeordnet.

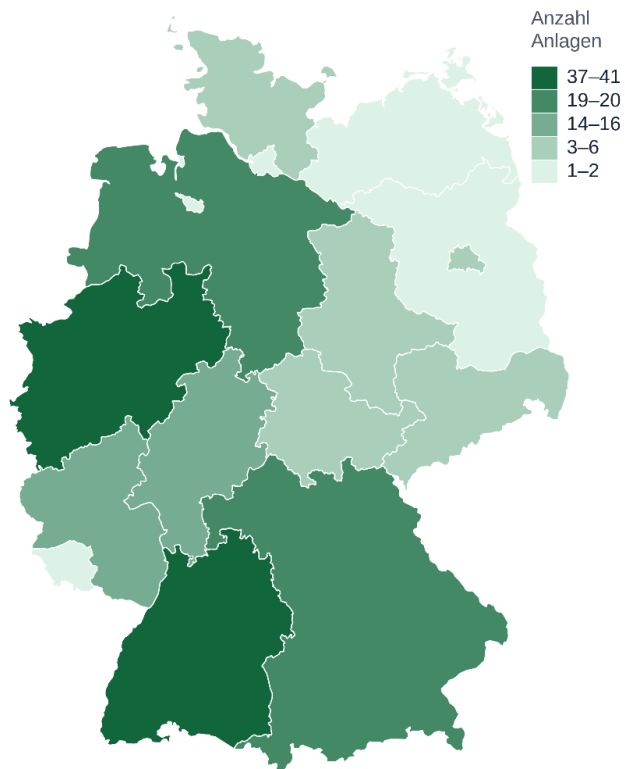


Abbildung 1: Standorte der Unternehmen

2.1 Anlagenverteilung

Durch das breit aufgestellte Verbändekonsortium, das seinen Mitgliedsunternehmen die Teilnahme an der Umfrage ermöglichte, konnte potenziell ein Großteil der Entsorgungsanlagen in Deutschland an der Befragung teilnehmen. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der 181 in die Auswertung eingeflossenen Fragebögen auf die verschiedenen Anlagenarten.

Die größte Gruppe der Umfrageteilnehmer bilden Wertstoff- bzw. Recyclinghöfe, gefolgt von Umschlaganlagen sowie Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Gewerbeabfälle, NE-Metallabfälle und/oder Stahlschrott, Leichtverpackungen und Restabfälle. Die übrigen Anlagenarten, darunter Erstbehandlungsanlagen für Elektroaltgeräte und Anlagen für Altpapier, sind mit jeweils weniger als zehn Fragebögen vertreten.

Da es sich um eine freiwillige Umfrage handelte, wurde die Teilnahmebereitschaft von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, beispielsweise von der Relevanz der Brandthematik für den jeweiligen Betrieb. Die Verteilung der Anlagenarten in der Stichprobe entspricht daher nicht der tatsächlichen Verteilung der Anlagenarten in Deutschland. Es zeigt sich, dass Anlagenarten, die vergleichsweise selten von Brandereignissen betroffen sind, wie Behandlungsanlagen für Bio- und Grünabfälle oder Deponien, in der Umfrage unterrepräsentiert sind. Demgegenüber sind Sortier- und Behandlungsanlagen für Leichtverpackungen, Restabfälle und Gewerbeabfälle in der Umfrage stärker vertreten. **Alle nachfolgenden Auswertungen stellen die Ergebnisse der Umfrage ohne Hochrechnung auf den gesamten Anlagenbestand in Deutschland dar.** Prozentangaben beziehen sich in der Regel auf die Anlagen, die zu der betreffenden Frage Angaben gemacht haben. Die Zahl der Antworten schwankt zwischen den Fragen und den Betrachtungsjahren.

Tabelle 1 enthält zudem Angaben zu genehmigten Jahreskapazitäten der befragten Anlagen, sofern entsprechende Informationen vorlagen. Die 74 % der Anlagen, die Angaben zu ihrer Jahreskapazität gemacht haben, verfügen zusammen über eine genehmigte Kapazität von rund 16 Mio. Mg pro Jahr. Die höchsten Gesamtkapazitäten entfallen auf thermische Abfallbehandlungsanlagen (2,1 Mio. Mg/a), Sortieranlagen für Leichtverpackungen (2,0 Mio. Mg/a) sowie Anlagen für NE-Metallabfälle und/oder Stahlschrott (ebenfalls 2,0 Mio. Mg/a). Die ebenfalls ausgewiesene mittlere Anlagengröße bestätigt die Einordnung der Stichprobe der Tendenz nach: Sie liegt bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen mit rund 358.000 Mg/a erwartungsgemäß am höchsten, während Sortier- und Behandlungsanlagen für Leichtverpackungen und Restabfall mit rund 122.000 bzw. 123.000 Mg/a plausible Größenordnungen erreichen. Der für Wertstoff- und Recyclinghöfe ausgewiesene Mittelwert von rund 77.000 Mg/a erscheint demgegenüber hoch. Hier liegt es nahe, dass einzelne Teilnehmende bei der Beantwortung mehrere Standorte zusammengefasst haben.

Tabelle 1: Anlagenarten und Jahreskapazität

Anlagenart/Abfallart	Gültige Umfrageteilnehmer		Genehmigte Jahreskapazität (2025)	
	n	%	in Summe / n	im Mittel
Wertstoff- / Recyclinghof	42	23,2 %	1.000.301 Mg/a (n = 13)	76.946 Mg/a
Umschlaganlage	23	12,7 %	1.552.122 Mg/a (n = 20)	77.606 Mg/a
Gewerbeabfälle	22	12,2 %	1.844.840 Mg/a (n = 21)	87.850 Mg/a
NE-Metallabfälle und/oder Stahlschrott	17	9,4 %	1.986.600 Mg/a (n = 11)	180.600 Mg/a
Leichtverpackungen	16	8,8 %	1.954.184 Mg/a (n = 16)	122.137 Mg/a
Restabfall	14	7,7 %	1.722.700 Mg/a (n = 14)	123.050 Mg/a
Ersatzbrennstoffe aus Behandlungsanlagen	9	5,0 %	1.114.000 Mg/a (n = 9)	123.778 Mg/a
Elektroaltgeräte (Erstbehandlung)	7	3,9 %	439.000 Mg/a (n = 5)	87.800 Mg/a
Thermische Abfallbehandlung (MVA / EBS-Kraftwerke)	7	3,9 %	2.146.900 Mg/a (n = 6)	357.817 Mg/a
Altpapier	5	2,8 %	707.400 Mg/a (n = 5)	141.480 Mg/a
Sperrmüll	5	2,8 %	651.000 Mg/a (n = 5)	130.200 Mg/a
Bio- und/oder Grünabfall	3	1,7 %	81.000 Mg/a (n = 2)	40.500 Mg/a
Deponie	2	1,1 %	-	-
Batterien	1	0,6 %	25.000 Mg/a (n = 1)	25.000 Mg/a
Sonstige	6	3,3 %	366.000 Mg/a (n = 4)	91.500 Mg/a
Keine Angabe	2	1,1 %	352.000 Mg/a (n = 2)	176.000 Mg/a
Summe	181	100 %	15.943.047 Mg/a (n = 134)	

2.2 Eingesetzte Brandmelde- und Löschtechnik

Tabelle 2 zeigt die Angaben zum Einsatz von Brandmelde- und Branderkennungstechnik in den befragten Anlagen. Rauchmelder und Infrarotkameras sind mit Anteilen von 28 % bzw. 21 % die am häufigsten eingesetzten Systeme. Wärmemelder und videobasierte Branderkennungssysteme machen 12 % bzw. 10 % aller erfassten Systeme aus. In den meisten Anlagen kommen mehrere Brandmelde- und Branderkennungssysteme gleichzeitig zum Einsatz. Im Mittel sind die befragten Anlagen mit 1,8 Systemen ausgestattet.

Insbesondere Aufbereitungsanlagen für Ersatzbrennstoffe aus Behandlungsanlagen sowie Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Leichtverpackungen und Restabfälle betreiben häufig mehrere der abgefragten Systeme parallel, teilweise sogar alle aufgeführten Technologien. Wertstoff- bzw. Recyclinghöfe verfügen dagegen vergleichsweise selten über die genannten Brandmelde- und Branderkennungstechniken.

Ein erheblicher Teil der eingesetzten Brandmelde- und Branderkennungstechnik ist auf die Feuerwehr aufgeschaltet. Bei 86 % der Anlagen, die Rauchmelder einsetzen, sind diese vollständig auf die Feuerwehr aufgeschaltet. Bei weiteren 2 %, in Summe also 88 %, sind die Rauchmelder teilweise auf die Feuerwehr aufgeschaltet, während die Rauchmelder folglich bei 12 % der Anlagen nicht auf die Feuerwehr aufgeschaltet sind. Auch Mehrfachsensor-Brandmelder und Wärmemelder sind häufig vollständig auf die Feuerwehr aufgeschaltet. Dies trifft auf 78 % bzw. 75 % der Anlagen zu, die diese Systeme einsetzen.

Tabelle 2: Brandmelde- und Branderkennungstechnik

Technik	Angaben zu Einsatz		Davon auf Feuerwehr aufgeschaltet	
	n	%	ganz	zumindest teilweise
Rauchmelder	91	28 %	86 %	88 %
Infrarotkameras	66	21 %	31 %	38 %
Wärmemelder	38	12 %	75 %	75 %
Videobasierte Branderkennungssysteme	31	10 %	30 %	30 %
Flammenmelder	30	9 %	55 %	66 %
Funkenmelder	28	9 %	11 %	21 %
Mehrfachsensor-Brandmelder	24	7 %	78 %	83 %
Brandgasmelder / Gassensormelder	12	4 %	42 %	50 %
Summe	320	100 %	56 %	61 %

Rauchmelder werden in vielen Anlagen flächendeckend in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt, beispielsweise in Produktions- und Lagerbereichen sowie in Verwaltungsgebäuden. Die übrigen Systeme werden hingegen häufiger gezielt an brandgefährdeten Stellen installiert, etwa Infrarotkameras im Bereich der Anlieferung und Zerkleinerung.

Zur Bewertung der brandschutztechnischen Eignung von Produkten und Systemen existieren etablierte Prüf- und Zertifizierungssysteme. Zu den international anerkannten Institutionen zählen die VdS Schadenverhütung GmbH (VdS) sowie FM (ehemals FM Global). Die meisten eingesetzten Systeme sind VdS-konform oder ihre Funktion wurde durch den VdS geprüft. Dies gilt insbesondere für Brandgas- bzw. Gassensormelder (88 %) sowie Rauchmelder (82 %). Eine Konformität zu FM Global bzw. eine entsprechende Funktionsprüfung ist deutlich seltener anzutreffen, da diese häufig nur von international tätigen Versicherungen angefragt wird.

Während Rauch- und Wärmemelder in vielen Anlagen bereits seit 15 Jahren oder länger in Betrieb sind, wurden insbesondere videobasierte Branderkennungssysteme überwiegend erst in den vergangenen Jahren installiert. Auch Infrarotkameras und Mehrfachsensoren-Brandmelder weisen häufig ein vergleichsweise geringes Alter auf.

Neben den Systemen zur Brandmeldung und Branderkennung wurden auch die in den Anlagen eingesetzten Löschtechniken erfasst. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Sprühwasser-, Monitor- und Sprinkleranlagen stellen die am häufigsten eingesetzten Löschtechniken dar und vereinen zusammen rund zwei Drittel aller erfassten Systeme auf sich. Insgesamt kommen Löschtechniken seltener zum Einsatz als Systeme zur Brandmeldung und Branderkennung.

Es zeigt sich bei den Löschtechniken ein ähnliches Bild wie bereits bei den Brandmelde- und Branderkennungssystemen. Während Wertstoff- bzw. Recyclinghöfe häufig über keine der abgefragten Systeme verfügen, setzen insbesondere Aufbereitungsanlagen für Ersatzbrennstoffe sowie Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Leichtverpackungen und Restabfälle oftmals mehrere Löschsysteme parallel ein. Schaummittel kommen dabei überwiegend in Schaum- und Monitorlöschanlagen zum Einsatz.

Tabelle 3: Löschtechnik

Technik	Angaben zu Einsatz		Davon mit Schaum- mitteleinsatz	
	n	%	ganz	zumindest teilweise
Sprühwasserlöschanlage	43	26 %	39 %	48 %
Monitorlöschanlage	33	20 %	78 %	85 %
Sprinkleranlage	31	19 %	32 %	32 %
Funkenlöschanlage	23	14 %	11 %	11 %
Schaumlöschanlage	20	12 %	88 %	94 %
Gaslöschanlage	8	5 %	0 %	0 %
Wassernebellöschanlage	4	2 %	0 %	0 %
Aerosollöschanlage	2	1 %	0 %	0 %
Turbinenlöschanlage	2	1 %	0 %	0 %
Summe	166	100 %	43 %	47 %

Monitorlöschanlagen finden insbesondere in Hallen-, Bunker- und Lagerbereichen Anwendung, während Funkenlöschanlagen nahezu ausschließlich in der Sortier- und Aufbereitungstechnik eingesetzt werden. Sprinkler-, Schaum- und Sprühwasserlöschanlagen weisen hingegen ein breiteres Einsatzspektrum innerhalb der Anlagen auf.

Eine VdS-Konformität bzw. eine Funktionsprüfung nach VdS ist bei Löschtechniken etwas seltener anzutreffen als bei Brandmelde- und Branderkennungssystemen. Je nach System liegt der entsprechende Anteil zwischen 50 % und 80 %, wobei insbesondere Sprinkleranlagen häufig VdS-konform ausgeführt sind. Eine Konformität zu FM Global bzw. eine entsprechende Funktionsprüfung spielt auch bei Löschtechniken eine deutlich geringere Rolle.

Viele der eingesetzten Löschanlagen sind bereits seit 15 Jahren oder länger in Betrieb. Gleichzeitig zeigt sich über nahezu alle Löschtechniken hinweg, dass in den vergangenen Jahren neue Systeme installiert oder bestehende Anlagen modernisiert wurden.

Da die Umfrage lediglich den grundsätzlichen Einsatz verschiedener Brandmelde- und Branderkennungstechniken sowie Löschtechniken erfasst, nicht jedoch deren Umfang

(z. B. die Anzahl installierter Rauchmelder, Sprinkleranlagen oder anderer Systeme), lassen sich aus den vorliegenden Ergebnissen nur eingeschränkt Rückschlüsse auf das tatsächliche Brandschutzniveau der befragten Anlagen ziehen. Zudem wird das Brandschutzniveau von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst, etwa durch bauliche Gegebenheiten, organisatorische Maßnahmen oder die Ausgestaltung weiterer Brandschutzeinrichtungen. Eine belastbare Bewertung des Brandschutzniveaus auf Grundlage der erhobenen Daten ist daher nicht möglich. Eine von der Umfrage unabhängige Einordnung der einzelnen Detektions- und Löschtechniken nach Wirkprinzip, Einsatzbereich und Grenzen findet sich in Kapitel 7.1 (vgl. Tabelle 8). In 74 der teilnehmenden Anlagen, Wertstoffhöfe ausgenommen, ist Löschtechnik installiert. Das entspricht einem Anteil von 53 %. Löschtechnik begrenzt die Folgen eines Brandes. Den Eintrag brandgefährlicher Stoffe in die Anlagen verhindert sie nicht.

2.3 Entwicklung und Betroffenheit durch Brandereignisse

Eine zentrale Frage der Umfrage betraf die Entwicklung von Brand- und Hotspot-Ereignissen in den befragten Anlagen. Hierzu wurden die Anlagenbetreiber gebeten, für die Jahre 2021 bis 2025 Angaben zur Anzahl gefährlicher Hotspot-Ereignisse und Brände zu machen. Im Rahmen der Umfrage wurde dabei zwischen beiden Ereignisarten unterschieden, da sich ein Brand entwickeln kann, wenn ein Hotspot-Ereignis nicht rechtzeitig oder nicht ausreichend bekämpft wird. Die zugrunde liegenden Definitionen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Definition Hotspot und Brand

Hotspot	Brand
Lokale Überhitzung, aber keine offenen Flammen	Offene Flammen oder selbstständige Schwel-/Glutreaktion
Material ist noch nicht in einen selbstständigen Verbrennungsprozess übergegangen	Verbrennung läuft eigenständig weiter, oft mit Rauchentwicklung
Wärmeentwicklung bleibt punktuell begrenzt	Wärmeausbreitung ist nicht mehr lokal begrenzt
Ermöglicht frühe Intervention (Kühlen, Separieren), bevor ein Brand entsteht	Erfordert umfangreichere Löschmaßnahmen und ggf. Alarmierung

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung sowohl der gefährlichen Hotspot-Ereignisse als auch der Brände im Zeitraum von 2021 bis 2025. Eine gewisse Unschärfe ergibt sich dabei aus der Definition von Hotspot-Ereignissen. Nicht jeder Hotspot würde sich ohne Intervention zwangsläufig zu einem Brand entwickeln, sodass die Erfassung solcher Ereignisse von der jeweiligen betrieblichen Bewertung abhängt. Insbesondere ist davon auszugehen, dass kleinere Ereignisse, beispielsweise kurzzeitige thermische Reaktionen von Batterien in Zerkleinerern, nicht in allen Anlagen gleichermaßen als gefährliche Hotspot-Ereignisse erfasst werden.

Eine Anlage gab an, dass täglich rund 24 Hotspot-Ereignisse auftraten. Aufgrund der Anonymität der Umfrage konnte diese Angabe weder verifiziert noch falsifiziert werden. Der Wert liegt deutlich oberhalb aller übrigen Angaben. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass der Erfassung gefährlicher Hotspot-Ereignisse in dieser Anlage ein anderer Maßstab zugrunde lag als in den übrigen Anlagen, etwa aufgrund einer empfindlicher eingestellten Infrarottechnik. Die Angabe wird in Abbildung 2 und bei der Interpretation der Ergebnisse nicht berücksichtigt, um eine unverhältnismäßige Beeinflussung der Gesamtergebnisse durch diesen Einzelwert zu vermeiden.

Einige Anlagen gaben an, dass im jeweiligen Jahr Hotspot-Ereignisse oder Brände aufgetreten waren, ohne deren genaue Anzahl zu benennen. Diese Angaben wurden mit dem Mindestwert von einem Ereignis pro Jahr in die Auswertung einbezogen. Die dargestellten Ereigniszahlen sind daher als konservative Schätzung bzw. als untere Grenze der tatsächlich aufgetretenen Hotspot-Ereignisse und Brände zu verstehen. Darüber hinaus deuten einzelne Freitextantworten darauf hin, dass die Erfassung von Hotspot-Ereignissen und Bränden zwischen den Anlagen unterschiedlich erfolgt. So wurden teilweise nur Ereignisse dokumentiert, die zu Personen-, Sach- oder Umweltschäden führten. Die tatsächliche Anzahl insbesondere kleinerer Ereignisse könnte daher in einzelnen Fällen höher liegen als in den vorliegenden Daten ausgewiesen.

Bezogen auf die 181 an der Umfrage teilnehmenden Anlagen zeigt sich eine deutliche Zunahme sowohl gefährlicher Hotspot-Ereignisse als auch von Bränden im Betrachtungszeitraum. Die Zahl der gefährlichen Hotspot-Ereignisse stieg von 1.202 im Jahr 2021 auf 2.992 im Jahr 2025. Die Zahl der Brände erhöhte sich im selben Zeitraum von 729 auf 2.028. Damit sind die gefährlichen Hotspot-Ereignisse innerhalb von fünf Jahren auf rund das Zweieinhalbfache gestiegen und die Brände haben sich nahezu verdreifacht. Dieser Trend ist unabhängig von dem genannten Einzelfall mit außergewöhnlich hoher Ereigniszahl erkennbar.

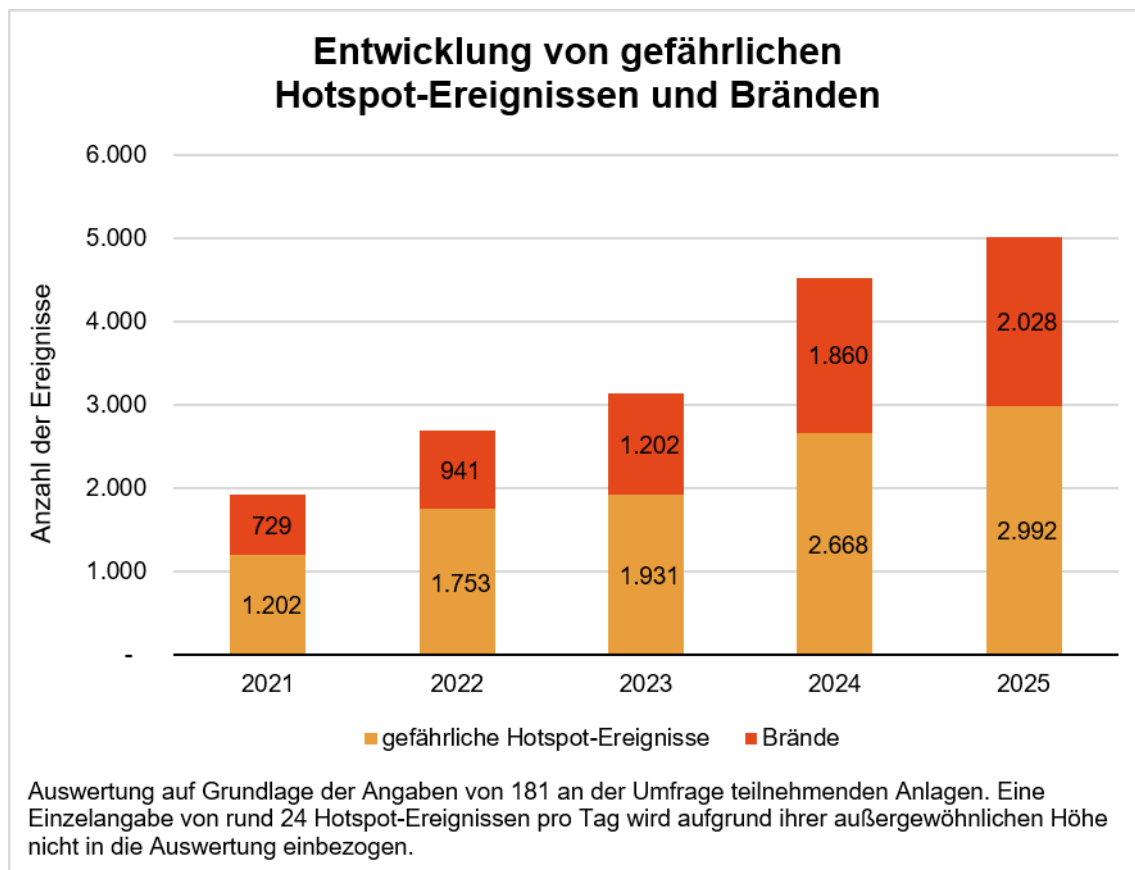


Abbildung 2: Entwicklung von gefährlichen Hotspot-Ereignissen und Bränden 2021 bis 2025

Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung der Betroffenheit besteht in der Betrachtung des Anteils der an der Umfrage teilnehmenden Anlagen, die im jeweiligen Jahr von gefährlichen Hotspot-Ereignissen oder Bränden betroffen waren. Auch hierbei zeigt sich ein deutlicher Anstieg. Während im Jahr 2021 rund ein Drittel der Anlagen von gefährlichen Hotspot-Ereignissen bzw. Bränden betroffen war, traf dies im Jahr 2025 auf 54 % der Anlagen bei den

gefährlichen Hotspot-Ereignissen und auf 62 % bei den Bränden zu. Dass in jedem Jahr mehr Anlagen Brände als gefährliche Hotspot-Ereignisse melden, obwohl gefährliche Hotspot-Ereignisse absolut häufiger auftreten, stützt die oben genannte Annahme, dass diese nicht in allen Anlagen systematisch erfasst werden.

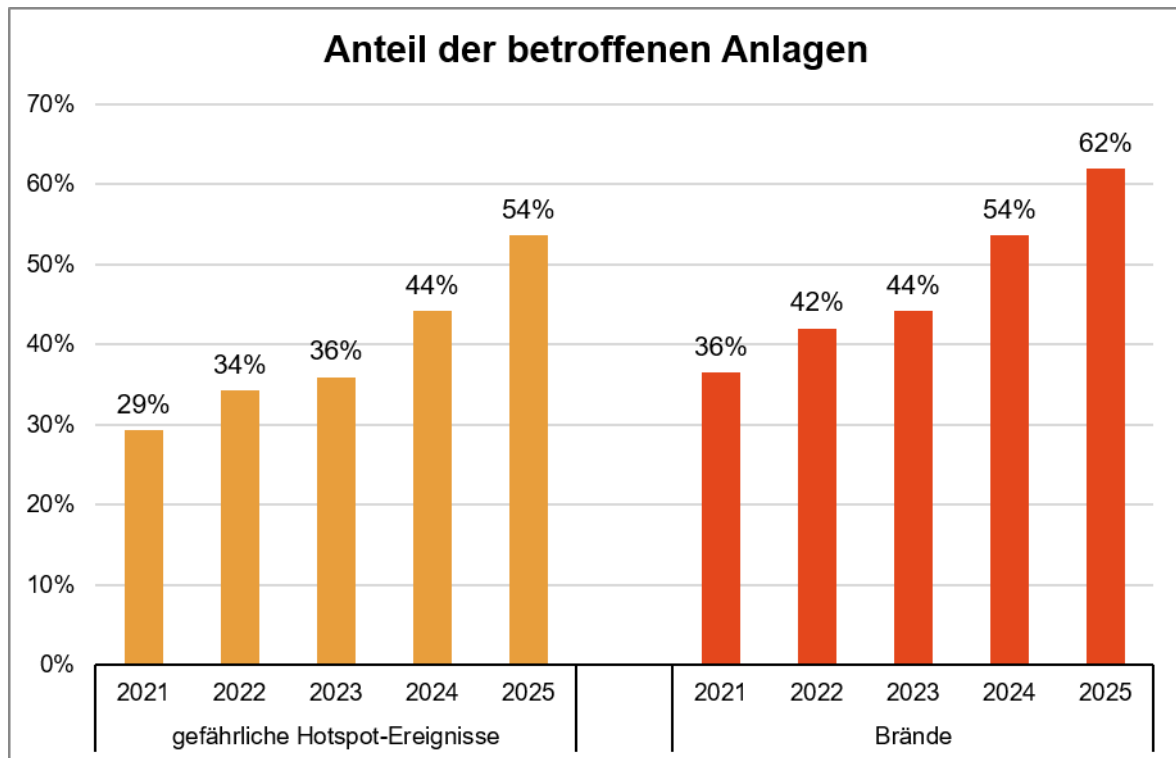


Abbildung 3: Anteil der betroffenen Anlagen

Besonders stark betroffen sind Sortier- und Behandlungsanlagen für Leichtverpackungen, Restabfälle und Gewerbeabfälle. Dies zeigt sich sowohl am Anteil der betroffenen Anlagen als auch an der mittleren Anzahl der Brände je Anlage. Während im Jahr 2021 etwa die Hälfte der befragten Anlagen dieser Kategorien betroffen war, lag dieser Anteil im Jahr 2025 bereits zwischen rund 70 % und 90 %. Gleichzeitig stieg die mittlere Anzahl der Brände je Anlage dieser Kategorien von etwa 10 auf 20 bis 30 Brände pro Jahr (je nach Anlagenart). Eine starke Zunahme zeigt sich auch bei einigen Aufbereitungsanlagen für Ersatzbrennstoffe aus Behandlungsanlagen. Deponien, Wertstoff- bzw. Recyclinghöfe, Umschlaganlagen sowie Anlagen für Bio- und/oder Grünabfall weisen auf Grundlage der Umfragedaten die geringste Betroffenheit auf.

2.4 Erkennung, Ursachen und Entstehungsorte von Bränden

Trotz des Einsatzes moderner Brandmelde- und Branderkennungstechnik bleibt der Mensch ein wesentlicher Faktor bei der Entdeckung von Bränden. Die der Tabelle 5 zugrunde liegende Frage erfasste, auf welche Weise Brände in den Jahren 2021 bis 2025 überwiegend entdeckt wurden. Auf Brandmelde- und Branderkennungstechnik entfallen 47 % der insgesamt 798 Angaben aus den Jahren 2021 bis 2025. In 44 % der Angaben war das Betriebspersonal der wichtigste Akteur bei der Branderkennung. Zusammen mit Passanten und Wachdiensten entfallen 52 % der Angaben auf die Entdeckung durch Personen. Die Anteile beziehen sich auf die Angaben und nicht auf die Zahl der befragten Anlagen.

Passanten und Wachdienste spielen gegenüber dem Betriebspersonal nur eine untergeordnete Rolle und sind lediglich in wenigen Anlagen für den überwiegenden Teil der Brandentdeckungen verantwortlich. Über den betrachteten Zeitraum von 2021 bis 2025 zeigen sich keine wesentlichen Veränderungen in den jeweiligen Anteilen. Die nachfolgende Auswertung bezieht sich daher auf den gesamten Untersuchungszeitraum.

Tabelle 5: Häufigste Arten der Brandentdeckung (2021 bis 2025)

Arten der Brandentdeckung		Angaben	
		n	%
Betriebspersonal		349	44 %
Passanten		42	5 %
Wachdienst		23	3 %
Rauchmelder		92	12 %
Wärmemelder		34	4 %
Flammenmelder/Funkenmelder		72	9 %
Videobasierte Branderkennungssysteme		40	5 %
Infrarotkameras		130	16 %
Brandgasmelder		8	1 %
Sonstiges		8	1 %
Summe		798	100 %

Rund die Hälfte der befragten Anlagenbetreiber gab an, dass im Vorfeld von Brandereignissen besondere Fehlwürfe, insbesondere Batterien, festgestellt wurden. Aus den vorliegenden Daten lässt sich jedoch nicht ableiten, ob es sich dabei um regelmäßig auftretende Beobachtungen im Betriebsalltag oder um Einzelfälle im Zusammenhang mit konkreten Brandereignissen handelt. Etwa ein Drittel der Befragten konnte vor Bränden keine besonderen Hinweise ausmachen. Andere mögliche Einflussfaktoren wie Hitzeperioden, erhöhte Störstoffanteile oder erschöpfte Lagerkapazitäten wurden nur vereinzelt genannt und spielen den Angaben zufolge eine klar untergeordnete Rolle.

Brandursachen

Die Anlagenbetreiber wurden zudem nach den Brandursachen gefragt. Hierbei wurde zwischen gesicherten und wahrscheinlichen Brandursachen unterschieden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass wahrscheinliche Brandursachen z. B. gemäß Zündverhalten und Temperaturentwicklung, basierend auf den entsprechenden Erfahrungswerten im Anlagenbetrieb, angenommen werden. Gesicherte Brandursachen liegen vor, wenn die Zündquelle identifiziert werden konnte. Eine grundsätzliche Absicherungsmöglichkeit besteht nicht, da sowohl die Versicherungen als auch die Brandermittler ausschließlich bei bestimmten Schadensfällen aktiv werden und so eine konsistente Datenlage nicht möglich ist.

Da die Abgrenzung zwischen beiden Kategorien bei der Befragung nicht weiter spezifiziert wurde, basiert die Zuordnung auf der Bewertung durch die Befragten. Zudem ist aufgrund der gemachten Angaben davon auszugehen, dass einzelne Befragte den Begriff der Brandursache nicht ausschließlich auf Brände im Sinne der in Tabelle 4 dargestellten Definition bezogen haben, sondern teilweise auch gefährliche Hotspot-Ereignisse einbezogen.

Die Angaben zu gesicherten und wahrscheinlichen Brandursachen stellen zwei getrennt auszuwertende Kategorien dar. Sie beziehen sich auf die jeweils von den Anlagen gemeldeten Brandereignisse eines Jahres, ohne dass sich die Angaben einzelnen Brandereignissen eindeutig zuordnen lassen. Unterschiede zwischen beiden Auswertungen sind daher nicht als unterschiedliche Bewertung derselben Brandereignisse zu verstehen, sondern

können auf verschiedene Ereignisse innerhalb des jeweiligen Jahres zurückzuführen sein. Die nachfolgenden Ergebnisse sind vor diesem Hintergrund zu interpretieren.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der gesicherten und wahrscheinlichen Brandursachen für den Zeitraum von 2021 bis 2025. Die beiden Kategorien werden dabei entsprechend der vorstehenden methodischen Einordnung getrennt betrachtet. Lithium-Ionen-Akkus stellen in beiden Kategorien die mit Abstand wichtigste Ursache dar. Ihr Anteil steigt über den Betrachtungszeitraum sowohl bei den gesicherten als auch bei den wahrscheinlichen Brandursachen an. Bei den wahrscheinlichen Brandursachen werden Lithium-Ionen-Akkus zuletzt in mehr als 90 % der Fälle als Ursache genannt. Andere Ursachen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle.

Auch bei den gesicherten Brandursachen dominieren Lithium-Ionen-Akkus deutlich. Daneben entfallen bei den gesicherten Brandursachen zwischen 21 % und 24 % der Angaben auf sonstige Ursachen, darunter insbesondere falsch entsorgte Abfälle und Selbstentzündungen. Der Anteil der Fälle mit unbekannter Ursache bewegt sich sowohl bei den gesicherten als auch bei den wahrscheinlichen Brandursachen über den gesamten Betrachtungszeitraum auf einem niedrigen Niveau.

9 % der Befragten gaben an, dass zu gesicherten Brandursachen Sachverständigengutachten oder andere beweiskräftige Dokumente vorliegen. Die Angabe beschreibt die grundsätzliche Verfügbarkeit solcher Nachweise im Betrieb und nicht den Anteil der Brände, deren Ursache belegt ist. Ein solcher Anteil lässt sich aus der Umfrage nicht ableiten, da sich die Angaben zu den Brandursachen nicht einzelnen Brandereignissen zuordnen lassen.

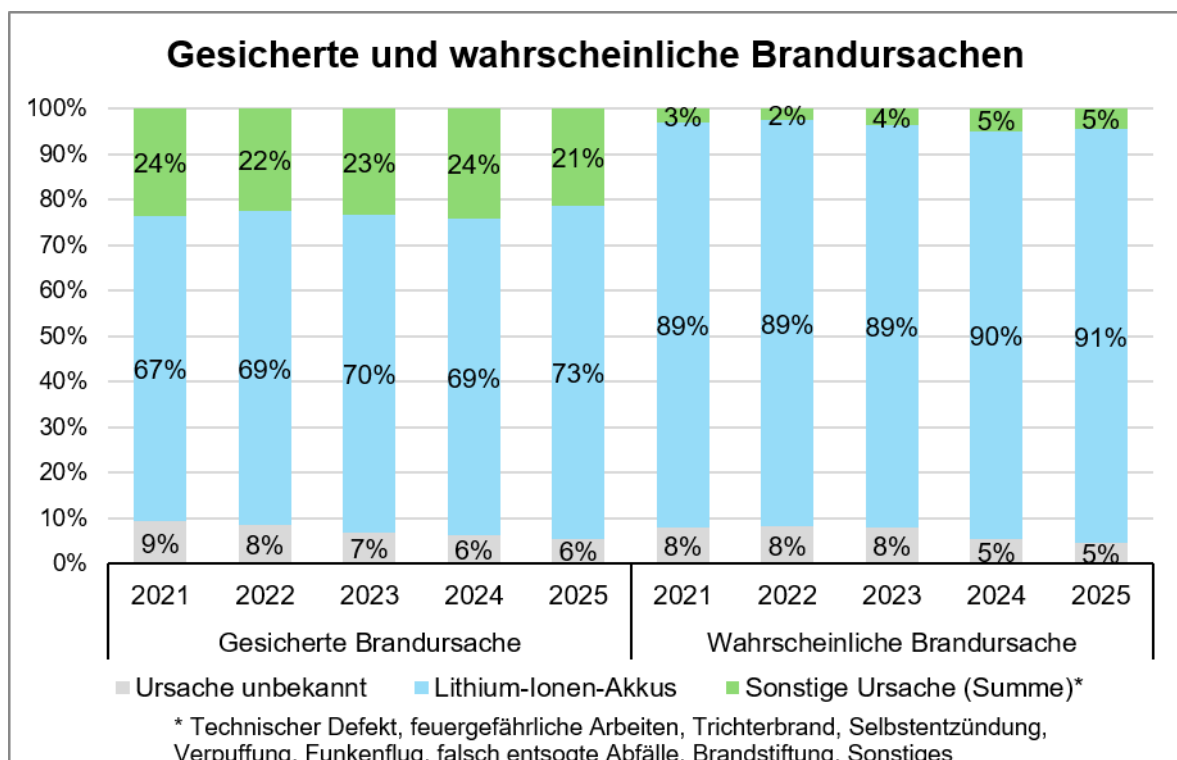


Abbildung 4: Gesicherte und wahrscheinliche Brandursachen

Ergänzend wurde gefragt, ob bei Bränden, bei denen Lithium-Ionen-Akkus bzw. -Batterien als wahrscheinliche Brandursache genannt wurden, das auslösende Produkt identifiziert werden konnte. In 71 % der Angaben blieb das konkrete Produkt unbekannt. Lediglich in 29 % der Angaben wurden ein oder mehrere Produkte benannt. Dies verdeutlicht, dass die

Identifikation des tatsächlich auslösenden Produkts im Anlagenbetrieb häufig nicht möglich ist, selbst wenn Lithium-Ionen-Akkus als wahrscheinliche Brandursache angenommen werden. Eine Ursache kann die vollständige Zerstörung des Brandgutes inkl. der Zündquelle infolge der Hitzeentwicklung sein.

Unter den identifizierten Produkten wurden E-Zigaretten am häufigsten genannt. Weitere Nennungen entfielen unter anderem auf E-Bike-, E-Scooter- bzw. Fahrzeugakkus sowie elektrische Geräte. Da die Angaben als Freitext erfasst wurden und teilweise mehrere Produkte oder Produktgruppen genannt wurden, sind die Ergebnisse als qualitative Einordnung der identifizierten Produkte zu verstehen.

Orte der Brandentstehung

Abbildung 5 zeigt die Angaben der Befragten zu den Orten, an denen Brände überwiegend entstanden sind. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Einschätzung der Anlagenbetreiber und sind daher nicht direkt auf die Anzahl einzelner Brandereignisse übertragbar. Sie ermöglichen jedoch eine Einordnung der Brandentstehungsorte entlang der Aufbereitungskette und deren Entwicklung im Zeitverlauf.

Mit 40 % der Nennungen war im Jahr 2025 der Bereich Anlieferung, Lager und Bunker der häufigste Brandentstehungsort. Zusammen mit Fahrzeugen, die für 8 % der Befragten den überwiegenden Brandentstehungsort darstellten, lag der maßgebliche Brandentstehungsort in nahezu der Hälfte der Anlagen vor dem ersten Aufbereitungsaggregat. Auffällig ist dabei die Entwicklung im Jahr 2025: Gegenüber 2024 nahm der Anteil beider Brandentstehungsorte zu, sodass Fahrzeuge sowie Anlieferung, Lager und Bunker zusammen erstmals 48 % der Nennungen ausmachten. Unter den eigentlichen Aufbereitungsaggregaten weisen Zerkleinerer die größte Bedeutung auf. Im Jahr 2025 gaben 25 % der Befragten an, dass Brände überwiegend in diesem Anlagenbereich entstehen. Förderbänder, weitere Aufbereitungs- und Anlagentechnik sowie Abstell- und Ablagerungsflächen spielen demgegenüber eine geringere Rolle.

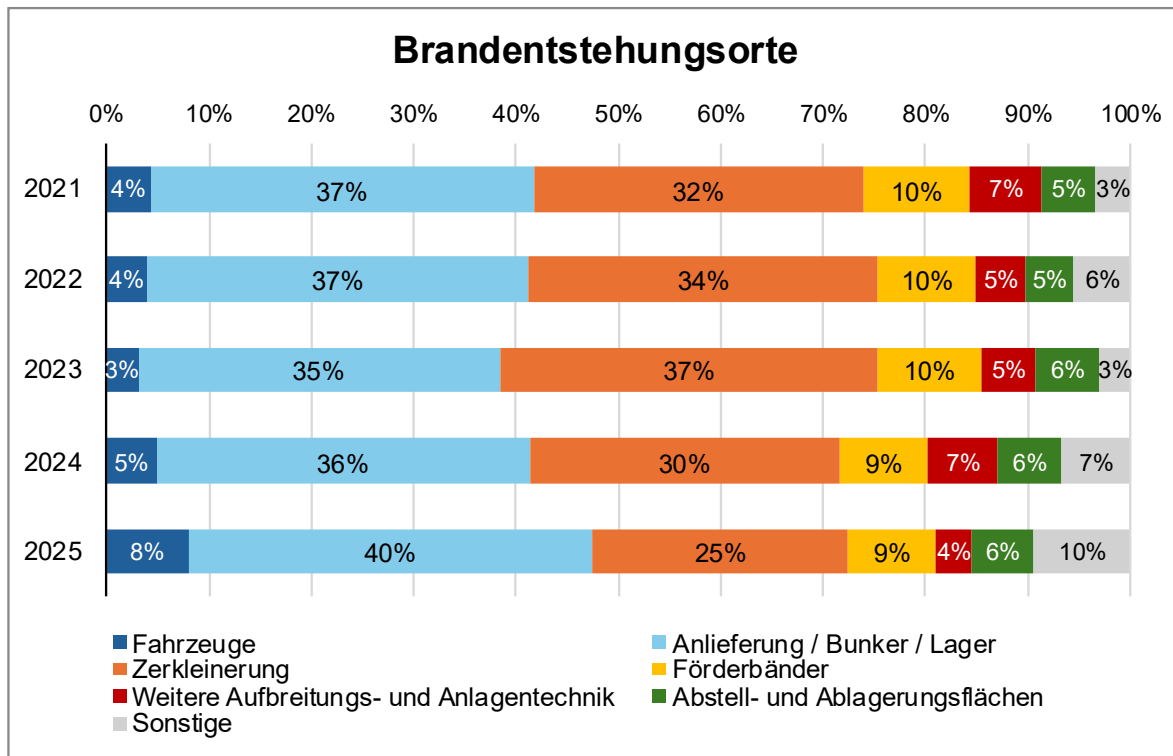


Abbildung 5: Orte, an denen Brände überwiegend entstanden sind

Bei einer Betrachtung der einzelnen Anlagenarten zeigen sich Unterschiede, die sich aber aus den jeweiligen Tätigkeiten und Prozessschritten ergeben. So entstehen Brände bei Umschlaganlagen vergleichsweise häufig in Fahrzeugen. Der Begriff umfasst dabei sowohl betriebsinterne Fahrzeuge als auch weitere Fahrzeuge des Betriebs, etwa Abfallsammelfahrzeuge. Bei Sortier- und Aufbereitungsanlagen spielt dieser Brandentstehungsort eine geringere Rolle, da diese in der Regel nicht über eigene Fahrzeuge für den Transport von Abfällen verfügen. Zwischen den besonders häufig von Bränden betroffenen Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Leichtverpackungen, Restabfälle und Gewerbeabfälle zeigen sich hingegen keine grundlegenden Unterschiede hinsichtlich der maßgeblichen Brandentstehungsorte. Trotz unterschiedlicher Inputströme ergibt sich in diesen Anlagenarten ein vergleichbares Verteilungsmuster. Da diese Anlagenarten einen großen Teil der Angaben zu Brandereignissen stellen, prägen sie die in Abbildung 5 dargestellte Gesamtauswertung maßgeblich.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich Brandentstehungen auf unterschiedliche Bereiche der Anlagen verteilen. Dies ist insbesondere bei der Bewertung von Brandvermeidungsmaßnahmen zu berücksichtigen, da deren Wirksamkeit vom jeweiligen Entstehungsort abhängt. Maßnahmen zur Identifikation und Ausschleusung brandgefährlicher Stoffe innerhalb der mechanischen Aufbereitung adressieren unmittelbar nur einen Teil der maßgeblichen Brandentstehungsorte. Ein erheblicher Anteil der Brände entsteht bereits vor dem ersten Aufbereitungsaggregat im Bereich der Anlieferung, Lagerung und Bunkerung bzw. in Fahrzeugen.

