

Edgar Schoop

Stationäre Batterie-Anlagen

Auslegung, Installation und Wartung

2. Auflage

huss



Edgar Schoop

Stationäre Batterie-Anlagen

Edgar Schoop

Stationäre Batterie-Anlagen

Auslegung, Installation und Wartung

2. Auflage

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet
über <http://portal.d-nb.de> abrufbar.

Titelfoto: [frank peters/stock.adobe.com](http://frank.peters/stock.adobe.com)

ISBN 978-3-341-01633-6

2. Auflage

© 2018 HUSS-MEDIEN GmbH, Verlag Technik,
Am Friedrichshain 22, 10407 Berlin
Telefon: 030 42151-0, Fax: 030 42151-273
E-Mail: huss.medien@hussberlin.de
Internet: www.huss-shop.de

Eingetragen im Handelsregister Berlin HRB 36260
Geschäftsführer: Wolfgang Huss, Christoph Huss

Lektorat und Einbandgestaltung: HUSS-MEDIEN GmbH
Druck und Bindearbeiten: Westermann Druck Zwickau GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne vorherige schriftliche
Genehmigung des Verlages vervielfältigt, bearbeitet und/oder verbreitet werden.
Unter dieses Verbot fallen insbesondere der Nachdruck, die Aufnahme und
Wiedergabe in Online-Diensten, Internet und Datenbanken sowie die Vervielfältigung
auf Datenträgern jeglicher Art.

Alle Angaben in diesem Werk sind sorgfältig zusammengetragen und geprüft.
Dennoch können wir für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts keine Haftung
übernehmen.

Vorwort

Die Neuauflage dieses Buches füllt eine wichtige Lücke: Es liefert das komplette Fachwissen um stationäre Batterie-Anlagen aus der Hand eines Praktikers.

Der Siegeszug erneuerbarer Energien verlangt dringend nach Lösungen, um Leistungs- und Spannungsschwankungen im Versorgungsnetz auszugleichen. Hier eröffnen sich für Energiespeicher nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) ein stark wachsendes Einsatzfeld als eine neue Form der stationären Batterie-Anlagen. Mit dem Projektbericht zum Multi-Mega-Watt Speicher zur Netzstabilisierung und effizienter Nutzung regenerativer Energien liegt das vorliegende Buch voll im Trend.

Auch sind seit je her stationäre Batterien für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung in konventionellen Anwendungen der Industrie und in Kraftwerken, in der Datenverarbeitung vom Kleinunternehmer über Großkonzerne und Banken, bis hin zur medizinischen Notfallversorgung, u. v. m. unverzichtbar.

„Stationäre Batterie-Anlagen“ liefert das Wissen von den Grundlagen bis zur fachgerechten Auslegung und Dimensionierung von Batterie-Anlagen und unterstützt den Leser bei der Wahl des richtigen Batterietyps für den jeweiligen Anwendungszweck. Zahlreiche Praxisbeispiele zeigen viele Einsatzvarianten von Batterien in stationären Stromversorgungsanlagen, einschließlich der erforderlichen Berechnungen der gesamten Anlagenstruktur, bis hin zur Photovoltaik-Batterie für die häusliche Anwendung.

Der Leser erhält die notwendigen Kenntnisse zur Belüftung und Ausstattung von Batterieräumen und zur Aufstellung von Batterien bis hin zu deren Entsorgung. Auch die betriebswirtschaftlichen Aspekte kommen nicht zu kurz: Bei der Auswahl hilft ein Vergleich der gesamten Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Cost) der unterschiedlichen Batterietypen, welcher in dem Buch anschaulich dargestellt wird.

Fotos aus dem „echten Leben“ einer Batterie zeigen mögliche Schadensbilder – ein unverzichtbares Rüstzeug jeder professionellen Wartung und Diagnose – bis hin zum „Wiedererwecken“ einer geschädigten Batterie. Untermauert wird dieser Erfahrungshintergrund durch mehrere, vielleicht einzigartige und vom Autor initiierte Untersuchungen an gealterten Batterien, die im vorliegenden Buch erstmals veröffentlicht werden.

Die zweite Auflage dieses Standardwerks hat eine maßgebliche Überarbeitung der technischen Beschreibung von Bleibatterien erfahren. Außerdem wurden die Kapitel

Li-Ionen-Batterien und NiCd-Batterien aktualisiert. Auch Kapitel wie Wartung und Schadensbilder wurden nicht zuletzt durch die durchgeführten Untersuchungen auf ein neues Niveau gehoben. Neue Kapitel behandeln beispielsweise das Löschen von Batteriebränden, Batterie-Management System (BMS) oder Multi-Mega-Watt Batterien im EEG.

Damit ist „Stationäre Batterie-Anlagen“ eine einzigartige Kombination aus den neuesten technischen Entwicklungen und fundiertem Fachwissen.

Der Autor ist anerkannt als Spezialist für Batterien und gesicherte Stromversorgungen. Als Projektmanager betreut er die Regionen Deutschland, Großbritannien und Südost Europa in einem international tätigen norwegischen Energiekonzern. Darüber hinaus verfügt er über langjährige Erfahrungen als Elektroingenieur in der Industrie und in der Energieerzeugung. Bekannt ist er der Fachwelt durch Seminare und Vorträge, wie z. B. die Megger Fachtage, AEG Belecker Fachtage, und Fachpublikationen im ep ELEKTRO-PRAKTIKER.

Dieses Buch gehört zum Handwerkszeug eines jeden Elektrotechnikers, der mit Planung, Installation, Betrieb und Wartung von Batterie-Anlagen in seiner beruflichen Praxis zu tun hat.

Rüdiger Tuzinski
Dipl.-Ing.
Chefredakteur der Fachzeitschrift
ep ELEKTROPRAKTIKER

Inhalt

1	Einführung	13
1.1	Aufgaben der gesicherten Stromversorgung bzw. Notstromversorgung	14
1.2	Anwendung der Batterie in gesicherten Strom- bzw. Notstromversorgungs-Anlagen	16
1.2.1	USV-Anlagen (unterbrechungsfreie-Strom-Versorgung)	16
1.2.2	Gleichstromversorgung	17
1.2.3	Pufferbetrieb mit unterschiedlichem Lastverlauf	18
2	Aufbau und Funktion verschiedener Bleibatterie-Typen	19
2.1	Funktionsweise einer Bleibatterie	19
2.1.1	Elektrolyt	20
2.1.2	Aufbau einer Bleibatterie	21
2.2	Elektrochemische Gleichung	22
2.2.1	Chemischer „Masse“-Prozess in einer Bleibatterie	22
2.2.2	Nebenreaktion	23
2.3	Aufbau der Bleibatterie	24
2.3.1	Aufbau der Platten	24
2.3.2	Aus der Herstellung resultierende Merkmale der Batterie	25
2.3.3	Eingebrachte aktive Masse	26
2.3.4	Formatierung der Platten	26
2.3.5	Separator	26
2.3.6	Abschlussleiste an der negativen Platte	27
2.3.7	Aufbau des Zellgefäßes	29
2.3.8	Pole und Poldurchführung	29
2.4	Konstruktiver Aufbau verschiedener Batterien-Platten	31
2.4.1	Batterien mit positiver und negativer Gitterplatte	31
2.4.2	Ortsfeste Panzerplatten-Batterie	33
2.4.3	Ortsfeste OCSM-Batterie	34
2.4.4	Aufbau und Konstruktion der ortsfesten GroE-Batterie	35
2.5	Geschlossene/verschlossene Batterie	36

