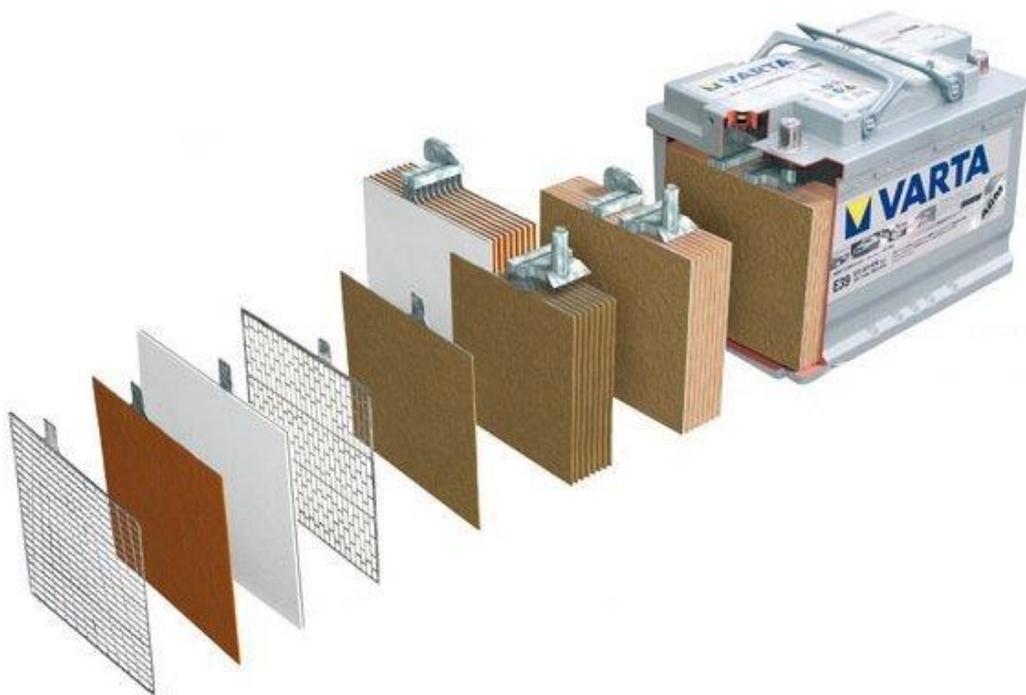


**Werkmeisterschule für Berufstätige für Maschinenbau-Kraftfahrzeugtechnik
(Schulformkennzahl 3384)**

ABSCHLUSSARBEIT

BLEIBATTERIEN

Geschichte, Technologie, Entwicklung



Verfasser: Roman Kuchar - Klasse K2A (4AWMBZ)

Betreuer: Thomas Koller

Datum: 15. Mai 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Wien, am 26. Oktober 2016

Verfasser:

Roman Kuchar

Abgabevermerk:

Datum:

Übernommen von:

VORWORT UND DANKSAGUNG

Als vor einigen Jahren mein Segelboot zur Restauration anstand, war natürlich auch die komplette Elektrik zu überarbeiten.

Als gelernter Kfz-Techniker, war ich überzeugt, dies selbst erledigen zu können.

Da, aufgrund der geringen Motorlaufzeiten, Strom an Bord eines Segelbootes, kostbar ist, war ich nicht nur gezwungen, mit selbigem sparsam umzugehen, sondern auch für entsprechend große Stromspeicher zu sorgen. Aus Kostengründen fiel die Wahl natürlich auf die gute alte Bleibatterie.

Schnell wurde mir allerdings klar, dass diese Technik auch nicht ganz so einfach zu beherrschen ist, wie sie aussieht.

Ich war also gezwungen mich intensiv mit den Themen: Starterbatterie, Versorgerbatterie, Nass, AGM, Gel, Spannungsverlust, Ladekennlinien, usw.... auseinanderzusetzen.

Dieser Autodidaktische Prozess führte schließlich nicht nur zu einer funktionierenden und ausreichend Dimensionierten Stromversorgung an Bord, sondern sogar dazu, dass ich eigenständig ein leistungsfähiges Ladegerät für die Bordbatterien entwickeln konnte.

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei Hr. Thomas Rücker bedanken, der mir mit seiner Seite: www.microcharge.de und dem dortigen Forum, sehr geholfen hat.

ABSCHLUSSARBEIT

DOKUMENTATION

Name des Verfassers	Roman Kuchar
Jahrgang (Klasse):	K2A (4AWMBZ)
Schuljahr	2016/2017
Titel der Abschlussarbeit:	BLEIBATTERIEN Geschichte, Technologie, Entwicklung

Aufgabenstellung:	Geschichte und Grundlagen der Bleibatterie Verschiedene Technologien Anwendung dieser Technologien Richtige Behandlung zur Maximierung der Lebensdauer
-------------------	---

Realisierung:	Handelsübliche Ladegeräte für die Aktuelle Generation von Bleibatterien. Hinterfragen von Technologien und Strategien Beweisen bzw. Widerlegen gängiger Theorien
---------------	--

Ergebnisse:	Beispiel einer Batteriebank und deren Verschaltung. Erstellung eines Batterie-Ladekonzepts das laut gängiger Theorien nicht funktionieren dürfte.
-------------	--

Möglichkeit der Einsichtnahme	Technisch-gewerbliche Abendschule des BFI Wien, A 1041 Wien, Plößlgasse 13, www.tga-wien.at , 01/5053550-3001
-------------------------------	--

Approbation	Betreuer, Prüfer	Direktor
Datum:		Prof. Mag. Martin Schilk

FINAL EXAMINATION PROJECT

DOCUMENTATION

Author:	Roman Kuchar
Year (Form):	K2A (4AWMBZ)
Academic year:	2016/2017
Topic:	LEAD-ACID BATTERY History, Technology, Evolution

Assignment of task:	History and basics of lead-acid batteries Various technologies Usage of these technologies Correct application for maximizing lifetime
---------------------	---

Realisation:	Commercial chargers for actual generation of lead-acid batteries. Questioning of technology and strategy. Prove or disprove of common theories.
--------------	---

Results:	Example of a battery-bank and interconnection. Creation of a charging concept, that should not work according to accepted theories
----------	---