2.5 Ausbreitung und Löschmaßnahmen

Ist ein Brand erst entstanden, breitet er sich in der Regel aus, sofern aktive Maßnahmen dies nicht verhindern. In 88 % der Fälle kann eine Ausbreitung verhindert werden. Nur 11 % der Brände treten von der Zündquelle auf andere Anlagenbereiche über. In rund 1 % der

Fälle blieb eine Ausbreitung ohne aktive Gegenmaßnahmen aus. Über den Betrachtungszeitraum ist hierbei keine eindeutige Entwicklung erkennbar.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Löschmaßnahmen. Obwohl sich die zugrunde liegende Fragestellung auf Brände bezog, ist aufgrund der Anzahl der Angaben davon auszugehen, dass die Befragten teilweise auch Löschmaßnahmen bei Hotspot-Ereignissen berücksichtigt haben. Die Ergebnisse sind daher als allgemeine Auswertung von Löschmaßnahmen bei Brand- und Hotspot-Ereignissen zu verstehen.

Der überwiegende Teil der erfassten Löschereignisse wird ohne externe Unterstützung unter Kontrolle gebracht. Im Jahr 2025 musste die örtliche Berufsfeuerwehr bzw. freiwillige Feuerwehr lediglich bei 4 % der Löschereignisse eingreifen. Automatische Löscheinrichtungen stellten im Jahr 2021 mit einem Anteil von 52 % noch die wichtigste Löschmaßnahme dar. Obwohl sich die absolute Anzahl der durch automatische Löscheinrichtungen beherrschten Löschereignisse bis 2025 nahezu verdoppelt hat, nahm die Bedeutung des Betriebspersonals im gleichen Zeitraum überproportional zu. Im Jahr 2025 wurden 54 % aller Löschereignisse durch das Betriebspersonal unter Kontrolle gebracht.

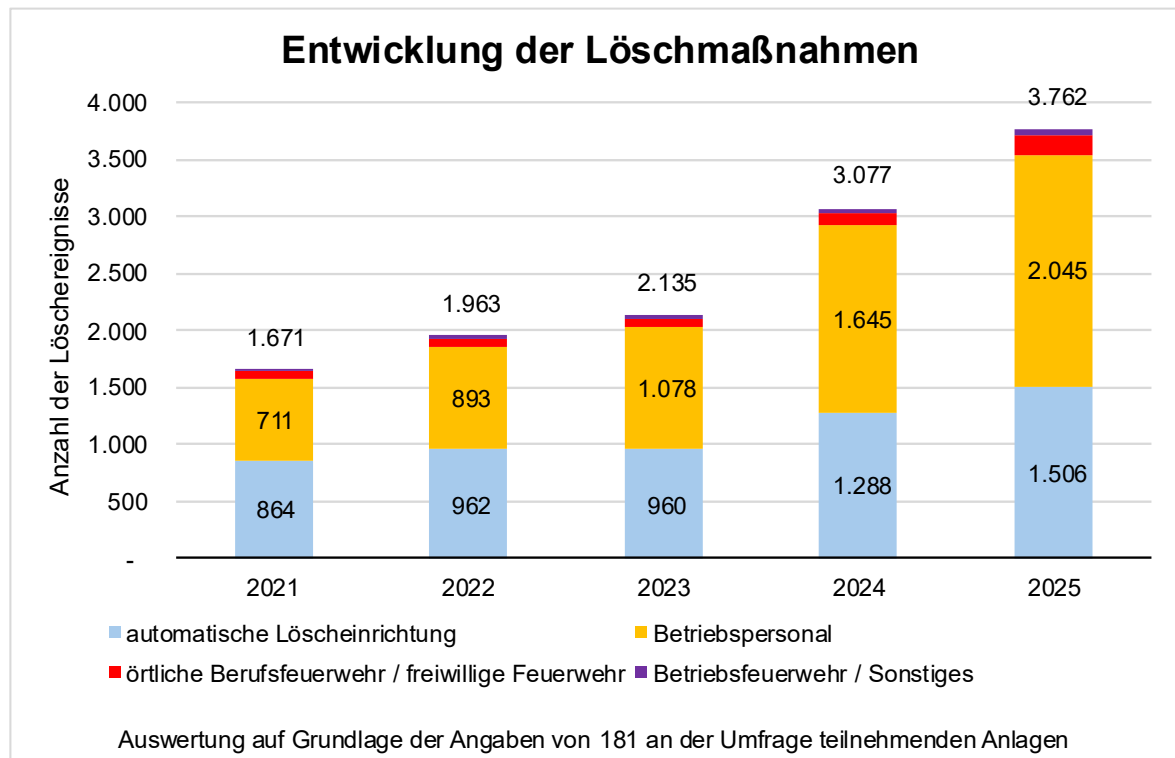


Abbildung 6: Entwicklung der unterschiedlichen Löschmaßnahmen

Ergänzend dazu wurde im Rahmen der Frage zur Brandstatistik erhoben, ob Hotspot-Ereignisse bzw. Brände intern oder extern gelöst wurden. Als intern gelöst galten Ereignisse, die durch das Betriebspersonal der Anlage ohne Einsatz der Feuerwehr bewältigt wurden. Als extern gelöst galten Ereignisse, bei denen die Feuerwehr eingreifen musste. Diese Auswertung bestätigt die in Abbildung 6 erkennbare Grundtendenz: Der Großteil der Ereignisse wird durch das Betriebspersonal ohne weitere Unterstützung von außen wie z. B. von der Feuerwehr bewältigt. Hotspot-Ereignisse werden nur selten extern gelöst, der entsprechende Anteil nimmt im Zeitverlauf jedoch zu. Bei Bränden im engeren Sinne musste die Feuerwehr in rund 8 % der Fälle eingreifen. Dieser Anteil bleibt über den Betrachtungszeitraum weitgehend konstant. Der Unterschied zu dem in Abbildung 6 ausgewiesenen Anteil von 4 % ergibt sich aus der Bezugsgröße, da dort auch Löschmaßnahmen bei gefährlichen

Hotspot-Ereignissen enthalten sind. Aufgrund der insgesamt steigenden Zahl an Bränden hat sich die absolute Anzahl der Feuerwehreinsätze auf Basis dieser Daten zwischen 2021 und 2025 mehr als verdoppelt.

Insgesamt wird der überwiegende Teil der Brandereignisse im Betrieb beherrscht, ohne dass die Feuerwehr oder andere Dritte beteiligt sind. Öffentlich bekannt werdende Großereignisse bilden daher nur einen Ausschnitt des tatsächlichen Brandgeschehens ab. Für die Einordnung des Risikos sind auch die zahlreichen frühzeitig eingedämmten Ereignisse zu berücksichtigen.

2.6 Schäden und betriebliche Folgen

Für 3.935 der insgesamt 6.760 gemeldeten Brände (vgl. Abbildung 2) wurde eine Angabe zur Schadensart gemacht, das entspricht 58 %. Von diesen Angaben entfallen rund 90 % auf Ereignisse ohne nennenswerte Sach- oder Personenschäden, wie Abbildung 7 zeigt. Innerhalb der Schadensarten ist im Betrachtungszeitraum eine Verschiebung erkennbar. Insbesondere der Anteil von Maschinenschäden stieg von 6 % im Jahr 2021 auf 10 % im Jahr 2025. Da sich die Anzahl der Brandereignisse im selben Zeitraum nahezu verdreifacht hat, nimmt die Anzahl aller Sachschäden auch in absoluten Zahlen zu. Personenschäden bleiben hingegen weiterhin seltene Einzelereignisse. Für die übrigen Brände liegt keine Angabe zur Schadensart vor. Ein Teil dieser Differenz dürfte auf fehlende Angaben und nicht auf schadensfreie Ereignisse zurückgehen, sodass die ausgewiesene Zahl der Schadenereignisse als Untergrenze zu verstehen ist.

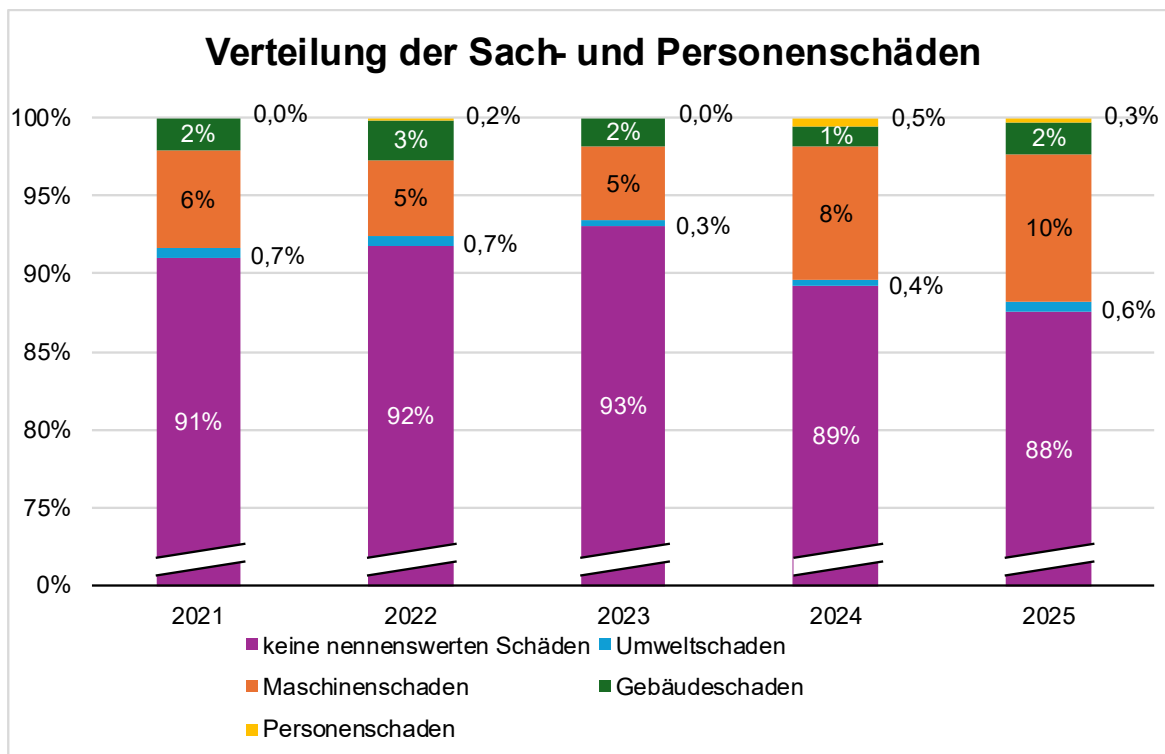


Abbildung 7: Verteilung der Sach- und Personenschäden im Betrachtungszeitraum

Ergänzend wurden die am häufigsten betroffenen Objekte bzw. Schadensarten erfasst. Umweltschäden stehen überwiegend im Zusammenhang mit Löschwasser, das in die Umwelt, beispielsweise in Oberflächengewässer, gelangt. Bei Maschinenschäden sind insbesondere Fördertechniken und Zerkleinerer betroffen. Gebäudeschäden treten häufig an

Dachkonstruktionen auf. Personenschäden sind überwiegend auf Rauchvergiftungen bzw. den Verdacht auf Rauchvergiftungen zurückzuführen.

Schadenssummen und Kosten

Mehrere Fragen der Umfrage befassten sich mit den wirtschaftlichen Folgen von Bränden. Erfasst wurden die Höhe von Sachschäden differenziert nach Schadensarten, die Kosten der Schadensbeseitigung sowie zusätzliche Aufwendungen, die infolge von Brandschäden oder brandbedingten Betriebsstörungen durch die Beauftragung externer Dritter zur Erfüllung bestehender Verträge entstanden sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass kleinere Schäden deutlich häufiger auftreten als hohe Schadenssummen. Über alle Schadensklassen hinweg treten Maschinenschäden am häufigsten auf, wobei insbesondere kleinere und mittlere Schäden dominieren. Gebäudeschäden werden deutlich seltener gemeldet, erreichen jedoch häufiger höhere Schadenssummen. Entsprechend der steigenden Anzahl von Brandereignissen nimmt auch die Anzahl der gemeldeten Schäden im Betrachtungszeitraum zu.

Die Auswertung dieser Angaben bildet eine wesentliche Grundlage für die ökonomischen Analysen in Kapitel 6 (Volkswirtschaftliche Kosten, Ausblick und Auswirkungen auf die Versicherbarkeit). Auf eine detaillierte Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet, da die Ergebnisse erst durch die dort vorgenommene Skalierung und Einordnung ihre volle Aussagekraft entfalten.

Einschränkungen im Betrieb

Im Betrachtungszeitraum war mehr als die Hälfte der Anlagen, die hierzu Angaben gemacht haben, von Betriebseinschränkungen, Betriebsunterbrechungen oder Betriebseinstellungen infolge von Brandereignissen betroffen. Am häufigsten traten Betriebseinschränkungen auf, sie dauerten im Mittel 84 Tage an. Betriebsunterbrechungen wurden seltener gemeldet und dauerten mit durchschnittlich 45 Tagen kürzer. Vollständige Betriebseinstellungen blieben die Ausnahme. Trat eine ein, erstreckte sie sich jedoch häufig über erhebliche Teile eines Jahres bis hin zu ganzjährigen Betriebsausfällen. Bezogen auf die Anzahl der betroffenen Anlagen ist über den Betrachtungszeitraum eine Zunahme erkennbar. Dieser Trend spiegelt sich jedoch nicht in der Summe der Ausfalltage wider, da diese Kennzahl maßgeblich durch einzelne Ereignisse mit besonders langen Ausfallzeiten beeinflusst wird.

Ausgefallene Kapazitäten

Ergänzend wurde abgefragt, welche Abfallmengen infolge von Brandereignissen betroffen waren. Dabei wurde zwischen ausgefallener Behandlungskapazität und Abfallmengen unterschieden, die aufgrund von Brandereignissen nicht in der Anlage behandelt werden konnten. Die Befragten machten häufig nur zu einer der beiden Größen Angaben. Die insgesamt gemeldeten Ausfallmengen schwanken im Betrachtungszeitraum erheblich, da einzelne Großereignisse einen maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Anzahl der Anlagen, die von entsprechenden Ausfällen betroffen waren, hat sich hingegen im Betrachtungszeitraum nahezu verdoppelt.

Analysiert man die Verteilung der ausgefallenen Kapazitäten bzw. nicht behandelten Abfallmengen auf die verschiedenen Anlagenarten, entfallen die größten Anteile auf Sortieranlagen für Leichtverpackungen (35 %) sowie Anlagen für Gewerbeabfälle (30 %). Diese Ergebnisse sind jedoch vor dem Hintergrund zu betrachten, dass beide Anlagenarten auch einen großen Anteil der in der Umfrage erfassten Gesamtkapazität auf sich vereinen (vgl. Tabelle 1).

In den besonders betroffenen Anlagenarten konzentrieren sich die gemeldeten Ausfallmengen auf einzelne Jahre. Bei Sortier- und Behandlungsanlagen für Leichtverpackungen wurden im Jahr 2023 rund 151.000 Mg gemeldet, bei Anlagen für Gewerbeabfälle im Jahr 2025 rund 89.000 Mg und bei Anlagen für Altpapier im Jahr 2021 rund 100.000 Mg. Diese Mengen entsprechen jeweils etwa der mittleren Jahreskapazität einer einzelnen Anlage dieser Kategorie (vgl. Tabelle 1) und damit rechnerisch dem Ausfall eines vollständigen Betriebs über ein Jahr. Aufgrund der begrenzten Zahl an Antworten zu dieser Frage sind die Angaben als Größenordnung und nicht als exakter Wert zu verstehen.

2.7 Konsequenzen, Versicherungsschutz und Handlungsbedarfe

Ein weiterer Themenkomplex der Umfrage befasste sich mit den Konsequenzen, die sich aus dem Brandrisiko und den aufgetretenen Brandereignissen für die Anlagen ergeben.

Konsequenzen für den Brandschutz

Die Auswertung der Freitextantworten zeigt, welche Schwerpunkte die Anlagenbetreiber bei der Weiterentwicklung ihres Brandschutzes infolge zunehmender Brandrisiken und aufgetretener Brandereignisse gesetzt haben. Häufig genannt wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Früherkennung und Brandbekämpfung. Hierzu zählen insbesondere die Nachrüstung bzw. der Ausbau von Infrarot- und Wärmebildkamarasystemen sowie die Erweiterung der Brandmelde- und Branderkennungstechnik. Daneben wurden vielfach zusätzliche Löschsysteme installiert oder bestehende Anlagen erweitert.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf organisatorischen Maßnahmen. Hierzu zählen insbesondere verstärkte Wareneingangs- und Abfallkontrollen, die Anpassung von Lager- und Betriebsabläufen sowie zusätzliche Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen. Gleichzeitig wurden Schulungen und Unterweisungen des Personals intensiviert und die Ausbildung von Brandschutzhelfern ausgebaut.

Darüber hinaus berichten einzelne Anlagen von baulichen Anpassungen, einer verbesserten Löschwasserversorgung sowie einer engeren Zusammenarbeit mit Feuerwehren und Versicherungen. Auch Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit zur Sensibilisierung von Bürgerinnen und Bürgern, Kunden und Anlieferern hinsichtlich der ordnungsgemäßen Entsorgung von Batterien und Akkus wurden genannt.

Insgesamt zeigt sich, dass die Reaktionen auf Brandereignisse überwiegend auf eine Kombination aus technischer Aufrüstung, organisatorischen Anpassungen und verstärkter Qualifizierung des Personals abzielen. Dabei nehmen Maßnahmen zur Erkennung und Beherrschung von Risiken durch Lithium-Ionen-Akkus eine zentrale Rolle ein.

Konsequenzen für den Versicherungsschutz

Im Rahmen der Brandstatistik wurde erhoben, ob Brandereignisse einer Versicherung gemeldet und durch diese reguliert wurden. Nur ein kleiner Teil der gemeldeten Brände wird auf diesem Weg abgewickelt, auch wenn sich die Anzahl der gemeldeten und regulierten Fälle im Betrachtungszeitraum mehr als verdoppelt hat. Nicht jeder Brand führt zu einem versicherungsrelevanten Schaden. Darüber hinaus können Schäden unterhalb von Selbstbeteiligungen liegen, nicht vom bestehenden Versicherungsschutz umfasst sein oder durch die betroffenen Anlagen außerhalb einer Versicherungsregulierung behoben werden. Soweit ein Schaden entstanden ist, verbleiben die wirtschaftlichen Folgen in diesen Fällen beim Betrieb.

Vor diesem Hintergrund wurden die Anlagenbetreiber auch zu ihrem aktuellen Versicherungsschutz befragt. 87 % der befragten Anlagen verfügten über eine Feuerversicherung, während 13 % angaben, aktuell keinen entsprechenden Versicherungsschutz zu besitzen. Die Freitextantworten zeigen, dass fehlender Versicherungsschutz häufig auf Kündigungen durch Versicherer (insb. nach Brandereignissen), hohe Versicherungsprämien oder Selbstbeteiligungen sowie verschärfte Anforderungen an den Brandschutz zurückzuführen ist. Anlagenbetreiber berichteten zudem von einem Rückzug von Versicherern aus dem Entsorgungssektor.

Die Angaben zur Höhe der versicherten Deckungssummen beruhen auf 46 bis 51 Antworten je Jahr für die Jahre 2021 bis 2024 und auf 87 Antworten für das Jahr 2025. Ihre Aussagekraft ist entsprechend eingeschränkt. Der Anteil der Angaben mit einem Deckungsgrad von mindestens 75 % liegt in allen Jahren zwischen 67 % und 72 %, eine vollständige Deckung geben je nach Betrachtungsjahr 41 bis 46 % an. Zugleich war bei 17 bis 29 % der Angaben weniger als die Hälfte der Anlagen durch die Feuerversicherung abgedeckt. Ein eindeutiger Trend zu sinkenden Deckungsgraden lässt sich daraus nicht ableiten. Erkennbar ist, dass sich die Versicherungsbedingungen teilweise verändert haben.

Wurde eine Reduzierung der Versicherungsabdeckung angegeben, wurden als Gründe insbesondere höhere Selbstbeteiligungen, steigende Versicherungsprämien, Brandereignisse in der eigenen Anlage, die generelle Risikoeinstufung der Entsorgungsbranche sowie verschärfte Anforderungen der Versicherer genannt. Mehrere Anlagenbetreiber berichteten zudem von Neueinstufungen durch Versicherer oder von der Entscheidung, den Versicherungsumfang aufgrund der Kostenentwicklung zu reduzieren.

Auch bei den Angaben zur Entwicklung von Versicherungsprämien und Selbstbeteiligungen zeigte sich ein uneinheitliches Antwortverhalten, sodass eine quantitative Auswertung nur eingeschränkt möglich war. Unabhängig davon weisen die Antworten darauf hin, dass sowohl Versicherungsprämien als auch Selbstbeteiligungen im Betrachtungszeitraum überwiegend gestiegen sind, während Reduzierungen nur vereinzelt genannt wurden. Die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser Entwicklung sowie deren Bedeutung für die Versicherbarkeit von Entsorgungsanlagen werden in Kapitel 6.3 vertieft betrachtet und dort anhand externer Quellen eingeordnet.

Anmerkungen und Handlungsbedarfe

Abschließend bestand für die Befragten die Möglichkeit, allgemeine Anmerkungen zum Themenfeld Brandereignisse und Brandschutz zu machen. Die Freitextantworten zeichnen ein weitgehend einheitliches Bild. Lithium-Ionen-Akkus wurden von den Befragten als zentrale Herausforderung und wichtigste Ursache für Brandereignisse wahrgenommen. Mehrfach wurde auf die zunehmende Anzahl falsch entsorgter Akkus und Batterien sowie auf die damit verbundenen Risiken für Beschäftigte, Anlagen und den laufenden Betrieb hingewiesen.

Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Maßnahmen innerhalb der Anlagen bezogen sich viele der vorgeschlagenen Lösungsansätze auf vorgelagerte Bereiche. Besonders häufig wurden eine stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung, eine intensivere Aufklärung über die korrekte Entsorgung von Batterien und Akkus sowie die Einführung von Pfand- oder Rücknahmesystemen gefordert. Darüber hinaus wurden eine stärkere Einbindung von Herstellern und Rücknahmesystemen sowie klarere rechtliche Rahmenbedingungen angeregt.

Daneben wurde wiederholt auf die zunehmenden Schwierigkeiten bei der Versicherbarkeit von Entsorgungsanlagen hingewiesen. Genannt wurden insbesondere steigende Prämien

und Selbstbeteiligungen sowie strengere Anforderungen seitens der Versicherer. Insgesamt verdeutlichen die Freitextantworten, dass die befragten Anlagenbetreiber die Brandproblematik als dauerhaftes und weiter zunehmendes Risiko wahrnehmen. Zugleich sehen sie wesentliche Lösungsansätze nicht allein auf Ebene der Entsorgungsanlagen.

3 Problemstellung und Ausgangssituation

Dieser Teil der Studie befasst sich mit der Analyse eines möglichen Zusammenhangs zwischen der zunehmenden Verbreitung batteriebetriebener Elektronikgeräte und lithiumbasierter Batteriesysteme und Akkumulatoren (im Folgenden LIB) im Abfallstrom einerseits und der Häufigkeit von Brandereignissen in der Entsorgungswirtschaft andererseits. Vor dem Hintergrund steigender Mengen an LIB treten entlang der abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zunehmend sicherheitsrelevante Ereignisse auf, die erhebliche betriebliche, wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen haben können.

Ziel dieses Teils der Studie ist es, auf Basis verfügbarer Daten und bestehender Studien den aktuellen Wissensstand zu Marktentwicklungen, Entsorgungsrealitäten und bekannten Brandursachen systematisch zusammenzuführen und fachlich einzuordnen. Im Fokus steht nicht die quantitative Erfassung einzelner Brandereignisse, sondern die qualitative Analyse von Einflussfaktoren, Wirkungszusammenhängen und wiederkehrenden Mustern, die im Zusammenhang mit der Fehlentsorgung, dem Transport, der Lagerung und der Behandlung von LIB im Abfallstrom stehen.

Die folgenden Kapitel bauen inhaltlich auf den zuvor dargestellten Grundlagen auf und dienen als Bindeglied zwischen der Datenerhebung und der Ableitung weiterführender Bewertungen und Handlungsempfehlungen. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die anschließende Analyse kritischer Prozessschritte, die Entwicklung eines Ursachenmodells sowie die Ableitung von Hypothesen zu brandrelevanten Risiken in der Abfallwirtschaft.

3.1 Technische Grundlagen: Ursache, Entstehung und Mechanismen bei Bränden von LIB

Um die in den folgenden Kapiteln betrachteten Brandereignisse fachlich einordnen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis der physikalisch-chemischen Mechanismen erforderlich, die zur Entstehung von Batteriebränden führen können.

LIB unterscheiden sich grundlegend von konventionellen Batteriesystemen durch ihre hohe Energiedichte und den Aufbau aus brennbaren und reaktiven Komponenten. In einer LIB sind sowohl der Elektrolyt als auch Teile der Elektroden brennbar, während gleichzeitig eine hohe elektrische Energie gespeichert ist. Damit sind in der Batterie selbst bereits die wesentlichen Voraussetzungen für eine Brandentstehung vorhanden, sofern es zu einer wirksamen Zündung kommt.²

² Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 3.2f.

Ein zentrales Schadensszenario bei LIB ist das sogenannte thermische Durchgehen (auch Thermal Runaway genannt). Dabei führt eine initiale Schädigung der Batterie, etwa durch mechanische Belastung, Überhitzung oder einen internen oder externen Kurzschluss, zu einer unkontrollierten Energiefreisetzung. Die restliche in der LIB gespeicherte elektrische Energie wird in Form von thermischer Energie schlagartig freigesetzt. Die entstehende Wärme beschleunigt weitere exotherme Reaktionen, sodass sich der Prozess selbst verstärkt und nicht mehr von außen gestoppt werden kann.³

Als Auslöser für ein thermisches Durchgehen kommen insbesondere mechanische Beschädigungen in Betracht, wie sie bei Stößen, Quetschungen oder Zerkleinerungsprozessen auftreten. Solche Belastungen können den Separator innerhalb der Batterie zerstören, der die Anode und die Kathode voneinander trennt. Wird dieser nun beschädigt oder gar zerstört, kommt es zu einem internen Kurzschluss zwischen Anode und Kathode. Folge dieses Kurzschlusses ist eine starke Temperaturerhöhung, was die Zersetzung des Elektrolyten sowie die Freisetzung brennbarer Gase zur Folge hat.⁴

Neben mechanischen Einwirkungen können auch thermische oder elektrische Fehlbeanspruchungen das thermische Durchgehen auslösen. Dazu zählen unter anderem externe Wärmeeinwirkungen, Überladung, Tiefentladung oder externe Kurzschlüsse. Untersuchungen zeigen, dass das Reaktionspotenzial von LIB maßgeblich vom Ladezustand beeinflusst wird. In der Abfallwirtschaft ist dabei relevant, dass Batterien im End-of-Life-Stadium häufig nicht vollständig entladen sind, insbesondere bei falscher Entsorgung.^{4 5}

Für die Abfallwirtschaft ist zudem relevant, dass ein thermisches Durchgehen zeitverzögert auftreten kann. Beschädigungen der Batterie müssen nicht unmittelbar zu einem Brand führen, sondern können erst nach Minuten, Stunden oder sogar Tagen zu einer Entzündung führen. Diese verzögerte Reaktion erschwert die Erkennung der Brandursache und erklärt, warum Brände in Abfallbehandlungsanlagen häufig ohne unmittelbar erkennbare Zündquelle auftreten.⁴

Im Vergleich zu anderen Batteriesystemen stellen LIB daher ein besonderes Brandrisiko dar. Die Kombination aus hoher Energiedichte, brennbaren Inhaltsstoffen, der Anfälligkeit gegenüber mechanischer Beschädigung und der möglichen zeitverzögerten Reaktion führt dazu, dass sie in abfallwirtschaftlichen Prozessen als sicherheitsrelevante Störstoffe wirken. Dies gilt insbesondere in Prozessstufen mit hoher mechanischer Beanspruchung, wie der Presse in bestimmten Abfallsammelfahrzeugen (etwa für Restmüll, Leichtverpackungen und Altpapier/Kartonagen), der Zerkleinerung durch Schredder oder dem Umschlag von Abfällen.^{4 6}

3.2 Marktentwicklung & Mengentrends

Die Marktentwicklung von LIB ist seit mehreren Jahren durch ein starkes und anhaltendes Wachstum gekennzeichnet. LIB haben sich als dominierendes Batteriesystem etabliert und verdrängen zunehmend konventionelle Batterietypen. Diese Entwicklung betrifft sowohl klassische Gerätebatterien als auch fest verbaute bzw. nicht ohne weiteres entnehmbare

³ Neidhart (2025), S. 10f.

⁴ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 4.1, 6.1

⁵ Nigl et al. (2021), Kapitel 1.3f.

⁶ Nigl, Pomberger (2018), Kapitel 4.1

Akkus in einer wachsenden Zahl von Elektronikgeräten. In der Folge steigt die Gesamtmenge der in Verkehr gebrachten LIB kontinuierlich an.^{7 8 9}

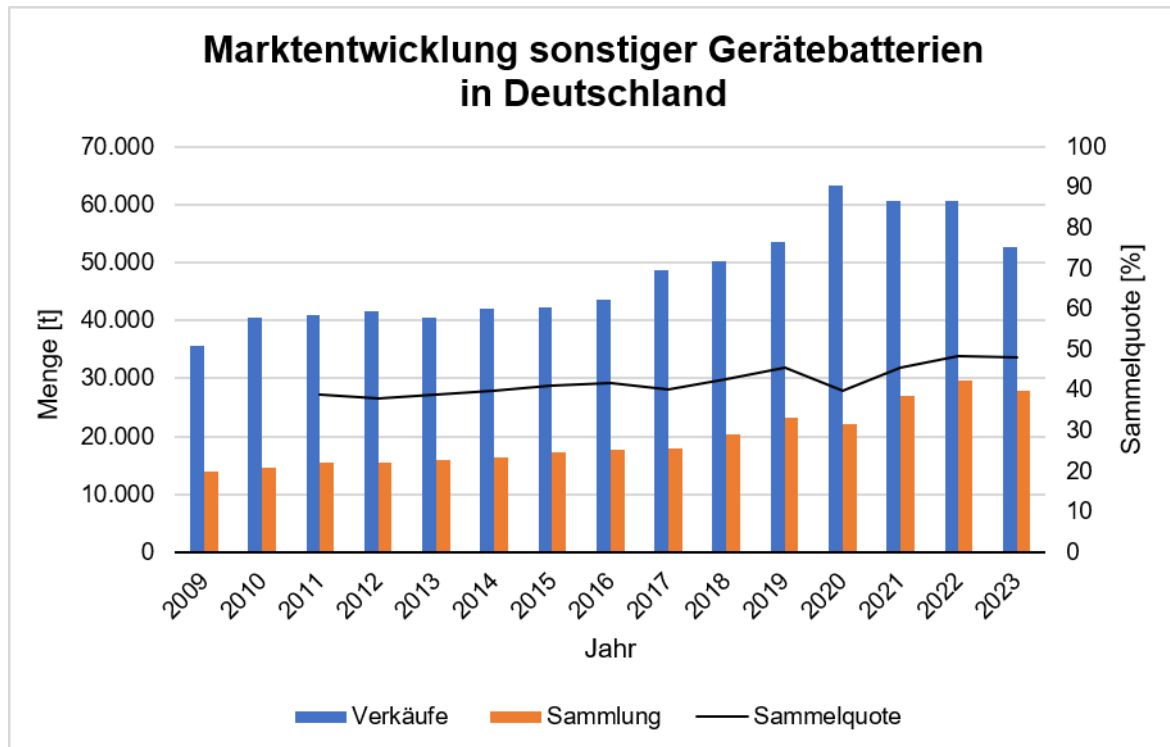


Abbildung 8: Entwicklung der in Verkehr gebrachten Batterien und der Sammelquoten in Deutschland im Zeitraum 2009 - 2023

Die Abbildung 8 verdeutlicht die seit Jahren bestehende Differenz zwischen den in Verkehr gebrachten Mengen sonstiger Gerätebatterien und den über die offiziellen Sammelssysteme erfassten Rücknahmemengen. Sonstige Gerätebatterien beinhalten alle in Verkehr gebrachten Gerätebatterien mit Ausnahme von Blei-Säure- und Nickel-Cadmium-Batterien. Die Sammelquote ist dabei nicht der Quotient aus Sammel- und Absatzmenge desselben Jahres, sondern das Verhältnis der in einem Kalenderjahr zurückgenommenen Altbatterien zur durchschnittlichen Absatzmenge dieses und der beiden vorangegangenen Kalenderjahre. Sie wird daher erst ab dem Jahr 2011 ausgewiesen. Die Auswertung zeigt, dass die in Verkehr gebrachten Batteriemengen über den betrachteten Zeitraum bis 2020 kontinuierlich zunehmen und anschließend etwas abnehmen. Währenddessen steigt die Sammelquote lediglich moderat an und verharrt über die Jahre 2011 bis 2018 auf einem vergleichsweise konstanten Niveau. Erst seit 2019 steigt die Sammelquote langsam an, ist aber nach wie vor bei einem Wert unter 50 %. Auf Basis der BMUKN-Daten lässt sich für den Zeitraum von 2020 bis 2023 eine kumulierte Menge von über 130.000 t Batterien identifizieren, die nicht über die regulären Sammelstrukturen erfasst wurden. Diese Größenordnung stellt keine direkte Aussage über Fehlwürfe im engeren Sinne dar, verdeutlicht jedoch das Ausmaß an Batteriemengen, die sich potenziell noch im Umlauf befinden oder außerhalb der

⁷ Nigl, Pomberger (2016), S. 7-15

⁸ Brüning et al. (2023), Kapitel 7

⁹ Bundesumweltministerium (2025)

vorgesehenen Entsorgungswege anfallen. Zudem wird von dem Umweltbundesamt berichtet, dass jährlich etwa 86.000 t alte Elektrogeräte über den Restabfall entsorgt werden.^{10 11}

Auch auf europäischer Ebene zeigt sich ein vergleichbares Bild. Statistiken zu den Verkaufszahlen von Batterien und Akkumulatoren in Europa belegen seit 2009 einen anhaltenden Anstieg, insbesondere bei wiederaufladbaren Batteriesystemen. Der LIB-Anteil an den insgesamt verkauften Batterien nimmt dabei kontinuierlich zu, während klassische Primärbatterien an Bedeutung verlieren.¹²

Für Deutschland lässt sich diese Entwicklung weiter konkretisieren. Der deutsche Batteriemarkt, welcher in Lithium-Ionen-, Blei- und Sonstige Batterien aufgeteilt ist, verzeichnete im Zeitraum von 2019 bis 2023 ein starkes Wachstum, das maßgeblich durch LIB getragen wurde. Der Begriff „sonstige Batterien“ wird hier anders verwendet als in Abbildung 8: Dort bezeichnet er alle Gerätebatterien mit Ausnahme von Blei-Säure- und Nickel-Cadmium-Batterien, hier alle Batterien mit Ausnahme von Lithium-Ionen- und Bleibatterien. Der gesamte deutsche Batteriemarkt ist um 429 % auf 23,2 Milliarden € gewachsen, während sich das Marktvolumen von LIB in dem gleichen Zeitraum auf 18,9 Milliarden € mehr als neunfacht hat.^{13 14}

Historische Betrachtungen und Prognosen zur Mengenentwicklung zeigen zudem, dass das wachsende Marktvolumen zeitverzögert zu einem deutlichen Anstieg der End-of-Life-Mengen von LIB führt. Für die kommenden Jahre wird erwartet, dass zunehmend Batterien aus früheren Markteinführungsphasen aufgrund des Endes des Nutzungszeitraums sowie aus kurzlebigen Konsumgütern, wie Einweg-E-Zigaretten, das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen.¹⁵

Die beschriebenen Markt- und Mengentrends spiegeln sich bereits heute im Abfallaufkommen wider. Analysen zeigen, dass der Anteil von LIB in unterschiedlichen Abfallkategorien über mehrere Jahre hinweg gestiegen ist. Besonders relevant ist dabei der zunehmende Eintrag von LIB in Elektroaltgeräten sowie in haushaltsnahen Abfallströmen. Fehlwurfbezogene Auswertungen weisen darauf hin, dass diese Entwicklung durch neue Produktgruppen mit hohen Stückzahlen, wie beispielsweise Einweg-E-Zigaretten, zusätzlich verstärkt wird.^{16 17}

3.3 Entsorgungsrealität & Fehlwurfproblematik

Die zuvor dargestellten Markt- und Mengentrends spiegeln sich nur eingeschränkt in den tatsächlich getrennt erfassten Sammelmengen wider. Trotz etablierter Rücknahmesysteme und gesetzlicher Sammelpflichten gelangen weiterhin erhebliche Mengen an LIB nicht in die vorgesehenen Sammelstrukturen. Stattdessen werden sie in relevanten Anteilen über ungeeignete Abfallströme entsorgt.¹⁸

¹⁰ Bundesumweltministerium (2025)

¹¹ Umweltbundesamt (2022)

¹² Eurostat (2025), Tabellen 3a - c

¹³ Kellermann (2024), S. 3

¹⁴ United Nations Statistics Division (o. D.), UN Comtrade Database, HS-Code 850760, abgerufen am 29.04.2026

¹⁵ Meyer, Sommer (2022), vgl. Kapitel 2

¹⁶ Pomberger (2021), S. 5

¹⁷ Verbraucherzentrale Hamburg (2025)

¹⁸ Dornbusch et al. (2020), S. 102 ff.

Bei der Einordnung der Fehlwurfproblematik ist zudem zu berücksichtigen, dass LIB und batteriebetriebene Geräte in der Regel über längere Zeiträume genutzt werden und nicht unmittelbar nach dem Inverkehrbringen dem Abfall zugeführt werden. Zwischen Markteinführung und Entsorgung liegt häufig eine mehrjährige Nutzungsphase, sodass sich steigende Inverkehrbringungsmengen zeitverzögert im Abfallaufkommen widerspiegeln. Vor diesem Hintergrund ist die zunehmende Präsenz von LIB in gemischten Abfallströmen als Ergebnis langfristiger Marktentwicklungen zu verstehen. Eine Ausnahme stellen kurzlebige Produktgruppen dar, insbesondere Einweg-E-Zigaretten, bei denen aufgrund sehr kurzer Nutzungsdauern eine nahezu unmittelbare Überführung in den Abfallstrom erfolgt. Diese Produkte können aufgrund kurzer Nutzungsdauer, hoher Stückzahlen und begrenzter Wahrnehmung als batteriehaltige Elektrogeräte in besonderem Maße zur Fehlwurfproblematik beitragen.

Auswertungen zu den Sammelquoten für Gerätebatterien zeigen, dass diese über einen langen Zeitraum auf einem vergleichsweise konstanten Niveau verharren, während die in Verkehr gebrachten Mengen kontinuierlich zunehmen (vgl. Abbildung 8). Die daraus resultierende Differenz deutet darauf hin, dass ein signifikanter Anteil der Batterien außerhalb der regulären Sammelssysteme verbleibt. Die Batterien können sich noch in der Nutzungsphase befinden, bei den Nutzerinnen und Nutzern zunächst angesammelt oder in gemischte Abfallströme eingetragen werden.^{19 20}

Untersuchungen zur Entsorgungsrealität in haushaltsnahen Sammelssystemen bestätigen diese Annahme. Fehlwurfanalysen zeigen, dass LIB regelmäßig im Restabfall, in Leichtverpackungen sowie in weiteren nicht dafür vorgesehenen Fraktionen auftreten. Besonders relevant sind dabei kleine, batteriebetriebene Geräte, deren Akkumulatoren häufig fest verbaut oder für Verbrauchende nicht ohne weiteres erkennbar sind.^{21 22}

Mit der zunehmenden Verbreitung von LIB hat sich die Fehlwurfproblematik weiter verschärft. Analysen abfallwirtschaftlicher Stoffströme zeigen, dass der Anteil von LIB in unterschiedlichen Abfallkategorien über mehrere Jahre hinweg kontinuierlich zugenommen hat. Diese Entwicklung betrifft sowohl Elektroaltgeräte als auch gemischte Siedlungsabfälle und führt dazu, dass LIB zunehmend in mechanisch belasteten Prozessstufen der Abfallbehandlung auftreten und dementsprechend verstärkt mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind.^{23 24}

Die Entsorgungsrealität wird zusätzlich durch neue Produktgruppen geprägt, die durch kurze Nutzungsdauern, hohe Stückzahlen und eine besonders hohe Fehlwurfanfälligkeit gekennzeichnet sind. Hierzu zählen insbesondere kleine Elektrogeräte und Einwegprodukte mit integrierten Akkus, wie beispielsweise Einweg-E-Zigaretten. Studien zeigen, dass diese Produktgruppen zugleich die niedrigsten Recyclingquoten aufweisen, was unter anderem auf Informationsdefizite und mangelnde Trennbarkeit zurückgeführt wird.²⁵

Die beschriebenen Fehlwürfe haben unmittelbare sicherheitsrelevante Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft. LIB stellen bei unsachgemäßer Handhabung und mechanischer

¹⁹ Landbell Group (SagisEPR) (2024), S. 20

²⁰ Umweltbundesamt (2026)

²¹ Brüning et al. (2023), Kapitel 5

²² Nigl, Pomberger (2023), S. 10 – 15

²³ Pomberger (2021), S. 5

²⁴ Nigl, Pomberger (2016), S. 6 – 20

²⁵ Euroconsumers (2024)

Beschädigung eine erhebliche Gefahrenquelle dar. Bereits geringe Belastungen können zu internen Kurzschlüssen und in der Folge zu Brand- oder Explosionsereignissen führen.²⁶

Branchenberichte und mediale Auswertungen berichten wiederholt über einen Zusammenhang zwischen fehlgeworfenen Batterien und Brandereignissen in der Abfallwirtschaft. Diese Hinweise beruhen überwiegend auf praxisbezogenen Beobachtungen und medialen Auswertungen und stimmen mit den Aussagen der Befragten überein (vgl. Abbildung 4). Vor diesem Hintergrund ist eine Analyse der zugrunde liegenden Ursachen und Wirkungszusammenhänge erforderlich.^{27 28}

Erschwerend kommt hinzu, dass brandursächliche LIB häufig nicht eindeutig identifiziert werden können und die Brandursache im Einzelfall oftmals ungeklärt bleibt. Dies schränkt die statistische Erfassung ein. Die Gesamtheit der verfügbaren Erkenntnisse weist jedoch konsistent auf LIB als einen der wesentlichen Auslöser von Bränden in der Entsorgungswirtschaft hin. Gleichzeitig liegen derzeit keine alternativen Erklärungsansätze vor, die die beobachteten Brandmuster in vergleichbarer Weise erklären könnten.²⁹

4 Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden nationale und internationale Studien und Befunde von Brandereignissen dargestellt. Daraus werden anschließend Erkenntnisse zu den Brandursachen und Häufigkeiten ermittelt. Aufgrund der gut strukturierten Datenlage und der Vergleichbarkeit mit Deutschland wird anschließend Österreich als Vergleichsfall herangezogen, gefolgt von einer kritischen Betrachtung der verwendeten Quellen, in welcher unter anderem auf die Schwierigkeiten bezüglich Vergleichbarkeit mancher Studien und nicht einheitliche Definitionen von LIB-Bränden eingegangen wird.

4.1 Befunde zu batteriebedingten Brandereignissen in der Abfallwirtschaft

Die in den vergangenen Kapiteln dargestellten Markt-, Mengen- und Entsorgungsentwicklungen sowie die Fehlwurfproblematik und technischen Brandmechanismen wurden größtenteils anhand deutscher Daten und Studien aufgezeigt. Die vorhandene internationale Fachliteratur zeigt jedoch übereinstimmend, dass es sich bei der zunehmenden Problematik von LIB in abfallwirtschaftlichen Stoffströmen nicht um ein spezifisch deutsches Phänomen handelt. Im Folgenden werden zunächst ergänzende nationale Entwicklungen eingeordnet und anschließend zentrale Erkenntnisse aus ausgewählten internationalen Studien und Praxisberichten dargestellt.