2.5.1	Verschlossene Batterien	37
2.5.2	Gel- und AGM-VRLA-Batterien	41
2.5.3	Geschlossene Batterien	42
2.6	Der konstruktive Aufbau einer stationären Batterie bestimmt ihre Eigenschaften	43
2.6.1	Hinweis zum Ausfall einer Batterie	44
2.7	Verschlussart von geschlossenen Batterien	45
2.7.1	Einfache Verschlussdeckel	45
2.7.2	Labyrinth-Stopfen	45
2.7.3	Keramik-Trichterstopfen	46
2.7.4	Rekombinationsstopfen	47
2.8	Gegenüberstellung geschlossene-/verschlossene Blei-Batterie	49
2.9	Auswirkung der Temperatur auf die Batterie	52
2.9.1	Alterung einer Bleibatterie in Abhängigkeit der Temperatur	52
2.9.2	Kapazität einer Bleibatterie in Abhängigkeit der Temperatur	53
2.9.3	Korrektur der Ladeerhaltungsspannung in Abhängigkeit der Temperatur	55
2.9.4	Korrektur der Elektrolytdichte in Abhängigkeit der Temperatur	56
2.9.5	Temperaturabhängiger Innenwiderstand der Batterie	57
2.9.6	Zusammenfassung zum Kapitel	58
2.10	Nickel-Cadmium-(NiCd-)Batterien	59
2.10.1	Funktionsweise der NiCd-Batterien	60
2.10.2	Ladung von NiCd-Batterien	61
2.10.3	Taschenplatten-Konstruktion	61
2.10.4	Sinterplatten-Technologie	63
2.10.5	Eigenschaften von Ni-Cd-Batterien	65
2.10.6	Vorteile und Nachteile von NiCd-Batterien	68
2.11	Lithium-Ionen-(Li-Ionen)-Batterien	69
2.11.1	Funktion und Aufbau	69
2.11.2	Eigenschaften verschiedener Li-Ionen-Batterietypen	71
2.11.3	Sicherer Umgang mit Li-Ionen-Batterien	76
2.12	Anwendungsfälle der verschiedenen Batterietypen	77
2.12.1	Kraftwerke und industrielle Anlagen	77
2.12.2	Kerntechnische Anwendungen und Erdbebensicherheit	78
2.12.3	USV-Anlagen für den Notfall-Betrieb	78
2.12.4	Photovoltaik	79
2.12.5	Einsatz unterschiedlicher elektrochemischer Energiespeicher	80

3	Laden von Batterien	81
3.1	Batterieladung	81
3.1.1	Erstbefüllung	81
3.1.2	Batterie-Ladeverfahren	82
3.1.2.1	<i>I</i> -Kennlinie (Konstantstrom-Ladung nach DIN 41776)	83
3.1.2.2	<i>U</i> -Kennlinie (Konstantspannungs-Ladung)	83
3.1.2.3	<i>I/U</i> -Kennlinie (nach DIN 41773)	83
3.1.2.4	<i>W</i> -Kennlinie (Widerstands-Kennlinie nach DIN 41774)	84
3.1.2.5	Delta- <i>U</i> -Ladung	85
3.1.2.6	Impulsstrom-Ladung/Reflex-Ladung	85
3.1.2.7	Überlagerte Wechselfspannung	85
3.1.2.8	Qualitativer Ladungsverlauf in Abhängigkeit der Entladungstiefe	86
3.1.3	Selbstentladung von Batterien	87
3.1.4	Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie durch Messen der Leerlauf-Klemmenspannung	87
3.2	Batterie Management System BMS und Balancen	88
4	Anforderungen an Batterieräume	94
4.1	Belüftung von Batterieräumen	94
4.1.1	Belüftung von Batterieräumen nach DIN EN 50272-2 (VDE 0510-2)	94
4.1.2	Berechnung der erforderlichen Belüftung	96
4.1.3	Nahbereich der Batterie nach DIN EN 50272-2 (VDE 0510-2) Anhang B	99
4.2	Aufstellung von Batterien	103
4.2.1	Aufstellung und Belüftung einer verschlossenen Batterie bei Schrankeinbau	106
4.2.2	Erdbebensicherheit	109
4.3	Bodenbeschaffenheit und elektrische Anforderungen an elektrische Betriebs-/Batterieräume	112
4.3.1	Bodenbeständigkeit	112
4.3.2	Bodenleitfähigkeit	112
4.3.3	Sicherheitsschuhe, Handschuhe und Kleidung	112
4.3.4	Isolationswiderstand zu Spannung führenden Teilen	112
4.3.5	Erdung	113
4.3.6	Berührungsschutz	113
4.3.7	Kennzeichnung elektrischer Betriebsräume/Batterieräume	113
4.3.8	CE-Konformitätsbescheinigung	114
4.3.9	Weitere Hinweise	114
4.4	Vorschriften und Normen	115

5	Sichererer Umgang mit Batterien	116
5.1	Gesundheitsrisiko	116
5.1.1	Gefährdung durch Blei- bzw. NiCd-Batterien	119
5.2	Inverkehrbringen und Entsorgen von Blei-/NiCd-Batterien (BattG)	122
6	Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Cost)	123
7	Alternativen zur stationären Batterie	128
7.1	Brennstoffzellen	128
7.2	Supercaps	129
7.3	Schwungradgeneratoren	130
7.4	Diesel-Generatoren	130
7.5	NiMH-Batterien	130
7.6	Natrium-Schwefel-Batterien	131
7.7	Zusammenfassung zum Kapitel	131
8	Für jede Anwendung die richtige Batterie	133
8.1	Beispiel Photovoltaik-Anlage	134
8.1.1	Veranschaulichendes Funktionsprinzip	134
8.1.2	Aufbau einer Photovoltaik-Anlage	135
8.1.3	Anforderungen an Batterien für Photovoltaik-Anlagen	138
8.1.4	Zyklenbelastung einer PV-Batterie	139
8.1.4.1	Blei-Batterien	140
8.1.4.2	Li-Ionen-Batterien	141
8.1.4.3	NiCd-Batterien	141
8.1.5	Wichtige Punkte bei der Auslegung einer „Solar“-Batterie	142
8.1.6	Photovoltaik-Speicher im Privathaushalt	143
8.2	Beispiel IT-Anwendung	146
8.3	Beispiel Telekommunikations-Anwendung	147
8.4	Beispiel Anwendung mit hohen Sicherheitsanforderungen	147
9	Aufbau der gesicherten Stromversorgung	149
9.1	Festlegung der Überbrückungszeit	152
9.2	Ermittlung des Energiebedarfs	153
9.3	Verschaltung der Batterie	156
9.3.1	Leitungsdimensionierung und Absicherung der Batterie	159
9.3.2	Zulässige Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen	164
9.4	Batterie-Anschlusskabel	166
9.5	Batterie-Ladekreisüberwachung	166

10	Auslegung der Batterie-Anlage	168
10.1	Auslegung der Pufferbatterie einer USV-Anlage	168
10.1.1	Berechnung der Anzahl der benötigten Batteriezellen	169
10.1.2	Berechnung der am Gleichrichter einzustellenden Oberspannungsgrenze (Ladeerhaltungsspannung)	170
10.1.3	Am Wechselrichter einzustellende Unterspannungsgrenze (Entladeschlussspannung)	170
10.1.4	Dimensionierung der USV-Batterie	170
10.2	Aufbau der gesicherten Gleichstromversorgung mit begrenzter Stromaufnahme	172
10.2.1	Betriebszustände einer gesicherten Niederspannungs- Gleichstromversorgungsanlage (dynam. Stromaufnahme)	174
10.2.1.1	Batterie-Ladungserhaltungs-Betrieb	174
10.2.1.2	Batterieentladebetrieb	176
10.2.1.3	Kurzschluss-Fall im 24V-Gleichstromversorgungs-Netz	178
10.2.2	DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) Elektrische Ausrüstung von Maschinen	181
10.2.3	Betrachtung der Verbraucherspannung im Kurzschluss-Fall	182
10.3	Auslegung der Batterie einer gesicherten 220 V-Gleichstrom- versorgung mit dynamischer Stromaufnahme	185
10.3.1	Entladekurve der Batterie („Spannungssack“)	186
10.3.2	Berechnung in Anlehnung an die Methode der KTA 3703	187
10.3.3	Auslegung der Batterie bei dynamischem Lastprofil	190
10.4	Auslegung des Energiespeichers einer PV-Anlage zur vollständigen Deckung des Bedarfs eines Einfamilienhauses	196
11	Schadensbilder einer Batterie	199
11.1	Säureschichtung	199
11.2	Sulfatierung	200
11.2.1	Lagern einer geladenen Batterie	202
11.2.2	Ausgleichsladung oder „Aufwecken einer Batterie“	202
11.3	Batterie-Tiefentladung	203
11.3.1	Wiederherstellung einer tiefentladenen Batterie	204
11.4	Korrosion	204
11.5	Abschieferung	205
11.6	Plattenwachstum/Plattenkrümmung	206
11.7	Poldurchführung	208
11.8	Abschlämmung	211
11.9	Wasserverlust	212
11.10	Defekte Rekombinationsstopfen	213

