



MARATHON  **TM**

 ***Sprinter*** [®]

Powerfit TM

 ***Classic*** TM

Handbuch für stationäre Bleibatterien

Teil 1: Grundlagen, Konstruktion, Betriebsarten und Anwendungen

Inhaltsverzeichnis

1. Funktion von Bleibatterien	6
1.1 Chemische Reaktionen	6
1.2 Nennspannung U_N	7
1.3 Aktive Massen.....	7
1.3.1 Bleistaubherstellung	7
1.3.2 Positive Aktivmassen (PbO_2)	7
1.3.2.1 Positive Aktivmasse für Großoberflächenplatten	7
1.3.2.2 Positive Aktivmasse für Gitterplatten	8
1.3.2.3 Positive Aktivmasse für Röhrchenplatten	8
1.3.3 Negative Aktivmasse (Pb)	8
1.3.4 Formation	8
1.3.5 Eigenschaften der positiven und negativen Aktivmasse	9
1.4 Bleisulfatbildung	12
1.4.1 Bleisulfat im entladenen Zustand	12
1.4.2 Bleisulfatdendritenbildung.....	12
1.5 Gasung und Rekombination.....	14
1.5.1 Gasung geschlossener Batterien.....	14
1.5.2 Gasungsmengen geschlossener Batterien	15
1.5.3 Rekombination verschlossener Batterien.....	15
1.6 Wärmeeffekte.....	18
1.6.1 Allgemeines.....	18
1.6.2 Wärmekapazität.....	19
1.6.3 Temperaturerhöhung.....	19
1.6.4 Wärmeeffekte bei Entladung	19
1.6.5 Wärmeeffekte bei Wiederaufladung.....	21
1.6.6 Wärmeeffekte bei Erhaltungsladung	23
1.6.7 Batterietemperatur	24
1.7 Thermisches Durchgehen	25
1.8 Ersatzschaltbild und Ortskurve Impedanz (Konduktanz)	26
2. Konstruktion und Werkstoffe.....	28
2.1 Design-Lebensdauer, Brauchbarkeitsdauer	28
2.2 Plattenkonstruktion und Legierungen	29
2.2.1 Positive Platten.....	29
2.2.1.1 Großoberflächenplatten.....	29
2.2.1.2 Röhrchenplatten (Panzerplatten).....	30
2.2.1.3 Gitterplatten	32
2.2.2 Brauchbarkeitsdauerende durch Korrosion.....	32
2.2.2.1 Intergranulare Korrosion.....	33

2.2.2.2 Schalenförmige Korrosion	33
2.2.2.3 Masseanbindung durch Korrosion	33
2.2.3 Negative Platten	34
2.2.3.1 Gitterplatten	34
2.2.3.2 Kupferstreckmetallgitter	34
2.3 Separatoren	35
2.3.1 Geschlossene und Gel-Batterien	35
2.3.2 AGM-Batterien	36
2.4 Elektrolyt	37
2.4.1 Allgemeines	37
2.4.2 Freier Elektrolyt	38
2.4.3 Festgelegter Elektrolyt	38
2.4.3.1 Festlegung in Gel	38
2.4.3.2 Festlegung in AGM	38
2.5 Zellen- und Blockgehäuse (Kasten und Deckel)	39
2.5.1 Zellen- und Blockgehäuse geschlossener Batterien	39
2.5.2 Zellen- und Blockgehäuse verschlossener Batterien	40
2.5.2.1 Zellen- und Blockgehäuse für Gel-Batterien	40
2.5.2.2 Zellen- und Blockgehäuse für AGM-Batterien	41
2.5.2.3 Verformungen bei verschlossenen Batterien	42
2.6 Poldurchführungen	43
2.6.1 GroE, OCSM, Energy Bloc	43
2.6.2 OPzS, OGi, A700 (≤ 42 Ah), A600 (OPzV)	44
2.6.3 OPzS-Block, A600 (OPzV)-Block, Marathon, Sprinter,	46
A700 (≥ 63 Ah)	46
2.6.4 A400, A500 und PowerCycle	49
2.6.5 Anzahl der Polpaare	49
2.7 Zellenstopfen und Ventile	50
2.7.1 Zellenstopfen für geschlossene Batterien	50
2.7.1.1 Entgasungsstopfen	50
2.7.1.2 Keramikstopfen	51
2.7.1.3 Keramiktrichterstopfen	52
2.7.2 Ventile für verschlossene Batterien	53
2.7.2.1 Ventile für Gel-Batterien	53
2.7.2.2 Ventile für AGM-Batterien	55
2.8 Verbinder und Endableiter	57
2.8.1 Flexible Verbinder	57
2.8.2 Starre Verbinder	57
2.8.3 Spannungsfall über den Verbindern	57
2.8.4 Strombelastbarkeit von Batterieverbindern	58

2.8.5 Verbinderquerschnitte.....	59
2.8.6 Temperaturerhöhung bei Entladung und Ladung.....	59
2.8.7 Kurzschluss sichere Verlegung.....	60
2.8.8 Spannungsfestigkeit von Kabeln.....	61
3. Betriebsarten von Batterien	63
3.1 Bereitschaftsparallelbetrieb	63
3.2 Pufferbetrieb	63
3.3 Umschaltbetrieb	64
3.4 Lade- / Entladebetrieb (Zyklusbetrieb)	64
3.5 Solarbetrieb (spezieller Lade- / Entladebetrieb).....	65
4. Entladen von Bleibatterien.....	67
4.1 Nominalkapazität C_N	67
4.2 Bemessungskapazität C_{rt}	67
4.3 Tiefentladung	67
4.4 Sulfatieren.....	68
4.5 Spannungsverlauf bei der Entladung (inkl. „Coup de Fouet“)	69
4.6 Selbstentladung	72
5. Laden von Bleibatterien	74
5.1 Allgemeines	74
5.2 Ladekennlinien.....	75
5.2.1 Kurzzeichen der Ladekennlinien nach DIN 41772	75
5.2.2 Konstantstrom / -spannung-Kennlinie (IU, IU0U)	76
5.2.3 Widerstandskennlinie (W).....	77
5.2.4 Konstantstromkennlinie (I)	78
5.2.5 Konstantstrom / -spannung / -strom-Kennlinie (IUI)	78
5.3 Ladefaktor und Elektrolytschichtung.....	79
5.4 Restladestrom (Erhaltungsladestrom)	81
5.5 Mangelladung	82
5.6 Überladung	84
6. Anwendungen	85
6.1 Telekommunikation	85
6.1.1 Festnetzkommunikation.....	85
6.1.2 Mobilfunkkommunikation	86
6.2 Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	86
6.3 Energieerzeugung und –verteilung.....	90
6.3.1 Energieerzeugung	90
6.3.2 Energieverteilung.....	90
6.4 Sicherheitstechnik	90
6.4.1 Alarm- und Brandmeldetechnik.....	90
6.4.2 Sicherheitsbeleuchtung	91

6.4.2.1 Allgemeines	91
6.4.2.2 Anwendung der DIN EN 50171	92
6.4.2.3 Batterieherstellerangabe zur Bemessungsbetriebsdauer	93
6.4.2.4 Wiederaufladebedingungen - Erforderliche Ladeströme.....	94
6.4.2.5 Zusätzliche Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern	95
6.5 Bahntechnik	95
6.5.1 Stellwerke und Signalanlagen.....	95
6.5.2 Bahnübergänge	96
6.5.3 Bahnkommunikation (GSM-R)	96
6.5.4 Rollendes Material	96
6.6 Photovoltaik (Solar)	97
6.7 Medizintechnik	98
7. Literaturverzeichnis	99

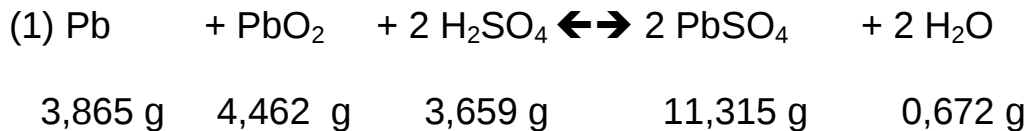
1. Funktion von Bleibatterien

1.1 Chemische Reaktionen

Die an der Reaktion beteiligten Partner sind:

- Positive Platte: PbO_2 (Bleidioxid)
- Negative Platte: Pb (Blei)
- Elektrolyt: H_2SO_4 (verdünnte Schwefelsäure)

Die folgende chemische Gleichung zeigt die chemischen Reaktionen als sogenannte Gesamtreaktion für die Entladung und Ladung unter Angabe der Massemenngen pro Amperestunde (Ah):



Während der Entladung (Reaktion von links nach rechts) wird das aktive Material Blei (Pb) der negativen Elektrode und das aktive Material der positiven Elektrode Bleidioxid (PbO_2) in Bleisulfat (PbSO_4) umgewandelt. Die Schwefelsäure (H_2SO_4) ist dabei an der Reaktion beteiligt und wird in Form von negativen Sulfationen (SO_4^{2-}) und positiv geladenen Wasserstoffionen (2H^+) zur Bildung des Bleisulfats und des Wassers benötigt. Während der Ladung (Reaktionen von rechts nach links) laufen diese Prozesse in umgekehrter Richtung ab.

Die Tatsache, dass der Elektrolyt des Bleiakkumulators an der Reaktion beteiligt ist, stellt eine Besonderheit dieses Akkumulatortyps dar. Bei allen anderen elektrochemischen Speicherelementen ist der Elektrolyt jeweils passiv, dass heißt, er leitet die Ionen, welche für die chemische Reaktion nötig sind, ist aber ansonsten nicht an den Elektrodenreaktionen beteiligt.

Wie obige Gleichung (1) zeigt, bestehen beide Elektroden im entladenen Zustand überwiegend aus Bleisulfat. Die Tatsache, dass, chemisch gesehen, beide Platten gleiches Material (PbSO_4) enthalten, ist eine Besonderheit nur dieser Akkumulatorenart.

1.2 Nennspannung U_N

Die Nennspannung einer Zelle ist ein geeigneter, angenäherter Wert der Spannung zur Bezeichnung oder Identifizierung eines elektrochemischen Systems, einer Zelle oder einer Batterie [1].

Der Wert pro Zelle beträgt definitionsgemäß:

- 2,0 V für den Bleiakkumulator
- 1,2 V für den Nickel-Cadmium-Akkumulator

Die Nennspannung einer Batterie ist das Produkt aus der Anzahl der in Reihe geschalteten Zellen und der Nennspannung einer Zelle.

1.3 Aktive Massen

1.3.1 Bleistaubherstellung

Die Bleistaubherstellung erfolgt generell in zwei unterschiedlichen Verfahren. Für beide Verfahren wird Feinblei mit einem Bleianteil von > 99,9 % verwendet.

In dem sogenannten Mühlenverfahren werden entweder erst kleine gegossene Bleipellets, in Scheiben geschnittene Bleibarren oder aber ganze Bleibarren in Mühlen zu Bleistaub zermahlen. Die Bleioberfläche wird durch Reibung der Bleikörper aneinander in einem Luftstrom oxidiert. Im sogenannten Barton-Prozess wird das Feinblei geschmolzen und in einem Luftstrom versprüht, so dass feiner Bleistaub entsteht.

1.3.2 Positive Aktivmassen (PbO_2)

Diese werden mit Ausnahme von Großoberflächenplatten aus Bleistaub hergestellt.

1.3.2.1 Positive Aktivmasse für Großoberflächenplatten

Hier entsteht die Aktivmasse, indem die positive Feinbleioberfläche auf elektrochemischem Weg in einem Elektrolyten aus Perchlorat zunächst als negative Masse formiert wird. Anschließend erfolgt eine sogenannte Umkehrformation zur positiven Masse PbO_2 (s. 2.1.1.1).

1.3.2.2 Positive Aktivmasse für Gitterplatten

Die positive Aktivmasse für Gitterplatten wird hergestellt, indem Bleistaub mit Schwefelsäure versetzt und zusammen mit Wasser und anderen Zusätzen vermischt wird, so dass eine Bleisulfatpaste entsteht. Diese Paste wird dann in die positiven Gitter (s. 2.1.1.3) eingestrichen, – pastiert.

1.3.2.3 Positive Aktivmasse für Röhrenplatten

Hier wird entweder der Bleistaub ($\text{PbO} + \text{Pb}$) direkt mit Mennige (Pb_3O_4) verwendet, oder aber unter Zugabe von Schwefelsäure eine Bleisulfatschlämme erzeugt.

Bei der sogenannten Trockenfüllung wird Bleioxidstaub in die Röhren der positiven Platte (s. 2.1.1.2) eingerüttelt. Beim Nassfüllverfahren wird eine Bleisulfatschlämme oder -paste, welche aus Bleioxidstaub und Schwefelsäure hergestellt wird, in die Röhren gefüllt.

Abschließend werden die Röhren mit einer Bodenleiste aus Kunststoff verschlossen.

1.3.3 Negative Aktivmasse (Pb)

Die negative Aktivmasse für die negativen Gitterplatten wird ähnlich wie die positive Aktivmasse für Gitterplatten hergestellt (s. 1.3.2.2). Basis ist ebenfalls Bleistaub (s. 1.3.1).

Der Masse werden Spreizstoffe, sogenannte Expander, und andere Additive zugefügt.

Die Spreizstoffe, z.B. Holzmehl (Lignin), sorgen für die Beibehaltung der porösen Struktur in der Anwendung.

Zu den Additiven gehört z.B. Ruß, das die Leitfähigkeit der negativen aktiven Masse bei der Entladung verbessert.

1.3.4 Formation

Die pastierten Gitterplatten und gefüllten Röhrenplatten müssen formiert (aktiviert) werden. Dies erfolgt entweder in großen säurebefüllten Formationstanks, in welche die positiven Platten gemeinsam mit den negativen Platten eingebaut, elektrisch verschaltet und dann geladen werden, - die sogenannte Tankformation. Oder, die positiven Platten

werden mit den negativen Platten unformiert in die Zellen- / Blockgefäße eingebaut, mit Schwefelsäure befüllt und geladen, - die sogenannte Gefäßformation.

1.3.5 Eigenschaften der positiven und negativen Aktivmasse

Die nachfolgende Abb. 1 zeigt die knollenartige Oberfläche der geladenen positiven Platte.

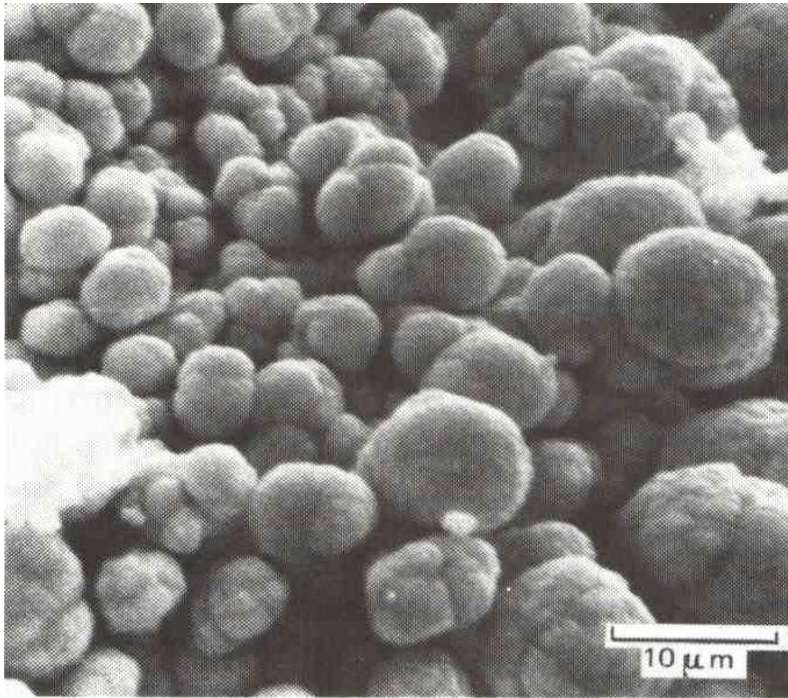


Abb. 1: Masseoberfläche (feinporige knollenartige Struktur) des Bleidioxids (PbO_2) [2], Seite 79, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages

Bei weiterer Vergrößerung werden auf den Knollen nadelartige Strukturen sichtbar (s. Abb. 2), die mit ca. $2 \text{ m}^2/\text{g}$ eine sehr große Oberfläche ergeben. Die dadurch vorhandenen Poren lassen die Säure sehr leicht eindringen und austreten. Bei Umwandlung des Bleidioxids in Bleisulfat nimmt das Sulfat fast das 2-fache Volumen ein.

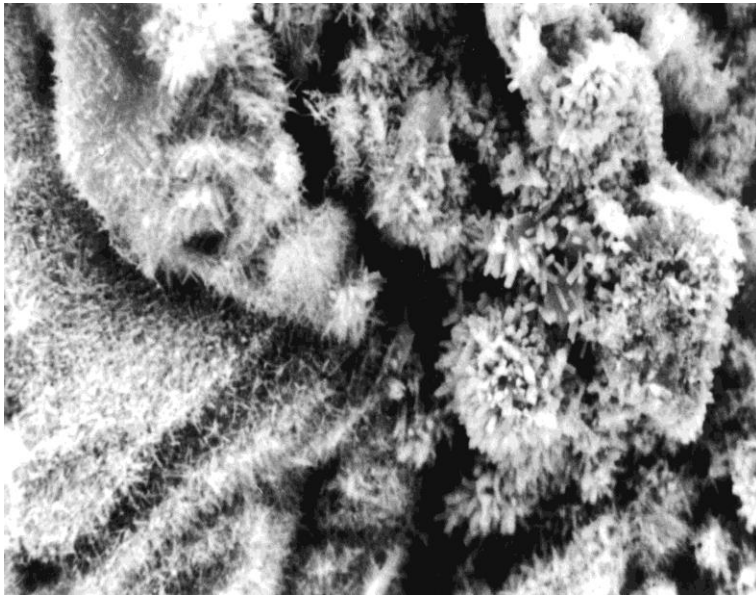


Abb. 2: Vergrößerung der positiven Aktivmasse im Maßstab 5000 : 1 [3]

Nachfolgende Abb. 3 zeigt die Oberfläche der negativen Masse.

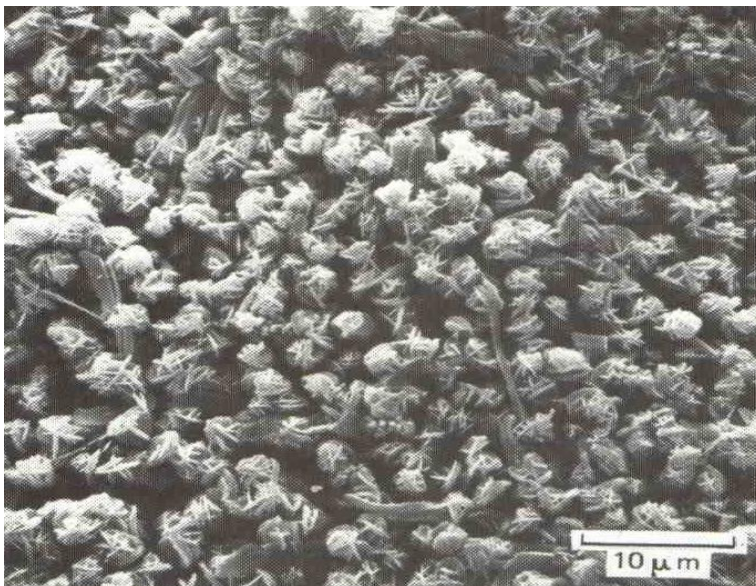


Abb. 3: Masseoberfläche (feine Kristallstruktur) des metallischen Bleis (Pb) [2], Seite 79, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages

In der Abb. 4 sieht man die feinen Verästelungen der negativen Aktivmasse, welche große Oberflächen mit ca. 0,5 m²/g ergeben. Die Zwischenräume erleichtern den Säuretransport und werden vor allem bei der 2,7-fachen Volumenveränderung von Blei in Bleisulfat benötigt.

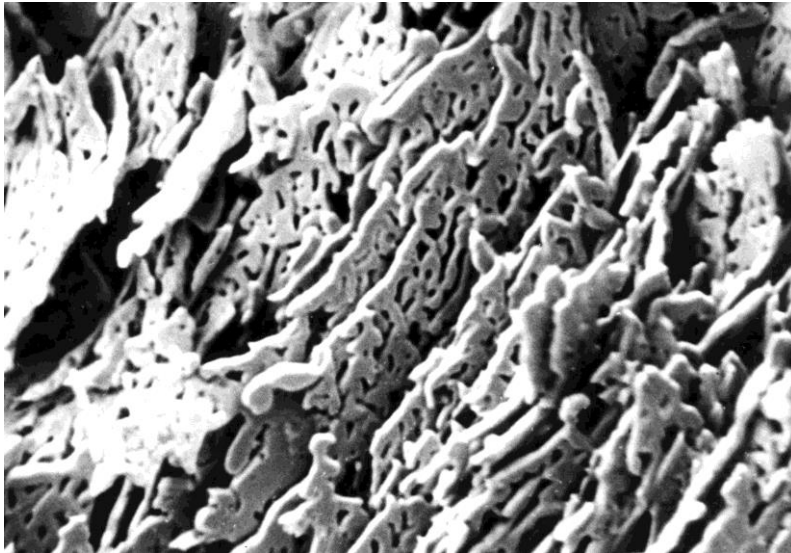


Abb. 4: Frische negative Aktivmasse, Vergrößerung 2000: 1 [3]

1.4 Bleisulfatbildung

1.4.1 Bleisulfat im entladenen Zustand

In der Abb. 5 sieht man die typische Struktur des Bleisulfats PbSO_4 .

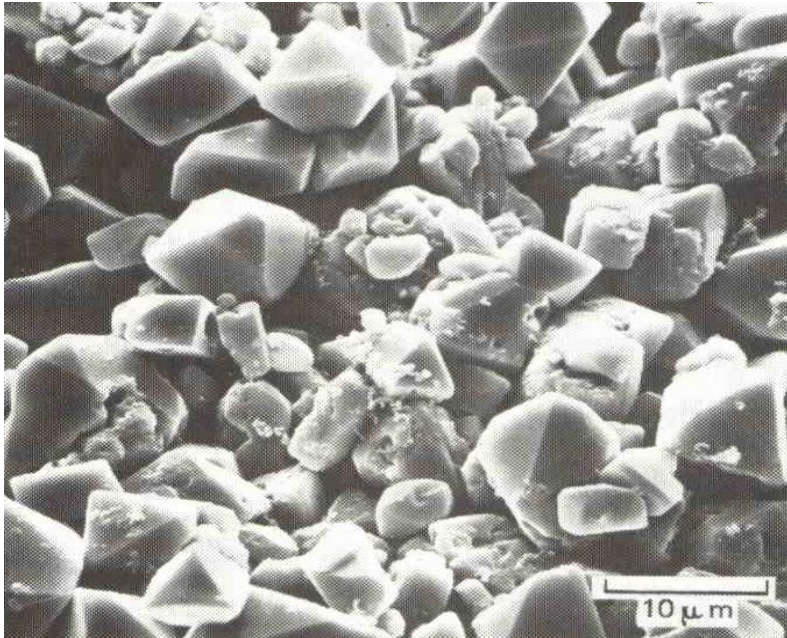


Abb. 5: Oberfläche (grobe Struktur) einer entladenen Elektrode (negative oder positive), [2] Seite 79, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages

1.4.2 Bleisulfatdendritenbildung

Erfolgt nach einer Entladung, insbesondere einer Tiefentladung, nicht sofort eine Wiederaufladung, können sich die in Abb. 6 gezeigten Bleisulfatdendriten, bilden.

Weitere Informationen zur Tiefentladung finden sich im Kapitel 4.3.

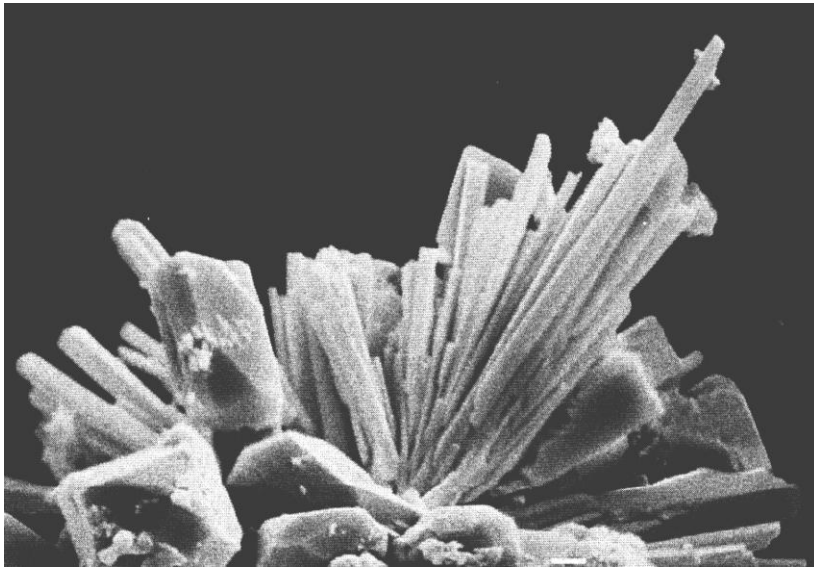


Abb. 6: Sulfatdendriten (mehrere mm lang) [3]

In Abb. 7 sieht man eine grobe Kristallstruktur von Bleisulfat nach der sogenannten Sulfatierung. Diese ist selbst nach der oberflächlichen Umwandlung zu Bleidioxid nach Wiederaufladung erkennbar.

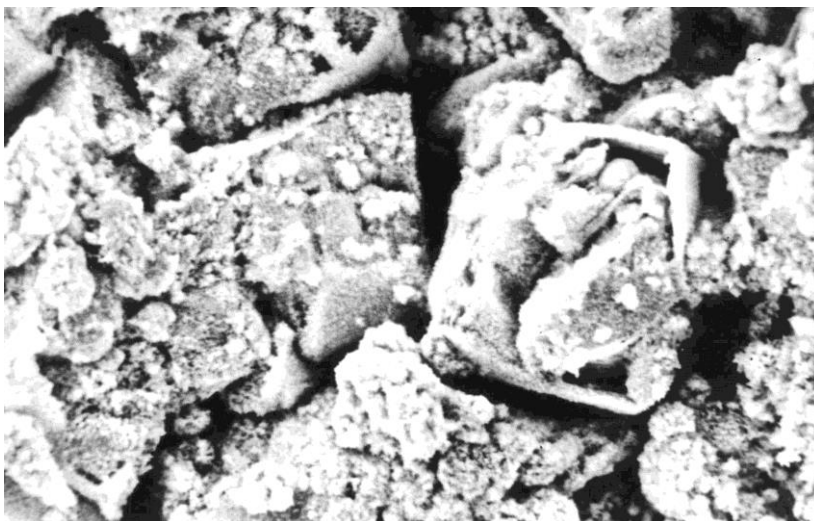


Abb. 7: Positive Aktivmasse, sulfatiert, geladen, Vergrößerung 2000:1 [3]

1.5 Gasung und Rekombination

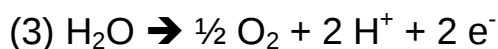
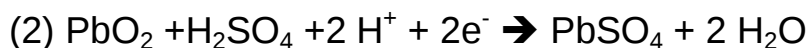
1.5.1 Gasung geschlossener Batterien

Ein Merkmal geschlossener Bleibatterien ist der Wasserverlust. Der durch Elektrolyse an der positiven Elektrode entstehende Sauerstoff O_2 und der dazu im stöchiometrischen Verhältnis von 2 : 1 an der negativen Elektrode entstehende Wasserstoff H_2 entweichen als Gasblasen über den Entgasungsstopfen aus dem System auf Grund der geringen Löslichkeit beider Gase im Elektrolyten.