Accessibility of this project:	Technisch-gewerbliche Abendschule des BFI Wien, A 1041 Wien, Plößlgasse 13, www.tga-wien.at , 01/5053550-3001
--------------------------------	--

Approval	Tutor, Examiner	School Principal
Date:		Prof. Mag. Martin Schilk

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	III
Vorwort und Danksagung	IV
Abschlussarbeit.....	V
Final Examination Project	VI
Geschichte:	2
Funktion, Aufbau	3
Chemie:	3
Herstellung	4
Unterscheidung nach Säure-Konsistenz.....	5
Nass Batterie	5
AGM Batterie.....	6
Gel Batterie	6
Unterscheidung nach Verwendungszweck	7
Starter/Hochstrombatterie.....	7
Traktionsbatterie	9
Versorger/Solarbatterie	10
Batterie Kennzeichnung.....	11
Ladung der Bleibatterie:	12
IU Kennlinie: (CCCV - Constant Current Constant Voltage).....	12
IUoUoU Kennlinie:	14
Pulsladung	15
Entladung der Bleibatterie	16
Beurteilung der Bleibatterie.....	17
Ladezustand SOC (State of Charge)	18
Batteriezustand SOH (State of Health)	18
Alterung und Defekt von Bleibatterien	20
Gitterkorrosion	20
Abschlammung/Shedding.....	21
Sulfatierung	21
Säureschichtung	22
Wasserverlust.....	23
Selbstentladung.....	23
Lagerung der Bleibatterie	24
Anschlussarten von Batterien	25
Einzelschaltung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Parallelschaltung	26
Serienschaltung	26
Gruppenschaltung	27
Batterietrennung	27
Resumee	29
Literatur und Quellenverzeichnis:.....	31
Abbildungsverzeichnis	31

GESCHICHTE:

Die Bleibatterie ist in ihrer Urform bereits mehr als 160 Jahre alt.

Der Deutsche Mediziner und Physiker Wilhelm Josef Sinistren, konstruierte bereits 1854 den ersten funktionierenden, wieder aufladbaren Bleiakku.

Er stellte zwei Bleiblatten in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure. Durch mehrfaches Laden mit einer Gleichspannungsquelle, und anschließendem Entladen, wurden die Platten „Formatiert“.

Die Positive Platte verwandelte sich dabei in Bleidioxid (PbO_2) die Negative in Reines Blei (Pb).

Dadurch entwickelte sich eine messbare Energiespeicherfähigkeit (Kapazität)

Die erste Funktionierende Blei-Sekundärzelle.

Bereits wenige Jahre später, 1859, wurde vom Französischen Physiker Gaston Planté, diese Zelle weiterentwickelt, indem er die Platten Spiralförmig anordnete.

Die erste Wickelzelle war geschaffen.

1880 wurde der Bleiakku entscheidend weiterentwickelt. Anstatt solider Bleiplatten wurde nun ein Bleigitter mit einer Paste aus Bleistaub und 30%iger Schwefelsäure (H_2SO_4) eingestrichen. Dadurch wurde die Formatierung auf wenige Ladezyklen verkürzt, und die Kapazität deutlich erhöht.

1887 gründete Adolph Müller die erste Deutsche Akkumulatoren Fabrik, aus der sich schließlich der Konzern VARTA entwickelte, der mittlerweile zu Johnson Controls gehört.

Da Blei ein sehr weiches Metall ist, wurde man durch die Verwendung von Gitterplatten gezwungen das Blei der Positiven Platte mit Antimon zu Legieren um es zu Härten.

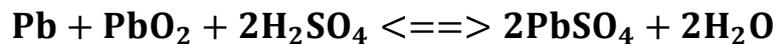
Durch hohen Ladungsdurchsatz wanderte dies zur Negativen Platte und führte zu „Antimonvergiftung“ Dadurch sinkt die Gasungsschwelle der Zelle stark ab. Somit droht hoher Wasserverlust, und eine Vollladung ist nicht mehr möglich. Dadurch einhergehend auch ein Kapazitätsverlust.

Ab etwa 1990 wurde deshalb statt Antimon, Silber und später Kalzium als Legierungsbestandteil verwendet.

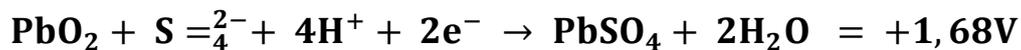
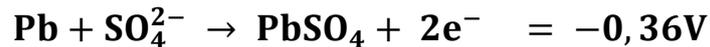
Seither wurde durch Plattenanordnung, Herstellungsverfahren und Verfeinerung der internen Chemie, die Kapazität oder der Kaltstartstrom immer weiter gesteigert, und Bauformen für verschiedenste Anwendungsfälle entwickelt.

Das Grundprinzip haben aber alle heute erhältlichen Blei-Säure Batterien immer noch gemeinsam

CHEMIE:



Grundsätzlich bei allen Bleiakku-Typen findet man im geladenen Zustand, an der Positiven Elektrode Bleidioxid (PbO₂), und an der Negativen Elektrode Blei (Pb). Dadurch ergibt sich eine Nennspannung von 2,04V/Zelle. aus der Elektrochemischen Spannungsreihe:



$$E_{\text{Ges}}^0 = 1,68\text{V} - (-0,36\text{V}) = 2,04\text{V}$$

Als Elektrolyt verwendet man 37%ige Schwefelsäure (H₂SO₄) mit einer Dichte von 1,28kg/dm³

Bei der Entladung wird die Schwefelsäure aufgespalten, und das Bleidioxid reduziert. Der Schwefel verbindet sich mit dem Blei beider Platten zu Bleisulfat.

Bei der Ladung der Batterie ist auf die Höhe der Ladespannung zu achten. Neue Kalzium-legierte Blei Akkus weisen eine Gasungsschwelle von 2,45V (14,7V bei 6zelligem Akku) bei 20°C auf. Über dieser Spannung wird das Wasser elektrolytisch zu Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. => Knallgas

Bei höheren Temperaturen muss hier eine Temperaturkompensation von -4mV/°C/Zelle eingerechnet werden. D.H. bei einem 6zelligen Bleiakku 24mV weniger Ladespannung pro °C Erwärmung. Bei tieferen Temperaturen kann die Ladespannung entsprechend angehoben werden.