11.11	Dendritenbildung	214
11.12	Untersuchungen an gealterten Batteriezellen aus einem Kraftwerk	215
11.13	Thermal Runaway VRLA-Batterie	226
11.14	Brandgefahr	228
11.14.1	Das Batteriezelle-Gefäß	228
11.14.2	Löschen von Batteriebränden, Löschen im elektrischen Betriebsraum	230
11.15	Batterie Brand- und Löschversuch	233
11.16	Informationsblatt für die Feuerwehr	241
12	Wartung von Batterien	244
12.1	Batterie Prüfprotokoll	244
12.2	Wartung von Bleibatterien	249
12.2.1	Allgemeine Prüfung	250
12.2.2	Äußere Sichtprüfung der Batterien	251
12.2.3	Innere Sichtprüfung der Batterie	251
12.2.4	Elektrische Überprüfung der Batterie	253
12.2.5	Elektrolytstand	255
12.2.6	Säuredichte	255
12.2.7	Raumtemperatur	257
12.2.8	Anzeichen für beginnende Schäden	257
12.3	Batteriekapazitätstest	259
12.3.1	Vorbereitung zum Kapazitätstest	261
12.3.2	Nach dem Kapazitätstest	261
12.3.3	Methoden zur Durchführung des Kapazitätstest	261
12.3.4	Prüfgeräte mit Messwertspeicher	266
12.4	Austausch einzelner Batteriezellen in einem Batterie-Verbund	267
13	Batteriespeicher zur Netzstabilisierung und effizienter Nutzung regenerativer Energien	268
13.1	Projektbericht Multi-Megawatt-Speicher	270
14	Schlussbetrachtung	281
Anhang		
	Erläuterung verschiedener Begriffe	283
	Quellenverzeichnis	287

Im Allgemeinen versteht man unter einer Batterie einen Speicher, der elektrische Energie speichern und bei Bedarf wieder abgeben kann. Die Begriffe „Batterie“ oder „Akkumulator“, kurz „Akku“, werden im Folgenden gleichermaßen verwendet und auch nicht weiter unterschieden.

Grundsätzlich besteht jedoch die Unterscheidung zwischen wiederaufladbaren Akkus/Batterien und solchen, die nach Entladung nicht einfach mittels Ladegerät wieder mit elektrischer Energie aufgeladen werden können.

Typischerweise sind die im Haushalt verwendeten Zink-Kohlebatterien der Baureihen AAA, AA, Mignonzellen etc. nicht wiederaufladbar und müssen nach Entladung entfernt und fachgerecht entsorgt werden. Gleiche Baureihen werden jedoch auch als wiederaufladbare Batterien/Akkus angeboten.

Im Haushalt verwendete Batterien sind keine stationären, sondern ortsveränderliche Batterien. **Als stationäre Batterien bezeichnet man jene, die speziell für einen bestimmten Anwendungsfall ausgelegt und installiert werden.** So zum Beispiel als Bestandteil einer gesicherten Strom- bzw. Notstromversorgungs-Anlage oder als Energiespeicher in Photovoltaik-Anlagen. Hier werden einzelne Batterien oder Batteriezellen zu großen Batterie-Anlagen zusammengeschaltet, wodurch eine enorme Speicherkapazität und hohe Spannungen von 220V und mehr erreicht werden können.

Die Haltbarkeit solcher Batterie-Anlagen ist oft für viele Jahre ausgelegt. Tatsächlich findet man in Kraftwerks- und Industrieanlagen stationäre Batterien, die älter als 15 Jahre sind und dabei ihre Aufgabe durchaus noch erfüllen. Die für einen solchen Einsatz konzipierten Batterien unterscheiden sich im Aufbau und in ihrer Konstruktion deutlich von ortsveränderlichen Batterien oder auch von KFZ-Batterien.

Darüber hinaus findet man den Begriff der Traktions-Batterie. Diese besitzen ebenfalls besondere Eigenschaften und sind zum Beispiel für den Einsatz als Antriebsbatterie für Gabelstapler oder Schienenfahrzeuge optimiert. Welches die Unterschiede sind, und wie eine stationäre Batterie/-Anlage ausgelegt wird und welche Besonderheiten zu beachten sind, wird im Folgenden aufgezeigt und erläutert.

Dieses Buch behandelt ausschließlich stationäre Batterien, jedoch immer mit dem Blick über den „Tellerrand“. Letzteres ist wichtig, um die Unterschiede zu sehen und zu verstehen. Denn die Anwendungsgebiete von Batterien sind überaus vielfältig, und

das Angebot an unterschiedlichen Batterietypen von unterschiedlichen Herstellern ist sehr groß.

1.1 Aufgaben der gesicherten Stromversorgung bzw. Notstromversorgung

Heute findet man gesicherte Stromversorgungen bzw. Notstromversorgungs-Systeme in den vielfältigsten Anwendungsbereichen. In der Welt der Informationstechnologien, kurz IT-Welt, und in der (Tele-)Kommunikation sichern Notstromversorgungen bei Netzausfall den sicheren Betriebsablauf und zugleich die Datensicherung der Rechner-systeme. In fast jedem Unternehmen und in jeder Rechner- oder Serveranlage findet man Notstromanlagen, ausgestattet mit Batterien. Sollte hier eine Stromversorgung nicht einwandfrei funktionieren, könnte auch ein kurzfristiger Energieausfall im Bereich von Sekunden bis Minuten zu Datenverlust und eingeschränkter Rechner- oder Teilnehmerverfügbarkeit führen. Für einen Telefon- oder Internetanbieter wäre dieses sehr unangenehm, für eine Bank hingegen sehr kostspielig.

Auch Hochhäuser besitzen eine Notstromversorgung, zum Beispiel für den Betrieb einer Feuerlöschanlage in den oberen Stockwerken, denn wenn der Wasserdruck der kommunalen Anbieter nicht ausreicht, muss Löschmittel hochgepumpt werden.

In Industrie- und Kraftwerksbereichen sichern Notstromversorgungs-Anlagen bei Netzausfall das sichere Anhalten der Produktion bis hin zum sicheren Abfahren ganzer Produktionsanlagen. Das abzuwägende Risiko des Versagens der Notstromanlage beispielsweise in einer Chemieanlage oder einem Atomkraftwerk betrifft immer auch das Abwenden von Unfällen und Katastrophen, von kleinem Ausmaß bis hin zu einem absoluten GAU (größter anzunehmendem Unfall), der wie im Falle der Reaktorkatastrophe der jüngsten Zeit weltweite Folgen haben kann.

Auch das sichere Funktionieren von Stromversorgungsanlagen im Zusammenhang mit Personenbeförderungsmitteln wie Schiffen, Flugzeugen und Bahnen kann direkte Auswirkungen auf das Überleben von Menschen haben. Hierüber macht man sich beim Betreten eines Flugzeugs wohl eher selten Gedanken.

