

Bestimmt für

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Dokumenttyp

Fachgutachten

Datum

28 April 2026

Fachgutachten

Bewertung möglicher Gefahren für Gewässer durch die Freisetzung in Lithium-Ionen-Zellen & Lithium-Ionen-Batterien enthaltener wassergefährdender Stoffe bei Versagen der Umhüllung



Inhalt

1	Einleitung	5
2	Technische Grundlagen von Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) und - Batterien (LIB)	6
3	Darstellung der typischen Industrieböden	18
4	Analyse der Nutzungsszenarien	21
5	Physikalisch-chemische Bewertung von Elektrolyt-Leckagen und mögliche Bodenpenetration	24
6	Rechtlicher Kontext	26
7	Schlussfolgerungen	28
8	Verzeichnis relevanter Rechtsakte	30
9	Abkürzungsverzeichnis	31
Anhang 1: Kopie des Fragebogens		33

Haftungsausschluss:

Dieses Fachgutachten wurde ausschließlich für die Nutzung durch den Verband der Automobilindustrie e.V. und seine Mitglieder erstellt. Die in diesem Fachgutachten dargestellten Schlussfolgerungen spiegeln die bestmögliche fachliche Beurteilung von Ramboll auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Prüfung verfügbaren Informationen und der damals bestehenden Rahmenbedingungen wider. Bei der Durchführung des Auftrags ist Ramboll auf öffentlich zugängliche Informationen, vom Auftraggeber bereitgestellte Informationen, fachliche Expertise sowie Angabe Dritter angewiesen. Dementsprechend gelten die Schlussfolgerungen in diesem Fachgutachten nur insoweit, als die Ramboll zur Verfügung gestellten Informationen korrekt und vollständig waren. Dieses Fachgutachten stellt keine Rechtsberatung dar. Ramboll gibt keinerlei Zusicherungen oder Gewährleistungen, weder ausdrücklich noch stillschweigend, hinsichtlich der Bedingungen an Standorten. Ramboll ist bemüht, genaue und verlässliche Informationen bereitzustellen. Für spezifische rechtliche Beratung oder Auskünfte zu regulatorischen Fragestellungen, Compliance-Themen oder rechtliche Auswirkungen wird empfohlen, qualifizierte Rechtsberater zu konsultieren oder sich an die zuständigen Regulierungsbehörden zu wenden.

1 Einleitung

Das BLAK-Merkblatt „Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien (LIB) nach der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)⁴“ (im Folgenden: „BLAK-Merkblatt“ oder „Merkblatt“) weist darauf hin, dass eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern gemäß § 62 WHG in Verbindung mit § 1 Abs. 1 AwSV entstehen kann, wenn wassergefährdende Stoffe aus Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) bzw. Lithium-Ionen-Batterien (LIB) infolge eines Versagens der Umhüllung freigesetzt werden.

Mit der Aufnahme der laufenden Nummern 81 und 82 in die „Häufig gestellte Fragen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen⁵“ (FAQ UmwS), Stand 05/25, hat der Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) die rechtliche Einordnung des Merkblatts weiter präzisiert: Das Merkblatt soll demnach keinen eigenständigen Rechtscharakter besitzen, sondern als technische Handlungsempfehlung und als Erkenntnisquelle für einen bundeseinheitlichen Vollzug der AwSV dienen. Seine Vorgaben würden erst dann verbindlich, wenn die zuständige Behörde sie durch Bescheid, Auflage oder sonstige Anordnung für den konkreten Einzelfall vorschreibt. Gleichwohl könnten die im Merkblatt formulierten Anforderungen bereits bei der Planung neuer Anlagen sowie bei der Nachrüstung und dem Betrieb bestehender Anlagen berücksichtigt werden.

Ziel dieses Fachgutachtens ist es, auf Grundlage technischer und naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu prüfen, ob vom Umgang mit Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien (LIZ / LIB) unter realistischen Betriebs- und Störbedingungen, unter ausdrücklichem Ausschluss von Brandereignissen, eine relevante Gefährdung der in § 62 WHG und der AwSV geschützten Gewässer ausgeht. Im Fokus steht dabei die Frage, ob aufgrund der konstruktiven Ausführung, der eingesetzten Materialien und der typischen Nutzungs- und Handhabungsszenarien ein Versagen der Umschließungen technisch zu erwarten ist und, falls es zu einer Beschädigung kommt, ob Art und Menge potenziell freigesetzter flüssiger Stoffe geeignet sind, eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern zu verursachen oder die Besorgnis einer solchen Veränderung zu begründen. Die Untersuchung ist insbesondere im Kontext der Automobilindustrie von Bedeutung, in der solche LIZ / LIB häufig zum Einsatz kommen.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass im Rahmen dieses Fachgutachtens die Herstellung der LIZ / LIB und Beschädigungen von LIZ / LIB während des Recyclings ausgenommen sind. Ferner werden die Folgen eines thermischen Durchgehens nicht betrachtet. Infolgedessen werden wassergefährdende Stoffe, die durch Brandereignisse freigesetzt wurden, sowie Lösch-, Kühl- und Berieselungswasser gemäß § 20 AwSV nicht betrachtet. Informationen zu einem thermischen Durchgehen werden nur berücksichtigt insofern dies für eine Bewertung des (mechanisch-technischen) Versagens der Umhüllung von Belang ist.

Methodisch stützt sich das Fachgutachten auf öffentlich verfügbare Quellen und eine detaillierte Umfrage im VDA-Arbeitskreis (AK) Industrieemissionen. Der von Ramboll erstellte Fragebogen (siehe Anhang 1: Kopie des Fragebogens) wurde vom VDA innerhalb des AK Industrieemissionen verteilt und von allen Mitgliedern des AK zurückgeschickt. Die bereitgestellten Informationen wurden vom VDA gesammelt und anonymisiert an Ramboll zur Datenanalyse weitergegeben. Rückfragen dienen der Schließung von Datenlücken.

Der Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) hat Ramboll beauftragt, dieses Fachgutachten zu erstellen.

⁴ Vom Bund-Länder-Arbeitskreis Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (Stand 29.05.2024)

⁵ https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/264287/BLAK_UmwS_FAQ-Liste_2025-05.pdf/e645d803-2ef4-3cb0-4d92-79874c3c1dc0?t=1749103534716

2 Technische Grundlagen von Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) und -Batterien (LIB)

Dieses Kapitel fasst die technischen Grundlagen von Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) und -Batterien (LIB) zusammen, die für die Beurteilung ihrer Einstufung im Rahmen der AwSV relevant sein können. Ziel ist, den Aufbau, die verwendeten Materialien und typische sicherheitstechnische Eigenschaften darzustellen, ohne an dieser Stelle eine rechtliche Bewertung vorzunehmen.

Die Beurteilung der potenziellen Wassergefährdung durch LIB erfordert ein fundiertes Verständnis ihres konstruktiven Aufbaus und der integrierten Sicherheitsmechanismen. Eine LIB ist kein monolithischer Block, sondern ein komplexes System, dessen Integrität auf einem mehrstufigen Sicherheitskonzept beruht. Dieses Konzept reicht von der Zellarchitektur bis hin zur übergeordneten elektronischen Steuerung.

2.1 Begriffsbestimmungen

Die folgenden Begriffsbestimmungen orientieren sich an der Verordnung (EU) 2023/1542 über Batterien und Altbatterien (EU-Batterieverordnung) sowie an technisch etablierten Begriffen aus dem industriellen Kontext. Sie dienen der einheitlichen Verwendung im Rahmen des Fachgutachtens.

Batteriezelle / Batterie-Zelle

Die funktionale Basiseinheit in einem Batteriesystem, die aus Elektroden, Elektrolyt, Gehäuse, Polen und gegebenenfalls Separatoren besteht und die aktiven Materialien enthält, deren Reaktion elektrische Energie erzeugt. (Artikel 3 Nr. 4 EU-Batterieverordnung)

Batteriemodul

Ein Set von Batteriezellen, die miteinander verbunden oder von einem Gehäuse umschlossen sind, um die Zellen vor äußeren Einwirkungen zu schützen, und die entweder allein oder mit anderen Modulen verwendet werden kann. (Artikel 3 Nr. 3 EU-Batterieverordnung)

Batteriesatz / Batteriepack

Eine Gruppe von Batteriezellen oder -modulen, die so verbunden oder umschlossen sind, dass sie eine vollständige Einheit bilden, die vom Endnutzer nicht getrennt oder geöffnet werden soll. (Artikel 3 Nr. 2 EU-Batterieverordnung)

Batterie / Batteriesystem

Eine Einheit, die elektrische Energie liefert und aus einer oder mehreren nicht-wiederaufladbaren oder wiederaufladbaren Batteriezellen oder -modulen besteht. (Artikel 3 Nr. 1 EU-Batterieverordnung)

BMS (Batterie-Managementsystem)

Elektronische Einheit, die die elektrischen und thermischen Funktionen einer Batterie überwacht oder steuert, um Sicherheit, Leistung und Lebensdauer der Batterie zu gewährleisten. (Artikel 3 Nr. 25 EU-Batterieverordnung)

Gehäuse / Umhüllung

Äußere Umschließung von Zellen oder Modulen, die mechanischen, thermischen und chemischen Einflüssen standhalten soll. Nicht explizit in der EU-Batterieverordnung definiert, aber technisch zentral für die Beurteilung der Dichtheit und Sicherheit.

Unterfahrerschutz

Bestandteil des Gehäuses mancher Batteriesätze, der der Batterie nach unten hin einen zusätzlichen Schutz bietet. Die Bodenplatte dient primär dem strukturellen Schutz (z. B. gegen mechanische Einwirkungen, Unterbodenbeanspruchung, Witterung) und kann als Bestandteil des konstruktiven Dichtkonzepts des Batteriegehäuses angesehen werden, stellt jedoch keine eigenständige zusätzliche Umschließung dar.

Wanne

Die Struktur des Batteriepacks, in dem einzelne Module liegen/verbaut sind.

2.2 Grundlegender Aufbau und Zellarchitektur

Die grundlegende Funktionseinheit jeder LIB ist die elektrochemische Zelle. Unabhängig von ihrer äußeren Form besteht jede Zelle aus vier Hauptkomponenten:

- **Negative Elektrode (Anode):** Besteht typischerweise aus einer dünnen Kupferfolie, die mit einem Aktivmaterial beschichtet ist. In den meisten kommerziellen LIBs ist dies Graphit. Zunehmend werden auch Silizium-basierte Komposite eingesetzt, um die Energiedichte zu erhöhen.
- **Positive Elektrode (Kathode):** Besteht aus einer Aluminiumfolie, beschichtet mit einem Lithium-Metalloxid. Gängige Kathodenchemikalien sind Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid (NMC), Lithium-Eisen-Phosphat (LFP) und Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (NCA).
- **Separator:** Eine mikroporöse Membran aus einem Polymer (z. B. Polyethylen oder Polypropylen), die zwischen Anode und Kathode platziert ist. Sie verhindert einen direkten elektrischen Kontakt (internen Kurzschluss), muss aber für Lithium-Ionen durchlässig sein.
- **Elektrolyt:** Eine ionenleitfähige, aber elektrisch isolierende Flüssigkeit, die den Separator und die Poren der Elektroden durchdringt. Sie besteht aus einem Leitsalz (meist Lithiumhexafluorophosphat) gelöst in einem Gemisch aus organischen Carbonaten. Zusätzlich enthalten Elektrolyte eine Reihe funktionaler Additive (z. B. Filmformer, Stabilisatoren oder Flammenschutzkomponenten), die in geringen Konzentrationen eingesetzt werden, um die elektrochemische Stabilität, Lebensdauer und Sicherheit der Zelle zu verbessern. Diese Additive ändern jedoch nicht, dass der Elektrolyt in der Regel carbonatbasiert ist, d. h. auf einem Gemisch organischer Carbonat-Lösungsmittel beruht.

Die Spannung einer einzelnen Zelle hängt von der jeweiligen Materialkombination ab. Für praktische Anwendungen werden mehrere Zellen häufig zu Modulen bzw. Zellgruppen verschaltet. Die Verschaltung erfolgt in Serie zur Erhöhung der Spannung und parallel zur Erhöhung der Kapazität sowie der erreichbaren Stromabgabe.

2.3 Gehäuse, Umschließungen und Dichtheitskonzepte

Das Zellgehäuse bildet die primäre physische Barriere einer LIB, die die internen chemischen Komponenten umschließt und vor äußeren Einflüssen wie Feuchtigkeit und mechanischer Beschädigung schützt. Es existieren drei primäre Bauformen mit unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Dichtheit und mechanischen Robustheit (vgl. hierzu Abbildung 1):

1. **Zylindrische Zellen:** (z. B. Typ 18650 oder 21700) besitzen ein robustes Gehäuse aus Stahl oder Aluminium. Diese Bauform bietet eine hohe mechanische Stabilität und eine zuverlässige hermetische Abdichtung durch Schweiß- und Dichtungsringe.
2. **Prismatische Zellen:** Verfügen über ein rechteckiges, festes Gehäuse aus Aluminium oder Stahl. Sie ermöglichen eine sehr raumeffiziente Packungsdichte in Modulen, sind jedoch in der Fertigung aufwendiger. Ihre Dichtheit wird ebenfalls durch Schweißnähte und spezielle Dichtungen an den Terminals gewährleistet.

3. **Pouch-Zellen:** Nutzen ein flexibles Gehäuse aus einer kunststoffbeschichteten Aluminiumverbundfolie. Diese Bauweise ermöglicht eine hohe Energiedichte, effiziente Wärmeableitung und flexible Formgebung bei vergleichsweise geringen Fertigungskosten.