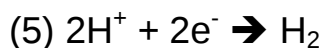
Nachfolgend sind in Ergänzung zu 1.1 die Einzelplattenreaktionen ((2) und (4)), sowie die dazugehörigen parasitären Reaktionen ((3),(5) und (6)) der Wasserzerersetzung dargestellt.

Die Gleichungen der Elektrodenreaktionen

Positive Elektrode:



Negative Elektrode:



In Summe bedeutet dies, dass Wasser durch die Gesamtreaktion



zersetzt wird.

Dieser Wasserverlust wird bei geschlossenen Batterien durch das Nachfüllen von Wasser ausgeglichen.

Der Wasserverlust auf Grund von Wasserzerersetzung ist abhängig von der Art der Ladung, der Bauart der Zelle, der verwendeten Gitterlegierungen

und der Reinheit der Materialien, insbesondere des verwendeten Feinbleis und Elektrolyten.

Durch den Einsatz von Legierungen mit niedrigem Antimongehalt (< 3%) liegen die Nachfüllintervalle für die geschlossenen, stationären Batterien heutzutage im Bereich von 3 – 5 Jahren, abhängig von der Elektrolytreserve zwischen der Minimum- und Maximummarkierung.

1.5.2 Gasungsmengen geschlossener Batterien

Die Gasungsmenge für geschlossene Batterien ergibt sich aus dem Restladestrom (s. 5.4), welcher in die Batterie fließt.

1 Ah eingeladene Strommenge zersetzt

0,336 g Wasser (H₂O) in

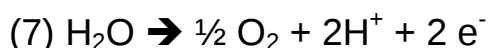
0,45 l Wasserstoff (H₂) und

0,22 l Sauerstoff (O₂).

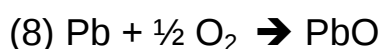
Beides ergibt ein Knallgasgemisch von 0,67 l bei 20° C und 1013 hPa.

1.5.3 Rekombination verschlossener Batterien

Ein besonderes Merkmal verschlossener Bleibatterien ist die Rekombination von Sauerstoff während der Ladung. Der bei der Ladung kontinuierlich ablaufende Kreislauf beginnt an der positiven Elektrode:



Wasser (H₂O) wird zersetzt und gasförmiger Sauerstoff (O₂) gebildet. Die Wasserstoffionen (H⁺) verbleiben gelöst im Elektrolyten und werden nicht als Gas freigesetzt. Die Elektronen (2 e⁻) wandern über den äußeren Stromkreis zur negativen Elektrode. Im Gegensatz zum geschlossenen System verlässt der Sauerstoff die Zelle des verschlossenen Systems nicht. Die Zelle ist mit einem Ventil verschlossen. Der Sauerstoff diffundiert zur negativen Platte, wo er mit dem Blei zu Bleioxid (PbO) umgesetzt wird:



Der Sauerstofftransfer findet in den verschlossenen Bleibatterien durch ein festes poröses Medium statt, nämlich durch Risse im Gel (s. 2.4.3.1) oder freie Poren im Vliesmaterial (s. 2.4.3.2). In geschlossenen Bleibatterien mit "freiem", d.h. nicht festgelegtem Elektrolyten ist es für den Sauerstoff auf Grund der geringen Löslichkeit praktisch unmöglich, zur negativen Elektrode zu gelangen. Er steigt unmittelbar nach Verlassen der positiven Elektrode als Gasblasen auf und entweicht durch die Zellenöffnung. Abb.8 zeigt den Vergleich zwischen geschlossenen und verschlossenen Bleibatterien.

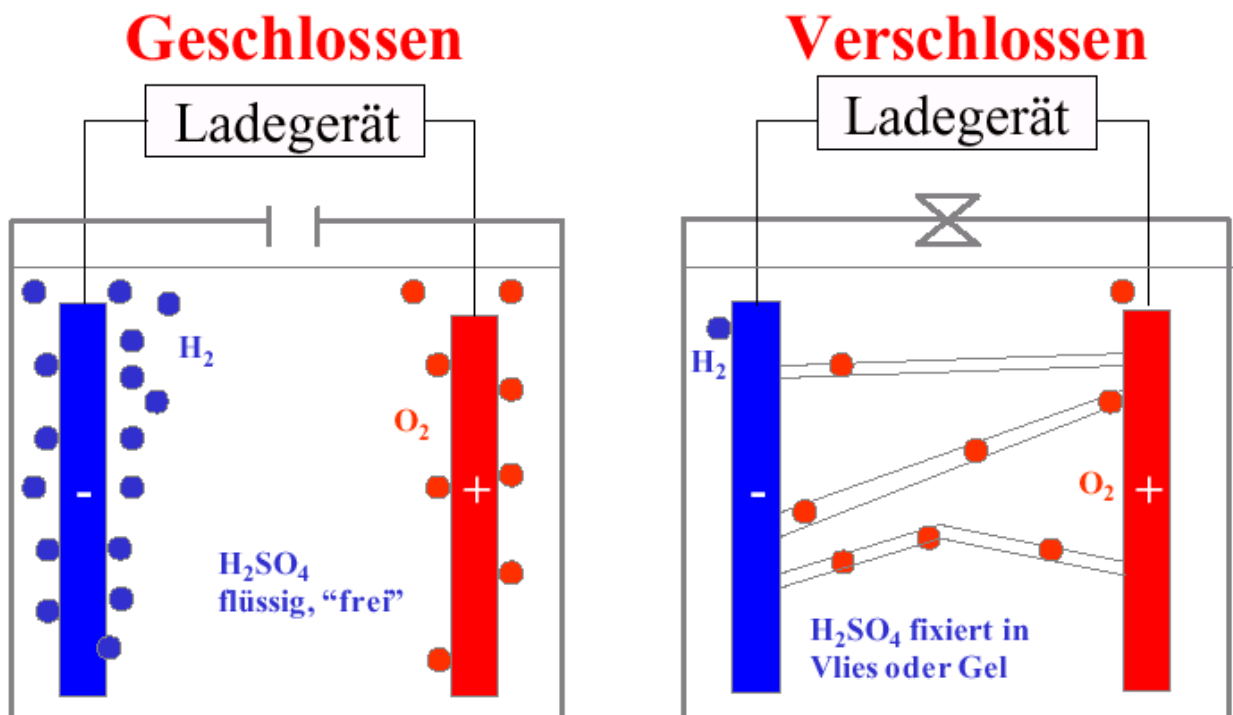
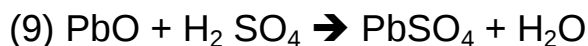


Abb. 8: Gasung und Rekombination in geschlossenen und verschlossenen Bleibatterien

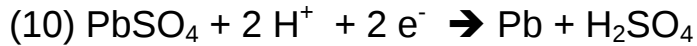
Das entstandene Bleioxid ist in Schwefelsäure (H_2SO_4) nicht stabil und wird zu Bleisulfat umgesetzt, wobei als Nebenprodukt Wasser entsteht:



Dies bedeutet, dass in verschlossenen Bleibatterien die negativen Elektroden während der Ladung teilentladen sind. Diese zur Unterdrückung

der Wasserstoffbildung gewollte Teilentladung der negativen Platte wird durch Überdimensionierung erreicht.

Durch den Erhaltungsladestrom wird das Bleisulfat wieder zu elementarem Blei umgesetzt:



Energetisch laufen die Reaktionen der Gleichungen (7) bis (10) vor der Bildung von Wasserstoff an der negativen Elektrode ab, so dass durch die Rekombination die Entstehung von Wasserstoff unterdrückt ist.

Der Prozess der Rekombination ist exotherm, so dass verschlossene Bleibatterien ein gewisses Risiko für thermisches Durchgehen (engl.: „Thermal Runaway“) haben (s. 1.7).

Der Wirkungsgrad der Rekombination liegt bei verschlossenen Gel-Batterien typisch bei 98% und bei AGM-Batterien typisch bei 99 %. Die verbleibenden 1 – 2 % Sauerstoff können zur Bildung von Wasserstoff an der negativen Platte führen. Wenn der definierte Öffnungsdruck (s. 2.6.2) erreicht ist, öffnet das Ventil kurzzeitig und lässt das angesammelte Gas entweichen.

Durch den Einsatz antimonfreier Legierungen für verschlossene Batterien wird der Wasserverlust gegenüber geschlossenen Batterien um 75 % gesenkt. Durch die Rekombination lässt sich der Wasserverlust auf 98 bis 99 % verringern, so dass weniger als 2 % des Wasserverlustes eines geschlossenen Systems erreicht werden. Dies ist der Grund, weshalb bei verschlossenen Bleibatterien ein Nachfüllen von Wasser über die gesamte Brauchbarkeitsdauer nicht notwendig ist. Eine verschlossene Bauart für Bleibatterien wird hierdurch erst ermöglicht.

1.6 Wärmeeffekte

1.6.1 Allgemeines

Das Kapitel „Wärmeeffekte“ entstand aufgrund wiederholter Anfragen durch Batterieanwender. Es soll zeigen, wie schwierig es ist, theoretisch basierte Berechnungen auf die Praxis zu übertragen, weil man rechnerisch nicht alle Einflussgrößen berücksichtigen kann. Dies betrifft insbesondere die Wärmeabfuhr (Wärmeausgleich zur Umgebung). Erschwerend kommt die Vielfalt der Batteriekonstruktionen hinzu.

Erfahrungsgemäß brauchen Wärmeeffekte beim Entladen und Laden nicht von der kritischen Seite her betrachtet zu werden, solange für den bestimmungsgemäßen Gebrauch der Batterie gesorgt ist. Dies betrifft die Einhaltung der Montage- und Gebrauchsanweisung und gängiger sicherheitsrelevanter Normen, hierbei insbesondere der DIN EN 50272-2 [6].

Beim Betrieb von Batterien findet sowohl bei Entladung als auch bei Ladung neben dem elektrischen Energieumsatz und dem Masseumsatz der chemischen Reaktion ein nicht zu vernachlässigender Wärmeumsatz statt.

Die Wärmeeffekte als Energie in W/Zelle sind:

- Erwärmung durch Joule'schen Effekt (Ohmsche Verluste) Q_{Joule}
- Wärmeumsatz der chemischen, reversiblen Reaktionen Q_{chem}
- Wärmeumsatz durch Wasserzersetzung Q_{Gasung}
- Erwärmung durch Rekombination (Sauerstoffkreislauf) Q_{Rekom}

Die Gesamtwärmemenge Q_{Gesamt} ist abhängig von:

- Batteriebauart (z.B. OPzS, OPzV, OGi, OGIV),
- Technologie (verschlossen, d.h. GEL, AGM, oder geschlossen),
- Strommenge und Stromdichte bei Ladung bzw. Entladung,
- Lademethode

Dadurch kann es zu einer erheblichen Erwärmung, in besonderen Fällen aber auch zu einer Abkühlung der Batterie kommen.

1.6.2 Wärmekapazität

Zur Berechnung der Temperaturerhöhung durch die Entladung und der Ladung von Batterien ist es notwendig, die Wärmekapazitäten (C_P) der Batterien (Zellen/Blöcke) zu kennen. Leider gibt es wenige Messungen zu den Wärmekapazitäten von Bleibatterien und auch nur wenige Literaturangaben.

Die Wärmekapazität von Gel-Batterien (12V 100 Ah) wurde ermittelt. Von dieser Messung ausgehend wurde für geschlossene und verschlossene Batterien die spezifische Wärmekapazität errechnet. Somit ergeben sich für die drei Technologien folgende Werte:

Geschlossen: $C_P = 1,1 \text{ Ws/ (g} \cdot \text{K)} = 0,3 \text{ Wh / (kg} \cdot \text{K)}$

Verschlossen Gel: $C_P = 0,9 \text{ Ws/ (g} \cdot \text{K)} = 0,25 \text{ Wh / (kg} \cdot \text{K)}$

Verschlossen AGM: $C_P = 0,8 \text{ Ws/ (g} \cdot \text{K)} = 0,22 \text{ Wh / (kg} \cdot \text{K)}$

1.6.3 Temperaturerhöhung

Die Temperaturerhöhung je Einheit (Zelle/Block) berechnet sich grundsätzlich mit der Masse, der Wärmemenge und der spezifischen Wärmekapazität durch Gleichung (11).

(11) $T = Q_{\text{Gesamt}} / (m \cdot C_P)$ mit

T = Temperaturerhöhung in K

Q_{Gesamt} = Gesamtwärmemenge in Wh aus (12), (13), (14)
(s. 1.6.4 und 1.6.5)

m = Batteriemasse in kg

C_P = Spezifische Wärmekapazität der Zelle bzw. des Blockes in
Wh / (kg • K)

1.6.4 Wärmeeffekte bei Entladung

Die Gesamtwärmemenge bei Entladung setzt sich aus Joule'scher Wärme Q_{Joule} und Reaktionswärme Q_{rev} zusammen:

(12) $Q_{\text{Gesamt}} = Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{rev}}$

Hierbei gilt:

Joule'sche Wärme $\Rightarrow$ exotherm, abhängig von Strom und Zeit

Reaktionswärme $\Rightarrow$ endotherm, abhängig von entladener Kapazität.

Bei langen Entladungen ist der endotherme Effekt der chemischen Reaktion größer als der exotherme Joule'sche Effekt, so dass eine negative Wärmebilanz entsteht, d.h. die Batterie kühlt ab.

Bei Kurzzeitentladung dominiert der exotherme Joule'sche Effekt. Hieraus ergeben sich folgende spezifische Gesamtwärmemengen in Wh/Zelle für 100 Ah Entladung für geschlossene und verschlossene Bauart [7]:

Entladung	geschlossen	verschlossen	Spezifische Gesamtwärmemenge
20 h	-1,5	-4	Wh/(Zelle • 100 Ah)
10 h	1,5	-1	Wh/(Zelle • 100 Ah)
5 h	4	1	Wh/(Zelle • 100 Ah)
1 h	10	5	Wh/(Zelle • 100 Ah)
30 Min.	13	7	Wh/(Zelle • 100 Ah)
10 Min.	18	nicht verfügbar	Wh/(Zelle • 100 Ah)
7 Min.	nicht verfügbar	9	Wh/(Zelle • 100 Ah)

Tab. 1: Spezifische Gesamtwärmemengen in Abhängigkeit von der Entladezeit und der Technologie. Negative Werte bedeutet endotherm, d.h. Wärmeverbrauch.

Das heißt, es findet eine Erwärmung statt in geschlossenen Batterien bei Entladungen kleiner als 12 h Entladezeit und in verschlossenen Batterien bei Entladungen kleiner als 6 h Entladezeit.

Die entstehende Gesamtwärmemenge errechnet sich entsprechend nachfolgender Gleichung (13):

$$(13) Q_{\text{Gesamt}} = \text{Spezifische Gesamtwärmemenge} \cdot \text{entnommene Kapazität} / 100$$

Beispiel:

Verschlossene Zelle: 1 Zelle 7 OPzV 490, Gewicht ca. 39 kg.

Entladung 1 h bis 1,85 V → 246 Ah.

Aus Tab. 1: Spezifische Gesamtwärmemenge: 5 Wh/(Zelle • 100 Ah).

Aus Gl. 13: $Q_{\text{Gesamt}} = 5 \cdot 1(\text{Zelle}) \cdot 246 / 100 (\text{Ah}) = 12,3 \text{ Wh}$.

Wärmeleistung: 12,3 W.

Aus 1.6.2: Wärmekapazität $C_P = 0,25 \text{ Wh} / (\text{kg} \cdot \text{K})$.

Aus Gl. 11: Maximale Temperaturerhöhung (ohne Wärmeabfuhr, s. 1.6.7)

$$T = Q_{\text{Gesamt}} / (m \cdot C_P) = 12,3 \text{ Wh} / (39 \text{ kg} \cdot 0,25 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \approx 1,3 \text{ K}$$

1.6.5 Wärmeeffekte bei Wiederaufladung

Zusätzlich zu der Wärmemenge durch den Joule'schen Effekt und der chemischen Reaktionswärme muss für die Berechnung der Gesamtwärmemenge

- in geschlossenen Batterien die Wärme durch Wasserzersetzung,
- in verschlossenen Batterien die Wärme durch Rekombination und in einem geringen Maß die Wärme durch Wasserzersetzung

mit betrachtet werden.

Q_{Joule} ist abhängig vom Ladestrom und Ladespannung und liegt im Bereich von 10 bis 20 Wh pro 100 Ah Entladung bei Ladung im Bereich von 2,27 bis 2,4 V/Zelle.

Q_{chem} beträgt etwa 3,5 % der Ladeenergie bis Ladefaktor 1,0, d.h. 5,3 Wh pro 100 Ah Entladung.

Q_{Gasung} beträgt bei Ladung geschlossener Batterien bei einem Ladefaktor von 1,2 etwa 18 Wh pro 100 Ah Entladung.

Q_{Rekom} liegt bei Ladung verschlossener Batterien mit einer konstanten Spannung von 2,27 bis 2,40 V/Zelle im Bereich von 11 bis 48 Wh pro 100 Ah Entladung bei einem Ladefaktor von 1,05 bzw. 1,2.

Hieraus ergeben sich beispielhaft spezifische Gesamtwärmemengen pro 100 Ah Entladung entsprechend Tabelle 2.

typisch für	verschlossen			geschlossen		
	EL Gel	EL AGM	SL Gel, AGM	EL	SL	
Ladespannung	2,27	2,27	2,4	2,23	2,4	V/Zelle
Ladefaktor	1,05	1,1	1,2	1,05	1,2	
Spezifische Gesamtwärmemenge	27	41	73	19	44	Wh/100 Ah Entladung

Tab. 2: Beispielhafte spezifische Gesamtwärmemengen bei Ladung

Anm. zu (EL = Erhaltungs-, SL = Starkladung)

- verschlossen: Bei Erhaltungsladung sind die nötigen Ah zur Elektrolytdurchmischung nicht einbezogen (nur Gasung = innere Rekombination), wohl aber bei Starkladung.
- geschlossen: Gasung ist bei Erhaltungsladung vernachlässigbar. Elektrolytdurchmischung ist berücksichtigt bei Starkladung.

Die durchschnittliche Wärmeleistung P berechnet sich wie folgt:

$$(14) \quad P = Q_{\text{Gesamt}} / \text{Ladedauer in h}$$

Wie die nachfolgenden 2 Beispiele zeigen, können die Berechnungen in stark unterschiedlichen Ergebnissen enden, - moderate Temperaturerhöhung um 13 K und extreme Werte von 44 K. Hier zeigt sich der fehlende Einfluss der bei allen Berechnungen nicht berücksichtigten aber in der Praxis entscheidenden Wärmeabfuhr. Denn selbstverständlich erhöht sich die Batterietemperatur bei bestimmungsgemäßen Gebrauch beim Wiederaufladen in der Praxis nicht um 44 Grad, sondern nur um einen Bruchteil. Auch die 13 K aus dem Beispiel 1 würden sich bei Einbeziehung der Wärmeabfuhr drastisch reduzieren.

Beispiel 1:

Geschlossene Zelle: 1 Zelle 6 OPzS 600, Gewicht ca. 44 kg.

Ladung nach Entladung von 400 Ah.

Ladung mit 2,4 V/Zelle, Ladefaktor 1,2.

Aus Tab. 2: Spezifische Gesamtwärmemenge: 44 Wh/100 Ah.

Aus Gl. 13: $Q_{\text{Gesamt}} = 44 \text{ Wh} \cdot 400 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} = 176 \text{ Wh}$

Aus Gl. 14: Durchschnittliche Wärmeleistung P (ohne Wärmeabfuhr, s. 1.6.7) bei 8-stündiger Ladung: $176 \text{ Wh} / 8 \text{ h} = 22 \text{ W}$.

Gl. 11: Maximale Erwärmung (ohne Wärmeabfuhr, 1.6.7):

$$T = Q_{\text{Gesamt}} / (m \cdot C_p) = 176 \text{ Wh} / (44 \text{ kg} \cdot 0,3 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \approx 13 \text{ K}$$

Beispiel 2:

Verschlossene Blockbatterie: 1 Block A512/6,5S, Gewicht ca. 2,6 kg (umgerechnet 0,43 kg pro Zelle).

Ladung nach Entnahme der Nennkapazität $C_{20} = 6,5 \text{ Ah}$.

Ladung mit 2,4 V/Zelle, Ladefaktor 1,2.

Aus Tab. 2: Spezifische Gesamtwärmemenge: 73 Wh/100 Ah pro Zelle.

Aus Gl. 13: $Q_{\text{Gesamt}} = 73 \text{ Wh} \cdot 6,5 \text{ Ah} / 100 \text{ Ah} = 4,745 \text{ Wh}$ pro Zelle.

Aus Gl. 14: Durchschnittliche Wärmeleistung P (ohne Wärmeabfuhr, s. 1.6.7) bei 24-stündiger Ladung: $4,745 \text{ Wh} / 24 \text{ h} = 0,2 \text{ W}$.

Gl. 11: Maximale Erwärmung (ohne Wärmeabfuhr, 1.6.7):

$$T = Q_{\text{Gesamt}} / (m \cdot C_P) = 4,745 \text{ Wh} / (0,43 \text{ kg} \cdot 0,25 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \approx 44 \text{ K}$$

1.6.6 Wärmeeffekte bei Erhaltungsladung

Durch Erhaltungsladung bei Raumtemperatur sind die Wärmemengen und die damit verbundenen Wärmeleistungen so gering, dass keine wesentliche Temperaturerhöhung auftritt.

Bei geschlossenen Bleibatterien geht nicht die gesamte Erhaltungsladespannung in die Berechnung ein. Von der Erhaltungsladespannung abgezogen werden müssen [8]:

- der Anteil der Gleichgewichtszellenspannung von 1,23 V/Zelle, der auf das Betreiben der Wasserelektrolyse zurückgeht, und
- der Anteil der Reaktionswärme, der ca. 20% der Gleichgewichtszellenspannung beträgt, also ca. 0,25 V/Zelle.

Dies ergibt zusammen 1,48 V/Zelle.

Beispiel 1:

Geschlossene Batterie.

Erhaltungsladespannung 2,23 V/Zelle.

Erhaltungsladestrom 50 mA pro 100 Ah Nennkapazität.

Wärmeleistung: $(2,23 - 1,48) \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,04 \text{ W}$
pro 100 Ah Nennkapazität und pro Zelle.

Bei verschlossenen Bleibatterien gestaltet sich die Berechnung insofern einfacher, dass Gleichgewichtszellenspannung und Reaktionswärme nicht berücksichtigt werden brauchen. Die Wärmeleistung entspricht somit direkt dem Produkt aus Erhaltungsladespannung und Restladestrom.

Beispiel 2:

Verschlossene Batterie. Optimale Rekombination.

Erhaltungsladespannung 2,27 V/Zelle

Restladestrom 100 mA pro 100 Ah Nennkapazität

Wärmeleistung: $2,27 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ A} = 0,23 \text{ W}$
pro 100 Ah Nennkapazität und pro Zelle.

In beiden Beispielen wurden Ströme verwendet, die bereits deutlich über dem Niveau neuer Batterien liegen, - ca. das Doppelte.

Diese Wärmeleistungen liegen deutlich unterhalb der Wärmeabfuhr durch Konvektion (siehe 1.6.7), so dass die Erwärmung der Batterie weniger als 1 K beträgt.

1.6.7 Batterietemperatur

Die Batterietemperatur wird durch die zugeführte Energie entsprechend ihrer Wärmekapazität erhöht. Gleichzeitig wird die Wärme auf Grund der Temperaturdifferenz zur kälteren Umgebung abgegeben. Die Wärmeabfuhr ist abhängig von dieser Temperaturdifferenz, der Batterieoberfläche und der Art der Wärmeabfuhr dQ/dt [7]:

- Abstrahlung maximal: $5 \text{ bis } 6 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- starke Konvektion: $3 \text{ bis } 4 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- schwache Konvektion: $2 \text{ bis } 3 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Nicht berücksichtigt wird der Wärmeaustausch über Verbinder. Wärmeeffekte über Verbinder sind abhängig von folgenden Einflussgrößen:

- Entlade-/Ladestrom,
- Zeit,
- Verbinderdimensionen,
- Batteriebauart.

Diese Effekte wirken sich in der Regel geringer aus als die zuvor aufgeführten Werte dQ/dt .

Bei Wärmeleistungen unterhalb dieser Werte dQ/dt findet also keine nennenswerte Erwärmung oder Abkühlung statt, wie z.B. im Erhaltungsladebetrieb (s. 1.6.6).

Bei größeren Wärmeumsätzen muss die maximale Temperaturerhöhung in Kombination mit der Wärmeabfuhr $dQ/dt = 0$ berechnet werden (s. Beispiele 1.6.5).

Die effektive Temperaturerhöhung kann zwar mit o.g. Werten dQ/dt und der entstehenden Wärmemenge bzw. Wärmeleistung (aus 1.6.4 und 1.6.5) berechnet werden, wenn sowohl Geometrie und Gewicht der Batterie als

auch die Art der Wärmeabfuhr bekannt sind. Solche Berechnungen stellen allerdings einen sehr aufwendigen Weg dar.

Zusammenfassend wird nochmals darauf verwiesen, dass insbesondere die unter 1.6.5 berechneten Temperaturerhöhungen nicht der Praxis entsprechen. Die tatsächliche Erwärmung der Batterie wird nur bei einem Bruchteil der ermittelten Werte liegen, da keinerlei Wärmeabfuhr berücksichtigt wurde.

1.7 Thermisches Durchgehen

Thermischen Durchgehen (engl.: "Thermal Runaway"):

Instabiler Zustand, der bei der Konstantspannungsladung auftritt, wenn die in einer Sekundärbatterie erzeugte Wärme deren Wärmeabgabefähigkeit übersteigt und damit einen kontinuierlichen Temperaturanstieg hervorruft, was zur Zerstörung der Sekundärbatterie führen kann [1].

In der Norm DIN EN 60896-21 [5] wird ein darauf bezogener Test beschrieben.

Geschlossene Bleibatterien sind wegen des hohen Elektrolytvolumens und der daraus resultierenden sehr guten Wärmeableitung praktisch nicht betroffen von thermischem Durchgehen. Ähnliches gilt für Gel-Batterien im Vergleich zu AGM-Batterien, auf Grund der Tatsache, dass Gel-Batterien fast ebenso viel Elektrolyt wie geschlossene Batterien enthalten, AGM-Batterien aber deutlich weniger im Vergleich zu beiden.

Verglichen mit geschlossenen und Gel-Batterien, wird in AGM-Batterien wegen des größeren freien Volumens im Separator (Vlies) durch sehr hohe Rekombinationsraten mehr Wärme erzeugt. Hinzu kommt, dass diese Wärme wegen des kleineren Elektrolytvolumens sowie der geringeren Benetzung der Innenwände mit Elektrolyt schlechter abgeleitet wird. Daher neigen AGM-Batterien, die unter harschen Bedingungen betrieben werden (z.B. hohe Umgebungstemperaturen, fehlende oder ungenügende Klimatisierung, fehlende oder falsche Temperaturkompensation der Ladespannung), eher zum thermischen Durchgehen.

Allgemein kann man sagen, dass Wärmeeffekte zu keinen kritischen Situationen führen, wenn die Installations-, die Betriebsbedingungen sowie

die Belüftungsanforderungen gem. DIN EN 50272-2 [6] bzw. IEC 62485-2 [36] eingehalten werden.