Mindestens ebenso schwerwiegend wäre der Energieausfall in einem Krankenhaus, der zumindest im Operationssaal zum direkten Tod eines Menschen führen könnte.

Es gäbe noch unzählige weitere Beispiele für die Notwendigkeit und den Einsatz einer Notstromversorgung zur Sicherstellung der unterbrechungsfreien Stromversorgung. Zentraler Bestandteil einer Notstromversorgung ist immer ein elektrischer Energiespeicher – eine Batterie.

Auch im Bereich der regenerativen Energieerzeugung werden Batterien eingesetzt. Hier liegen die Aufgaben jedoch mehr darin, die zum Beispiel durch eine Photovoltaik-Anlage erzeugte Energie für die Nachtstunden zu speichern oder die erzeugte Energie zu stabilisieren. Wird die Sonneneinstrahlungsintensität durch das Vorbeiziehen einer

Wolke reduziert, so reduziert sich auch sofort die durch die Photovoltaik-Anlage erzeugte Energie. Für diesen kurzen Zeitraum kann dann die benötigte Energie der installierten Batterie entnommen werden.

Mit welcher Sicherheit und Verfügbarkeit und über welchen Zeitraum die Batterie betrieben werden muss, ist die je nach Anwendungsgebiet entscheidende Frage.

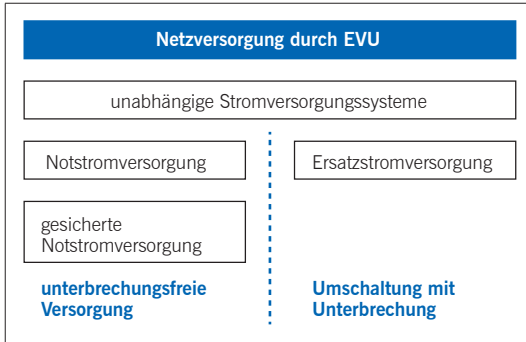


Bild 1.1
Unabhängige
Stromversorgungssysteme.

Quelle: Autor

Eine Ersatzstromversorgung wird erst nach Ausfall des Primärversorgers in Betrieb genommen. Diese wäre zum Beispiel ein mit Dieseltreibstoff betriebenes Stromaggregat. Dabei wird eine Unterbrechung der Versorgung in Kauf genommen.

Ist jedoch keine Unterbrechung der Versorgung der Verbraucher zu akzeptieren, so ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu installieren. Man spricht von einer Notstromversorgungs-Anlage, wobei die Begrifflichkeiten häufig vermischt werden bzw. nicht eindeutig sind. Der Begriff „Notstromdiesel“ wäre an dieser Stelle also nicht korrekt.

Die Anforderungen an eine unterbrechungsfreie Stromversorgung definieren den Aufwand, der betrieben werden muss, um die Versorgung der Verbraucher unterbrechungsfrei sicherzustellen. Muss also diese Notstromversorgung abgesichert werden, so kommt in der Regel mindestens ein zusätzliches Stromversorgungssystem zum Einsatz, um eine größtmögliche Sicherheit zu gewährleisten.

Eine Sicherheit von 99,9% bedeutet am Beispiel des Betriebs eines Atomkraftwerkes, das eines von 1 000 wahrscheinlich einen Störfall erlebt. Unklar ist jedoch, ob dies am Anfang oder am Ende der Betriebszeit geschieht.

Die Erfahrung hat allerdings gezeigt, dass unsere Generation bereits mehrere Störfälle erlebt hat. Dieses Beispiel soll aufzeigen, mit welcher Verantwortung eine gesicherte Notstromversorgungsanlage geplant werden muss.

Gegenstand dieses Buches ist es, den richtigen Batterietyp in Abhängigkeit der Anforderungen und der Sicherheitsaufgabe auszuwählen, zu dimensionieren und zu einer sicheren Strom- bzw. Notstromversorgungs-Anlage aufzubauen.

1.2 Anwendung der Batterie in gesicherten Strom- bzw. Notstromversorgungs-Anlagen

Batterien werden in Notstromversorgungs-Anlagen wie

- USV-Anlagen (Unterbrechungsfreie-Strom-Versorgungs-Anlagen) und
- Gleichstromversorgungen unterschiedlicher Spannungsebenen

eingesetzt.

Dabei erfüllt die Batterie die zentrale Aufgabe der Speicherung von elektrischer Energie.

1.2.1 USV-Anlagen (unterbrechungsfreie-Strom-Versorgung)

In USV-Anlagen (Anlagen zur unterbrechungsfreien Strom-Versorgung) wird die Batterie im Gleichstromzwischenkreis über Gleichrichter geladen bzw. die Ladeerhaltung bewirkt, anschließend wird der Gleichstrom über einen Wechselrichter in Wechsel- oder Drehstrom umgewandelt. Während der Ladeerhaltung der Batterie werden also die Verbraucher durch die USV-Anlage versorgt. Dieser Betriebszustand beschreibt den sogenannten Standby-Parallelbetrieb der Batterie.

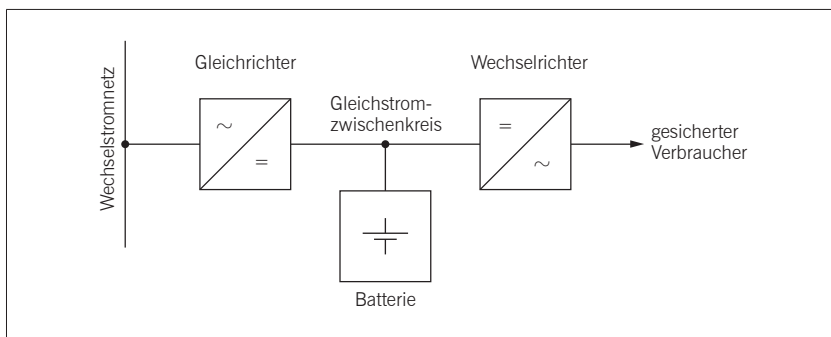


Bild 1.2 Vereinfachte schematische Darstellung einer USV-Anlage.

Quelle: Autor

Bei Ausfall des Wechselstrom-Versorgungsnetzes fließt kein Strom mehr durch den Gleichrichter der USV-Anlage. Zur Sicherung der Verbraucher wird jetzt die benötigte Energie der Batterie entnommen. Dieser Übergang geschieht unterbrechungsfrei. Die Batterie ist auf die nötige Überbrückungszeit auszulegen. Dieser Zeitraum ist so zu wählen, dass die Verbraucher in den sicheren Zustand gefahren werden können.

Nach Netzwiederkehr fließt wieder Strom durch den Gleichrichter, der Gleichrichter „schaltet wieder zu“. Die Batterie wird erneut geladen, und die Verbraucher werden weiter versorgt.

Gleichstromversorgungssysteme werden in unterschiedlichen Spannungsebenen aufgebaut. In Bereichen der Telekommunikation findet man häufig Spannungen im Bereich von 48V DC bis 60V DC.

In der Industrie und in Kraftwerken ist ein typischer Spannungswert zur Versorgung von Leit- und Sicherheitssystemen 24V DC. Diese Spannungswerte liegen also noch im Bereich der Schutz- Kleinspannung.

Ein wesentlicher Bestandteil der Gleichstromversorgung ist der Gleichrichter, der den Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt.

Moderne halbleitergesteuerte Gleichrichter sind kurzschlussfest und besitzen eine Überlastfähigkeit, zum Beispiel von 10 %. Im Überlastfall wird der Gleichstromkreis herunterregelt, also die Gleichspannung so weit reduziert, dass nicht mehr als der maximale vom Gleichrichter lieferbare Strom erreicht wird. Dies hat allerdings zur Folge, dass bei Verbraucher-Kurzschluss die Sicherung unter Umständen nicht oder erst nach sehr langer Zeit ausgelöst wird. An dieser Stelle hat die Batterie die Aufgabe, den erforderlichen Kurzschluss-Strom zur Auslösung der Sicherung zu liefern.