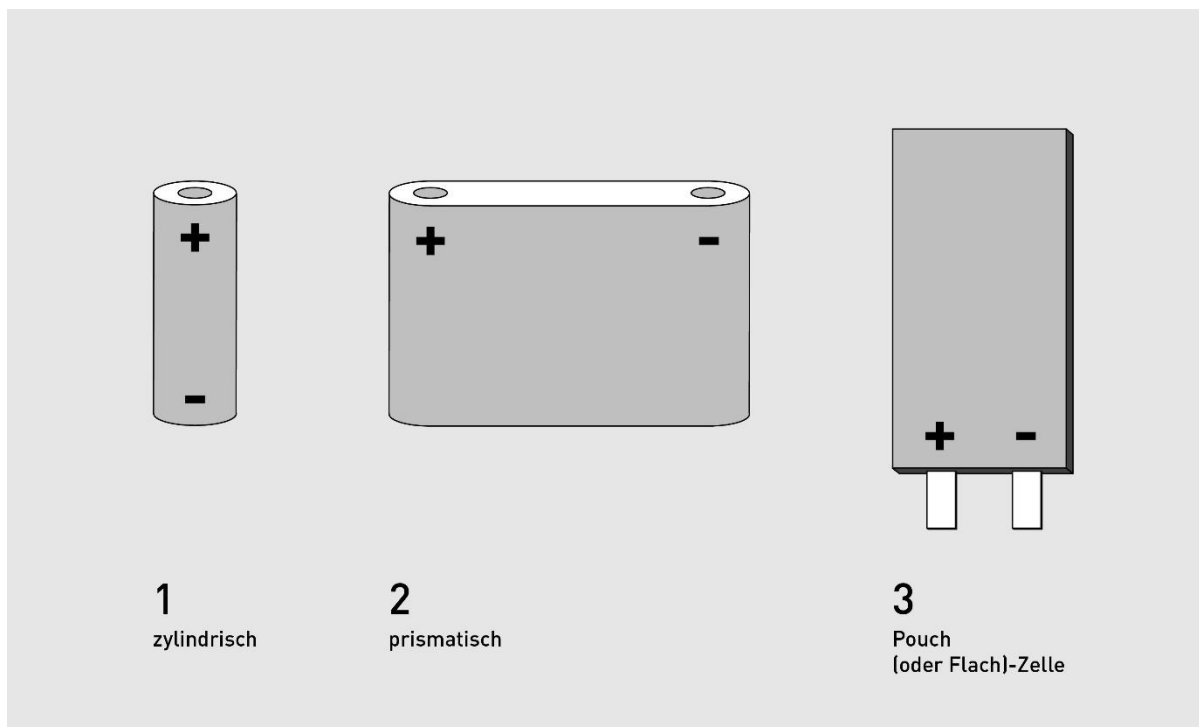


Abbildung 1: Beispielhafte Bauformen von LIZ

Das Merkblatt geht von der zentralen Annahme aus, dass intakte LIB grundsätzlich als „gasdicht“ anzusehen sind und ihre Umschließung eine „dichte Verpackung“ für die enthaltenen wassergefährdenden Stoffe darstellt.

Diese Annahme beschreibt zutreffend die konstruktive Auslegung im bestimmungsgemäßen Betrieb – sie darf jedoch nicht dahingehend verstanden werden, dass die Batterie funktional, als Verpackung der enthaltenen Stoffe konzipiert ist. Die Dichtheit der Zellen ist primär eine Voraussetzung für die elektrochemische Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit, nicht Ausdruck einer Schutzfunktion zur Lagerung oder Einschließung wassergefährdender Stoffe.

Mehrschichtige Umschließungen bei Batteriesätzen

Moderne Lithium-Ionen-Batteriesätze, insbesondere für den Einsatz in Elektrofahrzeugen, verfügen regelmäßig über ein mehrteilig aufgebautes Gehäuse, bestehend aus einer Bodenplatte, seitlichen Strukturbauteilen und einem Deckel. Diese Komponenten bilden gemeinsam das Batteriegehäuse und stellen die mechanische, elektrische und umweltbedingte Schutzfunktion des Batteriesatzes sicher.

Die Bodenplatte ist bei diesen Bauweisen ein integraler Bestandteil des Gehäuses und übernimmt insbesondere Funktionen des mechanischen Schutzes (z. B. Unterbodenbeanspruchung, Crashlasten) sowie des Schutzes gegen das Eindringen von Feuchtigkeit von außen. In der industriellen Praxis werden Batteriesatzgehäuse einschließlich der Bodenstruktur Dichtigkeitsprüfungen (z. B. Druck- oder Leckagetests) unterzogen, um die Schutzfunktion gegenüber Umwelteinflüssen nach-

zuweisen. Gehäuse werden beispielsweise mit Unterdruck auf Schwachstellen hin übergeprüft. Zudem fallen nicht korrekt ausgeführte Schweißnähte bei Sichtprüfungen auf. Damit wird sichergestellt, dass ausschließlich intakte Gehäuse eingebaut werden.

Aus technischer Sicht ergänzt diese konstruktive Ausführung die bereits vorhandene mehrstufige Umschließung moderner Batteriesysteme: Das Zellgehäuse als unmittelbare Umschließung der elektrochemischen Komponenten, die Modul- und Batteriegehäuse als systemseitige Umschließungen der Zellen und elektrischen Komponenten. Die bodenseitige Gehäuseausbildung stellt dabei keine eigenständige zusätzliche Umschließung im Sinne einer weiteren Schutzebene dar, sondern ist Teil der äußeren Umschließung des Batteriesystems. Gleichwohl verdeutlicht sie, dass moderne Batteriesysteme insgesamt auf eine hohe strukturelle Integrität und Dichtheit ausgelegt sind. Diese konstruktive Auslegung trägt dazu bei, dass ein Austritt flüssiger Elektrolytbestandteile unter normalen Betriebs-, Transport- und Lagerbedingungen als technisch äußerst unwahrscheinlich einzustufen ist.

2.4 Integrierte Sicherheitsmechanismen auf Zellebene

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) verfügen über eine Reihe integrierter Sicherheitsmechanismen, die darauf ausgelegt sind, kritische Betriebszustände – wie Überhitzung, Überladung oder internen Kurzschluss – zu verhindern und einen kontrollierten Betrieb sicherzustellen. Auf Zellebene kommen unter anderem temperaturabhängig schließende Separatoren, integrierte Sicherungen und mechanisch druckauslösende Trennelemente zum Einsatz. Ergänzend werden dem Elektrolyt Additive beigemischt, die das Entzündungsrisiko verringern oder elektrochemische Ausgleichsreaktionen ermöglichen.

2.4.1 Das Batterie-Managementsystem (BMS) als übergeordnete Sicherheitsebene

Das BMS ist die aktive Steuer- und Überwachungseinheit des Batteriesystems und dient primär der Sicherstellung eines sicheren elektrischen Betriebs der Batterie, etwa während Lade-, Entlade- oder definierten Testzuständen. In diesen Phasen überwacht das BMS elektrische und thermische Kenngrößen und löst bei Abweichungen Schutzfunktionen aus.

Zu den Kernfunktionen gehören:

- **Überwachung:** Messung von Zellspannungen, Stromflüssen und Temperaturen während Lade- und Entladevorgängen.
- **Schutzfunktionen:** Trennung der Batterie vom Lade- oder Lastkreis bei Überspannung, Unterspannung, Überstrom oder unzulässigen Temperaturen.
- **Zellbalancing:** Ausgleich der Ladezustände einzelner Zellen, um eine gleichmäßige Alterung und sichere Betriebsbedingungen zu gewährleisten.
- **Fehlerdiagnose:** Erkennung elektrischer und sensorischer Anomalien und Einleitung von Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Abschaltung, Warnsignale).

Das BMS ist nicht dauerhaft aktiv. Während Lagerung, Transport oder Umschlag ist es in der Regel deaktiviert, da keine externe Stromversorgung besteht. In diesen Phasen stützt sich die Sicherheit auf die passiven konstruktiven Schutzmechanismen der Zellen und Gehäuse, wie zuvor beschrieben.

Damit bildet das BMS im Betrieb (Lade-, Entlade- oder Prüfprozesse) eine wichtige Sicherheitsebene, ergänzt durch ein mehrstufiges passives Schutzkonzept, das auch bei inaktivem Systemzustand durch eine geschlossene Bauweise Schutz gewährleistet und in der Logistikkette durch strukturierte Sicht- und Annahmeprüfungen ergänzt wird.

2.4.2 Organisatorische Kontrollmaßnahmen als weitere Sicherheitsebene

In der betrieblichen Praxis stellen organisatorische Kontrollmaßnahmen einen wichtigen Teil zur Gewährleistung der Sicherheit dar. Beim Wareneingang erfolgt eine Sicht- und Dokumentationsprüfung auf Transportschäden, die sich an den Gefahrgutvorgaben der ADR⁶ orientiert. Mehrere Betreiber bestätigten, dass entsprechende Checklisten und Annahmekontrollen durchgeführt werden und dass auffällige Batterien unmittelbar separiert werden. In einzelnen Anlagen kommen ergänzend Wärmebildkameras zur frühzeitigen Erkennung thermischer Auffälligkeiten im Zwischenlager oder an Produktionslinien zum Einsatz. Innerbetriebliche Transportprozesse erfolgen teilweise auch automatisiert (siehe Kapitel 4.3), sodass menschliche Fehlhandlungen, wie sie beispielsweise beim Transport von LIB mit Flurförderfahrzeuge auftreten können, weitgehend vermieden werden. Das Risiko von Transportunfällen wird dadurch generell verringert und infolgedessen auch das potenzielle Austreten von Elektrolyten aufgrund mechanischer Beschädigungen von Zellen.

Bei allen an beteiligten VDA-Mitgliedern bestehen Arbeitsanweisungen zum Umgang mit auffälligen, beschädigten oder defekten Lithium-Ionen-Batterien. Diese sehen insbesondere eine unverzügliche Separierung sowie die Lagerung bzw. Entsorgung in speziell hierfür vorgesehenen und geeigneten Behältnissen vor. Solche Havariepläne, einschließlich der verpflichtend vorzuhaltenden Havariecontainer, dienen primär der Beherrschung der Gefahr eines thermischen Durchgehens. Da die Havariepläne auf die Beherrschung solcher thermischen Reaktionsverläufe ausgelegt sind, decken sie potenziell mechanisch induzierte Ereignisse automatisch mit ab.

2.5 Chemische Zusammensetzung und potenzielle Reaktionen

Für die technische Beurteilung einer potenziellen Wassergefährdung durch Lithium-Ionen-Batterien (LIB) ist die Kenntnis ihrer chemischen Zusammensetzung relevant. Dieses Kapitel beschreibt die wesentlichen Stoffgruppen und deren physikalisch-chemische Eigenschaften.

Ziel ist es, aufzuzeigen, welche Stoffe in einer LIZ prinzipiell enthalten sind, wie diese stofflich gebunden und voneinander getrennt vorliegen und unter welchen Bedingungen eine Freisetzung überhaupt denkbar wäre. Eine sicherheitstechnische Bewertung oder Detailanalyse von Reaktionsmechanismen erfolgt an dieser Stelle nicht.

2.5.1 Hauptstoffgruppen in LIZ / LIB

Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) bestehen aus wenigen, aber klar definierten Stoffgruppen, die in einem geschlossenen System fest, flüssig oder immobilisiert vorliegen. Die Stoffe sind durch den Zellaufbau physisch voneinander und von der Umgebung getrennt. Unter Normalbedingungen liegen sie fest eingebunden oder vollständig eingeschlossen vor, sodass keine Möglichkeit zur Freisetzung oder Migration besteht.

Elektrodenmaterialien:

Die aktiven Materialien der Elektroden liegen als fest gebundene Schichten auf metallischen Folien vor.

Anode:

Überwiegend aus Graphit oder Silizium-Graphit-Kompositen, die auf einer Kupferfolie aufgebracht sind.

Kathode:

Aus Lithium-Metalloxiden (z. B. NMC, NCA, LFP) auf Aluminiumfolie.

⁶ Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road

Diese Materialien sind schwer löslich und weisen bei Normaltemperatur keine nennenswerte Flüchtigkeit oder Wasserlöslichkeit auf. Eine Reaktion mit Wasser ist erst unter Hochtemperaturbedingungen möglich und damit auf Betriebsstörungen begrenzt.

Elektrolyt:

Der Elektrolyt stellt die einzige flüssige Komponente in einer LIZ dar. Es besteht aus einem Lithiumsalz (meist Lithiumhexafluorophosphat, LiPF_6) in einem organischen Lösungsmittelgemisch, typischerweise Ethylen- und Dimethylcarbonat. Das Elektrolytvolumen liegt in der Regel bei etwa 10–15 % des Zellgewichts. Die Flüssigkeit ist elektrisch isolierend, aber ionenleitfähig, und vollständig im Inneren der Zelle eingeschlossen.

LiPF_6 ist feuchtigkeitsempfindlich und kann bei Kontakt mit Wasser oder Wasserdampf in reaktive Fluorverbindungen übergehen. Diese Reaktion spielt im Normalbetrieb keine Rolle, da der Elektrolyt vollständig im Inneren der Zelle eingeschlossen ist.

Separator:

Der Separator besteht aus mikroporösen Polyethylen- oder Polypropylenfolien. Diese sind chemisch inert, wasserunlöslich und dienen ausschließlich der elektrischen Trennung der Elektroden. Im Fall erhöhter Temperaturen schmilzt das Material und verschließt seine Poren (sogenannter „Separator-Shutdown“), wodurch elektrochemische Reaktionen unterbunden werden.