Bzgl. Installation verschlossener Batterien sind hier insbesondere die einzuhaltenden Abstände von mindestens 5 mm (empfohlen: 10 mm) zwischen Zellen bzw. Blöcken zu nennen. Die Gebrauchsanweisung enthält darüber hinaus den Hinweis, dass die Batterie so aufzustellen ist, dass zwischen den einzelnen Zellen bzw. Blöcken umgebungsbedingt keine Temperaturunterschiede von mehr als 3 K auftreten können. Bei den Betriebsbedingungen ist besonders auf Einhaltung der vorgegebenen Ladespannung einschließlich der Temperaturkompensation zu achten.

Nähere Erläuterungen zum Thema Installation, Betriebsbedingungen und Belüftung enthalten die jeweiligen Teile 2 des Handbuches für „Classic“- , Gel- und AGM-Batterien.

1.8 Ersatzschaltbild und Ortskurve Impedanz (Konduktanz)

Nachfolgende Abb. 9 zeigt das Ersatzschaltbild eines elektrochemischen Energiespeichers und die dazugehörige Ortskurve über einen weiten Frequenzbereich vom $\mu\text{Hz}/\text{mHz}$ -Bereich bis zu Frequenzen $> 10 \text{ kHz}$. Dieser schematisch dargestellte Verlauf der Ortskurve ist prinzipiell für elektrochemische Speicher gültig.

Im Bereich $\mu\text{Hz}/\text{mHz}$ bis in den Hz -Bereich hinein sind die elektrochemischen Prozesse mit ihren relativ großen Zeitkonstanten angesiedelt, welche sich im Ersatzschaltbild mit der elektrochemischen Kapazität (Entladung und Ladung) und dem Verlustwiderstand als R_M wiederfinden.

Im Bereich Hz bis kHz findet man die Doppelschichtkapazität der Batterie mit dem Verlustwiderstand als R_{CT} . Dies bedeutet, dass in diesem Bereich Energie kurzfristig aus dem Doppelschichtkondensator zur Verfügung gestellt wird und nicht aus den eigentlichen Lade- / Entladereaktionen.

Der nächste Bereich ist der rein ohmsche Bereich R_B , welcher aus den elektrisch leitendenden Bauteilen der Batterie resultiert.

Abschließend ist der Bereich $> 10 \text{ kHz}$ zu nennen, welcher rein auf der Induktivität (L) der leitenden Bauteile beruht.

Deutlich macht Abb. 9 auch, dass die Impedanz (Z), und somit auch ihr Kehrwert, die Konduktanz ($1/Z$), eine extreme Frequenzabhängigkeit besitzt und daher als Messgröße für Batteriekapazitäten kritisch zu betrachten ist.

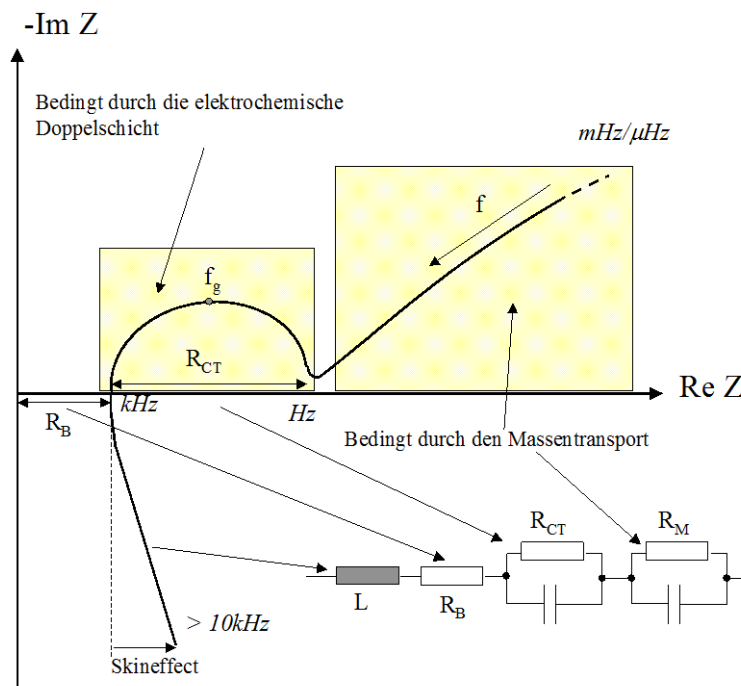


Abb. 9: Ortskurve und Ersatzschaltbild für Akkumulatoren [9], mit freundlicher Genehmigung des ZSW, Ulm

2. Konstruktion und Werkstoffe

2.1 Design-Lebensdauer, Brauchbarkeitsdauer

Die Lebensdauer einer Batterie kann auf zwei unterschiedliche Bestimmungsgrößen bezogen sein: Die Design-Lebensdauer und die Brauchbarkeitsdauer.

Definitionen gem. [10]:

„... Design-Lebensdauer – unter Berücksichtigung der Auslegung und Ausführung der einzelnen Komponenten und den lebensdauerbegrenzenden Parametern aus Haltbarkeitstests abgeleiteter Wert ...“.

„... Brauchbarkeitsdauer – auf Basis von Felderfahrungen unter optimalen Bedingungen ermittelte Werte; beschreibt den Zeitraum in dem eine bestimmte spezifizierte Kapazität oder Leistung genutzt werden kann...“.

Nachfolgernd eine Übersicht für geschlossene, AGM- und Gel-Batterien:

	Design-Lebensdauer *)	Brauchbarkeitsdauer **)
	[Jahre]	[Jahre]
Classic GroE:	25	20 bis 25
Classic OCSM:	20	15 bis 20
Classic OPzS ≤ 3000 Ah:	20	15 bis 20
Classic OPzS > 3000 Ah:	15	15
Classic OPzS Block:	20	15 bis 20
Classic OGi-Zellen:	20	15 bis 18
Classic Energy Bloc:	15	13 bis 15
Powerfit:	5	3 bis 5
Sprinter:	10	8 bis 9
Marathon:	> 12	> 10
Sonnenschein A500:	7	> 6
Sonnenschein A400:	> 12	> 10
Sonnenschein A700:	> 12	12
Sonnenschein A600 Block:	15	13 bis 15
Sonnenschein A600-Zellen:	20	bis zu 20
Sonnenschein PowerCycle:	20	bis zu 20

*) basierend auf C_{10} -Kapazität und 20 °C

**) basierend auf 20 °C und gelegentliche Entladungen

2.2 Plattenkonstruktion und Legierungen

2.2.1 Positive Platten

2.2.1.1 Großoberflächenplatten

Die positive Platte der Bauart GroE (Abkürzung für: Grooberflchenplatte Engeinbau) ist eine lamellenförmige Reinblei-Platte (99,995 % Pb). International ist auch die Bezeichnung „Plant“ blich. Das Reinblei sorgt für einen hohen Korrosionswiderstand und eine extrem lange Brauchbarkeitsdauer.



Abb. 10: Formierte positive Grooberflchenplatte

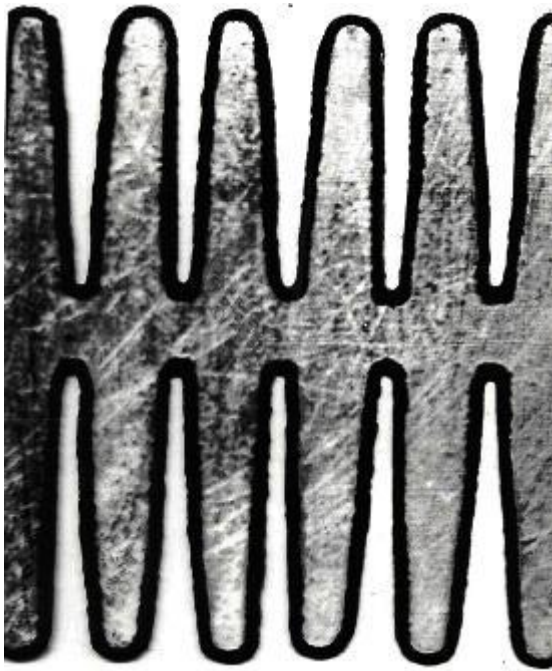


Abb. 11: Lamellenstruktur einer formierten Großoberflächenplatte [3]. Die Abb. zeigt eine ältere Version mit unterbrochener Lamellenstruktur.

Die aktive Masse befindet sich ausschließlich auf der Oberfläche der Lamellenstruktur (Abb. 11). Daraus ergibt sich eine minimale Distanz zum Elektrolyten und dem Stromableiter und ein morphologisch optimaler Kontakt zum Plattengerüst. Hieraus resultieren hervorragende Hochstromeigenschaften von GroE-Zellen über die lange Lebensdauer hinaus.

2.2.1.2 Röhrenplatten (Panzerplatten)

Die positiven Platten der Baureihen OPzS (Abkürzung für: Ortsfeste Panzerplatte Sonderseparation) und OCSM (Abkürzung für Ortsfeste Kupfer (Cu)-Streck-Metall) sind positive Röhrenplatten mit einer antimonarmen (LA) Blei-Antimon-Legierung (PbSb) als Bleiseele. „LA“ steht dabei für „Low Antimony“ (engl.) und einem Antimongehalt $Sb < 3\%$.

Das Antimon sorgt für die elektrische Anbindung der Aktivmasse an den Stromleiter (Blei), für mechanische Stabilität der Platten und für ein gutes Zyklenverhalten, so dass höchste Zyklenzahlen mit diesen Röhrenplatten erreicht werden.

In den Röhrenplatten der Baureihe OPzV (Abkürzung für: Ortsfeste Panzerplatte Verschlossen) kommt Antimon nicht zum Einsatz. Es wird eine Blei-Zinn-Kalzium-Legierung (PbSnCa) verwendet. Antimon würde zu einem extremen Wasserverlust führen und daher das Konzept verschlossener Gel-Bleibatterien durchkreuzen. Hier ersetzt Zinn (Sn) die Funktion von Antimon bzgl. Masseanbindung und Zyklenfestigkeit. Kalzium verleiht den Gittern Stabilität.

Die Beigabe von Zinn ermöglicht Gel-Batterien auch für zyklische Anwendung. Hierzu steigert die Zugabe von Phosphorsäure (H_3PO_4) bei „Sonnenschein Solar“-Batterien die möglichen Zyklenzahlen in Bereiche ähnlich der geschlossener Baureihen.

Der Druckguss der positiven Gitter gewährt darüber hinaus bei allen Panzerplattentypen eine feinkristalline Struktur des Seelengitters und somit eine gute Korrosionsbeständigkeit.

Die Aktivmasse, welche sich im Röhren befindet, wird durch die Röhrentaschen gehalten (armiert), daher die Bezeichnung Panzerplatten. Die Röhrentaschen bestehen heute aus Kunststofffasergeweben.



(Röhren für
Demonstrations-
zwecke z.T.
aufgeschnitten;
ohne Aktivmasse)

Abb. 12: OPzS, OCSM und OPzV; Aufbau einer Röhrenplatte

2.2.1.3 Gitterplatten

Positive Gitterplatten sind im Fallguss hergestellte, pastierte Bleigitter aus unterschiedlichen Legierungen für geschlossene und verschlossene Bleibatterien:

- Geschlossene Batterien:
Blei-Antimon (PbSb) mit niedrigem Antimongehalt (antimonarm, Sb < 3 %). Typischer Vertreter ist hier die positive Platte der Baureihe OGi (Abkürzung für: Ortsfeste Gitterplatte)
- Verschlossene Batterien:
Blei-Zinn-Kalzium (PbSnCa) sowohl für Gel- als auch für AGM-Batterien. Typischer Vertreter ist hier die positive Platte der Baureihe OGiV (Abkürzung für: Ortsfeste Gitterplatte Verschlossen).

Zur Wirkung der Komponenten Antimon, Zinn und Kalzium s. 2.2.1.2.



(Aktivmasse für
Demonstrations-
zwecke z.T.
entfernt)

Abb. 13: Pastierte Gitterplatte

2.2.2 Brauchbarkeitsdauerende durch Korrosion

Das Ende der Brauchbarkeitsdauer von Bleibatterien ist in der Regel bestimmt durch Korrosion im Bereitschaftsparallelbetrieb oder Masseverbrauch im Zyklusbetrieb (s. 3.4). Unter der Korrosion ist die

langsame Umwandlung von Blei zu Bleidioxid zu verstehen. Am Ende der Brauchbarkeitsdauer führt dies dazu, dass der Stromleiter (Blei) nahezu nicht mehr vorhanden ist. Zu unterscheiden ist dabei die gleichmäßige, schalenförmige Korrosion von der sogenannten intergranularen Korrosion, welche an den Korngrenzen tief in das Blei eindringt.

Als Gegenreaktion zur Korrosion der positiven Elektrode, bei der Sauerstoff verbraucht wird, entsteht an der negativen Elektrode eine äquivalente Menge Wasserstoff.

2.2.2.1 Intergranulare Korrosion

Bei der intergranularen Korrosion findet eine Umwandlung von Blei in Bleidioxid entlang aller Korngrenzen statt, d.h. auch entlang der nach innen gerichteten. Diese Korrosion führt auf Grund der Volumenvergrößerung zum Wachstum der positiven Platten.

Durch die Zellenkonstruktionen der positiven Röhrenplatten und der Großoberflächenplatten kann das vorhersehbare Plattenwachstum kompensiert werden. So erlaubt die Aufhängung der Großoberflächenplatten an seitlichen Schultern im Zellengefäß ein Wachsen nach unten. Bei positiven Gitterplatten zerstört das Wachstum in der Regel die Gitterstäbe so gründlich, dass keine Zerstörungen mehr angerichtet werden, da die Gitterstäbe auf Grund des Korrosionsgrades keine mechanischen Kräfte mehr aufbringen können.

Die intergranulare Korrosion wird durch Legierung, Gießverfahren und Design beeinflusst.

2.2.2.2 Schalenförmige Korrosion

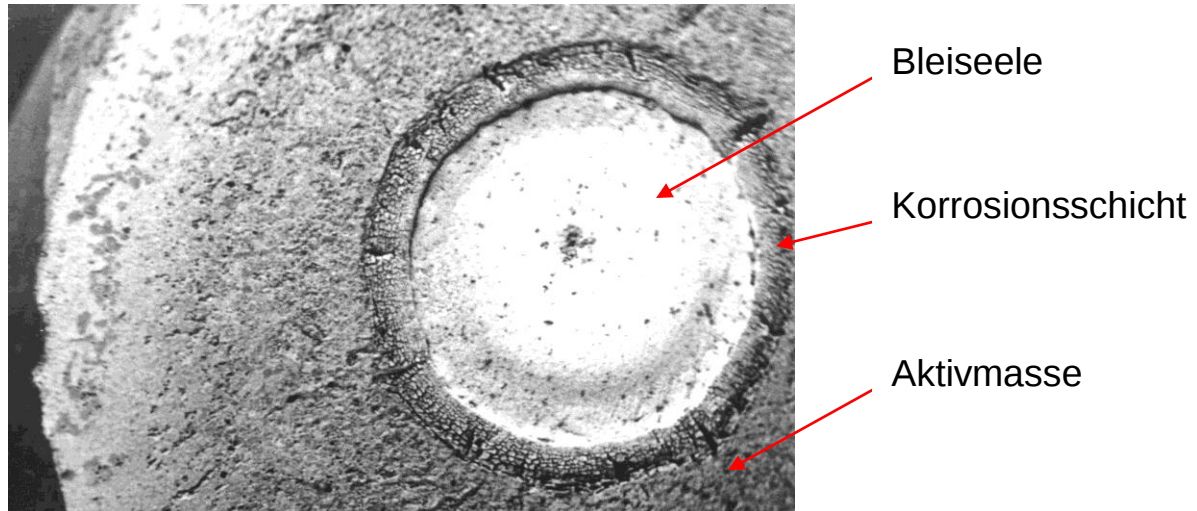
Die schalenförmige Korrosion ist eine Umsetzung von Blei in Bleidioxid in den positiven Gitterlegierungen, welche hauptsächlich an den äußeren Korngrenzen der Legierung stattfindet. Sie ist weniger kritisch als die intergranulare Korrosion, da sie gleichmäßiger verläuft.

2.2.2.3 Masseanbindung durch Korrosion

Die nachfolgende Abb. 14 zeigt einen Schnitt durch ein positives Röhren einer Röhrenplatte (s. 2.2.1.2), welches die Bleiseele und die aktive

Masse mit der dazwischen liegenden Korrosionsschicht, die für die Masseanbindung notwendig ist, zeigt.

Die Bindung zwischen Gitterblei und positiver Aktivmasse wird immer durch eine Korrosionsschicht auf dem Gitterblei realisiert.



Ab. 14: Schnitt durch ein positives Röhrchen einer Röhrchenplatte

Die Korrosion des Bleis ist einerseits ein notwendiger Prozess zur Erhaltung des Übergangs von aktiver Masse zum Gitterblei, andererseits aber lebensdauerbegrenzend für alle Bleiakkumulatoren.

2.2.3 Negative Platten

2.2.3.1 Gitterplatten

Die negativen Platten haben im Fallguss hergestellte, pastierte Bleigitter (s. 2.2.1.3). Als Legierung wird Blei-Antimon (PbSb) für geschlossene bzw. Blei-Zinn-Kalzium (PbSnCa) für verschlossene Bleibatterien verwendet.

2.2.3.2 Kupferstreckmetallgitter

Bei den negativen Platten der OCSM-Baureihe wird ein Kupferstreckmetallgitter verwendet. Das Kupferstreckmetallgitter wird verbleit und danach die negative Masse einpastiert.



Abb. 15: Verbleites Kupferstreckmetallgitter

Der Vorteil der Kupferstreckmetallgitter gegenüber den herkömmlichen Bleigittern ist die um den Faktor 4 bessere Stromleitfähigkeit des Kupfers. Daraus resultierend ist der Spannungsfall über der Platte während der Entladung mit hohen Strömen erheblich geringer, so dass insgesamt mehr Energie [3] bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung entnommen werden kann.

2.3 Separatoren

2.3.1 Geschlossene und Gel-Batterien

Hierfür werden mikroporöse, säure- und oxidationsbeständige, elektrisch isolierende Materialien mit Rippungen auf beiden Seiten, zur negativen und positiven Platte hin, eingesetzt. Die Aufgabe des Separators ist, die negativen und positiven Platten elektrisch voneinander zu trennen, aber darüber hinaus Ionenwanderung im Elektrolyten zuzulassen. Die Rippungen erlauben in geschlossenen Baureihen ein leichteres Aufsteigen der Gasblasen während der Ladung.

Die Art des Separators hängt von der jeweiligen Konstruktion, dem Verwendungszweck sowie von den verschiedenen Herstellungsprozessen der Batterien ab.



Abb. 16: Vergrößerung Separator im Maßstab 500 : 1 [3]



Abb. 17: Vergrößerung Separator im Maßstab 2500 : 1 [3]

Separatoren können bestehen aus

- PE (Polyethylen)
- Phenolharz
- PVC (Polyvinylchlorid)

2.3.2 AGM-Batterien

Hier dient der eingesetzte Vliesseparator sowohl als Isolator als auch als Elektrolytreservoir (s. 2.3.3.2). In der Abb. 18 ist ein solcher Vliesseparator

vergrößert dargestellt. Er besteht aus Glasfasern unterschiedlicher Stärke und Länge, die mit Kunststofffasern verstärkt sein können.

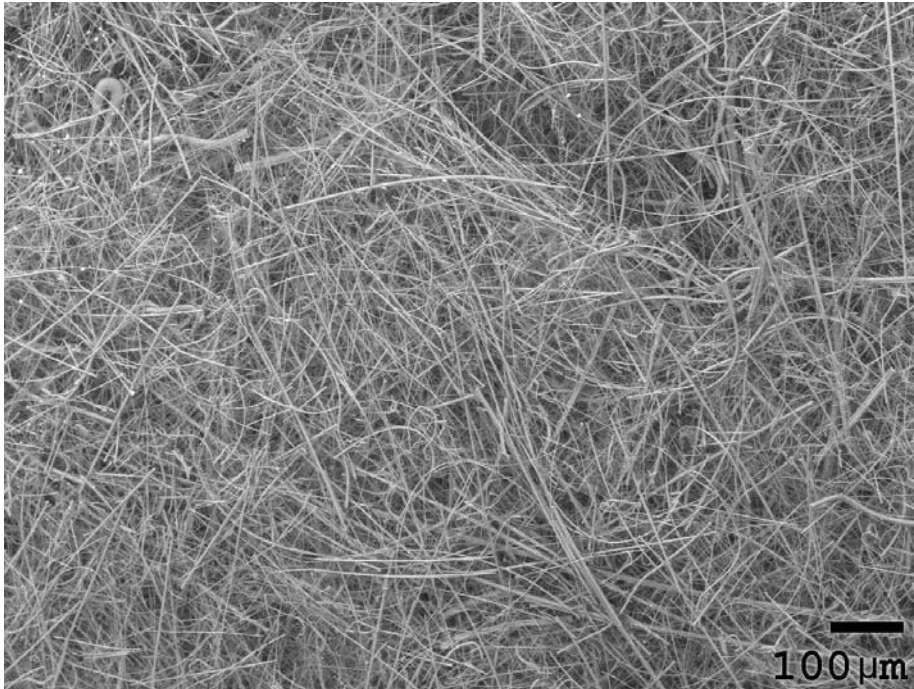


Abb. 18: Vliesseparator bestehend aus Fasern unterschiedlicher Stärke und Länge

2.4 Elektrolyt

2.4.1 Allgemeines

Der in der Bleibatterie verwendete Elektrolyt ist verdünnte Schwefelsäure H_2SO_4 . Im Gegensatz zu anderen elektrochemischen Systemen, welche einen Elektrolyten verwenden, nimmt beim Bleiakкумулятор der Elektrolyt an den chemischen Reaktionen teil und wird bei der Entladung durch Wasserbildung weiter verdünnt (s.1.1). Dies bedeutet, dass im entladenen Bleiakкумулятор die Elektrolytdichte erheblich niedriger als im vollgeladenen ist. Diese Eigenschaft unterscheidet den Bleiakкумулятор wesentlich von anderen elektrochemischen Energiespeichern und kann bei Temperaturen unter $-5^{\circ}C$ unter Umständen problematisch sein, weil der Elektrolyt gefrieren kann. Durch die damit verbundene Volumenvergrößerung können die Aktivmasse und die Gefäße geschädigt werden.

Der Elektrolyt ist im geschlossenen Bleiakkumulator in flüssiger Form vorhanden (s. 2.4.2). Bei den verschlossenen Bleiakkumulatoren ist der Elektrolyt entweder in einem Gel (s. 2.4.3.1) oder in einem Glasvlies (AGM, s. 2.4.3.2) festgelegt.

2.4.2 Freier Elektrolyt

Der flüssige Elektrolyt wird bei geschlossenen Batterien als freier Elektrolyt bezeichnet. Der Anteil der Schwefelsäure liegt, abhängig von der Dichte, zwischen 30 und 40 Gewichtsprozent.

2.4.3 Festgelegter Elektrolyt

2.4.3.1 Festlegung in Gel

Zunächst wird verdünnte Schwefelsäure mit einem Pulver aus amorphem SiO_2 vermischt. Durch starkes Verrühren bildet sich zwischen dem festen SiO_2 und der flüssigen Schwefelsäure ein stabiler, gelartiger Zustand. Diese dickflüssige Substanz wird dann über spezielle Einrichtungen in die Zellen gefüllt. Nach einer Standzeit von einigen Stunden erstarrt das Gemisch zu einer milchig-trüben Substanz, - dem Gel.

Dieses Verhalten wird Thixotropie genannt (analog Ketchup): Man spricht von Festlegung des Elektrolyten in einem thixotropen Gel. Wasserstoffbrückenbindungen und van der Waalssche Bindung bewirken die Verfestigung des Elektrolyten zu einem stabilen, dreidimensionalen Netzwerk.

Das Gel füllt außer dem Kopfbereich das gesamte Zellen- bzw. Blockgefäß aus.

Der für die interne Rekombination nötige Sauerstofftransport von den positiven zu den negativen Elektroden erfolgt entlang von Rissen im Gel.

2.4.3.2 Festlegung in AGM

AGM steht für (engl.) Absorbent Glas Mat = absorbierende Glasfasermatte. Die Matte besteht aus Mikro-Glasfasermaterial. Sie erfüllt zwei Funktionen: Elektrolytreservoir und Separator (s. 2.3.2). Der daraus gebildete Separator

ist makroporös im Gegensatz zu den bei Gel-Batterien verwendeten mikroporösen.

Der Elektrolyt wird durch das Glasvlies vollständig aufgesogen. Es befindet sich somit kein freier Elektrolyt in der Batterie.

Der für die interne Rekombination nötige Sauerstofftransport von den positiven zu den negativen Elektroden erfolgt durch freie Poren im Vlies (s. 1.5.3). Die Anzahl freier Poren im Vlies ist durch die Sättigung des Separators zu 95 - 97 % definiert vorgegeben.

2.5 Zellen- und Blockgehäuse (Kasten und Deckel)

Für Gehäuse und Deckel von Bleibatterien werden folgende Materialien verwendet:

- SAN (Styrol-Acrylnitril-Copolymer)
- ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)
- ABS + PC (Gemisch aus ABS und Polycarbonat)
- MABS (Modifiziertes ABS)
- PP (Polypropylen)

In den nachfolgenden Kapiteln werden jeweils die verwendeten Materialien für die Kästen und Deckel und deren Entflammbarkeit nach UL 94 [11] angegeben.

Die Gehäuse von Zellen sind leicht konisch, damit sie aus der Kunststoffspritzform entformt werden können. Bei Gestellen mit einer Durchbiegung von mehr als 2 mm kann dies dazu führen, dass optisch der Eindruck entsteht, die Zellen seien schief.

2.5.1 Zellen- und Blockgehäuse geschlossener Batterien

Für die Zellen und Blöcke der geschlossenen Baureihen werden transparente Gehäuse verwendet. Dadurch ist u.a. der Elektrolytstand erkennbar. Das verwendete Material wird in der nachfolgenden Tab. 3 genannt.

Baureihe	Material	UL - Klassifikation
GroE, OCSM	SAN	UL 94-HB
OPzS (≤ 3000 Ah), OGi	Gehäuse: SAN; Deckel: ABS	UL 94-HB
Energy Bloc	MABS	UL 94-HB
OPzS (> 3000 Ah); OPzS-Block	PP	UL 94-HB

Tab. 3: Deckel- und Gehäusematerial geschlossener Batterien

2.5.2 Zellen- und Blockgehäuse verschlossener Batterien

2.5.2.1 Zellen- und Blockgehäuse für Gel-Batterien

In den Tabellen 4 bis 9 sind Materialien zusammen mit der Klassifikation der Entflammbarkeit nach UL 94 [11] für die unterschiedlichen Batteriebaureihen aufgelistet.