Durch hohe Ladespannungen wird die Batterie auch stärker erwärmt, wodurch die Gasungsschwelle noch weiter absinkt, die Batterie sich noch mehr erwärmt, bis es zum Thermischen durchgehen kommt, dem „Thermal Runaway“.

Weiters entsteht durch hohe Ladespannung die Gefahr von verstärkter Gitterkorrosion, welche zum baldigen Plattenbruch führen kann, und somit zum Kapazitätsverlust, bzw. Totalausfall der Batterie.

Natürlich muss auch erwähnt werden dass sowohl Blei, Bleidioxid, Bleisulfat und natürlich auch Schwefelsäure hochgiftig sind und entsprechend vorsichtig zu behandeln sind, sowie umweltgerecht zu entsorgen. (Rückgabe zum Recycling, Gefahrenstoff)

Grundsätzlich benötigt man für die Herstellung von Bleibatterien:

- Hartblei (Legiert)
- Bleistaub
- Mennige (Hochoxydierter Bleistaub)
- Schwefelsäure (evtl. Geliert)
- Säurefestes Gehäuse
- Separatoren/Glasvlies

Das Hartblei wird, entsprechend der zukünftigen Anwendung, zu Gitterplatten gegossen gestanzt, geschnitten, oder zu Röhrenplatten gegossen.

Sowohl der Bleistaub als auch der Bleioxidstaub wird mit Schwefelsäure zu einer Paste vermischt und in die Platten eingebracht.

Anschließend werden sie in einem Tank mit Schwefelsäure mit mehreren Ladezyklen „Formatiert“

Nun werden Plattenpakete zusammengestellt die eine komplette Zelle ergeben. Je nach Bauart mit Separatoren oder Glasvlies jeweils zwischen den positiven und den Negativen Platten. Diese werden jeweils verbunden. Dadurch hat nun jede Einzelzelle einen Positiven und einen Negativen Anschluss.

Im Falle der 12V Batterie werden 6 solcher Plattenpakete in ein Polypropylen-Gehäuse eingepasst, das natürlich über die entsprechende Unterteilung verfügen muss. Die Zellen werden mit Zellenverbindern in Reihe geschaltet, und der Gehäuseoberteil wird aufgeschweißt. Danach wird die Batterie mit dem Flüssigen Elektrolyt befüllt und die Zellenstopfen, je nach Art der Batterie, eingeschraubt, eingepresst und mit einem Etikett abgeklebt oder verschweißt.

Die Fertigung der Gelbatterie unterscheidet sich dadurch, dass bei ihr keine gesonderte Füllung erfolgt. Sie wird direkt aus der Formatierung, gemeinsam mit der eingedickten Schwefelsäure in das Gehäuse eingepasst und verschweißt, um Lufteinschlüsse zu vermeiden.

Bei Röhrenbatterien wird kein Gitter sondern eine Röhrenplatte als positive Elektrode gegossen, und ein Bleigitter als Negative. Hier kommt kein Bleistaub zum Einsatz. Dadurch ist diese Batterie sehr Tiefentladeresistent und Mechanisch belastbar. Vorwiegend werden diese Batterien als Traktionsbatterien für Arbeitsmaschinen benutzt, bei denen das Gewicht eine untergeordnete Rolle spielt, oder sogar gewünscht wird. (Gabelstapler, Hubwagen)

UNTERSCHIED NACH SÄURE-KONSISTENZ

NASS BATTERIE

Bei Nass Batterien liegt der Elektrolyt in flüssiger Form vor.

Die Bleiplatten werden durch Separatoren aus perforiertem gewellten PVC Folien getrennt. Besonders diese Bauweise ist stark gefährdet zu Gasen. Deshalb sind die einzelnen Zellendeckel mit einem Labyrinth versehen, dass eine Rekombination von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser ermöglicht, um den Wasserverlust zu minimieren. (Abbildung 1) Weiters müssen Entlüftungen vorhanden sein. Bei modernen Bauarten ist die Batterie nicht **verschlossen** (mit Stopfen versehen) sondern **geschlossen**. D.H. die Stopfen werden nach der Befüllung verschweißt oder Verklebt, was ein öffnen zur Prüfung der Säuredichte oder ein nachfüllen von Wasser unmöglich macht. Solche Batterien werden oft als „**EFB – Enhanced Flooded Battery** (besser gefüllte Batterie)“ bezeichnet. In diesem Fall ist über den Plattenpaketen mehr Raum als bei herkömmlichen verschlossenen Batterien. In diesem zusätzlichen Raum ist Platz für einen „Vorrat“ an Säure, der den Wasserverlust während der Batterie Lebensdauer ausgleichen soll. Diese Batterien dürfen nicht liegend oder über Kopf gelagert oder betrieben werden, da Säure aus den Entlüftungen austreten kann. Diese Batterien sind NICHT geeignet um in geschlossenen Räumen verwendet zu werden.

Seltener sind „**VRLA – Valve Regulated Lead Acid** (ventilgeregelte Blei-Säure-Batterie)“ Diese Batterien sind mit einer gemeinsamen Entgasung aller Zellen über ein Überdruckventil versehen. Wenn, durch zu hohe Temperatur und/oder zu hoher Ladespannung, mehr Wasserstoff und Sauerstoff entsteht, als im Labyrinth rekombinieren kann, steigt der Druck in der Batterie an. Wird ein bestimmter Druck überschritten, öffnet das Ventil und die Batterie kann entgasen. Solche Batterien können bei höheren Kippwinkeln, aber nicht liegend oder über Kopf betrieben werden, da dann eine Rekombination im Deckel-Labyrinth nicht mehr möglich ist. Eine Lagerung in liegender oder Überkopflage ist dagegen durchaus möglich.

Eine Batterie deren Ventil ausgelöst hat, ist unbedingt zu ersetzen!

Da durch das Öffnen des Ventils ein Teil des Wassers verlorenght, aber nicht wieder ergänzt werden kann, ist der Elektrolythaushalt der Batterie im Ungleichgewicht. Auch ist ein Auslaufen der Batterie nicht auszuschließen, da ein geöffnetes Ventil nicht mehr schließen kann. Da im Schadensfall durch das Ventil Säure austreten kann sind auch diese Batterien nur bedingt zur Verwendung in geschlossenen Räumen oder empfindlicher Umgebung geeignet.