Gehäuse- und Dichtmaterialien:

Das Gehäuse besteht aus Aluminium, Stahl oder Verbundfolien mit Kunststofflaminat. Dichtungen und Isolatoren werden aus Polymeren wie Polyamid, Polypropylen oder Elastomeren gefertigt. Diese Komponenten sind strukturell stabil, chemisch weitgehend inert und verhindern, dass im Normalzustand Elektrolyt oder Gase nach außen dringen können.

2.5.2 Reaktivität und potentielle Stofffreisetzung

Die chemischen Bestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie (LIB) sind in einem geschlossenen, mehrschichtigen System fixiert und voneinander getrennt. Unter normalen Lager- und Betriebsbedingungen finden keine chemischen Reaktionen zwischen den Komponenten und der Umgebung statt. Die Stoffe sind immobilisiert, stabil eingebunden und physisch durch Gehäuse, Separator und Elektrodenstrukturen voneinander und von der Außenumgebung isoliert.

Eine Reaktivität der enthaltenen Stoffe kann nur dann eintreten, wenn mehrere Schutzbarrieren gleichzeitig versagen – etwa durch starke mechanische Beschädigung, thermische Einwirkung oder elektrische Fehlbelastung. Erst unter solchen Bedingungen können interne Zersetzungsreaktionen ablaufen, bei denen Elektrolytbestandteile oder Elektrodenmaterialien miteinander reagieren. Diese Prozesse verlaufen jedoch innerhalb des geschlossenen Systems und führen nicht zwangsläufig zu einem Austritt flüssiger oder gasförmiger Substanzen.

Die im Elektrolyt enthaltenen organischen Carbonate und Lithiumsalze sind unter Normalbedingungen chemisch stabil. Eine Zersetzung, beispielsweise von Lithiumhexafluorophosphat (LiPF_6) zu Fluorwasserstoff (HF), setzt den Kontakt mit Feuchtigkeit voraus. Solche Reaktionen können daher nur dann ablaufen, wenn die Dichtheit der Batterie aufgehoben und zudem von außen Wasser in das Zellinnere eingedrungen ist.

Auch das Elektrodenmaterial (z. B. Lithium-Metalloxide oder Graphit) zeigt bei Umgebungstemperatur keine signifikante Reaktivität. Eine Oxidation oder Freisetzung von Metallionen ist erst unter Hochtemperaturbedingungen oder bei vollständiger Zerstörung der Zellen zu erwarten.

In der Praxis sind Lithium-Ionen-Batterien so konstruiert, dass ein solches Szenario als Auslegungsfehler gilt. Entsprechend belegen Prüfungen nach UN 38.3⁷, IEC 62133-2⁸ und IEC 62619⁹, dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch keine Freisetzung oder unkontrollierte Reaktion auftritt.

Damit ist eine stoffliche Freisetzung nur unter atypischen und gleichzeitig mehrfachen Fehlbedingungen denkbar. Im normalen Betrieb, bei sachgemäßer Lagerung und Handhabung gilt die chemische Reaktivität des Systems als vernachlässigbar.

2.5.3 Charakteristische Stoffeigenschaften

Die in Lithium-Ionen-Batterien (LIB) enthaltenen Stoffe liegen überwiegend in fester Form vor. Flüssige Bestandteile (Elektrolyt) machen nur einen geringen Anteil des Zellgewichts aus. Typische Bandbreiten aus Literatur- und Praxisangaben zeigen folgendes Verhältnis:

Table 1: Charakteristische Stoffeigenschaften von LIB

Stoffgruppe	Typischer Anteil am Zellgewicht	Aggregatzustand	Bemerkung
Elektrodenmaterialien (Li-Metalloxide, Graphit, Metallfolien)	50–70 %	fest	Enthalten wassergefährdende (z. B. Li-Metalloxide) und nichtwassergefährdende (Graphit, Cu, Al) Bestandteile
Elektrolyt (Carbonate mit LiPF ₆)	10–15 %	flüssig oder gelartig	Einzigste flüssige Komponente; vollständig eingeschlossen
Separator und Dichtmaterialien	5–10 %	fest	Polymerbasiert, chemisch inert
Gehäuse (Metall oder Verbundfolie)	10–20 %	fest	Bildet äußere Barriere

Praxisrückmeldungen aus der Industrie bestätigen diese Größenordnungen¹⁰. Dies deckt sich mit den Angaben aus dem Merkblatt, welches als überschlägigen Ansatz einen Anteil von 20 % wassergefährdender flüssiger Stoffe und 60 % Feststoffanteile beschreibt.

2.5.4 Verhalten ausgetretener Elektrolyte

Bei Lithium-Ionen-Batterien (LIB) liegt der Elektrolyt typischerweise als Lösung eines Lithiumsalzes (zumeist Lithiumhexafluorophosphat, LiPF₆) in einem Gemisch aus organischen Carbonaten (z. B. Ethylen-, Diethyl- oder Dimethylcarbonat) vor. Diese Komponenten besitzen eine hohe Flüchtigkeit und eine geringe Wasserlöslichkeit.

Kommt es infolge einer mechanischen Beschädigung oder thermischen Überlastung zum Austritt von Elektrolyt, zeigen empirische Untersuchungen (u. a. aus Sicherheitsprüfungen nach UN 38.3, Belastungsprüfungen T.4 und T.6) sowie industrieinterne Beobachtungen, dass der überwiegende Anteil des Elektrolyts nicht in flüssiger Form austritt. Bereits ab etwa 70–80 °C beginnt eine thermische Zersetzung der Carbonate; der entstehende Gasüberdruck führt zum Öffnen vorgesehener Berstventile, sodass der Elektrolyt überwiegend in Dampf- bzw. Aerosolform entweicht. In Versuchsreihen, bei denen Zellen gezielt mechanisch geöffnet wurden, wurden typischerweise flüssige Austrittsmengen von \approx 10 ml, in Einzelfällen bis zu 30 ml pro Zelle beobachtet.

⁷ UN 38.3: Eine von den Vereinten Nationen festgelegte Transportsicherheitsnorm für Lithiumbatterien.

⁸ IEC 62133-2: Sicherheitsanforderungen für tragbare Gerätebatterien, insbesondere im Consumer-Bereich.

⁹ IEC 62619: Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren für wiederaufladbare LIB für industrielle Anwendungen, einschließlich Prüfungen zum Verhalten bei internen Fehlern und zur Begrenzung einer Zell-zu-Zell-Propagation.

¹⁰ Einzelne Hersteller berichteten über LFP-Zellen mit überwiegend festem oder immobilisiertem Elektrolyt, was auf Entwicklungen zu solid-state-Konzepten hinweist.

Mit zunehmendem Alter der Zelle verringert sich außerdem der Anteil an frei verfügbarem Elektrolyt, da dieser sich während des Betriebs teilweise selbst zersetzt oder elektrochemische Nebenreaktionen eingeht. Aktuelle Studien belegen, dass LiPF₆ durch solche zeitabhängige chemische und elektrochemische Zersetzungsreaktionen, insbesondere bei erhöhten Temperaturen oder hohen Zellspannungen, kontinuierlich verbraucht wird¹¹¹².

Nach dem Austritt verflüchtigen sich die leicht- und mittelflüchtigen Komponenten rasch. Die verbleibenden Anteile können aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit und des hohen Anteils an organischen Lösungsmitteln innerhalb der Zelle teilweise auskristallisieren oder verharzen. Diese Prozesse sind in der Fachliteratur und einzelnen Sicherheitsberichten beschrieben, systematische Untersuchungen unter realen Lager- oder Havariebedingungen liegen jedoch bislang nicht vor.

Das Merkblatt geht dementsprechend davon aus, dass im Schadensfall nur ein sehr geringer Anteil von ca. 2 % bis 5 % des flüssigen Elektrolyts aus der Zelle austreten können und keine Kettenreaktionen zwischen benachbarten Zellen ausgelöst werden, solange ein thermisches Durchgehen ausgeschlossen ist. Diese Annahme wird durch die vorliegenden technischen Beobachtungen gestützt, beruht jedoch auf begrenzter empirischer Datenbasis.

2.6 Physikalische und thermische Stabilität

Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) und -Batterien (LIB) werden im Rahmen anerkannter Sicherheitsprüfungen auf ihre mechanische Stabilität getestet. Ziel dieser Prüfungen ist es, sicherzustellen, dass die Systeme auch bei praxisrelevanten Beanspruchungen – etwa Vibrationen, Stößen oder Druckbelastungen – strukturell dicht und elektrisch stabil bleiben.

Gängige Tests umfassen:

- **Quetschung (Crush Test):** Die Zelle wird zwischen zwei Platten mit einer definierten Kraft oder bis zu einer bestimmten Deformation gequetscht. Gemessen werden die Kraft und der Verformungsweg, bei denen ein interner Kurzschluss (erkennbar an einem plötzlichen Spannungsabfall) auftritt.
- **Nageldurchdringung (Nail Penetration):** Ein leitfähiger Nagel wird mit definierter Geschwindigkeit durch die Zelle getrieben. Dies erzeugt einen lokalisierten internen Kurzschluss und ist einer der härtesten Tests, um die Reaktion der Zelle auf einen solchen Fehler zu bewerten.
- **Stoß (Impact Test):** Ein standardisiertes Gewicht wird aus einer festgelegten Höhe auf die Zelle fallen gelassen, um eine plötzliche Schockbelastung zu simulieren.
- **Vibration und Schock:** Diese Tests simulieren die wiederkehrenden Belastungen während des Transports und des Betriebs (z. B. in einem Fahrzeug) und prüfen die Langzeitstabilität der internen Verbindungen und der Gehäusestruktur.

Führende Forschungseinrichtungen wie die Fraunhofer-Institute EMI¹³ und ICT¹⁴ betreiben spezialisierte Testzentren, in denen solche Missbrauchstests unter kontrollierten Bedingungen an Zellen, Modulen und ganzen Batteriesystemen durchgeführt werden, um deren Sicherheitsverhalten zu charakterisieren und zu optimieren.

¹¹ Yonggang H. et al. (2025): Quantification of Electrolyte Degradation in Lithium-ion Batteries with Neutron Imaging Techniques ([2510.12055](#))

¹² Louis Hartmann et. al. (2024): Depletion of Electrolyte Salt Upon Calendaric Aging of Lithium-Ion Batteries and its Effect on Cell Performance. J. Electrochem. Soc. 171 060506 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ad4821/pdf>)

¹³ Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut

¹⁴ Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie

2.7 Sicherheits-, Prüf- und Industriestandards

Die Beurteilung der Dichtheit und Robustheit von LIZ / LIB gegenüber mechanischen, thermischen und elektrischen Belastungen stützt sich auf eine Reihe international harmonisierter Sicherheits- und Transportstandards. Diese Prüfungen bilden die Grundlage für die Annahme einer „primären Sicherheit“ im Sinne des Merkblatts, ersetzen jedoch keine Bewertung nach wasserrechtlichen Maßstäben. Im Folgenden werden die für den Gewässerschutz relevanten Standards kurz erläutert und deren Aussagekraft im Hinblick auf Dichtheit und Leckagepotenzial eingeordnet.

2.7.1 UN 38.3 – Transportprüfungen

Die Transportprüfung nach UN 38.3 schreibt für verschiedene Zell- und Batterietypen eine Reihe von Belastungsprüfungen (T.1–T.8) vor, deren Umfang sich nach dem jeweiligen Typ und Anwendungsfall richtet. Sie dienen dem Nachweis, dass Batterien die im Transport auftretenden thermischen, mechanischen und elektrischen Belastungen ohne sicherheitsrelevantes Versagen überstehen.

Zentrale Pass- / Fail-Kriterien sind für mehrere Prüfungen identisch und schließen ein: kein Feuer, keine Zerlegung, kein Riss oder Aufplatzen, keine sichtbare Undichtheit und kein übermäßiger Massenverlust. „Undichtheit“ wird dabei definiert als das sichtbare Austreten von Elektrolyt oder ein Massenverlust oberhalb festgelegter Grenzwerte.

Für die Beurteilung der Dichtheit und mechanischen Stabilität sind insbesondere folgende Tests relevant:

- **T.4 Schlagprüfung:** Simulation von Stoßbelastungen (z. B. 150 gn über 6 ms), die beim Transport auftreten können. Die Probe darf dabei keine Undichtheit oder strukturelle Beschädigung zeigen.
- **T.5 Externer Kurzschluss:** Nachweis, dass beim Kurzschluss bei erhöhter Umgebungstemperatur kein unkontrolliertes thermisches Verhalten oder Öffnen der Batterie auftritt.
- **T.6 Aufprall- / Quetschprüfung:** Simulation einer schweren mechanischen Belastung, die einen internen Kurzschluss auslösen kann. Die Probe darf keine Flammenbildung, keine Zerlegung und keine sichtbare Undichtheit zeigen.

Das Bestehen dieser Prüfungen belegt, dass intakte Batterien auch unter erheblichen Belastungen eine gas- und flüssigkeitsdichte Umschließung aufweisen und damit eine wirksame Dichte- und Schutzhülle gegenüber der Umwelt bilden.