Sicherheit. Ausdauer. Maximale Leistung.

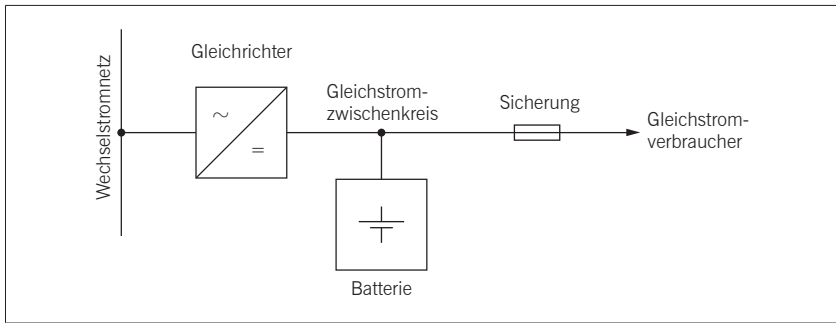


Bild 1.3 Vereinfachte Darstellung einer Gleichstromversorgung.

Quelle: Autor

Unter bestimmten Umständen und bei richtiger Auslegung aller Komponenten kann die Batterie bei einer Gleichstromversorgung zusätzlich als Pufferbatterie ausgelegt werden. So ließe sich eine sichere Gleichstromversorgung aufbauen.

Für den Aufbau einer gesicherten Gleichstromversorgung oder einer USV-Anlage werden in der Regel ortsfeste Blei-Batterien eingesetzt. Unter bestimmten Voraussetzungen kann es auch sinnvoll sein, Nickel-Cadmium-Akkus (NiCd-Akkus) zu verwenden.

Eins haben die zuvor beschriebenen Systeme gemeinsam: Der Lastverlauf ändert sich im Bedarfs-„Notfall“ nicht oder nur geringfügig gegenüber dem regulären Anlagenbetrieb. Das heißt, dass Geräte wie eine Sicherheitssteuerung und deren Sensorik und Aktorik im Bedarfs-„Notfall“ bereits in Betrieb sind und sich daher nur sehr geringe Lastschwankungen beim Wechsel vom Normal- in den Notfallbetrieb ergeben. Dieses vereinfacht die Auslegung der Batterie erheblich, da sie auf den Nennstrom der Notstromversorgungs-Anlage ausgelegt werden kann.

1.2.3 Pufferbetrieb mit unterschiedlichem Lastverlauf

Eine weitere Anwendung ist häufig in Kraftwerksanlagen anzutreffen, wo im Störfall Notsysteme wie Notölpumpen oder Notkühlsysteme mittels Batterien betrieben werden. Anders als im Standby-Parallel-Betrieb der USV-Anlage werden diese Aggregate erst im Störfall in Betrieb gesetzt. Angetrieben werden solche Notpumpen durch Gleichstrommotoren.

Im Störfall setzen sich diese Aggregate alle gleichzeitig in Betrieb. Die Batterie muss dann den Anlaufstrom mehrerer Motoren zugleich liefern können. Erst wenn alle Notsysteme im Betrieb sind, stellt sich ein kontinuierlicher Batterie-Entladestrom ein, der dann je nach Kraftwerkstyp über mehrere Stunden aufrechterhalten werden muss. Für Kernkraftwerke werden Batterieüberbrückungszeiten von bis zu 4 Stunden verlangt. Dieses erfordert eine enorme Batteriekapazität, wobei zudem ein unterschiedlicher Lastverlauf zu berücksichtigen ist.

2 Aufbau und Funktion verschiedener Bleibatterie-Typen

2.1 Funktionsweise einer Bleibatterie

Eine Batterie ist eine galvanische Zelle, welche bei Entladung chemische Energie in elektrische Energie umwandelt, wobei eine Gleichspannung erzeugt wird. Beim Laden wird durch Anlegen einer Gleichspannung elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.

Bei Metallen bildet das Metall M selbst und das dazugehörige Ion ein sogenanntes Redoxpaar (Schreibweis z. B.: M^{2+}). Das Redoxpotential ist dabei ein Maß dafür, wie bereitwillig das Ion Elektronen e^- aufnimmt. Das Redoxpotential selber ist nicht messbar, die Differenz zweier Potentiale hingegen schon. Werden zwei Metalle in eine Lösung, dem Elektrolyten getaucht, so entsteht im Bad eine sogenannte Ionenbrücke. Es ist eine galvanische Zelle entstanden, deren Redoxpotentialdifferenz nun messbar ist. Für verschiedene Metalle ist das spezifische Redoxpotential in der elektrochemischen Spannungsreihe gelistet. Somit lassen sich für verschiedene Metalle unterschiedliche Redoxpotentiale bzw. Potentialdifferenzen bestimmen. Diese elektrochemische Grundlage ist Voraussetzung für jede Batterie. Ob für Blei-, NiCd-, oder Lithium-Ionen-Batterien. Die Bereitwilligkeit des Ions freie Elektronen aufzunehmen bestimmt über die Energie, die eine Batterie aufnehmen kann (siehe hierzu auch Diagramm in Kapitel „Einsatz unterschiedlicher elektrochemischer Energiespeicher“).

Bei einer galvanischen Zelle kommt ein Stromfluss zu Stande, wenn an diese ein elektrischer Verbraucher angeschlossen wird. Damit findet außerhalb der Zelle eine Elektronenleitung, und innerhalb der Zelle eine Ionenleitung statt, womit der Stromkreis geschlossen ist.

Es gibt die nicht wieder aufladbaren galvanischen Zellen, die sogenannten Primärzellen, und die wieder aufladbaren galvanischen Zellen, die sogenannten Sekundärzellen. Sekundärzellen sind also galvanische Zellen, die sich durch Elektrolyse wieder aufladen lassen.

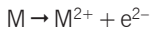
Dieses Buch beschäftigt sich mit den wieder aufladbaren Sekundärzellen.

Während der Ladung der galvanischen Zelle (Elektrolyse-Vorgang) und der Entladung ändern sich die Polarität der Batterie nicht, wohl aber die Richtung der Redoxvorgänge, und damit ändern sich auch die Bezeichnungen von Anode und Kathode. Bei der

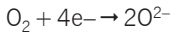
Elektrolyse (Ladevorgang) ist die Anode positiv, die Kathode negativ, beim Entladevorgang ist es umgekehrt. Die Anode ist eine Elektrode an der Oxidation stattfindet, an der Kathode findet eine Reduktion statt. Daher ist die Bezeichnung der Pole mit Anode und Kathode nicht eindeutig.

Beispiel für eine Reaktion von Metall M mit Sauerstoff O₂:

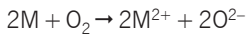
Oxidation: Das Metall M gibt zwei Elektronen e⁻ ab



Reduktion: Sauerstoffatom O₂ nimmt zwei Elektronen auf (Reduktion von 2e⁻)



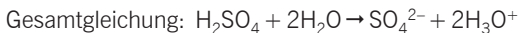
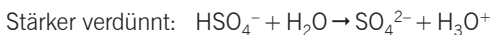
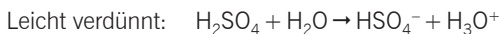
Redoxreaktion: Sauerstoff O₂ wird reduziert und oxidiert das Metall zu Metalloxid MO₂



2.1.1 Elektrolyt

Der Elektrolyt der Bleibatterie besteht aus mit destilliertem Wasser verdünnter Schwefelsäure. Das destillierte Wasser, oder auch entmineralisiertes Wasser genannt, beinhaltet im Gegensatz zu Leitungswasser, keine im Wasser gelösten Mineralien oder Spurenelemente, wodurch es elektrisch nicht leitfähig ist.