²⁶ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 4.1

²⁷ Schmid (2025)

²⁸ ZDF (2024)

²⁹ Nigl, Pomberger (2018), Kapitel 3.2

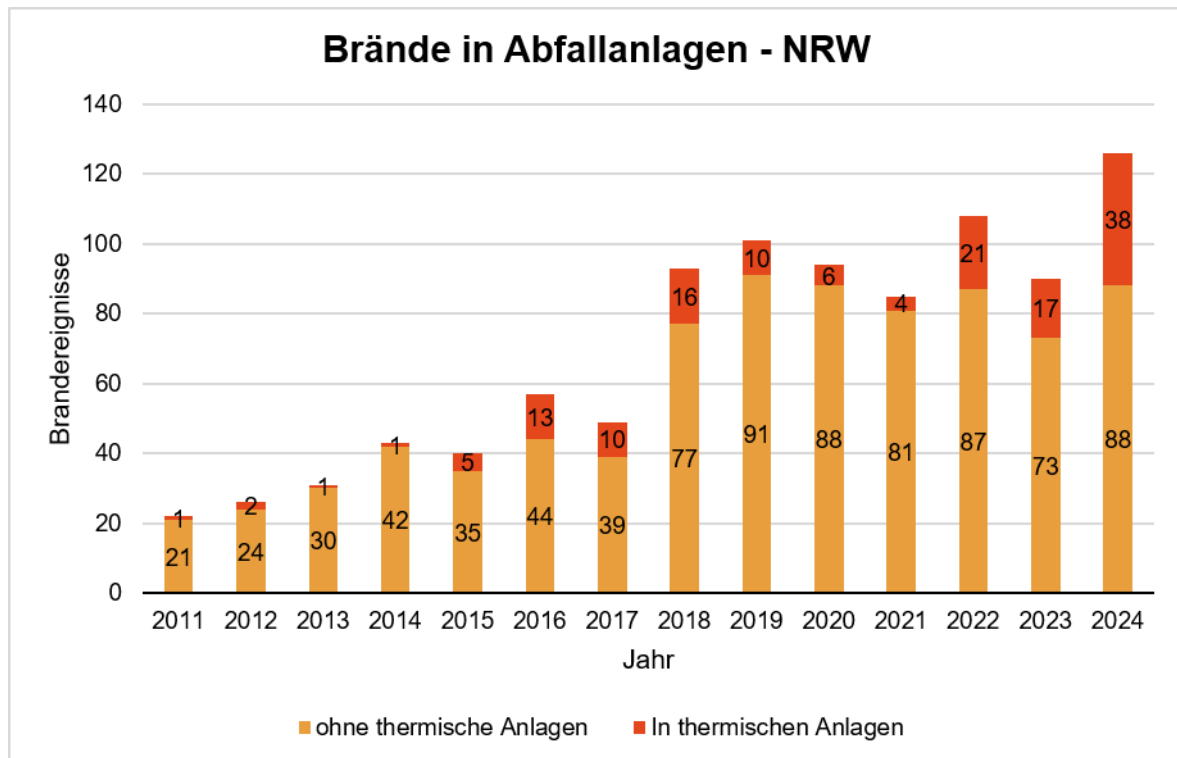


Abbildung 9: Entwicklung der Brände in Abfallanlagen von 2011 - 2024 in Nordrhein-Westfalen

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der gemeldeten Brandereignisse in Abfallanlagen in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum von 2011 bis 2024, differenziert nach Anlagen mit und ohne thermische Behandlungsprozesse. Die Darstellung verdeutlicht einen starken Anstieg der Brandereignisse über den betrachteten Zeitraum, wobei der überwiegende Anteil der Vorfälle in nicht-thermischen Abfallanlagen auftritt. Die Darstellung erlaubt keine Aussagen zu konkreten Brandursachen, verdeutlicht jedoch die zunehmende sicherheitsrelevante Bedeutung von Brandereignissen in der Abfallwirtschaft auf regionaler Ebene. Dieser steigende Trend deckt sich mit den Umfrageergebnissen, die in Abbildung 2 dargestellt sind.³⁰

In mehreren deutschen Studien wird übereinstimmend berichtet, dass der steigende Einsatz batteriebetriebener Geräte und der wachsende Anteil von LIB in EAG zu einer erhöhten Präsenz dieser Batteriesysteme in gemischten Abfallströmen führen. Besonders hervorgehoben wird dabei die Diskrepanz zwischen steigenden Inverkehrbringungsdaten und über längere Zeiträume stagnierenden Sammelquoten, die auf strukturelle Defizite in der Erfassung hinweist (vgl. Abbildung 8). Regionale Auswertungen, etwa für Nordrhein-Westfalen, bestätigen diese Entwicklung und zeigen über mehrere Jahre hinweg eine deutliche Zunahme von Brandereignissen. Praxisberichte aus Entsorgungs- und Recyclingunternehmen sowie Auswertungen von Schadens- und Versicherungsfällen zeigen zudem, dass Brandereignisse in der deutschen Abfallwirtschaft in den vergangenen Jahren zunehmend mit falsch entsorgten Batterien und Akkumulatoren in Verbindung gebracht werden. Gleichzeitig wird betont, dass brandursächliche Batterien im Nachhinein häufig nicht eindeutig identifiziert werden können, was die statistische Erfassung und Vergleichbarkeit der Brandereignisse einschränkt. Darüber hinaus weisen deutsche Studien darauf hin, dass neben

³⁰ Komp (2025)

klassischen Gerätebatterien zunehmend auch fest verbaute Akkus in Kleingeräten und Konsumprodukten zur Problematik beitragen.^{31 32 33 34}

Auch französische Studien und Auswertungen dokumentieren über mehrere Jahre hinweg eine deutliche Zunahme von Brandereignissen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft. Die in Abbildung 10 dargestellten Zeitreihen zeigen eine deutliche Zunahme batteriebezogener Brandereignisse über mehrere Jahre hinweg. Diese Entwicklung verdeutlicht die dynamische Zuspitzung der Problemlage. Ergänzende Untersuchungen für den Zeitraum 2017 bis 2023 erfassen insgesamt 66 Brandereignisse, die LIB zugeordnet werden. Ein Großteil der Fälle wird dabei als höchstwahrscheinlich batteriebedingt klassifiziert, während ein kleinerer Anteil eindeutig auf Batterien zurückgeführt werden kann. Die französischen Befunde machen damit sowohl die zunehmende Häufigkeit batteriebezogener Brandereignisse als auch die bestehenden Unsicherheiten bei der eindeutigen Ursachenzuordnung deutlich.^{35 36}

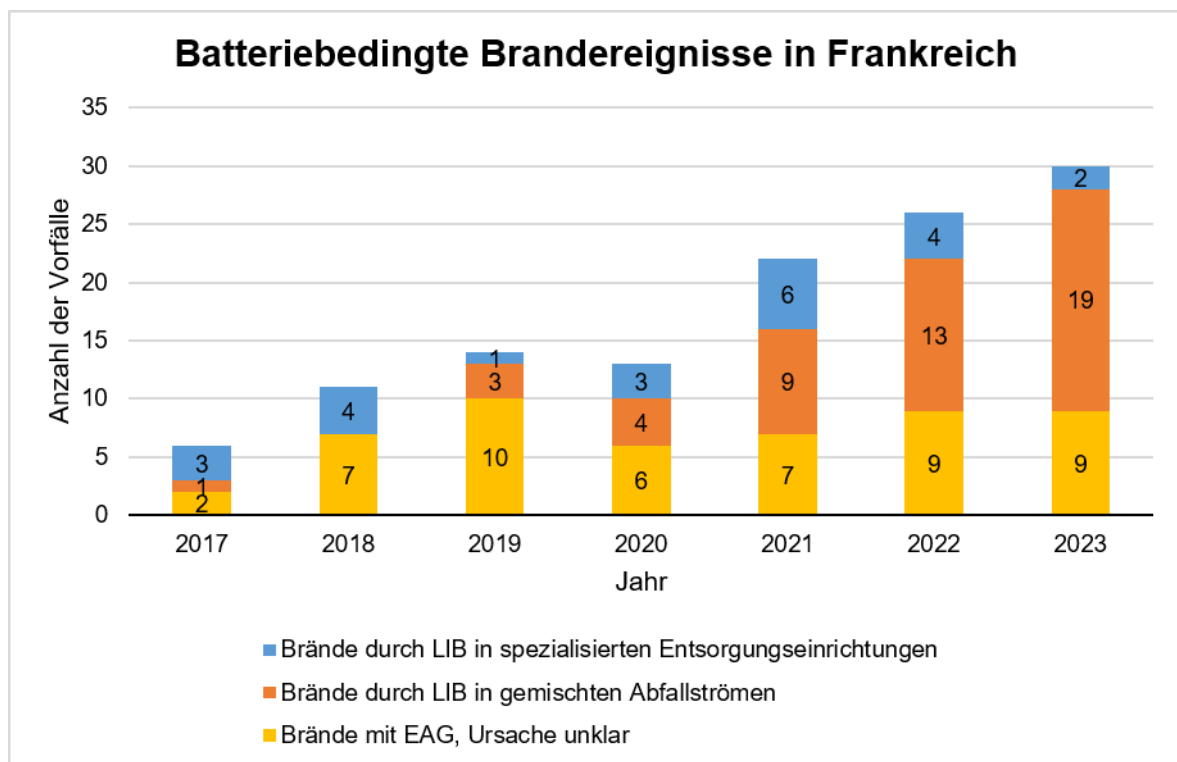


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf gemeldeter Brandereignisse in der Abfallwirtschaft in Frankreich (2017-2023)³⁷

Aus Großbritannien liegen mehrere Studien und offizielle Berichte vor, die eine sehr deutliche Zunahme von Brandereignissen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft dokumentieren. Für das Jahr 2022 wurden rund 700 Brandereignisse gemeldet, während die Zahl im Jahr 2023 auf über 1.200 Fälle anstieg. Damit weist Großbritannien im internationalen Vergleich

³¹ Goertz et al. (2016), vgl. Kapitel 3

³² Reinke (2024)

³³ Kestler, Landgraf (2025)

³⁴ REMONDIS SE & Co. KG (2025)

³⁵ Gros, Coi (2024)

³⁶ Anger, Hospital, Osselin (2024)

³⁷ Gros, Coi (2024)

eine der höchsten gemeldeten Fallzahlen batteriebezogener Brandereignisse auf. Die britischen Berichte heben insbesondere die Dynamik der Zunahme gemeldeter Brandereignisse hervor und verweisen wiederkehrend auf falsch entsorgte Batterien und batteriebetriebene Haushaltsgeräte als relevante Faktoren.^{38 39 40}

Eine italienische Untersuchung befasst sich mit Brandereignissen in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen sowie in Recyclingbetrieben und ordnet diese in den Kontext der zunehmenden Verbreitung von LIB in abfallwirtschaftlichen Stoffströmen ein. Die Studie beschreibt, dass Batterien sowohl als eigenständige Abfälle als auch als Bestandteile von EAG in ungeeignete Abfallfraktionen gelangen und dort im Anlagenbetrieb relevant werden. Hervorgehoben werden insbesondere strukturelle Herausforderungen in der getrennten Sammlung sowie die zunehmende Bedeutung kleiner und fest verbauter Akkus, die sich einer frühzeitigen Erkennung entziehen. Die italienischen Befunde verdeutlichen damit, dass batteriebezogene Brandereignisse insbesondere in stark mechanisierten Behandlungsanlagen ein relevantes Thema darstellen und sich in unterschiedlichen nationalen Entsorgungssystemen vergleichbare Problemlagen zeigen.⁴¹

Europäische Übersichtsarbeiten und Verbandsberichte bestätigen, dass batteriebezogene Brandereignisse in der Abfallwirtschaft in zahlreichen Mitgliedsstaaten beobachtet werden. Die Berichte fassen nationale Erfahrungen zusammen und zeigen übereinstimmend, dass die zunehmende Verbreitung batteriebetriebener Produkte in vielen Ländern mit einer steigenden Präsenz von LIB in gemischten Abfallströmen einhergeht. Unabhängig von den jeweiligen nationalen Entsorgungsstrukturen wird in den europäischen Studien eine wachsende Anzahl sicherheitsrelevanter Vorfälle im Zusammenhang mit Batterien und batteriebetriebenen Elektrogeräten beschrieben.^{42 43}

Ein Bericht der US-amerikanischen Umweltbehörde (EPA) beschreibt LIB als eine zunehmend sicherheitsrelevante Herausforderung für die Abfallwirtschaft in den Vereinigten Staaten. Für den Zeitraum von 2013 bis 2020 wurden insgesamt 242 Brandereignisse erfasst, die im Zusammenhang mit LIB stehen. Die in Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass batteriebedingte Brandereignisse über mehrere Jahre hinweg auftreten und unterschiedliche Bereiche der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur betreffen. Die US-amerikanischen Befunde verdeutlichen die Relevanz batteriebedingter Brände auch in großflächigen und heterogenen Abfallwirtschaftssystemen.⁴⁴

³⁸ National Fire Chiefs Council (2024)

³⁹ Ollion, Anta, Herreras (2020), Kapitel 2, 3

⁴⁰ Date (2019)

⁴¹ Vianello et al. (2025), Kapitel 1, 2, 5

⁴² CEWEP et al. (2025)

⁴³ EUWID (2025a), S. 9

⁴⁴ O'Connor, Wise (2021), Kapitel 1, 3, 4

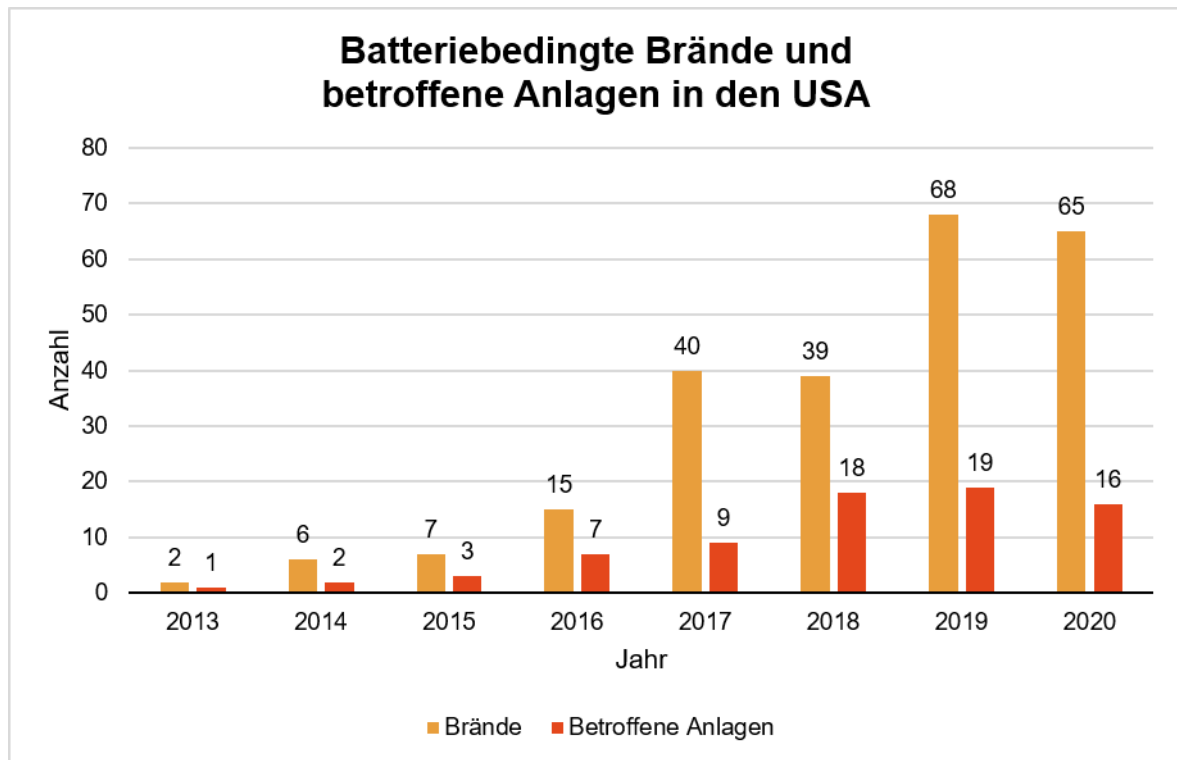


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf batteriebedingter Brandereignisse sowie der betroffenen Anlagen in der US-amerikanischen Abfall- und Recyclingwirtschaft (2013-2020)⁴⁴

Eine japanische Studie untersucht batteriebedingte Sicherheitsvorfälle in der Abfallwirtschaft vor dem Hintergrund einer hohen Technologiedichte und eines großen Anteils batteriebetriebener Konsumprodukte. Auf Basis einer Befragung von 255 Gemeinden im Geschäftsjahr 2021 wurden insgesamt 12.765 sicherheitsrelevante Vorfälle im Zusammenhang mit LIB erfasst, davon 11.174 in den vier ausgewiesenen Ereignisarten Funken, Rauch, eigengelöschter Brand und Feuerwehreinsatz sowie 1.591 sonstige Ereignisse (vgl. Abbildung 12). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass batteriebezogene Ereignisse in der japanischen Abfallwirtschaft häufig auftreten, jedoch nicht in allen Fällen zu offenen Brandereignissen eskalieren. Neben durch Feuerwehren gelöschten Bränden werden in erheblichem Umfang auch Eigenlöschungen sowie Rauch-, Funken- oder Hitzeentwicklungen ohne offenes Feuer erfasst. Die japanischen Befunde ergänzen die internationalen Beobachtungen um eine Perspektive, die zeigt, dass die tatsächliche Anzahl sicherheitsrelevanter Ereignisse deutlich über der Zahl offiziell registrierter Brandereignisse liegen kann.⁴⁵

⁴⁵ Terazono et al. (2024), Kapitel 1, 3, 4, 5

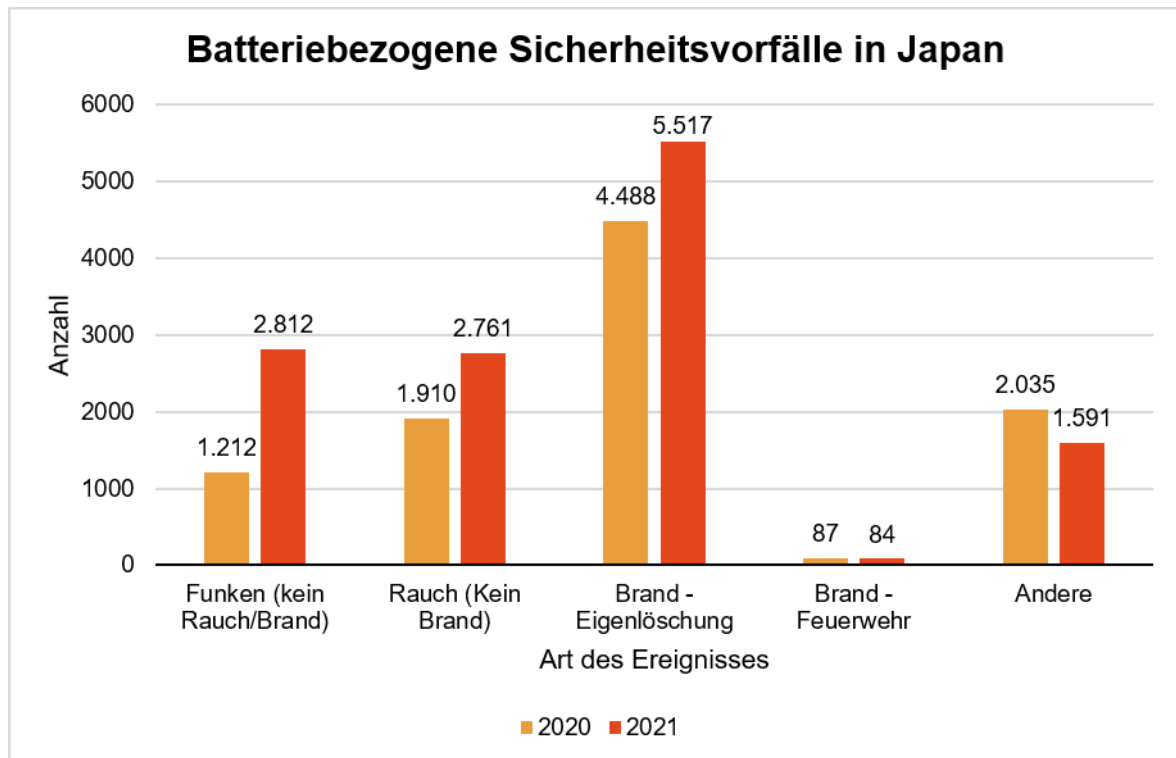


Abbildung 12: Ergebnisse einer Befragung japanischer Kommunen zu batteriebezogenen Sicherheitsvorfällen in der Abfallwirtschaft, differenziert nach der Art des Ereignisses (Geschäftsjahr 2020 und 2021)⁴⁶

Die internationale Literatur zeigt übereinstimmend, dass der Anstieg von Brand- und Sicherheitsereignissen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft in zahlreichen Ländern beobachtet wird. Trotz unterschiedlicher nationaler Rahmenbedingungen und Entsorgungssysteme weisen die Studien vergleichbare Muster auf. Dies deutet darauf hin, dass es sich bei batteriebedingten Brandereignissen nicht um isolierte nationale Einzelphänomene handelt, sondern um eine strukturelle Problematik im Zusammenhang mit der zunehmenden Verbreitung batteriebetriebener Produkte.

4.2 Erkenntnisse zu Ursachen & Häufigkeiten

Aufbauend auf den in Kapitel 4.1 dargestellten nationalen und internationalen Befunden fokussiert dieses Kapitel auf die übergreifenden Ursachen- und Wirkungszusammenhänge batteriebedingter Brandereignisse in der Abfallwirtschaft. Im Mittelpunkt stehen dabei wiederkehrende ursächliche Muster, typische Auslösemechanismen sowie strukturelle Risikokonstellationen, die sich unabhängig von einzelnen Ländern, Anlagentypen oder spezifischen Fallbeispielen beschreiben lassen. Ziel des Kapitels ist es, diese Erkenntnisse zusammenzuführen und prozessual einzuordnen, um ein vertieftes Verständnis der Entstehung und Häufigkeit batteriebezogener Brandereignisse zu ermöglichen.

Ein zentrales, quellenübergreifendes Ergebnis der ausgewerteten Literatur ist die herausgehobene Rolle von LIB als Brandtreiber in der Abfallwirtschaft. Unabhängig vom nationalen Kontext werden LIB aufgrund ihrer spezifischen physikalisch-chemischen Eigenschaften als Abfallbestandteile mit einem im Vergleich zu anderen Stoffen deutlich erhöhten

⁴⁶ Terazono et al. (2024), Kapitel 1, 3, 4, 5

Gefährdungspotenzial beschrieben. Im Gegensatz zu vielen klassischen Brandlasten können LIB bereits bei relativ geringen mechanischen, thermischen oder elektrischen Einwirkungen als aktive Zündquelle wirken. Beschädigungen der Batterie führen dabei häufig zu internen Kurzschlüssen und in der Folge zu einem thermischen Durchgehen, bei dem innerhalb kurzer Zeit große Energiemengen freigesetzt werden. In der Gesamtschau werden LIB in zahlreichen Studien daher nicht nur als Brandlast, sondern als sicherheitsrelevanter Störstoff eingeordnet, dessen Bedeutung im abfallwirtschaftlichen Kontext mit der zunehmenden Verbreitung batteriebetriebener Produkte deutlich zugenommen hat. Auch in der Umfrage werden LIB als Hauptursache von sicherheitsrelevanten Ereignissen identifiziert (vgl. Abbildung 4).^{47 48 49 50 51}

Als zentrales ursächliches Muster wird in nahezu allen ausgewerteten Studien die Fehlentsorgung von LIB identifiziert. Abfallanalysen und Untersuchungen zur Abfallzusammensetzung zeigen übereinstimmend, dass Batterien und batteriebetriebene Geräte regelmäßig in Abfallströmen auftreten, für die sie nicht vorgesehen sind. Besonders häufig werden LIB im Restmüll und in anderen Siedlungsabfällen nachgewiesen, die über haushaltsnahe Sammelssysteme erfasst werden. Die Literatur führt diese Fehlwürfe auf mehrere strukturelle Faktoren zurück. Dazu zählen unzureichende Verbraucherinformationen, die eingeschränkte Erkennbarkeit fest verbauter oder verklebter Akkus sowie die Diskrepanz zwischen steigenden Inverkehrbringunگزahlen und über längere Zeiträume stagnierenden Sammelquoten. Mehrere Quellen weisen darauf hin, dass bestehende Rücknahme- und Sammelssysteme mit der Dynamik des Marktwachstums nicht Schritt halten können. Fehlwürfe bilden damit die wesentliche Voraussetzung dafür, dass LIB in sicherheitskritische Prozessstufen der Abfallwirtschaft gelangen und dort weiterbehandelt werden. Ohne den Eintrag in ungeeignete Abfallströme würden die im Folgenden beschriebenen prozessualen Auslöser und Risikokonstellationen nicht wirksam werden.^{52 53 54 55 56 57}

Während Fehlwürfe den Eintritt von LIB in ungeeignete Abfallströme erklären, identifizieren die ausgewerteten Studien mechanische Belastungen als den häufigsten unmittelbaren Auslöser batteriebedingter Brandereignisse. Brände treten dabei insbesondere in Prozessschritten auf, in denen Abfälle verdichtet, bewegt oder zerkleinert werden, etwa in Sammelfahrzeugen, Umschlag- und Lagerbereichen, Sortieranlagen sowie an Zerkleinerungsaggregaten. Untersuchungen entlang der WEEE-Kette (Waste of Electrical and Electronic Equipment) zeigen übereinstimmend, dass LIB in diesen Prozessstufen einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, durch mechanische Einwirkungen kritisch beschädigt zu werden. Die daraus resultierenden Brandereignisse werden in der Literatur weitgehend unabhängig vom jeweiligen Anlagentyp beschrieben, was darauf hindeutet, dass weniger die konkrete

⁴⁷ EuRIC (2021), S. 127 ff.

⁴⁸ Abfallratgeber Bayern (o.D.)

⁴⁹ Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (2025)

⁵⁰ Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (o. D.)

⁵¹ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 4.1, 4.2

⁵² Pomberger (2021), S. 5

⁵³ Umweltbundesamt (2026)

⁵⁴ Wilfer (2024)

⁵⁵ Metz, Fischer (2024)

⁵⁶ REMONDIS SE & Co. KG (2025)

⁵⁷ Dornbusch et al. (2020), S. 97 ff.

Anlage als vielmehr die Art der mechanischen Beanspruchung für die Auslösung maßgeblich ist.^{58 59 60 61}

Eine weitere wiederkehrende Erkenntnis der ausgewerteten Literatur ist die zeitverzögerte Auslösung batteriebedingter Brandereignisse. Beschädigte LIB müssen nicht zwingend unmittelbar nach einer mechanischen Einwirkung reagieren, sondern können erst nach Stunden oder Tagen sicherheitsrelevant werden. Diese zeitliche Entkopplung von Auslöser und Brandereignis erschwert die eindeutige Identifikation der Brandursache erheblich. In der betrieblichen Praxis führt dies häufig dazu, dass batteriebezogene Brände lediglich als vermutete Ursache dokumentiert oder anderen Auslösern zugeschrieben werden. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Häufigkeit batteriebedingter Brandereignisse in vielen Statistiken unterschätzt wird, insbesondere im Hinblick auf kleinere, frühzeitig gelöschte oder zeitverzögert ausgelöste Ereignisse.^{62 63}

In Anbetracht dessen ist auch die Einordnung der Häufigkeit batteriebedingter Brandereignisse zu betrachten. Obwohl belastbare und einheitliche Statistiken zur Häufigkeit batteriebedingter Brände vielfach fehlen, ergibt sich aus der Zusammenschau der Literatur ein stimmiges Bild einer relevanten Problematik. Übereinstimmende Berichte aus unterschiedlichen Ländern, Anlagentypen und Akteursgruppen weisen darauf hin, dass batteriebezogene Brandereignisse in der Abfallwirtschaft kein Randphänomen darstellen. In vielen Quellen wird die Häufigkeit daher weniger über einheitliche quantitative Kennzahlen als vielmehr anhand wiederkehrender Schadensereignisse, betrieblicher Erfahrungen sowie Schadens- und Versicherungsfälle beschrieben. Diese qualitative Evidenz deutet darauf hin, dass LIB mittlerweile zu den zentralen Brandtreibern in der Abfallwirtschaft zählen. Für die weitere Analyse ist daher weniger die exakte Anzahl einzelner Brandereignisse entscheidend als das Verständnis der zugrunde liegenden Ursachenstrukturen, Prozessrisiken und systemischen Zusammenhänge, die das Auftreten batteriebedingter Brände begünstigen.

4.3 Österreich als Vergleichsfall

Österreich nimmt im internationalen Kontext der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit Bränden in der Abfall- und Recyclingwirtschaft eine besondere Stellung ein. Insbesondere durch die Arbeiten von Pomberger und Nigl sowie weiterer Forscher der Montanuniversität Leoben liegt eine vergleichsweise dichte und über mehrere Jahre aufgebaute Datenbasis zu Brandereignissen, Ursachenmustern und Risikobereichen vor. Aufgrund der strukturellen Ähnlichkeiten der Abfallwirtschaftssysteme sowie der vergleichbaren Marktentwicklung batteriebetriebener Produkte und Sammel- und Behandlungsstrukturen eignet sich Österreich in besonderem Maße als Vergleichsfall zu Deutschland.

Mehrere österreichische Studien basieren auf systematischen Erhebungen von Brandereignissen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft über längere Zeiträume. Dabei wurden sowohl öffentlich bekannte Brandfälle als auch betriebsinterne Ereignisse berücksichtigt, soweit diese zugänglich waren. Die Untersuchungen kombinieren statistische Auswertungen mit qualitativen Analysen von Brandursachen, Prozessbedingungen und betroffenen Anlagengebieten. Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeiten ist die Feststellung, dass die offiziell

⁵⁸ Nigl, Bäck, Pomberger (2020), Kapitel 3

⁵⁹ Goertz et al. (2016), Kapitel 3

⁶⁰ CEWEP et al. (2025)

⁶¹ Ollion, Anta, Herreras (2020), Kapitel 2.2

⁶² Nigl, Pomberger (2018), Kapitel 3, 4

⁶³ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 4.1

dokumentierten Brandereignisse nur einen Teil des tatsächlichen Geschehens abbilden. In mehreren Veröffentlichungen wird darauf hingewiesen, dass viele kleinere oder frühzeitig gelöschte Brände nicht in öffentliche Statistiken eingehen und somit von einer erheblichen Dunkelziffer auszugehen ist. Dies entspricht den Erfahrungen und Erhebungen zu Bränden in der deutschen Abfallentsorgungswirtschaft und deckt sich mit den Erkenntnissen der japanischen Studie.^{64 65 66 67}

Die österreichischen Untersuchungen zeigen, dass Brandereignisse in der Abfall- und Recyclingwirtschaft kein singuläres oder zufälliges Problem darstellen, sondern über Jahre hinweg regelmäßig auftreten. Die Auswertungen dokumentieren sowohl zeitliche Häufungen von Brandereignissen als auch eine Zunahme der berichteten Fälle in den letzten Jahren. Besonders hervorgehoben wird, dass neben einzelnen Großbränden eine Vielzahl kleinerer Brandereignisse auftritt, die häufig im Anlagenbetrieb selbst gelöscht werden. Diese Ereignisse fließen nur eingeschränkt in öffentliche Statistiken ein, stellen jedoch ein relevantes Sicherheits- und Brandrisiko dar.^{68 69 70}

Ein zentrales Ergebnis der österreichischen Studien ist die herausgehobene Rolle von LIB als Brandursache. Mehrere Untersuchungen identifizieren falsch entsorgte Batterien und batteriebetriebene Geräte als eine der häufigsten Zündquellen in Abfallbehandlungsanlagen und Sammelfahrzeugen. Die Studien zeigen, dass LIB sowohl als Einzelabfälle als auch als Bestandteile von EAG in ungeeignete Abfallströme gelangen und dort insbesondere in mechanisch belasteten Prozessstufen beschädigt werden. Infolge dieser Beschädigungen kommt es in vielen Fällen zum thermischen Durchgehen der Batterien und zur Entzündung umliegender Abfälle.^{71 72 73 74}

Die österreichischen Untersuchungen erlauben eine differenzierte Betrachtung der Prozessschritte, in denen Brandereignisse besonders häufig auftreten. Übereinstimmend werden Sammelfahrzeuge, Umschlag- und Lagerbereiche sowie mechanische Vorbehandlungsstufen als besonders risikobehaftet identifiziert, da in diesen Bereichen mechanische Beanspruchungen als Auslöser batteriebedingter Brände wirken. Darüber hinaus zeigen die Studien, dass Brände nicht zwingend unmittelbar nach einer Beschädigung auftreten müssen. Zeitverzögerte Entzündungen werden auch hier als typisches Phänomen beschrieben, das insbesondere in Lager- und Zwischenlagerbereichen relevant ist und die eindeutige Ursachenbestimmung erschwert.^{69 75 76 77}

Die österreichischen Ergebnisse weisen eine hohe Übereinstimmung mit den für Deutschland dargestellten Erkenntnissen auf. In beiden Ländern zeigen sich ähnliche

⁶⁴ Nigl, Rübenbauer, Pomberger (2020), Kapitel 2, 3

⁶⁵ Nigl, Bäck, Pomberger (2020), Kapitel 2, 3

⁶⁶ Nigl, Pomberger (2023), S. 22

⁶⁷ Pomberger (2021), S. 5

⁶⁸ Salzer (2026)

⁶⁹ Artner (2022), Kapitel 1.1, 4.1

⁷⁰ Nigl (o.D.), S. 11-17

⁷¹ Nigl, Pomberger (2023), S. 10, 13-15

⁷² Nigl, Pomberger (2018), Kapitel 4

⁷³ Nigl et al. (2021), Kapitel 3

⁷⁴ Grassauer (2022), Kapitel 5

⁷⁵ Nigl, Bäck, Pomberger (2020), Kapitel 3

⁷⁶ Nigl et al. (2021), Kapitel 4

⁷⁷ Artner (2022), Kapitel 4.1

Ursachenmuster, insbesondere im Hinblick auf Fehlwürfe von LIB, mechanische Beschädigungen und zeitverzögerte Brandereignisse. Der wesentliche Mehrwert des österreichischen Vergleichsfalls liegt in der Tiefe und Langfristigkeit der Untersuchungen, die eine systematische Ursachenanalyse über mehrere Jahre hinweg ermöglichen. Die österreichischen Studien bestätigen damit die Annahme, dass batteriebedingte Brände in der Abfallwirtschaft kein nationales Einzelproblem darstellen, sondern strukturell mit der Marktentwicklung batteriebetriebener Produkte und den bestehenden Entsorgungsprozessen verknüpft sind.

4.4 Bewertung der Aussagekraft & Forschungsstand

Die in den vorangegangenen Kapiteln ausgewertete Literatur liefert insgesamt ein konsistentes und inhaltlich belastbares Bild zu Ursachen und Risikofaktoren batteriebedingter Brandereignisse in der Abfallwirtschaft. Gleichzeitig zeigen sich bei genauer Betrachtung methodische Einschränkungen und relevante Datenlücken, die für die Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Die nachfolgende Bewertung dient daher nicht der Relativierung der Erkenntnisse, sondern der transparenten Einordnung ihrer Aussagekraft.

Eine zentrale Stärke der vorhandenen Studien liegt in der vergleichsweise großen Datenbasis einzelner Länder, insbesondere in Österreich, wo über mehrere Jahre hinweg umfangreiche Fallzahlen systematisch ausgewertet wurden. Diese Langzeitbetrachtungen ermöglichen eine fundierte Identifikation wiederkehrender Ursachenmuster und Risikobereiche. Darüber hinaus ist eine hohe internationale Vergleichbarkeit der zentralen Aussagen festzustellen. Unabhängig vom betrachteten Land oder Anlagentyp zeigen die Studien eine bemerkenswerte Übereinstimmung bei der Identifikation zentraler Brandtreiber, insbesondere im Hinblick auf Fehlwürfe von LIB, mechanische Beanspruchung und zeitverzögerte Brandauslösung. Ein weiterer Vorteil der bestehenden Literatur liegt in der detaillierten qualitativen Ursachenbeschreibung. Viele Arbeiten gehen über reine Brandzählungen hinaus und analysieren Prozessbedingungen, Abfallzusammensetzungen und typische Auslöser entlang der Entsorgungskette. Dadurch entsteht ein belastbares Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen und des Ursache-Wirkungs-Prinzips, auch wenn quantitative Detaildaten häufig fehlen.

Gleichzeitig weisen die untersuchten Studien mehrere strukturelle Schwächen auf. Ein zentrales Problem ist die fehlende einheitliche statistische Erfassung von Brandereignissen. Unterschiedliche Definitionen dessen, was als Brandereignis gilt, erschweren die Vergleichbarkeit zwischen Studien und Ländern erheblich. Hinzu kommt eine Unsicherheit bei der eindeutigen Zuordnung von Brandursachen. In vielen Fällen sind LIB nach einem Brandereignis nicht mehr eindeutig nachweisbar, sodass häufig mit plausiblen Annahmen oder vermuteten Ursachen gearbeitet werden muss. Dies betrifft insbesondere Brände mit zeitverzögerter Entzündung oder vollständig zerstörtem Brandgut. Erschwerend wirkt zudem, dass es keine standardisierte Definition eines LIB-Brandes gibt. Während einige Studien ausschließlich Brände mit eindeutig identifizierten Batterieresten erfassen, beziehen andere auch Ereignisse mit plausibler, aber nicht belegbarer Batterieursache ein. Diese Unterschiede beeinflussen sowohl die berichteten Häufigkeiten als auch die Interpretation der Ergebnisse.

Aus der Analyse ergeben sich mehrere relevante Datenlücken. Für Deutschland gibt es kaum belastbare, systematische Fehlwurfstudien, die den Eintrag von LIB in verschiedene Abfallströme quantitativ erfassen. Insbesondere der Anteil fest verbauter oder verklebter Akkus im Entsorgungsstrom ist bislang nur unzureichend dokumentiert. Zudem existieren kaum differenzierte Häufigkeitsdaten für einzelne Anlagenprozesse. Zwar werden in vielen Studien Lager-, Umschlag- oder Zerkleinerungsbereiche als besonders belastete Bereiche

identifiziert, jedoch fehlen Angaben zur relativen Häufigkeit von Brandereignissen bezogen auf Materialmengen oder Betriebszeiten. Schließlich fehlt eine einheitliche Kategorisierung von LIB-Typen im Abfallstrom. Unterschiede in Bauform, Kapazität, Ladezustand oder Integrationsgrad werden bislang nur vereinzelt berücksichtigt, obwohl sie für die Risikobewertung von Bedeutung sein können. Die begrenzte Datenlage erschwert zwar die belastbare Quantifizierung der Fehlwurfmengen, die verfügbaren Markt-, Sammel- und Abfallstromanalysen deuten jedoch übereinstimmend auf eine zunehmende Relevanz von LIB in abfallwirtschaftlichen Stoffströmen hin.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der bestehende Forschungsstand eine solide qualitative Grundlage zur Bewertung batteriebedingter Brandrisiken bietet. Seine Stärke liegt in der Ursachenbeschreibung: Die ausgewerteten Arbeiten gehen vielfach über reine Brandzählungen hinaus und analysieren Prozessbedingungen, Abfallzusammensetzungen und typische Auslöser entlang der Entsorgungskette, wobei die zentralen Aussagen über Länder und Anlagentypen hinweg in bemerkenswertem Maße übereinstimmen und durch die mehrjährigen österreichischen Erhebungen zusätzlich abgesichert werden. Übereinstimmend ist dabei auch der Kernbefund selbst. Die ausgewerteten Arbeiten ordnen lithiumbasierte Batterien quellenübergreifend als zentralen Brandtreiber ein, und dort, wo Zeitreihen vorliegen, wird eine Zunahme der Ereignisse berichtet. Begrenzt ist der Forschungsstand demgegenüber in der Quantifizierung. Eine einheitliche statistische Erfassung von Brandereignissen und eine standardisierte Definition dessen, was als batteriebedingter Brand gilt, fehlen ebenso wie belastbare Fehlwurfstudien für Deutschland, differenzierte Häufigkeitsdaten für einzelne Anlagenprozesse und eine einheitliche Kategorisierung der im Abfallstrom auftretenden LIB-Typen. Hinzu kommt, dass brandursächliche Batterien nach einem Ereignis häufig nicht mehr eindeutig nachweisbar sind, sodass vielfach mit vermuteten Ursachen gearbeitet werden muss. Die identifizierten Schwächen und Datenlücken betreffen damit vor allem die quantitative Einordnung des Brandgeschehens. Die qualitativen Befunde zu Fehlwürfen von LIB, mechanischer Beanspruchung und erschwerter Ursachenidentifikation werden dagegen über unterschiedliche Studien und Datengrundlagen hinweg konsistent beschrieben. Am belastbarsten ist die Datenlage dort, wo über mehrere Jahre systematisch erhoben wurde. Das gilt für Österreich mit den Erhebungen der Montanuniversität Leoben. Für Deutschland liegt mit der in Kapitel 2 ausgewerteten Verbändumfrage eine anlagenbezogene Erhebung über 181 Anlagen und fünf Betrachtungsjahre vor, die einer einheitlichen Definition von Hotspot und Brand folgt. Sie mindert damit einen Teil der beschriebenen Erfassungsprobleme, ersetzt jedoch weder die fehlenden Fehlwurfstudien noch prozessbezogene Häufigkeitsdaten. Die kritische Reflexion der Literatur trägt somit zur methodischen Transparenz der vorliegenden Studie bei und bildet eine fundierte Basis für die nachfolgende Ableitung von Hypothesen und Ursachenmodellen.

5 Analyse & Hypothesenbildung

Ziel dieses Kapitels ist es, auf Basis der zuvor dargestellten Ergebnisse eine qualitative Korrelationsanalyse vorzunehmen. Dabei wird untersucht, ob und in welcher Weise sich aus den beschriebenen Markt-, Mengen- und Entsorgungsentwicklungen sowie den identifizierten Ursachenmustern Indizien für einen Zusammenhang zwischen der zunehmenden Verbreitung von LIB im Abfallstrom und der Häufigkeit von Brandereignissen in der Abfallwirtschaft ableiten lassen. Die Analyse verfolgt ausdrücklich keinen kausalen Nachweis im engeren Sinne, sondern zielt darauf ab, wiederkehrende Muster, zeitliche Parallelitäten und

prozessuale Überschneidungen systematisch zusammenzuführen und fachlich einzuordnen.

Darauf aufbauend werden Hypothesen abgeleitet und kritische Anlagenbereiche identifiziert. Den Abschluss dieses Kapitels bildet das zweistufige Ursachenmodell zu LIB-bedingten Bränden in der Abfallwirtschaft.

5.1 Qualitative Korrelationsanalyse

Aufgrund der zuvor dargestellten methodischen Grenzen der verfügbaren Daten ist eine quantitative Korrelation im statistischen Sinne derzeit nicht möglich. Insbesondere fehlen hierfür einheitliche, belastbare Zeitreihen sowohl zur exakten Häufigkeit batteriebedingter Brandereignisse als auch zum tatsächlichen Eintrag von LIB in unterschiedliche Abfallströme. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieser Studie ein qualitativer Ansatz gewählt. Dieser basiert auf der systematischen Gegenüberstellung von Entwicklungen, Befunden und Ursachenmustern aus unterschiedlichen Quellen und Ländern. Eine Korrelation wird dabei nicht über mathematische Kennwerte, sondern über die Kohärenz unabhängiger Beobachtungen hergestellt. Die Aussagekraft ergibt sich aus der Übereinstimmung zentraler Indikatoren über verschiedene Untersuchungsansätze hinweg.

Die Auswertung der vorangegangenen Kapitel liefert mehrere Indizien, die in ihrer Gesamtheit auf einen Zusammenhang zwischen der zunehmenden Verbreitung von LIB und der Häufung von Brandereignissen in der Abfallwirtschaft hindeuten.