2.7.2 Weitere Sicherheits- und Industriestandards

Neben der UN 38.3 sind insbesondere folgende Normen für die Auslegung und Bewertung der Sicherheit von LIB von Bedeutung:

- IEC 62619: Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren für wiederaufladbare LIB für industrielle Anwendungen, einschließlich Prüfungen zum Verhalten bei internen Fehlern und zur Begrenzung einer Zell-zu-Zell-Propagation.
- IEC 62133-2: Sicherheitsanforderungen für tragbare Gerätebatterien, insbesondere im Consumer-Bereich.
- VDE-AR-E 2510-50 sowie ergänzende DGUV¹⁵-Informationen: nationale technische Regelwerke zu Aufbau, Betrieb und Brandschutz stationärer Batteriesysteme.

Diese Normen adressieren überwiegend elektrische Sicherheit, Schutzfunktionen (z. B. Überladungsschutz, Temperaturüberwachung) und Systemverhalten im Fehlerfall. Sie belegen, dass LIB

¹⁵ Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

mehrstufige technische Sicherheitsbarrieren und Überwachungseinrichtungen aufweisen, liefern jedoch keine quantitativen Aussagen zur Dichtheit oder zu Leckagemengen.

2.7.3 UN-ECE-Regelung Nr. 100 (UN R100) – Sicherheit von Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen

Für **Batteriesysteme in Elektrofahrzeugen der Klassen M und N** gilt zusätzlich die UN-ECE-Regelung Nr. 100, die über Beschluss (EU) 2021/2190 in der EU verbindlich ist¹⁶. Teil II der Regelung beschreibt sicherheitsrelevante Prüfungen an vollständigen **REESS-Systemen** (*Rechargeable Energy Storage System*), also fahrzeugintegrierten Hochvoltbatterien.

Die Regelung umfasst u. a.:

- Prüfung auf externen Kurzschluss
- Überladung
- Überentladung
- Überhitzung
- Überstrom
- Brandexposition
- weitere elektrische und thermische Fehlerszenarien

Für mehrere dieser Prüfungen ist „kein Elektrolytaustritt“ ausdrücklich als Annahmekriterium festgelegt. Beispielsweise muss ein REESS bei Prüfungen zu externem Kurzschluss, Überladung, Überentladung, Überstrom oder Überhitzung **frei von Elektrolytaustritt, Rissen, Entlüftung, Feuer oder Explosion** bleiben (vgl. Annex 9B–9I der Verordnung).

Damit fordert UN R100 eine konstruktive Auslegung, bei der das Batteriegehäuse auch unter schweren Fehlerlasten **geschlossen und dicht** bleibt. Dies ist insbesondere relevant, weil die Norm am **kompletten Batteriesystem** ansetzt – also an verschraubten / verkapselten Packs einschließlich ihrer äußeren Schutzgehäuse.

2.8 Zustandskategorien von LIZ / LIB im Merkblatt

Die Anforderungen des Merkblatts unterscheiden sich wesentlich in Abhängigkeit vom Zustand der betrachteten LIZ bzw. LIB. Maßgeblich ist dabei, ob eine Batterie als intakt, geprüft, ungeprüft oder defekt einzustufen ist. Diese Kategorien stammen nicht aus der AwSV selbst, sondern werden durch das Merkblatt eingeführt, um die dortigen Anforderungen zur Rückhaltung, Überwachung und technischen Bewertung auf verschiedene Zustände von Batterien anzuwenden.

Zentraler Bezugspunkt dieser Einordnung ist die Funktionsfähigkeit der sogenannten primären Barriere (Zell- bzw. Modulgehäuse). Solange deren Dichtheit und mechanische Integrität nachweislich gegeben sind, wird von einer intakten Batterie ausgegangen. Fehlt dieser Nachweis oder bestehen Zweifel an der Funktionsfähigkeit, spricht das Merkblatt von „ungeprüften“ oder „defekten“ LIB.

Das vorliegende Kapitel fasst zunächst zusammen, welche Aussagen das Merkblatt selbst zu diesen Kategorien trifft und wie diese technisch zu verstehen sind (siehe Kapitel 2.8.1). Anschließend wird erläutert, wie sich diese Zustände in der betrieblichen Praxis typischerweise abgrenzen lassen (siehe Kapitel 2.8.2).

¹⁶ Verordnung (EU) 2021/2190 der Kommission vom 10. Dezember 2021 zur Änderung der Regelung Nr. 100 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der spezifischen Anforderungen an den elektrischen Antrieb – ABl. L 446 vom 10.12.2021, S. 1–314, EUR-Lex, online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/2190/oj>

Ziel dieses Kapitels ist es, eine technisch belastbare Grundlage zu schaffen, um in den folgenden Kapiteln die Anwendbarkeit der einzelnen Anforderungen sachgerecht bewerten zu können.

2.8.1 Technische Zustandskategorien nach dem Merkblatt

Das Merkblatt führt für den Umgang mit LIZ und LIB erstmals eine zustandsabhängige Differenzierung ein. Diese erfolgt auf Grundlage der technischen Integrität der sogenannten primären Barriere, also der Dichtheit und mechanischen Stabilität der Zell- oder Modulgehäuse. Das Merkblatt unterscheidet dabei im Kern drei technische Zustände, die jeweils unterschiedlichen Abschnitten (Nr. 8.2.1 ff.) zugeordnet sind:

(a) Intakte LIZ / LIB

LIZ oder LIB gelten nach dem Merkblatt als intakt, wenn ihre innere und – soweit vorhanden – äußere Umschließung funktionsfähig, dicht und unbeschädigt sind.

Das Merkblatt verweist dabei auf verschiedene technische Nachweise, mit denen diese Dichtheit belegt wird (z. B. Prüfungen nach UN 38.3, DIN EN IEC 62619 oder Anhang V der EU-Batterieverordnung 2023/1542).

In Nr. 8.1 heißt es ausdrücklich, dass bei neuen oder überwachten Batterien mit diesen Nachweisen „von einer funktionsfähigen primären Barriere ausgegangen werden“ kann.

Für diese Batterien wird in den Abschnitten 8.2.1 (LIZ) und 8.2.2 (LIB) davon ausgegangen, dass Leckagen nach menschlichem Ermessen unwahrscheinlich sind.

Laut Merkblatt genügt bei LIZ im Regelfall beispielsweise eine flüssigkeitsundurchlässige Fläche gemäß § 18 Abs. 2 AwSV, sofern bestimmte Randbedingungen (u. a. Volumen < 20 l, Überwachung, Betondicke ≥ 20 cm) erfüllt sind.

Bei LIB kann nach Nr. 8.2.2 auf eine gesonderte flüssigkeitsundurchlässige Rückhalteeinrichtung verzichtet werden, wenn die Modul- oder Batteriegehäuse als zusätzliche Umhüllungen wirken und die Behörde nach § 16 Abs. 3 AwSV eine entsprechende Ausnahme genehmigt.

Alternativ kann nach Nr. 8.2.2 des Merkblatts das Batterie- oder Modulgehäuse als Rückhalteeinrichtung im Sinne des § 2 Abs. 16 AwSV angesehen werden, sofern Leckagen oder Undichtheiten über ein aktives Batterie-Managementsystem schnell und zuverlässig erkannt werden können.

(b) Ungeprüfte oder defekte LIB

Die zweite Kategorie betrifft LIB, bei denen die Funktionsfähigkeit der primären Barriere nicht (mehr) nachgewiesen werden kann. Das Merkblatt verwendet dafür die Begriffe „ungeprüft“ und „defekt“, ohne sie explizit zu definieren. Gemeinsam ist beiden, dass von einer erhöhten Wahrscheinlichkeit des Versagens der inneren oder äußeren Umschließung ausgegangen wird.

Nach Nr. 8.2.3 sind die Regelungen für intakte LIB (Nr. 8.2.2) hier nicht anwendbar.

Stattdessen fordert das Merkblatt die Lagerung in flüssigkeitsundurchlässigen Rückhalteeinrichtungen nach § 18 Abs. 3 AwSV, da bei Betriebsstörungen mit einem Austreten größerer Mengen flüssiger Elektrolyte gerechnet werden müsse.

Typische Beispiele, die das Merkblatt selbst nennt, sind:

- Sammel- und Annahmestellen für gebrauchte oder beschädigte Batterien,
- Flächen zum Abstellen von verunfallten Elektrofahrzeugen,
- Recycling- und Behandlungsanlagen, in denen Batterien ohne vorherige Funktionsprüfung geöffnet werden.

Das Merkblatt geht bei diesen Anlagen pauschal davon aus, dass die Versagenswahrscheinlichkeit der primären Barriere erhöht ist.

(c) Herstellungs- und Behandlungsanlagen

Für Herstellungs- und Behandlungsanlagen (Nr. 8.2.6) sieht das Merkblatt eine analoge Anwendung der Anforderungen für intakte LIB vor, soweit es sich um neue, qualitätsgeprüfte oder wiederaufgearbeitete Batterien handelt, deren Funktionsfähigkeit nachgewiesen wurde.

Nur wenn Batterien in diesen Anlagen ohne Qualitätsprüfung oder mit Verdacht auf Defekt behandelt werden, sind die strengeren Anforderungen (Rückhalteeinrichtung nach § 18 Abs. 3 AwSV) anzuwenden.

Damit wird eine Binnendifferenzierung innerhalb des gleichen Anlagentyps eingeführt: entscheidend ist nicht die Tätigkeit, sondern der technische Zustand der Batterie zum jeweiligen Zeitpunkt.

(d) Zusammenfassende Bewertung

Das Merkblatt ordnet die Anwendbarkeit seiner Anforderungen nicht nach dem Betreiber oder der Anlage, sondern nach dem Zustand der Batterie. Die Einstufung als „intakt“ oder „defekt/ungeprüft“ ist dabei ausschlaggebend für das erforderliche Schutzniveau (primäre und sekundäre Barriere, Rückhaltevolumen, Überwachung).

Eine rechtlich verbindliche bzw. klar hergeleitete Definition dieser Zustände fehlt jedoch. Ebenso offen bleibt, welche Nachweise oder Prüfumfänge als ausreichend gelten, um eine Batterie als „intakt“ einzustufen, und ob eine Batterie, die im Lager beschädigt wird, automatisch als „defekt“ im Sinne des Merkblatts gilt.

Diese Punkte werden in dem folgenden Kapitel analysiert.

2.8.2 Technische und praktische Abgrenzung in der betrieblichen Praxis

Die im Merkblatt vorgenommene Einteilung in „intakte“, „ungeprüfte“ und „defekte“ Batterien ist für die betriebliche Anwendung zentral, bleibt aber in wesentlichen Punkten unpräzise. Aus technischer Sicht hängt die Einstufung nicht vom Standort oder Anlagentyp, sondern vom nachgewiesenen Zustand der Batterie ab – also davon, ob die primäre Barriere (Zell- oder Modulgehäuse) als funktionstüchtig gilt.

(a) Nachweis der Funktionsfähigkeit als Schlüsselparameter

In Nr. 8.1 und 8.2.2 des Merkblatts wird eine Batterie als „intakt“ angesehen, wenn ihre Dichtheit und Stabilität durch technische Prüfungen belegt sind. Diese Prüfungen können beispielsweise:

- werkseitige Endkontrollen (OCV-Messung¹⁷, Isolationsprüfung, visuelle Inspektion),
- Nachweise aus Typprüfungen nach UN 38.3, IEC 62619,
- Prüfungen im Rahmen der Batterieverordnung (Anhang V EU-BattVO 2023/1542), oder
- eine Kombination aus den genannten Prüfungen sein.

In der Praxis bedeutet dies:

- Hersteller- und Warenausgangslager verfügen typischerweise über solche Nachweise und können daher den Status „intakt“ geltend machen.
- Logistik- oder Distributionslager, die ausschließlich geprüfte Batterien mit dokumentierten Prüfnachweisen übernehmen, fallen ebenfalls unter diese Kategorie.
- Diese Abgrenzung entspricht auch dem Ansatz in Nr. 8.2.6 des Merkblatts, wonach Herstellungs- und Behandlungsanlagen „analog wie Anlagen zum Lagern von intakten LIB beurteilt werden können“.

¹⁷ Open Circuit Voltage-Messung

(b) Ungeprüfte oder defekte Batterien

Die Unterscheidung zwischen „ungeprüften“ und „defekten“ Batterien bleibt im Merkblatt unklar. Es werden keine objektiven Kriterien oder technischen Nachweise benannt, anhand derer sich diese Zustände verlässlich feststellen lassen.

Offen bleibt, ob eine Batterie, die innerhalb einer Lagerstätte beschädigt oder auffällig wird (z. B. durch Stoßbelastung, unsachgemäße Handhabung oder thermische Reaktion), nachträglich als „defekt“ im Sinne der im Merkblatts benutzen Begrifflichkeit einzustufen ist oder ob sich diese Kategorie ausschließlich auf den Anlieferungszustand bezieht.

Das Merkblatt trifft hierzu keine ausdrückliche Aussage.

Gleichzeitig wird in Abschnitt 8.1 die Funktionsfähigkeit der primären Barriere (Zell- bzw. Batteriegehäuse) als maßgebliches Kriterium für die Ableitung der Anforderungen an die Rückhaltung herangezogen. Da jedoch keine operativen Maßstäbe für die Einstufung als ‚intakt‘ oder ‚defekt‘ benannt werden, bleibt unklar, auf welcher Grundlage diese sicherheitsrelevante Differenzierung in der betrieblichen Praxis erfolgen soll.

Ebenfalls offen bleibt, welche Nachweise oder Kriterien für die „Eignung der primären Barriere“ erforderlich sind, um eine LIB oder auch LIZ als „intakt“ gelten zu lassen, oder ab welchem Punkt diese Eignung als nicht mehr gegeben anzusehen ist.