Handelsübliche Schwefelsäure hat eine Säurekonzentration von 96 % und ist eine schwere und ölige Flüssigkeit mit einer Dichte von 1,835 kg/l. Wird diese Säure mit destilliertem Wasser verdünnt, spaltet sich bei leichter Verdünnung zuerst ein Proton ab. Es bildet sich ein Hydrogensulfat Ion HSO₄⁻. Bei weiterer Verdünnung spaltet sich ein weiteres Proton ab (chem.: Dissoziation), es entsteht ein Sulfat-Ion SO₄²⁻. Damit ist eine elektrische Leitfähigkeit hergestellt.



Diese chemische Reaktion ist stark exotherm und ist ausreichend um zwölf Mol Wasser augenblicklich zum Verdampfen zu bringen. Beim Verdampfen kann Säure mit versprüht werden, was zu schweren Verätzungen führen kann. Daher der Merkspruch: „Niemals Wasser auf Säure, sonst geschieht das Ungeheure“. Erst nach starker Verdünnung, wenn die Hydratbildung abgeschlossen ist, kann sie weiter verdünnt werden. Eine im Betrieb befindliche Batterie kann also mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden.

Hinweis zur Säureschichtung: Aufgrund der höheren Dichte/Wichte von Säure gegenüber destilliertem Wasser kann es zur Säureschichtung innerhalb des Elektrolyten kommen; siehe hierzu Kapitel „Schadensbilder einer Batterie“.

2.1.2 Aufbau einer Bleibatterie

In einem säurefesten Behälter befinden sich im nicht geladenen Zustand zwei Platten aus Bleisulfat PbSO_4 in einem Bad aus Schwefelsäure und destilliertem Wasser, dem sogenannten Elektrolyten H_2SO_4 (38 %ig).

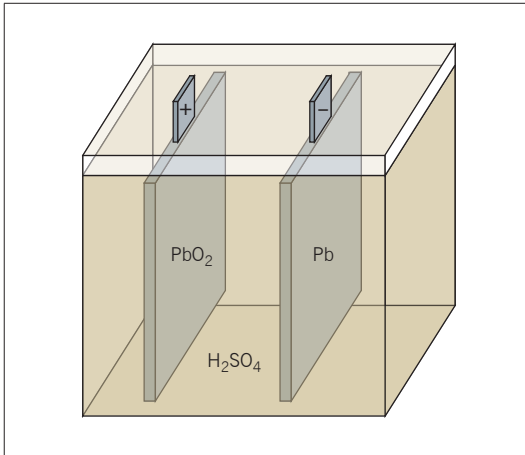
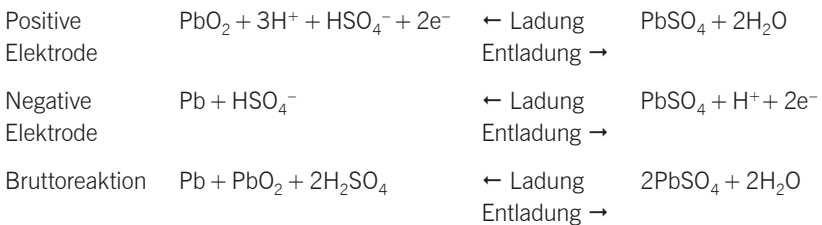


Bild 2.1
Prinzipieller Aufbau
einer Bleibatterie
(geladener Zustand).

Quelle: Autor

Die Zusammenhänge zwischen geladener und ungeladener Batterie lassen sich in einer chemischen Gleichung ausdrücken.

Hauptreaktion:



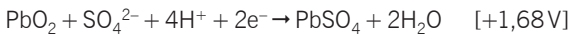
Bei Ladung der Batterie werden Elektronen über die Gleichspannungsquelle von der positiven Platte zur negativen „transportiert“. Sinnbildlich wird die positive Platte „positiver“, die negative Platte „negativer“. Innerhalb der Batterie findet eine Ionenleitung statt. Durch diesen Prozess wandelt sich auf der positiven Platte das Bleisulfat PbSO_4 zu Bleioxyd PbO_2 und auf der negativen Platte zu metallischen Blei Pb um, wobei unter Wasserverbrauch Schwefelsäure H_2SO_4 und Wasserstoff H_2 entstehen.

Beim Laden der Batterie nimmt die Säurekonzentration also zu, und es entsteht Wasserstoff. Der Elektrolyt der Bleibatterie nimmt dabei aktiv an der chemischen Reaktion teil.

Beim Entladen wandern 2 Elektronen von der negativen Platte zur positiven, und reduzieren das 4-wertigen Blei-Ion (Bleioxyd PbO_2) der positiven Platte. Dabei geht das nun entstandene 2-wertige Blei-Ion eine Bindung mit der Schwefelsäure ein, und wird zu Bleisulfat $PbSO_4$, wobei Wasser entsteht. Die negative Platte aus metallischem Blei Pb oxidiert ebenfalls zu Bleisulfat $PbSO_4$, wodurch in der Bruttoreaktion $2PbSO_4$ und 2 Teile Wasser entstehen. Da an beiden Platten der Batterie Bleisulfat entsteht, spricht man bei dem Entladevorgang auch von einer doppelten Sulfation.

2.2 Elektrochemische Gleichung

Über die zuvor beschriebenen Redoxpotentiale lässt sich die Ruhespannung bzw. Nennspannung der Bleibatterie wie folgt ermitteln:



$$E_{ges}^0 = +1,68V - (-0,36V) = 2,04V$$

Die elektrochemische Leerlaufspannung ist unter anderem abhängig von der Säurekonzentration unter Normalbedingungen und beträgt typischer Weise je nach Batterietyp 2,04V–2,1V (Herstellerangaben beachten). Mit Normalbedingungen oder Standardbedingungen ist im Wesentlichen die Temperatur gemeint. Chemische Prozesse sind temperaturabhängig, wodurch sich ein Temperaturkoeffizient der in Abhängigkeit der Säuredichte angeben lässt. Somit schwankt die Leerlauf-, bzw. Ruhespannung der Bleibatterie um $\pm 0,25$ mV/K.

2.2.1 Chemischer „Masse“-Prozess in einer Bleibatterie

Positive Elektrode		Elektrolyt		Negative Elektrode	Entladung → ← Ladung je Ah
PbO_2	+	$2H_2SO_4$	+	Pb	
4,46 g	+	3,65 g	+	3,86 g	
geladene Batterie 11,97 g					

Entladung → ← Ladung je Ah	Positive Elektrode		Elektrolyt		Negative Elektrode
	$PbSO_4$	+	$2H_2O$	+	$PbSO_4$
	5,65 g	+	0,67 g	+	5,65 g
	ungeladene Batterie 11,97 g				

Bei der ungeladenen Batterie ist zu erkennen, dass die Masseverhältnisse von Bleisulfat PbSO_4 der positiven und negativen Platte gleich sind. Durch Ladung der Batterie ändern sich die Masseverhältnisse, wobei die Gesamtmasse im Wesentlichen konstant bleibt. Durch die Masseänderungen finden innerhalb der Batterie tatsächlich eine Ausdehnung der Platten bei der Entladung, und ein Zusammenziehen bei Ladung statt, während der Elektrolyt deutlich schwerer wird. Diese Eigenschaft muss bei der Konstruktion der Batterie berücksichtigt werden.

An der chemischen Gleichung der Bleibatterie ist weiterhin zu erkennen, dass sich die Säuredichte in Abhängigkeit von der Ladung ändert. Eine 100 % geladene Batterie hat zum Beispiel eine Säuredichte von 1,26 kg/l, und eine entladene Batterie zum Beispiel noch 1,136 kg/l. Die Säuredichte ändert sich dabei um 0,01 kg/l pro ca. 5,56 % entnommener Kapazität.