Ein erstes zentrales Indiz ist die zeitliche Parallelität von Marktentwicklung und Brandgeschehen. In mehreren Ländern wird eine Zunahme von Brandereignissen in der Abfall- und Recyclingwirtschaft in dem Zeitraum beobachtet, in welchem sich LIB als dominierendes Batteriesystem etabliert haben und vermehrt in Alltags- und Konsumprodukten eingesetzt werden. Diese Entwicklung wird durch stagnierende Sammelquoten begleitet, sodass weiterhin ein erheblicher Teil der Batterien nicht über die vorgesehenen Entsorgungswege erfasst wird.

Ein weiteres Indiz ergibt sich aus der Übereinstimmung der identifizierten Brandursachen. Unabhängig von nationalen Entsorgungsstrukturen oder Anlagentypen werden LIB wiederkehrend als relevante Zündquelle beschrieben. Besonders häufig treten Brände in Prozessstufen auf, in denen mechanische Belastungen wirken, etwa beim Pressen, Umschlagen oder Zerkleinern von Abfällen. Diese Prozessschritte sind zugleich diejenigen, in denen fehlgeorfene LIB typischerweise erstmals kritisch beansprucht werden.

Darüber hinaus zeigen zahlreiche Studien eine räumliche und prozessuale Konzentration von Brandereignissen. Lager-, Umschlag- und Vorbehandlungsbereiche werden wiederholt als besonders belastete Bereiche identifiziert.⁷⁸ Diese Bereiche zeichnen sich durch eine hohe Heterogenität des Abfallstroms und eine begrenzte Kontrollmöglichkeit einzelner Störstoffe aus. Die Koinzidenz von Fehlwürfen, mechanischer Beanspruchung und Brandentstehung stellt ein weiteres qualitatives Indiz für einen Zusammenhang dar.

Ein zentrales Element der qualitativen Korrelationsanalyse ist die Rolle von Fehlwürfen als vermittelnder Faktor zwischen Marktentwicklung und Brandgeschehen. Die Literatur zeigt

⁷⁸ Nigl, Bäck, Pomberger (2020), Kapitel 3; Nigl, Baldauf, Pomberger (2021), Kapitel 4; Artner (2022), Kapitel 4.1

übereinstimmend, dass LIB dann besonders brandrelevant werden, wenn sie unerkannt in ungeeignete Abfallströme gelangen.⁷⁹ Dementsprechend sind Fehlwürfe nicht als isoliertes Randphänomen zu betrachten, sondern als strukturelle Begleiterscheinung eines sich wandelnden Produktmarktes. Die zunehmende Verbreitung fest verbauter oder verklebter Akkus, kurze Produktlebenszyklen sowie unzureichende Verbraucherinformationen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass Batterien unentdeckt in gemischte Abfallströme gelangen. In der Folge steigt die Exposition dieser Batterien gegenüber mechanischen Belastungen, die als unmittelbare Auslöser von Brandereignissen wirken können. In der Zusammenschau entsteht damit eine qualitative Kette von Indizien:

- Marktwachstum,
- Fehlwürfe,
- Mechanische Beanspruchung,
- Brandereignisse.

Auch wenn diese Kette nicht im Sinne einer statistischen Kausalität belegt werden kann, wird sie durch eine Vielzahl voneinander unabhängiger Beobachtungen gestützt.

Die qualitative Korrelationsanalyse zeigt über verschiedene Studien, Länder und Datengrundlagen hinweg ein konsistentes Muster. Die zunehmende Präsenz von LIB im Abfallstrom geht mit einer steigenden Relevanz batteriebedingter Brandrisiken in der Abfallwirtschaft einher. Die ausgewertete Literatur verweist dabei wiederholt auf Fehlwürfe batteriehaltiger Produkte und deren mechanische Beanspruchung im Entsorgungsprozess als zentrale Einflussfaktoren im Zusammenhang mit Brandereignissen.

Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass Brandereignisse in der Abfallwirtschaft ein multikausales Geschehen darstellen. LIB wirken häufig nicht isoliert, sondern im Zusammenwirken mit weiteren Einflussfaktoren wie Abfallzusammensetzung, Lagerbedingungen oder äußeren Rahmenbedingungen. Die vorliegenden Ergebnisse erlauben daher keine quantitative Bestimmung des Anteils einzelner Ursachen am gesamten Brandgeschehen.

Ungeachtet dieser Einschränkungen ergibt sich aus der Gesamtschau der Literatur ein belastbarer Hinweis darauf, dass LIB einen relevanten Risikofaktor für Brandereignisse in der Abfall- und Recyclingwirtschaft darstellen und die Fehlwurfproblematik dabei eine zentrale Rolle einnimmt.

Die identifizierten Zusammenhänge bilden die Grundlage für die nachfolgende Ableitung von Hypothesen sowie die Entwicklung eines systematischen Ursachenmodells.

5.2 Abgeleitete Hypothesen

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Befunde sowie der durchgeführten qualitativen Korrelationsanalyse lassen sich mehrere Hypothesen ableiten, die einen möglichen Zusammenhang zwischen der zunehmenden Verbreitung von LIB im Abfallstrom und der Häufigkeit von Brandereignissen in der Abfallwirtschaft beschreiben. Die Hypothesen stellen dabei keine kausalen Beweise, sondern begründete Annahmen dar, die sich aus der Übereinstimmung von Beobachtungen, Ursachenmustern und Prozesszusammenhängen ergeben.

⁷⁹ Pomberger (2021), S. 5; Umweltbundesamt (2026); Wilfer (2024); Metz, Fischer (2024); REMONDIS SE & Co. KG (2025); Dornbusch et al. (2020), S. 97 ff

Die nachfolgenden Hypothesen dienen als strukturierender Rahmen für die weitere Analyse und bilden die Grundlage für die Entwicklung eines systematischen Ursachenmodells.

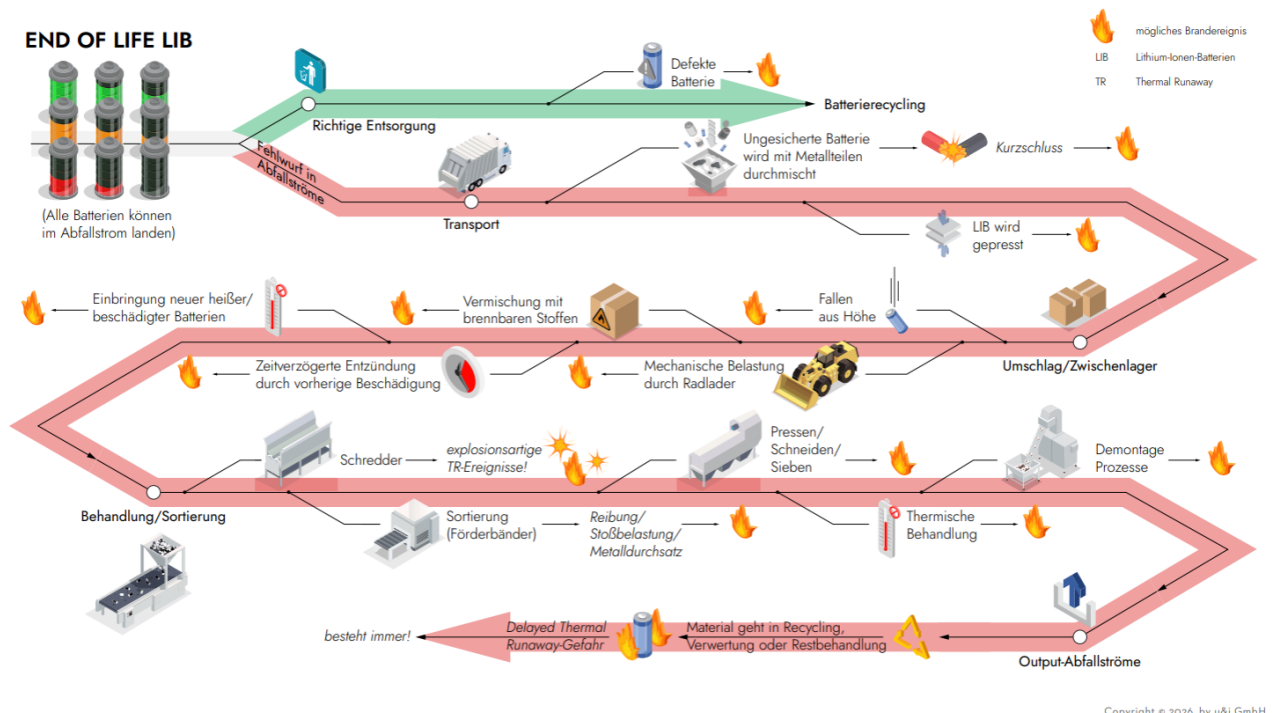


Abbildung 13: Ablaufschema Batterien in der Abfallbehandlung

Zur Veranschaulichung der abgeleiteten Hypothesen und der zugrunde liegenden Prozesslogik ist in Abbildung 13 ein Ablaufschema dargestellt. Die Abbildung stellt keine statistische Auswertung dar, sondern visualisiert die in der Literatur beschriebenen und qualitativ korrelierten Zusammenhänge entlang des Entsorgungspfades von LIB.

Das Schema verdeutlicht insbesondere die Rolle von Fehlwürfen als Eintrittsvoraussetzung, die Bedeutung mechanischer Belastungen als Auslösemechanismus sowie das Phänomen zeitverzögerter Brandauslösungen. Die dargestellten Gefährdungen sind nicht als deterministische Abfolge zu verstehen, sondern als wiederkehrende Risikokonstellationen, die in den analysierten Studien übereinstimmend beschrieben werden.

Die Analyse von Markt- und Mengentrends zeigt, dass LIB in immer mehr Produkten und Anwendungen eingesetzt werden und sich als dominierendes Batteriesystem etabliert haben. Parallel dazu berichten zahlreiche Studien über eine Zunahme sicherheitsrelevanter Ereignisse in der Abfall- und Recyclingwirtschaft. Es ist naheliegend, dass diese Entwicklungen nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind. Die erste Hypothese lautet daher:

Mit der zunehmenden Verbreitung von LIB im Produktmarkt steigt das potenzielle Brandrisiko in der Abfallwirtschaft.

Diese Hypothese bezieht sich nicht auf einzelne Brandereignisse, sondern auf eine strukturelle Veränderung des Abfallstroms, bei der ein wachsender Anteil brandrelevanter Störstoffe in abfallwirtschaftliche Prozesse gelangt.

In den vorigen Kapiteln wurde beschrieben, dass LIB und batteriebetriebene Geräte regelmäßig über ungeeignete Abfallströme entsorgt werden. Diese Fehlwürfe werden durch stagnierende Sammelquoten, unzureichende Verbraucherinformation sowie durch fest

verbaute, verklebte oder schwer erkennbare Akkus begünstigt. Die Korrelationsanalyse spricht dafür, dass batteriebedingte Brände insbesondere dort auftreten, wo Batterien außerhalb der vorgesehenen Entsorgungswege in gemischte Abfallströme gelangen. Die zweite Hypothese lautet dementsprechend:

Fehlwürfe von LIB stellen eine notwendige Eintrittsvoraussetzung für die Entstehung batteriebedingter Brände in der Abfallwirtschaft dar.

Die untersuchten Studien zeigen übereinstimmend, dass Brandereignisse nicht auf einzelne Anlagentypen beschränkt sind, sondern in mehreren Prozessstufen der Entsorgungskette auftreten. Wiederkehrend werden insbesondere Sammelfahrzeuge, Umschlagbereiche, Sortieranlagen und Zerkleinerungsaggregate als kritisch beschrieben.⁸⁰ Diese Prozessschritte haben die Gemeinsamkeit, dass sie mit mechanischen Beanspruchungen verbunden sind, die auf fehlgeworfene Batterien wirken können. Die qualitative Analyse legt nahe, dass Belastungen wie Quetschen, Stoßen oder Zerkleinern als unmittelbarer Auslöser für interne Kurzschlüsse und das thermische Durchgehen von LIB fungieren. Die dritte Hypothese lautet daher:

Mechanische Beanspruchung von fehlgeworfenen LIB ist der zentrale Auslösemechanismus für Brandereignisse in der Abfallwirtschaft.

Mehrere Quellen weisen darauf hin, dass batteriebedingte Brände nicht zwingend unmittelbar nach einer mechanischen Beschädigung auftreten müssen.⁸¹ Zeitverzögerte Entzündungen können dazu führen, dass Brände erst in späteren Prozessstufen oder in Lager- und Zwischenlagerbereichen auftreten. In vielen Fällen ist die ursprüngliche Auslöseursache dann nicht mehr eindeutig rekonstruierbar. Die qualitative Korrelationsanalyse deutet darauf hin, dass dieser Effekt wesentlich zur statistischen Unsicherheit und zur Unterschätzung batteriebedingter Brandereignisse beiträgt. Dementsprechend lautet die vierte Hypothese:

Zeitverzögerte Brandauslösungen von LIB führen zu einer erschwerten Ursachenidentifikation und einer systematischen Unterschätzung der tatsächlichen Häufigkeit batteriebedingter Brände.

Die wiederkehrende Identifikation von Lager-, Umschlag- und Vorbehandlungsbereichen als besonders belastete Bereiche deutet auf systematische Zusammenhänge hin. Diese Bereiche zeichnen sich durch eine hohe Heterogenität des Abfallstroms, begrenzte Kontrollmöglichkeiten einzelner Störstoffe und intensive mechanische Einwirkungen aus. Die Korrelationsanalyse legt nahe, dass räumliche Konzentration von Brandereignissen weniger anlagenspezifisch als vielmehr prozessbedingt ist. Die fünfte Hypothese lautet daher:

Batteriebedingte Brände häufen sich in Anlagenbereichen, in denen Prozesse mit erhöhter mechanischer Belastung stattfinden.

Die abgeleiteten Hypothesen stellen keine isolierten Annahmen dar, sondern sind in ihrer Gesamtheit zu betrachten. Sie beschreiben ein zusammenhängendes Wirkgefüge, das von der Marktentwicklung über Fehlwürfe und Prozessbedingungen bis hin zur Brandentstehung reicht. Die Hypothesen bilden damit die inhaltliche Grundlage für die nachfolgende

⁸⁰ Nigl, Bäck, Pomberger (2020), Kapitel 3; Goertz et al. (2016), Kapitel 3; CEWEP et al. (2025); Ollion, Anta, Herreras (2020), Kapitel 2.2

⁸¹ Nigl, Pomberger (2018), Kapitel 3, 4; Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024), Kapitel 4.1

strukturierte Darstellung der Ursachen und Wirkungszusammenhänge. Die weitere Analyse zielt darauf ab, diese Hypothesen im Rahmen eines systematischen Ursachenmodells zu ordnen und die relevanten Einflussfaktoren transparent darzustellen.

5.3 Identifikation kritischer Anlagenbereiche

Aufbauend auf den abgeleiteten Hypothesen lassen sich entlang der abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette bestimmte Anlagen- und Prozessbereiche identifizieren, in denen das Risiko batteriebedingter Brandereignisse besonders hoch ist. Die Identifikation dieser Bereiche erfolgt nicht auf Basis einzelner Fallzahlen, sondern durch die Zusammenschau wiederkehrender Ursachenmuster, wie sie in der Literatur beschrieben und in der qualitativen Korrelationsanalyse zusammengeführt wurden. Ziel dieses Kapitels ist es, die prozessualen Schwerpunkte des Brandrisikos herauszuarbeiten und damit eine Grundlage für die systematische Betrachtung von Ursachen und möglichen Präventionsansätzen zu schaffen.

Sammelfahrzeuge stellen einen der frühesten kritischen Punkte im Entsorgungspfad dar. In diesem Bereich treffen mehrere Risikofaktoren zusammen: eine hohe Heterogenität des Abfallstroms, fehlende Sicht- und Kontrollmöglichkeiten sowie mechanische Belastungen durch Verdichtungs- und Pressvorgänge. Fehlgeworfene LIB können in diesem Stadium unbemerkt beschädigt werden und entweder unmittelbar oder zeitverzögert zu Brandereignissen führen. Entscheidend ist dabei nicht, dass sich im Sammelgut besonders viele Batterien befinden, sondern dass vergleichsweise geringe mechanische Einwirkungen ausreichen können, um LIB zum thermischen Durchgehen zu bringen. Sammelfahrzeuge sind daher vor allem aufgrund der Prozessbedingungen kritisch, unter denen Beschädigungen auftreten können. Zusätzlich erschweren die geschlossene Bauweise sowie die eingeschränkten Eingriffsmöglichkeiten eine frühzeitige Erkennung und Reaktion auf entstehende Brandereignisse.

Umschlag- und Zwischenlagerbereiche stellen einen weiteren zentralen Risikobereich dar. In diesen Bereichen kommt es häufig zu einer Ansammlung heterogener Abfallfraktionen, einschließlich fehlgeworfener batteriebetriebener Geräte oder LIB. Gleichzeitig wirken mechanische Belastungen durch Radlader, Greifer oder durch Umschichten. Ein besonderes Risiko ergibt sich aus der Kombination von vorbeschädigten Batterien und längeren Verweilzeiten. Zeitverzögerte Brandauslösungen können dazu führen, dass sich Brände erst nach Stunden oder Tagen entwickeln, ohne dass ein unmittelbarer Auslöser erkennbar ist. Umschlag- und Lagerbereiche fungieren damit häufig als Orte, an denen sich zuvor ausgelöste Schädigungen zu Bränden entwickeln.

Zerkleinerungsaggregate wie Schredder stellen einen besonders kritischen Prozessbereich dar, da hier hohe mechanische Energien auf das Abfallmaterial eingebracht werden müssen. Treffen diese Prozesse auf fehlgeworfene LIB, kann es infolge von Beschädigungen unmittelbar zu Brand- oder Explosionsereignissen kommen, insbesondere bei vollständig oder teilweise geladenen Zellen. Zerkleinerungsprozesse unterscheiden sich damit von anderen Prozessschritten dadurch, dass sie nicht nur zur schrittweisen Vorschädigung beitragen, sondern unter Umständen als unmittelbarer Auslösepunkt von Brandereignissen wirken.

Innerhalb von Sortier- und Vorbehandlungsanlagen lassen sich mehrere kritische Prozessbereiche identifizieren. Dazu zählen insbesondere Übergabepunkte, Aufgabebereiche sowie Sieb- und Trennprozesse, in denen Abfälle umgelagert, separiert und weitertransportiert werden. In diesen Bereichen wirken wiederholt moderate mechanische Beanspruchungen, etwa durch Stoß-, Reibungs- und Fallbewegungen. Fehlgeworfene LIB werden in diesen Prozessschritten häufig weitertransportiert, ohne erkannt zu werden, und können dabei

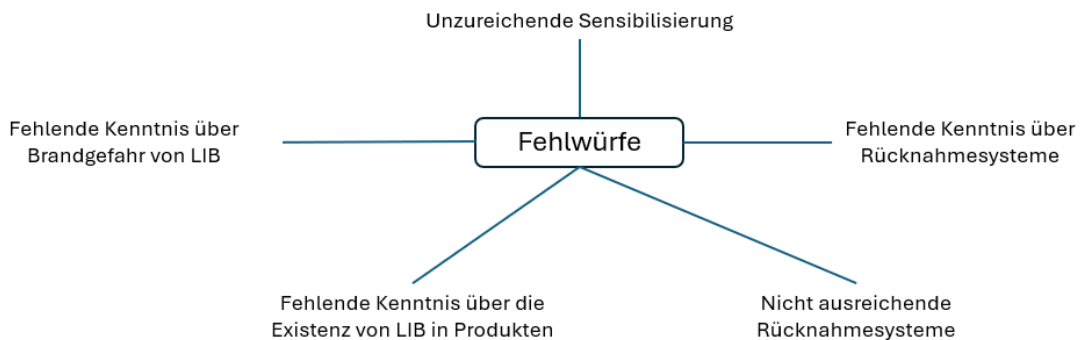
schrittweise vorgeschädigt werden. Zusätzlich kommt diesen Prozessbereichen eine wichtige Bedeutung für die Verlagerung von Brandereignissen zu. Wird ein Brand in einer vorgelagerten Prozessstufe, etwa durch Zerkleinerung, ausgelöst, kann brennendes Material über Förder- und Übergabesysteme innerhalb der Anlage weitertransportiert und verteilt werden. Im Unterschied zu Zerkleinerungsprozessen wirken diese Prozessschritte daher weniger als unmittelbare Auslösepunkte, sondern können einerseits zur Vorschädigung von LIB und andererseits zur räumlichen Ausbreitung von Brandereignissen innerhalb der Anlage beitragen.

Auch nach Abschluss der eigentlichen Aufbereitungsprozesse bestehen weiterhin Brandrisiken. Output-, Lager- und Nachbehandlungsbereiche können betroffen sein, wenn beschädigte Batterien in Recycling-, Verwertungs- oder Restfraktionen gelangen. Insbesondere das Phänomen des verzögerten thermischen Durchgehens führt dazu, dass Brände auch in Bereichen auftreten können, die nicht unmittelbar mit intensiver mechanischer Beanspruchung verbunden sind. Diese Bereiche sind aus analytischer Sicht deshalb relevant, weil sie verdeutlichen, dass batteriebedingte Brandrisiken nicht auf einzelne Prozessschritte begrenzt sind, sondern sich über den gesamten Entsorgungspfad erstrecken können.

Die Identifikation kritischer Anlagenbereiche zeigt, dass batteriebedingte Brandrisiken entlang der gesamten abfallwirtschaftlichen Prozesskette auftreten können, sich jedoch in bestimmten Bereichen systematisch verdichten. Besonders betroffen sind jene Prozessschritte, in denen Fehlwürfe auf mechanische Beanspruchung treffen, was sich auch in den Umfrageergebnissen widerspiegelt (vgl. Abbildung 5). Die wiederkehrende Benennung gleicher Anlagenbereiche in unterschiedlichen Studien und Ländern deutet darauf hin, dass es sich hierbei nicht um zufällige Einzelphänomene handelt, sondern um strukturell bedingte Risikozonen. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für die nachfolgende systematische Darstellung der Ursachen- und Wirkungszusammenhänge im Rahmen des Ursachenmodells.

5.4 Ursachenmodell

Auf Grundlage der bisher dargestellten Ergebnisse wird im Folgenden ein systematisches Ursachenmodell zur Erklärung batteriebedingter Brandereignisse in der Abfallwirtschaft vorgestellt. Ziel dieses Modells ist es, die identifizierten Einflussfaktoren strukturiert zusammenzuführen und ihre Wechselwirkungen transparent darzustellen. Im Unterschied zu klassischen Ursache-Wirkungs-Modellen wird dabei eine zweistufige Betrachtung gewählt. Zunächst werden die Ursachen betrachtet, die zur Entstehung von Fehlwürfen von LIB führen. Fehlwürfe stellen die zentrale Eintrittsvoraussetzung für batteriebedingte Brandereignisse dar und bilden den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Prozessrisiken. Diese vorgelagerte Ebene wird in Form einer Mindmap dargestellt, in der wesentliche Einflussfaktoren zusammengeführt sind. Aufbauend auf dieser Eintrittsebene wird im zweiten Schritt ein Ursache-Wirkungs-Diagramm in Form eines Ishikawa-Diagramms verwendet, um die vielfältigen und miteinander verknüpften Ursachen der Brandentstehung innerhalb der abfallwirtschaftlichen Prozesskette systematisch zu ordnen. Das Ursachenmodell erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Kausalität im engeren Sinne, sondern dient der strukturierten Zusammenführung der in der Literatur beschriebenen und im Rahmen dieser Studie analysierten Befunde. Es stellt damit eine analytische Verdichtung der zuvor abgeleiteten Hypothesen und identifizierten Risikobereiche dar.



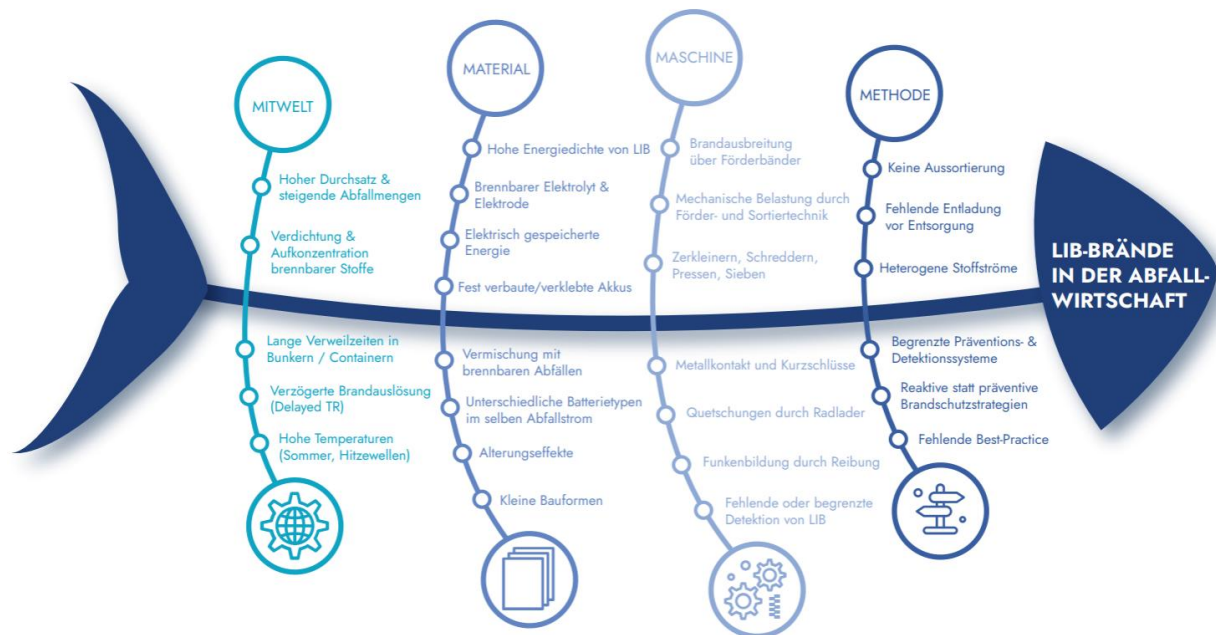
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 14: Ursachen für Fehlwürfe von LIB in der Abfallwirtschaft

Die in Abbildung 14 dargestellten Einflussfaktoren verdeutlichen, dass Fehlwürfe von LIB nicht auf einzelne Ursachen zurückzuführen sind, sondern aus dem Zusammenwirken mehrerer Aspekte entstehen. Zentral sind dabei insbesondere Wissensdefizite hinsichtlich der Existenz und der Gefährdungspotenziale von LIB in Alltagsprodukten, eine unzureichende Sensibilisierung für die damit verbundenen Risiken sowie strukturelle Defizite der bestehenden Rücknahmesysteme. Diese Faktoren führen dazu, dass LIB nicht den vorgesehenen Entsorgungswegen zugeführt werden, sondern in gemischte Abfallströme gelangen. Fehlwürfe bilden damit den Ausgangspunkt der nachfolgenden Risikodynamik innerhalb der Entsorgungssysteme.

Die Mindmap fokussiert somit bewusst die vorgelagerte Ebene der Fehlwurfentstehung und grenzt diese von den nachgelagerten technischen und prozessualen Ursachen der Brandentstehung ab. Aufbauend auf dieser Betrachtung werden im folgenden Schritt die innerhalb der Entsorgungssysteme wirkenden Einflussfaktoren im Rahmen eines Ishikawa-Diagramms systematisch dargestellt.

Das Ishikawa-Diagramm ist ein etabliertes Instrument zur Analyse komplexer, multikausaler Problemstellungen. Es eignet sich insbesondere für Fragestellungen, bei denen ein Ereignis nicht auf eine einzelne Ursache zurückgeführt werden kann, sondern aus dem Zusammenwirken mehrerer Einflussfaktoren entsteht. Für das vorliegende Ursachenmodell werden die Ursachenbereiche Mitwelt, Material, Maschine und Methode betrachtet. Das Diagramm setzt dabei auf der in Abbildung 14 dargestellten Eintrittsebene der Fehlwürfe auf. Diese Kategorien ermöglichen eine strukturierte Einordnung der innerhalb der Entsorgungssysteme wirkenden technischen, stofflichen und organisatorischen Einflussfaktoren, ohne einzelne Prozesse isoliert zu bewerten. Die dargestellten Ursachen sind nicht als unabhängige Einzelfaktoren zu verstehen, sondern als miteinander verknüpfte und sich gegenseitig verstärkende Einflüsse innerhalb eines komplexen Systems. Das nachfolgende Ishikawa-Diagramm führt diese Einflussfaktoren systematisch zusammen und dient als Grundlage für die anschließende detaillierte Erläuterung der einzelnen Ursachenbereiche.



Copyright © 2026, by u&i GmbH

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 15: Ishikawa-Diagramm zur Visualisierung der Ursachen von LIB-Bränden in der Abfallwirtschaft

Als Wirkung des Ursachenmodells werden batteriebedingte Brandereignisse in der Abfall- und Recyclingwirtschaft betrachtet. Diese umfassen sowohl Brände in Sammelfahrzeugen, Umschlag- und Lagerbereichen als auch in Sortier-, Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen. Die Wirkungsebene bildet den gemeinsamen Endpunkt der im Modell dargestellten Ursachenpfade.

Der Ursachenbereich *Mitwelt* beschreibt äußere Rahmenbedingungen, die das Brandrisiko innerhalb der Entsorgungssysteme beeinflussen können. Hierzu zählen insbesondere ein hoher Durchsatz und steigende Abfallmengen sowie die Verdichtung und Aufkonzentration brennbarer Stoffe, aber auch betriebliche Randbedingungen wie lange Verweilzeiten in Bunkern und Containern und hohe Umgebungstemperaturen in Sommer- und Hitzeperioden. Diese Faktoren wirken in der Regel nicht als unmittelbare Auslöser von Brandereignissen, können jedoch bestehende Risiken verstärken und die Wahrscheinlichkeit einer Brandauslösung erhöhen. Insbesondere längere Verweilzeiten in Lager- und Zwischenlagerbereichen begünstigen zeitverzögerte Brandauslösungen, da vorgeschädigte Batterien über einen längeren Zeitraum im Abfallstrom verbleiben können.

Der Ursachenbereich *Material* beschreibt die stofflichen und konstruktiven Eigenschaften von LIB, die sie zu einem sicherheitsrelevanten Störfaktor im Abfallstrom machen. Hierzu zählen insbesondere die hohe Energiedichte, brennbare Elektrolyte sowie die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie. Darüber hinaus spielen Bauformen eine zentrale Rolle. Kleine, fest verbaute oder verklebte Akkus sind im Abfallstrom häufig nicht erkennbar und entziehen sich einer gezielten Trennung. Hinzu kommen Alterungseffekte sowie die Vermischung mit brennbaren Abfällen. Der Ladezustand von End-of-Life-Batterien ist in der Regel unbekannt, sodass auch scheinbar entladene Batterien noch ein relevantes Gefahrepotenzial aufweisen können.

Der Ursachenbereich *Maschine* umfasst alle technischen Einrichtungen und Aggregate, die im Rahmen der Abfallbehandlung eingesetzt werden. Mechanische Belastungen durch Verdichtungs- und Umlagerungsprozesse wirken als zentrale Auslöser für Beschädigungen von LIB. Eine besondere Bedeutung kommt dabei Zerkleinerungsprozessen zu, bei denen hohe mechanische Energien in das Material eingebracht werden müssen und die damit ein erhöhtes Potenzial für unmittelbare Brandauslösungen aufweisen. Entscheidend ist, dass diese Prozesse mechanische Einwirkungen auf den Abfallstrom ausüben und dadurch auch fehlgeordnete LIB beanspruchen. Die Maschinen wirken dabei nicht als Ursache im engeren Sinne, sondern als auslösende Faktoren, die bestehende Risiken aktivieren und zur Brandauslösung führen können.

Der Ursachenbereich *Methode* beschreibt die organisatorischen und prozessualen Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft, die den Umgang mit batteriehaltigen Abfällen prägen. Dazu zählen insbesondere systembedingte Einschränkungen wie heterogene Abfallströme und eine fehlende oder begrenzte Aussortierung von LIB. Hinzu kommen Defizite in der praktischen Umsetzung, etwa unzureichende Maßnahmen zur Entladung von LIB vor der Entsorgung sowie begrenzte Präventions- und Detektionssysteme. Zudem fehlen einheitliche Best-Practice-Ansätze für den Umgang mit LIB-bedingten Risiken. Insgesamt wirkt der Ursachenbereich *Methode* damit nicht als unmittelbarer Auslöser, sondern als systematischer Rahmen, der beeinflusst, ob Störstoffe erkannt, korrekt behandelt oder in nachgelagerte Prozessstufen weitergegeben werden. Dadurch kann er bestehende Risiken verstärken und die Wahrscheinlichkeit batteriebedingter Brandereignisse erhöhen.

Das in Abbildung 15 dargestellte Ishikawa-Diagramm verdeutlicht, dass batteriebedingte Brände in der Abfallwirtschaft nicht auf eine einzelne Ursache zurückzuführen sind. Vielmehr entstehen sie aus dem Zusammenwirken materialbedingter Eigenschaften, mechanischer Auslöser, prozessualer Rahmenbedingungen und äußerer Einflüsse. Das Ursachenmodell macht sichtbar, dass Fehlwürfe von LIB eine notwendige Eintrittsvoraussetzung darstellen, während mechanische Beanspruchungen als unmittelbare Auslöser wirken. Prozess-, Organisations- und Umweltfaktoren beeinflussen dabei die Wahrscheinlichkeit, das Ausmaß und den Zeitpunkt der Brandentstehung.

Das dargestellte Ursachenmodell stellt eine strukturierte Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstands dar und bildet den analytischen Abschluss dieses Kapitels. Es dient als konzeptionelle Grundlage für die Ableitung von Präventions-, Erkennungs- und Minderungsmaßnahmen. Durch die systematische Darstellung der Ursachen wird deutlich, dass wirksame Maßnahmen nicht auf einzelne Ebenen beschränkt bleiben können, sondern ganzheitlich entlang der gesamten abfallwirtschaftlichen Prozesskette ansetzen müssen.

6 Volkswirtschaftliche Kosten, Ausblick und Auswirkungen auf die Versicherbarkeit

Ziel dieses Kapitels ist es, die durch Brände in Entsorgungs- und Recyclingbetrieben entstandenen volkswirtschaftlichen Kosten abzuschätzen. Daran anschließend wird ein Ausblick auf mögliche Entwicklungen skizziert sowie Auswirkungen auf die Versicherbarkeit diskutiert.

6.1 Abschätzung volkswirtschaftlicher Schäden

Zentrale Grundlage der Schadenserfassung ist die in Kapitel 2 vorgestellte Verbändeumfrage. Alle dargestellten Schadenszahlen stehen unter dem Vorbehalt der Richtigkeit der gemachten Angaben⁸². Den Untersuchungszeitraum stellen die Jahre 2021 bis 2025 dar. Lithium-Ionen-Batterien wurden in den vorangegangenen Kapiteln als dominante gesicherte bzw. wahrscheinliche Brandursache identifiziert. Vor diesem Hintergrund weist das vorliegende Kapitel zum einen die Schäden für sämtliche erfasste Brandereignisse, unabhängig von der angegebenen Brandursache aus. Zum anderen werden Schäden batteriebezogener Brandereignisse differenziert ermittelt.

Die Methode, Hinweise zur Schadenserfassung sowie die zentralen Ergebnisse werden im Folgenden ausgeführt. Dabei wird auf folgende Punkte eingegangen:

- Definition und Beschreibung von Schadensereignissen
- Systematik und Darstellung der Schadenskomponenten
- Festlegung von Kostenfaktoren der Intervalle
- Ergebnisse der Abschätzung volkswirtschaftlicher Schäden
- Schäden durch batteriebezogene Brandereignisse
- Potenzielle Untererfassung der Schäden durch nicht in der Umfrage abgedeckte Brände

6.1.1 Definition und Beschreibung von Schadensereignissen

Anknüpfend an die Ausführungen in Kapitel 2 ist zwischen unterschiedlichen Ereignistypen zu unterscheiden – Ereignis, (gefährliches) Hotspot-Ereignis, Brand und Schadensereignis. Für den Zeitraum 2021 bis 2025 wurden von allen 181 Rückläufern 10.546 gefährliche Hotspot-Ereignisse und 6.760 Brände angegeben (vgl. Abbildung 2). Gefährliche Hotspot-Ereignisse wurden fast immer intern gelöst. Bei einem Großteil der Brände kam es zu keinen nennenswerten Schäden.

Schäden, die sich direkt auf die von den Rückläufern der Umfrage gemeldeten Fälle beziehen, werden als „erfasste Schäden“ ausgewiesen. Die Thematik einer potenziellen Untererfassung wird weiter unten diskutiert.

Auf Basis ergänzender qualitativer Beschreibungen und Informationen zu den Brandereignissen lassen sich unterschiedliche Größenordnungen dieser sowie den damit verbundenen Schäden illustrieren (Tabelle 6). Eine systematische Analyse einzelner Ereignisse erlauben die Antworten der Umfrage jedoch nicht.

Tabelle 6: Skizzierung von Brandereignissen unterschiedlicher Größenordnungen

Titel	Kurzbeschreibung	Typische Ausprägungen
Leichtes, lokal begrenztes Ereignis (0–50.000 €)	Klar abgegrenzte Einzelereignisse ohne strukturelle Auswirkungen; Brand bleibt lokal begrenzt und	Lokale Brände auf Förderbändern (z. B. durch Akkus/Fremdstoffe) mit Austausch einzelner Gurtsegmente; punktuelle Schäden an Kabeln, Sensorik und kleineren elektrischen Komponenten; kurzzeitige Betriebsunterbrechungen

⁸² Im Zuge der Datenaufbereitung wurden die Antworten auf Plausibilität geprüft und bereinigt.

	wird frühzeitig eingedämmt	(Stunden bis wenige Tage); geringe Rauchentwicklung sowie begrenzte Reinigungs- und Löschwasserschäden
Begrenzter Anlagenschaden (>50.000–200.000 €)	Technisch relevanter, räumlich begrenzter Schaden in einzelnen Funktionsbereichen der Anlage	Brände in Teilbereichen (z. B. Zerkleinerer, Pressen) ohne vollständigen Systemausfall; Austausch von Teilkomponenten (Förderstrecken, elektrische Infrastruktur); teilweise Reinigung von Hallen- und Anlagenbereichen; Betriebsunterbrechungen von mehreren Tagen bis etwa ein bis zwei Wochen
Teilerstörung zentraler Komponenten (>200.000–500.000 €)	Substanzielle Schäden in zentralen Prozessbereichen; mehrere Anlagenteile und bauliche Strukturen betroffen	Erhebliche Schäden an Zerkleinerern, Pressen sowie Steuer- und Elektrotechnik; ausgeprägte Rauch- und Rußschäden in Hallenbereichen; bauliche Reparaturen an Dach- oder Fassadenelementen; Betriebsunterbrechungen von mehreren Wochen; zusätzliche Aufwände durch Umlagerung, Zwischenlagerung und Entsorgung
Schwerer Anlagenschaden (>500.000–1.000.000 €)	Großflächige technische Ausfälle einzelner Prozesslinien inklusive baulicher Beeinträchtigungen	Ausfall kompletter Prozessstufen (z. B. Zerkleinerungslinie); Schäden an Gebäudeteilen (Dachbereiche, Bunker, Hallensegmente); umfangreiche Beeinträchtigungen durch Löschwasser und Brandrückstände; Stillstandszeiten von mehreren Wochen bis hin zu Monaten; Notbetriebsstrategien oder kurzfristige Fremdvergabe von Entsorgungsmengen
Großschaden (Anlage und Gebäude) (>1.000.000–2.500.000 €)	Schwerwiegende Ereignisse mit erheblichem Substanzverlust an Anlagentechnik und baulicher Infrastruktur	Totalschäden an Großaggregaten (z. B. Shredder, Siebanlagen); deutliche Schäden an Hallenstruktur und technischer Infrastruktur; hohe Wiederaufbau- und Entsorgungskosten (inkl. kontaminierter Materialien); mehrmonatige Produktionsausfälle; spürbare Auswirkungen auf Liefer- und Entsorgungsketten
Extremschaden / Totalschaden (>2.500.000 €)	Ereignisse mit weitreichendem Verlust wesentlicher Betriebs-, Anlagen- oder Gebäudestrukturen, bei denen ein Wiederaufbau oder die Neuerrichtung zentraler Anlagenteile erforderlich wird.	(Nahezu) Vollständiges Ausbrennen großer Hallen oder Produktionsanlagen; Zerstörung ganzer Sortier- bzw. Aufbereitungslinien inklusive Fördertechnik, Shreddern, Siebanlagen, Pressen sowie Steuer- und Elektrotechnik; Schäden an Dach, Tragwerk, Brandabschnitten und technischer Gebäudeinfrastruktur; lange Stillstände von mehreren Monaten bis hin zu mehrjährigen Wiederaufbauphasen; Notbetrieb, Umleitung von Mengen oder Fremdvergabe; hohe Zusatzkosten für Rückbau, Entsorgung kontaminierter Materialien, Wiederaufbau und Wiederinbetriebnahme.

6.1.2 Systematik und Darstellung der Schadenskomponenten

Die Erfassung der Schäden erfolgt entlang einer Schadenssystematik (Abbildung 16). Eine Beschreibung der Schadensdimensionen ist in Tabelle 7 dargestellt. Nicht alle brandbezogenen Schäden werden monetär erfasst. Dies ist insbesondere auf die begrenzte Belastbarkeit sowie die teilweise fehlende gesellschaftliche Akzeptanz der hierfür erforderlichen Parameter, insbesondere sogenannter Kostenfaktoren, zurückzuführen. Ein anderer Grund, einzelne Schadensdimensionen nicht in die Erfassung der Gesamtschadenssumme zu inkludieren ist, dass diese nicht volkswirtschaftliche Schäden im engeren Sinne darstellen.