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Standard		
≤ 12 Ah	ABS	UL 94-HB
> 12 Ah	PP	UL 94-HB
Optional		
≤ 12 Ah	ABS	UL 94-V0
> 12 Ah	PP	UL 94-V2 oder V0

Tab. 4: Deckel- und Gehäusematerial für A400

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Standard		
≤ 16 Ah	ABS	UL 94-HB
> 16 Ah	PP	UL 94-HB
Optional		
≤ 16 Ah	ABS	UL 94-V0
> 16 Ah	PP	UL 94-V2 oder V0

Tab. 5: Deckel- und Gehäusematerial für A500

	Material	UL-Klassifikation
Standard	ABS oder PP	UL 94-HB
Optional	ABS	UL 94-V0

Tab. 6: Deckel- und Gehäusematerial für A600 und A600 SOLAR

	Material	UL-Klassifikation
Standard	PP	UL 94-HB
Optional	PP	UL 94-V0

Tab. 7: Deckel- und Gehäusematerial für A600 Block

Material	UL-Klassifikation
PP	UL 94-HB

Tab. 8: Deckel- und Gehäusematerial für A700 und PowerCycle

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Standard		
≤ 17 Ah (nur SOLAR)	ABS	UL 94-HB
> 17 Ah	PP	UL 94-HB
Optional		
≤ 17 Ah (nur SOLAR)	ABS	UL 94-V0
> 17 Ah	PP	UL 94-V2

Tab. 9: Deckel- und Gehäusematerial für SOLAR und SOLAR BLOCK

2.5.2.2 Zellen- und Blockgehäuse für AGM-Batterien

In Tab. 10 bis Tab. 13 sind Materialien zusammen mit der Klassifikation der Entflammbarkeit nach UL 94 [11] für die unterschiedlichen Batteriebaureihen aufgelistet.

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Standard		
Alle	PP	UL 94-HB
Optional		
Alle	PP	UL 94-V0

Tab. 10: Deckel- und Gehäusematerial für Marathon L/XL und Sprinter P/XP/FT

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Alle außer M12V180FT	PP	UL 94-HB oder V0
M12V180FT	PP	UL 94-V0

Tab. 11: Deckel- und Gehäusematerial für Marathon M/M-FT

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Standard		
Alle	PP	UL 94-HB
Optional		
Alle	PP	UL 94-V2

Tab. 12: Deckel- und Gehäusematerial für Sprinter S

Kapazität	Material	UL-Klassifikation
Alle	ABS	UL 94-V0

Tab. 13: Deckel- und Gehäusematerial für Powerfit S 300

2.5.2.3 Verformungen bei verschlossenen Batterien

Gel- und AGM-Batterien arbeiten mit einem definierten Zelleninnendruck.

Dieser Innendruck kann eine leichte Ausbauchung der Batteriegehäusewände und – deckel bewirken.

Wenn die Batterie nicht in Betrieb ist, können leichte Selbstentladung, Abkühlung während der Standzeit, Gasdiffusion durch die Wände und andere chemische Reaktionen innerhalb der Zellen zu einem Unterdruck führen, da die Ventile keinen Druckausgleich von außerhalb erlauben. Dies kann in einem sichtbaren Einbauchen (Kontraktion) der Gehäusewände und Deckel resultieren.

Verformung ist besonders bei Gel-Blockbatterien größerer Kapazität zu beobachten, bei denen sowohl Gehäusewände als auch Deckel großflächig sind.

Erhöhte Temperaturen können das Ausbauchen fördern, insbesondere Werte über + 55° C.

Ausbauchen zeigt normales Funktionieren der Batterie. Einbauchen kann auch tief entladenen Zustand signalisieren.

2.6 Poldurchführungen

Die Konstruktion der Pole und die Ausführung der Poldurchführung hängen von der Batteriebaureihe und der Zellen- bzw. Blockgröße ab.

2.6.1 GroE, OCSM, Energy Bloc

O.g. Baureihen haben einen sogenannten "HAGEN patentpol" (s. Abb. 19 und 20), welcher absolut elektrolytdicht ist. Diese Konstruktion erlaubt kein Hochschieben der Pole, da die Abdichtung horizontal durch einen O-Ring erfolgt. Diese Poldurchführungsart wird seit 1984 erfolgreich eingesetzt.

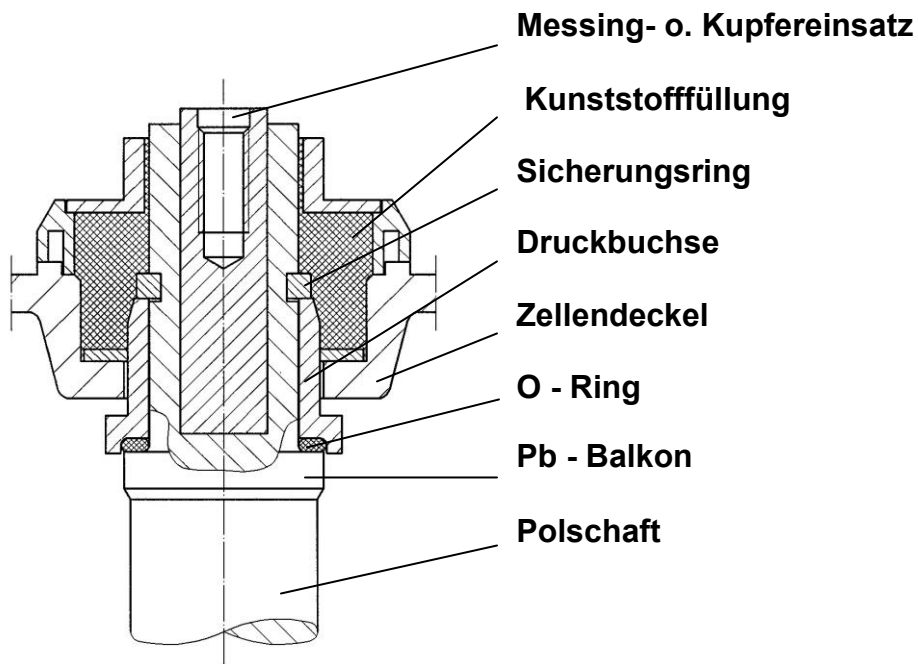


Abb. 19: Konstruktion des „HAGEN patentpol“

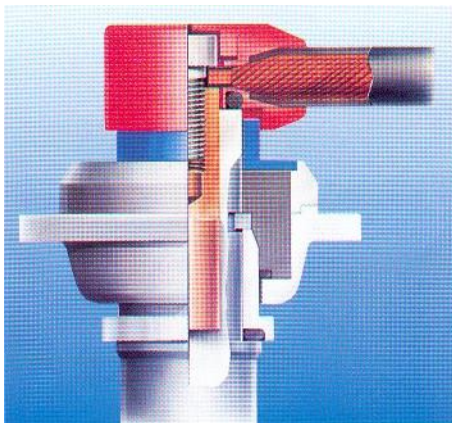


Abb. 20: Querschnitt durch einen „HAGEN patentpol“

2.6.2 OPzS, OGi, A700 (≤ 42 Ah), A600 (OPzV)

Die A700-Baureihe (≤ 42 Ah) hat einen patentierten, sogenannten „Sonnenschein-Pol“ (s. Abb. 21).

Die Doppel-O-Ring-Konstruktion des Sonnenschein-Pols erlaubt ein Hochschieben der positiven Pole, wobei die Zelle bzgl. Elektrolyt und Gase durch zwei in vertikaler Richtung wirkende O-Ringe abgedichtet bleibt. Diese Poldurchführungsart wird seit 1984 erfolgreich eingesetzt.

**Nach 7 mm
Plattenwachstum**

Neuzustand

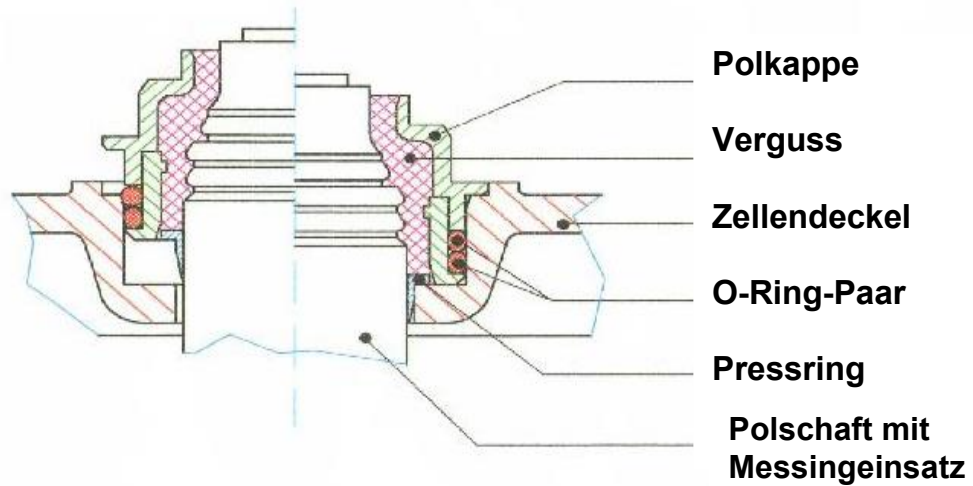


Abb. 21: Konstruktion des „Sonnenschein-Pols“

Für OPzS-Zellen (≤ 3000 Ah) und OGi-Zellen (> 250 Ah) wurde ein modifiziertes Design eingeführt (s. Abb. 22a). Es erlaubt, wie auch der „Sonnenschein-Pol“, mit den 2 O-Ringen Dichtigkeit über die Brauchbarkeitsdauer der Batterie und Hochschieben der Pole durch Plattenwachstum. Anstelle des Verguss wird die Abdichtung durch Kompression einer Gummimuffe erreicht. Für A600-Zellen (Abb. 22b) ist ein ähnliches neues Design eingeführt worden, - mit unterschiedlicher Form der Mutter.

Im Fall der relativ selten angefragten OPzS-Zellen > 3000 Ah wird der traditionelle Schweißpol (ohne Abb.) verwendet.

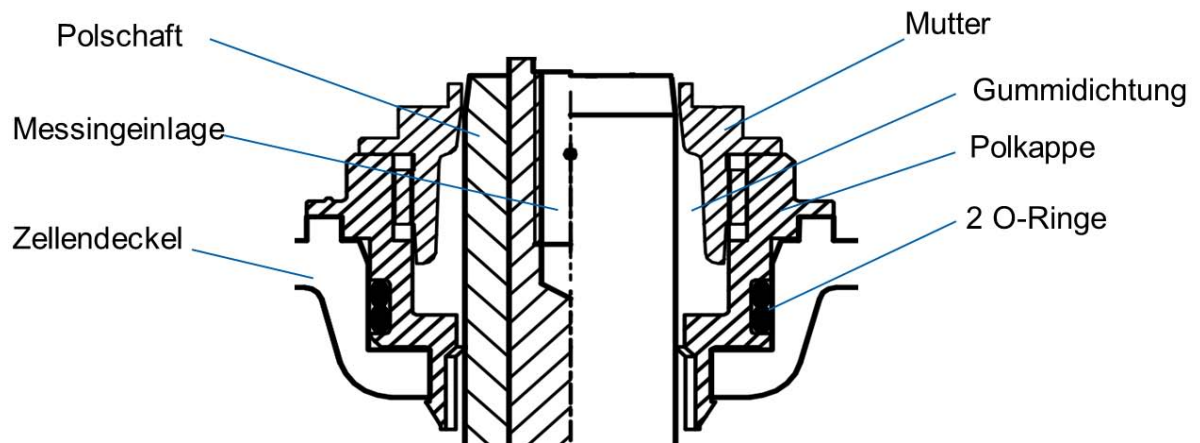


Abb. 22a: Neue OPzS-Zelle/OGi-Poldurchführung

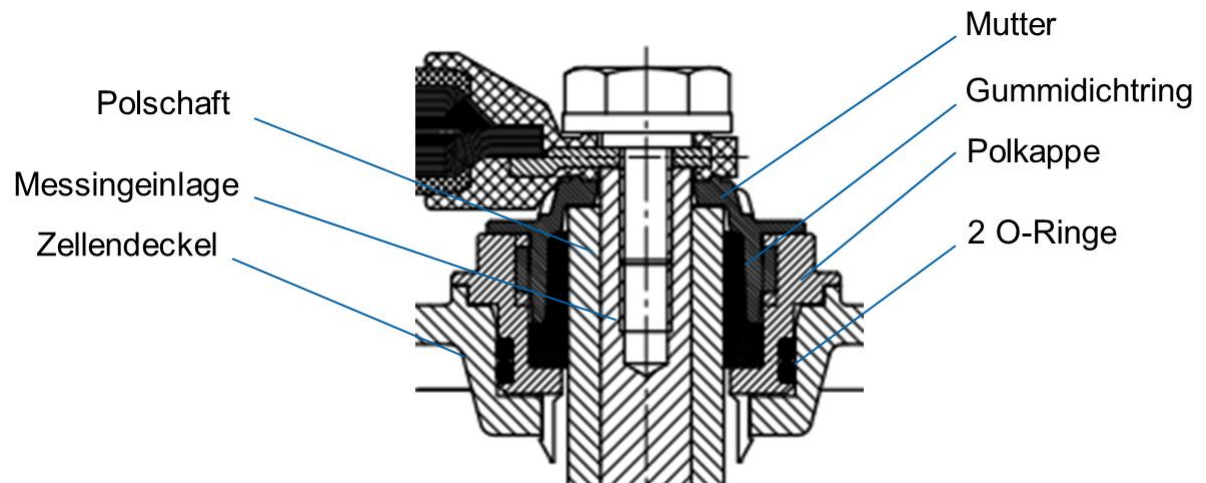


Abb. 22b: Neue A600-Zellen-Poldurchführung (hier mit angedeutetem Verbinder und Schraube)

2.6.3 OPzS-Block, A600 (OPzV)-Block, Marathon, Sprinter, A700 (≥ 63 Ah)

Die Konstruktion der Pole und die Ausführung der Poldurchführung sind in den verschiedenen Batteriebaureihen unterschiedlich ausgeführt. Nachfolgende Abb. 23 bis 28 zeigen die jeweilige Variante.

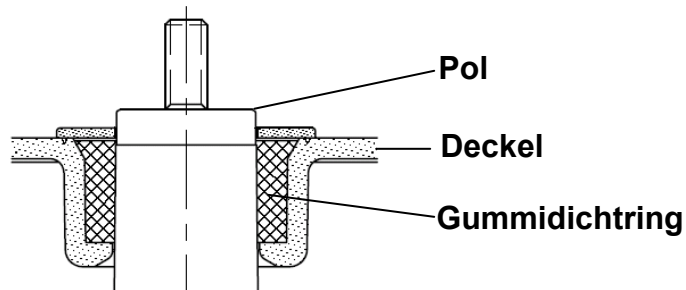


Abb. 23: Baureihen Marathon L, Sprinter P (ursprüngliches Pol-Design)

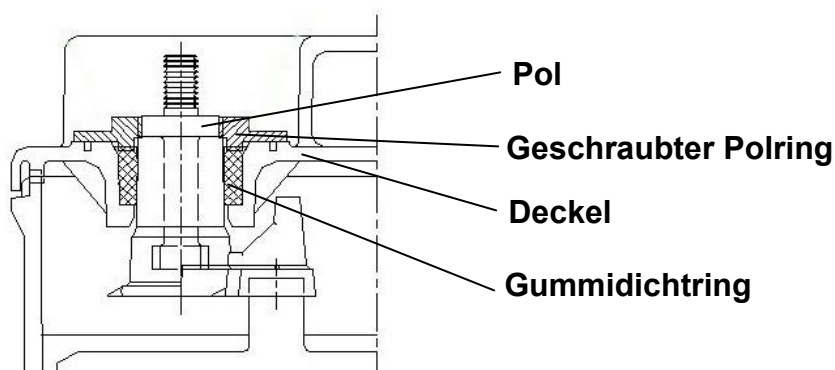


Abb. 24: Baureihen Marathon L, Sprinter P (modifiziertes Pol-Design)

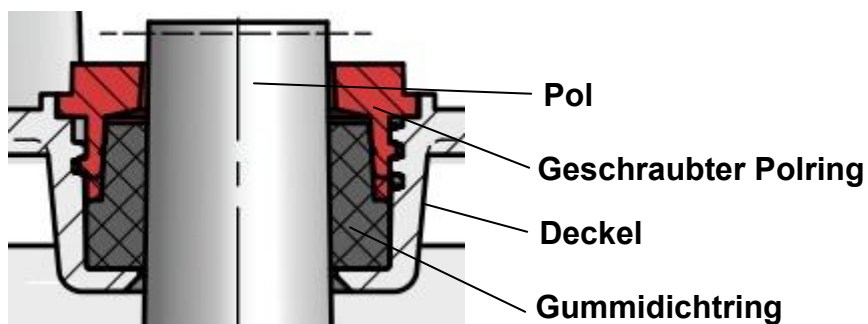


Abb. 25: Baureihe Marathon L (220...575 Ah)

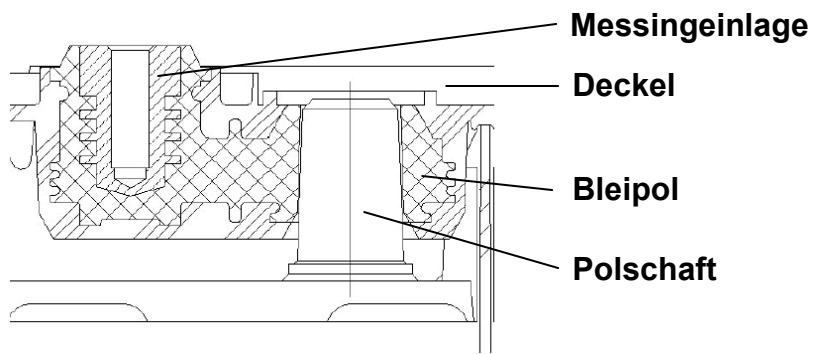


Abb. 26: Baureihen OPzS-Block, A600-Block, Marathon M, Marathon XL, Sprinter S, Sprinter XP, A700 (≥ 63 Ah); Top-Terminal-Blöcke

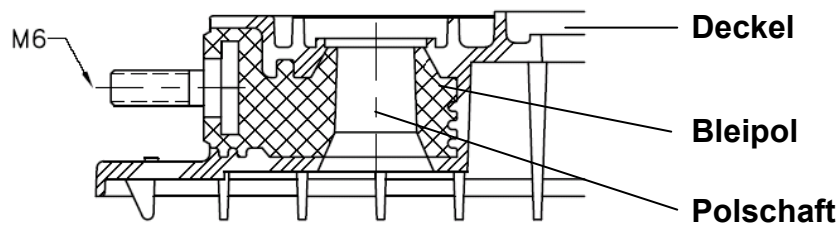


Abb. 27: Baureihe Marathon M/FT (35, 50, 60 Ah)

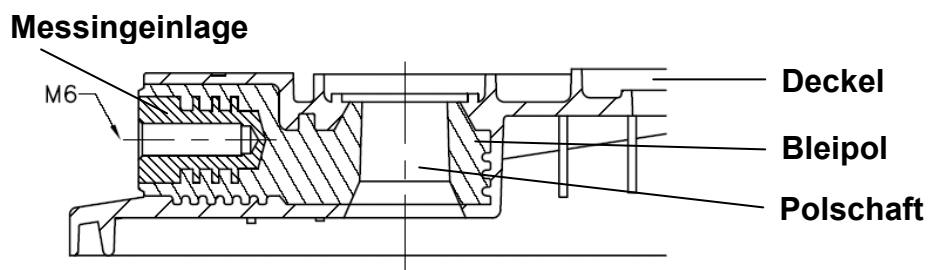


Abb. 28: Baureihe Marathon M/FT (90, 105, 125, 155Ah), Sprinter XP-FT

2.6.4 A400, A500 und PowerCycle

Die Konstruktion der Pole und die Ausführung der Poldurchführung hängen von Batteriebaureihe und Kapazitätsbereich ab.

Abb. 29 a bis Abb. 29 c zeigen einige übliche Polausführungen von Gel-Blöcken.

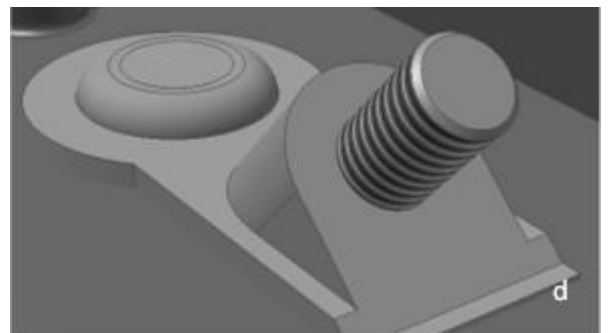
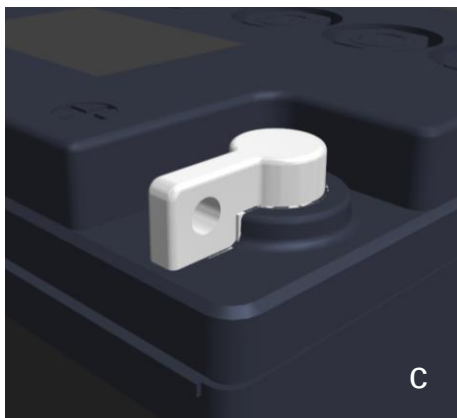
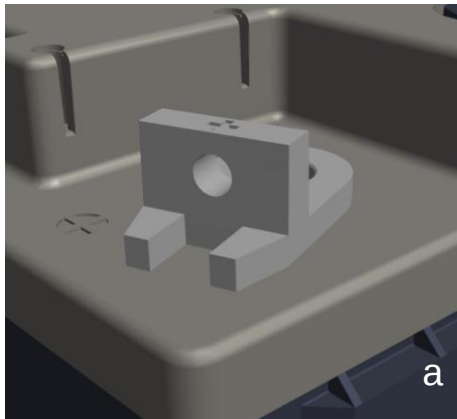


Abb. 29a: G6-Pol

Abb. 29b: A-Pol

Abb. 29c: G5-Pol

Abb. 29d: Front-Terminal-Pol
(PowerCycle)

Abb. 29: Pole A400, A500, PowerCycle

2.6.5 Anzahl der Polpaare

Große Kapazitäten erfordern wegen hoher Entladeströme mehrere Polpaare (bis zu 4). Dadurch verteilt sich der Entladestrom auf die Polpaare und die Standardverbinder.

2.7 Zellenstopfen und Ventile

2.7.1 Zellenstopfen für geschlossene Batterien

2.7.1.1 Entgasungsstopfen

Im Entgasungsstopfen (Beispiele in Abb. 30a,b) befindet sich ein Labyrinth, in dem sich die den Gasblasen anhaftenden Säuretröpfchen niederschlagen und in die Zelle zurückfließen.



Abb. 30a: Beispiel eines
Entgasungsstopfens



Abb. 30b: Beispiel eines Klapp-
deckelstopfens

2.7.1.2 Keramikstopfen

Keramikstopfen (Abb. 31) lassen Gas durch eine porösen Keramikkörper aus der Zelle austreten, verhindern dadurch aber eine Rückzündung von außen in die Zelle (zur Funktion s. Abb. 33).

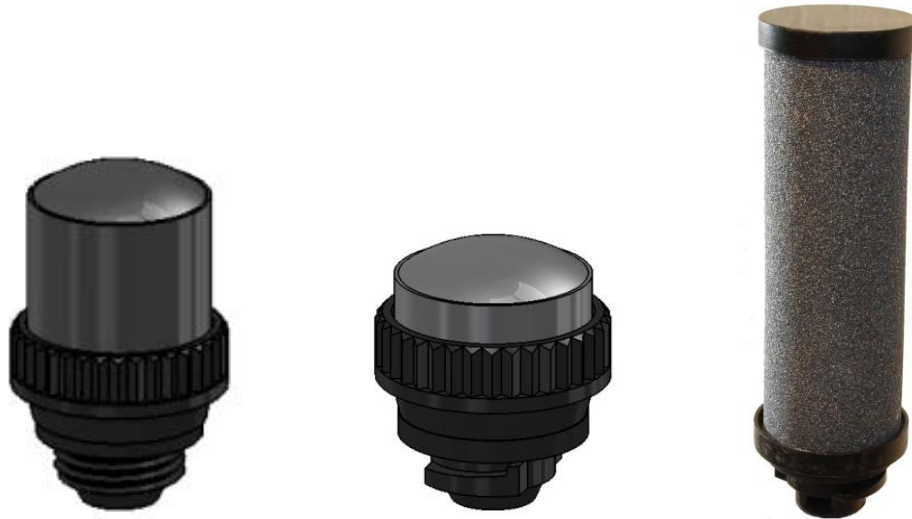


Abb. 31: Keramikstopfen, von links nach rechts: Bajonett-Typ (R24), Schraubtyp (M27), DIN 40740- S-Typ

2.7.1.3 Keramiktrichterstopfen

Der Keramiktrichterstopfen (Abb. 32) hat die gleiche Funktion wie der Keramikstopfen. Er lässt jedoch durch den Trichter das Nachfüllen von Wasser in die Zelle, das Messen der Elektrolytdichte und der Temperatur zu, ohne den Stopfen abnehmen zu müssen.



Abb. 32: Keramiktrichterstopfen

Abb. 33 zeigt das Wirkprinzip des Keramiktrichterstopfens. Das Gas kann durch die Keramik entweichen. Eine Rückzündung in die Zelle wird einerseits durch die Keramik verhindert und andererseits durch die Tatsache, dass ein Funke nicht durch die im Röhrchen befindliche Flüssigkeitssäule durchzünden kann.

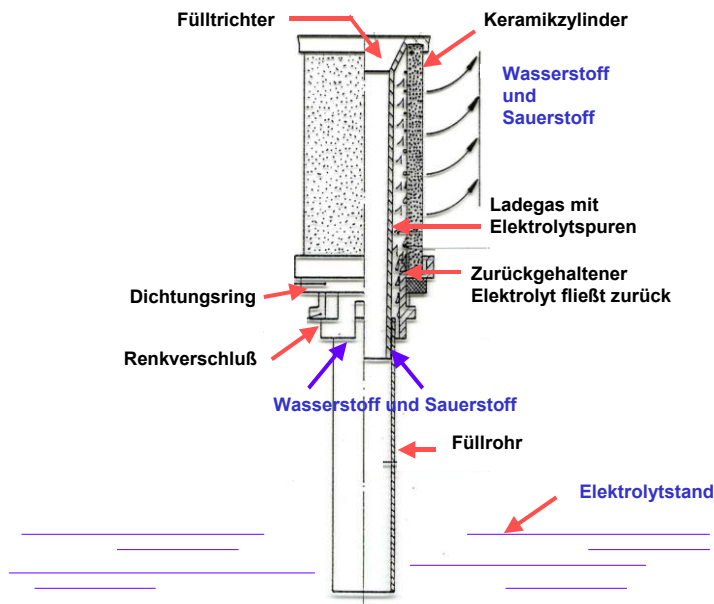


Abb. 33: Wirkprinzip des Keramiktrichterstopfens

2.7.2 Ventile für verschlossene Batterien

Alle verschlossenen Batterien sind mit selbstverschließenden Ventilen ausgestattet. Die Ventile sind bei normalem Betrieb ständig geschlossen. Sie öffnen aber, wenn sich innerhalb der Zelle ein Gasdruck aufgebaut hat. Die Druckerhöhung geht unter abnormalen Bedingungen (z.B. hohe Ladespannung, hohe Temperaturen) schneller vonstatten. Nach dem Druckausgleich schließt das Ventil, so dass die Zelle von außen dicht verschlossen ist.

2.7.2.1 Ventile für Gel-Batterien

Das sogenannte „Sonnenschein-Ventil“ verkörpert das meist verwendete Ventilprinzip für die Gel-Batterien (Abb. 34). Das Einzelventil ist hier immer

gleich, der verwendete Adapter hängt allerdings von der Deckelkonstruktion und damit von der Batteriebaureihe und der Kapazität ab (s. als Beispiele Abb. 35 und 36).