(c) Fehlende Prüfkriterien und Nachweisgrenzen

Das Merkblatt verwendet im Abschnitt 8.2.2 den Begriff „schnell und zuverlässig“ im Zusammenhang mit der Erkennung von Leckagen über ein aktives BMS. Es legt jedoch nicht fest:

- welche technischen Systeme oder Sensorik konkret dafür als ausreichend gelten,
- wie deren Wirksamkeit (z. B. Nachweise oder Prüfprotokolle) nachzuweisen ist,
- in welchem Überwachungs- oder Prüfintervall diese Systeme mindestens überprüft werden müssen.

3 Darstellung der typischen Industrieböden

3.1 Allgemeine Beschreibung und Typen von Industrieböden

Industrieböden in Produktions-, Montage- und Lagerhallen sind in der Regel dauerhaft beanspruchte Flächen, die hohen mechanischen, chemischen und thermischen Belastungen standhalten müssen. Ihr Aufbau und ihre Ausführung hängen stark von der jeweiligen Nutzung, den vorliegenden Stoffen und den betrieblichen Anforderungen ab.

Betonflächen bilden in Deutschland den Regelfall für Industrieböden. Gängig sind Stahlbetonböden oder auch Stahlfaserbetonböden. Bei Anforderungen an eine Dichtheit wird unterschieden in wasserundurchlässige Beton-Konstruktionen (WU) oder beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in unbeschichtete, flüssigkeitsdichte Betonflächen aus FD-Beton. Alternativ kann die Dichtfunktion auch ein aufgebracht **Beschichtungssystem** oder **Folienabdichtungssysteme** übernehmen. In einigen Anwendungen werden auch Bauweisen mit **bituminöser Decke** eingesetzt. Je nach Beanspruchung werden die Ausführungen der Flächen so ausgewählt, dass diese mindestens den betriebstechnischen Anforderungen genügen.

In Bereichen, in denen mit flüssigen, wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird, z.B. in Gefahrstofflagern (sogenannte „Fass- und Gebindeläger“ im Sinne des § 2 Abs. 10 AwSV), werden darüber hinaus gem. AwSV-Anforderungen u. a. an die Dichtheit, Rissbreitenbeschränkung und

Fugenabdichtung gestellt. Diese sind in technischen Regelwerken wie der TRwS 786¹⁸ und den Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) definiert.

Je nach äußeren Einwirkungen, Nutzung und eventuellen Anforderungen an Dichtheit und chemische Beständigkeit können folgende typischen Systeme unterschieden werden:

- a. Industriebodenplatte aus Beton ohne weitere Anforderung, unbewehrt, bewehrt oder aus Stahlfaserbeton, keine Anforderungen an Fugenbreiten und Fugenabdichtungen
- b. Industriebodenplatte mit Anforderungen an eine Wasserdichtheit, entweder von außen (z.B. bei Grundwasser) oder Wasserdichtheit von innen, z.B. Wasserbehälter oder Industrieflächen zur Rückhaltung von Löschwasser. Bauweise aus WU-Beton mit wasserdichter Fugenabdichtung oder z.B. außen liegende Frischbeton-Verbundfolie.
- c. Industriebodenplatte mit Anforderungen an die Flüssigkeitsdichtheit gemäß den Anforderungen der AwSV in Verbindung mit der TRwS 786. Ausführung in FD-Beton oder FDE-Beton mit Dichtheitsnachweis, Fugen flüssigkeitsdicht und chemikalienbeständig häufig mit abZ¹⁹ / aBG²⁰. Direkte Entwässerung oder ungesicherte Abläufe sind nicht zulässig.
- d. Alternativ, Bodenplatte wie unter a) oder b) mit Industriebeschichtung zur Erlangung der Dichtheit und Beständigkeit im Sinne der AwSV, Beschichtung und Fugen flüssigkeitsdicht und chemikalienbeständig mit Verwendbarkeitsnachweis abZ²¹ / aBG²². Direkte Entwässerung oder Abläufe sind nicht zulässig.

In der Praxis finden sich darüber hinaus **Werkstattfliesen** oder **leitfähige Industrieböden** in Bereichen, in denen elektrostatische Aufladung vermieden werden muss, etwa bei Batteriemontage oder in sensiblen Elektronikbereichen.

Die tatsächliche Ausführung variiert somit stark je nach Branche, Sicherheitsanforderung und Produktionsumgebung. Typischerweise sind Industrieböden so ausgelegt, dass sie:

- eine hohe mechanische Tragfähigkeit und Abriebfestigkeit bieten,
- beständig gegen übliche Reinigungs- und Betriebsmittel sind,
- und gegebenenfalls die Anforderungen an Dichtheit oder Rückhaltung gemäß AwSV und TRwS 779²³ erfüllen.

3.2 Bauarten und normative Anforderungen an Flächen zum Umgang mit wassergefährdenden, flüssigen Stoffen

Die technische Ausführung von Industrieböden in Anlagen mit potenziellem Umgang mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen wird in Deutschland maßgeblich durch die **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)** sowie die **Technischen Regeln wassergefährdender Stoffe (TRwS)** bestimmt. Ergänzend gelten die **Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb)** und ggf. bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) oder allgemeine Bauartgenehmigungen (aBG) für eingesetzte Beschichtungs- und Abdichtungssysteme.

¹⁸ DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 786 (TRwS 786), Technische Regel wassergefährdender Stoffe – Ausführung von Dichtflächen.

¹⁹ bauaufsichtliche Zulassungen

²⁰ allgemeine Bauartgenehmigungen

²¹ bauaufsichtliche Zulassungen

²² allgemeine Bauartgenehmigungen

²³ Allgemeine Anforderungen an Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen

Betonbauweisen

Bei Betonböden werden insbesondere zwei grundlegende Bauarten unterschieden:

- **FD-Beton (flüssigkeitsundurchlässiger Beton)**, dessen Dichtheit konstruktiv über den Beton selbst sichergestellt wird. FD-Betonflächen werden häufig bei Produktions- oder Lagerhallen eingesetzt, bei denen mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird.
- **Beschichtete Betonflächen**, bei denen der Beton als Tragschicht dient und die Dichtfunktion durch ein aufgebrachtetes Beschichtungssystem (z. B. Epoxidharz, Polyurethan oder polymethylmethacrylat-basierte Systeme) erreicht wird. Solche Systeme sind typischerweise mit einer bauaufsichtlichen Zulassung versehen und nach WHG für LAU-Anlagen (Lagern, Abfüllen, Umschlagen) geeignet und werden von WHG-Fachbetrieben appliziert.

In Bereichen, in denen erhöhte Anforderungen an chemische Beständigkeit, Reinigbarkeit oder mechanische Widerstandsfähigkeit bestehen, werden häufig mehrschichtige Beschichtungen verwendet (Grundierung, Kratzspachtelung, Deckschicht, ggf. Versiegelung). Fugen werden mit Fugenbändern oder dauerelastischen Dichtstoffen (mit aBG) abgedichtet.

Normative Anforderungen an Dichtheit und Beständigkeit

Für Böden, die als **flüssigkeitsundurchlässige Flächen** im Sinne von § 18 AwSV gelten sollen, sind die Vorgaben der TRwS 786 („Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“) und TRwS 779 („Allgemeine Anforderungen an Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen“) maßgeblich.

Diese definieren insbesondere:

- Anforderungen an die Betonzusammensetzung und Rissbreitenbegrenzung,
- Mindestbauteildicken (typisch ≥ 20 cm),
- Nachweise der Beständigkeit gegen mechanische, thermische und chemische Beanspruchung,
- regelmäßige Inspektionsintervalle (z. B. Sichtprüfung auf Risse),
- Vorgaben zur Fugenabdichtung und zum Fehlen oder zur Sicherung von Bodeneinläufen.

Ein Boden gilt als **flüssigkeitsundurchlässig**, wenn er seine Dicht- und Tragfunktion während der gesamten Dauer der Beanspruchung durch die vorhandenen Stoffe nicht verliert. Die TRwS 786 konkretisiert dies, indem sie u. a. für Beton festlegt, dass die Eindringtiefe nicht betonangreifender Flüssigkeiten maximal zwei Drittel der Betonschichtdicke betragen darf.

WHG-Flächen und Fachbetriebspflicht

Flächen, die als WHG-Fläche gelten (z. B. in LAU-Anlagen oder bei Lagerung wassergefährdender Stoffe), unterliegen zusätzlich der **Fachbetriebspflicht nach § 62 WHG**. Diese besagt, dass Errichtung, Instandsetzung und Reinigung solcher Anlagen nur durch zertifizierte Fachbetriebe erfolgen dürfen. Die Qualifikation und Überwachung dieser Fachbetriebe regelt die **AwSV (§§ 45 ff.)**.

Typische Anwendungsbereiche:

- **Werkstatt- und Produktionsbereiche mit Chemikalien oder Ölen:** beschichtete, ggf. WHG-zugelassene Betonflächen.
- **Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen:** flüssigkeitsundurchlässige WHG-Flächen gemäß AwSV / TRwS.

4 Analyse der Nutzungsszenarien

Das Kapitel fasst die Ergebnisse der im Rahmen der Studie erhobenen Fragebogenrückmeldungen zu Transport, Lagerung, Qualitätskontrolle und Schadensfällen zusammen. Die Angaben spiegeln typische betriebliche Handhabungspraktiken wider. Ziel ist es, die tatsächlichen Umgangsbedingungen zu beschreiben, unter denen LIZ und LIB in industriellen Anlagen bewegt, geprüft und gelagert werden, und daraus Schlussfolgerungen zur Relevanz wasserrechtlicher Anforderungen abzuleiten.

4.1 Eingangskontrolle und Qualitätsprüfung

Die befragten Unternehmen setzen bei LIZ und LIB standardisierte Prozesse zur Qualitätskontrolle ein, die an mehreren Stellen des Materialflusses greifen – insbesondere beim Wareneingang und vor dem Einbau in Fahrzeuge.

Am Wareneingang wird überwiegend eine aktive Kontrolle auf Transportschäden durchgeführt. Diese umfasst in allen Fällen mindestens eine visuelle Prüfung, häufig im Rahmen einer formalen Gefahrgut-Eingangskontrolle nach ADR und unter Verwendung standardisierter Checklisten. Geprüft werden unter anderem Beschädigungen an Gehäusen und Packstücken, Verformungen, Auffälligkeiten an Steckverbindern sowie sichtbare Hinweise auf Gasaustritt oder Leckagen. Einzelne Betriebe ergänzen diese Kontrollen durch eine thermische Überwachung (z. B. Wärmebildkameras in Zwischenlager- oder Montagebereichen).

Der zeitliche Ansatz der Eingangskontrollen liegt meist unmittelbar bei der Anlieferung bzw. während der Entladung. Teilweise wird zusätzlich vor der weiteren Verwendung, vor dem Versand oder nach bestimmten Prozessschritten geprüft.

Der Prüfumfang reicht je nach Betrieb von reinen Sichtprüfungen bis hin zu erweiterten Mess- und Diagnoseschritten. Genannt wurden u. a. Messungen der Leerlaufspannung, Isolationsmessungen im Hochvoltbereich sowie das Auslesen von BMS-Daten (Einzelzellspannungen, -temperaturen, etc.). In mehreren Rückmeldungen wird darauf hingewiesen, dass das BMS beim Wareneingang noch nicht aktiv ist und daher eine detaillierte elektronische Zustandsdiagnose erst in späteren Prozessschritten erfolgt. In Produktionsumgebungen werden zusätzlich Inline- und End-of-Line-Prüfungen durchgeführt, in denen Zellen und Batterien u. a. elektrisch und thermisch überprüft werden.

Die Erkennung defekter Einheiten erfolgt in erster Linie über sichtbare Auffälligkeiten (mechanische Schäden, Undichtheiten) und thermische Anomalien. Wo BMS- oder Messdaten zur Verfügung stehen, können auch elektrische Abweichungen (z. B. Spannungs- und Temperaturunterschiede einzelner Zellen) zur Identifikation herangezogen werden.

Vor dem Einbau in Fahrzeuge oder Systeme findet in der Regel eine weitere Qualitätskontrolle statt. Dazu zählen End-of-Line-Prüfungen, Isolations- und Funktionstests, Temperatur- und Belastungsprüfungen sowie eine erneute Sichtkontrolle. Einzelne Angaben nennen Ausfallraten in spezifischen Tests, insgesamt liegen jedoch nur vereinzelte, nicht verallgemeinerbare Zahlen vor.

Zusammenfassend zeigen die Rückmeldungen, dass entlang der Prozesskette mehrere Prüf- und Überwachungsstufen etabliert sind, die darauf abzielen, mechanisch oder elektrisch auffällige Batterien vor der weiteren Verwendung zu erkennen und aus dem Prozess auszuschleusen. Eine spezifische Leckageüberwachung im Sinne einer Detektion kleinster Elektrolytmengen ist in der Regel nicht vorgesehen, da der Fokus auf der integralen Funktions- und Sicherheitseignung der Batterie (elektrisch, thermisch, mechanisch) liegt.

4.2 Lagerung

Die Rückmeldungen aus den befragten Unternehmen zeigen, dass die Lagerung von LIZ und LIB überwiegend durch interne Vorgaben, Brandschutzkonzepte und Herstellerspezifikationen strukturiert ist. Für die Lagerung gelten in der Regel Begrenzungen der Stapelhöhe und der Größe einzelner Lagerabschnitte. Genannt wurden unter anderem maximale Stapelhöhen von bis zu etwa 3 m sowie begrenzte Teillagerflächen in Kombination mit Brandmeldeanlage und Werksfeuerwehr.