Mit einer Faustformel lässt sich jetzt Säurekonzentration und Leerlaufspannung unter Normalbedingungen in Relation setzen:

$$U_0 = \text{Säuredichte} + 0,84 \text{ (Näherungsformel)}$$

2.2.2 Nebenreaktion

Neben der Hauptreaktion findet in der Batterie auch eine Nebenreaktion statt. Diese führt zur Selbstentladung der Batterie und reduziert den Anteil nutzbarer aktiver Masse. Die Nebenreaktion ist gekennzeichnet durch folgende Prozesse:

Positive Elektrode: Sauerstoffentwicklung, Korrosion des Bleigitters

Negative Elektrode: Sauerstoffrekombination, Wasserstoffentwicklung

[Korrosion lat. = zersetzen]

Dabei ist die Sauerstoffentwicklung die wesentlichste Reaktion. Bei der geschlossenen Batterie findet man den Sauerstoff in Form von Bläschen im Elektrolyten. Bei verschlossenen Batterien diffundiert der Sauerstoff durch den gebundenen Elektrolyten, und rekombiniert an der negativen Platte.

Wichtige Einflussgrößen bei der chemischen Reaktion sind Temperatur, Säurekonzentration und Zusätze, wie Antimon. Mit steigender Temperatur nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit exponentiell zu. Mit Verringerung der Säuredichte durch (Selbst-)Entladung wird die Korrosion des Bleigitters verstärkt. Ein höherer Antimonanteil in der Bleilegierung der Ableiter soll dem entgegenwirken. Die Korrosion an der positiven Platte führt zur Bildung von Passivschichten aus Bleisulfat, welche den Anteil aktiver Masse verringert. Durch Sulfatierung verringert sich die Kapazität der Batterie. Hierzu mehr unter dem Kapitel „Schadensbilder einer Batterie“. Durch Korrosion des Bleigitters nimmt die Stromleitfähigkeit der Ableiter ab, der Innenwiderstand der Batterie steigt. Der Ableiter zersetzt sich (siehe auch Kapitel „Untersuchungen einer gealterten Batterie“).

In heutigen Batterien sind natürlich nicht nur zwei Platten, sondern eine Vielzahl von Platten untergebracht. Um eine hohe Packungsdichte zu erhalten, und gleichzeitig negative und positive Platten voneinander zu trennen, sind sogenannte Separatoren zwischen den einzelnen Platten. Die Separatoren haben dabei die Aufgabe, die jeweils nebeneinander liegenden negativen und positiven Platten einerseits elektrisch zu isolieren, andererseits eine Ionenleitung zu gewährleisten. Separatoren sind also nichtleitend und diffusionsoffen. Es liegen sich also immer negative und positive Platten gegenüber, und sind durch einen Separator elektrisch isoliert. Alle negativen Platten werden innerhalb der Batterie durch den Plattenverbinder miteinander parallel geschaltet. Ebenso die positiven Platten. Damit hat eine Batteriezelle, unabhängig von der Anzahl der verwendeten Platten immer die Nennspannung von 2 Volt (Parallelschaltung), und wird als eine Batteriezelle bezeichnet. Durch die Verwendung von vielen Platten wird die Kapazität der Batterie erhöht. Ebenso lässt sich die Kapazität durch Verwendung größerer Platten erhöhen. In beiden Fällen wird der Anteil der aktiven Masse, dem Bleisulfat, innerhalb der Batterie erhöht. Dies geschieht, wie erwähnt durch größere Platten oder durch eine größere Oberfläche der Platten.

Eine höhere Spannung hingegen erhält man durch Zusammenschalten mehrerer Einzelzellen. Dabei werden innerhalb eines Batterieblocks mehrere Einzelzellen in Reihe geschaltet, so dass man immer ein Vielfaches von 2 Volt, zum Beispiel 6 V oder 12 V, erhält. Diese Batterien werden Blockbatterien genannt. In einer 12V-Blockbatterie sind also 6 Einzelzellen in Reihe miteinander verschaltet.

	Blei (Pb)	Nickel-Cadmium (Ni-Cd)
Nennspannung	2,0V	1,2V
Elektrolyt	verdünnte Schwefelsäure	verdünnte Kalilauge
pos. Elektrode	Bleiodioxid	Nickelhydroxid
neg. Elektrode	Blei	Cadmiumhydroxid
Anwendung	Netzersatz	Netzersatz
	Fahrzeugantrieb	Fahrzeugantrieb (FTS)

Tafel 2.1 Blei-/Nickel-Cadmium-Batterie

2.3 Aufbau der Bleibatterie

2.3.1 Aufbau der Platten

Eine Zelle setzt sich immer aus dem negativen und dem positiven Pol zusammen. Dabei wird eine einzelne Platte auch als Halbzelle bezeichnet, so dass zwei Halbzellen eine galvanische Zelle bilden. Die Platten selber sind folgendermaßen aufgebaut. Auf ein Grundgitter, bestehend aus einer Bleilegierung wird die eigentliche aktive Masse

aufgebracht. Das Grundgitter, auch Ableiter genannt, kann in verschiedenen Formen und in unterschiedlichen Herstellungsprozessen gefertigt werden. Unterschiedliche Formen bieten sich in der Hauptsache bei der Konstruktion der positiven Platte an. Die Bezeichnung des Batterietyps resultiert daher häufig aus der Konstruktion der positiven Platte. Auf die unterschiedlichen Batterietypen wird späteren Kapiteln ausführlich eingegangen.

2.3.2 Aus der Herstellung resultierende Merkmale der Batterie

Durch die Art der Herstellung des Ableiters sind verschiedene Merkmale, die die Standfestigkeit und Betriebsdauer bzw. Betriebssicherheit betreffen, festgelegt. Eine einfache Gitterplatte wird beispielsweise in einem Fließguss-Verfahren hergestellt. Dabei fließt das verflüssigte Blei in eine Gussform, in der es anschließend erstarrt. Hieraus ergibt sich eine verhältnismäßig geringe Dichte des Bleigefüges, die Oberfläche fühlt sich rau und porös an. Die durch den chemischen Prozess hervorgerufene Korrosion greift eine raue Oberfläche stärker an und kann leichter in die Tiefe eindringen. Die Folgen sind, dass eine nach diesem Verfahren hergestellte positive Platte eine geringere Standfestigkeit besitzt. Im Allgemeinen ist eine solche Platte auch empfindlicher gegenüber Temperatur und ist mechanisch weniger stabil. Jedoch bildet die raue Oberfläche eine gute Verbindung zur aufgetragenen aktiven Masse, wodurch hohe Ströme realisiert werden können. Der Einsatz von positiver und negativer Gitterplatte bezeichnet eine OGI-Batterie (ortsfeste Gitterplatten-Batterie). Erst bei der Formatierung der Platten wird letztlich festgelegt, ob es sich später um eine positive oder negative Platte handelt. Jedoch kann die Rezeptur der aktiven Masse unterschiedlich sein.

Da an der negativen Platte keine Korrosion stattfindet, lässt sich die negative Gitterplatte gut mit anderen Plattentypen kombinieren. Je nach Plattentyp ergeben sich dann spezifische Eigenschaften der Batterie.

Im Gegensatz zur Herstellung der Gitterplatte im Fließguss-Verfahren ist eine weitere Methode zur Herstellung der Platten das Spritzguss-Verfahren. Dabei wird zur Herstellung das flüssige Blei unter hohem Druck in eine Form gespritzt, in welcher es anschließend erstarrt. Der Effekt ist ein wesentlich dichteres Bleigefüge und eine glattere Oberfläche. Insbesondere die positive Platte, an der die Korrosion stattfindet, ist so bedeutend beständiger und stabiler. Dieses Verfahren ist jedoch aufwendiger und bedarf einiger technischer Besonderheiten des Herstellers um die anschließend eingebrachte aktive Masse fest mit dem Bleikörper zu verbinden. Das ist ein typisches Verfahren zur Herstellung der positiven Röhrenplatte der OCSM-Batterie.