Mit diesen Ventilen versehene Gel-Batterien sind UL-gelistet (MH 12547) nach UL 1989 [12].

Bei allen Gel- und einigen AGM-Batterien wird das in Abb. 34 dargestellte Ventil verwendet.

Öffnungsdruck: 60 bis 180 mbar

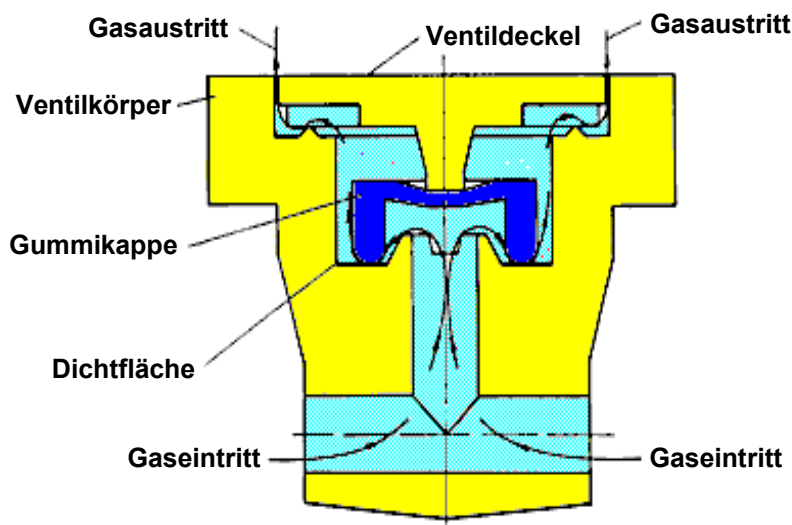


Abb. 34: Ventilsystem von Sonnenschein-Gel-Batterien, Ventil ohne Adapter und ohne Schutzkappe

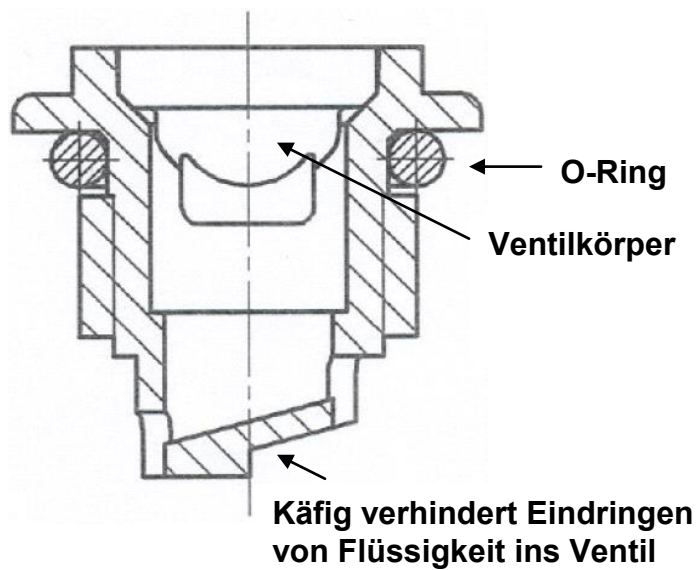


Abb. 35: Sonnenschein-Ventil in M18- Adapter

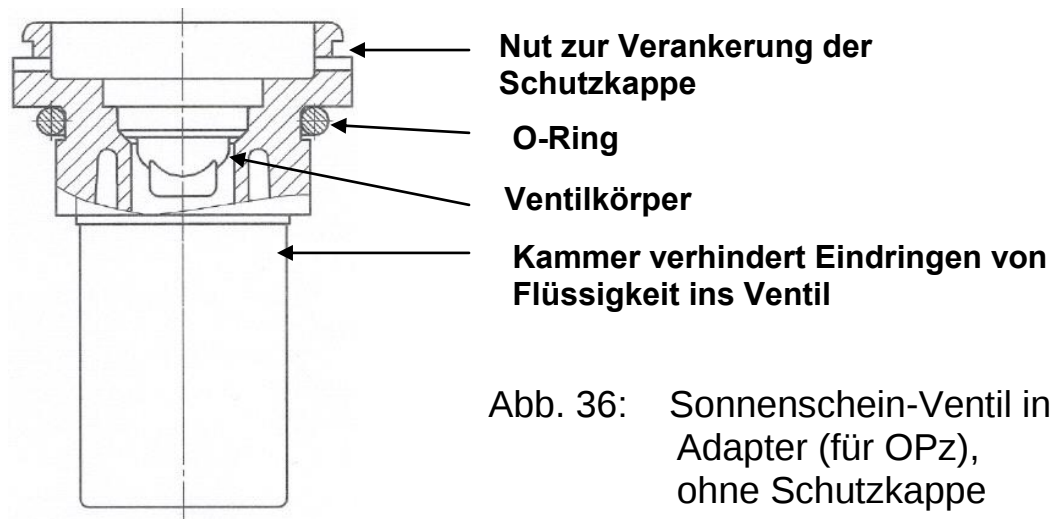


Abb. 36: Sonnenschein-Ventil in M27-Adapter (für OPz), ohne Schutzkappe

2.7.2.2 Ventile für AGM-Batterien

Die verwendeten Ventilprinzipien für die AGM-Batterien sind in den Abb. 37 bis 40 dargestellt.

Öffnungsdrücke:

Marathon L/XL, Sprinter P/XP:	200 bis 400 mbar
Marathon L-Zelle:	60 bis 180 mbar

Marathon M, Sprinter S/XP-FT: 175 bis 350 mbar

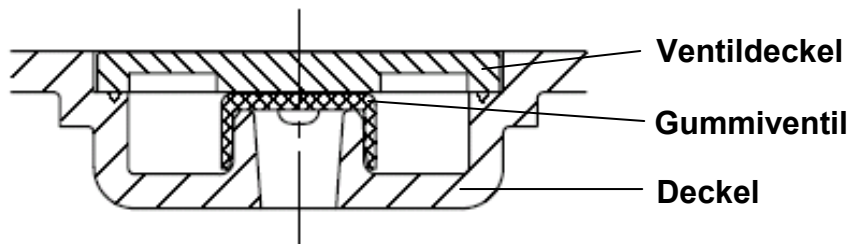


Abb. 37: Ventilsystem für Marathon L-Blöcke, Sprinter P

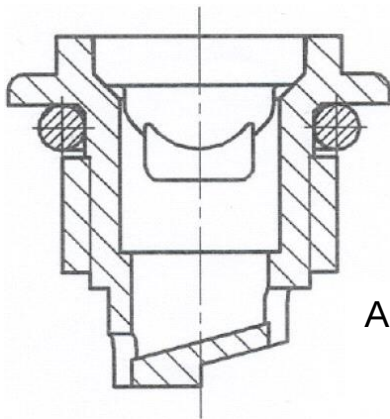


Abb. 38: Ventilsystem für Marathon L
2V-Zellen (vergl. Abb. 35)

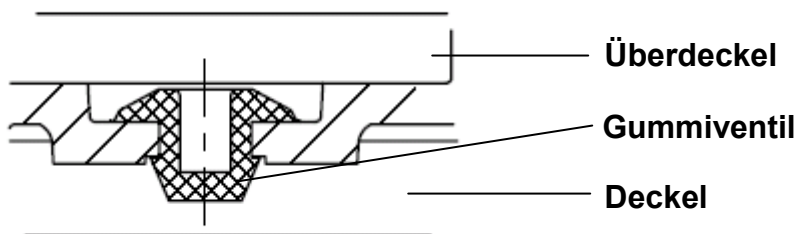


Abb. 39: Ventilsystem für Marathon M und Sprinter S

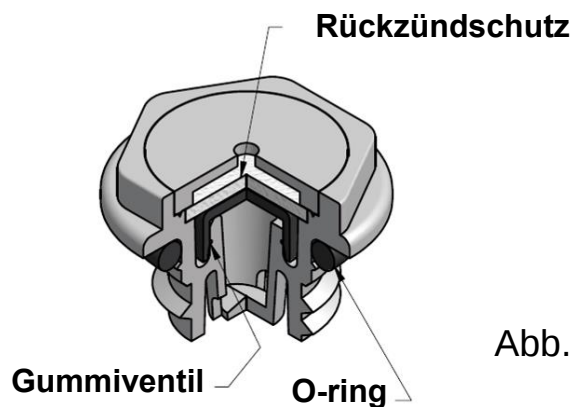


Abb. 40: Ventilsystem für Marathon XL
und Sprinter XP

2.8 Verbinder und Endableiter

2.8.1 Flexible Verbinder

Die von GNB Industrial Power in der Regel eingesetzten hochflexiblen Zellen- / Blockverbinder aus Schweißkabelmaterial haben den Vorteil, dass sie höhere Ströme als die meisten Normkabel übertragen können bzw. bei gleicher Strombelastung einen geringeren Spannungsfall haben.

Ferner belasten die flexiblen Verbinder die Poldurchführungen nicht mechanisch, wenn die Zellen mit leicht unterschiedlichen Höhen aufgestellt werden (z. B. bei Durchbiegung von Gestelltraversen und Einlegeböden). Außerdem gleichen sie temperaturbedingte Ausdehnungen aus.

Reihen- und Etagenverbinder sind meist flexibel ausgeführt.

2.8.2 Starre Verbinder

Starre Verbinder haben einen Kostenvorteil gegenüber den flexiblen Verbindern. Da diese Verbinder in der Regel aus Stangenkupfer gefertigt werden, sind auch unübliche Verbinderquerschnitte einfacher realisierbar.

2.8.3 Spannungsfall über den Verbindern

Alle von GNB Industrial Power eingesetzten Verbinder sind so dimensioniert, dass der Spannungsfall minimal ist. Der Spannungsfall über den Verbindern kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta U = \frac{L \cdot I}{\kappa \cdot A} \quad \text{mit}$$

ΔU : Spannungsfall in V

L: Verbinderlänge in m

I: Entladestrom in A

A: Verbinderquerschnitt in mm²

κ : Leitfähigkeit von Cu $\kappa = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2}$

2.8.4 Strombelastbarkeit von Batterieverbindern

Unter Batterieverbindern sind Zellen- und Blockverbinder sowie Reihen- und Etagenverbinder zu verstehen.

DIN VDE 0298-4 [13], dort Tabelle 11, gibt Werte für die Strombelastbarkeit von flexiblen Leitungen an.

In der Tabelle „Belastbarkeit, Leitungen mit Nennspannungen bis 1000 V“ dieser VDE sind die hier in Tab.15 genannten maximalen Ströme für einadrige wärmebeständige Leitungen (gummi- oder PVC-isoliert) bei freier Verlegung und 30° C Umgebungstemperatur für die Verbinderquerschnitte festgelegt.

Verbinderquerschnitt in mm ²	Maximale Strombelastung in A
16	98
35	158
50	198
70	245
95	292
150	391

Tab. 15: Strombelastbarkeit von Kabelquerschnitten für wärmebeständige, einadrige Kabel – gummi- oder PVC-isoliert - bei freier Verlegung und 30° C gemäß DIN VDE 0298-4 [13]

Für von 30° C abweichende Temperaturen sind in der DIN VDE 0298-4 [13] ferner folgende Umrechnungsfaktoren festgelegt:

Temperatur in ° C	Umrechnungsfaktor
20	1,12
25	1,06
30	1,00
35	0,94
40	0,87
50	0,71
55	0,61

Tab. 16: Umrechnungsfaktoren für von 30° C abweichende Umgebungstemperaturen für Leitungen mit einer zulässigen Betriebstemperatur von 70° C gemäß DIN VDE 0298-4 [13]

Die in der VDE genannten Verbinderquerschnitte mit ihren maximalen Belastungsströmen sind für eine Haltbarkeit von 30 Jahren bei Dauerbelastung festgelegt worden. Gemäß einem längeren Gespräch mit Herrn Wilhelm Rudolph, VDE Frankfurt und Autor des Buches „Einführung in die DIN VDE 0100“, [14], im Jahre 2004, können die Verbinder auch mit erheblich höheren Strömen belastet werden, wenn die Belastung selten und nicht zu häufig auftritt. Da in den meisten Anwendungen für stationäre Batterien Entladungen über die Brauchbarkeitsdauer der Batterien von 10 – 20 Jahren maximal 400 bis 1200 mal auftreten können (dann begrenzt nämlich die Zyklenlebensdauer das Brauchbarkeitsdauerende) ist bei Entladungen mit Strömen < 1-stündig eine Belastung bis zum 4 – 5 fachen der angegebenen Werte durchaus möglich.

2.8.5 Verbinderquerschnitte

Die von GNB Industrial Power verwendeten Verbinderquerschnitte je Zelle / Blockbatterie sind grundsätzlich so ausgelegt, dass sich bei Entladungen zwischen 3 Minuten und mehreren Stunden die Zellen- / Blockverbinder auf maximal + 70° C erwärmen. Die Querschnitte berücksichtigen auch den Spannungsfall an Zellen- bzw. Blockverbindern sowie an Reihen- und Etagenverbindern für Standardinstallationen in Gestellen und Schränken. Sind aus Gründen eines niedrigeren gewünschten Spannungsfalls über dem Verbinder andere Querschnitte gewünscht, so kann dieses von GNB Industrial Power für die Lieferung der Batterieanlage berücksichtigt werden.

2.8.6 Temperaturerhöhung bei Entladung und Ladung

Die maximale Erwärmung der Verbinder für die Entladung kann über folgende Formel als Abschätzung berechnet werden:

$$\Delta T_{\max} = C_{\text{Verbinder}} \cdot \frac{L_{\text{Verbinder}} \cdot I_{\text{Entladung}}}{A_{\text{Verbinder}} \cdot t_{\text{Entladung}}} \quad \text{mit:}$$

$\Delta T_{\max}$	= Maximale Temperaturerhöhung in K oder ° C
$C_{\text{Verbinder}}$	= Konstante aus Abb. 40
$L_{\text{Verbinder}}$	= Verbinderlänge in mm
$I_{\text{Entladung}}$	= Entladestrom in A
$A_{\text{Verbinder}}$	= Verbinderquerschnitt in mm ²
$t_{\text{Entladung}}$	= Entladezeit in min.

Die in Abb. 41 angegebenen Werte für die Konstante $c_{\text{Verbinder}}$ wurden von GNB Industrial Power empirisch ermittelt.

Für alle Entladeströme größer 180 Minuten kann der Wert für 180 Minuten eingesetzt werden, da die Kurve asymptotisch verläuft.

Da die Ladeströme in der Regel maximal 10 % des Entladestromes betragen, kann selbst bei sofortiger Netzwiederkehr nach der Entladung diese Größe für die Erwärmung eher vernachlässigt werden.

Die Abschätzung gem. obiger Formel gilt nur für Umgebungstemperaturen 20 bis 25° C (typisch 22, 23° C) und für Kabellängen bis 180 mm.

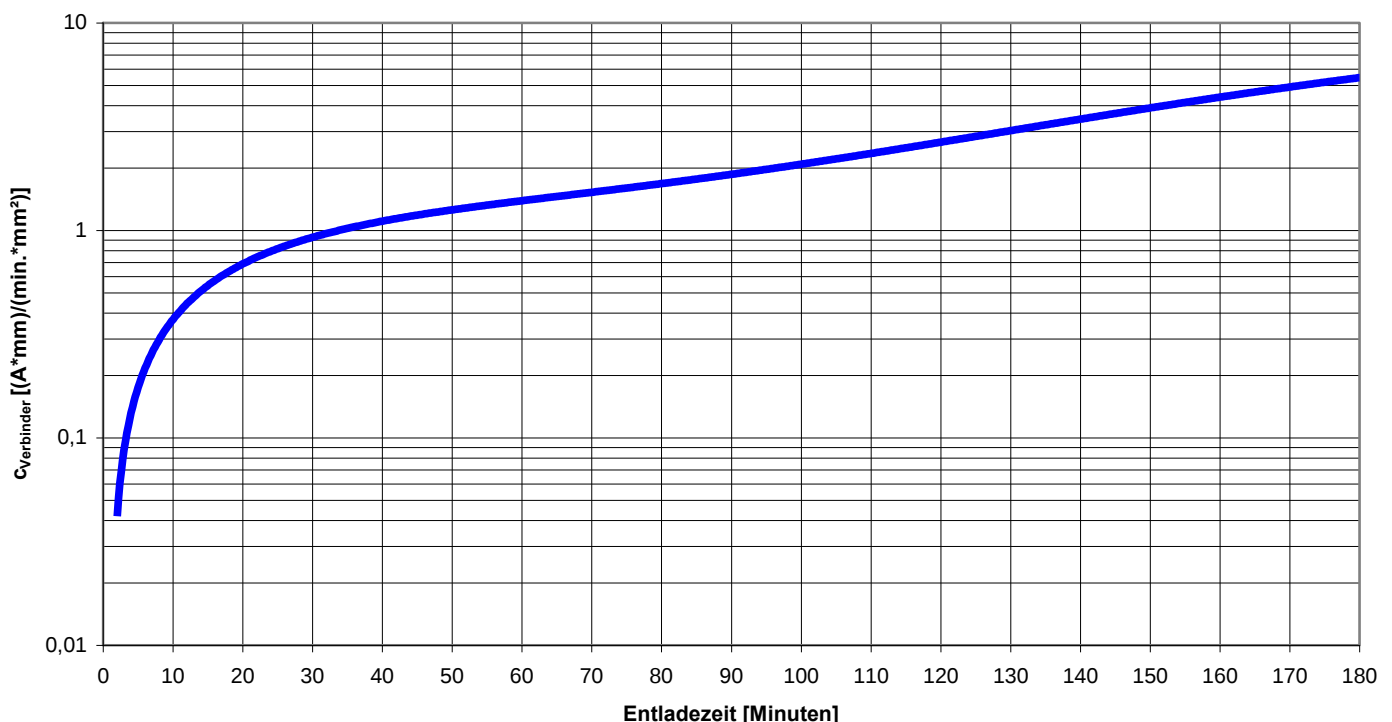


Abb. 41: Konstante $c_{\text{Verbinder}}$ für die Berechnung der Temperaturerhöhung der Verbinder während der Entladung

2.8.7 Kurzschluss sichere Verlegung

Eine kurzschluss sichere Verlegung von Zellen- bzw. Blockverbindern, sowie Reihen- und Etagenverbindern, ist nicht notwendig, da die einschlägigen Errichtungs- und Gerätenormen den Verbinder mit einer Verkabelung innerhalb eines Gerätes, wie z. B. eines Generators, gleichsetzen.

Kurzschlussicher verlegt werden müssen aber alle Endableiter von Batterien, welche Batterien mit Lasten, Trennern oder Sicherungen verbinden.

Folgende beispielhaft genannte Verlegearten gelten als kurzschluss- und erdschlussicher und sind besonders für den Einsatz in Batterieanlagen geeignet:

- einadrige Gummischlauchleitungen H07RN-F nach DIN VDE 0282-4 [15]
- Anordnungen aus Aderleitungen NSGAFÖU nach DIN VDE 0250, Teil 602 [16].

Anordnungen: Siehe hierzu VDE 0100-520, Artikel 521.13 [17].

Zum Vergleich hierzu ist die Norm DIN EN 50272-2 [6] zu empfehlen, hierin u.a. Kapitel 7.1.

2.8.8 Spannungsfestigkeit von Kabeln

Die nachstehenden Erläuterungen können in den Normen DIN VDE 0298-3 (VDE 0298-3) [18] bzw. DIN VDE 0298-300 (VDE 0298 Teil 300 [19] im Detail verfolgt werden.

Die Spannungsfestigkeit geht aus der Nennspannung der Kabel hervor. Die Nennspannung wird als Wechselspannung (AC) angegeben. Dabei werden zwei Werte genannt: U_0/U in Volt.

U_0 ist der Effektivwert der Spannung zwischen Außenleiter und Erde (metallene Umhüllung der Leitung oder umgebende Medien),

U der Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern einer mehradrigen Leitung, oder eines Systems einadriger Leitungen.

Die Betriebsspannung eines Systems darf die Nennspannung dauernd um 10% überschreiten, bei Kabel ab 600/1000 V AC-Nennspannung sogar um 20%.

Die zulässigen Gleichspannungswerte (DC) erhält man durch Multiplikation mit 1,5, d.h. $V_{DC} = 1,5 \cdot V_{AC}$.

Beispiel:

Kabelsorte H07RN-F mit

Nennspannung $U_0/U = 450/750$ V AC entsprechen umgerechnet
675/1125 V DC.

Inklusive + 10% auf AC ergeben sich
742/1237 V DC.

Leitungen mit Nennspannung $U_0/U = 450/750$ V AC decken sogar
Anwendungsfälle mit extrem hoher Zellenzahl pro Batteriestrang ab. So
gibt es USV-Anlagen mit 46 Stück bzw. 40 Stück 12V-Blockbatterien, was
276 bzw. 240 Zellen entspricht.

Dies entspricht bei Annahme von max. 2,4 V/Z Starkladung
Batteriebetriebsspannungen von 662,4 V bzw. 576 V DC und wird durch
o.g. Kabelsorte abgedeckt.

3. Betriebsarten von Batterien

3.1 Bereitschaftsparallelbetrieb

Hierbei handelt es sich um eine kontinuierliche Stromversorgung ohne Unterbrechung zum Verbraucher. Beim Bereitschaftsparallelbetrieb ist das Ladegerät jederzeit in der Lage, den maximalen Verbraucherstrom und den Batterieladestrom zu liefern. Dabei ist die Erhaltungsladespannung die Betriebsspannung der Batterie und gleichzeitig die Anlagenspannung. Die meisten batteriegestützten Anlagen bestehen aus Ladegerät, Batterie und Wechselrichter. Die Batterie wird hierbei dauernd geladen.

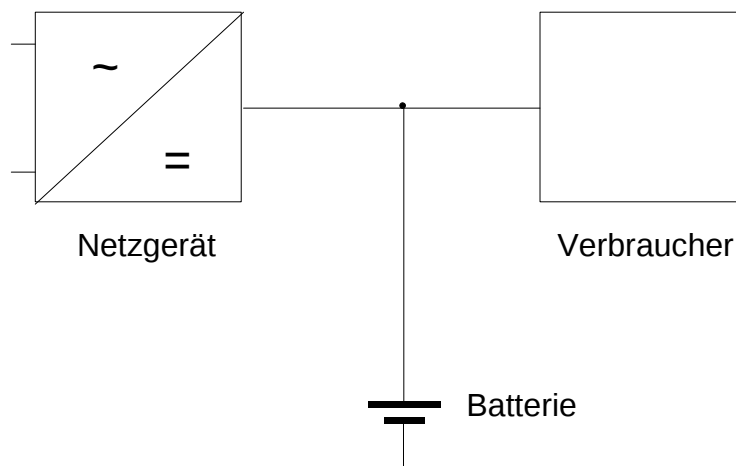


Abb. 42: Prinzipschaltbild des Bereitschaftsparallelbetriebs [20]

3.2 Pufferbetrieb

Beim Pufferbetrieb ist das Ladegerät nicht in der Lage, jederzeit den maximalen Verbraucherstrom zu liefern. Der Verbraucherstrom übersteigt zeitweilig den Nennstrom des Ladegerätes. Während dieser Zeit liefert die Batterie den noch fehlenden Verbraucherstrom. Die Batterie ist nicht jederzeit voll geladen. Um die Ladungsverluste der Batterie auszugleichen, muss regelmäßig eine Starkladung erfolgen, oder es muss dauernd mit höherer Spannung geladen werden. Die Wartungsintervalle für die Batterie können sich hierbei verkürzen. Die Brauchbarkeitsdauer der Batterie kann geringer sein.

Das Prinzipschaltbild entspricht beim Pufferbetrieb dem des Bereitschaftsparallelbetriebs (s. Abb. 42).

3.3 Umschaltbetrieb

Beim Umschaltbetrieb ist die Batterie vom Verbraucher getrennt und wird von einem separaten Ladegerät geladen. Die Verbraucher werden direkt durch ein Netzgerät versorgt. Erst bei Netzausfall wird vom Gleichrichter auf die Batterie umgeschaltet. Diese Betriebsart ist im Bereich der Sicherheitsbeleuchtung (s. 6.4.2) verbreitet, da hier kurze Umschaltzeiten kein Problem darstellen.

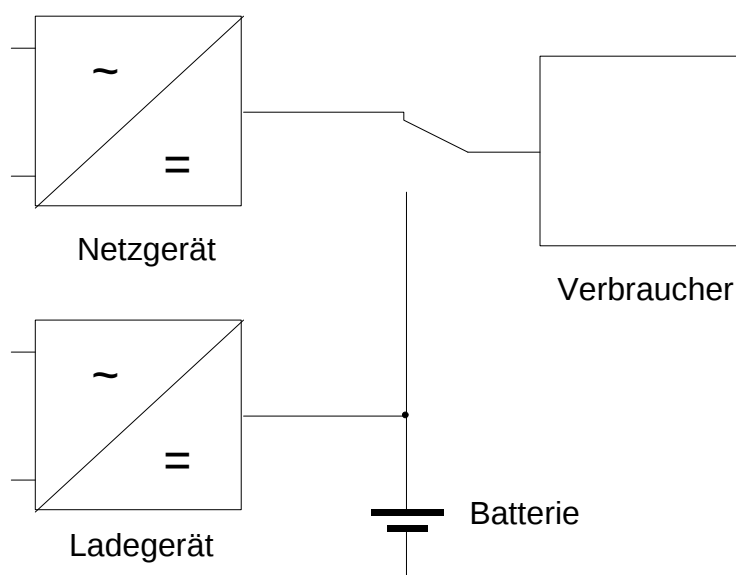


Abb. 43: Prinzipschaltbild des Umschaltbetriebs [20]

3.4 Lade- / Entladebetrieb (Zyklusbetrieb)

Beim Lade- / Entladebetrieb wird der Verbraucher ausschließlich aus der Batterie gespeist. Ist die Batterie entladen, wird sie zum Wiederaufladen vom Verbraucher getrennt und an ein geeignetes Ladegerät angeschlossen. Die Ladespannungen für den Lade- / Entladebetrieb sind höher als für das Erhaltungsladen, denn in der Regel will man die Batterie möglichst schnell wieder vollladen.

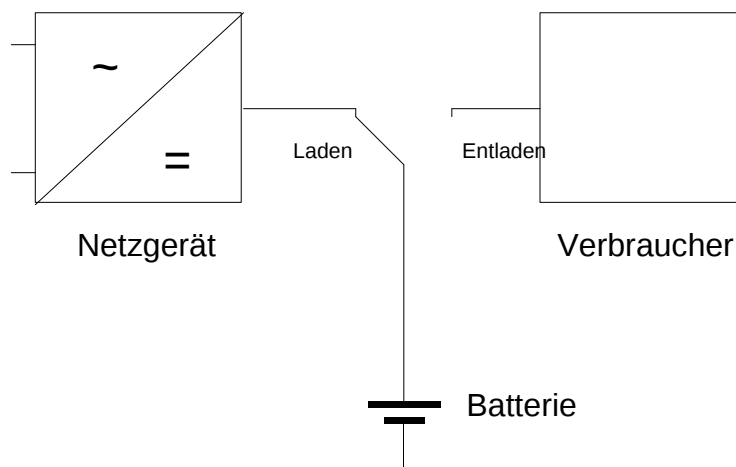


Abb. 44: Prinzipschaltbild des Lade- / Entladebetriebs [20]

Bei dieser Betriebsart wird die Lebensdauer als Haltbarkeit in Zyklen angegeben.