ABBILDUNG 1: LABYRINTHDECKEL MIT ZENTRALENTGASUNG [EUR01]



„Der Wasserdampf kondensiert am Batteriedeckel (1). Das Wasser fließt dann durch das Labyrinth Deckel-Design in die Batterie zurück. Der Rückzündschutz (2) schützt die Batterie vor Funken. Über die Zentralentgasung (3) werden entstehende Gase laut Hersteller sicher abgeführt. Wie ein Wellenbrecher soll der Sicherheitsstopfen (4) im Inneren der Batterie arbeiten.“

AGM BATTERIE

AGM - Absorbent Glass Mat Batterien sind den Nass-Batterien sehr ähnlich, nur wird die Schwefelsäure hier durch Kapillarwirkung in feinstem Glasvlies aufgesogen. Dieses Glasvlies wird anstelle der Separatoren zwischen die Bleiplatten gepresst. Dadurch ergeben sich einige Vorteile.

1. Durch die Pressung wird die Bleipaste in den Gittern gehalten und kann auch bei Erschütterungen, starker Gasung (z.B. durch Überladung) oder übermäßiger Sulfat Bildung nicht aus dem Plattengitter fallen.
2. Ein Dendriten Wachstum durch das Vlies hindurch, somit ein Zellschluss, wird erschwert.
3. Durch das dicht gepresste Vlies hat. Gasung weniger schädliche Auswirkungen, da ein Großteil des Gases bereits im Vlies wieder Rekombinieren kann.

AGM Batterien sind durch ihren Aufbau sehr Hochstromfähig. Besonders als Spiral/Wickelzellen. Gleichzeitig auch weniger empfindlich gegen Tiefere Entladungen (im Vergleich zu Nass Batterien) AGM Batterien sind immer als VRLA ausgeführt, und können ebenso wie die Nass-VRLA Liegend oder über Kopf gelagert werden. Der Betrieb ist hier aber auch bei größeren Kippwinkeln möglich, da die Säure durch das Vlies an den Platten gehalten wird. Allerdings wird die Rekombination bei zu großem Kippwinkel beeinträchtigt. In diesem Fall ist unbedingt die Herstellervorschrift zu Beachten. Da bei diesen Batterien keine Säure austreten kann, sind AGM Batterien durchaus auch in geschlossenen Räumen verwendbar. Im Schadensfall muss allerdings mit dem Austritt von Knallgas gerechnet werden.

GEL BATTERIE

Auch die Gel Batterie ist ähnlich aufgebaut wie die Nass-Batterie. Allerdings ist hier der Elektrolyt (Schwefelsäure) mit Kieselgur zu einer Paste eingedickt. Ähnlich wie bei der AGM wird dadurch das Aktivmaterial gut in den Platten gehalten, bei Erschütterungen oder Sulfat Bildung.

Wie bei allen Blei-Batterien bildet sich bei der Ladung an der Positiven Platte Sauerstoff, an der Negativen Platte hingegen Wasserstoff. Dieser steigt allerdings nicht auf, sondern bildet Mikrokanäle im Gel. Dadurch kann der Sauerstoff leicht an die Negative Platte gelangen und mit Wasserstoff Ionen wieder zu Wasser Rekombinieren.

Da hier keine Rekombination am Deckel stattfindet, ist diese Batteriart völlig Lageunabhängig zu betreiben. Die gesamte Rekombination findet innerhalb des Elektrolyt-Gels statt. Auch gibt es bei dieser Bauart praktisch keine Säureschichtung

Nachteilig wirkt sich bei der Eindickung allerdings aus, dass Die Osmotischen Prozesse an den Bleiplatten wesentlich langsamer ablaufen als bei Nass oder AGM Zellen.

Somit sind Gel Akkus nur wenig geeignet für Hochstromanwendungen, oder müssen, wenn unbedingt Lageunabhängigkeit gefordert ist, entsprechend groß Dimensioniert werden

UNTERSCHIEDUNG NACH VERWENDUNGSZWECK

STARTER/HOCHSTROMBATTERIE

Starterbatterien sind ausgelegt um kurzzeitig extrem hohe Ströme zu liefern. Zusätzlich sollen sie noch möglichst leicht und Kompakt sein. Also muss die Bleimenge und damit die Kapazität gering sein. Um trotzdem hohe Startleistungen zu ermöglichen, muss eine möglichst große Oberfläche an den Bleiplatten mit dem Elektrolyt benetzt sein, um eine entsprechend starke Chemische Reaktion zu ermöglichen.

Starterbatterien haben auch eine besondere Plattengeometrie, um dem Stromfluss innerhalb der Platte, bis zu den Ableitungsglaschen, möglichst wenig Widerstand entgegenzusetzen, wie in *Abbildung 2* dargestellt.

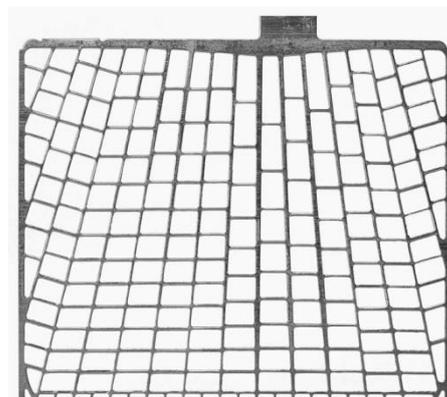


ABBILDUNG 2: "POWERFRAME"
HOCHSTROM-GITTER [POW01]

Durch die hochporöse Oberfläche und die besondere Gitterform, sind diese Batterien nicht geeignet, hohe Entladetiefen zu erreichen. Bei einem normalen Startvorgang, auch im Winter incl. Vorglühen beim Dieselmotor, wird in der Praxis max. 10% der Kapazität entnommen. D.h. eine Vollgeladene Starterbatterie wird nur bis 90% entladen, bevor die Lichtmaschine beginnt diesen entnommenen Strom wieder nachzuladen. Dieses Nutzungsschema nennt man „Stand-by-Betrieb“ Die Batterie „Wartet“ vollgeladen auf ihren Einsatz, und wird Zeitnah wieder Geladen. In der Praxis sollte eine Nass-Starterbatterie maximal bis 70% entladen werden. Das bedeutet, dass bei einer 100Ah Batterie nur 30Ah Nutzbare Kapazität vorliegt! Tiefere Entladungen würden die Batterie bereits schädigen. Da das bei der Entladung gebildete Bleisulfat mehr Volumen beansprucht als das ursprüngliche Blei oder Bleidioxid, kann es zu Mechanischen Beschädigungen des Gitters kommen, bis zum Ausbrechen von Aktivmasse aus dem Gitter. Diese steht dann, da sie keinen Elektrischen Kontakt zum Ableitgitter mehr hat, nicht mehr für weitere Reaktionen zur Verfügung. Die Kapazität der Batterie ist gesunken.