Abbildung 16: Schadenssystematik⁸³

Tabelle 7: Übersicht und Beschreibung potenziell relevanter Schadensdimensionen

Schadenskomponente	Beschreibung	Typische Ausprägungen / Bestandteile / Effekte
Monetär erfasst		
Direkte Sachschäden an Maschinen und Anlagen	Schäden an zentralen technischen Anlagen-teilen durch Brand.	- Kabel- und Steuerungsschäden als Erstschaden - Beschädigung von Förderbändern und Sensorik - Teil- bis Totalschäden an Aggregaten
Direkte Gebäudeschäden	Schäden an Hallen und baulicher Infrastruktur durch Brandausbreitung.	- Verrußung von Innenflächen - Dach- und Fassadenschäden - Strukturelle Schäden bei Großereignissen
Kosten durch Betriebsunterbrechungen und -einschränkungen	Kosten durch Stillstand von Anlagen und Prozessen, Kosten durch reduzierte Kapazität ohne	- Stillstand einzelner Linien - mehrwöchige Ausfälle zentraler Bereiche - vollständige Betriebsunterbrechung - reduzierte Durchsatzmengen

⁸³ Quelle: Eigene Darstellung. Klassifikationsschema nach Merz et al. (2010) und Hallegatte, Przyluski (2010).

	vollständigen Stillstand	- interne Umgehungslösungen - ineffizienter Betrieb
Zusatzkosten externe Leistungserbringung	Kosten durch Auslagerung von Entsorgungsleistungen.	- Fremdvergabe von Abfallmengen - zusätzliche Transporte - Zwischenlagerung
Kosten des Feuerwehreinsatzes	Einsatzkosten der Feuerwehr und Löschmittel	- Personal, Fahrzeuge, Einsatzdauer z. B. Wasser, Schaummittel, Sonderlöschmittel
Schadensbeseitigung und Dekontamination	Kosten für Reinigung und Wiederherstellung nach Brand.	- Entsorgung von Brandrückständen - Ruß- und Löschmittelreinigung - Wiederherstellung von Sicherheitstechnik
Indirekte nachgelagerte Wertschöpfungsketteneffekte	Wertschöpfungseffekte bei Abnehmern / Verwendung des Outputs	- Engpässe bei Verwertung / Sekundärrohstoffen - Produktionsstörungen bei Abnehmern (z. B. fehlende Rezyklate) - Zusatzkosten durch alternative Beschaffung - Preis- bzw. Marktreaktionen in nachgelagerten Stufen
Nicht monetär erfasst oder keine Schadenskosten i. e. S.		
Umweltschäden	Kosten durch Umweltbelastungen infolge Brandbekämpfung.	- Löschwasserbehandlung - Ruß- und Rauchreinigung - kontaminierte Materialien
Personenschäden	Seltene gesundheitliche Auswirkungen.	- Rauchgasexposition - leichte Verletzungen - kurzfristige Ausfälle - Psychologische Folgen
Reputationsschäden	Auswirkungen auf Vertrauen von Kunden und Öffentlichkeit.	- Verunsicherung von Auftraggebern - erhöhte Prüfanforderungen - Auftragsrisiken
Versicherungsbezogene Folgekosten	Mittel- bis langfristige Effekte aus Versicherungsverträgen.	- Selbstbehalte - Prämienanpassungen - Einschränkungen im Versicherungsschutz
Zusätzliche Brandschutzmaßnahmen	Investitionskosten für technische und organisatorische Maßnahmen nach Schadensereignissen.	- Erweiterung Löschanlagen - Detektionstechnik - organisatorische Anpassungen
Indirekte vorgelagerte Wertschöpfungsketteneffekte	Marktanpassungen bei Anlieferströmen	- Umleitung von Abfallströmen zu alternativen Anlagen - Preisanpassungen bei Entsorgungskapazitäten - temporäre Überlastung einzelner Anlagen/Regionen - ineffiziente Logistik (längere Transportwege)

<i>Opportunitätskosten der Extrainvestitionen</i>	<i>Opportunitätskosten infolge von Investitionen und Versicherungsprämien, die anstelle alternativer, potenziell renditeträchtiger Verwendungen eingesetzt werden.</i>	• <i>entgangene Renditen durch gebundene Finanzmittel (z. B. im Vergleich zu alternativen Unternehmensinvestitionen)</i> • <i>Verschiebung oder Verzicht auf produktive Investitionen</i> • <i>reduzierte Investitionsspielräume in Kernbereichen</i> • <i>Kapitalbindung ohne unmittelbaren Outputbezug</i>
---	--	---

6.1.3 Festlegung von Kostenfaktoren der Intervalle

Die Ermittlung der Schadenssummen in den berücksichtigten Schadensdimensionen wird im Folgenden dargelegt:

Direkte Sachschäden an Gebäuden und Maschinen sowie indirekte Kosten durch Betriebsunterbrechungen:

Ausgangspunkt ist die Abfrage direkter Schäden in den oben genannten Schadensdimensionen. Diese erfolgte anhand vordefinierter Kostenintervalle. Als Schadenswerte wurden jeweils die Intervallmitten angesetzt (25.000 €, 125.000 €, 350.000 €, 750.000 € und 1,75 Mio. €). Für das offene Intervall oberhalb von 2,5 Mio. € wurden Annahmen für Maschinen-, Gebäude- und Betriebsunterbrechungsschäden getroffen, die in zwei Szenarien abgebildet werden. Ein konservatives Szenario setzt die Kosten pauschal bei 2,5 Mio. € an. Ergänzend wird ein Szenario mit differenzierten Kostenansätzen von 7,5 Mio. € (Maschinen), 6 Mio. € (Gebäude) und 8 Mio. € (Betriebsunterbrechung) berücksichtigt. Die Verwendung von zwei Szenarien mit unterschiedlichen Kostenannahmen trägt dem Umstand Rechnung, dass wenige große Schadenfälle die Gesamtschadenssumme und daraus abgeleitete Durchschnittswerte maßgeblich beeinflussen.

Die gesetzten Werte orientieren sich an in Medien dokumentierten Brandereignissen, die in den vergangenen Jahren regelmäßig Schäden im mehrstelligen Millionenbereich verursacht haben. So liegen die Schadenszahlen mehrerer dokumentierter Fälle knapp oberhalb der Schwelle von 2,5 Mio. € – etwa der Brand eines Elektroaltgeräte-Recyclers in Wiedergeltingen (~3,5 Mio. €) oder eines Papierrecyclers in Gattendorf (~4 Mio. €) –, während andere ein Vielfaches erreichen, etwa der Brand einer Kunststoffaufbereitung in Magdeburg (~8 Mio. €) oder einer LVP-Sortieranlage in Marl (zweistelliger Millionenbereich). Am oberen Ende verdeutlicht der Großbrand der Bremer Sortieranlage die mögliche Dimension: Bei einem genannten Anlagen-Neuwert von rund 40 Mio. € und einem Wiederaufbau im hohen zweistelligen Millionenbereich über nahezu drei Jahre Betriebsunterbrechung zeigt der Fall, dass ein einzelnes Ereignis Schäden weit jenseits der Klassengrenze verursachen kann. Wenngleich die Schadenszahlen der genannten Einzelfälle in der Regel nicht das Ergebnis umfassender, detaillierter Schadensanalysen sind, sondern tendenziell ad-hoc Abschätzungen, signalisieren sie jedoch die Spannweite und Plausibilität der Schadenspotenziale – auch deutlich oberhalb der Schwelle von 2,5 Mio. €. Die definierten Kostenfaktoren sind vor diesem Hintergrund als Ableitung aus einer am oberen Ende stark rechtsschiefen Schadensverteilung zu verstehen, bei der wenige Großschäden einen überproportionalen Einfluss auf die durchschnittliche Schadenshöhe haben. Die gewählten Kostenfaktoren stellen Näherungswerte dar, die auf den Umfrageangaben, dokumentierten Schadensfällen sowie ergänzenden Plausibilisierungen beruhen.

In den Umfrageantworten wurden mehr als zehnmal so viele gefährliche Hotspot-Ereignisse angegeben, wie Kosteneinschätzungen zu Schäden abgegeben wurden. Einerseits führt nicht jedes Hotspot-Ereignis zu (nennenswerten) Schäden. Andererseits werden kleinere Schäden gegebenenfalls nicht dokumentiert oder nicht als berichtenswert eingestuft. Dabei können sich solche Mangelfolgeschäden über die Zeit kumulieren und einen kritischen Umfang erreichen. In der Berechnung wird unterstellt, dass die für einen Zeitraum von fünf Jahren angegebenen Sachschäden an Maschinen implizit auch Mangelfolgeschäden enthalten, die aus der hohen Anzahl an Hotspot-Ereignissen resultieren.

Schäden durch Kosten der Schadensbeseitigung und Dekontamination:

Kosten der Schadensbeseitigung nach Löschung des Brandes resultieren insbesondere aus dem Rückbau und der fachgerechten Entsorgung von Brandschutt, der aufgrund von Kontamination häufig als Sonderabfall behandelt werden muss, sowie aus der umfassenden Reinigung und Dekontamination von Anlagen, Gebäudestrukturen und Infrastrukturen. Hinzu kommen Kosten für Abbruch- und Sicherungsmaßnahmen sowie für Gutachten, behördliche Anforderungen und die organisatorische Koordination der Sanierung. Gerade in Entsorgungs- und Recyclinganlagen sind diese Positionen besonders kostenintensiv, da komplexe Materialgemische, Schadstoffbelastungen und strenge umweltrechtliche Vorgaben zusammentreffen.

Die Umfrage umfasst eine differenzierte Frage zur Abschätzung der Schadenshöhe: „Wie hoch waren die Kosten der Schadensbeseitigung nach Löschung des Brandes?“ Die Angaben erfolgten für Kostenintervalle⁸⁴, für die in der Rechnung jeweils die Mitte angesetzt wurde. Für das offene Intervall wurde die untere Grenze von 2 Mio. € angesetzt.

Schäden durch Zusatzkosten für die Beauftragung Dritter

Die erfassten Zusatzkosten für die Inanspruchnahme externer Leistungen sind von möglichen Folgeeffekten entlang der nachgelagerten Wertschöpfungsketten zu unterscheiden. Sie entstehen unmittelbar auf Ebene des betroffenen Entsorgungsunternehmens als Reaktion auf ausgefallene oder eingeschränkte eigene Kapazitäten und dienen der Aufrechterhaltung der vertraglich geschuldeten Leistungserbringung. Ein Teil dieser Kosten ist mit einer Verlagerung von Leistungen auf externe Anbieter verbunden, während zusätzliche Transporte, Zwischenlagerungen und vergleichbare Maßnahmen mit einem real erhöhten Ressourceneinsatz einhergehen.

Die Umfrage umfasst eine differenzierte Frage zur Abschätzung der Schadenshöhe der Zusatzkosten: „Wie hoch waren die zusätzlichen Kosten, die Ihrem Unternehmen infolge von Brandschäden oder brandbedingten Betriebsstörungen durch die Beauftragung externer Dritter (z. B. Subunternehmen, Fremdanlagen, Notfalllogistik) zur Erfüllung bestehender Verträge entstanden sind?“ Die Angaben erfolgten für Kostenintervalle⁸⁵, für die in der Rechnung jeweils die Mitte angesetzt wurde. Für das offene Intervall wurde die untere Grenze von 2 Mio. € angesetzt.

⁸⁴ 0 - 25.000; 25.000 - 100.000 €; > 100.000 - 200.000 €; > 200.000 - 500.000 €; > 500.000 - 1.000.000 €; > 1.000.000 - 2.000.000 €; > 2.000.000 €

⁸⁵ 0 - 25.000; 25.000 - 100.000 €; > 100.000 - 200.000 €; > 200.000 - 500.000 €; > 500.000 - 1.000.000 €; > 1.000.000 - 2.000.000 €; > 2.000.000 €

Schäden durch Kosten eines nicht betrieblichen Feuerwehreinsatzes

Grundlage der Schätzung sind eine Recherche zu den Kosten von Feuerwehreinsätzen bei Bränden sowie die in der Umfrage erhobenen Angaben zur Zahl der Einsätze örtlicher Berufs- und Freiwilliger Feuerwehren. Nach den Umfrageergebnissen kam es in den Jahren 2021 bis 2025 zu insgesamt mehr als 470 Einsätzen. Für die überschlägige Bewertung wird ein pauschaler Kostensatz von 15.000 € je Einsatz angesetzt.

Dieser Wert stellt keinen empirisch beobachteten Mittelwert aller Einsätze dar, sondern einen konservativen Standardwert, der auf einer typisierten Kostenbetrachtung beruht. Zur Plausibilisierung kann auf die vereinfachte Kostenformel „Kosten = Löschzüge × ca. 1.150 €/h × Dauer“ zurückgegriffen werden. Ein Betrag von 15.000 € entspricht danach beispielsweise einem Einsatz von zwei Löschzügen über rund 6,5 Stunden oder drei Löschzügen über rund 4,3 Stunden.

Methodisch ist zu berücksichtigen, dass die Verteilung der Einsatzkosten voraussichtlich rechtsschief ist: Einer größeren Zahl kleinerer und mittlerer Einsätze stehen einzelne sehr kostenintensive Großereignisse gegenüber. Der arithmetische Mittelwert wird in solchen Verteilungen durch wenige große Schadenslagen überproportional beeinflusst. Der angesetzte Kostensatz ist daher als pauschaler Näherungswert zu verstehen, der oberhalb typischer mittlerer Brandereignisse liegt, ohne die Kosten schwerer Großbrände generell zu unterstellen.

Die Annahme eines insgesamt begrenzten Anteils sehr kostenintensiver Großbrände erscheint mit Blick auf die Relation zwischen der in der Umfrage berichteten Gesamteinsatzzahl und der deutlich geringeren Zahl medial/öffentlich bekannt gewordener Großereignisse plausibel. Der angesetzte Kostensatz bezieht sich ausschließlich auf die Kosten des Feuerwehreinsatzes; weitere Aufwendungen anderer Behörden oder Dritter sind nicht enthalten.

Indirekte Folgekosten in der nachgelagerten Wertschöpfungskette

Informationen zu Folgekosten nach Brandereignissen in nachgelagerten Wertschöpfungsketten liegen aus der Umfrage nicht direkt vor. Zur überschlägigen Abschätzung wird daher ein gestufter Multiplikatoransatz verwendet. Der Multiplikator beschreibt das Verhältnis der indirekten Schäden in nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zu den direkten Sachschäden des betroffenen Betriebs.

Da belastbare, ereignisspezifische Werte für die Entsorgungs- und Recyclingbranche in Deutschland bislang nicht vorliegen, orientiert sich der Ansatz an Literaturbefunden. Diese zeigen, dass indirekte Schäden maßgeblich von der Schwere des Ereignisses, der Dauer des Ausfalls sowie der Kritikalität der betroffenen Anlage abhängen.

Dieser Logik folgend werden die Multiplikatoren nach Schadensgrößenklassen differenziert. Größere direkte Schäden werden dabei als Indikator für schwerere Betriebsstörungen, längere Wiederanlaufzeiten und potenziell stärkere Auswirkungen auf nachgelagerte Stoff- und Lieferketten interpretiert. Kleinere Schäden werden demgegenüber zurückhaltender bewertet, da sie häufiger lokal begrenzt bleiben und eher durch Ausweichkapazitäten oder Umleitungen kompensiert werden können.

Belastbare Referenzwerte für Folgeeffekte in der nachgelagerten Wertschöpfungskette liegen lediglich für den Abschnitt E der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) vor und umfassen damit neben der Abteilung 38 „Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung“ auch die Abteilungen Wasserversorgung, Abwasserentsorgung

sowie die Beseitigung von Umweltverschmutzung.⁸⁶ Für den Abschnitt E insgesamt zeigen Modellrechnungen Multiplikatoren von 0,12 bis 0,17.

Die Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft stellt innerhalb dieses Aggregats die Branche mit den ausgeprägtesten stofflichen Verflechtungen dar. Die Literaturwerte werden daher nicht als punktgenaue Schätzung, sondern als Orientierungsrahmen verstanden. Für kleinere und mittlere Schadensereignisse wird mit Multiplikatoren unterhalb beziehungsweise im Bereich der Literaturwerte gerechnet. Für Großschäden werden darüber hinaus höhere Multiplikatoren angesetzt, da mit zunehmender Schadenshöhe typischerweise längere Betriebsunterbrechungen, Kapazitätsengpässe und stärkere Auswirkungen auf Stoffströme und Entsorgungslogistik verbunden sind. Der Minimalwert von 0 unterstellt, dass durch Brände mit geringeren Sachschäden keine wirtschaftlich relevanten Folgekosten in nachgelagerten Wertschöpfungsstufen entstehen. Der Maximalwert von 0,5 dient dabei als tendenziell konservative Obergrenze für wenige Großereignisse mit potenziell schwerwiegenden Auswirkungen.

Konkret werden in der Rechnung die folgenden Multiplikatoren in Abhängigkeit vom Kostenintervall der Sachschäden zugrunde gelegt:

- < 200.000 €: 0,0
- 200.000–500.000 €: 0,1
- 500.000–1 Mio. €: 0,2
- 1,0–2,5 Mio. €: 0,3
- > 2,5 Mio. €: 0,5

Der Multiplikator wird auf die Summe der direkten Sachschäden an Gebäuden und Maschinen angewendet und zu den direkten Sachschäden addiert.

Die höheren Multiplikatoren für große Schadensereignisse spiegeln die Annahme wider, dass mit zunehmender Schadenshöhe auch die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß nachgelagerter Wertschöpfungseffekte steigen. Als Folge der unterschiedlichen Kostenpunkte zur Ermittlung der direkten Sachschäden unterscheidet sich auch das Verhältnis von direkten Schäden und indirekten Folgekosten.

Ausführungen zu ausgewählten ergänzenden Schadensdimensionen, die nicht in der Schadenssumme inkludiert sind:

Die Umfrage umfasste auch eine Abfrage zu Umweltschäden. Die Abschätzung von Schäden an der Umwelt sowie insbesondere deren Monetarisierung ist jedoch mit hohen Unsicherheiten verbunden. Vor diesem Hintergrund werden sie nicht in der Schadenssumme berücksichtigt. Es wurden etwa 20 Fälle von Umweltschäden angegeben. Die Schadenseinschätzungen verteilen sich auf die beiden niedrigsten Intervalle von unter 50.000 € und bis zu 200.000 €.

Investitionen in Brandschutzmaßnahmen stellen keine unmittelbaren volkswirtschaftlichen Schäden dar, sondern sind als Präventions- bzw. Anpassungsinvestitionen einzuordnen. Gleichwohl ist zu berücksichtigen, dass die dafür eingesetzten Ressourcen alternativen Verwendungen hätten zugeführt werden können, die eine entsprechende Rendite erzielt hätten. Die dadurch entgangenen Erträge sind als Opportunitätskosten zu interpretieren. Analog gilt dies auch für im Schadensfall erforderliche Ersatzinvestitionen. Da

⁸⁶ Sieg et al. (2019).

Opportunitätskosten keine realisierten Ressourcenverluste, sondern entgangene Erträge aus alternativen Verwendungsmöglichkeiten abbilden, werden sie nicht als Schäden im engeren Sinne definiert und gehen entsprechend nicht in die aggregierte Schadenssumme ein.

Auch versicherungsbezogene Folgekosten sind nicht in der ausgewiesenen Schadenssumme enthalten. Versicherungsleistungen stellen überwiegend Umverteilungen zwischen Akteuren dar und erhöhen daher nicht die gesamtwirtschaftliche Schadenssumme vergangener Ereignisse. Versicherungsprämien fungieren vielmehr als Indikator für erwartete künftige Schäden. Gleichwohl ist hervorzuheben, dass steigende Prämien, höhere Selbstbehalte sowie eine eingeschränkte Versicherbarkeit – einschließlich verschärfter Anforderungen an Brandschutzmaßnahmen – reale finanzielle Ressourcen binden und damit Opportunitätskosten verursachen.

Vorgelagerte Effekte, also Auswirkungen auf Anlieferströme und vorgelagerte Marktstufen, werden in der vorliegenden Schadensanalyse nicht quantifiziert. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Sammlung und der Abtransport von Abfällen sowie Recyclingrohstoffen in vielen Fällen auch im Störfall weitergeführt werden. Kann eine Anlage infolge eines Brandereignisses zeitweise keine Abfälle annehmen oder verarbeiten, können die entsprechenden Stoffströme häufig auf alternative Anlagen umgeleitet, zwischengelagert oder zeitlich verzögert verarbeitet werden. In der Tendenz handelt es sich damit eher um Umlenkungs- und Anpassungsreaktionen innerhalb bestehender Entsorgungs- und Logistikstrukturen als um einen vollständigen Ausfall der dahinterstehenden Wertschöpfung.

Die daraus resultierenden Effekte können zusätzliche Kosten verursachen, etwa durch längere Transportwege, Zwischenlagerung oder organisatorische Mehraufwände. Teilweise sind diese Effekte bereits in der Schadensdimension „Zusatzkosten durch Beauftragung Dritter“ abgebildet. Ob und in welchem Umfang darüber hinaus gesamtwirtschaftliche Schäden entstehen, lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten jedoch nicht belastbar quantifizieren. In Einzelfällen, insbesondere bei hoher regionaler Konzentration oder spezifischen Abfallfraktionen, können vorgelagerte Effekte über reine Umlenkung hinausgehen.

6.1.4 Ergebnisse der Abschätzung volkswirtschaftlicher Schäden

Die in der Umfrage erfassten Brandereignisse verursachen erhebliche volkswirtschaftliche Schäden. Je nach Annahme summieren sich die erfassten Schäden auf rund **250 bis knapp 400 Millionen Euro** (Abbildung 17). Die Wahl der Kostenfaktoren hat einen hohen Einfluss auf die Schadenszahl insgesamt sowie in einzelnen Schadensdimensionen. Die Spannweite von rund 141 Mio. € entsteht dabei nahezu vollständig aus den unterschiedlichen Annahmen zur nach oben offenen Schadensklasse über 2,5 Mio. € (verstärkt durch die indirekten Folgekosten). Die übrigen Schadensdimensionen sind davon nicht berührt. Die ausgewiesenen Schadenssummen bilden damit die Spannweite der auf Basis der Umfrage ermittelten volkswirtschaftlichen Schäden ab. Alle nachfolgend genannten Einzelwerte sind gerundet, die Summen wurden aus den ungerundeten Werten gebildet und können daher geringfügig von der Summe der gerundeten Einzelwerte abweichen.

Erfasste Brandschäden nach Schadensdimensionen und Berechnungsannahmen

Die Differenz von **+141 Mio € (55 %)** entsteht durch unterschiedliche Annahmen zur offenen Schadensklasse „> 2,5 Mio €“.

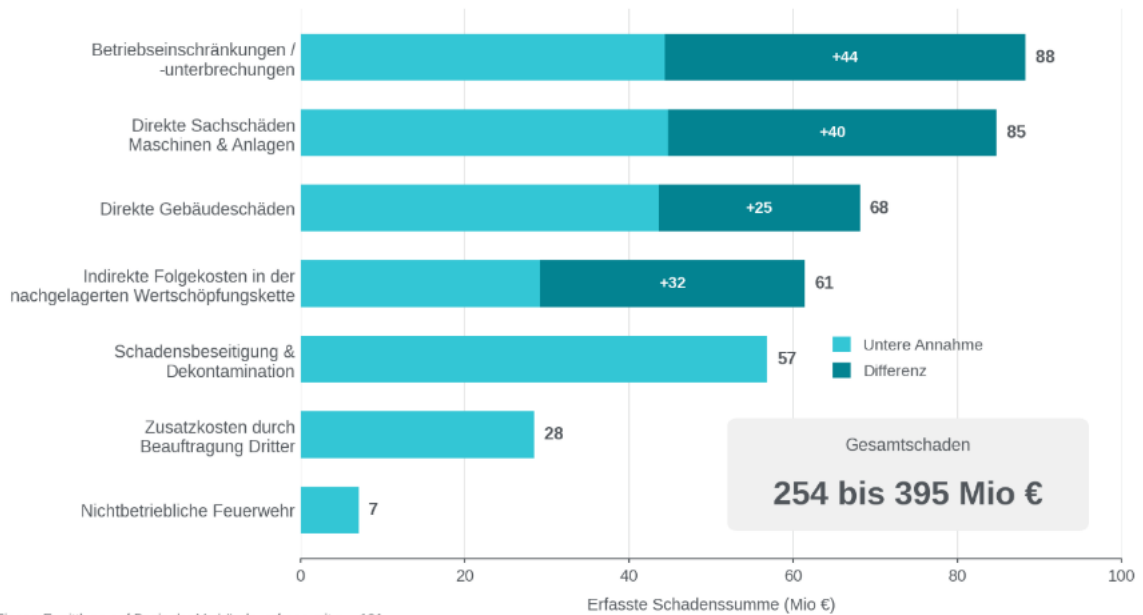


Abbildung 17: Übersicht über erfasste Schäden

Die erfassten direkten Schäden an Maschinen und Gebäuden summieren sich je nach Kostenfaktoren auf 88 Mio. € bis 152 Mio. €. Die Schäden verteilen sich auf direkte Schäden an Maschinen und Anlagen (45 Mio. € bis 85 Mio. €) und Gebäude (43 Mio. € bis 68 Mio. €).

Weitere erfasste direkte volkswirtschaftliche Kosten belaufen sich auf gut 92 Mio. €. Diese verteilen sich auf Zusatzkosten für die Beauftragung externer Dritter von über 28 Mio. € sowie Kosten für die Schadensbeseitigung und Dekontamination von fast 57 Mio. €. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind darüber hinaus Einsatzkosten der nicht betrieblichen Feuerwehr zu berücksichtigen. Sie belaufen sich auf schätzungsweise 7 Mio. €.

Eine wichtige Schadensdimension sind die indirekten Kosten durch Betriebsunterbrechung, die sich je nach Kostenfaktor auf 44 Mio. € bis 88 Mio. € belaufen. Dazu kommen schätzungsweise 29 Mio. € bis 61 Mio. € indirekte Folgekosten in der nachgelagerten Wertschöpfungskette.

Unabhängig von den getroffenen Annahmen zeigt sich, dass Brandereignisse in der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft erhebliche volkswirtschaftliche Schäden verursachen.

6.1.5 Schäden durch batteriebezogene Brandereignisse

Nicht alle Brandereignisse haben eine batteriebezogene Ursache. Gleichwohl wurden in den vorangegangenen Kapiteln Lithium-Ionen-Batterien als dominante gesicherte bzw. wahrscheinliche Brandursache identifiziert. Die erhobenen Schadensangaben lassen sich jedoch keiner konkreten Brandursache zuordnen. Für eine Annäherung an das batteriebezogene Brandrisiko kann die Schadensermittlung auf die Teilstichprobe von 98 Rückläufern eingegrenzt werden, die als häufigste wahrscheinliche Brandursache „Lithium-Ionen-

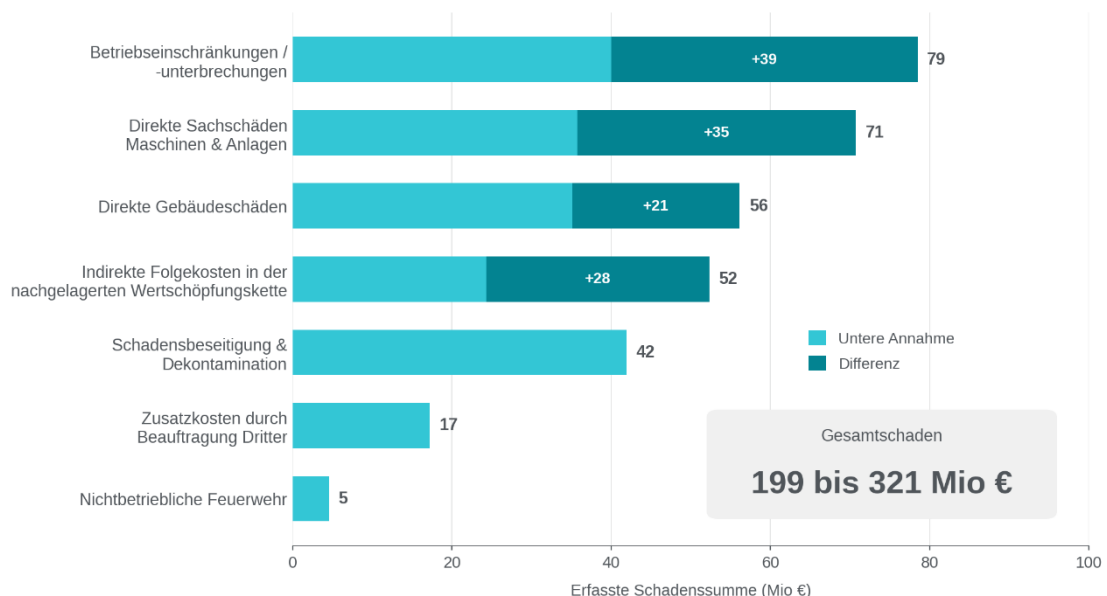
Batterien“ angegeben haben.⁸⁷ Die auf diesen Angaben basierende Schadensanalyse liefert eine belastbare Abschätzung der wirtschaftlichen Bedeutung batteriebezogener Brandereignisse.

Je nach Annahme summieren sich die erfassten Schäden für batteriebezogene Brandereignisse auf rund **200 bis 320 Millionen Euro** (Abbildung 18). Damit entfallen auf Brandereignisse mit Lithium-Ionen-Batterien als wahrscheinliche Brandursache **rund 80 Prozent der erfassten Brandschäden**.

Der Vergleich beider Schadensübersichten zeigt ein weitgehend unverändertes Schadensprofil. In beiden Stichproben dominieren Betriebsunterbrechungen, direkte Sachschäden an Maschinen und Anlagen sowie Gebäudeschäden. Die größten Rückgänge zeigen sich dagegen bei den Kosten für Schadensbeseitigung und Dekontamination sowie bei Zusatzkosten für die Beauftragung Dritter.

Erfasste batteriebezogene Brandschäden nach Schadensdimensionen und Berechnungsannahmen

Die Differenz von **+123 Mio € (62 %)** entsteht durch unterschiedliche Annahmen zur offenen Schadensklasse „> 2,5 Mio €“.



Quelle: Eigene Ermittlung auf Basis der Verbändenumfrage mit n = 98.

Offene Klasse „> 2,5 Mio €“: in der höheren Annahme statt 2,5 angesetzt mit 7,5 (Maschinen), 6,0 (Gebäude) und 8,0 Mio € (Betriebsunterbrechung).

Abbildung 18: Übersicht über erfasste Schäden mit Bezug zu Lithium-Ionen-Batterien als wahrscheinlichste Brandursache

6.1.6 Potenzielle Untererfassung der Schäden durch nicht in der Umfrage abgedeckte Brände

Die vorliegende Schadenerfassung basiert auf 181 Rückläufen. Gemessen an der Gesamtzahl der Anlagen sowie der installierten Jahreskapazität bildet diese Stichprobe lediglich einen begrenzten Teil der Entsorgungs- und Recyclingbranche in Deutschland ab. Entsprechend bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der Frage, in welchem Umfang die tatsächlich

⁸⁷ Bei der überwiegenden Mehrheit der berücksichtigten Brandereignisse wurden Lithium-Ionen-Batterien als alleinige Brandursache genannt. In wenigen Fällen wurden Lithium-Ionen-Batterien gemeinsam mit einer weiteren möglichen Brandursache angegeben.

entstandenen Brandschäden durch die Umfrage erfasst wurden. Für eine Hochrechnung potenziell nicht erfasster Schäden ist insbesondere die Frage der Repräsentativität entscheidend.

Die Umfrage beruht auf freiwilliger Teilnahme und nicht auf einer zufälligen Stichprobe. Daher können Verzerrungen in der Zusammensetzung der teilnehmenden Unternehmen nicht ausgeschlossen werden. Die Richtung und das Ausmaß einer möglichen Über- oder Untererfassung bestimmter Betroffenheitsgrade lassen sich auf Grundlage der vorliegenden Daten jedoch nicht belastbar bestimmen. Gleichzeitig zeigt sich eine starke Konzentration der Schäden auf wenige Rückläufer: 20 der 181 Teilnehmenden berichten für den Zeitraum 2021 bis 2025 direkte Sachschäden von jeweils über 1 Mio. €. Auf diese Gruppe entfallen rund 70–80 % der ermittelten Gesamtschäden.

Die freiwillige Teilnahme, die Zusammensetzung der Stichprobe nach Anlagenarten (vgl. Tabelle 1) und die Konzentration der Schäden auf wenige Rückläufer verdeutlichen, dass eine pauschale Hochrechnung auf Basis eines einheitlichen Durchschnittswertes auf die Grundgesamtheit nicht sachgerecht ist. Gleichwohl kann es informativ sein, die mögliche Größenordnung nicht erfasster Schäden näherungsweise zu veranschaulichen.

Ein detaillierterer Blick auf die Verteilung der Anlagentypen zeigt, dass die Gruppe der Sortier- und Abfallbehandlungsanlagen sowohl einen erheblichen Anteil der Rückläufer als auch einen besonders hohen Anteil an den Gesamtschäden vereint. Hierzu zählen insbesondere Anlagen für Altpapier, Gewerbeabfälle, Restabfall, Sperrmüll sowie Leichtverpackungen. Auf diese Gruppe entfallen mehr als 70 % der bislang erfassten Schäden einschließlich nahezu aller erfassten Großschadensereignisse.

Setzt man die Zahl der Rückläufer ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Anlagen dieser Gruppe in Deutschland, ergibt sich ein Faktor von etwa 5. Dies bedeutet, dass der Zahl der erfassten Anlagen eine etwa fünfmal so große Zahl von Anlagen in der Grundgesamtheit gegenübersteht. Daraus ergibt sich eine potenziell erhebliche Untererfassung von Schäden.

Zur Veranschaulichung kann ein konservatives Szenario herangezogen werden: Für die besonders schadenrelevante Gruppe der Sortier- und Abfallbehandlungsanlagen stehen jeder erfassten Anlage rechnerisch etwa vier nicht erfasste Anlagen gegenüber. Unter der Annahme, dass alle Großschadensereignisse bereits durch die Umfrage erfasst wurden und die nicht erfassten Anlagen im Durchschnitt lediglich 10 % der Schadenshöhe der erfassten Anlagen erreichen, ergäbe sich für die nicht erfassten Anlagen ein zusätzliches Schadensvolumen in der Größenordnung von rund 30 % der bislang ermittelten Gesamtschäden ($70 \% \text{ Schadensanteil der betrachteten Anlagengruppe} \times 4 \text{ zusätzliche Anlagen je erfasster Anlage} \times 10 \% \text{ durchschnittliche Schadenshöhe}$).

Die tatsächlichen volkswirtschaftlichen Schäden dürften damit oberhalb der in der Umfrage unmittelbar erfassten Schäden liegen. Umfang und Größenordnung dieses Effekts lassen sich auf Basis der vorliegenden Daten jedoch nicht belastbar bestimmen.

6.2 Ausblick

Die vorangestellten Kapitel zur Marktentwicklung und Mengenentwicklung sowie zur Entsorgungsrealität und Fehlwurfproblematik zeigen, dass in den kommenden Jahren sowohl die Mengen an Altbatterien als auch das Aufkommen fehlentsorgter Batterien voraussichtlich weiter relevant bleiben und tendenziell zunehmen werden. Der Markt für Lithium-Ionen-Batterien ist seit Jahren durch eine hohe Dynamik geprägt. Für Deutschland wurde für den

Batteriemarkt im Zeitraum von 2019 bis 2023 ein starkes Wachstum ausgewiesen, das maßgeblich durch Lithium-Ionen-Batterien getragen wurde. Das Marktvolumen von Lithium-Ionen-Batterien hat sich in diesem Zeitraum deutlich erhöht. Zugleich zeigen die vorliegenden Ausführungen, dass weiterhin erhebliche Batteriemengen nicht über die regulären Sammelsysteme erfasst werden und damit im Umlauf verbleiben oder außerhalb der vorgesehenen Entsorgungswege anfallen können.

Für die Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft ist dabei nicht allein die aktuelle Inverkehrbringung entscheidend, sondern insbesondere der zeitverzögerte Zufluss in den Abfallstrom. Aufgrund typischer Nutzungsdauern von wenigen Jahren bei Smartphones, E-Zigaretten und Powerbanks sowie mehreren Jahren bei Werkzeug- und E-Bike-Akkus wird ein erheblicher Teil des heutigen Marktwachstums erst in den kommenden Jahren vollständig entsorgungsrelevant. Damit ist bis zum Jahr 2030 von einem weiter steigenden Aufkommen brandrelevanter Lithium-Ionen-Batterien im Abfallstrom auszugehen. Diese Entwicklung entsteht weitgehend vorgelagert zur eigentlichen Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft und wird wesentlich durch Produktmärkte, Konsumverhalten, Produktdesign, Rücknahmestrukturen und Sammelsysteme geprägt.

Hinzu kommt, dass sich die Zusammensetzung des Batteriestroms verändert. Während aktuell insbesondere kleinere Gerätebatterien und elektronische Konsumprodukte relevant sind, werden künftig zunehmend größere und energiereichere Batteriesysteme das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Dadurch nimmt nicht nur die absolute Menge an Lithium-Ionen-Batterien im Abfallstrom zu, sondern potenziell auch die durchschnittliche Energiedichte der eingetragenen Batterien. Die Auswirkungen dieser veränderten Zusammensetzung auf die zukünftigen Fehlwurfquoten lassen sich derzeit jedoch nicht belastbar abschätzen. Während größere Batteriesysteme teilweise besser sichtbar sind und häufiger über spezifische Rücknahmestrukturen verfügen, werden zugleich weiterhin neue batteriehaltige Konsumprodukte mit hoher Stückzahl und potenziell hoher Fehlwurfanfälligkeit in Verkehr gebracht.

Die bisherigen empirischen Befunde verdeutlichen, dass diese Entwicklungen bereits heute mit einer zunehmenden sicherheitsrelevanten Belastung der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft einhergehen. In der Verbändeumfrage stieg die Zahl der gemeldeten gefährlichen Hotspot-Ereignisse von 1.202 im Jahr 2021 auf 2.992 im Jahr 2025. Die Zahl der Brände erhöhte sich im selben Zeitraum von 729 auf 2.028. Damit haben sich beide Ereignisarten innerhalb des Betrachtungszeitraums mehr als verdoppelt. Zugleich werden Lithium-Ionen-Akkus in den Umfrageergebnissen als dominante gesicherte beziehungsweise wahrscheinliche Brandursache genannt.

Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend mögliche Entwicklungspfade bis zum Jahr 2030 anhand qualitativer Szenarien betrachtet. Ziel ist nicht die Erstellung einer belastbaren Prognose zukünftiger Brand- und Schadensereignisse. Vielmehr dienen die Szenarien dazu, plausible Entwicklungspfade zu beschreiben und die zugrunde liegenden Wirkungszusammenhänge zwischen Mengenentwicklung, Fehlwurfgeschehen, Prävention, Brandentstehung und Schadensausmaß transparent darzustellen.

Zur Veranschaulichung wird jedes Szenario mit einer illustrativen Größenordnung für die Entwicklung von Brand- und Schadensereignissen bis zum Jahr 2030 hinterlegt. Diese Größenordnungen stellen keine modellbasierten Vorhersagen dar. Sie sind vielmehr als Szenarioanker zu verstehen: Sie beschreiben, welche Entwicklung von Rahmenbedingungen,

Fehlwurfmengen und Schutzmaßnahmen zu einer entsprechenden Veränderung des Brand- und Schadensgeschehens führen könnte. Im Vordergrund steht damit nicht die punktgenaue Quantifizierung zukünftiger Schäden, sondern die qualitative Einordnung der Bedingungen, unter denen sich Risiken verschärfen, stabilisieren oder reduzieren können.

Im Mittelpunkt stehen drei miteinander verknüpfte Einflussfaktoren:

- Der erste Einflussfaktor betrifft die Entwicklung der Mengen lithiumhaltiger Batterien im Abfallstrom.
- Der zweite Einflussfaktor betrifft die Fehlwurfmengen, die durch Sammelsysteme, Verbraucherinformation, Produktgestaltung, organisatorische Maßnahmen und regulatorische Rahmenbedingungen beeinflusst werden. Kurz: Die systemweite Präventionsverantwortung.
- Der dritte Einflussfaktor beschreibt die Entstehung von Brand- und Schadensereignissen. Diese hängt nicht allein von der Anzahl fehlentsorgter Batterien ab, sondern auch davon, ob kritische Situationen frühzeitig erkannt, beherrscht und in ihrer Ausbreitung begrenzt werden können.

Allen Szenarien gemeinsam ist die Annahme, dass die absoluten Mengen an Lithium-Ionen-Batterien im Abfallstrom bis 2030 weiter zunehmen werden. Die Szenarien unterscheiden sich daher nicht hinsichtlich der grundsätzlichen Mengenentwicklung, sondern hinsichtlich der Frage, in welchem Umfang Fehlwürfe reduziert, Risiken entlang der Wertschöpfungs- und Entsorgungskette begrenzt und verbleibende Schadensereignisse beherrschbar gemacht werden können.

Einflussfaktor	Risiko-szenario	Referenz-szenario	Stabilisierungs-szenario	Systemisches Resilienz-szenario
Batteriemengen im Abfallstrom	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Fehlwürfe	●●●●●	●●●○○	●●○○○	●○○○○
Systemweite Präventionsverantwortung	gering	moderat	hoch	sehr hoch
Technische & organisatorische Prävention	moderat	hoch	sehr hoch	umfassend
Unterstellter Schadensanker	+20–40 %	+5–15 %	0 bis –10 %	–20 bis –40 %

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 19: Potenzielle Szenarien batteriebedingter Brand- und Schadensereignisse bis 2030

6.2.1 Risikoszenario

Illustrative Größenordnung: Deutlicher Anstieg der Brand- und Schadensereignisse (etwa +20 bis +40 %)

Das Risikoszenario beschreibt einen Entwicklungspfad, bei dem die Zahl der Brand- und Schadensereignisse gegenüber dem heutigen Niveau deutlich zunimmt. Ein solcher Verlauf erscheint plausibel, wenn mehrere ungünstige Entwicklungen gleichzeitig eintreten.

Erstens setzt sich das Wachstum lithiumhaltiger Batterien in zentralen Produktmärkten fort und führt zeitverzögert zu einem steigenden Batterieaufkommen im Abfallstrom. Zweitens gelingt es nicht, die Fehlwurfproblematik substanziell zu reduzieren. Fehlwurfquoten bleiben auf hohem Niveau oder steigen leicht an, etwa weil batteriehaltige Produkte weiterhin nicht hinreichend erkannt, nicht ordnungsgemäß zurückgegeben oder über ungeeignete Abfallströme entsorgt werden. Drittens entfalten organisatorische, technische und regulatorische Maßnahmen keine ausreichende Wirkung, um den Mengeneffekt zu kompensieren.

In diesem Szenario wird die Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft mit einer wachsenden Zahl potenzieller Zündquellen konfrontiert, deren Entstehung sie nur begrenzt beeinflussen kann. Steigende Batteriemengen, eine zunehmende Heterogenität der Stoffströme und ein höherer Anteil energiereicher Batteriesysteme erhöhen das Brandrisiko. Werden diese Entwicklungen nicht durch wirksame Maßnahmen in Produktverantwortung, Sammlung, Rücknahme, Verbrauchersensibilisierung und technischer Risikobegrenzung flankiert, ist von einem deutlichen Anstieg der Brand- und Schadensereignisse auszugehen.

6.2.2 Referenzszenario

Illustrative Größenordnung: Moderater weiterer Anstieg der Brand- und Schadensereignisse (etwa +5 bis +15 %)

Das Referenzszenario bildet einen Entwicklungspfad ab, der weitgehend auf der Fortschreibung heute beobachtbarer Entwicklungen beruht. Bestehende und bereits angestoßene Verbesserungen bei Sammlung, Rücknahme, Verbraucherinformation, betrieblicher Organisation und technischer Prävention entfalten Wirkung. Fehlwurfquoten gehen moderat zurück, und Brandereignisse können häufiger frühzeitig erkannt oder in ihrer Ausbreitung begrenzt werden.

Gleichzeitig wachsen die Mengen lithiumhaltiger Batterien im Abfallstrom weiter. Die positiven Effekte der Prävention können den Mengeneffekt daher nur teilweise kompensieren. Selbst wenn die relative Fehlwurfquote sinkt, können die absoluten Fehlwurfmengen aufgrund der steigenden Batteriemengen weiter zunehmen. Verbesserte Detektions- und Brandschutzsysteme verhindern einen Teil möglicher Schadensereignisse, kehren den zugrunde liegenden Trend jedoch nicht vollständig um.

Das Referenzszenario beschreibt damit keinen Stillstand, sondern eine Entwicklung mit spürbaren Verbesserungen, die jedoch nicht ausreichen, um das wachsende Risikopotenzial vollständig zu neutralisieren. Die Zahl der Brand- und Schadensereignisse nimmt weiter zu, allerdings deutlich langsamer als im Risikoszenario.

6.2.3 Stabilisierungsszenario

Illustrative Größenordnung: Stabilisierung beziehungsweise leichter Rückgang der Brand- und Schadensereignisse (etwa 0 bis –10 %)

Das Stabilisierungsszenario beschreibt einen Entwicklungspfad, bei dem die Zahl der Brand- und Schadensereignisse trotz weiter steigender Batteriemengen nicht weiter zunimmt oder leicht zurückgeht. Voraussetzung hierfür ist, dass Maßnahmen außerhalb und innerhalb der Entsorgungswirtschaft deutlich wirksamer greifen als heute.

Auf der vorgelagerten Ebene werden Rücknahme- und Sammelsysteme verbessert, Verbraucherinnen und Verbraucher gezielter informiert und Fehlwürfe spürbar reduziert. Zugleich werden Produktkennzeichnung, Rückgabemöglichkeiten und organisatorische Abläufe so weiterentwickelt, dass batteriehaltige Produkte häufiger erkannt und den vorgesehenen Entsorgungswegen zugeführt werden. Innerhalb der Entsorgungswirtschaft werden bestehende technische und organisatorische Schutzmaßnahmen weiterentwickelt, etwa durch verbesserte Detektion, angepasste Lager- und Separationskonzepte sowie wirksame Brandfrüherkennung und Eindämmung.