3.5 Solarbetrieb (spezieller Lade- / Entladebetrieb)

Der Solarbetrieb ist eine spezielle Form des Lade- / Entladebetriebs, bei dem die Batterie nicht zwischen Last und Ladeeinrichtung hin- und hergeschaltet wird, sondern ein Laderegler steuert die Lade- bzw. Entladevorgänge.

Der Betrieb von Bleibatterien in Solar-Anlagen gehört zu den anspruchvollsten überhaupt. Wegen der Vielfalt an Betriebsbedingungen ist der Ladezustand der Batterien oft nicht definiert. Über Monate hinweg erfolgt ein Betreiben im teilentladenen Zustand. Dies hängt von der richtigen Auswahl und Auslegung der Batterie ab, die entsprechend der örtlichen Gegebenheiten nur von kompetenten Projektanten vorgenommen werden kann. Die Batteriehersteller können hierbei allenfalls Hinweise geben und lenkend eingreifen.

Einflussfaktoren sind u.a.:

- Witterungsbedingungen, insbes. Verlauf der Sonneneinstrahlung über das gesamte Jahr,
- Beanspruchung der Batterie, z.B. tägliche Entladungen, Entladungen nur am Wochenende oder nur saisonbedingt (Sommer, Winter),
- die richtige Auswahl der Komponenten und Abstimmung untereinander (z.B. Leistung der Solar-Module, einfache oder intelligente Laderegler, Tiefentladeschutz, zyklensichere Bleibatterien),
- vorhandene oder nicht vorhandene Wartungsmöglichkeiten,
- die richtige bzw. optimale Einstellung der Ladeparameter, abhängig vom konkreten Einsatzfall (Spannung, Ladedauer; hierbei stufige Abstimmung).

Als Batterietypen kommen wegen der geforderten Zyklenfestigkeit vorwiegend geschlossene und Gel-Bleibatterien in Frage. So haben sich für den eher konventionellen Einsatzbereich (z.B. Wohnmobile, kleinere stationäre Anlagen im privaten Bereich, Parkscheinautomaten) mit positiven Gitterplatten bewährt:

Geschlossene: EnerSol

Verschlossene: SOLAR und SOLAR BLOCK

Für gehobene Ansprüche, d.h. höhere Zyklenzahlen und in autarken Solar-Systemen, kommen Zellen mit positiven Panzerplatten zum Einsatz:

Geschlossene: OPzS, EnerSol T und OPzS SOLAR

Verschlossene: A600 und A600 SOLAR

4. Entladen von Bleibatterien

4.1 Nominalkapazität C_N

Die Nominalkapazität C_N ist die Nennkapazität einer Zelle oder Batterie und dient als Kennzeichnung. Diese ist je nach Baureihe die 10stündige, 20stündige, 100stündige oder 120stündige Kapazität. Sie wird in Amperestunden (Ah) ausgedrückt.

4.2 Bemessungskapazität C_{rt}

Die Bemessungskapazität C_{rt} ist die entnehmbare Kapazität, die eine Zelle oder Batterie unter festgelegten Bedingungen im vollgeladenen Zustand liefern kann. Dies ist z. B. die 0,25-, 1-, 3- oder 5stündige Kapazität bis zur zulässigen Entladeschlussspannung. Die Kapazität wird in Amperestunden (Ah) ausgedrückt.

4.3 Tiefentladung

Eine Entladung unter die für die jeweilige Belastung festgelegte Entladeschlussspannung gilt als Tiefentladung.

Besonders kritisch sind Tiefentladungen mit einer Entnahme von mehr als der Nennkapazität oder der höchsten für die Baureihe spezifizierten Kapazität („Classic OPzS Solar“ und „Classic EnerSol T“: 240stündige Kapazität).

Dies gilt ebenso für Entladungen mit sehr kleinen Strömen, wie sie z.B. als Rückströme bei ausgeschalteten Ladegeräten sowie Überwachungseinrichtungen bei ausgeschalteten Batterieanlagen auftreten können.

In diesen Fällen sulfatieren die Platten, verbunden mit einer Umwandlung von feinkristallinem zu grobkristallinem Bleisulfat.

Während einer Tiefentladung findet folgendes kritische Szenario statt:

- Die Konzentration der Schwefelsäure fällt infolge der Umwandlung in Bleisulfat stark ab
 - ⇒ Wasser entsteht
 - ⇒ Die Säuredichte nähert sich mit voranschreitender Entladung der Dichte von Wasser
- Die Löslichkeit von Bleisulfat steigt bei niedriger Säuredichte

-
- ⇒ in Wasser löslich
 - ⇒ gelöste Bleiionen im Elektrolyten
 - Bleiionen wandeln sich während der nachfolgenden Wiederaufladung zurück zu reinem Blei
 - ⇒ Zurückgebildetes Blei wächst als Dendriten
 - ⇒ Kurzschlüsse können verursacht werden, - sogenannte Durchwachsungen (im Englischen auch „soft shorts“ oder einfach „shorts“)!

Die negativen Folgen einer Tiefentladung können auch durch Ausgleichladungen nicht immer rückgängig gemacht werden, insbesondere nicht beim Vorliegen von Durchwachsungen. Meist bleibt ein dauerhafter Kapazitätsverlust.

Elektrolytzusätze zur Reduzierung der Löslichkeit von Bleisulfationen senken zwar das Risiko von Durchwachsungen, können diese aber nicht komplett verhindern.

Bedingt durch den Elektrolytüberschuss, fällt die Säuredichte während einer Entladung, z.B. einer Tiefentladung, in Gel-Batterien nicht so stark ab wie in AGM-Batterien. Daher ist der Trend zur Durchwachsungen in Gel-Batterien nicht so stark wie in AGM-Batterien. Außerdem beugt der mikroporöse Separator in Gel-Batterien einer Kurzschlussbildung vor.

Tiefentladeprüfungen sind in verschiedenen Normen beschrieben, z.B. in DIN EN 60896-21 [5], -22 [21] und DIN EN 61056-1 [22].

Bei diesen Tests wird die Batterie in den meisten Fällen über einen Widerstand 7 bis 15 Tage entladen, so dass eine Tiefentladung stattfindet. Anschließend wird die Batterie bis zu 48 h geladen. Die Kapazität nach Wiederaufladung sollte je nach Norm mindestens 75 bzw. 90% betragen.

4.4 Sulfatieren

Bleiben spezifikationsgemäß entladene Batterien für längere Zeit, Tage oder sogar Wochen, ohne Wiederaufladung stehen, so tritt der Effekt der grobkristallinen Bleisulfatbildung durch Rekristallisation auf.

Da sich Bleisulfat wie ein Isolator verhält, sind Batterien in allen Fällen, in denen sich erheblich grobkristallines Bleisulfat gebildet hat, schwer wieder aufzuladen. Sind nur noch wenige oder keine Strompfade in der aktiven

Masse vorhanden, ist eine Wiederaufladung unter Umständen schwierig oder gar unmöglich.

Prägt man einer Batterie, welche so sulfatiert ist, daß sie keinen Ladestrom mehr annimmt, einen kleinen Strom auf, kann die Zellenspannung auf $> 3 \text{ V}$ ansteigen. Kommt es dann zu einem Durchbruch des isolierenden Bleisulfats, fließt wieder ein Ladestrom, und die Ladespannung sinkt schlagartig auf Werte $< 2,7 \text{ V / Zelle}$ [23].

4.5 Spannungsverlauf bei der Entladung (inkl. „Coup de Fouet“)

Der Begriff „Coup de Fouet“ kommt aus dem Französischen und heißt so viel wie „Peitschenschlag“, abgeleitet aus der Form der Kurve zu Beginn der Entladung (s. Abb. 45).

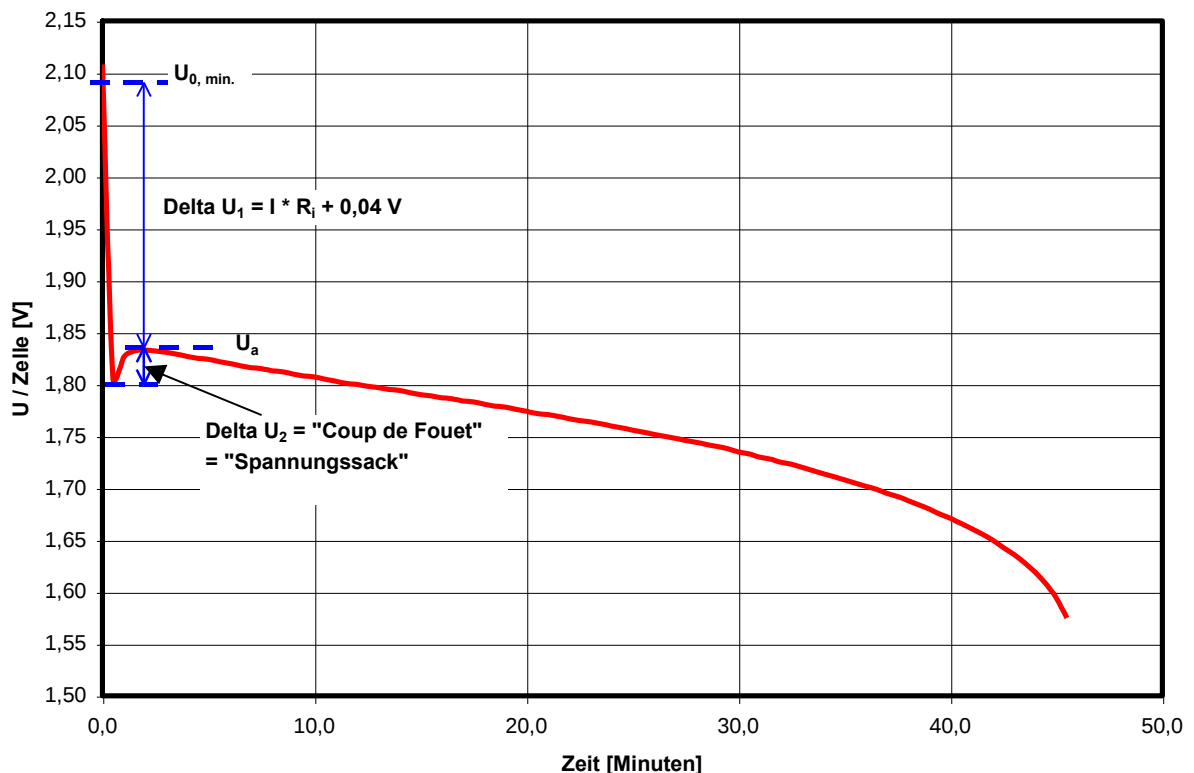


Abb. 45: Entladeverlauf Spannung versus Zeit einer 8 OCSM 920-Zelle aus der Ruhespannung heraus bei einem Entladestrom von 736 A

Die Entladung beginnt bei stationären Bleibatterien meistens aus der Erhaltungsladung (Störfall im Bereitschaftsparallelbetrieb) oder aus der Ruhespannung heraus (Kapazitätstest). Es stellt sich ein Spannungsniveau U_a ein, das als eigentlicher Entladeanfang bezeichnet wird.

Im Gegensatz zu dem in Abb. 45 gezeigten Verlauf kommt bei einer Entladung aus dem Erhaltungsladebetrieb heraus noch das Durchlaufen der Spannungsdifferenz zwischen Erhaltungsladespannung und Ruhespannung hinzu. Für die folgenden Abschätzungen kann diese Differenz vernachlässigt werden. Es wird von der Ruhespannung (Gleichgewichtsspannung) ausgegangen, da diese auch die elektromotorische Kraft einer Zelle darstellt.

Der tiefste Punkt im Spannungsverlauf ergibt sich aus $\Delta U_1 + \Delta U_2$ als Richtwert entsprechend Abb. 45.

$$\Delta U_1 = I \cdot R_i + 0,04 \text{ V/Z}$$

mit I = Entladestrom [A] und
 R_i = Innenwiderstand [Ω] der Zelle

Hinzu kommt bei vollgeladenen Bleibatterien der sogenannte „Spannungssack“ ΔU_2 .

Der Spannungssack ist baureihenabhängig. Werte aus der Praxis liegen bei:

- 20 bis 30 mV pro Zelle für geschlossene und AGM-Batterien und
- 0 bis 30 mV pro Zelle für Gel-Batterien.

Anmerkungen:

- Für modellartige Berechnungen wird empfohlen, beim „Spannungssack“ von 40 mV/Zelle auszugehen.
- Alterungsbedingte Änderungen müssen insbesondere beim Innenwiderstand R_i berücksichtigt werden.
- Die „0,04 V/Z“ in o.g. Formel ist eine reine Sicherheitskonstante, deren Verwendung optional ist. Sie wird aber für Abschätzungen des maximal möglichen Stromes in Bereichen bis 1 Minute bzw. der tiefsten Spannung empfohlen.

Der Spannungssack ergibt sich aus der verzögerten Bildung von Bleisulfatkristallen. Man spricht auch von Kristallisationsüberspannung. Für die Bildung der ersten Kristalle ist zusätzliche Energie nötig. Bei vorgegebener konstanter Entladegröße Strom bzw. Leistung kann sich der entsprechende Energieverlust pro Zelle nur in einem zusätzlichen Spannungseinbruch äußern.

Ist in bzw. auf den Platten bereits Bleisulfat vorhanden (Restsulfat oder unterbrochener Entladevorgang), so braucht die Keimbildung des Sulfates nicht bei null beginnen. Der Spannungssack tritt dann überhaupt nicht mehr oder bedeutend schwächer auf.

Bei Gel-Batterien bewirkt die Gel-Struktur durch das Anbieten von Keimbildungszentren mitunter das Ausbleiben des Spannungssacks. Die Tiefe des Spannungssacks ist nicht stromabhängig, wohl aber die Dauer. Man kann davon ausgehen, dass der Spannungssack nach ca. 10% der dem Strom zugeordneten Entladezeit vollständig durchlaufen ist.

Qualitativ unterschiedliche Verläufe der Spannung am Anfang der Entladung zeigt die folgende Abb. 46.

Der Verlauf nach dem Spannungssack mündet zunächst in die Anfangsentladespannung U_a , bevor es nach dem Durchlaufen eines Plateaus zu einem Abfall der Spannung kommt. Die Länge dieses Plateaus hängt von der Stromstärke ab.

Hohe Ströme bewirken in kurzer Zeit Sulfatbildung, insbesondere an der Oberfläche der Elektroden. Es kommt zu einem oberflächigen Verschließen der Poren in der aktiven Masse. Dadurch wird die weitere Diffusion frischen Elektrolyts in die Platte gehemmt. Die Spannung fällt relativ schnell ab, und die entnommene Ah-Menge ist nur ein Bruchteil von C_{10} . Bei sehr hohen Strömen kann von einem Spannungsplateau kaum noch die Rede sein.

Deutlich kleinere Ströme hingegen erlauben durch langsamen Aufbau der Bleisulfatkristalle auch die Inanspruchnahme tiefer gelegener Masseanteile, weil frischer Elektrolyt nachfließen kann. Dies ist der Grund dafür, dass z.B. die Nennkapazitäten C_{100} (für Solarbetrieb) um ca. 20% höher liegen als C_{10} .

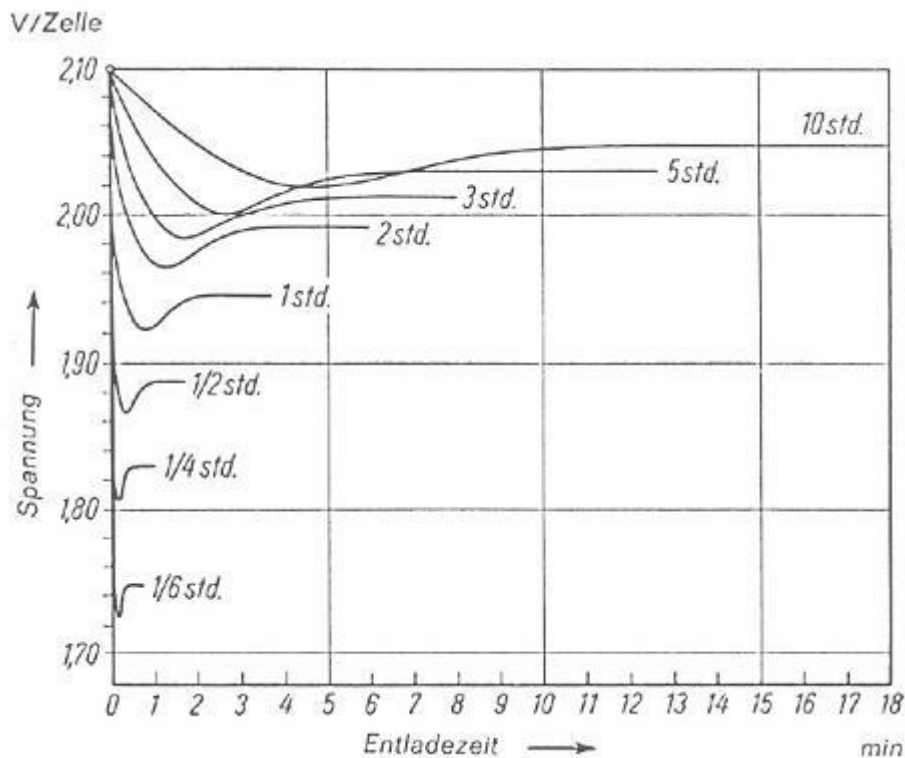


Abb. 46: Zeitlicher Verlauf des Spannungseinbruches inklusive Spannungssack bei einer Gitterplattenzelle [24], Seite 38, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Verlages

4.6 Selbstentladung

In [1] wird Selbstentladung im Zusammenhang mit Ladungshaltung definiert:

Selbstentladung:

„Erscheinung, bei der eine Zelle oder Batterie anders als durch Entladung an einen äußeren Stromkreis Energie verliert.

ANMERKUNG: Siehe auch „Ladungshaltung“

Ladungshaltung:

„Fähigkeit einer Zelle oder Batterie, ihre Kapazität im unbelasteten Zustand unter vorgegeben Bedingungen zu halten.

ANMERKUNG: Siehe auch „Selbstentladung“

Je geringer die Selbstentladung, desto länger der Zeitraum, in welchem die Batterie ihre elektrische Ladung zu erhalten vermag. Jede Batterie unterliegt aus elektrochemischen Gründen einer Selbstentladung. Die

Selbstentladerate ist abhängig von der Baureihe, dem Ladezustand und der Temperatur. Sie steigt mit steigender Temperatur an und sinkt mit abnehmendem Ladezustand.

Während die Batterie im Ruhezustand ist, entlädt sie sich auf Grund der Potentialunterschiede der negativen und positiven Elektroden durch Gasung oder Korrosion. Diese Entladung bedeutet einen fortschreitenden Kapazitätsverlust.

Wird die Batterie gelagert, dann muss in Abhängigkeit von der Selbstentladerate der Baureihe und der Temperatur regelmäßig eine Nachladung erfolgen.

5. Laden von Bleibatterien

5.1 Allgemeines

Nachfolgend einige Begriffsdefinitionen aus DIN 40729 [25] und dem Internationalen Wörterbuch Teil 482 [1] mit Anmerkungen von GNB Industrial Power. Die Ladeparameter Spannung, Anfangsladestrom, evtl. maximale Dauer sind der jeweiligen Gebrauchsanweisung zu entnehmen.

- Laden ist das Umwandeln elektrischer Energie in chemische Energie [25].
- Ladung ist ein definierter, beendeter Ladevorgang [25].
- Vollladung ist eine Ladung mit vollständiger Umwandlung der aktiven Masse [25].
- Teilladung ist eine Ladung mit nicht vollständiger Umwandlung der aktiven Masse [25].
- Erhaltungsladen ist ein zeitlich nicht begrenztes Laden bei konstanter Spannung, um den Vollladezustand zu erhalten [25].

Anmerkung: Es entspricht dem Laden nach IU-Kennlinie z.B. im Bereitschaftsparallelbetrieb.

- Starkladen ist eine beschleunigte Ladung mit Stromstärken und Spannungen, die für kurze Zeit größer sind als für eine festgelegte Baureihe üblich [1].
- Ausgleichsladung ist ein definiertes Weiterladen, um mit Sicherheit eine vollständige Umwandlung der aktiven Masse in allen Zellen zu erreichen [25].

5.2 Ladekennlinien

5.2.1 Kurzzeichen der Ladekennlinien nach DIN 41772

Nachstehende Diagramme zeigen jeweils das Kennlinienkurzzeichen, sowie den Verlauf der Spannung über den Strom. Diese Kennliniendarstellung kann ungewöhnlich erscheinen. Deshalb wird ein Vergleich mit den Kennlinien unter 5.2.2 bis 5.2.5 empfohlen, wo die zeitlichen Verläufe von Strom und Spannung gezeigt werden.

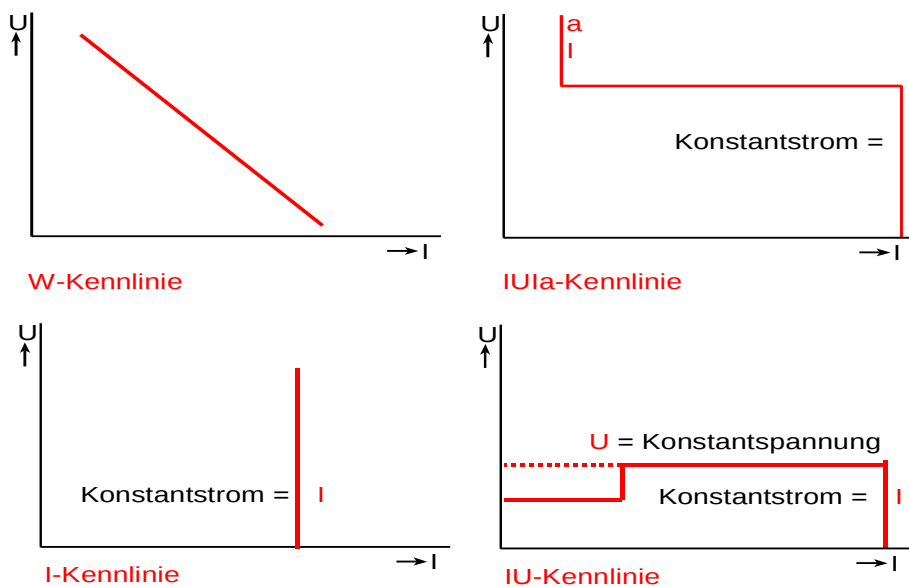


Abb. 47: Kennliniendarstellung und Kurzzeichen der Kennlinien nach DIN 41772 [26]

Die im einzelnen verwendeten Zeichen sind dabei:

- W - unregelte Widerstandskennlinie (fallende Kennlinie)
- U - spannungsgeregelt (konstante Spannung)
- I - stromgeregelt (konstanter Strom)
- 0 - Umschaltpunkt
- a - automatische Abschaltung

5.2.2 Konstantstrom / -spannung-Kennlinie (IU, IU0U)

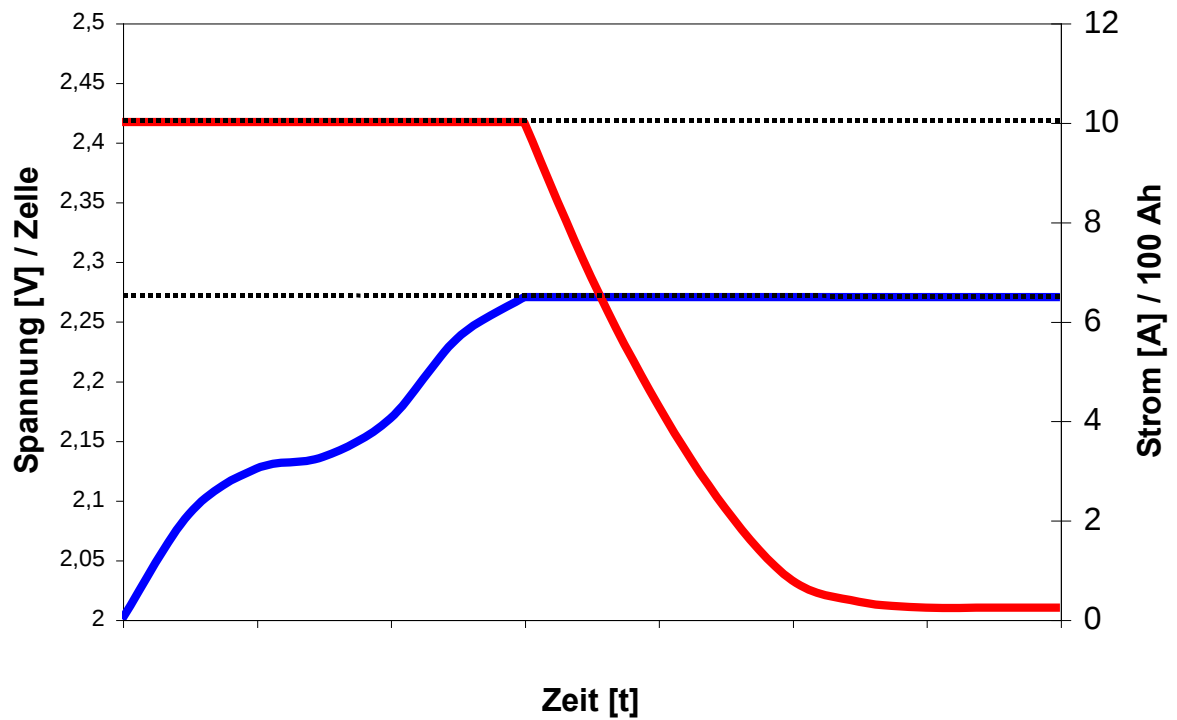


Abb. 48: Verlauf von **Strom** und **Spannung** versus Zeit der IU-Kennlinie ohne Starkladestufe (IU). Strom- und Spannungswerte sind Beispiele.

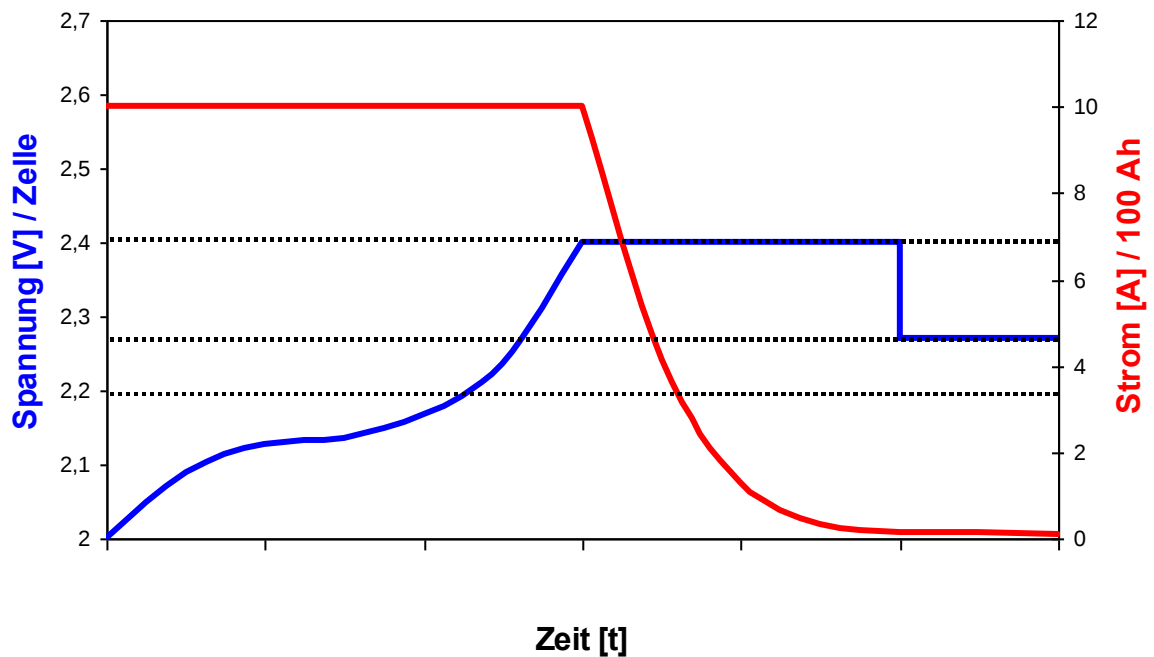


Abb. 49: Verlauf von **Strom** und **Spannung** versus Zeit der IU-Kennlinie mit Starkladestufe (IU0U). Strom- und Spannungswerte sind Beispiele.