Ausgebrochene Aktivmasse fällt normalerweise in den Schlammraum. Wenn dort die Masse hoch genug angehäuft wird, kann es passieren, dass sie bis zu den Aktiven Platten reicht, und diese Verbindet. Das wiederum führt zu Zellenkurzschluss, und damit zum Totalausfall der Batterie.

Um dem entgegenzuwirken werden bei „HeavyDuty“ oder „Rüttelfesten“ Batterien oftmals die Separatoren nach unten bis an das Gehäuse geführt, oder es wird mit geschlossenen Separatoren Taschen gearbeitet. Damit hat jede einzelne Platte ihren eigenen Schlammraum und es kann nicht mehr zum Zellenchluss durch abgelagertes Material kommen. Der Kapazitätsverlust ist hier allerdings immer noch gegeben.

Bei AGM Batterien hingegen, ist auch das Problem des Kapazitätsverlustes Minimiert, da durch die Pressung des Glasvlieses, das Ausbrechen und Abschlammen von Material verhindert wird.

Durch ihre Bauart sind AGM Batterien auch Mechanisch widerstandsfähiger. Darum können sie auch Tiefer entladen werden als Nasszellen Eine AGM Starterbatterie kann bis zu 50% entladen werden bevor sie dauerhaft geschädigt wird. Hier Bei stehen bei einer 100Ah Batterie bereits 50Ah Nutzbare Kapazität zur Verfügung. Dies ist der Hauptsächliche Grund warum AGM Batterien für mehr Zyklen Konzipiert sind als herkömmliche Nass-Batterien.

Ein Weiterer Grund für die Entwicklung von AGM Batterien sind die hohen Anforderungen eines Start/Stop-Systems und der Rekuperation.

Idealerweise sollte eine Bleibatterie immer Vollgeladen sein, da sonst unweigerlich Sulfatierung einsetzt. Ein Rekuperations System kann aber nur Arbeiten, wenn die rückgewonnene Energie irgendwo gespeichert werden kann. In eine Volle Batterie kann man nichts einladen, also wird die Bordbatterie vom BMS **B**atterie **M**anagement **S**ystem bei ca. 70-75% Ladezustand gehalten. Beim Beschleunigen des Fahrzeuges wird die Lichtmaschine komplett abgeschaltet um Kraftstoff zu sparen. Das Fahrzeug wird nun alleine aus der Batterie mit Strom versorgt. Beim Ausrollen oder Bergabfahren (Schubbetrieb) wird die Lichtmaschine dagegen voll Erregt, um möglichst schnell, möglichst viel Energie in der Batterie zu speichern. Hier können Ladespannungen bis zu 16V auftreten. Das bedeutet natürlich zusätzlich zu dem hohen Ladungsdurchsatz und dem damit verbundenen Verschleiß der Batterie, auch noch Stress durch Gitterkorrosion und Gasung. Weiters ist die Batterie permanent in Teilentladem Zustand, muss aber trotzdem jederzeit in der Lage sein den Motor an der Ampel wieder zu Starten. Eine Herkömmliche Nass-Batterie ist für solche Verwendungszwecke ungeeignet.

Ein weites Kennzeichen einer Starterbatterie ist der „Kaltstartprüfstrom“ Dieser gibt an, wieviel Strom die Batterie bei einem Winterlichen Startvorgang liefern kann. Hier werden oft verschiedene Voraussetzungen zur Feststellung verwendet werden, so dass unterschiedliche Ergebnisse bei gleichen Batterien erzielt werden. Ein höherer Wert lässt sich natürlich besser vermarkten.

Der Kaltstartstrom ergibt sich aus den Tatsachen, dass der Innenwiderstand der Galvanischen Zellen bei tieferen Temperaturen höher ist als in Warmen Zustand. Des Weiteren sind auch die Chemischen Reaktionen bei tiefen Temperaturen gehemmt. D.h. die Umwandlung von Blei und Bleiperoxid in Bleisulfat (was letztendlich die Elektrische Energiebereitstellung bedeutet) findet langsamer statt. Dadurch kann weniger Strom entnommen werden, als einer warmen Batterie, wo die Reaktion wesentlich schneller ablaufen kann.

TRAKTIONSBATTERIE

Anders als Starterbatterien, werden Traktionsbatterien nicht im „Stand-by“ Modus betrieben, sondern Zyklisch belastet. Das bedeutet, sie werden nach der Vollladung wieder möglichst weit entladen. Diese Nutzungsform findet sich oft in Elektrisch betriebenen Fahrzeugen wie Elektrischen Hubwagen, Gabelstaplern, Golfwagen, Rollstühlen, etc. Aber auch um den Mobilen Einsatz von starken Elektrischen Verbrauchern zu ermöglichen, wie etwa Seilwinden, Holzspaltern, oder ähnlichen.

Hier wird also eine hohe Entladetiefe UND ein relativ hoher Strom benötigt. Um die in diesem Segment üblichen 70% DoD (**Depth of Discharge**) zu erreichen, ohne die Gitter zu beschädigen, werden entweder massivere Gitter, und damit dickere Bleiplatten verwendet, oder es werden keine Gitter sondern Röhrenplatten (*Abbildung 3*) eingesetzt, die Mechanisch wesentlich unempfindlicher sind. Sie sind auf hohe Energiedichte Optimiert, im Gegensatz zu Starterbatterien, die für hohe Leistungsdichte Konstruiert sind



ABBILDUNG 3: RÖHRENPLATTEN
BATTERIE [TRI01]

Diese Mechanische Festigkeit wird allerdings mit einer wesentlich geringeren Oberfläche der Platten erkauft. Da die Aktive Oberfläche aber in direktem Zusammenhang mit der Menge der Chemischen Reaktion steht, die auf ihr stattfindet, ist natürlich die Hochstromfähigkeit dieser Batterieart eingeschränkt. Das Starten eines Motors wäre wohl möglich, allerdings müsste, um den gleichen Kaltstartstrom wie bei einer Hochstrombatterie zu erreichen, eine wesentlich größere, und damit schwerere und teurere Batterie eingesetzt werden.