Hinsichtlich der Verpackung und Einlagerungsart zeigt sich ein prozessabhängiges Bild. In einigen Betrieben werden LIB mitsamt Emballage eingelagert, etwa in ADR-konformen Verpackungen, Kartonen, Kunststoffladungsträgern, Stahlgestellen oder Behältern. In anderen Fällen werden die Batterien ohne zusätzliche Umverpackung in Racks oder Transportgestellen gelagert, insbesondere in der Fahrzeugproduktion, wo die Systeme in fahrzeugspezifischen Gestellen bereitgestellt werden. Holzverpackungen werden nur in Einzelfällen und selten genutzt. Insgesamt ist die Entscheidung „mit oder ohne Emballage“ primär durch logistische Abläufe und Produkttyp vorgegeben.

Mehrere Unternehmen nutzen Hochregallager für die Lagerung bestimmter Batterietypen, etwa für Starterbatterien oder für Zellen in Pilotlinien. Diese Hochregalsysteme sind häufig automatisiert, sodass der Umschlag ohne manuelle Eingriffe erfolgt. Andere Standorte lagern LIB bewusst nicht im Hochregal, sondern in bodennahen Block- oder Regallagern, abhängig vom jeweiligen Konzept und dem Brandschutz.

Eine feste maximal zulässige Lagerdauer wird überwiegend nicht vorgegeben. Stattdessen kommen logistische Prinzipien wie „First-in / First-out“ zur Anwendung, sodass die Verweilzeiten im Lager typischerweise begrenzt bleiben. In einer Rückmeldung wurde eine maximale Lagerdauer von sechs Monaten genannt; nach Ablauf dieses Zeitraums ist vor erneutem Transport eine Bewertung der Transportsicherheit anhand eines Bewertungsprotokolls vorgesehen.

4.3 Transport und innerbetriebliche Logistik

Die Anlieferung der LIB erfolgt in den befragten Betrieben überwiegend straßengebunden per LKW. Mehrere Unternehmen nutzen ergänzend den Schienenverkehr, teilweise im Rahmen multimodaler Lieferketten, bei denen Straße und Schiene kombiniert werden. In Einzelfällen werden zusätzlich See- oder Lufttransporte eingesetzt, wobei der nachgelagerte Zufluss in das Werk in der Regel wiederum per LKW erfolgt.

Nach Ankunft im Werk werden die Batterien je nach Prozessstruktur entweder zunächst in ein Zwischenlager verbracht oder direkt in nachgelagerte Produktions- bzw. Montagebereiche eingeschleust. Ein Teil der Betriebe berichtet von kurzzeitigen Zwischenlagerungen von einigen Arbeitstagen, etwa in Hochregallagern für Starter- und Boosterbatterien oder in separaten Lagerzonen. Andere Standorte geben an, dass bestimmte Batterietypen – insbesondere Hochvoltantriebsbatterien – ohne vorgelagertes Außenlager just-in-time in die Endmontage eingebracht werden, während andere Typen zunächst im Lager bevorratet werden.

Für die innerbetriebliche Logistik kommen durchgängig geeignete Fördermittel zum Einsatz. Namentlich genannt wurden Gabelstapler, elektrisch oder manuell betriebene Palettenhubwagen, modul- oder produktspezifische Transportwagen sowie fahrerlose Transportsysteme (FTS / AGV) und fest installierte automatische Fördertechnik. Manuelle Handhabung schwerer Batteriesysteme findet nicht statt; die Bewegungen erfolgen auf ebenen Industrieflächen mit standardisierten Transportwegen.

Die Anlieferung auf Auffangwannen erfolgt in der Regel nicht. Stattdessen werden die Batterien in Gefahrgutverpackungen oder -ladungsträgern angeliefert, die den einschlägigen Vorschriften des Gefahrgutrechts (z. B. ADR) entsprechen. Insgesamt deutet das Antwortbild darauf hin, dass Schutz und Dichtheit der Batterien primär über die geprüfte Konstruktion der Batterie und die eingesetzten

Transportverpackungen gewährleistet werden, nicht über zusätzliche Auffangvorrichtungen während des Transports.

4.4 Umschlag

Unter Umschlagen wird im Kontext dieses Gutachtens der logistische Vorgang des Be- und Entladens, Umladens oder Umsetzens von LIZ und LIB verstanden, etwa beim Übergang zwischen Transportmitteln oder beim innerbetrieblichen Weitertransport.

Das Merkblatt adressiert Umschlagprozesse ausdrücklich, unterscheidet dabei jedoch nicht immer trennscharf zwischen dem Umschlagen als Tätigkeit und dem Betrieb sogenannter Umschlaganlagen. Für Anlagen zum Umschlagen von LIZ und LIB werden die Anforderungen in Nr. 8.2.4 des Merkblatts geregelt, wobei für intakte Batterien im Wesentlichen auf die für Lagerung geltenden Maßstäbe verwiesen wird. Gleichzeitig stellt das Merkblatt klar, dass beim Umschlagen außerhalb solcher Anlagen die allgemeinen Sorgfaltspflichten des Wasserhaushaltsgesetzes maßgeblich sind.

Aus technischer Sicht unterscheidet sich der Umschlag nicht grundlegend vom Transport oder der innerbetrieblichen Logistik: Die Batterien verbleiben in ihrem geprüften Zustand, werden mit geeigneten Fördermitteln bewegt und unterliegen keinen zusätzlichen mechanischen oder chemischen Beanspruchungen, die über die bereits durch Transport- und Sicherheitsprüfungen abgedeckten Belastungen hinausgehen. Der Umschlag stellt damit kein eigenständiges Nutzungsszenario mit erhöhtem Leckagerisiko dar, sondern ist Teil der regulären logistischen Handhabung von LIZ und LIB.

4.5 Einordnung der Nutzungsszenarien

Die Auswertung der Nutzungsszenarien zeigt, dass der Umgang mit LIZ und LIB in den befragten Betrieben durch klare logistische, qualitätssichernde und brandschutztechnische Strukturen geprägt ist. Lagerung, und (innerbetrieblicher) Transport erfolgen nahezu ausschließlich in kontrollierten Umgebungen (Hallen, definierte Lagerbereiche) und mit geeigneten Transporthilfsmitteln. Hinzu kommen standardisierte Gefahrgut-Eingangskontrollen, Sichtprüfungen, teils ergänzende elektrische Messungen sowie End-of-Line-Prüfungen vor dem Einbau in Fahrzeuge oder Anlagen.

Im Vergleich dazu arbeitet das Merkblatt in weiten Teilen mit abstrakten Risikoszenarien (defekte, ungeprüfte oder beschädigte LIB), ohne die faktisch etablierten Prüf- und Kontrollstufen in Industrieanlagen systematisch zu berücksichtigen. Die befragten Praxisakteure berichten übereinstimmend, dass Leckagen oder Elektrolytaustritte bei den in der AwSV betrachteten Umgangstatbeständen im Rahmen der Automobilproduktion (Lagern, Umschlagen, Verwenden) bislang nicht beobachtet wurden.

In der Gesamtschau bilden die Nutzungsszenarien damit eine wichtige Referenz, um die im Merkblatt vorgeschlagenen Anforderungen – insbesondere hinsichtlich der Behandlung von LIZ / LIB als „defekt“ oder „ungeprüft“ sowie der Notwendigkeit zusätzlicher Rückhalteeinrichtungen – auf ihre technische Plausibilität und Verhältnismäßigkeit hin zu prüfen. Sie zeigen, dass bereits heute mehrere Kontroll- und Separationsstufen existieren, die im Ergebnis dazu beitragen, das Auftreten von Leckage-Ereignissen im regulären Betrieb äußerst unwahrscheinlich zu machen.

5 Physikalisch-chemische Bewertung von Elektrolyt-Leckagen und mögliche Bodenpenetration

5.1 Bewertung von Elektrolyt-Leckagen anhand einer generischen Zusammensetzung

Im Folgenden, wird bewertet, wie im Elektrolyt vorhandene Einzelsubstanzen aufgrund Ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften bei geringfügiger Leckage reagieren, wobei Mischeffekte nicht ausgeschlossen werden können. Die von den befragten Unternehmen genannten Volumen der Elektrolyte pro Zelle liegen noch deutlich unter dem im Merkblatt genannten Volumen von bis zu 200 ml. Die befragten Unternehmen berichten, dass zukünftig größere LIZ zum Einsatz kommen könnten. Die Elektrolyt-Mengen würden sich entsprechend auf maximal 300 – 400 ml pro LIZ erhöhen. Damit einhergehend würde sich aber die Anzahl der LIZ pro LIB verringern, so dass die Elektrolyt-Mengen pro LIB gleichbleiben würde.

Leitsalz

Lithiumhexafluorophosphat (Rigoletto Kenn-Nr. 9245, WGK 2, Salz in flüssiger Phase gelöst)

Im Elektrolyt ist Lithiumhexafluorophosphat (LiPF_6) gelöst. Die Substanz als Reinstoff ist kaum flüchtig. Verdampft das Lösungsmittel ist davon auszugehen, dass LiPF_6 zurückbleibt und auskristallisiert. Es bildet weiße, kristalline Rückstände.²⁴ LiPF_6 ist jedoch sehr instabil gegenüber Feuchtigkeit und reagiert sehr schnell mit Luftfeuchtigkeit. Dabei entstehen Lithiumfluorid (LiF) (fest), Phosphorylfluorid (POF_3) (gasförmig, toxisch) und Fluorwasserstoff (HF) (gasförmig, stark ätzend und toxisch).²⁵ HF kann unbehandelte Betonoberflächen angreifen. Aufgrund der allgemeinen Korrosionschemie von HF an Silikat-/Ca-haltigen Baustoffen ist jedoch davon auszugehen, dass HF durch Reaktionen mit den Betonbestandteilen umgewandelt wird und daher nur eine oberflächliche Reaktion zu erwarten ist, vergleichbar mit einer statisch, nicht bewegten Säurebeaufschlagung.

Lösungsmittel – weniger flüchtig

Ethylencarbonat EC (Rigoletto Kenn-Nr. 2268, WGK 1, org. Lösemittel für Leitsalz)

Bei Raumtemperatur erstarrt Ethylencarbonat und bildet einen viskosen Film auf der Oberfläche. In Gegenwart von Feuchtigkeit hydrolysiert es und bildet das wasserlösliche Ethylenglykol, wie es auch in technischen Verfahren zur Ethylenglykol-Herstellung genutzt wird.²⁶ Aus LiPF_6 freigesetztes HF wirkt als Säure-Katalysator und beschleunigt die Reaktion. Ethylenglykol ist wasserlöslich und toxisch²⁷. Es kann Beschichtungen und Lacke angreifen, jedoch kann man davon ausgehen, dass es relativ neutral gegenüber unbehandeltem Beton ist. Da es wasseranziehend wirkt, kann es lediglich das Ausblühen von Beton begünstigen. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Wasser, Sauerstoff und Wärme kann Ethylenglykol oxidieren und Säuren bilden²⁸. Diese können Metalloberflächen angreifen.

²⁴ [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

²⁵ Hui Yang, Guorong V. Zhuang, Philip N. Ross Jr.: *Thermal stability of LiPF_6 salt and Li-ion battery electrolytes containing LiPF_6* . In: *Journal of Power Sources*. Band 161, Nr.1. Elsevier, 20.Oktober 2006, S.573–579; [doi:10.1016/j.jpowsour.2006.03.058](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.03.058)

²⁶ [Ethylenglykol – Seilnacht](#)

²⁷ [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

²⁸ [Ethylenglykol](#)

Propylencarbonat PC (nicht in Rigoletto gelistet, WGK geschätzt, org. Lösemittel für Leitsalz)

Beim Auslaufen verbleibt Propylencarbonat als zähe Flüssigkeit, die nur sehr langsam verdampft.²⁹ PC kann Farben, Dichtstoffe und Beschichtungen angreifen. Bei Kontakt mit Beton entstehen Propylenglykol und Carbonationen, die mit dem unbehandelten Beton langsam reagieren, jedoch keine direkten Ätzreaktionen.

Lösungsmittel – sehr flüchtig

Dimethylcarbonat DMC (Rigoletto Kenn-Nr. 4077, org. Lösemittel für Leitsalz)

DMC verdunstet rasch und stellt eher ein Brand- / Explosionsrisiko dar als ein Risiko für ein Eindringen in den Boden³⁰. Eine Reaktion mit unbehandeltem Beton verläuft langsam. Es wird erwartet, dass der unbehandelte Beton bei vereinzelttem Auslaufen des Elektrolyts kaum geschädigt wird, bzw. das DMC sogar zuvor vollständig verdampft.

Lösungsmittel – leicht entzündlich, mittel flüchtig

Diethylcarbonat DEC (Rigoletto Kenn-Nr. 2559, org. Lösemittel für Leitsalz)

Auch für DEC steht das Brand- / Explosionsrisiko im Vordergrund.³¹ Eine Reaktion mit Beton verläuft langsam. Es wird erwartet, dass der Beton bei vereinzelttem Auslaufen des Elektrolyts kaum geschädigt wird.

Ethylmethylcarbonat EMC (Rigoletto Kenn-Nr. 9377, WGK 1, org. Lösemittel für Leitsalz)

Auch für EMC steht das Brand- / Explosionsrisiko im Vordergrund.³² Eine Reaktion mit unbehandeltem Beton verläuft langsam. Es wird erwartet, dass der unbehandelte Beton bei vereinzelttem Auslaufen des Elektrolyts kaum geschädigt wird.