In diesem Szenario gelingt es, den risikosteigernden Einfluss wachsender Batteriemengen weitgehend auszugleichen. Entscheidend ist dabei, dass die Entsorgungswirtschaft nicht allein als Adressat zusätzlicher Anforderungen und Kostenträger betrachtet wird. Eine Stabilisierung setzt vielmehr voraus, dass auch die vorgelagerten Ursachen des Risikos adressiert werden und relevante Akteure entlang der Wertschöpfungskette zur Reduktion von Fehlwürfen und zur Begrenzung von Brandrisiken beitragen.

6.2.4 Systemisches ResilienzszENARIO

Illustrative Größenordnung: Deutlicher Rückgang der Brand- und Schadensereignisse (etwa –20 bis –40 %)

Das systemische ResilienzszENARIO beschreibt einen Entwicklungspfad, in dem die Reduktion batteriebedingter Brandrisiken als gemeinsame Aufgabe entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Entsorgungskette verstanden wird. Hersteller, Inverkehrbringer, Handel, Rücknahmesysteme, Verbraucherinnen und Verbraucher, Entsorgungswirtschaft sowie Regulierung tragen koordiniert dazu bei, Fehlwürfe strukturell zu reduzieren und verbleibende Risiken frühzeitig zu erkennen.

Im Unterschied zum Stabilisierungsszenario geht dieses Szenario von einer deutlich stärkeren systemischen Wirkung aus. Fehlwürfe werden nicht nur durch Sensibilisierung reduziert, sondern auch durch besser zugängliche Rücknahmestrukturen, klarere Produktkennzeichnungen, stärkere Produktverantwortung und gegebenenfalls ökonomische oder regulatorische Instrumente. Ergänzend werden technische und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen in der Entsorgungsinfrastruktur weiterentwickelt, sodass verbleibende Fehlwürfe seltener zu Brand- und Schadensereignissen eskalieren.

Ein deutlicher Rückgang der Brand- und Schadensereignisse setzt damit nicht voraus, dass Lithium-Ionen-Batterien aus den Abfallströmen vollständig verschwinden. Entscheidend ist vielmehr, dass weniger Batterien in ungeeignete Abfallströme gelangen, kritische Batterien früher erkannt werden und entstehende Ereignisse seltener zu relevanten Schäden führen.

Trotz weiter steigender Batteriemengen kann so die Widerstandsfähigkeit der Entsorgungs- und Recyclinginfrastruktur deutlich erhöht werden. Zugleich macht dieses Szenario deutlich, dass substantielle Risikoreduktion nur erreichbar ist, wenn die Entsorgungswirtschaft durch vorgelagerte Maßnahmen und faire Kostenverteilung entlastet wird.

6.2.5 Einordnung der Szenarien

Die Szenarien verdeutlichen, dass die Entwicklung batteriebedingter Brandrisiken nicht allein durch die Mengenentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien bestimmt wird. Während die steigenden Batteriemengen aus heutiger Sicht weitgehend vorgegeben erscheinen, ist die Entwicklung der daraus resultierenden Brand- und Schadensereignisse in erheblichem Umfang beeinflussbar. Maßgeblich hierfür sind die Entwicklung der Fehlwurfmengen, die Wirksamkeit technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen sowie die Ausgestaltung der regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

Gleichzeitig zeigen die Szenarien, dass Prävention nicht allein Aufgabe der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft sein kann. Die Branche kann Risiken in ihren Anlagen reduzieren, Ereignisse früher erkennen und Schäden begrenzen. Der Eintrag lithiumhaltiger Batterien in ungeeignete Abfallströme entsteht jedoch wesentlich vorgelagert – durch Produktgestaltung, Inverkehrbringung, Konsumverhalten, Rücknahmestrukturen und Sammelsysteme. Eine nachhaltige Reduktion batteriebedingter Brandrisiken setzt daher Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette voraus.

Zugleich machen alle Szenarien deutlich, dass batteriebedingte Brandereignisse auch unter günstigen Annahmen nicht vollständig vermeidbar sein werden. Die zunehmende Verbreitung lithiumhaltiger Batterien wird die Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft daher auch künftig vor Herausforderungen stellen. Die Frage lautet weniger, ob weiterhin Schäden auftreten, sondern vielmehr, in welchem Umfang dies geschieht und wie die verbleibenden Risiken wirtschaftlich getragen werden können.

Damit gewinnt neben der weiteren Reduktion von Brandrisiken die Frage an Bedeutung, wie verbleibende Schäden abgesichert und zwischen den beteiligten Akteuren verteilt werden können. Dies betrifft insbesondere die Rolle von Versicherungsmärkten, aber auch mögliche ergänzende Instrumente des Risikoausgleichs und der Kostenverteilung. Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Kapitel die zukünftige Versicherbarkeit von Entsorgungs- und Recyclinganlagen näher betrachtet.

6.3 Auswirkungen auf die Versicherbarkeit

Ein gängiges Instrument zur Bewältigung von Schadensfällen sind Versicherungsmärkte. Sie übernehmen eine zentrale Funktion bei der Absicherung von Brandrisiken und tragen dazu bei, betriebliche Schadensereignisse wirtschaftlich tragfähig zu machen. Gleichzeitig gilt die Verfügbarkeit und Ausgestaltung von Versicherungsschutz als wichtiger Indikator für die Einschätzung und Bepreisung von Risiken durch den Markt.

Die Umfrage umfasst eine konkrete Frage zur Abdeckung der Anlagen durch eine Feuerversicherung. Die Angaben weisen aufgrund der geringen Rücklaufquote jedoch nur eine

eingeschränkte Aussagekraft auf.⁸⁸ Die Ergebnisse zeigen, dass die wirtschaftlichen Folgen von Brandschäden nicht in allen Fällen vollständig auf Versicherungsmärkte übertragen werden. Zwar berichten rund 70 % der Befragten über Deckungsgrade von mindestens 75 %, und je nach Betrachtungsjahr 41 bis 46 % geben sogar eine vollständige Deckung ihrer Anlagen an. Zugleich geben jedoch je nach Betrachtungsjahr zwischen 17 % und 29 % der Befragten an, dass weniger als die Hälfte ihrer Anlagen durch die Feuerversicherung abgedeckt war.

Die Ergebnisse sprechen somit nicht für eine grundsätzliche Nicht-Versicherbarkeit der Branche. Sie zeigen jedoch, dass die Risikotransferfunktion von Feuerversicherungen nicht in allen Fällen vollständig greift und die wirtschaftlichen Folgen von Brandschäden zumindest teilweise bei den Betrieben verbleiben. Über die konkreten Ursachen der beobachteten Deckungslücken lassen die vorliegenden Daten keine abschließenden Aussagen zu. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass Entscheidungen über Brandschutzinvestitionen, Selbstbehalte und den Umfang des Versicherungsschutzes betriebsindividuell getroffen werden (müssen) und die Absicherung von Brandrisiken für die Unternehmen mit wirtschaftlichen Herausforderungen verbunden ist.

Zur Einordnung der aktuellen Situation und der möglichen Auswirkungen unterschiedlicher Entwicklungen auf die Versicherbarkeit ist zunächst ein Blick auf die Funktionsweise von Versicherungsmärkten hilfreich. Aus ökonomischer Sicht beruhen Versicherungsmärkte darauf, dass Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadenhöhen mit hinreichender Sicherheit abgeschätzt werden können. Je stärker Risiken neuartig, dynamisch oder schwer quantifizierbar sind, desto anspruchsvoller wird deren versicherungstechnische Bewertung. Herausforderungen entstehen insbesondere dann, wenn:

- einzelne Schadenereignisse sehr hohe Kosten verursachen können,
- Schäden mit hoher Häufigkeit auftreten,
- sich Risiken oder das Marktumfeld dynamisch verändern,
- neue Technologien oder Verfahren die Aussagekraft historischer Schadendaten begrenzen,
- zur Risikobewertung und Schadenverhütung ein hohes Maß an unterschiedlichem Fachwissen erforderlich ist.

Die Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft weist mehrere dieser Merkmale auf. Brandschäden können in diesem Segment erhebliche Schadenssummen verursachen, da neben unmittelbaren Sachschäden häufig zusätzliche Kosten für Aufräumarbeiten, Dekontamination, Entsorgung kontaminierter Materialien, Betriebsunterbrechungen oder Wiederaufbaumaßnahmen anfallen. Auch Ereignisse mit begrenztem unmittelbarem Sachschaden können daher vergleichsweise hohe versicherungsrelevante Kosten nach sich ziehen.

Gleichzeitig hat sich das Risikoprofil der Branche in den vergangenen Jahren deutlich verändert. Die Kreislaufwirtschaft wächst, die zu behandelnden Stoffströme nehmen zu und werden heterogener. Mit der zunehmenden Verbreitung lithiumhaltiger Batterien gelangen vermehrt Stoffe mit erhöhtem Brand- und Wiederentzündungspotenzial in Entsorgungs- und Recyclinganlagen. Hinzu kommen neue Prozesse, Behandlungsverfahren und Anlagentechnologien. Die Risikobewertung erfordert daher sowohl eine fundierte Kenntnis der

⁸⁸ Die Anzahl der Angaben liegt für die unterschiedlichen Jahre zwischen 87 für das Jahr 2025 und etwa 50 für die anderen Jahre.

technischen Prozesse als auch der eingesetzten Brandverhütungs- und Brandschutzmaßnahmen.

Vor diesem Hintergrund reagieren Versicherer häufig mit einer stärkeren Differenzierung ihrer Risikoprüfung und Tarifgestaltung. Dies kann sich in höheren Versicherungsprämien, steigenden Selbstbehalten, begrenzten Deckungsumfängen oder zusätzlichen Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz äußern. Dazu zählen etwa Vorgaben zur Brandfrüherkennung, automatische Löschsyste me sowie besondere Lager-, Separations- und Sicherheitskonzepte. Aus Sicht der Versicherer dienen solche Anforderungen dazu, Schadenwahrscheinlichkeiten und potenzielle Schadenhöhen zu reduzieren und damit eine tragfähige Versicherbarkeit der Risiken zu unterstützen. Wo eine risikoadäquate Absicherung dennoch als schwierig eingeschätzt wird, reichen solche Maßnahmen jedoch nicht immer aus. Aus der Branche wird berichtet, dass einzelne Versicherer die Zeichnung von Entsorgungs- und Recyclinganlagen eingestellt oder auf Bestandsverträge beschränkt haben.⁸⁹ Entsprechende Angaben enthält auch die Verbänd eumfrage (vgl. Kap. 2.7). In einer Erhebung des Bundesverbands Deutscher Versicherungsmakler vom April 2025 nannten zwei Drittel der antwortenden Maklerunternehmen die Abfallwirtschaft und das Recycling als Branche mit ernsthaften Problemen der Versicherbarkeit und damit häufiger als jede andere Branche.⁹⁰ Für das Jahr 2026 wird berichtet, dass ausländische Versicherer stärker an der Deckung solcher Anlagen beteiligt wurden und sich die Lage dadurch teilweise entspannt hat. Ob diese Entwicklung Bestand hat, ist offen.⁹¹

Gleichzeitig lässt sich weder ein einheitlicher „angemessener“ Brandschutzstandard noch die Wirtschaftlichkeit entsprechender Maßnahmen pauschal bestimmen. Die erforderlichen Investitionen variieren erheblich zwischen Anlagentypen, Stoffströmen und Betriebskonzepten. Auch etablierte Empfehlungen wie die VdS 2517 bieten keinen allgemeingültigen Standard, sondern einen Orientierungsrahmen für mögliche bauliche, technische und organisatorische Brandschutzmaßnahmen, deren konkrete Ausgestaltung vom jeweiligen Risikoprofil der Anlage abhängt.

Umfang und Ausgestaltung von Detektions-, Lösch- und Brandschutzsystemen werden daher im Zusammenspiel zwischen betrieblichen Anforderungen, objektspezifischen Risiken, behördlichen Vorgaben und den Erwartungen der Versicherer festgelegt. Entsprechend heterogen fallen die Investitionskosten aus. Vor dem Hintergrund stark unterschiedlicher Betriebs- und Anlagengrößen sowie damit verbundenen Versicherungswerten unterscheiden sich auch die betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Abwägungen erheblich. In der Gesamtschau wird deutlich, dass sich weder Risiken noch wirtschaftlich angemessene technische Schutzmaßnahmen branchenweit klar vereinheitlichen lassen.

Für die Betriebe können die mit dem Brandschutz verbundenen Investitionen und laufenden Kosten erheblich sein. Insbesondere bei kleineren und mittleren Anlagen kann dadurch ein Spannungsfeld zwischen den Anforderungen an eine wirksame Risikominimierung, den Voraussetzungen für den Erhalt von Versicherungsschutz und der wirtschaftlichen Tragfähigkeit entsprechender Maßnahmen entstehen. Im Mittelpunkt steht dabei weniger die Frage, ob Risiken grundsätzlich versicherbar sind, sondern unter welchen Bedingungen Versicherungsschutz verfügbar bleibt und welche Kosten hierfür von den Betrieben zu tragen sind.

⁸⁹ Sittner (2026)

⁹⁰ BDVM (2025)

⁹¹ Sittner (2026)

Die im vorangestellten Unterkapitel skizzierten Entwicklungspfade verdeutlichen, dass die zukünftige Versicherbarkeit der Branche nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern eng mit der Entwicklung des batteriebedingten Brandrisikos verknüpft ist. Während in den Risiko- und Referenzszenarien ein anhaltend hohes bzw. zunehmendes Schadenaufkommen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Versicherungsschutz weiter verschlechtern könnte, würden erfolgreiche Präventionsmaßnahmen und sinkende Schadenszahlen in den Stabilisierungs- und Resilienzszenarien dazu beitragen, die Versicherbarkeit langfristig zu sichern.

7 Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten

Die vorherigen Kapitel haben gezeigt, dass batteriebedingte Brandereignisse in der Entsorgungswirtschaft ein vielschichtiges und strukturelles Problem darstellen, das entlang der gesamten abfallwirtschaftlichen Wertschöpfungskette wirksam wird. Wiederkehrende Ursachenmuster, insbesondere Fehlwürfe batteriehaltiger Produkte, mechanische Belastungen im Entsorgungsprozess sowie zeitlich verzögerte Brandauslösungen, verdeutlichen, dass es sich nicht um vereinzelte Ereignisse, sondern um ein systematisches Risiko handelt.

Vor diesem Hintergrund besteht ein klarer Handlungsbedarf, der über die Anwendung einzelner Schutzmaßnahmen hinausgeht. Bestehende Sicherheits- und Brandschutzmaßnahmen leisten einen wichtigen Beitrag zur Schadensbegrenzung, stoßen jedoch insbesondere dort an ihre Grenzen, wo Batterien im Abfallstrom nicht erkannt und kritisch beansprucht werden.

Ziel dieses Kapitels ist es, potenzielle Lösungsansätze zur Verringerung batteriebedingter Brandrisiken systematisch einzuordnen. Betrachtet werden zunächst die Maßnahmen innerhalb der Entsorgungswirtschaft mit ihrem aktuellen Stand, ihren Grenzen und ihren Weiterentwicklungen. Anschließend werden die übergeordneten Ansätze dargestellt, über die die Entsorgungswirtschaft nicht allein entscheidet und die entweder die Fehlwürfe selbst oder die Verteilung ihrer Folgen betreffen. Den Abschluss bildet eine Bewertung und Einordnung aller Ebenen.

Die Darstellung erfolgt herstellerneutral und ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Der Fokus liegt nicht auf der Beschreibung einzelner Technologien, sondern auf der Einordnung ihrer Rolle im Gesamtkontext der Brandprävention. Es wird davon ausgegangen, dass ein wirksamer Umgang mit batteriebedingten Brandrisiken nicht durch einzelne Maßnahmen, sondern nur durch einen kombinierten Ansatz erreicht werden kann, der Prävention, Detektion und Eindämmung miteinander verbindet.

7.1 Maßnahmen innerhalb der Entsorgungswirtschaft

Bestehende Maßnahmen zur Reduktion von Brandrisiken in der Abfallwirtschaft umfassen eine Kombination aus technischen Systemen sowie organisatorischen und prozessualen Ansätzen. Diese sind Bestandteil etablierter Sicherheits- und Brandschutzkonzepte und werden entlang der gesamten Entsorgungskette eingesetzt.

Die bestehenden Maßnahmen lassen sich in drei funktionale Gruppen unterscheiden: Detektions- und Erkennungssysteme, technische Eindämmungs- und Löschsysteme sowie ergänzende organisatorische Maßnahmen im Betrieb. Diese adressieren unterschiedliche Phasen eines Brandereignisses und sind in der Praxis meist miteinander kombiniert.

Der folgende Abschnitt stellt diese Maßnahmen und ihre Grenzen dar, der anschließende die darüber hinausgehenden Ansätze.

7.1.1 Bestehende Maßnahmen und deren Grenzen

Detektions- und Erkennungssysteme

Detektions- und Erkennungssysteme sind heute in modernen Abfallbehandlungsanlagen weit verbreitet. Sie dienen der Identifikation kritischer Zustände oder Objekte im laufenden Anlagenbetrieb und bilden damit einen wichtigen Bestandteil des bestehenden Brandschutzes, adressieren jedoch nicht unmittelbar die vorgelagerte Entstehung von Fehlwürfen. Dabei lassen sich grundsätzlich zwei Systemansätze unterscheiden.

Sensorische Erkennungssysteme erfassen physikalische oder chemische Veränderungen im Abfallstrom, wie Temperaturerhöhungen, Rauchentwicklungen oder Gasfreisetzungen. Hierzu zählen insbesondere temperaturbasierte Systeme wie Infrarotkameras oder Temperaturfühler sowie Rauch- und Gasdetektionssysteme. Teilweise kommen auch multisensorische Systeme zum Einsatz, die verschiedene Messgrößen kombinieren.

Diese Systeme werden typischerweise in Anlieferungs-, Umschlag- und Lagerbereichen sowie innerhalb von Sortier- und Aufbereitungsanlagen eingesetzt und stellen den derzeitigen Stand der technischen Branderkennung in der Abfallwirtschaft dar. Auf Basis der Detektion können technische oder organisatorische Maßnahmen, wie die Aktivierung von Löschsystemen oder die Abschaltung von Aggregaten, ausgelöst werden.

Die Bandbreite etablierter Detektionssysteme sowie deren typische Einsatzbereiche und Funktionen sind in der nachfolgenden Tabelle exemplarisch zusammengefasst. Die Darstellung verdeutlicht die Vielfalt der eingesetzten Systeme und ihre funktionale Einbindung in bestehende Anlagenkonzepte.

Tabelle 8: Übersicht etablierter Detektionsmaßnahmen

Maßnahme	Funktion	Einsatzort	Einordnung
Rauchmelder	Rauchererkennung	Hallen, Gebäude	Standard
Funkenmelder	Funken- / Partikelerkennung	Zerkleinerungstechnik	Standard
Wärmemelder	Temperaturanstieg erkennen	Gebäude, Anlagenbereiche	Standard
Infrarotkameras	Temperaturerkennung	Bunker, Haufwerke, Fördertechnik	Verbreitet
Flammenmelder	Direkte Flammenerkennung	Offene Bereiche, Anlagenbereiche	Verbreitet
Videobasierte Branderkennungssysteme	Visuelle Erkennung	Lager, Hallen, Freiflächen	Zunehmend
Brandgasmelder / Gassensormelder	Gasdetektion	Anlagenbereiche	Zunehmend
Mehrfachsensor-Brandmelder	Kombination mehrerer Sensoren	Anlagenbereiche, Gebäude	Standard

Eindämmungs- und Löschsysteme

Eindämmungs- und Löschsysteme bilden die zweite zentrale Säule bestehender Brandschutzkonzepte. Sie kommen zum Einsatz, um Brandereignisse im Anlagenbetrieb zu begrenzen und eine Ausbreitung zu verhindern. Hierzu zählen automatische Löschsysteme, die bei Erreichen bestimmter Schwellenwerte aktiviert werden, sowie manuelle Löschmaßnahmen durch das Betriebspersonal. Ergänzend werden bauliche Maßnahmen wie Brandabschnitte, Abschottungen oder räumlich getrennte Bereiche eingesetzt. Diese Maßnahmen sind in der Praxis weit verbreitet und auf die jeweiligen Anlagenkonzepte abgestimmt.

Organisatorische und betriebliche Maßnahmen

Organisatorische und betriebliche Maßnahmen ergänzen die technischen Systeme. Sie strukturieren den Umgang mit Abfallströmen und kritischen Situationen im Betriebsalltag. Hierzu zählen insbesondere definierte Abläufe bei der Abfallannahme, Schulungen des Personals sowie Notfall- und Reaktionskonzepte. Diese Maßnahmen sind integraler Bestandteil des Anlagenbetriebs und unterstützen die Wirksamkeit technischer Schutzsysteme.

Stärken und Grenzen

Die dargestellten Maßnahmen bilden den aktuellen Stand des Brandschutzes in der Abfallwirtschaft und sind in vielen Anlagen etabliert. Sie leisten einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von Brandfolgen und zur Sicherstellung eines sicheren Anlagenbetriebs. Gleichzeitig zeigen die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Entwicklungen, dass diese bestehenden Systeme den spezifischen Herausforderungen batteriebedingter Brandereignisse nur eingeschränkt gewachsen sind.

Eine zentrale Stärke der bestehenden Systeme liegt in ihrer hohen Verfügbarkeit und ihrer etablierten Integration in den Anlagenbetrieb. Insbesondere Detektions- und Löschsysteme ermöglichen eine schnelle Reaktion auf auftretende Gefährdungssituationen und tragen maßgeblich zur Begrenzung von Schadensausmaß und Brandausbreitung bei.

Die Grenzen dieser Systeme werden jedoch insbesondere im Zusammenhang mit LIB deutlich. Die bestehenden Detektionssysteme setzen in der Regel erst dann an, wenn bereits ein kritischer Zustand eingetreten ist, etwa in Form von Rauchentwicklung, Temperaturanstieg oder Gasfreisetzung. Sie reagieren somit auf Symptome eines bereits laufenden Prozesses, nicht jedoch auf dessen Ursache.

Batteriebedingte Brandereignisse sind dadurch gekennzeichnet, dass sie nach Auslösung des thermischen Durchgehens sehr schnell ablaufen und nur ein begrenztes Reaktionszeitfenster besteht. In vielen Fällen ist die Detektion erst dann möglich, wenn sich das Ereignis bereits in einer fortgeschrittenen Phase befindet. Eine weitere zentrale Einschränkung ergibt sich aus dem Einsatzort der Systeme. Detektions- und Löschsysteme wirken überwiegend erst innerhalb stationärer Anlagen nach der Aufgabe des Abfalls in den Entsorgungsprozess. Frühere Prozessstufen, insbesondere die Sammlung und der Transport, sind durch diese Systeme nur eingeschränkt oder gar nicht abgedeckt. Batteriebedingte Brände, die bereits im Sammelfahrzeug entstehen, können durch stationäre Systeme nicht verhindert werden.

Zusätzlich ist festzustellen, dass die überwiegende Mehrheit der bestehenden Systeme nicht spezifisch auf batteriebedingte Risiken ausgelegt ist. Sie wurden für klassische Brandverläufe konzipiert und sind darauf ausgerichtet, allgemeine Brandindikatoren zu erkennen. Die zunehmende Präsenz von LIB im Abfallstrom stellt diese Systeme vor neue Herausforderungen, auf die sie nur begrenzt ausgelegt sind.

Insgesamt zeigt sich, dass bestehende Maßnahmen zwar eine wichtige Grundlage für den Brandschutz darstellen, jedoch primär auf die Erkennung und Eindämmung von Brandereignissen ausgelegt sind. Sie adressieren die zugrunde liegenden Ursachen batteriebedingter Brände, insbesondere Fehlwürfe und mechanische Beschädigungen, nicht, was dazu führt, dass es trotz Brandschutzkonzepten immer wieder in Abfallanlagen zu Bränden kommt.

7.1.2 Erweiterte technische und prozessbezogene Lösungsansätze

Vor dem Hintergrund der dargestellten Grenzen bestehender Maßnahmen werden derzeit unterschiedliche technische und prozessbezogene Ansätze diskutiert und entwickelt, die über den aktuellen Stand des Brandschutzes hinausgehen und batteriebedingte Brandrisiken gezielter adressieren sollen. Diese Ansätze zielen darauf ab, entweder bestehende Systeme weiterzuentwickeln oder neue Technologien einzusetzen, die spezifisch auf die besonderen Eigenschaften von LIB ausgerichtet sind.

Ein wesentlicher Ansatz zur Verbesserung des bestehenden Brandschutzes besteht in der Weiterentwicklung etablierter Detektions- und Schutzsysteme. Ziel dieser Ansätze ist es, die Reaktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit vorhandener Systeme zu erhöhen, ohne grundlegende Änderungen an bestehenden Anlagenkonzepten vorzunehmen. Hierzu zählen insbesondere multisensorische Systeme, die verschiedene Messgrößen wie Temperatur, Rauchentwicklung und Gasfreisetzung kombinieren, sowie verbesserte Auswerte- und Steuerungssysteme. Durch die Kombination verschiedener Sensorprinzipien kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, kritische Zustände frühzeitig zu erkennen und Fehlalarme zu reduzieren. Diese Ansätze bauen unmittelbar auf bestehenden Systemen auf und lassen sich in vielen Fällen vergleichsweise einfach in vorhandene Anlagen integrieren. Sie zielen jedoch weiterhin auf die Erkennung kritischer Zustände und nicht auf die Vermeidung der zugrunde liegenden Ursachen.

Einen deutlich anderen Ansatz verfolgen Systeme zur direkten Erkennung batteriehaltiger Objekte im Abfallstrom. Ziel dieser Technologien ist es, LIB vor kritischen Prozessschritten zu identifizieren und aus dem Materialstrom zu entfernen, sofern dies verfahrenstechnisch möglich ist. Hierzu zählen insbesondere kamerabasierte Systeme zur Erkennung äußerer Merkmale sowie röntgenbasierte Verfahren, die eine Identifikation innerer Strukturen ermöglichen. Auch wenn diese Systeme vielversprechend sind, werden sie derzeit in einzelnen Pilotanwendungen erprobt und befinden sich noch nicht in einer flächendeckenden Anwendung. Der Einsatz röntgenbasierter Systeme erfolgt typischerweise an Förderstrecken oder in Vorsortierbereichen, in denen eine gezielte Erkennung und Ausschleusung technisch umsetzbar ist. Da nahezu die Hälfte der Anlagen einen Entstehungsort vor dem ersten Aufbereitungsaggregat als maßgeblich angibt, könnte mit diesen Systemen nur ein Teil des Brandgeschehens erreicht werden. Gleichzeitig sind diese Systeme mit einem hohen technischen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden und unterliegen prozessbedingten Einschränkungen, wie etwa einem begrenzten Stoffstrom. Auch bei Einsatz solcher Technologien ist nicht auszuschließen, dass LIB unerkannt bleiben. Zwar werden bei 20 Tonnen pro Stunde durchschnittlich etwa 12 kg Batterien aussortiert, die unerkannten Batterien gelangen jedoch weiterhin in nachgelagerte Prozessschritte.^{92 93}

Kamerabasierte Systeme können bereits früher ansetzen, wenn sie beispielsweise an Samelfahrzeugen installiert werden. Dort können sie beim Einladen des Abfalls Fotos vom

⁹² EUWID (2025b)

⁹³ Kestler, Landgraf (2025)

Abfall machen und anhand äußerer Merkmale Batterien erkennen. Auch hier gibt es Schwierigkeiten und es werden nicht alle Batterien erkannt, da die Batterien klein sind, in verschlossenen Abfallsäcken verborgen oder fest in Geräten verbaut sein können. Objektbasierte Erkennungssysteme stellen damit einen vielversprechenden, jedoch derzeit noch begrenzt verbreiteten Ansatz dar, der das Potenzial bietet, die Ursachen batteriebedingter Brandereignisse direkter zu adressieren als bestehende Systeme. Ihre mögliche Wirkung hängt jedoch stark vom Einsatzort, vom erfassten Stoffstrom, von der Detektionsgenauigkeit und von der technischen Umsetzbarkeit der Ausschleusung ab.

Neben technischen Systemen können auch prozessbezogene Ansätze betrachtet werden, die auf eine Reduktion mechanischer Beanspruchungen im Entsorgungsprozess abzielen. Ziel dieser Ansätze ist es, kritische Belastungsspitzen zu reduzieren, die zur Beschädigung von LIB führen können. In der theoretischen Betrachtung ergeben sich hierfür Ansatzpunkte, beispielsweise durch Reduktion von Verdichtungsdrücken oder eine gezielte Steuerung von Materialströmen in besonders kritischen Bereichen. In der praktischen Umsetzung sind solche Maßnahmen jedoch nur eingeschränkt realisierbar. Abfallwirtschaftliche Prozesse sind auf hohe Durchsätze, wirtschaftliche Effizienz und robuste Betriebsabläufe ausgelegt. Eine gezielte Reduktion mechanischer Belastungen würde in vielen Fällen zu erheblichen betrieblichen Einschränkungen führen und ist daher nur punktuell oder unter spezifischen Rahmenbedingungen umsetzbar.

7.2 Übergeordnete Maßnahmen

Während die zuvor dargestellten Maßnahmen überwiegend innerhalb der Entsorgungsanlagen ansetzen, werden darüber hinaus Ansätze diskutiert, die auf die vorgelagerten Ursachen batteriebedingter Brandereignisse abzielen. Im Mittelpunkt steht dabei die Reduktion von Fehlwürfen, die im Ursachenmodell als zentrale Eintrittsvoraussetzung identifiziert wurde.

Diese Ansätze betreffen Kommunikationsstrategien sowie ökonomische und regulatorische Instrumente. Ziel dieser Maßnahmen ist es, das Verhalten von Verbrauchenden entlang der Wertschöpfungskette zu beeinflussen, um den Eintrag batteriehaltiger Produkte in ungeeignete Abfallströme zu reduzieren. Hierzu zählen unter anderem Informations- und Sensibilisierungskampagnen, Anpassungen von Rücknahmesystemen sowie ökonomische Anreizmechanismen. Diese Ansätze adressieren unmittelbar die zentrale Ursache batteriebedingter Brandereignisse, nämlich das Auftreten von Fehlwürfen. Gleichzeitig sind ihre Wirkmechanismen komplex und stark von externen Rahmenbedingungen abhängig, sodass ihre konkrete Ausgestaltung und Wirksamkeit im Detail bewertet werden muss.

7.2.1 Kommunikations- und Verbraucheransätze

Kommunikations- und Verbraucheransätze richten sich an die privaten Verbraucherinnen und Verbraucher und setzen bei deren Entsorgungsverhalten an, also vor der eigentlichen Entsorgung. Sie zielen unmittelbar auf die Fehlwürfe, ohne die batteriebedingte Brände in aller Regel nicht entstehen (vgl. Kap. 2.4 und Kap. 5).

Grundsätzlich setzen Ansätze, die Fehlwürfe von vornherein verringern, am weitesten vorne an, weil sie die Ursache und nicht deren Folgen betreffen. Ihre Wirkung entfalten sie allerdings indirekt: Sie hängt vom Verhalten vieler einzelner Verbraucherinnen und Verbraucher ab und stellt sich in der Regel erst über einen längeren Zeitraum und im Zusammenspiel mit weiteren organisatorischen und regulatorischen Instrumenten ein. Sie sind

damit ein notwendiger, für sich allein aber nicht hinreichender Bestandteil eines Maßnahmenbündels.

Für die Erfassung von Batterien und batteriehaltigen Altgeräten liegen bislang nur wenige belastbare Wirkungsdaten vor. Im Folgenden werden daher Ansätze herangezogen, die sich bei vergleichbaren Problemstellungen in anderen Sammelsystemen bewährt haben und sich auf die Batterieerfassung übertragen lassen, weil sie demselben Grundproblem begegnen: der Verringerung von Fehlwürfen und der Erhöhung der Sortenreinheit.

Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung

Der Öffentlichkeitsarbeit und der Sensibilisierung der Verbraucherinnen und Verbraucher kommt eine zentrale Rolle zu, weil Fehlwürfe auf mehreren verhaltensbezogenen Ursachen beruhen. Sie gehen zum einen auf Unsicherheit und Unkenntnis über den richtigen Entsorgungsweg zurück, vorliegende Untersuchungen führen Fehlwürfe ausdrücklich unter anderem auf mangelndes Wissen der Endnutzer zurück.⁹⁴ Zum anderen tragen eine geringe Wahrnehmung der mit Batterien verbundenen Gefahren sowie Bequemlichkeit und geringe Betroffenheit im Entsorgungsalltag bei. Erfahrungen aus der getrennten Bioabfallsammlung zeigen entsprechend, dass sich richtiges Trennverhalten nicht allein über Sachinformationen und Appelle erreichen lässt, sondern zusätzlich niedrighschwellige Verhaltensangebote und ein entsprechendes Maß an Bequemlichkeit voraussetzt.⁹⁵ Übertragen auf Batterien bedeutet dies vor allem bequem erreichbare Rückgabemöglichkeiten. Reine Informationsweitergabe greift daher zu kurz.

Für die Ausgestaltung der Aufklärung lassen sich aus beiden Bereichen übereinstimmende Erkenntnisse ableiten. Einmalige Aktionen bewirken wenig. Wirksam ist eine kontinuierliche, über einen längeren Zeitraum sichtbare Ansprache, die mehrere Kommunikationsinstrumente bündelt und ihren Erfolg regelmäßig überprüft. In der Bioabfallsammlung ließ sich der Fremdstoffanteil über solche dauerhaft angelegten Kampagnen um bis zu knapp 70 Prozent senken.⁹⁶ Wirksam ist eine Ansprache zudem dann, wenn sie zielgruppengerecht erfolgt und die Verbraucherinnen und Verbraucher möglichst im Moment der Entsorgungsentscheidung erreicht. Der Bioabfallbereich verweist hier auf einen Kanalmix aus dauerhaft verfügbaren Printmedien und digitalen Formaten, auf die persönliche, niederschwellige Ansprache sowie auf die Einbindung von Kindern und Jugendlichen, die Informationen als Multiplikatoren in die Haushalte tragen und deren Wirkung überdurchschnittlich eingeschätzt wird.⁹⁷ Bedeutsam ist außerdem, das richtige Trennverhalten als gängige soziale Norm zu vermitteln und dem verbreiteten Eindruck entgegenzuwirken, das eigene korrekte Verhalten gehe im Fehlverhalten der Allgemeinheit unter.

Ergänzend wirken Hinweise unmittelbar am Ort der Entsorgung. In der Bioabfallsammlung haben sich Aufkleber an den Abfallbehältern bewährt, die am Ort des Geschehens auf den unzulässigen Einwurf hinweisen. Ihre Wahrnehmung nimmt allerdings mit der Zeit ab.⁹⁸ Für batteriehaltige Abfälle liegen vergleichbare Motive vor, etwa der in Abbildung 20 dargestellte Warmaufkleber für Abfallbehälter aus einer Branchenkampagne. Eine über die

⁹⁴ Brüning et al. (2023)

⁹⁵ Becker et al. (2025)

⁹⁶ Becker et al. (2025)

⁹⁷ Becker et al. (2025)

⁹⁸ Becker et al. (2025)

Behälterhinweise hinausgehende Kennzeichnung der Batterien und Geräte selbst ist demgegenüber eine produktbezogene Vorgabe und wird in Abschnitt 7.2.2 behandelt.



Abbildung 20: Warenaufkleber für Abfallbehälter aus der Kampagne „Brennpunkt: Batterie“ (Quelle: BDE, abgedruckt in UBA Texte 60/2023, Abbildung 41)



Abbildung 21: Symbol für die getrennte Sammlung nach Anhang VI Teil B der Verordnung (EU) 2023/1542

Zugleich sind die Grenzen dieser Ansätze zu benennen. Aufklärung allein verhindert Fehlwürfe nicht vollständig. Ihre Wirkung hängt von Zielgruppe, Verständlichkeit, Wiederholung und der Verknüpfung mit strukturellen Anreiz- und Steuerungsinstrumenten ab. Beide herangezogenen Untersuchungen betonen daher, dass Kommunikationsmaßnahmen stets mit den übrigen Maßnahmen zu einem ortsbezogenen Gesamtpaket zu verbinden sind.⁹⁹

Sammelsysteme

Sammelsysteme bilden die strukturelle Voraussetzung dafür, dass batteriehaltige Produkte überhaupt ordnungsgemäß entsorgt werden können. Ein flächendeckendes Rücknahmnetz besteht bereits und ist rechtlich verankert: Der Handel nimmt Altbatterien kostenlos zurück, die Kommunen sammeln über Wertstoffhöfe und Schadstoffmobile, und inzwischen können auch Antriebsbatterien aus Elektrofahrrädern und E-Scootern kostenfrei zurückgegeben werden.¹⁰⁰ Seit dem 1. Januar 2026 sind batteriebetriebene Altgeräte an den Wertstoffhöfen getrennt zu sammeln. Die Anliefernden geben die Geräte an einer Annahmetheke ab, statt sie selbst einzuwerfen. Die Einsortierung in die Behälter übernimmt das Personal des Wertstoffhofes.¹⁰¹ Der Ansatz setzt unmittelbar an der zu vermeidenden Beschädigung der Batterien an und soll damit das Brandrisiko an den Wertstoffhöfen verringern. Belastbare Wirkungsdaten liegen dazu noch nicht vor.

Die weiterhin niedrige Sammelquote für Gerätebatterien und die seit Jahren bestehende Differenz zwischen den in Verkehr gebrachten und den tatsächlich erfassten Mengen (vgl. Kap. 3.2, Abbildung 8) zeigen jedoch, dass die bloße Verfügbarkeit von Rückgabemöglichkeiten nicht genügt. Ansatzpunkt ist daher weniger ein zusätzliches, paralleles Sammelsystem als die Weiterentwicklung der bestehenden Rückgabewege.

⁹⁹ Becker et al. (2025)

¹⁰⁰ Verordnung (EU) 2023/1542; BattDG

¹⁰¹ § 13 i. V. m. § 14 ElektroG

Erfahrungen aus der getrennten Bioabfallsammlung zeigen, dass die tatsächliche Nutzung stark von Komfort und Erreichbarkeit abhängt. Ein dichtes, gut erreichbares Netz, eine einfache Handhabung und eine hürdenfreie Rückgabe wirken als Verhaltensangebot, das die korrekte Entsorgung erleichtert.¹⁰² Übertragen auf Batterien bedeutet dies vor allem bequem erreichbare, niedrigschwellige Rückgabemöglichkeiten, die den Aufwand für die Verbraucherinnen und Verbraucher gegenüber der bequemen Fehlentsorgung spürbar senken.

Daran knüpfen Überlegungen zur haushaltsnahen Erfassung an. Diskutiert werden Behälter, die die getrennte Rückgabe von Batterien und Elektrokleingeräten im unmittelbaren Wohnumfeld ermöglichen, etwa eigens gestaltete Sammelbehälter am Haushalt oder Depotcontainer im Quartier. Solche Lösungen bauen kein zusätzliches Sammelsystem auf, sondern verkürzen den Weg zur bestehenden getrennten Erfassung und senken damit den Aufwand gegenüber der Fehlentsorgung. Ihre Ausgestaltung muss allerdings eine sichere Aufbewahrung bis zur Abholung gewährleisten. Belastbare Wirkungsdaten liegen für batteriehaltige Abfälle nicht vor, sodass sich die zu erwartende Wirkung derzeit nicht beziffern lässt.

Ein weiterführender Ansatz ist die automatisierte Erkennung von Fehlwürfen bereits an der Erfassung, unmittelbar am Sammelfahrzeug. Für die Bioabfallsammlung ist diese Technik inzwischen ausgereift und im operativen Einsatz: Kamerasysteme am Heck des Sammelfahrzeugs erfassen beim Entleeren den Inhalt jedes Behälters, eine KI bewertet Art und Anteil der Störstoffe, und über Identifikationssysteme lassen sich Fehlwürfe den verursachenden Haushalten zuordnen. Entsprechende Systeme werden in mehreren deutschen Kommunen bereits regulär betrieben.¹⁰³ Dieser Reifegrad lässt sich jedoch nicht auf die Batterieerkennung übertragen. Die Gründe dafür sind in Abschnitt 7.1.2 dargestellt. Hinzu kommt, dass Batterien am Fahrzeug erst im Moment der Schüttung erfasst würden, ohne Möglichkeit zur Aussortierung. Fahrzeug- und kamerabasierte Erkennung kann batteriehaltige Abfälle daher allenfalls teilweise sichtbar machen und dokumentieren. Ihr möglicher Beitrag liegt damit weniger im direkten Brandschutz als vielmehr in der Rückmeldung an die verursachenden Haushalte. Eine umfassende Lösung stellt sie auf absehbare Zeit nicht dar.

Auch eine bessere Nutzung der bestehenden Strukturen wird Fehlwürfe nicht vollständig verhindern. Ihre Wirkung hängt vom Verhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher ab, sodass auch bei bestmöglicher Erfassung ein Restanteil fehlgeorfener Batterien in die gemischten Abfallströme gelangt. Die Anlagen bleiben deshalb auf technische und organisatorische Schutzmaßnahmen angewiesen.

Finanzierungsfrage

Die in diesem Abschnitt betrachteten Ansätze eint, dass sie nur bei dauerhaftem Betrieb wirken. Aufklärung muss wiederholt und über längere Zeiträume sichtbar erfolgen, und niedrigschwellige Rückgabemöglichkeiten müssen unterhalten und bekannt gemacht werden. Beides ist damit keine einmalige Maßnahme, sondern eine dauerhafte Aufgabe mit laufenden Kosten. Diese Kosten werden derzeit von unterschiedlichen Akteuren getragen, etwa von Rücknahmesystemen, von Verbänden der Entsorgungswirtschaft sowie von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, die Kampagnen und Schulungen durchführen.¹⁰⁴

¹⁰² Becker et al. (2025)

¹⁰³ Becker et al. (2025)

¹⁰⁴ Brüning et al. (2023)

Für eine dauerhaft angelegte und zwischen den Akteuren abgestimmte Aufklärung fehlt dagegen eine gesicherte gemeinsame Finanzierungsgrundlage.

Damit stellt sich die Frage, wer die Kosten einer dauerhaften Aufklärung und einer verbraucher-nahen Erfassung tragen sollte. Auf der Ebene der Kommunikations- und Verbraucher-ansätze lässt sich diese Frage nicht beantworten, weil sie die Verteilung von Verantwortung und Kosten zwischen den Beteiligten betrifft und damit über den Einflussbereich der Entsorgungswirtschaft hinausreicht. Sie wird deshalb an dieser Stelle festgehalten und im folgenden Abschnitt im Zusammenhang mit den ökonomischen Instrumenten wieder aufgegriffen.

7.2.2 Rechtliche und ökonomische Instrumente

Batteriebedingte Brände treffen eine Branche, die auf ihre Ursache nur begrenzten Einfluss hat. Unmittelbarer Auslöser ist die Fehlentsorgung im privaten Haushalt oder Gewerbebetrieben. Vorgelagert wirken die Produktgestaltung und die in Verkehr gebrachten Mengen, die von den Herstellern bestimmt werden (vgl. Kap. 3.2 und Kap. 5). Die wirtschaftlichen Folgen tragen demgegenüber nahezu vollständig die Betreiber der betroffenen Entsorgungsinfrastruktur. Von Brandereignissen ist inzwischen die Mehrheit der befragten Anlagen betroffen, während sich die Schadenssummen auf einzelne Großschadensereignisse konzentrieren, die den betroffenen Betrieb erheblich belasten (vgl. Kap. 2.3, 6.1). Verursachung und Kostentragung fallen somit auseinander. Ordnungspolitisch ist dies der Ansatzpunkt für das Prinzip der erweiterten Herstellerverantwortung, das die Verantwortung für die Folgen eines Produkts am Ende seiner Nutzungsphase demjenigen zuweist, der es in Verkehr bringt.