Traktionsbatterien werden mit allen drei verfügbaren Elektrolytzuständen hergestellt. Sowohl Flüssigsäure als auch AGM und Gelbatterien sind Als Traktionsbatterien verfügbar. Allerdings kann nur Flüssigsäure in Röhrenbatterien verwendet werden, da bei Festgelegtem Elektrolyt eine zuverlässige Durchmischung nicht mehr gegeben ist.

AGM und Gelbatterien sind unter Traktionsbatterien nur wenig im Einsatz, da durch die Zyklische Belastung auch ein hoher Wasserverlust auftritt, der bei Festgelegtem Elektrolyt nicht ersetzt werden kann, und die Batterie Lebensdauer somit unnötig verkürzt wird.

Flüssigsäure-Traktionsbatterien sind praktisch die einzige Batterieform, die noch über die Möglichkeit verfügt (Destilliertes) Wasser nachzufüllen. Auch zusätzliche Rekombinatoren an den nachfüll Öffnungen sind hier keine Seltenheit, um die Wartungsintervalle zu verlängern.

Auch wenn diese Batterien immer mehr von neuen Technologien wie Lithium-Akkus, verdrängt werden, sind sie, aufgrund ihres niedrigen Preises und ihrer Problemloseren Handhabung, Weltweit im Einsatz.

Versorgerbatterien sind das andere Ende des Spektrums. Sie sind Konzipiert um über lange Zeit geringe Ströme zu liefern, und ebenso mit geringen Strömen geladen zu werden. Sie sind wie die Traktionsbatterien auf hohe Energiedichte Konstruiert.

Bei Versorgerbatterien wird ausschließlich die Plattentechnologie verwendet, um möglichst kompakte Abmessungen bei möglichst hoher Kapazität zu erreichen. Da sie nur geringe Ströme liefern müssen ist es, im Gegensatz zur Starterbatterie, nicht nötig eine spezielle Plattengeometrie einzuhalten. Meist finden Gestanzte Hartbleigitter oder Streckmetallgitter (*Abbildung 4*) Verwendung, die wie auch bei anderen Batterietypen mit Blei und Bleidioxidpaste gefüllt werden. Die Gitter und die Pasten dicke sind wesentlich höher als bei der Starterbatterie. Damit ist aber auch die Aktive Oberfläche geringer und somit der entnehmbare Maximalstrom.

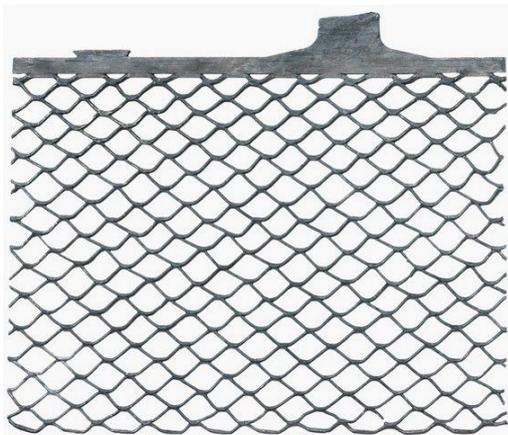


ABBILDUNG 4: STRECKMETALL-GITTERPLATTE [POW02]

Die Maximale Entladetiefe geht bei diesen Batterietypen sogar bis 85%. D.h. die Nutzbare Kapazität einer 100Ah Batterie liegt bei 85Ah. Zum Vergleich: Bei einer Flüssigsäure Starterbatterie, müsste eine Nennkapazität von 280Ah verwendet werden, um die gleiche Nutzbare Kapazität zur Verfügung zu haben, ohne die Batterie zu schädigen.

Versorgerbatterien werden, wie auch Traktionsbatterien, in allen Elektrolytphasen hergestellt, hier geht die Tendenz aber eindeutig weg von der Flüssigsäure. Da diese Batterien oft in geschlossenen Räumen eingesetzt werden, kann hier die Gel-Batterie

ihre Vorteile voll ausspielen. Wenn es die Anwendung zulässt wird auch die AGM-Version gerne verwendet, da mit dieser Technologie noch etwas höhere Entladetiefen erreicht werden können, und sie dazu noch Kostengünstiger als die Gelbatterie ist.

Oftmals wird diese Batterieart eingesetzt um eine Längerfristige Autarkie zu erreichen, z.B. bei Wohnmobilen, oder Booten, die einige Tage keinen Stromanschluss zur Verfügung haben. Für den Betrieb von Kleinverbrauchern, wie Beleuchtung, Radio, Handy/Laptop-Ladegeräte und kleinen Kühlschränken, ist die Stromstärke die solche Batterien liefern können, weitaus ausreichend. Oftmals werden sie während des Tages auch durch Solarpaneele wieder aufgeladen. Wenn der Stromverbrauch mit der Leistung der Solaranlage abgestimmt ist, ist auch eine völlige Autonomie möglich.

Ihre hohe Energiedichte und Zyklenfestigkeit, bei Gleichzeitig niedrigen Kosten, macht sie zum idealen Energiespeicher für Ladung/Entladung mit geringer Leistung. Das hohe Gewicht ist bei diesen Anwendungen eher Nachrangig zu Bewerten. Da keine Startsicherheit bzw. Hochstromfähigkeit nötig ist, kann bei dieser Anwendung auf Trenntechnik Verzichtet werden. Mehrere Batterien werden, wenn nötig, einfach parallel geschaltet wenn eine höhere Kapazität nötig ist.

BATTERIE KENNZEICHNUNG

Bleibatterien, gleich welche Technologie dahintersteht, müssen EU weit einheitlich mit einer ETN Nummer (*Abbildung 5*) (**E**uropäische **T**yp **N**ummer) gekennzeichnet sein. Diese hat die veraltete DIN Kennzeichnung abgelöst. Mit Hilfe dieser Nummer kann eine Batterie Zweifelsfrei identifiziert werden. Sowohl ihre Bauform, als auch Polanordnung, Elektrolytphase, und auch Spannung, Kapazität und Kaltstartprüfstrom sind in diesem Code festgehalten.