Additiv

1,3-Propansulton (Additiv, Rigoletto Kenn-Nr. 977, WGK 3)

1,3-Propansulton reagiert rasch mit Feuchtigkeit oder potenziell basischen Betonoberflächen. Es entstehen Sulfonsäuren / Sulfonate, die korrosiv wirken können. Es wird erwartet, dass der unbehandelte Beton bei vereinzelttem Auslaufen des Elektrolyts kaum geschädigt wird. Ein Austausch des Betons nach einer Verunreinigung mit 1,3-Propansulton ist meist eher dadurch begründet, dass 1,3-Propansulton eine hohe Toxizität (Alkylierungspotential) aufweist und ein Verbleib sogar kleinster Mengen im Boden nicht erwünscht sein sollte.

5.2 Zusammenfassung von Elektrolyt-Leckagen

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass bei geringfügigen Leckagen von Lithium-Ionen-Batterien aufgrund der geringen Flüchtigkeit und langsamen Reaktivität der meisten Lösungsmittel nur mit oberflächlichen Reaktionen selbst auf unbehandeltem Beton zu rechnen ist. Kritisch ist vor allem das Leitsalz Lithiumhexafluorophosphat (LiPF_6), das mit Feuchtigkeit zu stark ätzendem und toxischem Fluorwasserstoff (HF) reagieren kann, jedoch meist nur oberflächlich wirkt.

Um exakte Aussagen über die Möglichkeit des Durchdringens der industriellen Böden treffen zu können, müssten geeignete Test (z.B. Medienbeständigkeitsprüfung, Permeationsprüfung) beauf-

²⁹ [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

³⁰ [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

³¹ [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

³² [GESTIS-Stoffdatenbank](#)

trägt werden. Bei Verwendung eines FD-Betons nach der DAfbStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (BumwS) wäre der Nachweis adhoc erfüllt und es wären keine Versuche nötig.

6 Rechtlicher Kontext

6.1 Einführung

Für die regulatorischen Anforderungen an die Lagerung von Batterien sind neben den Zielen und Grundlagen der AwSV verschiedene Rechtsbereiche relevant, namentlich:

- Wasserrecht
- Chemikalienrecht und Gefahrgutrecht
- Batterierecht (Produkt- und Abfallrecht)
- Genehmigungsrecht (Immissionsschutzrecht mit Störfallrecht; Baurecht).

Die Rechtsbereiche ergänzen sich bzw. nehmen teilweise aufeinander Bezug. Angesichts dieser vielfältigen Bezüge lassen sich im folgenden Kapitel manche Redundanzen nicht vermeiden.

6.2 Wasserrecht (insbesondere AwSV)

Die auf dem WHG basierende AwSV regelt den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, einschließlich der Anforderungen an Anlagen, in denen solche Stoffe lagern oder in denen mit solchen Stoffen umgegangen wird. Sie zielt darauf ab, Gewässer vor Verunreinigungen durch wassergefährdende Stoffe zu schützen und beschreibt hierzu Anforderungen an die Planung und Errichtung, den Betrieb und die Überwachung von Anlagen, in denen solche Stoffe gelagert oder gehandhabt werden.

- Die AwSV führt das Konzept ein, wie Stoffe und Gemische (im Folgenden zusammenfassend als wassergefährdende Stoffe bezeichnet) in verschiedene Wassergefährdungsklassen einzustufen sind.
- Anlagen, in denen mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird, müssen so konstruiert sein, dass keine dieser Stoffe in die Umwelt gelangen können. Dies beinhaltet Maßnahmen wie Auffangwannen, dichte Bodenbeläge und die regelmäßige Überprüfung der Anlagen auf Leckagen.
- Betreiber solcher Anlagen sind verpflichtet, regelmäßige Inspektionen und Wartungen durchzuführen und Aufzeichnungen über die Betriebszustände zu führen. Es müssen entsprechende Notfallpläne vorliegen, um bei Störungen oder Unfällen schnell reagieren zu können.

§§ 62 ff. WHG und folgend die AwSV befassen sich mit Anlagen zum Umgang mit (u.a. der Lagerung von) wassergefährdenden Stoffen.

Entsprechend § 63 WHG dürfen Anlagen zum Lagern, Abfüllen oder Umschlagen wassergefährdender Stoffe (unter den dort genannten Voraussetzungen und Grenzen) nur errichtet, betrieben und wesentlich geändert werden, wenn ihre Eignung von der zuständigen Behörde festgestellt worden. Die Errichtung oder wesentliche Änderung einer gemäß § 46 Abs. 2 oder Abs. 3 AwSV prüfpflichtigen Anlage (bzw. Maßnahmen an der Anlage, die zu einer Änderung der Gefährdungsstufe nach § 39 Absatz 1 AwSV führen), bedarf der Anzeige an die zuständige Behörde. Dem Betreiber obliegen Überwachungs- und Prüfpflichten, die in den Fällen des § 46 Abs. 2-5 AwSV durch Sachverständige durchzuführen sind.

6.3 Chemikalienrecht und Gefahrgutrecht

Das Chemikalienrecht schafft die Grundlage für sicheren Umgang mit gefährlichen Inhaltsstoffen in Batterien. Lithium-Batterien enthalten Substanzen, die aus Sicht des Chemikalienrechts als gefährliche Stoffe oder Gemische nach der CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 einzustufen sind. Während die oben beschriebene (wasserrechtliche) Einstufung nach AwSV dabei anlagenbezogen ist, ist die Einstufung nach CLP auf Produkt / Vermarktung bezogen.

Das Gefahrgutrecht regelt den sicheren Transport gefährlicher Güter, die in völkerrechtlichen Abkommen geregelt sind, insbesondere für den Straßenverkehr (ADR), aber auch im Luft-, See- und Schienenverkehr. Lithium-Batterien gelten – je nach Typ und Zustand – als Gefahrgut im Sinne dieser Vorschriften. Auch wenn das Gefahrgutrecht formell den Transport regelt, wirken seine Vorgaben faktisch in die Lagerlogistik hinein, insbesondere bei der Lagerung von transportbereiten, beschädigten oder zurückgesandten Lithium-Batterien.

Aus chemikalienrechtlicher Sicht sind folgende Verpflichtungen besonders relevant:

- Gefährdungsbeurteilung des Arbeitgebers nach § 6 GefStoffV³³ - Arbeitgeber müssen ermitteln, ob von der Lagerung gefährlicher Stoffe Gefährdungen ausgehen.
- Lagerung nach TRGS³⁴ 510 („Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“). Batterien gelten teils als „Lagergut“ mit gefährlichen Eigenschaften. Anforderungen an Lagerabstände, Brandabschnitte, Belüftung, Kennzeichnung, Notfallmaßnahmen.
- Lithium-Batterien (bzw. die enthaltenen Inhaltsstoffe) müssen ggf. nach UN-Vorschriften (z. B. UN 3480 / 3481) (und die Inhaltsstoffe nach CLP) gekennzeichnet werden.

6.4 Produkt- und Abfallrecht

Das Produktrecht regelt die Anforderungen an das Inverkehrbringen, die Sicherheit und die Konformität von Produkten. Für Batterien gilt seit dem 18. Februar 2024 die EU-Batterieverordnung unmittelbar in allen EU-Mitgliedstaaten. Die EU-Batterieverordnung enthält Anforderungen an:

- Design und Sicherheit von Batterien
- Kennzeichnung und Informationspflichten
- Konformitätsbewertung und CE-Kennzeichnung
- Rücknahme, Lagerung, Behandlung und Recycling

Zusätzlich gilt in Deutschland seit Oktober 2025 das bundesrechtliche Batterierecht-Durchführungsgesetz (BattDG), das an die Anforderungen der EU-Batterieverordnung angepasst worden ist. Obwohl Batterieverordnung und BattDG primär das Inverkehrbringen und die Produktverantwortung regeln, ergeben sich indirekt Auswirkungen für die Lagerung, etwa im Bereich von:

- Sicherheits- und Kennzeichnungspflichten
- Dokumentations- und Rückverfolgbarkeitspflichten
- Behördliche Kontrolle nichtkonformer Batterien im Lager

³³ Gefahrstoffverordnung

³⁴ Technischen Regeln für Gefahrstoffe

Dies gilt auch bei der Lagerung von gebrauchten oder zurückgegebenen Batterien:

- wenn sie als „produktrückgeführte Batterie“ erneut in Verkehr gebracht werden sollen - dann gelten erneut alle Produkthanforderungen der Verordnung;
- wenn die Batterien den Abfallbegriff erfüllen, kann die Lagerung neben der Genehmigungspflicht (siehe dazu unten) auch Anzeige- / Erlaubnispflicht nach §§ 53, 54 KrWG³⁵ unterliegen. Bestimmte Batterien sind nach aktueller EU-Abfallliste bzw. der nationalen AVV grundsätzlich gefährliche Abfälle (Pb, Ni-Cd, Hg, getrennt erfasste Elektrolyte, siehe Abfallschlüsselnummern 160601*, 160602*, 160606*, 200133*³⁶); mit Wirkung von November 2026 werden auch Lithium-Batterien grundsätzlich als gefährliche Abfälle eingestuft (siehe Delegierter Beschluss (EU) 2025/934 der Kommission vom 5. März 2025).

6.5 Bezüge zu Genehmigungsfragen (BImSchG, Baurecht, Brandschutz)

Anforderungen an die Lagerung von Batterien und Altbatterien können sich mit Blick auf Anlagenbetrieb aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und den untergesetzlichen Rechtsverordnungen ergeben.

6.6 Zusammenfassung der rechtlichen Grundlagen

Die Lagerung und der Umschlag von Lithium-Batterien ist Gegenstand verschiedener Bereiche der Umweltregulatorik, die zwar zunächst unabhängig und unbeschadet voneinander gelten, tatsächlich aber in vielfältiger Hinsicht zusammenwirken, um Risiken, die von Batterien ausgehen (und insbesondere Risiken, die von in Batterien enthaltenen chemischen Stoffe ausgehen), einzuhegen. Hierzu gibt es Vorgaben nicht nur aus dem Wasserrecht, sondern auch an die Gestaltung von Batterien, chemikalienrechtlicher Vorgaben und solche aus dem Bereich der Zulassung / Genehmigung von Anlagen und Lagerstätten. Mögliche Risiken aus der Lagerung von Batterien werden so aus verschiedenen Richtungen eingehegt.

7 Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der im Gutachten ausgewerteten technischen, naturwissenschaftlichen und betrieblichen Erkenntnisse ist festzustellen, dass bei bestimmungsgemäßem Umgang mit Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien unter realistischen Betriebs- und Störbedingungen – unter ausdrücklichem Ausschluss von Brandereignissen – eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern nicht zu besorgen ist. Diese Einschätzung stützt sich auf folgende zentrale Befunde:

- 1) Technische Auslegung und Umschließung
- 2) Begrenzte Stoffmengen und Freisetzungspotenziale
- 3) Fehlende realistische Eintragswege
- 4) Betriebliche Kontroll-, Prüf- und Separationsmechanismen
- 5) Gesamtwürdigung im Sinne des Besorgnismaßstabs

Zusammenfassend kann Ramboll fachlich nicht nachvollziehen, warum das BLAK-Merkblatt flüssigkeitsundurchlässige Oberflächen gemäß TRwS 786 für den Umschlag und Lagerung von LIZ / LIB fordert, obwohl die meisten der oben genannten existierenden Sicherheitsvorkehrungen im Merkblatt Erwähnung finden. Die Forderung eine Ausnahmegenehmigung für den Umschlag / Lagerung

³⁵ Kreislaufwirtschaftsgesetz

³⁶ Batterien und Akkumulatoren, die unter 160601, 160602 oder 160603 fallen, sowie gemischte Batterien und Akkumulatoren, die solche Batterien enthalten.

von LIB auf nicht-flüssigkeitsundurchlässigen Böden beantragen zu müssen, hält Ramboll für technisch unverhältnismäßig.

Eine Einstufung der Lagerung gemäß AwSV vergleichbar eines Fass- oder Gebindelagers ist mit den beschriebenen Erkenntnissen (Austritt nur geringer Mengen bei defektem Gehäuse, keine Flüssigkeit bei thermischem Durchgang) nicht nachvollziehbar.

Das BLAK-Merkblatt beschreibt in Abschnitt 9 nachvollziehbar die Betrachtung des Brandschutzes sowie im Sinne des § 20 AwSV einer im Einzelfall zu betrachtenden Löschwasserrückhaltung. Da übliche Betonflächen ohne weitere Anforderungen nach AwSV in diesem Zusammenhang durchaus wasserundurchlässig hergestellt werden (WU-Bauweise) und Leckagen im typischen Anwendungsbereich eines Lagers von Zellen oder Batterien nach den gewonnenen Erkenntnissen eher im Bereich von lokalen Mengen im unteren ml-Bereich bleiben, wäre eine generelle Anwendung von § 20 AwSV für diesen Sonderbereich durchaus ausreichend.

Ramboll sind keine dem BLAK-Merkblatt entsprechenden Regelungen aus anderen Ländern bekannt. Wettbewerbsrechtliche Bedenken sollten auf BLAK-Ebene diskutiert werden.