Dem Ausgangsblei, mit Ausnahme der GroE, werden verschiedene Stoffe zugesetzt, um so eine Legierung mit bestimmten Eigenschaften zu erhalten. Diese sind zum Beispiel: Antimon Sb oder Calcium Ca (bevorzugt verschlossene Batterien), weiterhin Schwefel S, Zinn Zn, Kupfer Cu, Arsen As, Silber Ag, Tellur Te und Selen Se.

2.3.3 Eingebachte aktive Masse

Außer beispielsweise der positiven Platte der GroE-Batterie, die aus reinem Blei besteht, wird die aktive Masse auf die gegossene Bleiplatte aufgebracht. Die Ausgangsmaterialien sind:

- Bleistaub (25–30 % metallische Blei Pb, 70–75 % Bleioxyd PbO)
- Mennige (wird durch eine Weiteroxidation von Bleistaub erzeugt Pb_3O_4)

Durch Weiterverarbeitung mit Wasser und Schwefelsäure entsteht eine Paste als Ausgangsstoff der aktiven Masse. Ausschlaggebend für die Porosität ist der Wasser- und Sulfatgehalt der Paste. Zur Erhöhung der Stabilität können weitere Faserteilchen zur Armierung hinzugegeben werden. Die Paste für die negative Platte soll später eine verbleibende Porosität aufweisen, weshalb weitere Spreizmittel, wie Lignin, Huminsäure, Bariumsulfat BaSO_4 oder Ruß hinzu gemischt werden. Diese verhindern eine Rekristallisierung des zuvor erzeugten Schwammbleis. Die Zusammensetzung der Paste für die aktive Masse kann für positive und negative Platten unterschiedlich sein.



Pauschalisiert könnte man sagen, jede Aktion zur Verbesserung einer Eigenschaft kann eine Reaktion auf Kosten einer anderen Eigenschaft zur Folge haben. Dies sollte man bei der Auswahl eines speziellen Batterietyps, wie zum Beispiel einer sogenannten Solarbatterie, die eine hohe Zyklenbelastung standhalten soll, nicht außer Acht lassen. Durch die Zugabe von beispielsweise Antimon oder Calcium verbessern sich die Zykleneigenschaften, jedoch kann auch die Alterung hierdurch negativ beeinflusst werden.

2.3.4 Formatierung der Platten

Unter Formatierung der Platten versteht man einen elektrochemischen Vorgang (Elektrolyse) als Teil des Herstellungsprozesses, bei dem durch Ladung die aktive Masse in einen funktionsfähigen Zustand versetzt wird. Dabei werden die negative Platte zu metallischem Blei Pb, und die positive Platte zur Bleioxid PbO_2 (siehe Kapitel „Funktionsweise einer Bleibatterie“). Die Formatierung der Platten wird vor der Montage der Platten zu einem Plattenstapel in einem elektrolytischen Bad hergestellt. Der Elektrolysevorgang muss gegebenenfalls in mehreren Zyklen durchgeführt werden, um eine vollständige und durchdringende Aktivierung der Masse zu erzielen.

2.3.5 Separator

Der sogenannte Separator hat die Aufgabe, positive und negative Platten elektrisch voneinander zu isolieren. Dabei sind diese diffusionsdurchlässig, das heißt, sie sind säuredurchlässig und behindern den Ionenaustausch nicht. Besonders hochwertige

Batterien besitzen sogenannte Doppel-Separatoren, also zwei Separatoren. Der diffusionsdurchlässige mikroporöse Separator besteht aus einem dünnen Kunststoffmaterial, welches mechanische Teilchen nicht durchlässt. Dahingegen ist der sogenannte Wellenscheider ein eher grobgerastertes Material, welches wellenartig „gefaltet“ ist. Für den Fall, dass die Platten durch Plattenwachstum näher zusammengepresst werden, wird so gewährleistet, dass dennoch Elektrolyt dazwischen gehalten wird. Anderenfalls würde in dem Bereich der Pressung keine chemische Reaktion mehr stattfinden können und sich somit die Kapazität der Batterie verringern. Je nach Batterietyp und Hersteller kann sich die Bezeichnung der Separatoren ändern.

Sind also besonders hochwertige und langzeitstabile Batterien gefordert, so sind Doppel-Separatoren ein weiteres Kriterium hierfür.



Bild 2.2
Doppelseparatoren in einer Batterie.

Quelle: Eigenes Fotomaterial

Das Bild zeigt den mikroporösen Separator (grau) und den grob strukturierten Wellenscheider (Karamell), der eine Platte der Bleibatterie einfasst.

2.3.6 Abschlussleiste an der negativen Platte

Zwischen der positiven und negativen Batterieplatte bildet sich aufgrund der Ladung ein elektromagnetisches Feld. Dieses elektromagnetische Feld ist im Verlaufe der Platten homogen und senkrecht zur Platte gerichtet. Am Ende der Platten streut dieses hingegen. Beobachtet man nun die Ausrichtung der Dendriten, so ähneln diese ungefähr der Ausrichtung der Magnetfeldlinien.

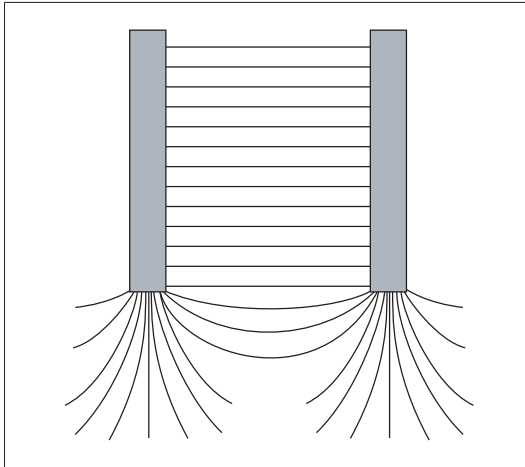


Bild 2.3
Beispielhafter Verlauf
der Magnetfeldlinien.

Quelle: Autor

Um das Anwachsen von Dendriten wirkungsvoll zu verhindern wird bei hochwertigen Batterien die negative Platte durch eine Kunststoffleiste isoliert. Je nach Batterietyp und Hersteller kann diese isolierende Abschlussleiste unterschiedlich benannt sein.

Während der Herstellung der positiven Röhrenplatte wird die aktive Masse in die Manteltasche eingespritzt und damit die Bleiseele umhüllt. Damit im weiteren Fertigungsprozess vor der Trocknung der eingespritzten aktiven Masse diese nicht wieder herausläuft, wird hier an der entstehenden positiven Platte ebenfalls eine nichtleitende Kunststoffleiste angebracht. Somit sind positive und negative Platten nach unten hin isoliert, womit eine Dendriten-Bildung verhindert wird.

Die Manteltasche, in die das aktive Material eingespritzt wurde, gewährleistet im Betrieb wiederum, dass sich ablösende aktive Masse nicht frei in der Batterie bewegen kann. Damit wird die Abschlammung bei der Röhrenplatte bzw. Panzerplatte weitestgehend unterbunden. Dies sind weitere positive Eigenschaften der OPzS- und OCSM-Batterien.

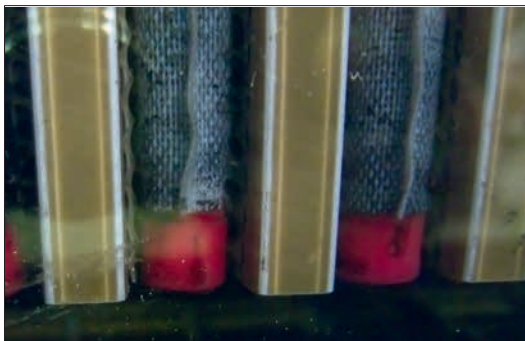


Bild 2.4
Abschlussleiste
einer OCSM Batterie.

Quelle: Eigenes Fotomaterial