ABBILDUNG 5: ETN/DIN KENNZEICHNUNG [EX101]

1. Stelle	2.+3. Stelle	4.-6. Stelle	7.-9. Stelle
Nennspannung 0 – 4 = 6 Volt 5 – 7 = 12 Volt Beispiel: 5 = 12 Volt	Kapazität C/20 Ab 100 Ah erhöht sich die 1. Stelle um 1 Ab 200 Ah erhöht sich die 1. Stelle um 2 Beispiel: 55 + 0 = 55 Ah	Zählnummer aus DIN 4. Stelle = 0 Batterie hatte bereits eine DIN-Nummer 4. Stelle = 1 Batterie wurde neu angemeldet 5. & 6. Stelle aus DIN übernommen. Enthält Angaben über Polanordnung Rüttelfestigkeitsstufe (Nass, AGM, Gel, HeavyDuty, EFB) Bauform des Gehäuses (Abmessungen, Bodenleisten, usw.) Beispiel: 059 = Schaltung 0 (Pluspol Rechts vorne) Flüssigsäure, L x B x H: 242 x 175 x 175 mm Bodenleiste B03	Kälteprüfstrom EN Der angegebene Wert wird mit 10 Multipliziert. Beispiel: 042 x 10 = 420A

LADUNG DER BLEIBATTERIE:

Eine Bleibatterie ist leider kein „Stromtank“ in den man Strom füllt um ihn danach wieder zu entnehmen. Es ist doch etwas Komplizierter.

Grundsätzlich werden Bleibatterien mit Konstant Spannung geladen. (U-Kennlinie)

Diese sollte knapp unterhalb der Gasungsspannung liegen, um eine möglichst schnelle Vollladung zu erreichen.

Den dabei fließenden Strom regelt die Batterie selbsttätig durch ihren veränderlichen Innenwiderstand.

IU KENNLINIE: (CCCV - CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE)

Eine Bleibatterie sollte Grundsätzlich mit Konstantspannung (U-Kennlinie) geladen werden. In der Praxis sind Ladegeräte meistens nicht in der Lage ausreichend Strom zu liefern, um den Bedarf einer entladenen Bleibatterie zu Decken. Dadurch ergibt sich eine IU-Kennlinie (*Abbildung 6*) D.H. zu Beginn der Ladung Läuft das Ladegerät mit maximaler Leistung und gibt damit den maximal möglichen Strom ab (z.B. 10A) in dieser Phase wird also mit Konstant Strom geladen (I-Phase). Währenddessen steigt die Klemmenspannung der Batterie, mit fortschreitender Ladung, langsam an, bis die Soll-Ladespannung erreicht ist. Diese Ladespannung wird nun weiterhin angelegt. (U-Phase). Mit weiterem Ladungseintrag steigt der Ladezustand (SOC-State of Charge) an, und die Stromaufnahme der Batterie sinkt ab. Dieser Prozess ist nicht linear. Je voller die Batterie wird, desto langsamer sinkt der Strom ab. Eine Bleibatterie kann Theoretisch nicht „Voll“ geladen werden. In der Praxis gilt eine Bleibatterie als Vollgeladen, wenn der Ladestrom unter $C/100$ sinkt. Bei einer 100Ah Batterie also $I < 1A$.

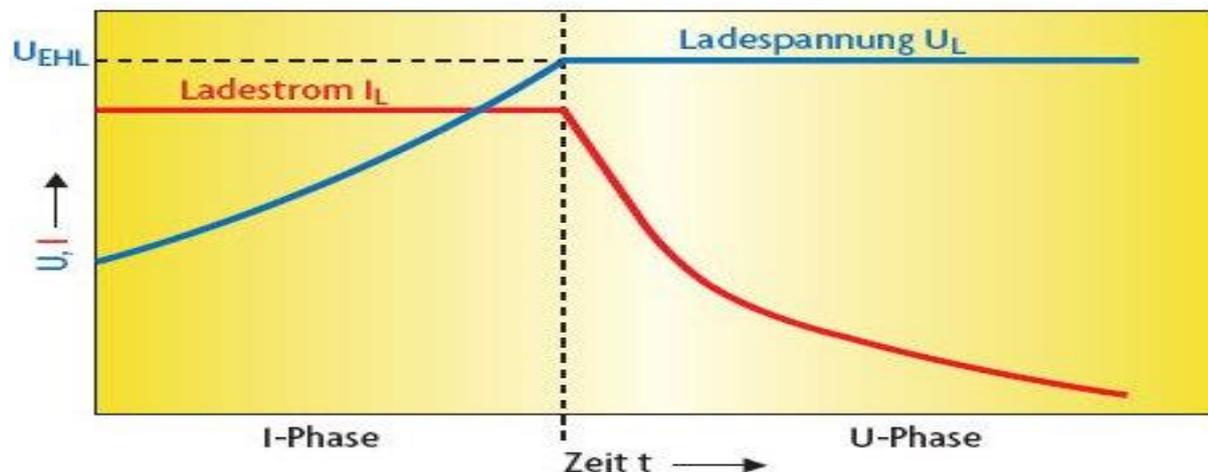


ABBILDUNG 6: IU LADEKENNLINIE [ELE01]

Bei dieser Simplen Art der Ladesteuerung ist die Ladespannung gleich der Ladeschlußspannung und der EHL (Erhaltungsladung) Spannung.

Sofern diese der Temperatur und dem Alter der Batterie angepasst ist, kann die Ladung durchaus auch unbeaufsichtigt Stattfinden, bzw. dauerhaft erfolgen, wie z.B. in USVs (**U**nterbrechungsfreie **S**trom **V**ersorgung).

Nachteilig an diesem Verfahren ist die Tatsache, dass die Spannung in der U-Phase gering genug gehalten werden muss um Gasung oder übermäßige Gitterkorrosion zu verhindern.

Bei diesem Verfahren kann eine schnellere Aufladung nur durch ein leistungsstarkes Ladegerät realisiert werden. Durch eine höhere Amperezahl zu Beginn der Ladung, kann die gesamt-Ladezeit stark verkürzt, bzw. die eingeladene Kapazität pro Zeit erhöht werden.