8 Verzeichnis relevanter Rechtsakte

Rechtsakt	Vollzitat	Link
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist	Link
EG-Abfallrahmenrichtlinie	Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie), zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 (ABl. L 191 vom 28.7.2023, S. 1)	Link
EU-Batterieverordnung	Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und der Verordnung (EU) Nr. 2019/1020, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) 2024/1860 der Kommission vom 3. Juli 2024 (ABl. L 2024/1860 vom 31. Juli 2024).	Link
EG-CLP-Verordnung	Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006	Link
EG-REACH-Verordnung	Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission	Link
UN-Regelung Nr. 100	Verordnung (EU) 2021/2190 der Kommission vom 10. Dezember 2021 zur Änderung der Regelung Nr. 100 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der spezifischen Anforderungen an den elektrischen Antrieb (ABl. L 446 vom 10.12.2021, S. 1–314)	Link
WHG	Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. August 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 189) geändert worden ist	Link

9 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
aBG	allgemeine Bauartgenehmigungen
abZ	bauaufsichtliche Zulassungen
ADR	Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
AK	Arbeitskreis
Al	Aluminium
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
BattDG	Batterierecht-Durchführungsgesetz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BLAK UmwS	Bund-/Länderarbeitskreis Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
BMS	Batterie-Managementsystem
BumwS	Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
Cu	Kupfer
DAfStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
DEC	Diethylcarbonat
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DMC	Dimethylcarbonat
EC	Ethylencarbonat
EMC	Ethylmethylcarbonat
EMI	Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut
FAQ UmwS	Häufig gestellte Fragen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
HF	Fluorwasserstoff
Hg	Quecksilber
ICT	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
LAU-Anlage	Ortsfeste Einrichtungen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat
LIB	Lithium-Ionen-Batterien
LiF	Lithiumfluorid
LiPF ₆	Lithiumhexafluorophosphat
LIZ	Lithium-Ionen-Zellen
NCA	Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
NMC	Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid

Abkürzung	Beschreibung
Pb	Blei
PC	Propylencarbonat
POF ₃	Phosphorylfluorid
REESS	Rechargeable Energy Storage System
TRGS	Technischen Regeln für Gefahrstoffe
TRwS	Technischen Regeln wassergefährdender Stoffe
VerpackG	Verpackungsgesetz
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
wgS	wassergefährdende Stoffe
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

Anhang 1: Kopie des Fragebogens

RAMBOLL Bright ideas.
Sustainable change.

**VDA-Projekt:
Bewertung möglicher Gefahren für Gewässer durch die Freisetzung in LIZ/LIB
enthaltener wassergefährdender Stoffe (wgS) bei Versagen der Umhüllung**

Dieser Fragebogen beinhaltet Fragen zu an Ihrem Standort typischerweise vorkommenden Ionen-Lithium-Zellen/-Batterien (LIZ/LIB) und zu den vorherrschenden Hallenböden/-flächen. Zudem werden Nutzungsszenarien abgefragt, die Umgangstatbestände im Sinne der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) darstellen können - unter Berücksichtigung von Beschädigungen der LIZ/LIB.

Die in diesem Fragebogen angegebenen Informationen werden streng vertraulich behandelt. Die Antworten Ihres Unternehmens werden anonymisiert ausgewertet, eine Verbindung zu Ihrem Firmennamen oder anderen identifizierenden Merkmalen wird nicht hergestellt.

Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen bis zum **01.08.2025** an die untenstehende Email-Adresse zurück. Bei Fragen zu diesem Projekt oder dem Fragebogen wenden Sie sich bitte auch direkt an:

Philipp Meichsner
Referent Umwelt & Nachhaltigkeit
Abteilung Verkehr & Transport | Klima, Umwelt & Nachhaltigkeit
Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA e. V.)
Email:
philipp.meichsner@vda.de

Ionen-Lithium-Zellen/-Batterien (LIZ/LIB)

Um eine Übersicht der am häufigsten verwendeten LIZ/LIB-Typen sowie eine allgemeingültige Zusammensetzung für eine repräsentative Musterzelle als Referenz zu erstellen, beantworten Sie bitte die Fragen zu den LIZ/LIB an Ihrem Standort so detailliert wie möglich. Kommentare können Sie in den jeweiligen Zellen gerne ergänzen. Bitte fügen Sie bei der Rückgabe der Informationen auch zusätzliche [Hier geht es zu den Fragen zu den Ionen-Lithium-Zellen/-Batterien \(LIZ/LIB\)](#)

Hallenböden/-flächen

Zudem werden Informationen zu typischerweise in der Automobilindustrie vorkommenden Industrieböden/-flächen gesammelt, auf denen mit den abgefragten LIZ/LIB umgegangen wird. Aus den Ergebnissen soll unter anderem darauf geschlossen werden, welche Böden/Flächen repräsentativ sind und wie deren [Hier geht es zu den Fragen zu den Hallenböden/-flächen](#)

Nutzungsszenarien

Es werden die Umgangstatbestände im Sinne der AwSV inklusive Beschädigungen von LIZ/LIB während des Umschlagens/Transports und des Lagerens abgefragt. Basierend auf den Rückmeldungen soll beschrieben werden, welche Beschädigungs-Szenarien im betriebsüblichen Kontext angenommen werden können.
[Hier geht es zu den Fragen zu den Nutzungsszenarien](#)

Allgemeines Kommentarfeld

Bitte nutzen Sie dieses Kommentarfeld, falls Sie uns noch etwas mitteilen möchten, was nicht in den jeweiligen Feldern untergebracht werden konnte:

Abbildung 2: Erste Seite des Fragebogens „Übersicht“

Fragen zum typischen Aufbau und zur Zusammensetzung von LIZ/LIB
 Bitte machen Sie die Angaben so genau wie möglich. Fügen Sie gerne weitere Unterlagen bei falls vorhanden.

Zukünftige Entwicklungen
 Gibt es in Ihrem Unternehmen Entwicklungen, die in dem Kontext des Projektes wichtig wären zu nennen? Z.B. "Solid-State-Batterien", die keine flüssigen Bestandteile, die auslaufen könnten, mehr beinhalten?

Spezifische Fragen zu LIZ/LIB am Standort
 Im Folgenden können Sie aus Dropdown-Listen auswählen oder selbst Informationen eingeben. Gerne können Sie Kommentare einfügen, falls Sie uns weitere Informationen oder Erklärungen mitgeben möchten. Die Zellen sind nicht geschützt, sodass Sie weitere Zellen bei Bedarf einfügen können. Falls Sie mehr als vier LIZ/LIB dokumentieren möchten, kopieren Sie bitte einfach die relevanten Abschnitte unter die letzte Eingabe und führen Sie die Nummerierung fort.

Allgemeine Angaben zur LIZ/LIB		Angaben zu den wassergefährdenden Stoffen (wgS) in der LIZ/LIB				Angaben zu Umhüllungen, Qualitätsanforderungen und Batteriemanagementsystemen (BMS)					Weitere Informationen					
Bitte wählen Sie die Zellchemie aus (z.B. NMC)	Wann "Andere"?	Um welche Zusammensetzung / Typen handelt es sich bei der Zellchemie (z.B. NMC111, NMC532)?	Welche Mengen an wassergefährdenden Stoffen (wgS) sind insgesamt in der LIZ enthalten (Angabe in ml oder mg)?	Welche wgS (Substanzname/ CAS No.)?	Welche spezifische Menge an dem genannten wgS ist enthalten (Angabe in ml oder mg)?	Welche wassergefährdungsklassen (WGK) haben die jeweiligen Stoffe (veröffentlichte als auch selbst eingestuft)?	In welchem Bauteil kommen die wgS vor (Kathode, Anode und/oder Elektrolyt)?	Im Falle, dass in Bauteil ein Elektrolyt als wgS vorkommt: Ist dieser fest, flüssig oder gefastig?	Aus welchem Material ist die Umhüllung der LIZ?	Ist die LIZ von weiteren Umhüllungen umgeben (siehe auch Batteriemodelle) und aus welchem Material sind diese?	Welche spezifischen Sicherheitsvorkehrungen gibt es im Batteriedesign, die verhindern, dass Substanzen austreten bzw. sich verflüchtigen (Aufbau, Umhüllungen, etc.)?	Welche Qualitätsanforderungen und Sicherheitsnormen zur Batteriesicherheit werden berücksichtigt (z.B. hinsichtlich Leakage Resistance, mechanischer Belastbarkeit)?	Gibt es Ihre Meinung nach wgS aus den LIZ/LIB austreten können? Wenn ja, wie sehen diese aus?	Ist ein Batteriemanagementsystem (BMS) vorhanden, das Unregelmäßigkeiten z.B. in den elektronischen Signalen erkennen kann (die auf Leckagen oder Undichtigkeiten schließen lassen können)?	Falls ein BMS vorhanden ist, ist dieses a) empfindlich genug bei Versagen einer Zelle zu reagieren? b) bei Lagerung, f. Transport bereits aktiviert?	Bemerkungen / Zusätzliche Angaben
1																
2																
3																
4																

[Zurück zur Übersicht](#)

Abbildung 3: Zweite Seite des Fragebogens „LIZ-LIB“

Fragen zum Aufbau der Hallenböden und/oder Flächen, auf denen LIZ/LIB gelagert werden
 Bitte machen Sie auch Angaben, wenn LIZ/LIB in Hochregallagern gelagert werden sollten. Machen Sie die Angaben bitte so genau wie möglich - aber ohne aufwendige Recherchen für Altbauten. Bei einem Neubau geben Sie bitte genauere Angaben zu z.B. dem Hersteller oder der Betongüte an.

Spezifische Fragen zum Standort

#	Bezeichnung gem. TRWS 786 (Technische Regel wassergefährdender Stoffe)	Bitte aus der Dropdown-Liste auswählen, welcher Hallenboden gemäß TRWS 786 vorhanden ist. Unter #9 bitte eigenständige Angaben machen	Bitte nennen Sie die Bezeichnung / Zulassungsnummer (vom DIBt; Deutsches Institut für Bautechnik)	Bitte machen Sie hier weitere Angaben zum z.B. Hersteller / Typ / Betongüte / Dichtungsnachweis / Flächenaufbau	Bitte geben Sie hier Details zu den Verbindungen/Fugen an (z.B. Fugenbleche, einbetonierte Fugenbandsysteme, Fugendichtstoffsysteme, Fugen-	Bemerkungen / Zusätzliche Angaben
1	Gussasphalt-Dichtschicht					
2	Halbstarre Dichtschicht					
3	Betonfertigteilplattensysteme					
4	Bewehrte nicht tragende Beton bzw. Estrich-Dichtschicht					
5	FD/FDE-Beton					
6	Beton mit Beschichtung					
7	Keramische Platten auf Dichtungsbahn oder Beschichtungen (Verbundsystem)					
8	Stahl					
9	Anderer Baustoff oder andere Vorkennung, wie z.B. Auffangwannen unter LIZ/LIB, bitte spezifizieren					

[Zurück zur Übersicht](#)

Abbildung 4: Dritte Seite des Fragebogens "Hallenböden"

Fragen zu den Nutzungsszenarien im Sinne der AwSV
 Der Fokus der Fragen liegt darauf, wie die LIB an Ihrem Standort gelagert werden, welche logistischen Prozesse bei der Annahme der LIB bei der Anlieferung existieren, wie die LIB am Standort umgeschlagen werden und was die Eingangskontrolle/Qualitätskontrolle beinhaltet. Bitte machen Sie die Angaben so detailliert wie möglich. Bitte stellen Sie weitere Informationen wie Leitfäden etc. zur Verfügung, die in diesem Zusammenhang an Ihrem Standort eine Rolle spielen.

Spezifische Fragen zum Standort

Thema	Fragen	Antwort	Bemerkungen / Kommentare / Zusätzliche Informationen
L a g e r u n g	Gibt es Vorgaben bei der Lagerung, z.B. bei der Stapelhöhe oder Anzahl der zu stapelnden Batterien?		
	Wird mit Emballage eingelagert oder werden die LIB von Emballagen befreit und dann eingelagert?		
	Wird die Lagerung in einem Hochregallager durchgeführt?		
	Falls ja, haben diese Hochregallager typischerweise ein automatisches Transportsystem/eine Verfahreinrichtung?		
	Gibt es eine maximal zulässige Lagerdauer / Verweilzeit der LIB im Lager?		
T r a n s p o r t	Wie werden die LIB angeliefert (LKW, Schiene)?		
	Geht es nach dem Transport erstmal in ein Zwischenlager?		
	Welche Transporthilfsmittel (Gabelstapler, Palettenhubwagen, etc.) werden verwendet?		
	Werden die LIB auf Auffangwannen angeliefert?		
Q u a l i t ä t s k o n t r o l l e	Wird aktiv nach Transportschäden gesucht?		
	Wann werden Eingangskontrollen durchgeführt?		
	Was beinhalten die Eingangskontrollen? Werden z.B. Messungen an den LIB vorgenommen, gibt es ein BMS oder ein anderes Analyseverfahren?		
	Können die Eingangskontrollen defekte LIB erkennen? Auch bereits defekte, einzelne LIB?		
	Wenn dies nicht der Fall ist, wieviele LIB müssen defekt sein, um ein signifikantes "Signal" zu bekommen?		
	Wird vor dem Einbau der LIB in Fahrzeuge noch einmal eine Qualitätskontrolle durchgeführt?		
	Wenn ja, wie hoch ist die typische Fehlerrate (wieviele defekte LIB)?		
S c h ä d e n	Wo können Ihrer Meinung nach Beschädigungen herkommen - bei Lagerung/Transport/Umschlagen?		
	Gab es bereits Schadensszenarien an Ihrem Standort (sind z.B. im Lager LIB undicht geworden, traten Beschädigungen durch Transport/Umschlagen auf)? Wenn ja, bitte		
	Wurden Falltests mit den LIB durchgeführt? Wenn ja, was waren die Ergebnisse?		

[Zurück zur Übersicht](#)

Abbildung 5: Vierte Seite des Fragebogens "Nutzungsszenarien"