Dieses Prinzip ist im Batterierecht seit langem etabliert und mit der Verordnung (EU) 2023/1542 erweitert worden. Sie erfasst alle Batteriekategorien, von Gerätebatterien über Batterien leichter Verkehrsmittel bis zu Industrie- und Fahrzeugbatterien, unabhängig von Form, Zusammensetzung oder Verwendung und einschließlich der in Produkte eingebauten Batterien. Die Pflichten der Hersteller setzen mit dem Inverkehrbringen ein und umfassen die Registrierung, die Einrichtung und Finanzierung von Rücknahme- und Sammelsystemen, die kostenlose Rücknahme von Altbatterien über den Handel sowie die Bereitstellung geeigneter Sammelbehältnisse. Für die Sammlung bestehen verbindliche Zielquoten, die für Geräte-Altbatterien schrittweise auf 63 Prozent bis Ende 2027 und 73 Prozent bis Ende 2030 angehoben werden. Für Batterien leichter Verkehrsmittel gelten erstmals eigene Vorgaben von 51 Prozent bis Ende 2028 und 61 Prozent bis Ende 2031. Hinzu treten erhöhte Anforderungen an die Verwertung, darunter eine gesonderte Verwertungsquote für Lithium, die bis 2031 auf 80 Prozent steigt.¹⁰⁵

Für batteriebetriebene Elektrogeräte greift daneben die erweiterte Herstellerverantwortung nach der Richtlinie 2012/19/EU und ihrer nationalen Umsetzung. Sie folgt derselben Systematik, also Registrierung der Hersteller, Finanzierung von Rücknahme und Behandlung sowie verbindliche Sammelziele. Für das Brandgeschehen ist das erheblich, weil ein wesentlicher Teil der fehlgeworfenen Batterien nicht als lose Batterie, sondern als Bestandteil eines Geräts in den Abfallstrom gelangt (vgl. Kap. 3.2 und Kap. 5). Die Erfassungslücke besteht damit auf beiden Wegen, bei den Altbatterien wie bei den batteriehaltigen Altgeräten.¹⁰⁶ Der für das Brandgeschehen neuralgische Punkt, die getrennte Erfassung, liegt damit im Verantwortungsbereich der Hersteller. Würde er so verlässlich erfüllt wie die übrigen

¹⁰⁵ Verordnung (EU) 2023/1542; Bundesumweltministerium (2025)

¹⁰⁶ Richtlinie 2012/19/EU

Elemente der Herstellerverantwortung, gelangten wesentlich weniger Batterien in gemischte Abfallströme, und das batteriebedingte Brandgeschehen in den Entsorgungsanlagen ginge entsprechend zurück. Die erreichten Sammelquoten zeigen jedoch, dass die getrennte Erfassung nur teilweise gelingt. Für die Folgen dieser Erfassungslücke, also für Brandereignisse in nachgelagerten Anlagen, begründet die Herstellerverantwortung keine Zuständigkeit. Die daraus resultierenden Aufwendungen für den vorbeugenden Brandschutz, für die Schadensbeseitigung und für die Risikoabsicherung verbleiben bei den Anlagenbetreibern. Die Bewertung der Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte durch die Europäische Kommission hält denselben Befund fest. Mittelbare Kosten wie das Brandrisiko aus Lithium-Ionen-Batterien sind danach durch die Entgelte der erweiterten Herstellerverantwortung nicht gedeckt.¹⁰⁷ Diese Zuordnungslücke ist der Ausgangspunkt der weiteren Betrachtung.

Produktbezogene Vorgaben und Einschränkungen

Produktbezogene Vorgaben setzen bereits bei der Gestaltung und dem Inverkehrbringen batteriehaltiger Produkte an. Ein wesentlicher Teil dieser Anforderungen ist inzwischen verbindlich geregelt. Für den hier betrachteten Zusammenhang ist vor allem die Anforderung der Verordnung (EU) 2023/1542 an die Entfernbarekeit und Austauschbarkeit von Gerätebatterien und von Batterien leichter Verkehrsmittel durch den Endnutzer von Bedeutung. Sie gilt nicht unmittelbar, sondern unterliegt Übergangsfristen und ist teilweise noch durch delegierte oder Durchführungsrechtsakte zu konkretisieren.¹⁰⁸ Weitere Regelungsinhalte der Verordnung, etwa zum CO₂-Fußabdruck oder zum Rezyklateinsatz, sind für das Brandgeschehen ohne Belang und werden hier nicht weiter betrachtet. Die Anforderung an Entfernbarekeit und Austauschbarkeit adressiert unmittelbar einen in dieser Studie identifizierten Befund, denn fest verbaute oder verklebte Akkumulatoren erschweren die Erkennbarkeit batteriehaltiger Produkte und ihre getrennte Erfassung (vgl. Kap. 3.2 und Kap. 5). Ihre Wirkung tritt allerdings erst mit dem Produktzyklus ein, da bereits in Verkehr gebrachte Geräte über Jahre im Umlauf bleiben. Auch werden entnehmbare Batterien Fehlwürfe nicht vollständig verhindern, da die Entnahme und die getrennte Rückgabe weiterhin eine Entscheidung der Verbraucherinnen und Verbraucher bleiben.

Über das geltende Recht hinaus wird eine Kennzeichnung diskutiert, die unmittelbar auf das Brandrisiko ausgerichtet ist. Batterien und Elektrogeräte müssen bereits heute gekennzeichnet werden. Batterien sind mit dem Symbol für die getrennte Sammlung zu kennzeichnen, der durchgestrichenen Mülltonne nach Abbildung 21, deren Ausgestaltung und Mindestgröße in Anhang VI Teil B festgelegt sind.¹⁰⁹ Dieses Symbol weist auf die Pflicht zur getrennten Sammlung hin, benennt die Brandgefahr jedoch nicht und ist nicht darauf ausgelegt, im Moment der Entsorgungsentscheidung aufzufallen.

Das im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellte Gutachten zur Prüfung einer Pfandpflicht empfiehlt daher eine eindeutige und auffällige Warn- und Entsorgungskennzeichnung unmittelbar auf lithiumhaltigen Batterien und batteriehaltigen Geräten, die zugleich den erfassenden und transportierenden Stellen das Vorhandensein von Lithiumbatterien anzeigt. Um Wirkung zu entfalten, müsste sie nach dieser Einschätzung verpflichtend und möglichst europaweit verankert werden.¹¹⁰ Ebenfalls diskutiert wird die Einschränkung besonders

¹⁰⁷ Europäische Kommission (2025a), S. 34. Die Bewertung stützt die Aussage auf Angaben der Behandlungsbetriebe.

¹⁰⁸ Verordnung (EU) 2023/1542; Bundesumweltministerium (2025)

¹⁰⁹ Art. 13 der Verordnung (EU) 2023/1542

¹¹⁰ Brüning et al. (2023), Kapitel 10.3.4

problematischer Produktgruppen, etwa von Einweg-E-Zigaretten. Für elektronische Zigaretten und Tabakerhitzer gilt seit 2026 eine Rücknahmepflicht an allen Verkaufsstellen, also auch an Kiosken und Tankstellen.¹¹¹ Ein Verbot des Inverkehrbringens ist damit nicht verbunden. Mittelbar wirkt jedoch die Anforderung an die Entnehmbarkeit von Gerätebatterien, die ab dem 18. Februar 2027 gilt und Einweg-E-Zigaretten mit fest verbauten Batterien erfasst. Ein nationales Verbot des Inverkehrbringens hat das Bundesumweltministerium angekündigt.¹¹² Der Referentenentwurf zur Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vom Juni 2026 enthält kein solches Verbot, erweitert aber die Ermächtigung, das Inverkehrbringen von Erzeugnissen zu untersagen, deren Abfälle schwere Schäden an Abfallbewirtschaftungsanlagen verursachen können.¹¹³

Batteriepfand

Ein Pfand auf lithiumhaltige Batterien wäre das Instrument, das am unmittelbarsten an der Ursache ansetzt. Es schafft einen ökonomischen Anreiz zur Rückgabe und wirkt damit direkt auf die Fehlwürfe und die Sammelquote, also auf die Eintrittsvoraussetzung batteriebedingter Brände. Entsprechend wird ein Pfand seit mehreren Jahren von verschiedenen Akteuren gefordert.

Die Einführung einer Pfandpflicht ist im Auftrag des Umweltbundesamtes fachlich geprüft worden. Das Ergebnis fällt differenziert aus. Am Status quo festzuhalten und auf ein Pfand zu verzichten, bewertet diese Studie als nicht zielführend, da die Erfassung dann unverändert lückenhaft bliebe. Ein einheitliches Pfand auf sämtliche lithiumhaltigen Batterien wird demgegenüber als organisatorisch und praktisch derzeit nicht umsetzbar eingeschätzt. Maßgeblich dafür sind der Aufwand für eine dauerhafte Kennzeichnung des Pfandguts auf der Batterie und auf dem Gerät, die Pfanderhebung beim Inverkehrbringen, die technische Ausgestaltung einer marken- und ortsunabhängigen Rücknahme mit einer zentralen Clearingstelle sowie der damit verbundene administrative Aufwand und die Kosten. Als vorstellbar bewertet das Gutachten hingegen ein auf ausgewählte Batteriegruppen begrenztes Pfand, namentlich auf lose und in Geräte eingebaute Gerätebatterien sowie auf entnehmbare Batterien von Elektrofahrrädern und E-Scootern. Ein solches Teilsystem sei geeignet, die Ziele in gewissem Maße zu unterstützen.¹¹⁴

Hinzu treten Einschränkungen, die sich aus der Funktionsweise eines Pfandsystems selbst ergeben. Bereits in Verkehr gebrachte Batterien können nicht nachträglich bepfandet werden, sodass die Wirkung erst mit dem Produktzyklus einsetzt. Für die Dauer der Nutzung entsteht eine Kapitalbindung. Beim Export von Gebrauchtgeräten verbleibt das Pfand im System, ohne dass eine Rückgabe erfolgt. Schließlich kann ein hoher Umsetzungsaufwand dazu führen, dass kleinere Verkaufsstellen die Rücknahme einstellen und die Zahl der Rückgabemöglichkeiten sinkt.¹¹⁵

Unabhängig von dieser fachlichen Bewertung besteht für lithiumhaltige Batterien derzeit keine gesetzliche Pfandpflicht. Die Bundesregierung hat im November 2024 erklärt, im Rahmen der Anpassung des Batterierechts kein Pfandsystem für lithiumhaltige Altbatterien einzuführen, und dies mit der Vielzahl unterschiedlicher Batteriearten sowie mit dem

¹¹¹ Bundesumweltministerium (2025)

¹¹² BMUKN (2026a)

¹¹³ BMUKN (2026b), Art. 1 Nr. 17

¹¹⁴ Brüning et al. (2023), Kapitel 10.1

¹¹⁵ Brüning et al. (2023)

organisatorischen und praktischen Aufwand begründet.¹¹⁶ Das am 7. Oktober 2025 in Kraft getretene Batterierecht-Durchführungsgesetz enthält dementsprechend keine Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien. Davon zu unterscheiden ist die fortbestehende Pfandpflicht für Starterbatterien, nach der Vertreiber beim Verkauf einer Starterbatterie ein Pfand von 7,50 Euro zu erheben haben, sofern keine Starteraltbatterie zurückgegeben wird.¹¹⁷

Abgeschlossen ist die Diskussion damit jedoch nicht. Der Deutsche Bundestag hat das Gesetzgebungsverfahren mit seiner Entschließung vom 11. September 2025 begleitet und die Bundesregierung aufgefordert, innerhalb eines Jahres die nationale Etablierung eines Pfandsystems für lithiumhaltige Batterien zu prüfen, dabei die Erfahrungen aus Dänemark einzubeziehen und die Diskussion auf europäischer Ebene für eine gemeinsame und einheitliche Bepfandung eng zu begleiten.¹¹⁸ Die Frist für diese Prüfung ist am 11. September 2026 abgelaufen. Ein Ergebnis lag zum Bearbeitungsstand dieser Studie nicht öffentlich vor. Der Bundesrat hat sich dieser Aufforderung angeschlossen und erwartet ebenfalls die Prüfung einer Pfandlösung für bestimmte Lithium-Ionen-Batterien, von denen eine Brandgefahr ausgeht.¹¹⁹ Auf europäischer Ebene hat die Kommission bis zum 31. Dezember 2027 die Durchführbarkeit und die potenziellen Vorteile von Pfandsystemen für Batterien, insbesondere für Allzweck-Gerätebatterien, zu bewerten und dem Europäischen Parlament und dem Rat darüber zu berichten.¹²⁰

Ein Pfand für lithiumhaltige Batterien ist damit ein Instrument, über das politisch weiter beraten wird, das aber zum Bearbeitungsstand dieser Studie nicht zur Verfügung steht. Fachlich ist es nicht ausgeschlossen und für einzelne Produktgruppen sogar als geeignet bewertet. Die laufenden Prüfaufträge lassen eine spätere Einführung möglich erscheinen, zum Bearbeitungsstand dieser Studie ist sie jedoch nicht absehbar. Da auch die übrigen ursachenbezogenen Instrumente erst mittel- bis langfristig wirken, bleibt es zunächst dabei, dass ein Teil der Altbatterien die getrennte Erfassung nicht erreicht und in gemischte Abfallströme gelangt. Die wirtschaftlichen Folgen dieser Fehlwürfe tragen weiterhin die Anlagenbetreiber. Damit rückt die Frage in den Vordergrund, wie diese Folgen wirtschaftlich getragen werden.

Einrichtung eines Fonds

Die Folgen der verbleibenden Fehlwürfe tragen die Anlagenbetreiber, und der Risikotransfer über Versicherungsmärkte greift dabei nicht vollständig. Ein Teil der Anlagen ist nur eingeschränkt versichert, und die Versicherer reagieren auf das veränderte Risikoprofil mit höheren Prämien, steigenden Selbstbehalten, begrenzten Deckungsumfängen und zusätzlichen Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz. Einzelne Versicherer haben die Zeichnung eingestellt oder auf Bestandsverträge beschränkt (vgl. Kap. 2.7 und Kap. 6.3). Maßgeblich ist damit nicht, ob die Risiken grundsätzlich versicherbar sind, sondern unter welchen Bedingungen Versicherungsschutz verfügbar bleibt und welche Kosten die Betriebe dafür tragen (vgl. Kap. 6.3).

Damit rückt ein Instrument in den Blick, das diese Folgen verursachergerecht verteilt, ohne die Bemühungen um die Ursachenreduktion zu ersetzen. Ein solches Instrument ist eine von den Herstellern finanzierte Mittelbereitstellung, die im Folgenden als Präventions- und

¹¹⁶ BT-Drs. 20/13690

¹¹⁷ § 19 BattDG

¹¹⁸ BT-Drs. 21/1587

¹¹⁹ BR-Drs. 475/25 (Beschluss)

¹²⁰ Art. 63 der Verordnung (EU) 2023/1542

Ausgleichsfonds bezeichnet wird. Der Begriff beschreibt die Funktion des Instruments und trifft keine Vorentscheidung über seine rechtliche Ausgestaltung.

Ein Fonds setzt an einer anderen Stelle der Ursachenkette an als ein Pfand: Er wirkt weniger auf die Entstehung der Fehlwürfe als vielmehr auf die Verteilung ihrer Folgen. Er ist zugleich organisatorisch voraussetzungsärmer, denn die Einwände, die einer Pfandpflicht entgegenstehen, treffen auf ihn nicht zu. Er erfordert keine dauerhafte Kennzeichnung eines Pfandguts, keine Pfanderhebung und -rückzahlung an der Verkaufsstelle, kein Clearing zwischen Handel und Herstellern und keine Produktidentität über die gesamte Nutzungsphase. Stattdessen kann er an die Registrierung und die Mengenmeldung anknüpfen, die im Rahmen der erweiterten Herstellerverantwortung ohnehin bestehen. Auch ein Fonds kann allerdings nur auf neu in Verkehr gebrachte Batterien erhoben werden. Sein Finanzierungsaufkommen wächst daher erst mit den gemeldeten Mengen, sodass die verfügbaren Mittel in der Anfangsphase gering sind und hinter dem Bedarf zurückbleiben. Gegenüber einem Pfand, dessen Lenkungswirkung erst mit dem Rücklauf der bepfandeten Produkte eintritt, kann ein Fonds jedoch früher Mittel bereitstellen. Eigene Voraussetzungen bestehen gleichwohl und werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Die Grundlage für eine Beteiligung der Hersteller liefert das Prinzip der Produktverantwortung. Es weist denjenigen, die Erzeugnisse entwickeln, herstellen oder vertreiben, die Verantwortung für die umweltgerechte Bewirtschaftung ihrer Produkte nach dem Gebrauch zu.¹²¹ Die erweiterte Herstellerverantwortung der Verordnung (EU) 2023/1542 verpflichtet die Batteriehersteller darüber hinaus, bestimmte Kosten der Sammlung und Behandlung von Altbatterien sowie damit verbundene Aufgaben zu finanzieren. Eine unmittelbare gesetzliche Pflicht, sämtliche durch Fehlwürfe verursachte Folgeschäden zu tragen, ergibt sich daraus nicht. Von einzelnen Teilnehmenden des Runden Tisches wurde hiergegen eingewandt, Ursache der Brände sei nicht die Batterie, sondern deren unsachgemäße Entsorgung, weshalb Brände infolge von Fehlwürfen nicht über einen solchen Fonds abgedeckt werden könnten. Dem steht entgegen, dass die Produktverantwortung nicht an das Verhalten im Einzelfall anknüpft, sondern an die Verantwortung für die Abfallphase des Produkts insgesamt. Hinzu kommt, dass die Menge der in Verkehr gebrachten Batterien und die Produktgestaltung, insbesondere fest verbaute und schwer erkennbare Akkumulatoren, die Wahrscheinlichkeit von Fehlwürfen unmittelbar beeinflussen und im Verantwortungsbereich der Hersteller liegen (vgl. Kap. 3.2 und Kap. 5). Die Produktverantwortung liefert damit ein tragfähiges Begründungsprinzip.

Die konkrete Ausgestaltung eines solchen Fonds ist voraussetzungsreich. Eine herstellerfinanzierte Abgabe unterliegt besonderen finanzverfassungsrechtlichen Anforderungen. Deren Prüfung erfordert eine eigenständige rechtliche Begutachtung und ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie, sie ist vor einer Entscheidung über die Einführung zu klären. Darüber hinaus sind drei Fragen zu klären.

Die erste Frage betrifft den Maßstab, nach dem die Einzahlungen bemessen werden. In Betracht kommt eine Bemessung nach der Masse der in Verkehr gebrachten Batterien, nach der Stückzahl oder nach der Zellchemie und Energiedichte, da diese das Gefahrenpotenzial mitbestimmen. Eine Staffelung nach dem Fehlwurfrisiko einzelner Produktgruppen wäre ebenfalls denkbar, etwa für kleine, mülltonnengängige Geräte mit fest verbauten Zellen. Je stärker die Bemessung an das tatsächliche Risiko anknüpft, desto eher entsteht

¹²¹ § 23 KrWG

auch eine Lenkungswirkung auf die Produktgestaltung. Zugleich steigen mit der Differenzierung der Erhebungsaufwand und die Anforderungen an die Datengrundlage.

Die zweite Frage betrifft die Reichweite des Instruments, denn ein herstellerfinanziertes Modell erfasst nur diejenigen, die ihren Pflichten nachkommen. Der Deutsche Bundestag hat darauf hingewiesen, dass Online-Plattformen vielen ausländischen Herstellern als Zugang zum deutschen Markt dienen und Produkte auf diesem Weg in Verkehr gelangen, ohne dass sich der Hersteller aus einem Drittland registriert hat. Die bestehenden Regelungen hätten sich insoweit als nicht ausreichend erwiesen, weshalb eine europarechtliche Verpflichtung der Plattformen zur Mitwirkung an der Einhaltung der Herstellerverantwortung angestrebt wird.¹²² Für einen Fonds bedeutet dies, dass Produkte nicht registrierter Hersteller die Schadenslast erhöhen, ohne zur Finanzierung beizutragen. Die Wirksamkeit des Instruments hängt daher auch von der Durchsetzung der Registrierungsspflichten ab.

Die dritte Frage betrifft den europäischen Rechtsrahmen, der derzeit in Bewegung ist. Die Europäische Kommission hat die Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte 2012/19/EU bewertet und hält eine Überarbeitung für erforderlich. Der Vorschlag dazu soll Teil des Circular Economy Act werden und steht noch aus.¹²³ Ob darin die Beteiligung der Hersteller an den Kosten des Brandschutzes und an Brandschäden geregelt wird, ist offen. Der Überprüfungsauftrag der Richtlinie nennt diese Frage nicht, doch Österreich, Deutschland und Litauen haben sie im Dezember 2025 im Rat aufgeworfen.¹²⁴ Eine europäische Regelung würde eine nationale Lösung überlagern. Ein nationaler Fonds sollte daher so ausgestaltet werden, dass er an eine künftige europäische Regelung anschlussfähig bleibt.

Der hier vorgeschlagene Mechanismus entspricht einer bereits vorliegenden fachlichen Bewertung. Das im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellte Gutachten zur Prüfung der Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren führt eine Fondslösung als Alternative zu einer Pfandpflicht auf. Beschrieben wird ein zentrales Register, das den Fonds verwaltet, sowie eine Einzahlung durch alle verpflichteten Hersteller und Importeure, bemessen nach den in Verkehr gebrachten Batterien und nach festzulegenden Kriterien gestaffelt. Dieser Ansatz folgt ausdrücklich dem Prinzip der erweiterten Produktverantwortung. Als Referenz dient das dänische Modell, bei dem eine Abgabe auf Hersteller Ebene erhoben und eine Vergütung je gesammelter Menge an zugelassene Sammelstellen ausgezahlt wurde. Das Gutachten bezeichnet dieses Modell als verursachergerechtes Fondsmodell und stellt es dem Pfand als eigenständigen Mechanismus gegenüber.¹²⁵ Es weist zugleich auf kartellrechtliche Vorgaben hin, die in Deutschland zu berücksichtigen sind. Der Deutsche Bundestag hat die Bundesregierung ausdrücklich aufgefordert, bei der Prüfung eines Pfandsystems die Erfahrungen aus Dänemark einzubeziehen,¹²⁶ sodass das dort erprobte Modell bereits Teil des politischen Prüfauftrags ist.¹²⁷

¹²² BT-Drs. 21/1587

¹²³ Europäische Kommission (2025a); Europäische Kommission (2025b)

¹²⁴ Art. 24a der Richtlinie 2012/19/EU; Rat der Europäischen Union (2025)

¹²⁵ Brüning et al. (2023), Kapitel 3.2.2 und 10.3.4

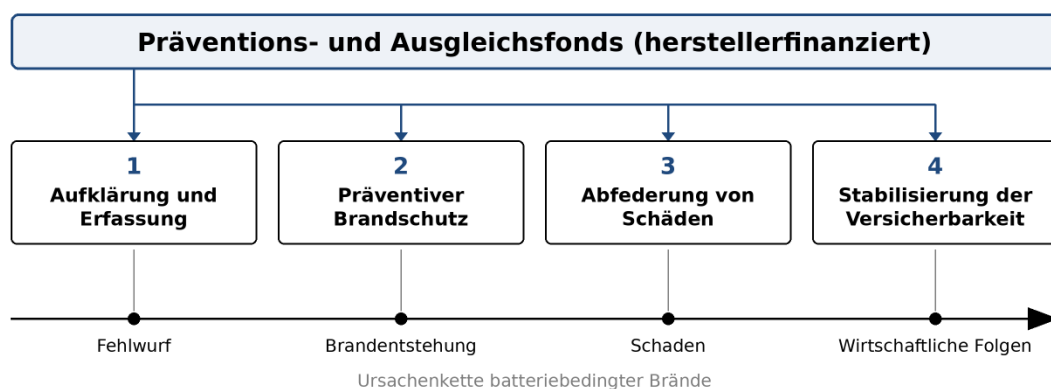
¹²⁶ BT-Drs. 21/1587

¹²⁷ Dänemark hat sein gebührenfinanziertes Modell am 18. August 2025 abgelöst. Zuvor sammelten die Kommunen die Altbatterien und erhielten dafür einen finanziellen Ausgleich, seither müssen die Hersteller die Rücknahme selbst organisieren und finanzieren. Die kommunale Sammlung wurde übergangsweise bis zum 1. Januar 2026 fortgeführt. Auslöser der Umstellung war nicht eine mangelnde Wirksamkeit des Gebührenmodells, sondern die Umsetzung der EU-Batterieverordnung, die eine umfassendere und stärker harmonisierte Herstellerverantwortung verlangt. Das dänische Beispiel taugt daher als erprobtes Konstruktionsprinzip, nicht als aktuell geltender Referenzrahmen.

Ein Unterschied besteht jedoch beim Zweck, für den die Mittel verwendet werden. Der im Gutachten beschriebene Fonds zielt auf die Erhöhung der Sammelmenge. Ausgezahlt werden die Mittel an registrierte und für den Umgang mit Lithiumbatterien zugelassene Erfassungs- und Verwertungsbetriebe, bemessen an der nachgewiesenen Sammel- oder Verwertungsmenge. Dieser Ansatz ist grundsätzlich überzeugend, denn er setzt am vorderen Ende der Kette an und schafft einen wirtschaftlichen Anreiz, die Erfassung zu verbessern. Damit würde er Brände dort verhindern, wo sie ihren Ausgang nehmen. Die vorangegangenen Kapitel zeigen jedoch, dass sich die Erfassung nicht in dem Umfang optimieren lässt, der dafür erforderlich wäre. Auch bei bestmöglicher Sammlung verbleibt ein Anteil fehlgeorfener Batterien, der in gemischte Abfallströme gelangt und dort Brände auslösen kann. Ein ausschließlich auf die Sammelmenge gerichteter Fonds würde die Folgen dieser verbleibenden Fehlwürfe nicht erfassen. Für die hier betrachtete Problemstellung ist der Zweck deshalb weiter zu fassen. Er sollte Mittel für die vorgelagerte Prävention, also für die Aufklärung der Verbraucherinnen und Verbraucher und für die Verbesserung der Erfassung, ebenso umfassen wie Mittel für die Bewältigung der Folgen in den Anlagen. Welche Verwendungszwecke sich daraus im Einzelnen ableiten, wird im folgenden Abschnitt betrachtet.

Ausschüttungszwecke des Fonds

Die im vorigen Abschnitt umrissene Zweckbestimmung lässt sich in vier Verwendungszwecke gliedern. Zwei Richtungen sind dabei zu unterscheiden. Zum einen soll der Fonds dazu beitragen, Fehlwürfe zu verringern, zum anderen soll er die Folgen der verbleibenden Fehlwürfe in den Anlagen bewältigen helfen. Die vier Verwendungszwecke werden im Folgenden dargestellt und hinsichtlich ihrer Wirkung und ihrer offenen Fragen eingeordnet. Sie sind nicht als Paket zu verstehen, sondern könnten in unterschiedlichen Konstellationen über einen Fonds finanziert werden. Die konkrete Ausgestaltung, also Volumen, Bemessungsgrundlage, Verteilungsschlüssel und Verwaltung, ist nicht Gegenstand dieses Kapitels.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 22: Verwendungszwecke des Präventions- und Ausgleichsfonds im Verlauf der Ursachenkette

Aufklärung und Erfassung

In Abschnitt 7.2.1 wurde gezeigt, dass Öffentlichkeitsarbeit nur dann wirkt, wenn sie dauerhaft und abgestimmt erfolgt, und dass die Kosten dafür derzeit von unterschiedlichen Akteuren ohne gesicherte gemeinsame Grundlage getragen werden. Dasselbe gilt für die Verbesserung der Erfassung, etwa für niedrigschwellige Rückgabemöglichkeiten. Dass eine

koordinierte Ansprache organisierbar und wirksam ist, zeigen Initiativen aus anderen Abfallströmen. Die Initiative „Mülltrennung wirkt“ wird von elf dualen Systemen getragen, informiert bundesweit über die richtige Abfalltrennung und wird über die Lizenzentgelte der Hersteller finanziert. Sie beruht damit auf demselben Grundgedanken der Herstellerverantwortung. Die Kampagne „#wirfuerbio“ wird von mehr als 80 kommunalen Entsorgungsunternehmen aus zwölf Bundesländern getragen und hat in mehreren Regionen den Störstoffanteil um 46 Prozent und mehr verringert. Für batteriehaltige Abfälle bestehen ebenfalls Initiativen. Das Infoportal „Batterie zurück“ wird von Handels- und Industrieverbänden getragen und richtet sich auf die Rückgabe im Handel, die Kampagne „Plan E“ der Stiftung Elektro-Altgeräte Register informiert über die Entsorgung von Elektroaltgeräten.¹²⁸ Beide bleiben jedoch auf einen Teilbereich beschränkt, und eine Wirkung auf den Fehlwurfanteil ist für sie nicht dokumentiert. Eine gemeinsam getragene, dauerhaft finanzierte Ansprache, die Batterien und batteriehaltige Geräte zusammen behandelt, besteht bislang nicht. Da die Folgen der Fehlwürfe aus privaten Haushalten sowohl kommunale als auch private Entsorgungsunternehmen betreffen, liegt eine gemeinsame Finanzierung über den Fonds näher als eine Kostentragung durch einzelne Beteiligte. Dieser Zweck setzt unmittelbar an der Ursache an und entspricht der Zielrichtung, die auch das Gutachten des Umweltbundesamtes für eine Fondslösung beschreibt. Seine Wirkung tritt allerdings erst mittel- bis langfristig ein und hängt von der Reichweite und der Qualität der Maßnahmen ab.

Präventiver Brandschutz in den Anlagen

Ziel wäre, das Schutzniveau anzuheben und dabei an anerkannten Empfehlungen wie der VdS 2517 auszurichten. Der Ansatz wirkt unmittelbar auf die Begrenzung von Schäden und setzt dort an, wo die Betriebe die größten Investitionen zu tragen haben. Eine Vollfinanzierung ist dafür nicht erforderlich, auch Fördermittel mit einem Eigenanteil der Betriebe kommen in Betracht. Mit diesem Verwendungszweck verbindet sich zudem die Erwartung, dass die Versicherungsbeiträge sinken, wenn nicht einzelne Anlagen, sondern die Branche insgesamt ein höheres Schutzniveau erreicht und sich damit das Risikoprofil des gesamten Segments verbessert. Ob diese Erwartung eintritt, ist offen. Da es sich um eine Annahme über das künftige Verhalten des Versicherungsmarktes handelt, lässt sie sich vorab nicht belegen. Hinzu kommt, dass Teilnehmende aus der Entsorgungswirtschaft im Runden Tisch „Maßnahmen gegen Brandereignisse in der Abfallentsorgung“ beim Bundesumweltministerium berichtet haben, fortschrittliche Brandschutztechnik sei nach ihrer Erfahrung vielfach Voraussetzung für den Erhalt des Versicherungsschutzes, schlage sich aber nicht in niedrigeren Prämien nieder. Als Hintergrund wurde genannt, dass zusätzliche Technik den Wert der Anlage und damit die im Schadensfall zu ersetzende Summe erhöht, was einer Prämienentlastung entgegenwirken könnte. Diese Aussage ist im Rahmen der vorliegenden Studie nicht überprüft worden. Träfe sie zu, träten Brandschutzinvestitionen zu den Versicherungskosten hinzu, anstatt sie zu senken. Es erscheint daher zweckmäßig, die Versicherungswirtschaft bei der Ausgestaltung dieses Förderzwecks einzubeziehen.

Zwei weitere Aspekte bedürfen der Klärung. Der erste betrifft den Maßstab der Förderung, denn ein einheitliches Zielniveau lässt sich kaum allgemein definieren. Die erforderlichen Maßnahmen hängen vom Risikoprofil der jeweiligen Anlage ab, und auch die VdS 2517 bietet nur einen Orientierungsrahmen (vgl. Kap. 6.3). Der zweite betrifft die Verteilung, denn eine Förderung käme vor allem Betrieben zugute, die bislang wenig in den Brandschutz investiert haben, während Betriebe mit hohem Schutzniveau ihre Investitionen bereits selbst getragen haben. Diesem Einwand ließe sich begegnen, indem die Förderung nicht am erreichten Schutzniveau ansetzt, sondern an der Verbesserung, die mit der jeweiligen

¹²⁸ ZVEI (2025); Stiftung ear (o.D.)

Maßnahme erzielt wird. Maßstab wäre dann, wie stark eine Investition die Wahrscheinlichkeit eines Brandes oder das zu erwartende Schadensausmaß der Anlage senkt. Allerdings dürfte die Bewertung einer Erhöhung des Schutzniveaus noch schwieriger sein als die Feststellung, ob ein definiertes Niveau erreicht ist. Eine praktikable Ausgestaltung setzt daher voraus, dass für die Bewertung von Maßnahmen ein anerkanntes und nachvollziehbares Verfahren vereinbart wird.

Abfederung von Schäden bei fehlendem Versicherungsschutz

Dieser Zweck betrifft Fälle, in denen kein oder kein ausreichender Versicherungsschutz besteht. Nach den Ergebnissen der Verbändenumfrage verfügten 87 Prozent der befragten Anlagen über eine Feuerversicherung, 13 Prozent verfügten über keinen entsprechenden Schutz. Als Gründe für den fehlenden Schutz nennen die Freitextantworten Kündigungen durch Versicherer, insbesondere nach Brandereignissen, hohe Prämien und Selbstbeteiligungen sowie verschärfte Anforderungen an den Brandschutz. Einzelne Anlagen berichteten zudem vom Rückzug von Versicherern aus dem Entsorgungssektor (vgl. Kap. 2.7). Diese Fälle sind unterschiedlich zu bewerten. Als unfreiwillig anzusehen sind Deckungslücken, die auf einer Kündigung, einer Ablehnung des Vertragsabschlusses oder dem Rückzug von Versicherern beruhen. Weniger eindeutig sind Fälle, in denen Versicherungsschutz zwar angeboten wird, die geforderte Prämie oder der geforderte Selbstbehalt aber die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Betriebs übersteigt. Die Umfrage weist insoweit auch auf Entscheidungen hin, den Versicherungsumfang aufgrund der Kostenentwicklung zu reduzieren (vgl. Kap. 2.7). Wo die Grenze zur unternehmerischen Entscheidung verläuft, lässt sich nicht allgemein bestimmen, sodass für diesen Verwendungszweck erheblicher Definitionsbedarf besteht. Ein Fonds könnte solche Fälle anteilig abfedern, sofern der Betrieb ein angemessenes Brandschutzkonzept vorhält und die Nichtverfügbarkeit des Versicherungsschutzes nachgewiesen wird. Andernfalls entstünde ein Anreiz, auf eigene Vorsorge zu verzichten.

Stabilisierung der Versicherbarkeit

Denkbar wäre, Extremrisiken, die am Markt nicht mehr gezeichnet werden, anteilig abzuschern und damit die Voraussetzungen dafür zu verbessern, dass Anlagen überhaupt versicherbar bleiben. Dieser Zweck ist der voraussetzungsreichste der vier. Er greift unmittelbar in das Zusammenspiel von Erst- und Rückversicherung ein und setzt belastbare Kenntnisse über Prämienentwicklung, Deckungsumfänge und Zeichnungsverhalten voraus, die derzeit nicht vorliegen. Vor einer Entscheidung über diesen Verwendungszweck wäre daher eine eigenständige Untersuchung des Versicherungsmarktes erforderlich.

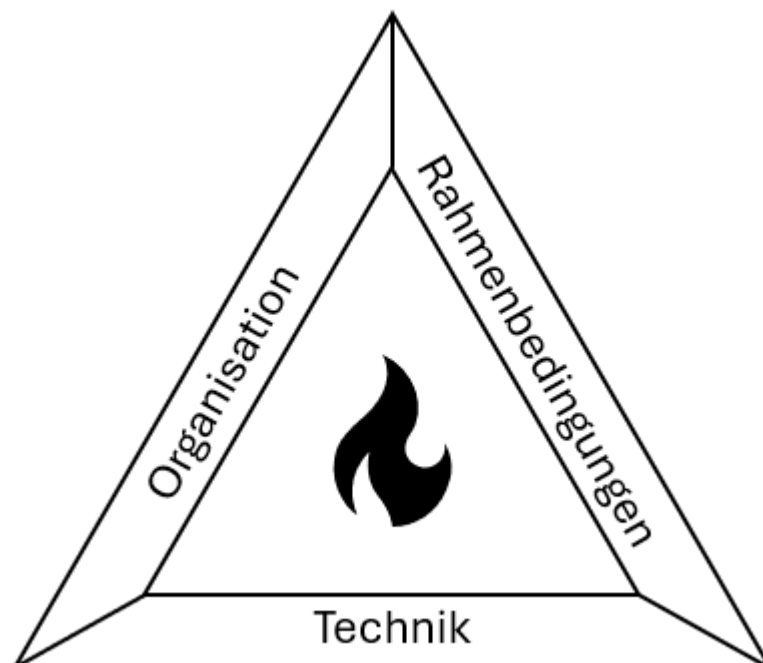
In der Zusammenschau spannen die vier Verwendungszwecke einen Bogen von der Minderung der Ursachen bis zur Bewältigung der Folgen. Der erste Zweck wirkt auf die Entstehung der Fehlwürfe und damit auf die Ursache, die übrigen drei richten sich auf die Folgen der Fehlwürfe, wobei der zweite Zweck auf die Verhütung von Schäden und der dritte und vierte auf die Bewältigung eingetretener Schäden zielen, die sich nicht vermeiden ließen. Eine feste Rangfolge lässt sich daraus nicht ableiten, da sich die Zwecke in ihrer Wirkung ergänzen und der jeweilige Mittelbedarf sehr unterschiedlich ausfällt. Entscheidend ist vielmehr, dass das erforderliche Fondsvolumen unmittelbar davon abhängt, welche Zwecke bedient werden und in welchem Umfang dies geschieht. Eine Beschränkung auf einzelne Zwecke ist dabei ebenso möglich wie eine Kombination. Die Festlegung setzt eine Abschätzung des jeweiligen Mittelbedarfs voraus, die im Rahmen der weiteren Ausgestaltung zu erfolgen hat.

Eine Reihenfolge nach Umsetzbarkeit lässt sich dagegen angeben. Am voraussetzungsärmsten ist die Finanzierung der Aufklärung und der verbrauchernahen Erfassung, da die Maßnahmen bekannt sind und die Mittel an bestehende Träger fließen können. Die Förderung des vorbeugenden Brandschutzes wirkt ebenfalls kurzfristig, setzt aber einen Verteilungsmechanismus voraus, der bestimmt, welche Maßnahmen gefördert werden und wie Betriebe zu behandeln sind, die ihr Schutzniveau bereits aus eigenen Mitteln angehoben haben. Die Abfederung von Schäden bei fehlendem Versicherungsschutz setzt darüber hinaus eine tragfähige Abgrenzung unfreiwilliger Deckungslücken voraus. Die Stabilisierung der Versicherbarkeit setzt eine Untersuchung des Versicherungsmarktes voraus, die derzeit nicht vorliegt. Die beiden zuletzt genannten Zwecke sind damit nicht ausgeschlossen, aber erst nach dieser Klärung zu entscheiden.

7.3 Bewertung und Einordnung

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass zur Reduktion batteriebedingter Brandrisiken ein breites Spektrum an Maßnahmen zur Verfügung steht, das von technischen Systemen über organisatorische Ansätze bis hin zu übergeordneten, rahmengebenden Maßnahmen reicht.

In der Gesamtschau wird deutlich, dass diese Ansätze hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und Einflussmöglichkeiten unterschiedlich zu bewerten sind. Eine nachhaltige Reduktion batteriebedingter Brandrisiken kann nur durch das Zusammenspiel aller Ebenen erreicht werden, wobei die einzelnen Maßnahmen unterschiedliche Rollen innerhalb des Gesamtsystems einnehmen. Die Zusammenhänge zwischen den dargestellten Maßnahmenebenen sind in Form des Brandpräventionsdreiecks in Abbildung 23 dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 23: Brandpräventionsdreieck zur Reduktion batteriebedingter Brandereignisse

Das Brandpräventionsdreieck verdeutlicht, dass technische, organisatorische und übergeordnete Maßnahmen unterschiedliche Ebenen der Brandprävention adressieren. Eine wirkungsvolle Reduktion batteriebedingter Brandrisiken kann nur durch ihr abgestimmtes

Zusammenwirken erreicht werden. Gleichzeitig zeigen die vorangegangenen Analysen, dass diese Ebenen unterschiedlich wirksam in Bezug auf die zugrunde liegenden Ursachen batteriebedingter Brandereignisse sind.

Technische Maßnahmen wirken unmittelbar innerhalb der Entsorgungsanlagen. Sie ermöglichen die Erkennung und Eindämmung von Brandereignissen und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Begrenzung von Schäden. Gleichzeitig zeigen sich klare Grenzen dieser Ansätze. Sie setzen erst nach Auftreten kritischer Zustände an, beispielsweise in Form von Rauchererkennung oder Erkennung einer Temperaturerhöhung. Wenn diese Symptome erkannt werden, ist das thermische Durchgehen der betroffenen Batteriezelle bereits im Gange und kann nicht mehr verhindert werden.

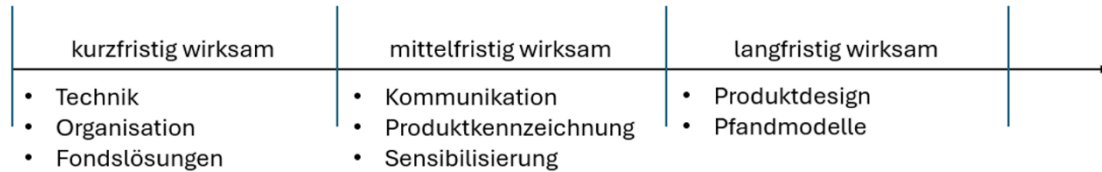
Zudem ist festzustellen, dass eine weitere technische Optimierung in vielen Bereichen mit erheblichem finanziellem und betrieblichem Aufwand verbunden ist. Insbesondere neue, batteriebezogene Technologien wie röntgenbasierte Objekterkennungssysteme erfordern hohe Investitionen und sind bislang nur in Form von Pilotanlagen verfügbar. Eine flächendeckende Umsetzung ist daher derzeit sowohl technisch als auch wirtschaftlich nur sehr beschränkt realisierbar.

Organisatorische und betriebliche Maßnahmen stellen eine notwendige Ergänzung dar und tragen wesentlich dazu bei, bestehende Systeme wirksam in den Anlagenalltag zu integrieren. Sie verbessern die Reaktionsfähigkeit im Ereignisfall und unterstützen die frühzeitige Erkennung kritischer Situationen. Gleichzeitig handelt es sich hierbei um etablierte Instrumente, die kontinuierlich weiterentwickelt werden, jedoch keine grundlegende Lösung für das zugrunde liegende Problem darstellen.

Die Analyse legt nahe, dass die wesentlichen Ursachen batteriebedingter Brandrisiken außerhalb der Entsorgungsanlagen entstehen. Fehlwürfe als zentrale Eintrittsvoraussetzung entstehen vor Eintritt in den Entsorgungsprozess und liegen damit außerhalb des direkten Einflussbereichs der Entsorgungswirtschaft. Maßnahmen im Bereich der Kommunikation, Regulierung und ökonomischen Steuerung setzen genau an dieser Stelle an. Sie bieten das Potenzial, die Ursachen von Fehlwürfen gezielt zu adressieren, etwa durch verbesserte Sammel- und Rücknahmesysteme, regulatorische Vorgaben zum Produktdesign oder eine klarere Kennzeichnung batteriehaltiger Produkte. So könnten beispielsweise Anforderungen an die Entnehmbarkeit von Gerätebatterien oder verbesserte Kennzeichnungspflichten dazu beitragen, die Identifikation und sachgerechte Entsorgung batteriehaltiger Produkte zu erleichtern. Ergänzend können Informations- und Sensibilisierungskampagnen das Bewusstsein für die mit LIB verbundenen Gefahren sowie für deren ordnungsgemäße Entsorgung stärken.

Die Bewertung der Instrumente führt damit auf eine Lücke, die keines von ihnen schließt. Die Ursache der Brände entsteht vor der Anlage, die Kosten entstehen in ihr, und die Folgen des Misslingens der getrennten Erfassung werden gegenwärtig nicht von den Herstellern getragen. Keines der bestehenden Instrumente deckt diese Folgen ab. Aus gutachterlicher Sicht ist ein herstellerfinanzierter Präventions- und Ausgleichsfonds, wie er in Abschnitt 7.2.2 beschrieben wurde, hierfür geeignet. Eine gleichwertige Alternative ist unter den übrigen betrachteten Instrumenten nicht erkennbar, da ein Pfand zum Stand dieser Studie nicht zur Verfügung steht. Der Fonds tritt nicht an die Stelle der Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlwürfen, sondern kann diese mitfinanzieren und zugleich die Folgen derjenigen Fehlwürfe tragen, die sich nicht vermeiden lassen. Die Entscheidung über eine Einführung obliegt dem Gesetzgeber.