5.2.3 Widerstandskennlinie (W)

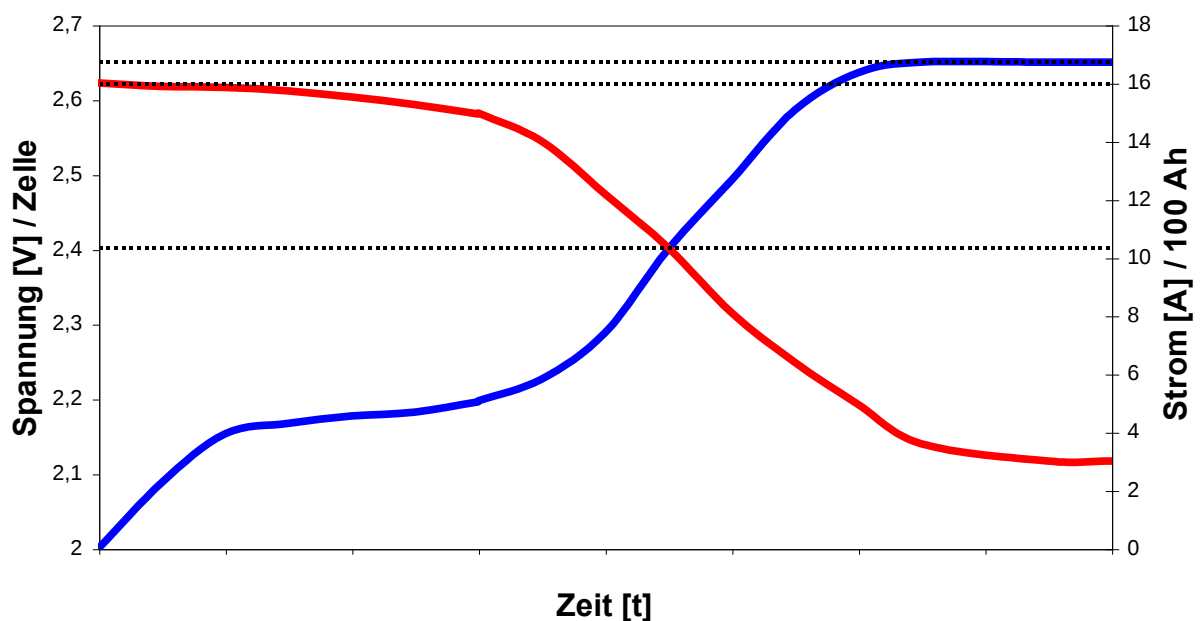


Abb. 50: Verlauf von **Strom** und **Spannung** versus Zeit der W-Kennlinie. Strom- und Spannungswerte sind Beispiele.

5.2.4 Konstantstromkennlinie (I)

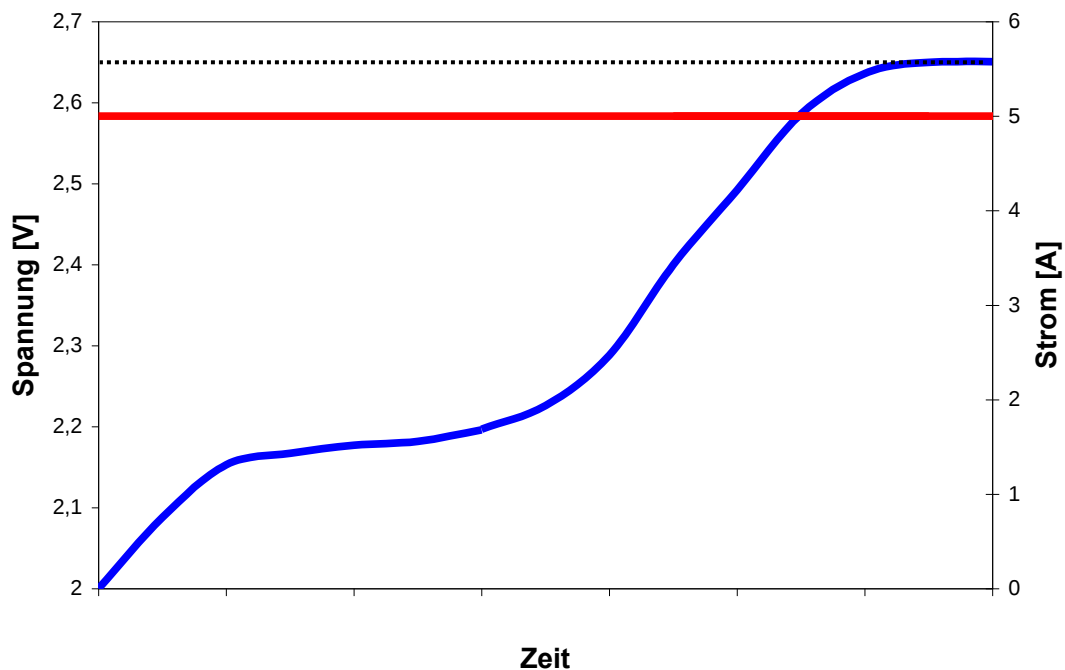


Abb. 51: Verlauf von **Strom** und **Spannung** versus Zeit der IUIa-Kennlinie. Strom- und Spannungswerte sind Beispiele.

5.2.5 Konstantstrom / -spannung / -strom-Kennlinie (IUI)

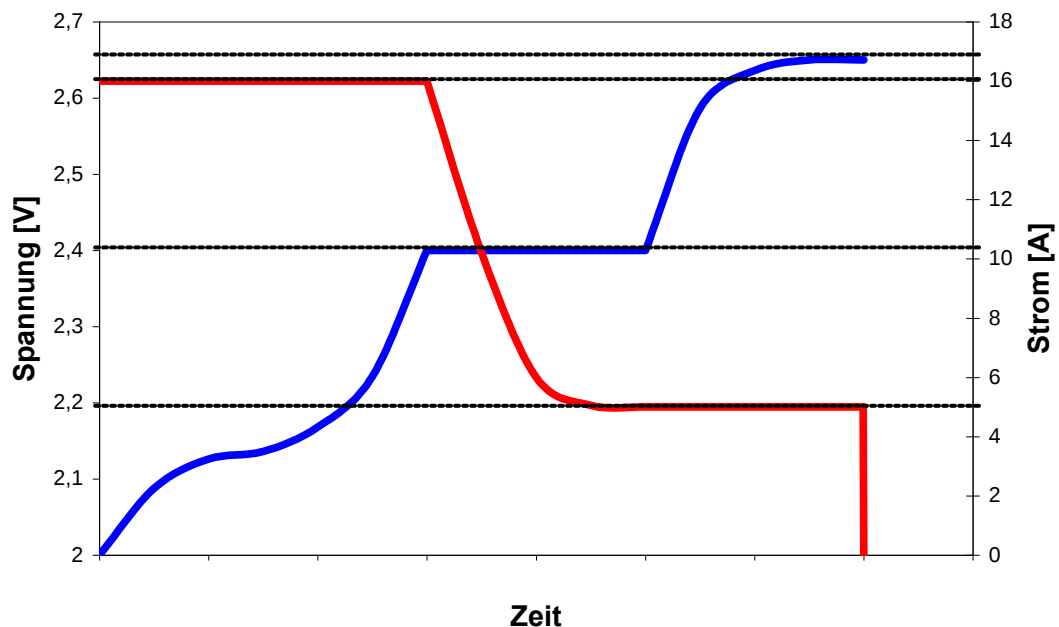


Abb. 52: Verlauf von **Strom** und **Spannung** versus Zeit der IUIa-Kennlinie. Strom- und Spannungswerte sind Beispiele

5.3 Ladefaktor und Elektrolytschichtung

Ladefaktor ist der Faktor, mit dem die bei der Entladung entnommene elektrische Ladung zu multiplizieren ist, um die zur Wiederherstellung des ursprünglichen Ladezustands der Batterie erforderliche Ladungsmenge zu bestimmen.

Der Ladefaktor ist der Kehrwert des Ah-Wirkungsgrads der Ladung:

$$\eta = 1/\text{Ladefaktor}$$

$$\eta = \text{Wirkungsgrad der Ladung}$$

Es müssen 3 bis 4% mehr Ampere-Stunden eingeladen werden, als entladen wurden, um die gesamte aktive Masse zurückzuwandeln. Dies ist auf das unterschiedliche Ladeverhalten von positiven und negativen Elektroden zurückzuführen.

Der Ladefaktor schließt, wenn notwendig, wie bei geschlossenen Batterien, die Durchmischung des Elektrolyten mit ein.

Der Begriff „Elektrolytschichtung“ beschreibt eine vertikale Inhomogenität der Schwefelsäurekonzentration innerhalb einer Zelle.

Elektrolytschichtung kommt vor allem bei zyklischer Anwendung vor und wirkt sich negativ auf die Brauchbarkeitsdauer einer Batterie aus .

Konzentrierte Schwefelsäure wird während aller Wiederaufladungsvorgänge erzeugt. Sie hat ein höheres spezifisches Gewicht als verdünnte Säure. Nachdem sie die Poren der aktiven Masse verlassen hat, will sie sich auf Grund der Gravitation in den unteren Bereichen des Zellengefäßes ablagern. In extremen Fällen kann man z.B. 1,10 kg/l in den oberen Bereichen einer Zelle messen, während die Säurekonzentration in den unteren Bereichen 1,35 kg/l erreicht.

Elektrolytschichtung kann für verschlossene Batterien durch starke Absorption erzeugter Schwefelsäure unmittelbar nach Verlassen der Poren der aktiven Masse vorgebeugt werden. Folglich zeigen Gel-Batterien keine Elektrolytschichtung. Da die Absorption durch AGM, verglichen mit Gel, geringer ist, ist hier eine schwache Elektrolytschichtung festzustellen.

Im Falle geschlossener Batterien (freier flüssiger Elektrolyt) ist die Elektrolytschichtung unvermeidbar und muss am Ende der Aufladung durch Gasentwicklung ausgeglichen werden. Die Gasblasen vermischen dabei den Elektrolyten. Der gleiche Effekt kann durch Einblasen von Luft von außen erzielt werden (Elektrolytumwälzung).

Insgesamt ergeben sich nachfolgende Ladefaktoren als Richtwerte nach einer mehrstündigen Entladung mit nachfolgender Wiederaufladung:

- 1,05 bis 1,20, typisch 1,05, für Gel-Batterien,
- 1,05 bis 1,20 typisch 1,08, für AGM-Batterien und
- 1,20 bis 1,30, typisch 1,20, für geschlossene Batterien.

Aus bereits genannten Gründen sind beim Ladefaktor klare Unterschiede zwischen geschlossenen, AGM- und Gel-Batterien erkennbar. In Gel-Batterien ist die Elektrolytschichtung praktisch Null.

Abb. 53 zeigt die relativen Unterschiede zwischen den Bleibatteriesystemen bzgl. Elektrolytschichtung.

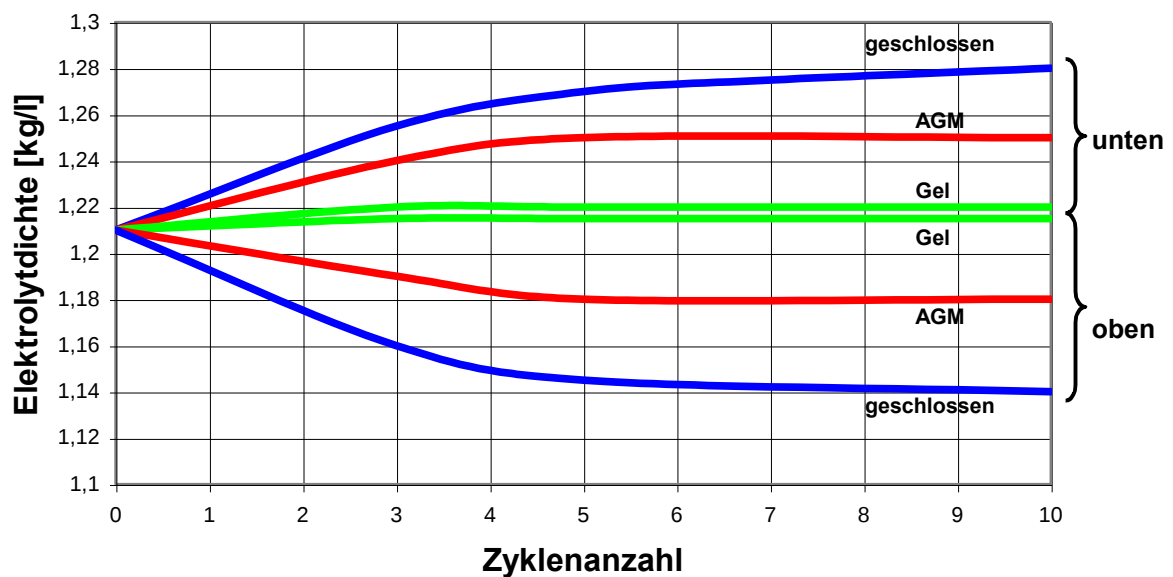


Abb. 53: Elektrolytschichtung in Bleibatteriesystemen, gemessen an einer PzS 350-Zelle, Ladung mit 2,4 Volt pro Zelle

5.4 Restladestrom (Erhaltungsladestrom)

Restladestrom ist der Strom, welcher in eine vollgeladene Batterie bei Erhaltungsladung fließt. Er teilt sich generell in folgende Teilströme auf:

- Strom für die Kompensation der Selbstentladung
- Strom für die Korrosion der positiven Elektroden
- Strom für die Rekombination (nur verschlossene Batterien)
- Strom für die Wasserzersetzung
- Strom zur Kompensation von Feinschlüssen

Da die Verteilung der Ströme schwer messbar ist, lässt sich die Aufteilung der Ströme immer nur ungefähr aus der Selbstentladerate der Batterie und der geschätzten Größe des Stromes für die Rekombination bestimmen.

Der Restladestrom ist abhängig von:

- der Batteriebaureihe (geschlossen, verschlossen)
- der Legierung (insbes. positive Platten)
- der Differenz zwischen Ruhespannung, bestimmt durch die Elektrolytdichte, und Erhaltungsladespannung (= Polarisierung)
- der Erhaltungsladespannung
- der Temperatur
- der Reinheit verwendeter Materialien
- dem Alter und der Vorgeschichte der Batterie

Typische Werte einiger Baureihen im Neuzustand sind:

- Geschlossene Batterien:
 - OGi, OPzS, OCSM: (15–25) mA/100 Ah, 2,23 V/Z,
(OCSM: 2,25 V/Z), 20° C
 - GroE: (10-15) mA/100 Ah, 2,23 V/Z, 20° C
- Verschlossene Batterien:
 - Marathon M,
Sprinter S: (25-35) mA/100 Ah, 2,27 V/Z, 25° C
 - Marathon L: ca. 50 mA/100 Ah, 2,27 V/Z, 20° C
 - OPzV: (15-25) mA/100 Ah, 2,27 V/Z, 20° C

Für das Temperatur- und Spannungsverhalten des Restladestromes gilt bei geschlossenen Batterien:

- Faustformel Temperatur: Pro 10 Grad Temperaturerhöhung Verdoppelung des Stromes („Arrhenius“)
- Faustformel Spannung: Pro 0,1 V/Z Spannungserhöhung Verdreifachung des Stromes

Für verschlossene Batterien können folgende Angaben gemacht werden:

- Keine generelle Faustformel für die Temperatur: Abhängigkeit ist mitunter stärker als nach „Arrhenius“ (z.B. Verdreifachung des Stromes pro 10 Grad).
- Keine generelle Faustformel für die Spannung: Pro 0,1 V/Z Spannungserhöhung z.B. Versieben- bis Verzehnfachung des Stromes (Gründe: Sauerstoffrekombination, Baureihenabhängigkeit).

5.5 Mangelladung

Unter Mangelladung versteht man, dass die Batterien nie richtig vollgeladen werden, bzw. sind. Dies geschieht zum einen im Zyklusbetrieb, wenn entweder die Ladezeit nicht hinreichend, oder zum anderen die Ladespannung zu niedrig ist, oder ggf. beides zutrifft. In diesem Fall sulfatiert die Batterie langsam, das heißt Bereiche der aktiven Massen wandeln sich bei Ladung nicht mehr in Blei oder Bleidioxid um. Bei diesem Anwendungsfehler wird die Kapazität in der Regel von Zyklus zu Zyklus immer geringer. Lädt man eine solche Batterie wieder hinreichend, so nimmt die Kapazität in aller Regel von Zyklus zu Zyklus wieder zu. Allerdings bleibt immer eine gewisse Schädigung zurück.

Im Bereitschaftsparallelbetrieb kommt es zu Mangelladung, wenn die Ladespannung dauerhaft zu niedrig ist. Dies tritt häufig bei Nichteinhalten der Vorgaben für die Temperaturkompensation der Ladespannung auf. In diesem Fall ist die Polarisation insbesondere der negativen Elektroden unzureichend, was zu einer Abnahme der entnehmbaren Kapazität führt. Bemerkt man die Mangelladung bei der halbjährlich vorgeschriebenen Kontrolle der Ladespannung, kann die Schädigung evtl. rückgängig gemacht werden, so dass nach Korrektur der Ladespannung nach einigen Wochen wieder eine Entnahme der Nennkapazität möglich sein kann.

Verschlossene Batterien reagieren auf zu niedrige Ladespannungen empfindlicher als geschlossene, weil die negativen Elektroden ohnehin geringer polarisiert sind (siehe Abb. 54).

Polarisation geschl. vs. verschl. Bleibatterien

Einfluss der Sauerstoffrekombination auf die pos. and neg. Polarisation

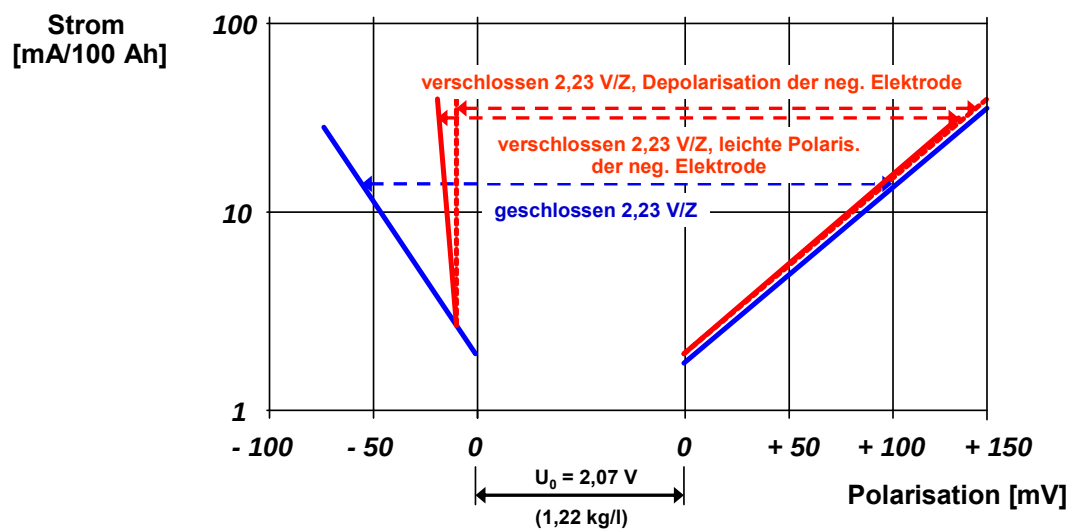


Abb. 54: Prinzipieller Verlauf der Tafelgeraden für die Polarisation der negativen und positiven Elektroden von geschlossenen (ohne Rekombination) und verschlossenen Batterien (mit Rekombination) bei Veränderung der Zellenspannung (vereinfachte und modifizierte Grafik gem. D.Berndt [7]). Der Vergleich basiert auf der Annahme eines von geschlossenem zu verschlossenem konvertierten Designs unter Beibehaltung der gleichen Nennelektrolytdichte, was in der Praxis nicht der Fall ist.

5.6 Überladung

Das allgemeine Elektrotechnische Wörterbuch [1] definiert die Überladung wie folgt:

Überladung ist fortgesetztes Laden einer vollgeladenen Sekundärzelle oder – batterie.

ANMERKUNG: Überladung ist auch ein Ladevorgang über eine bestimmte, vom Hersteller festgelegte Grenze hinaus.

In der Praxis bedeutet dies meist ein unbeabsichtigtes Weiterladen über den Vollladezustand hinaus.

Im Falle der Erhaltungsladung innerhalb der vom Batteriehersteller spezifizierten Grenzen ist die Überladung nicht nur zulässig, sondern auch gewollt.

Unzulässige Überladung bedeutet:

- Erhöhter Wasserverlust (s. 1.5.1)
- Erhöhte Korrosion (s. 2.2.2)
- Risiko „Thermisches Durchgehen“ (s. 1.7) für verschlossene Batterien

6. Anwendungen

6.1 Telekommunikation

Die Systemspannung beträgt für Telekomanwendungen typischerweise 48 V, entsprechend 24 Zellen.

Die Lasten (Konstantstrom, Konstantleistung) liegen im niedrigen bis mittleren Niveau. Entgegen früheren Erfahrungen überstreichen die geforderten Überbrückungszeiten aber zunehmend einen sehr weiten Bereich. Dies hängt von der örtlichen bzw. länderspezifischen Stabilität der Netzstromversorgung ab. Genügen im mitteleuropäischen Raum Zeiten von 30 Minuten bis zu einer Stunde, können in Ländern mit instabiler Netzstromversorgung Überbrückungszeiten bis zu mehreren Stunden gefordert sein, z.B. 8 h.

Damit werden bzgl. der Art der Belastung auch ganz unterschiedliche Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Batterien gestellt. Ist für Einsätze in Mitteleuropa der Bereitschaftsparallelbetrieb typisch, muss man in Ländern mit instabiler Netzstromversorgung mitunter von zyklischer Belastung, zumindest aber einer Kombination beider Betriebsarten ausgehen.

Bei den Batterietypen setzt sich der weltweite Trend fort, - der Einsatz verschlossener Bleibatterien mit 10 bis 12 Jahren Brauchbarkeitsdauer oder länger. Grund hierfür ist die fortgesetzte Anforderung nach kompaktem Einbau in Gestellen bzw. Schränken mit z.B. 19-Zoll-Einheiten vor allem im Mobiltelefonbereich. Geschlossene Bleibatterien hingegen werden in der Telekommunikation weiter gern in den Zentralen eingesetzt, wo auch genügend Platz dafür vorhanden ist.

6.1.1 Festnetzkommunikation

In der Festnetzkommunikation wird die Telefonleitung zum Endverbraucher („Last Mile“) durch Batterien in den Telekommunikationszentralen gestützt. Die Systemspannung beträgt für ältere Anlagen meist 60 V und für moderne Anlagen 48 V.

6.1.2 Mobilfunkkommunikation

Zur europaweiten Installation eines UMTS-Netzes der dritten Mobilfunkgeneration, die in der Lage ist, Sprache und Daten gemeinsam zu übertragen, müssen flächendeckend Antennenstationen errichtet werden. Diese sogenannten Basisstationen (Base Transceiver Station – BTS) stehen am Fuße des stationären Senders und wandeln die ankommenden digitalen Signale in analoge Funksignale um. Die stationären Mobilfunkantennen versorgen eine „Zelle“. Sie senden und empfangen Hochfrequenz von den mobilen Geräten. Auf den weithin sichtbaren Funkmasten sind meist mehrere Antennen angebracht.

Zur Sicherstellung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung sind alle diese Stationen mit Batterien und Ladetechnik ausgerüstet. Die System-Nennspannung beträgt 48 V. Zum Einsatz kommen Frontterminalbatterien von 50 Ah bis 200 Ah, je nach Leistungsspektrum der Antenne und der geforderten Autonomiezeit bei Netzausfall.

6.2 Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)

Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme kommen heutzutage in allen Bereichen vor, wie z. B. Industrie, Krankenhaus, Schiff, Bahn, IT-Infrastruktur, Luftverkehr.

In jeder öffentlichen Netzstromversorgung kommt es zu Unterbrechungen. In Mitteleuropa kommt es nur in Einzelfällen zu Unterbrechungen von mehreren Minuten. In Ländern mit instabiler Netzstromversorgung sind häufigere und längere Unterbrechungen zu erwarten.

Diese Unterbrechungen führen bei jedem mikroprozessorgesteuerten System zu Abstürzen und Datenverlusten. Lücken im Sinus des Wechselstroms, energiereiche Spannungsspitzen durch Schaltvorgänge oder das Auslösen von Sicherungen können zu Datenverlusten oder Sachschäden führen. USV-Anlagen vermeiden solche Schäden.

Die Normen DIN EN 62040-1-1 [27] bzw. DIN EN 62040-3 [28] zeigen die Hauptbetriebsfunktionen einer USV. Die Grundfunktion einer USV ist es, eine angeschlossene Last unterbrechungsfrei zu versorgen. Dies kann mit unterschiedlichen Schaltkreisarchitekturen und entsprechenden Betriebsarten erreicht werden.

Von ihrer Anordnung im Gesamtsystem her und gem. Klassifizierung lassen sich folgende USV unterscheiden:

- VFD-Klassifizierung
(Voltage and Frequency Dependent = Spannungs- und Frequenzabhängig)

Diese USV-Klasse stellt einen passiven „Standby-Betrieb (Offline)“ sicher.

VFD – Klassifikation (Offline Technologie)

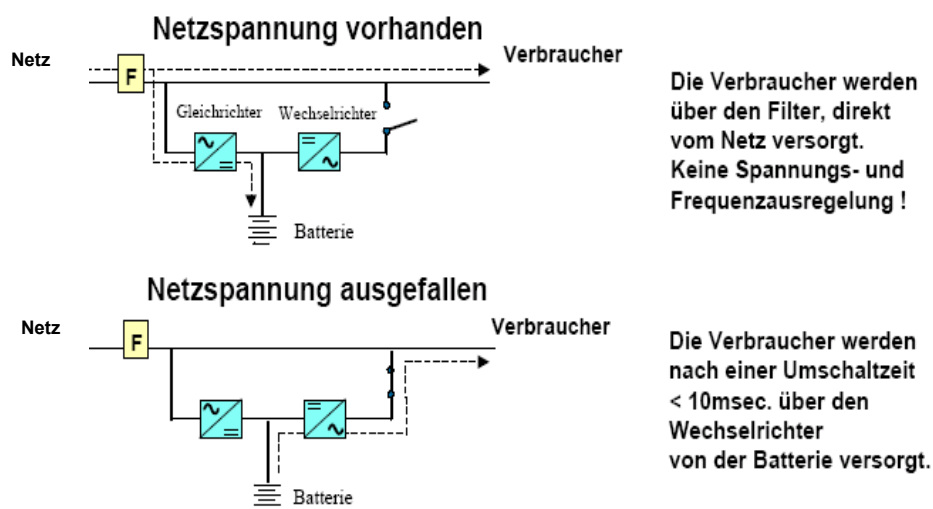


Abb. 55: Arbeitsweise bei der VFD-Klassifizierung [29], mit freundlicher Genehmigung von MGE

- VI-Klassifizierung
(Voltage Independent = Spannungsunabhängig)

Diese USV-Klasse stellt einen „Line-Interactive-Betrieb“ sicher.