Neben der unterschiedlichen Wirksamkeit weisen die dargestellten Maßnahmen auch unterschiedliche Zeitpunkte auf, ab denen sie wirksam werden. In Abbildung 24 ist ein Zeitstrahl abgebildet, der die Zeitpunkte darstellt, ab welchen Maßnahmen wirksam werden.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 24: Zeitliche Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion batteriebedingter Brandrisiken

Der Zeitstrahl ordnet die Maßnahmen danach, ab wann sie wirken. Technische und organisatorische Maßnahmen in den Anlagen wirken bereits heute, und ein Präventions- und Ausgleichsfonds könnte sie unmittelbar unterstützen. Maßnahmen auf System- und Rahmenebene, etwa zur Produktkennzeichnung, zum Produktdesign oder zur Sensibilisierung der Bevölkerung, wirken erst später. Sie haben dafür den größeren Hebel, weil sie an der Entstehung der Fehlwürfe ansetzen und nicht erst am Brandereignis.

Für die Praxis ergibt sich daraus ein Maßnahmenbündel mit zwei Zeithorizonten. Kurzfristig geht es darum, Brände in den Anlagen früh zu erkennen, ihre Ausbreitung zu begrenzen und die dafür erforderlichen Investitionen zu tragen. Langfristig geht es darum, dass weniger Batterien in ungeeignete Abfallströme gelangen, was Produktgestaltung, Kennzeichnung, Rücknahmestrukturen und die Ansprache der Verbraucherinnen und Verbraucher betrifft. Beide Teile bedingen einander. Ohne den langfristigen Teil bleibt das Risiko bestehen, auch wenn die Technik in den Anlagen weiter verbessert wird. Ohne den kurzfristigen Teil bleiben die Betriebe bis zum Wirksamwerden der langfristigen Maßnahmen ohne Entlastung. Der Präventions- und Ausgleichsfonds hat das Potenzial, beide Seiten zu verbinden, weil er Mittel sowohl für die Aufklärung und die Verbesserung der Erfassung als auch für den vorbeugenden Brandschutz und die Bewältigung eingetretener Schäden bereitstellen kann. Seine Ausgestaltung ist im Einzelnen noch zu klären, seine Funktion innerhalb des Maßnahmenbündels ergibt sich aus dieser Doppelrolle.

Im Einzelnen wären vor einer Entscheidung die folgenden Fragen zu klären, die in Abschnitt 7.2.2 näher dargestellt sind:

- der Mittelbedarf der einzelnen Verwendungszwecke, aus dem sich das Volumen des Instruments erst ergibt,
- der Maßstab der Einzahlungen und die Frage, wie stark er an das Fehlwurfrisiko einzelner Produktgruppen anknüpft,
- die Reichweite des Instruments gegenüber nicht registrierten Herstellern,
- die finanzverfassungsrechtliche und kartellrechtliche Zulässigkeit einer herstellerefinanzierten Abgabe, deren Prüfung eine eigenständige rechtliche Begutachtung erfordert und nicht Gegenstand dieser Studie war,
- der Fördermaßstab beim vorbeugenden Brandschutz und die Behandlung von Betrieben, die ihr Schutzniveau bereits aus eigenen Mitteln angehoben haben,
- die Abgrenzung unfreiwilliger Deckungslücken von unternehmerischen Entscheidungen über den Umfang des Versicherungsschutzes.

8 Fazit und Ausblick

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Brandgeschehen in der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft hat in den vergangenen fünf Jahren stark zugenommen, es verursacht erhebliche volkswirtschaftliche Schäden, und seine wesentliche Ursache entsteht nicht in den Anlagen, sondern vor ihnen. Diese drei Ergebnisse tragen die Schlussfolgerung dieses Kapitels.

Ausgangspunkt ist eine Entwicklung, die außerhalb der Entsorgungswirtschaft liegt. Lithiumbasierte Batterien haben sich als dominierendes Batteriesystem etabliert und stecken in einer wachsenden Zahl von Alltagsprodukten, während die getrennte Erfassung von Altbatterien seit Jahren auf vergleichsweise konstantem Niveau verharrt. Allein für die Jahre 2020 bis 2023 lässt sich aus den Daten des Bundesumweltministeriums eine kumulierte Menge von über 130.000 Tonnen Batterien ableiten, die nicht über die regulären Sammelstrukturen erfasst wurden. Ein Teil dieser Menge befindet sich noch im Umlauf, ein Teil gelangt in Abfallströme, für die er nicht vorgesehen ist. Verstärkt wird das durch Produktgruppen mit kurzer Nutzungsdauer und hohen Stückzahlen sowie durch fest verbaute Akkumulatoren, die für Verbrauchende nicht als Batterie erkennbar sind (vgl. Kap. 3.2, 3.3).

Warum diese Fehlwürfe sicherheitsrelevant sind, ergibt sich aus den Eigenschaften der Batterien. Sie speichern hohe Energie in brennbarer Umgebung, und bereits eine mechanische Beschädigung kann einen sich selbst verstärkenden Prozess auslösen, der von außen nicht mehr zu stoppen ist. Für die Abfallwirtschaft ist dabei zweierlei entscheidend. Die auslösende Einwirkung muss nicht groß sein, und die Reaktion muss der Beschädigung nicht unmittelbar folgen, sondern kann erst Stunden oder Tage später eintreten. Batterien wirken in mechanisch belasteten Prozessstufen damit nicht als gewöhnliche Brandlast, sondern als aktive Zündquelle, deren Beitrag im Nachhinein häufig nicht mehr nachweisbar ist (vgl. Kap. 3.1).

Wie stark sich das im Anlagenbetrieb niederschlägt, zeigt die Verbändeumfrage, in die Antworten von 181 Anlagenbetreibern eingegangen sind. Die gefährlichen Hotspot-Ereignisse sind innerhalb von fünf Jahren auf rund das Zweieinhalbfache gestiegen, die Brände haben sich nahezu verdreifacht, und der Anteil der betroffenen Anlagen wuchs von rund einem Drittel auf 54 Prozent bei den gefährlichen Hotspot-Ereignissen und 62 Prozent bei den Bränden. Besonders betroffen sind Sortier- und Behandlungsanlagen für Leichtverpackungen, Restabfälle und Gewerbeabfälle. Als Ursache dominieren nach Einschätzung der Betreiber lithiumbasierte Batteriesysteme deutlich (vgl. Kap. 2.1, 2.3, 2.4). Alle Angaben beziehen sich allein auf diese 181 Anlagen. Die Teilnahme war freiwillig, die Stichprobe ist nicht repräsentativ, und es wird nicht auf den Anlagenbestand in Deutschland hochgerechnet. Weil kleinere Ereignisse zwischen den Anlagen unterschiedlich erfasst werden, beschreiben die Zahlen eine untere Grenze, und ein Teil des Anstiegs könnte auch auf ein verändertes Meldeverhalten zurückgehen (vgl. Kap. 2.1, 2.3, 6.1.6).

Für die Bewertung von Schutzmaßnahmen ist der Entstehungsort maßgeblich. Der häufigste Brandentstehungsort war im Jahr 2025 mit 40 Prozent der Nennungen der Bereich Anlieferung, Lager und Bunker. Zusammen mit Fahrzeugen, die für 8 Prozent der Befragten den überwiegenden Entstehungsort darstellten, lag der maßgebliche Entstehungsort damit in nahezu der Hälfte der Anlagen vor dem ersten Aufbereitungsaggregat. Unter den Aggregaten selbst haben Zerkleinerer die größte Bedeutung. Zwischen den besonders betroffenen Anlagenarten unterscheiden sich die Entstehungsorte kaum, obwohl sie unterschiedliche Abfallströme behandeln. Das spricht dafür, dass nicht die Anlagenart, sondern die mechanische Beanspruchung grundsätzlich ausschlaggebend ist, und es begrenzt die

Wirkung von Erkennungstechnik, die erst innerhalb der Aufbereitung ansetzt (vgl. Kap. 2.4, 5.3).

Den größten Teil der Ereignisse bewältigen die Anlagen ohne externe Hilfe, was das Ergebnis eines erheblichen eigenen Aufwands ist. Knapp die Hälfte der Angaben nennt Melde- und Erkennungstechnik als überwiegenden Weg der Brandentdeckung, ähnlich viele das Betriebspersonal, und eine Ausbreitung über die Zündquelle hinaus wird in den meisten Fällen verhindert. Die Betriebe haben ihren Brandschutz dafür technisch, organisatorisch und personell nachgerüstet. Diese Eigenbewältigung stößt jedoch an Grenzen. Der Anteil der Brände, bei denen die Feuerwehr hinzugezogen werden muss, bleibt über den Betrachtungszeitraum weitgehend konstant, wegen der steigenden Zahl der Brände hat sich die absolute Zahl der Feuerwehreinsätze jedoch mehr als verdoppelt. Mehr als die Hälfte der Anlagen mit entsprechenden Angaben war zudem von Betriebseinschränkungen, Unterbrechungen oder Einstellungen betroffen (vgl. Kap. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7).

Der Zusammenhang zwischen der Präsenz lithiumbasierter Batterien im Abfallstrom und dem Brandgeschehen ist qualitativ begründet und nicht statistisch nachgewiesen. Die Umfrage weist lithiumbasierte Batterien als dominierende Brandursache aus, gestützt auf die Einschätzung der Anlagenbetreiber für die von ihnen gemeldeten Ereignisse. Ein rechnerischer Zusammenhang zwischen der Menge der Batterien im Abfallstrom und der Zahl der Brände lässt sich daraus nicht ableiten, weil für beide Größen keine über die Jahre vergleichbaren Zeitreihen vorliegen. Die Aussagekraft ergibt sich stattdessen aus der Übereinstimmung unabhängiger Beobachtungen. Studien und Praxisberichte aus mehreren europäischen Ländern, aus den Vereinigten Staaten und aus Japan beschreiben denselben Verlauf und dieselben Ursachenmuster, und für Österreich liegt eine über Jahre aufgebaute Datenbasis vor. In nahezu allen ausgewerteten Studien werden Fehlwürfe als Eintrittsvoraussetzung und mechanische Beanspruchung als maßgeblicher Auslösemechanismus beschrieben, und durchgängig wird darauf hingewiesen, dass die tatsächliche Zahl der Ereignisse über der offiziell erfassten liegt (vgl. Kap. 4, 5.1, 5.2). Das in Abschnitt 5.4 entwickelte Ursachenmodell führt diese Befunde zusammen. Fehlwürfe bilden darin die notwendige Eintrittsvoraussetzung und mechanische Beanspruchung den unmittelbaren Auslöser, während Prozess-, Organisations- und Umweltfaktoren Wahrscheinlichkeit, Zeitpunkt und Ausmaß der Brandentstehung beeinflussen. Das Brandrisiko erweist sich damit weniger als Eigenschaft einzelner Anlagen denn als Folge dessen, was in sie hineingelangt.

Wirtschaftlich schlagen die Brandereignisse dieser 181 Anlagen für die Jahre 2021 bis 2025 mit rund 250 bis knapp 400 Millionen Euro zu Buche. Auch diese Summe ist nicht auf Deutschland hochgerechnet. Die Spannweite folgt aus gesetzten Kostenannahmen, insbesondere für die größten Schadensfälle, und die Summe umfasst alle Brände, nicht nur die batteriebedingten. Enthalten sind direkte Schäden an Maschinen und Gebäuden, Betriebsunterbrechungen, Schadensbeseitigung und Dekontamination, die Beauftragung Dritter, Feuerwehreinsätze und Folgewirkungen in der nachgelagerten Wertschöpfungskette. Nicht enthalten sind Umwelt-, Personen- und Reputationsschäden sowie versicherungsbezogene Folgekosten (vgl. Kap. 6.1). Kennzeichnend ist dabei weniger die Höhe als die Verteilung. Die meisten Brände bleiben ohne nennenswerten Schaden, die Summe entsteht in wenigen Großereignissen, und die Betroffenheit wächst gleichzeitig in der Breite. Da die Stichprobe nur einen Teil der Branche abbildet, dürften die tatsächlichen Schäden höher liegen, ohne dass sich das belastbar bestimmen lässt (vgl. Kap. 6.1.6).

Auf die Versicherungsmärkte lässt sich diese Last nur teilweise übertragen. Die Mehrheit der befragten Anlagen verfügt über eine Feuerversicherung, ein Teil hat keinen entsprechenden Schutz, und als Gründe werden Kündigungen nach Brandereignissen, hohe Prämien und Selbstbeteiligungen sowie verschärfte Anforderungen an den Brandschutz

genannt. Betriebe, die ihre Versicherungsabdeckung reduziert haben, nennen dafür überwiegend gestiegene Prämien und Selbstbeteiligungen, Brandereignisse in der eigenen Anlage und verschärfte Anforderungen der Versicherer. Ein eindeutiger Trend zu sinkenden Deckungsgraden lässt sich aus den Daten nicht ableiten. Eine grundsätzliche Nicht-Versicherbarkeit der Branche belegen die Ergebnisse nicht. Sie zeigen aber, dass die Frage weniger lautet, ob Versicherungsschutz zu haben ist, als unter welchen Bedingungen und zu welchen Kosten. Ein einheitliches angemessenes Schutzniveau lässt sich dabei nicht bestimmen, weil auch anerkannte Empfehlungen wie die VdS 2517 nur einen Orientierungsrahmen bieten (vgl. Kap. 2.7, 6.3).

Für die kommenden Jahre ist mit weiter steigenden Mengen lithiumhaltiger Batterien im Abfallstrom zu rechnen, weil das heutige Marktwachstum erst zeitverzögert entsorgungsrelevant wird und zunehmend auch größere, energiereichere Systeme das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Diese Mengenentwicklung ist aus heutiger Sicht weitgehend vorgegeben. Das Brand- und Schadensgeschehen, das aus ihr folgt, ist es nicht. Es hängt davon ab, wie viele Batterien in ungeeignete Abfallströme gelangen, wie früh kritische Situationen erkannt werden und wie weit sich Ereignisse eindämmen lassen. Die in Abschnitt 6.2 entwickelten qualitativen Szenarien bis 2030 spannen daher eine weite Bandbreite auf, von einem deutlichen Anstieg der Brand- und Schadensereignisse bis zu einem deutlichen Rückgang. Die Pfade unterscheiden sich nicht in der Mengenentwicklung, die allen gemeinsam ist, sondern darin, wie weit Fehlwürfe vermieden und verbleibende Ereignisse beherrscht werden (vgl. Kap. 6.2).

Daraus folgt zweierlei. Erstens kann Prävention nicht allein Aufgabe der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft sein. Die Branche kann Risiken in ihren Anlagen senken, Ereignisse früher erkennen und Schäden begrenzen. Sie entscheidet aber nicht darüber, welche Produkte in Verkehr gelangen, wie sie gestaltet sind, wie über ihre Entsorgung informiert wird und wie erreichbar Rückgabemöglichkeiten sind. Zweitens werden batteriebedingte Brandereignisse auch unter günstigen Annahmen nicht vollständig vermeidbar sein, weil selbst bei bestmöglicher Erfassung ein Anteil fehlgeorfener Batterien in den gemischten Abfallströmen verbleibt. Die Frage ist deshalb nicht, ob weiterhin Schäden auftreten, sondern in welchem Umfang und wer sie trägt (vgl. Kap. 6.2.5).

8.2 Schlussfolgerung

Der anlagenseitige Brandschutz stößt damit an eine Grenze, die sich technisch nur begrenzt verschieben lässt. Detektionssysteme reagieren auf Rauchentwicklung, Temperaturanstieg oder Gasfreisetzung und damit auf die Symptome eines bereits laufenden Vorgangs. Sind diese erkennbar, ist das thermische Durchgehen der betroffenen Batteriezelle im Gange und nicht mehr zu verhindern. Systeme, die Batterien vor der Aufbereitung erkennen und ausschleusen, greifen die Ursache direkter, sind aber teuer, bislang nur in Pilotanwendungen erprobt und decken den Bereich vor dem ersten Aggregat nicht ab, den nahezu die Hälfte der Anlagen als maßgeblichen Brandentstehungsort nennt. Mechanische Belastungen ließen sich nur um den Preis erheblicher Einschnitte in Durchsatz und Betriebsablauf senken. Die Umfrage zeigt zugleich, dass Brände etwa ebenso häufig zuerst vom Betriebspersonal wie durch technische Systeme entdeckt werden. Organisatorische Maßnahmen bleiben daher neben der Technik ein tragendes Element (vgl. Kap. 2.4, 7.1).

Wirksamer, aber langsamer sind die Ansätze vor der Anlage. Aufklärung und bequem erreichbare Rückgabemöglichkeiten senken Fehlwürfe nur, wenn sie dauerhaft betrieben und finanziert werden. Produktbezogene Vorgaben wie die Pflicht zur Entnehmbarkeit von Gerätebatterien greifen erst, wenn sich der Gerätebestand erneuert hat. Ein Pfand wäre das direkteste Mittel, ist derzeit aber nicht geltendes Recht. Die Bundesregierung hat 2024

gegen seine Einführung entschieden und dies mit der Vielzahl der Batteriearten und dem organisatorischen Aufwand begründet. Das seit Oktober 2025 geltende Batterierecht enthält keine Pfandpflicht. Zum Stand dieser Studie dauern die Prüfaufträge von Bundestag, Bundesrat und Europäischer Kommission an (vgl. Kap. 8.3). Alle drei Ansätze setzen an der Ursache an. Keiner von ihnen wirkt kurzfristig, und keiner verhindert Fehlwürfe vollständig (vgl. Kap. 7.2).

Damit bleibt eine Lücke, die keines dieser Instrumente schließt. Die getrennte Erfassung von Altbatterien und batteriebetriebenen Altgeräten ist Herstellerpflicht, und sie gelingt nur teilweise. Die Folgen dieses misslungenen Teils, also Brände in nachgelagerten Anlagen, werden gegenwärtig nicht von den Herstellern getragen, sondern von den betroffenen Anlagen und ihren Versicherern. Menge und Gestaltung der Produkte werden von Akteuren bestimmt, die die Folgen nicht tragen, während die Anlagenbetreiber, bei denen die Folgen anfallen, auf die Ursache nur begrenzten Einfluss haben. Diese Lücke schließt sich nicht mit der Zeit, weil ein Restanteil an Fehlwürfen dauerhaft bestehen bleibt (vgl. Kap. 7.2.2).

Damit stellt sich die Frage, wie die Folgen dieses Rests verteilt werden, ohne die Anstrengungen an der Ursache zu ersetzen. Als geeignet erscheint hierfür aus gutachterlicher Sicht ein von den Herstellern finanzierter Präventions- und Ausgleichsfonds. Er stützt sich auf die Produktverantwortung, die dem Inverkehrbringer die Abfallphase seines Produkts zuweist und dafür nicht auf das Verhalten im Einzelfall abstellt. Anders als ein Pfand benötigt er keine Kennzeichnung des Pfandguts, keine Rückgabe an der Verkaufsstelle und kein Clearing, sondern kann an Registrierung und Mengenmeldung anknüpfen, die ohnehin bestehen. Unter den in dieser Studie betrachteten Instrumenten ist keine gleichwertige Alternative erkennbar, da ein Pfand nicht zur Verfügung steht (vgl. Kap. 7.2.2).

Über die Verwendung der Mittel ist damit noch nicht entschieden. Vier Zwecke kommen in Betracht, von der dauerhaften Finanzierung der Aufklärung und der verbrauchernahen Erfassung über die Förderung des vorbeugenden Brandschutzes bis zur Abfederung von Schäden ohne Versicherungsschutz und zur Stabilisierung der Versicherbarkeit. Sie ergänzen sich, eine Rangfolge ergibt sich daraus nicht, und das Volumen des Fonds folgt erst aus der Entscheidung, welche Zwecke er bedient (vgl. Kap. 7.2.2).

Für die zeitliche Einordnung ist die unterschiedliche Wirkungsdauer der Instrumente maßgeblich. Ein Teil der ursachenseitigen Maßnahmen ist rechtlich bereits verbindlich, etwa die schrittweise steigenden Sammelquoten für Geräte-Altbatterien und die Anforderung an die Entnehmbarkeit von Gerätebatterien. Andere, etwa ein Pfand oder eine verpflichtende Warnkennzeichnung, sind nicht beschlossen. Auch die verbindlichen Vorgaben senken das Fehlwurfaufkommen erst über mehrere Jahre, weil sie sich am Produktzyklus orientieren. Ein Fonds hätte demgegenüber Aufgaben, die dauerhaft anfallen, etwa die Finanzierung einer kontinuierlichen Aufklärung und einer verbrauchernahen Erfassung. Andere Aufgaben, insbesondere die Abfederung nicht abgesicherter Schäden, hängen vom Schadensgeschehen und von der Entwicklung des Versicherungsmarktes ab. Die Schwerpunkte der Mittelverwendung wären daher periodisch zu überprüfen und könnten sich im Zeitverlauf verschieben (vgl. Kap. 7.2, 7.3).

Ohne wirksame Gegenmaßnahmen ist mit einer schrittweisen Verschärfung der Lage zu rechnen. Mit der Menge der Batterien im Abfallstrom steigt die Zahl der Ereignisse, mit ihr das Schadenaufkommen, und damit verschlechtern sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Versicherungsschutz der Branche. Erste Anzeichen sind bereits dokumentiert. Einzelne Anlagen berichten von Kündigungen nach Brandereignissen und vom Rückzug von Versicherern aus dem Entsorgungssektor, ein Teil der befragten Anlagen verfügt über keinen Versicherungsschutz, und Betriebseinstellungen infolge von Bränden

treten bereits heute auf und betreffen dann häufig erhebliche Zeiträume. Diese Entwicklung ist jedoch nicht vorgezeichnet. Die in Abschnitt 6.2 beschriebenen Pfade reichen bis zu einem deutlichen Rückgang der Brand- und Schadensereignisse. Ein solcher Verlauf setzt allerdings voraus, dass Fehlwürfe strukturell verringert und verbleibende Ereignisse beherrscht werden, ohne entsprechende Maßnahmen stellt er sich nicht ein (vgl. Kap. 2.6, 2.7, 6.2, 6.3).

8.3 Ausblick und weiterer Untersuchungsbedarf

Über die in Abschnitt 7.3 benannten Ausgestaltungsfragen hinaus bleiben Punkte offen, die sich nicht durch eine Entscheidung klären lassen, sondern eine eigene Untersuchung erfordern. Eine Verbesserung der Datenbasis ist nötig, um den Verwendungszweck „Stabilisierung der Versicherbarkeit“ im Fondsmodell besser umsetzen zu können. Erhebungen zur Wahrnehmung der Marktlage durch Versicherungsmakler liegen vor (vgl. Kap. 6.3), das Zeichnungsverhalten der Versicherer sowie die Entwicklung von Prämien und Deckungsumfängen müssen aber in einer größeren Detailtiefe untersucht werden. Eine eigenständige Untersuchung des Versicherungsmarktes wird daher als Forschungsbedarf festgehalten (vgl. Kap. 6.3, 7.2).

Unabhängig von der Frage einer finanziellen Absicherung ließe sich die Transparenz der versicherungsseitigen Anforderungen erhöhen. Anerkannte Empfehlungen wie die VdS 2517 bieten keinen allgemeingültigen Standard, sondern einen Orientierungsrahmen, dessen konkrete Ausgestaltung vom Risikoprofil der jeweiligen Anlage abhängt, und Umfang wie Ausgestaltung der Schutzsysteme werden im Zusammenspiel von betrieblichen Anforderungen, objektspezifischen Risiken, behördlichen Vorgaben und den Erwartungen der Versicherer festgelegt (vgl. Kap. 6.3). Eine gemeinsame Weiterentwicklung solcher Orientierungsrahmen durch Versicherungs- und Entsorgungswirtschaft wäre zu prüfen. Sie könnte zugleich die Grundlage für ein nachvollziehbares Bewertungsverfahren im vorbeugenden Brandschutz schaffen, an dem es bislang fehlt (vgl. Kap. 7.2.2). Ob ein branchenweit höheres Schutzniveau zu niedrigeren Versicherungsbeiträgen führt, ist offen. Eine Einbeziehung der Versicherungswirtschaft in die Ausgestaltung erscheint daher zweckmäßig.

Damit die Wirkung solcher Maßnahmen überhaupt messbar wird, wäre außerdem eine bundesweit einheitliche Erfassung von Brandereignissen einzuführen, einschließlich einer verbindlichen Definition, was als batteriebedingter Brand gilt. Bislang fehlt sie, sodass sich weder das Ausmaß des Geschehens amtlich belegen noch der Erfolg künftiger Maßnahmen überprüfen lässt (vgl. Kap. 4.4).

Der rechtliche Rahmen ist zugleich in Bewegung. Der Deutsche Bundestag hat die Bundesregierung aufgefordert, innerhalb eines Jahres die nationale Etablierung eines Pfandsystems für lithiumhaltige Batterien zu prüfen und die Diskussion auf europäischer Ebene eng zu begleiten. Diese Frist ist am 11. September 2026 abgelaufen, ein Ergebnis wurde bis zum Bearbeitungsstand dieser Studie nicht veröffentlicht. Der Bundesrat erwartet ebenfalls die Prüfung einer Pfandlösung für bestimmte Lithium-Ionen-Batterien, von denen eine Brandgefahr ausgeht. Die Europäische Kommission hat die Durchführbarkeit und die potenziellen Vorteile von Pfandsystemen bis zum 31. Dezember 2027 zu bewerten. Die Bewertung der Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte liegt vor und hält eine Überarbeitung für erforderlich. Der Legislativvorschlag soll im Rahmen des Circular Economy Act folgen. Ob dabei die Beteiligung der Hersteller an den Kosten des Brandschutzes und an Brandschäden geregelt wird, ist offen (vgl. Kap. 7.2.2). Eine nationale Regelung wäre daher von vornherein so anzulegen, dass sie sich an eine spätere europäische Lösung anpassen lässt.

Die Befunde dieser Studie fügen sich zu einem konsistenten Bild. Das batteriebedingte Brandgeschehen wächst, das Brandgeschehen insgesamt verursacht erhebliche volkswirtschaftliche Schäden, und es trifft eine Branche, die die maßgebliche Ursache nicht kontrolliert. Die Instrumente, die an dieser Ursache ansetzen, wirken erst mittel- bis langfristig, und sie werden Fehlwürfe nicht vollständig verhindern. Es bleibt daher dauerhaft ein Anteil an Fehlwürfen, dessen Folgen zu verteilen sind, und zusätzlich ein Zeitraum, in dem die ursachenseitigen Instrumente, soweit sie beschlossen und finanziert werden, noch nicht wirken. Ein herstellerfinanzierter Präventions- und Ausgleichsfonds ist aus gutachterlicher Sicht ein hierfür geeignetes Instrument. Ob und in welcher Form er eingeführt wird, ist eine politische Entscheidung. Diese Studie stellt dafür eine fachliche Grundlage bereit und benennt die Fragen, die vor einer Entscheidung zu klären sind.

9 Literaturverzeichnis

- Abfallratgeber Bayern. (o.D.). *Brandgefahr durch alte Lithiumbatterien und ausgediente Elektrogeräte mit Lithium-Ionen-Akkus*. Abgerufen am 20. April 2026 von Abfallratgeber Bayern - Website: https://www.abfallratgeber.bayern.de/haushalte/abfallentsorgung/lithiumbatterien_brandgefahr/index.htm
- Anger, L., Hospital, R., & Osselin, E. (2024). *Hazardous nature of Lithium batteries in household and similar waste management - analysis and recommendations*. Lyon: Record.
- Artner, F. (2022). *Untersuchung von Brandereignissen in der österreichischen Abfall-, Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft im Zuge eines langfristigen Monitorings*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Becker, G., Santjer, M., Hannes, L., Bauer, S. K., & Fried, L. (2025). *Untersuchung der Wirksamkeit von Abfallberatung, Kontroll- und Sanktionsmechanismen und anderen Maßnahmen zur Erhöhung von Menge, Anteil und Sortenreinheit getrennt gesammelter Bioabfälle in verschiedenen Siedlungsstrukturen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, UBA Texte 104/2025.
- Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse. (28. Januar 2025). *Lithium-Ionen-Batterien*. Abgerufen am 24. April 2026 von BG-ETEM-Website: <https://www.bgetem.de/arbeitsicherheit-gesundheitsschutz/themen-von-a-z-1/gefaehrungen-durch-arbeitsstoffe/brand-und-explosionsschutz/lithium-ionen-batterien>
- Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation. (o.D.). *Lithium-Metall- und Lithium-Ionen-Batterien*. Abgerufen am 24. April 2026 von BG-Verkehr-Website: <https://www.bg-verkehr.de/arbeitsicherheit-gesundheit/themen/gefahrgut/unfallgefahren/lithiumbatterien>
- Brüning, R., Wolf, J., Piehl, F., Löhle, S., Schmiedel, U., & Kerkhoff, M. (2023). *Prüfung der Einführung einer Pfandpflicht für lithiumhaltige Batterien und Akkumulatoren*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, UBA Texte 60/2023.
- Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (2026a). *Mehr Kreislaufwirtschaft stärkt Industrie und Umweltschutz in Deutschland*. Berlin: BMUKN, Pressemitteilung vom 03.06.2026.
- Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (2026b). *Referentenentwurf eines Gesetzes zur Änderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes*. Berlin: BMUKN, Bearbeitungsstand vom 26.06.2026.
- Bundesumweltministerium. (25. Juli 2025). *Altbatterien*. Abgerufen am 20. April 2026 von Bundesumweltministerium - Website: <https://www.bundesumweltministerium.de/WS2741>
- Bundesverband Deutscher Versicherungsmakler e.V. (2025). *Deckungsnotstand in der Gewerbe- und Industrieversicherung: BDVM-Studie zeigt gravierende Kapazitätsengpässe*. BDVM, Presseinformation vom 22.05.2025.

CEWEP, epro, EPSU, EuRIC, Expra, FEAD, FERVER, mwe. (2025). *Joint call for EU action to protect waste management from surging lithium battery fires*. Düsseldorf: CEWEP.

Date, W. (1. April 2019). *Waste industry looks to tackle Lithium-Ion battery fires*. Abgerufen am 28. April 2026 von letsrecycle-Website: <https://www.letsrecycle.com/news/waste-industry-looks-to-tackle-lithium-ion-battery-fires/>

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2020). *Hinweise zum betrieblichen Brandschutz bei der Lagerung und Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus*. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2024). *Brandschutz beim Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien*. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.

Deutscher Feuerwehrverband; AGBF bund. (2018). *Risikoeinschätzung Lithium-Ionen Speichermedien*. München: Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der deutschen Feuerwehren.

Dornbusch, H., Hannes, L., Santjer, M., Böhm, C., Würst, S., Zwisele, B., . . . Kanthak, M. (2020). *Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

EuRIC. (2021). Lithium battery fires in WEEE - An urgent problem. *The Innovation Platform ISSUE 7*, 126-130.

euroconsumers. (5. April 2024). *Small electricals, big e-waste: consumers want easier ways to recycle batteries and small tech*. Abgerufen am 9. April 2026 von euroconsumers Website: <https://www.euroconsumers.org/small-electricals-big-e-waste-consumers-want-easier-ways-to-recycle-batteries-and-small-tech/>

Europäische Kommission. (2025a). *Commission Staff Working Document: Evaluation of Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Brüssel: Europäische Kommission, SWD(2025) 184 final vom 02.07.2025.

Europäische Kommission. (2025b). *New evaluation looks at how to improve WEEE Directive*. Abgerufen am 16. September 2026 von environment.ec.europa.eu: https://environment.ec.europa.eu/news/new-evaluation-looks-how-improve-weee-directive-2025-07-02_en

Eurostat. (2025). *Waste statistics - recycling of batteries and accumulators*. Abgerufen am 29. April 2026 von eurostat Website: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_recycling_of_batteries_and_accumulators#Sales_and_collection_of_portable_batteries_and_accumulators

EUWID. (2025a). Der Anstieg von Batteriebränden gefährdet die Abfallwirtschaft in Europa. *EUWID Recycling und Entsorgung* 22, 9.

EUWID. (2025b). KI-Technologie senkt Brandrisiko bei Korn Recycling. *EUWID Recycling und Entsorgung* 34, 7.

- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (2025). *VdS 2517: Sortierung, Aufbereitung und Lagerung von Siedlungsabfällen und brennbaren Sekundärrohstoffen – Hinweise für den Brandschutz*. Köln: VdS Schadenverhütung GmbH, Ausgabe 2025-03.
- Goertz, R., Hagemann, P., Henseleit, M., Kahlhöfer, J., Luttrup, M., Marzin, C., . . . Komp, J. (2016). *Brandereignisse in Abfallbehandlungsanlagen - Abschlussbericht und Schlussfolgerungen der Landesregierung*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.
- Grassauer, T. (2022). *Risk assessment on fire hazards in the collection of waste portable batteries in Austria*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Gros, M., & Coi, G. (29. August 2024). *Electric toothbrushes and light-up sneakers are setting France on fire*. Abgerufen am 21. April 2026 von Politico-Website: <https://www.politico.eu/article/electric-toothbrush-light-up-sneakers-france-household-waste-fires-studies-product/>
- Hallegatte, S., & Przyluski, V. (2010). *The economics of natural disasters: concepts and methods*. Washington, D.C.: World Bank, Policy Research Working Paper 5507.
- Kellermann, G. (2024). *Faktenblatt: Wachstumsmarkt Batterien 2023*. Frankfurt am Main: Verband der Elektro- und Digitalindustrie.
- Kestler, T., & Landgraf, M. (2025). *Weniger Batteriebrände in Recyclinganlagen dank sensorbasierter Abfallsortierung*. Erlangen: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS.
- Komp, J. (2025). *Brandereignisse in nordrhein-westfälischen Abfallentsorgungsanlagen (Erfassung & Auswertung 2024)*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK), Fachbereich 72, unveröffentlichter Bericht, Stand 31.07.2025.
- Landbell Group (SagisEPR). (2024). *The collection of waste portable batteries in Europe*. Brüssel: European Portable Battery Association.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Review article „Assessment of economic flood damage“. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(8), S. 1697-1724.
- Metz, B., & Fischer, T. (13. Juni 2024). *Ambitionslose Sammelquote für Batterien nur haarscharf erfüllt: Deutsche Umwelthilfe fordert anspruchsvolle Sammelziele und Pfand auf Lithium-Ionen-Akkus*. Abgerufen am 23. April 2026 von Presseportal-Website: <https://www.presseportal.de/pm/22521/5800399>
- Meyer, I., & Sommer, M. (2022). *Recycling von Lithium-Ionen-Batterien - Klimaschutz, Ressourcenschonung und wirtschaftliche Effekte*. Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Mikalsen, R., Lönnermark, A., Glansberg, K., McNamee, M., & Storesund, K. (2021). Fires in waste facilities: Challenges and solutions from a Scandinavian perspective. *Fire Safety Journal*, 1-8.

- National Fire Chiefs Council. (10. Mai 2024). *Over 1,200 battery fires in bin lorries and waste sites across the UK in last year*. Abgerufen am 9. April 2026 von National Fire Chiefs Council-Website: <https://nfcc.org.uk/over-1200-battery-fires-in-bin-lorries-and-waste-sites-across-the-uk-in-last-year/>
- Neidhart, L. (2025). *Batteriebrände: Erkennen, Verstehen und richtig Handeln*. Wien: AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Vortrag auf der Konferenz „Brandschutz für PV-Anlagen und Batteriespeicher: Sicherheit und Qualität im Fokus“, April 2025.
- Nigl, T. (o.D.). *Batteri recycling und Batteriebrände - Ursachen und Beherrschung*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Nigl, T., & Pomberger, R. (2016). *Stand, Entwicklungen und Problematik von Lithium-Batterien*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Nigl, T., & Pomberger, R. (2018). *Brandgefährlicher Abfall - Über Risiken und Strategien in der Abfallwirtschaft*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Nigl, T., & Pomberger, R. (2023). *Das Brandrisiko durch Li-Ionen-Akkus und was wir dagegen tun können*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Nigl, T., Bäck, T., & Pomberger, R. (2020). *Vertiefende Ursachenermittlung zu Brandereignissen in der österreichischen Abfall-, Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft*. Leoben: Montanuniversität Leoben.
- Nigl, T., Baldauf, M., Hohenberger, M., & Pomberger, R. (2021). Lithium-Ion Batteries as Ignition Sources in Waste Treatment Processes - A Semi-Quantitate Risk Analysis and Assessment of Battery-Caused Waste Fires. *processes* 9, 49.
- Nigl, T., Rübenbauer, W., & Pomberger, R. (2020). Cause-Oriented Investigation of the Fire Incidents in Austrian Waste Management Systems. *Detritus* 09, 213-220. doi:10.31025/2611-4135/2019.13872
- O'Connor, P., & Wise, P. (2021). *An Analysis of Lithium-ion Battery Fires in Waste Management and Recycling*. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency, Office of Resource Conservation and Recovery, EPA 530-R-21-002.
- Ollion, L., Anta, M., & Herreras, L. (2020). *Characterisation of Fires Caused by Batteries in WEEE: Survey Results from the WEEE Management Chain – Part A*. Brüssel: WEEE Forum und EuRIC.
- Pomberger, R. (Juli 2021). Lithium-Ionen-Batterien - Wie gehen wir in Zukunft mit den Risiken um? *update Ausgabe 43 - Welche Zukunftschancen haben Li-Io-Batterien?*, S. 5.
- Rat der Europäischen Union. (2025). *The dangers posed by lithium batteries and the feasibility and potential benefits of introducing an EU-wide battery deposit system. Information from the Austrian delegation, supported by the German and Lithuanian delegations*. Brüssel: Generalsekretariat des Rates, Dok. 16339/25 vom 10.12.2025.
- Reinke, F. (14. November 2024). *Bis zu 30 Brände täglich: Entsorgungsbranche warnt in Sachsen vor Batteriebränden*. Abgerufen am 5. Mai 2026 von Wirtschaft in Sachsen:

<https://www.wirtschaft-in-sachsen.de/de/bis-zu-30-braende-taeglich-entsorgungsbranche-warnt-in-sachsen-vor-batteriebraenden/>

REMONDIS SE & Co. KG. (5. August 2025). *Brandgefährlich*. Abgerufen am 15. April 2026 von REMONDIS Aktuell: <https://remondis-aktuell.de/recycling/brandgefaehrlich/>

Salzer, V. (12. Februar 2026). *Alarmierende Bilanz 2025: Großbrände in Österreichs Abfallwirtschaftsbetrieben*. Abgerufen am 11. Mai 2026 von Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe - Website: <https://www.voeb.at/service/presse-news/presse-detail/show-article/alarmierende-bilanz-2025-grossbraende-in-oesterreichs-abfallwirtschaftsbetrieben/>

Schmid, S. (12. September 2025). *Anpassung an europäische Vorschriften - Neue Regeln für die Produktion und Entsorgung von Batterien*. Abgerufen am 13. Mai 2026 von Das Parlament: <https://www.das-parlament.de/wirtschaft/umwelt/neue-regeln-fuer-die-produktion-und-entsorgung-von-batterien>

Sieg, T., Schinko, T., Vogel, K., Mechler, R., Merz, B., & Kreibich, H. (2019). Integrated assessment of short-term direct and indirect economic flood impacts including uncertainty quantification. *PLoS ONE* 14(4), e0212932. doi:10.1371/journal.pone.0212932

Sittner, E. (2026). Brandschutzmaßnahmen und Feuerversicherung in der Recycling- und Entsorgungswirtschaft – ein seit langem bekanntes Problem. *EU-Recycling* 03/2026, S. 10.

stiftung elektro-altgeräte register. (o.D.). *Plan E – Über uns*. Abgerufen am 15. September 2026 von e-schrott-entsorgen.org: <https://www.e-schrott-entsorgen.org/ueber-uns.html>

Terazono, A., Oguchi, M., Akiyama, H., Tomozawa, H., Hagiwara, T., & Nakayama, J. (2024). Ignition and fire-related incidents caused by lithium-ion batteries in waste treatment facilities in Japan and countermeasures. *Resources, Conservation & Recycling* 202. doi:10.1016/j.resconrec.2023.107398

Umweltbundesamt. (14. November 2022). *"E-Waste Day" ruft zur korrekten Entsorgung von Elektrogeräten auf*. Abgerufen am 1. September 2026 von Umweltbundesamt - Presse: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/e-waste-day-ruft-zur-korrekten-entsorgung-von>

Umweltbundesamt. (15. Januar 2026). *Altbatterien*. Abgerufen am 20. April 2026 von Umweltbundesamt - Daten: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltzustand-trends/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#analyse-der-spezifischen-recyclingergebnisse-im-bereich-der-gerte-altbatterien>

United Nations Statistics Division. (o.D.). *UN Comtrade Database: International Trade Statistics, HS-Code 850760*. Abgerufen am 29. April 2026 von UN Comtrade Database: <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow?Frequency=A&Flows=M&CommodityCode=s=850760&Partners=0&Reporters=276&period=recent&AggregateBy=none&BreakdownMode=plus>

- Verbraucherzentrale Hamburg. (2025). *Müll und Verpackungen: Einweg-E-Zigaretten - übel für die Umwelt!* Abgerufen am 4. Mai 2026 von Verbraucherzentrale Hamburg: <https://www.vzhh.de/themen/umwelt-nachhaltigkeit/muell-verpackungen/einweg-e-zigaretten-uebel-fuer-die-umwelt>
- Vianello, C., Pasqualotto, G., Baraldo, L., De Cet, G., & Maschio, G. (2025). Management of Lithium Batteries in the Treatment of WEEE: Dispersion Modelling and Containment Measures Applied to an Italian Case Study. *Chemical Engineering Transactions*, 116, 601-606.
- Wilfer, T. (2024). Sammelmenge bei Gerätebatterien rückläufig, Quote insgesamt knapp über 50 Prozent. *EUWID Recycling und Entsorgung*, 9.
- ZDF. (17. September 2024). *Millionenschäden bei Entsorgung - Wenn der Akku den Müll in Brand setzt*. Abgerufen am 30. April 2026 von zdf heute: <https://www.zdfheute.de/wissen/akku-brand-muell-100.html>
- ZVEI e.V. – Verband der Elektro- und Digitalindustrie. (2025). *Handel startet Informationsoffensive: Bundesweite Kampagne zur Batterierücknahme*. Frankfurt am Main: ZVEI, Presseinformation Nr. 70/2025 vom 19.08.2025.

Rechtsquellen und ähnliche Dokumente

- Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG, ABl. L 191 vom 28.07.2023, S. 1
- Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung), ABl. L 197 vom 24.07.2012, S. 38, zuletzt geändert durch Richtlinie (EU) 2024/884 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. März 2024 zur Änderung der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte
- Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) 2023/1542 betreffend Batterien und Altbatterien (Batterierecht-Durchführungsgesetz – BattDG) vom 30. September 2025, verkündet als Artikel 1 des Gesetzes zur Anpassung des Batterierechts an die Verordnung (EU) 2023/1542 (Batterierecht-EU-Anpassungsgesetz – Batt-EU-AnpG), BGBl. 2025 I Nr. 233 vom 06.10.2025, in Kraft getreten am 07.10.2025
- Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 22. Juli 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 224) geändert worden ist
- Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 25. November 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 286) geändert worden ist
- Deutscher Bundestag, Drucksache 20/13690 vom 06.11.2024: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Ralph Lenkert, Dr. Gesine Löttsch und weiterer Abgeordneter – Anpassung des Batterierechts an die Verordnung (EU) 2023/1542

Deutscher Bundestag, Drucksache 21/1587 vom 10.09.2025: Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (16. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Entwurf eines Gesetzes zur Anpassung des Batterierechts an die Verordnung (EU) 2023/1542 (Batterierecht-EU-Anpassungsgesetz – Batt-EU-AnpG)

Bundesrat, Drucksache 475/25 (Beschluss) vom 26.09.2025: Beschluss des Bundesrates – Gesetz zur Anpassung des Batterierechts an die Verordnung (EU) 2023/1542