VI – Klassifikation (Line-Interactive Technologie)

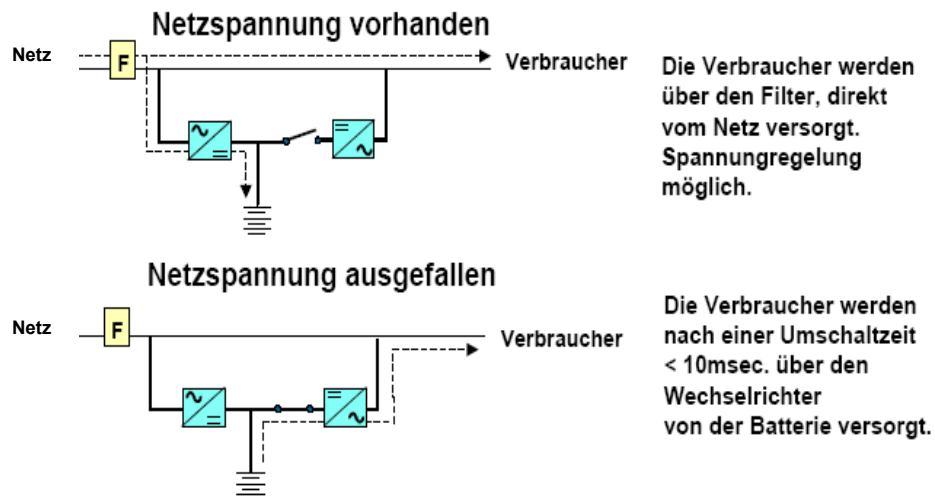


Abb. 56: Arbeitsweise bei der VI-Klassifizierung [29], mit freundlicher Genehmigung von MGE

- VFI-Klassifizierung
(Voltage and Frequency Independent = Spannungs- und Frequenzunabhängig)

Diese USV-Klasse stellt einen „Double-Conversion-Betrieb (Online)“ sicher.

VFI – Klassifikation („Echtes“ Online – USV System)

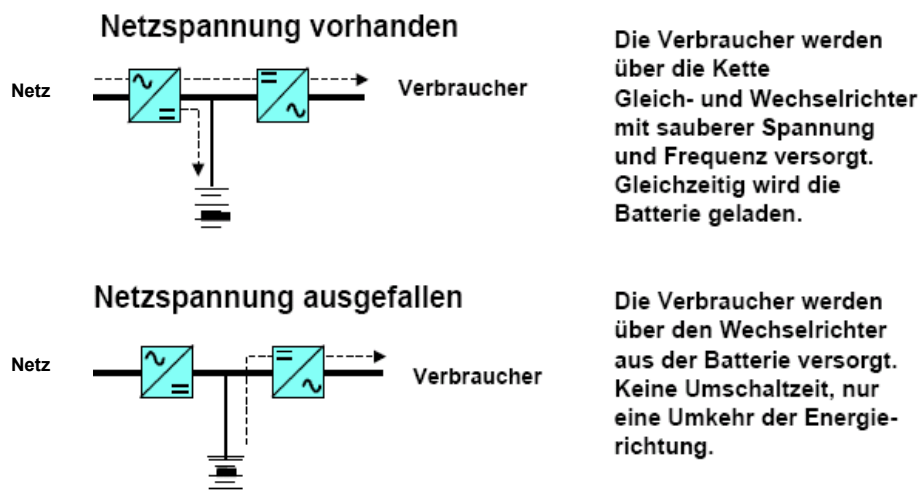


Abb. 57: Arbeitsweise bei der VFI-Klassifizierung [29], mit freundlicher Genehmigung von MGE

Lediglich die VFI-Klasse ist in der Lage, alle auftretenden Netzstörungen zu beherrschen.

Die Überbrückungszeiten liegen überwiegend im Bereich von 1 bis 30 Minuten. Diese Zeiten reichen aus, um entweder Ersatzstromaggregate zu starten, die nach erfolgter Synchronisation des Spannungssignals sofort die Last übernehmen, oder aber die Verbraucher kontrolliert herunterzufahren.

Stand der Technik bei USV-Anlagen sind z. B. Tiefentladeschutz und Batterieüberwachung (Monitoring).

Für USV-Anlagen kommen heute überwiegend verschlossene Batterien zum Einsatz.

6.3 Energieerzeugung und –verteilung

6.3.1 Energieerzeugung

In konventionellen und Kernkraftwerken kommen überwiegend geschlossene Batterien zum Einsatz. Beim Ausfall der Eigenbedarfversorgung übernehmen Batterien den sicheren Betrieb. Dies sind im Wesentlichen die Mess-, Steuer-, und Regeleinrichtungen, die Notschmierölpumpen der Generatoren, die Schutzeinrichtung, sowie die Kühlung der Kraftwerksanlage bis zur Lastübernahme durch die Netzersatzanlagen, welche anschließend den Eigenbedarf speisen.

In Kernkraftwerken werden Batterien in erdbeben- und schockgeprüften Gestellen installiert.

Die Batterien sind für eine Autonomie von mindestens 30 Minuten ausgelegt. Die Kommission für Reaktorsicherheit (RfK) empfiehlt eine Überbrückungszeit von 2-3 Stunden.

6.3.2 Energieverteilung

Die Energieverteilung erfolgt durch die Elektroversorgungsunternehmen (EVU). In den Leitzentralen übernehmen Batterien bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung die Steuerung und Überwachung der Umspannstationen und Schaltanlagen. Die Funktion der dort zur Verteilung der Energie benötigten Lastschalter und –trenner wird ebenfalls durch Batterien unterbrechungsfrei sichergestellt.

6.4 Sicherheitstechnik

6.4.1 Alarm- und Brandmeldetechnik

Alarm- und Brandmeldeeinrichtungen sind mit einer Batterie ausgerüstet, welche im Falle eines Netzausfalles oder Unterbrechung der Netzstromversorgung für Alarmanlagen bei Einbrüchen das System versorgt. Für beide Anwendungen werden in mehr als 95 % aller Fälle Batterien mit einer VdS-Zulassung (Verband deutscher Sachversicherer) eingesetzt. Die Überbrückungszeiten sind in der Brandmeldetechnik 72 Stunden, in der Alarmanlagentechnik 60, 30 oder 12 Stunden - je nach zu sicherndem Objekt.

Der Einsatz von Batterien mit VdS-Zulassung wird entweder vom Versicherer oder vom Kunden gefordert, weil dieser die Zulassung heutzutage als Qualitätsbestätigung betrachtet. GNB Industrial Power bietet sowohl verschlossene Gel-Batterien als auch verschlossene AGM-Batterien mit VdS-Zulassung an.

6.4.2 Sicherheitsbeleuchtung

6.4.2.1 Allgemeines

In Räumen, in denen durch Ausfall der Allgemeinbeleuchtung personeller oder wirtschaftlicher Schaden entstehen kann, fordert der Gesetzgeber ein Sicherheitsbeleuchtungssystem nach den Bestimmungen der DIN EN 50171 [30]. Die früher gültige DIN VDE 0108, Teil 1 [31] ist weggefallen.

Sicherheitsbeleuchtung ist die Beleuchtung von Räumen und Rettungswegen, die während der betrieblich erforderlichen Zeiten auch dann leuchtet, wenn das allgemeine Versorgungsnetz ausgefallen ist. Die Überbrückungszeit bei Netzausfall muss je nach behördlicher Vorschrift 1 Stunde, 3 Stunden oder 8 Stunden betragen.

Die DIN EN 50171 [30] sagt zu den einzusetzenden Batterien folgendes aus:

6.12 Batterien

6.12.1 Batterien müssen einer der nachfolgenden zutreffenden Veröffentlichungen entsprechen:

EN 60285	Gasdichte zylindrische wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Einzelszellen
EN 60622	Gasdichte prismatische wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Einzelszellen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren
EN 60623	Geschlossene Nickel-Cadmium-Zellen

(Fortsetzung des Zitates auf der folgenden Seite)

(Zitatfortsetzung)

EN 60896-1 Ortsfeste Blei-Akkumulatoren – Allgemeine Anforderungen und Prüfungen – Teil 1: Geschlossene Batterien

EN 60896-2 Ortsfeste Blei-Akkumulatoren – Allgemeine Anforderungen und Prüfungen – Teil 2: Wartungsfreie verschlossene Batterien

ANMERKUNG Andere Batterien dürfen unter der Voraussetzung angenommen werden, daß sie den zutreffenden geltenden Sicherheits- und Leistungsnormen entsprechen.

6.12.2 Batterien für zentrale Stromversorgungssysteme (CPS) müssen eine angegebene Lebensdauererwartung von mindestens 10 Jahren bei 20° C Umgebungstemperatur haben.

Batterien für zentrale Stromversorgungssysteme mit Leistungsbegrenzung (LPS) müssen eine angegebene Lebensdauererwartung von mindestens 5 Jahren bei 20° C Umgebungstemperatur haben.

ANMERKUNG Um am Ende der Lebensdauer der Batterie noch die erforderliche Systemleistung zu erreichen, sollte die Batteriekapazität in Übereinstimmung mit den Angaben des Herstellers bemessen werden.

6.12.3 Kraftfahrzeug-Starterbatterien dürfen nicht verwendet werden.

Die oben zitierten Normen DIN EN 60896-1 bzw. –2 sind inzwischen ersetzt durch DIN EN 60896-11 bzw. –21 (s. [32] bzw. [5]).

Für die einsetzbaren stationären Bleibatterien bedeuten die Aussagen oben einen weiten Spielraum.

6.4.2.2 Anwendung der DIN EN 50171

Die DIN EN 50171 [30] fordert bzgl. der Batteriekapazität:

6.12.4 Die Batterie und das System müssen so ausgelegt sein, dass sie in der Lage sind, die erforderliche Systemleistung zu Beginn, während und am Ende der angegebenen Lebensdauer zu erfüllen.

(Fortsetzung des Zitates auf der folgenden Seite)

(Zitatfortsetzung)

ANMERKUNG 1: Üblicherweise werden Batterien so bemessen, dass die festgelegte Systemleistung und angegebene Lebensdauererwartung bei 20° C erreicht wird.

Zur korrekten Auslegung muss für die Batterie im Neuzustand ein Kapazitätsaufschlag von 25% berücksichtigt werden, um ihren Kapazitätsverlust durch natürliche Alterung zu kompensieren. Dies folgt auf Grund der Tatsache, dass das Ende der Brauchbarkeitsdauer einer Batterie mit 80% der Nennkapazität definiert ist.

6.4.2.3 Batterieherstellerangabe zur Bemessungsbetriebsdauer

Die DIN EN 50171 [30] fordert:

6.11 Automatische Prüfeinrichtung

Falls im Gebäude immer Personen anwesend sind und während der Prüfung eine Gefahr für diese Personen besteht oder weil die Batterie entladen ist, sollte ein Verfahren mit verringertem Risiko angewendet werden. Beispiele sind in 6.11.1 bis 6.11.3 angegeben.

6.11.1 Das System muss mit zwei parallelen Batterien ausgerüstet werden, um das System in die Lage zu versetzen, in zwei Hälften geprüft zu werden, wobei jede Batterie die Beleuchtung versorgen kann, während die andere entladen ist.

ANMERKUNG: Dieses System gestattet es auch, einige Leuchten zu betreiben, während die Batterie gewartet oder ersetzt wird.

6.11.2 Die Auslösung einer Prüfung von Hand ist unter der Voraussetzung annehmbar, dass eine sichtbare Warnmeldung ausgelöst wird, wenn die Prüfung nicht in einer Zeitspanne von 12 Monaten durchgeführt wurde.

6.11.3 Die Prüfung muss über zwei Drittel der Bemessungsbetriebsdauer durchgeführt werden. Das System muss dann automatisch überprüft werden, dass es nicht auf eine niedrigere Spannung entladen wurde, als für eine Entladung von zwei Dritteln der Bemessungskapazität zutrifft, wie sie vom Batteriehersteller festgelegt ist.

Die nachfolgende Tab. 17 zeigt die zulässigen Spannungen nach zwei Drittel der Bemessungsbetriebsdauer basierend auf 1 h, 3 h, 8 h.

Batterie- baureihe	Bemessungsbetriebsdauern		
	1 h	3 h	8 h
	U [V/Z] nach 40 min	U [V/Z] nach 2 h	U [V/Z] nach 5,3 h
Marathon	1,92 (–0,05)	1,93 (–0,05)	1,94 (–0,05)
Sprinter	1,92 (–0,05)	1,93 (–0,05)	1,94 (–0,05)
Sonnenschein A400	1,91 (–0,05)	1,92 (–0,05)	1,93 (–0,05)
Sonnenschein A600	1,87 (–0,05)	1,91 (–0,05)	1,93 (–0,05)
Sonnenschein A700	1,90 (–0,05)	1,91 (–0,05)	1,92 (–0,05)
Classic OPzS	1,87 (–0,05)	1,91 (–0,05)	1,93 (–0,05)

Tab. 17: Spannungskriterium; Entladeschlussspannung jeweils 1,80 V/Z

6.4.2.4 Wiederaufladebedingungen - Erforderliche Ladeströme

Die DIN EN 50171 [30] fordert:

6.2.3 Batterieladegeräte müssen ihre Batterien, die entladen wurden, automatisch so laden können, dass diese nach 12 h Ladung mindestens 80 % ihrer festgelegten Betriebsdauer leisten können.

Bei Bereitschaftsparallelbetrieb, bei dem der Verbraucher vom Ladegerät gespeist wird, muss der Nennausgangsstrom des Ladegerätes mindestens 110 % der Summe aus dem an den Verbraucher abgegebenen Bemessungsstrom und dem Strom betragen, der an die Batterie geliefert wird.

Prüfung: Durchführung der Prüfung nach 6.2.5.

Bei einer Wiederaufladespannung von 2,40 V / Zelle sind die Ladeströme aus Tab. 18 für geschlossene und verschlossene Baureihen erforderlich, um die Vorgaben der Norm zu erfüllen.

Bemessungsbetriebsdauer		
1 h	3 h	8 h
5 A/100 Ah	6 A/100 Ah	7 A/100 Ah

Tab. 18: Wiederaufladeströme für verschiedene Bemessungsbetriebsdauern

6.4.2.5 Zusätzliche Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern

Die für die Stromversorgung im Krankenhaus früher maßgebliche DIN VDE 0107 [33] ist ersetzt.

In DIN VDE 0100-710 [34] erfolgt in Kapitel „710.562 Stromquellen“ mit dem Verweis auf DIN EN 50272-2 [6] lediglich der Hinweis, dass Primärelemente als Sicherheitsstromquellen nicht zulässig sind. Eine nähere Spezifizierung von Batteriebaureihen wird nicht vorgenommen.

DIN VDE 0558-507 [35] fordert geschlossene oder verschlossene Batterien mit einer nachgewiesenen Brauchbarkeitsdauer von mindestens 12 Jahren bei 20 °C. Kraftfahrzeugstarterbatterien oder gasdichte NiCd-Einzelszellen sind nicht erlaubt.

Lt. Kapitel „710.562.5 Kapazität und Versorgungsdauer der Sicherheitsstromquellen „ in der DIN VDE 0100-710 [34] muss eine Versorgung von mindestens 24 Stunden sichergestellt sein. Unter bestimmten Bedingungen kann die Versorgungsdauer auf 3 Stunden herabgesetzt werden.

6.5 Bahntechnik

6.5.1 Stellwerke und Signalanlagen

Der Betrieb von Stellwerken und Signalanlagen wird bei Ausfall der öffentlichen oder eigenen Netzstromversorgung durch batteriegestützte USV-Anlagen (s. 6.2) und Notstromaggregate sichergestellt.

6.5.2 Bahnübergänge

Batterien für Bahnübergänge arbeiten im Pufferbetrieb (s. 3.2). Meist ist ein kleiner Gleichrichter eingesetzt, welcher nicht in der Lage ist, die Lasten der Schrankenbewegungen und Beleuchtungen abzudecken. Die Spitzenlast wird somit von der Batterie übernommen, und die Batterie wird in den Stillstandszeiten geladen.

6.5.3 Bahnkommunikation (GSM-R)

Mit GSM-R (Global System for Mobile Communications Rail) entsteht eine einheitliche, standardisierte und europaweit arbeitende Systemplattform, auf der zukünftig die mobilen Sprach- und Datenfunktionsanwendungen der Bahnen funktionieren.

Besonders ist zu bemerken, dass es sich um keine bahnspezifische Entwicklung handelt, sondern um eine erprobte Technik, deren Spezifikationen auf ETSI (Europäische Standardisierungsbehörde für Telekommunikation) basiert, die gleichzeitig die Grundlage für den weltweit eingesetzten GSM-Standard darstellen.

Dies bedeutet eine Vielzahl von BTS (Base Transceiver Station), BSC (Base Station Controller) und Repeater-Stationen entlang von rund 36 000 km Bahnstrecke (s. 6.1.2). Bei den verwendeten Batterien handelt es sich um verschlossene Frontterminalbatterien (AGM und Gel), OPzV-Zellen und auch Gel-Blockbatterien, die zu 48 V-Einheiten verschaltet werden.

6.5.4 Rollendes Material

In Reisezugwagen und in allen öffentlichen Verkehrsmitteln werden Beleuchtung, Klimatisierung und alle elektrischen Sicherheitssysteme bei fehlender Energie durch Batterien gespeist.

In dieser Anwendung werden zumeist Traktionsbatterien eingesetzt, da diese Anwendung klassisch durch Zyklen bestimmt war, weil bei jedem Abkoppeln von Lokomotiven das Waggonlicht über die Batterie betrieben wurde.

In modernen Triebzügen versorgt die Batterie im Einsatzfall alles, vom Licht, über die Klimatisierung bis hin zur elektrischen Türöffnung.

6.6 Photovoltaik (Solar)

Sonnenenergie wird über Solar-Module (Panel) in elektrische Energie umgewandelt. Die unmittelbare Nutzung ist nur tagsüber und in Abhängigkeit von der Sonnenintensität und Modulleistung möglich. Bleibatterien kommen dann zum Einsatz, wenn die erzeugte elektrische Energie gespeichert werden soll, um sie zu anderen Zeitpunkten zu nutzen, z.B. abends bzw. nachts.

Tagsüber werden die Batterien dann wieder aufgeladen. Es handelt sich also um typischen Zyklusbetrieb. Notfalls müssen die Batterien Strom über mehrere Tage liefern. Deshalb werden die Nennkapazitäten auch auf 100 bzw. international 120 Stunden bezogen (C_{100} , C_{120}).

Die erreichbaren Zyklenzahlen hängen von der Batterietype ab. Sind mit Gitterplattentypen bereits mehrere hundert Zyklen nach DIN EN 60896-11 [32] bzw. DIN EN 60896-2 [4] möglich (60% Entladetiefe, 20° C), erreicht man mit Panzerplattentypen über 1000 Zyklen. Ein weiteres Kriterium stellt die Kapazität dar, die zusammen mit der Zellenanzahl die Leistungsfähigkeit einer Anlage bestimmt.

Die Einsatzgebiete sind dementsprechend gestaffelt:

- Einfache, kleinere Solar-Anlagen, z.B. in Wochenend- bzw. Ferienhäusern, für Parkscheinautomaten oder Notrufsäulen.
- Anlagen im mittleren Leistungsbereich, z.B. für kleinere industrielle Solaranlagen, Seebojen und Messstationen.
- Anlagen mit hohen Leistungen und starker zyklischer Beanspruchung, z.B. für Insel-Systeme ohne eigene Netzstromversorgung und mit hohem Verbrauch, Solar- und Windkraftwerke.

6.7 Medizintechnik

Hier sind grundsätzlich drei verschiedene Anwendungen zu unterscheiden:

- Reiner Bereitschaftsparallelbetrieb (s. 3.1)
- Semizyklusbetrieb
- Reiner Zyklusbetrieb (s. 3.4)

So haben kritische Geräte, wie zum Beispiel automatische Beatmungsgeräte, eine Batterie, welche bei Ausfall aller Stromversorgungen noch für eine gewisse Zeit als allerletzte Sicherheit die Patientenversorgung sicherstellt.

Geräte, wie Infusions- und Ernährungspumpen und Krankenhausbetten, sind Anwendungen, welche als semizyklisch einzustufen sind, da hier die Versorgung sowohl über das Netz, als auch im mobilen Betrieb per Batterie sichergestellt wird. Bei den Infusions- und Ernährungspumpen wird beim Bettentransport des Patienten die Funktion von der Batterie gewährleistet, und bei Stand auf der Station erfolgt die Versorgung über das Netz.

Die letzte Anwendungsklasse ist die rein zyklische Beanspruchung des Gerätes. Hier erfolgt die Entladung immer ohne Netzversorgung. Es wird nur geladen, wenn das Gerät nicht genutzt wird. Dies sind z. B. OP-Tische und Elektrokrankenfahrstühle.

7. Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 60050-482, „Deutsche Ausgabe des internationalen elektrotechnischen Wörterbuchs, Teil 482“, Juli 2004
- [2] VARTA Batterie-AG, „Bleiakkumulatoren“, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1986
- [3] H. Kirchner, „Bleibatterien, Kapitel: Wirkungsweise“, Entwurf, Soest, März 2004
- [4] DIN EN 60896-2, „Ortsfeste Blei-Akkumulatoren, Allgemeine Anforderungen und Prüfungen, Teil 2: Wartungsfreie und verschlossene Batterien“, Dezember 1996
- [5] DIN EN 60896-21, „Ortsfeste Blei-Akkumulatoren, Teil 21: Verschlossene Bauarten – Prüfverfahren, Dezember 2004
- [6] DIN EN 50272 – 2 (DIN VDE 0510, Teil 2), „Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen, Teil 2: Stationäre Batterien“, Dezember 2001
- [7] D. Berndt, „Maintenance –Free Batteries“, Second Edition, Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, England, 1997
- [8] D. Berndt u.a. „Verschlossene stationäre Bleibatterien von VARTA“, VARTA spezial report 3/1990, S. 1949 - 1987
- [9] A. Jossen, „Ladeverfahren II und Batteriemanagement“, OTTI-Profiforum, Ulm, Mai 2005
- [10] Merkblatt des ZVEI „Definition verschiedener Lebensdauer-Begriffe für Batterien“, Frankfurt/M., Ausgabe Oktober 2008
- [11] UL 94, „Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances“, December 2003
- [12] UL 1989, „Standby Batteries“, 4. Ausgabe, März 2010
- [13] DIN VDE 0298 – 4, „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für

Starkstromanlagen, Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen“, August 2003

- [14] W. Rudolph †, „Einführung in die DIN VDE 0100“, VDE-Verlag, 1999
- [15] DIN VDE 0282-4 (VDE 0282 Teil 4), „Starkstromleitungen mit vernetzter Isolierhülle für Nennspannungen bis 450/750 V – Teil 4: Flexible Leitungen; Deutsche Fassung HD 22.4 S4:2004“, Februar 2005
- [16] DIN VDE 0250, Teil 602, „Isolierte Starkstromleitungen, Sonder-Gummiaderleitung“, März 1985
- [17] DIN VDE 0100-520, „Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel, Kapitel 52: Kabel- und Leitungsanlagen (IEC 60364-5-52: 1993, modifiziert), Deutsche Fassung HD 384.5.52 S1 + A1: 1998“, Juni 2003
- [18] DIN VDE 0298-3 (VDE 0298 Teil 3), „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen, Teil 3: Leitfadern für die Verwendung nicht harmonisierter Leitungen“, Juni 2006
- [19] DIN VDE 0298-300 (VDE 0298 Teil 300), „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen, Teil 300: Leitfadern für die Verwendung harmonisierter Niederspannungsstarkstromleitungen; Deutsche Fassung HD 516 S2:1997 + A1:2003“, Februar 2004
- [20] H. A. Kiehne, „Batterien“, 4. Auflage, Expert Verlag, Renningen, 2000
- [21] DIN EN 60896-22, „Ortsfeste Blei-Akkumulatoren- Teil 22: Verschlossene Bauarten – Anforderungen (IEC 60896-22:2004); Deutsche Fassung EN 60896-22:2004“, Dezember 2004
- [22] DIN EN 61056-1, „Bleibatterien für allgemeine Anwendungen (verschlossen), Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Eigenschaften – Prüfverfahren (IEC 61056-1:2002); Deutsche Fassung EN 61056-1:2003“, Mai 2003
- [23] General Electric, „The Sealed Lead Battery Handbook“, Gainesville FL, USA, 1979

-
- [24] W. Garten, "Bleiakkumulatoren", 9. veränderte Auflage, VARTA Aktiengesellschaft Frankfurt/Main, VDI Verlag, Düsseldorf, 1968
- [25] DIN 40729, „Akkumulatoren – Galvanische Sekundärelemente – Grundbegriffe“, Mai 1985
- [26] DIN 41772, „Halbleitergleichrichter-Geräte und –Anlagen“, Mai 1963
- [27] DIN EN 62040-1-1, „Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV), Teil 1-1: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen an USV außerhalb abgeschlossener Betriebsräume“, Oktober 2003
- [28] DIN EN 62040-3, „Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) - Teil 3: Methoden zum Festlegen der Leistungs- und Prüfungsanforderungen (IEC 62040-3:1999, modifiziert), Deutsche Fassung EN 62-40-3:2001“, Februar 2002
- [29] Merlin Gerin (MGE), Präsentation „Sicherheit und Verfügbarkeit von sensiblen Anwendungen“, Juli 2003
- [30] DIN EN 50171 (VDE 0558 Teil 508), „Zentrale Stromversorgungssysteme“, November 2001
- [31] DIN VDE 0108 Teil 1, „Starkstromanlagen und Sicherheitsstromversorgung in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen – Allgemeines“, Oktober 1989
- [32] DIN EN 60896-11, „Ortsfeste Blei-Akkumulatoren, Teil 11: Geschlossene Batterien – Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren“, Juli 2003
- [33] DIN VDE 0107, „Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch genutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern“, Oktober 1994
- [34] DIN VDE 0100-710, „Errichten von Niederspannungsanlagen – Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Teil 710: Medizinisch genutzte Bereiche“, November 2002
- [35] DIN VDE 0558-507, „Batteriegestützte zentrale Stromversorgungssysteme (BSV) für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche“, Dezember 2008

-
- [36] Internationaler Standard IEC 62485-2 “Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 2: Stationary batteries”, Juni 2010

Wichtiger Hinweis: Der Batteriehersteller “GNB Industrial Power” übernimmt keine Haftung, weder für die Angaben aus dieser Produktinformation oder Änderungen der angegebenen Normen, noch im Zusammenhang mit anderen nationalen Normen, die möglicherweise existieren und von Installateuren, Planern und Architekten beachtet werden müssen.

EXIDE Distributionscenter Berlin
ELEKTRO.TEC GmbH
Eichborndamm 129-139
D-13403 Berlin

Tel.: 030/4111024
Fax: 030/4111025

www.elektrotec-berlin.de

info@elektrotec-berlin.de

Stand: Juni 2015