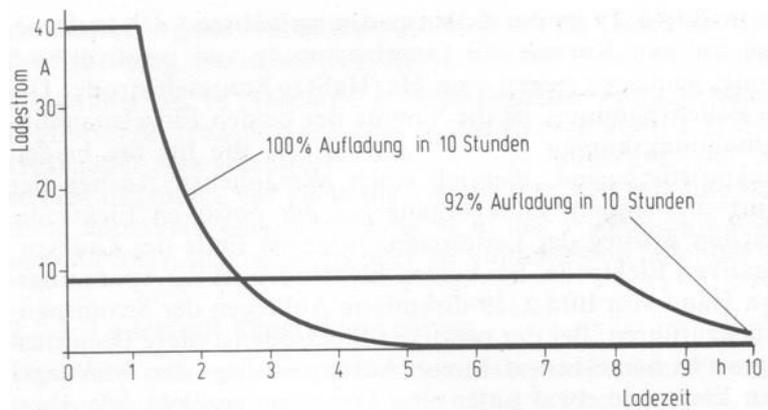


ABBILDUNG 7: VERGLEICH 9A / 40A LADEGERÄT [YAC01]

Die Fläche unter den Kurven entspricht der eingeladenen Kapazität.

Bei einer Anfangsladung von 40A ist die U Phase bereits nach ca. 1,5 Std. erreicht, Bei einer I-Phase von nur 9A benötigt das Ladegerät dagegen schon 8 Std. um ausreichend Kapazität einzuladen, um die Batteriespannung auf die Ladespannung zu bringen.

Wie man an dem Diagramm in *Abbildung 8* erkennen kann, ist die Batterie bei geringer Leistungsfähigkeit des Ladegeräts auch nach 10 Stunden immer noch nicht Vollständig geladen. Bei hoher Leistung dagegen, ist etwa der gleiche SOC bereits nach 4,5 Stunden erreicht.

Zu beachten ist hierbei dass beide Ladegeräte mit der gleichen Ladespannung in der U-Phase arbeiten, das Endergebnis unabhängig vom Zeitfaktor also das gleiche ist.

Wenn Zeit keine Rolle spielt, ist ein schwaches Ladegerät also durchaus auch in der Lage eine große Batterie zu Laden, da keine Vollladungserkennung nötig ist

Die einzig Limitierenden Faktoren für diese Lademethode sind die Zeit, und die Selbstentladung der Batterie. Wenn diese größer oder gleich der Ladegerätleistung ist, ist eine Ladung nicht mehr möglich. Hierbei ist nicht nur die Größe der Batterie (Batteriebank) entscheidend, sondern auch das Alter der Batterie(n), da mit steigendem Alter sowohl die Selbstentladerate als auch der Innenwiderstand zunimmt. Die Kapazität hingegen nimmt durch Abschlämmung, Isolation von Aktivmasse und Sulfatierung ab.

Bei diesem Ladeverfahren handelt es sich um eine erweiterte IU Kennlinie.

Wie beim IU Ladeverfahren wird Anfangs mit Konstantem Strom geladen, der durch den Innenwiderstand der Batterie und der Leistungsfähigkeit des verwendeten Ladegerätes bestimmt wird. Nach Erreichen der Ladespannung sinkt auch hier der Ladestrom ab bis die Ladeschlußspannung erreicht ist. (Abbildung 8: $t_0 - t_2$)
 Ab diesem Zeitpunkt unterscheidet sich diese Ladekennlinie von der reinen IU Ladung. Es wird nun mit erhöhter Spannung weitergeladen (Abbildung 8: $t_2 - t_3$)

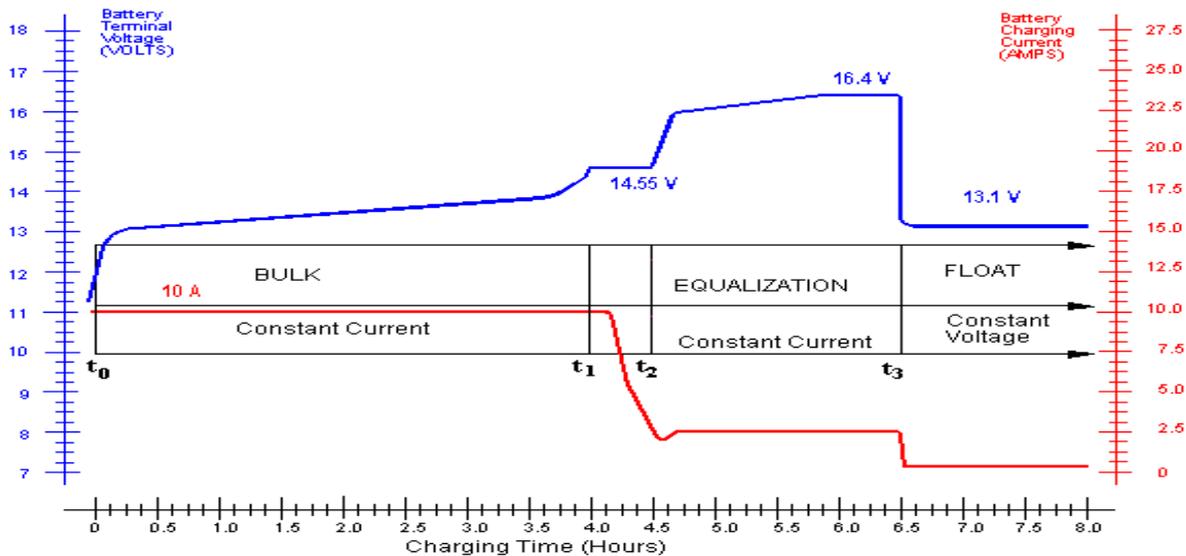


ABBILDUNG 8: IUOUOU KENNLINIE [DVD01]

Dies führt zur Angleichung des Ladezustands der einzelnen Zellen. Bei Bleiakku ist dies ohne Balancer, wie er z.B. bei Lithium-Zellen benötigt wird möglich, da bei einem Bleiakku bei Überladung der bereits vollen Zellen, die überschüssige Energie dazu benutzt wird um Wasser Elektrolytisch Aufzuspalten, ohne das Elektrodenmaterial sofort irreversibel zu beschädigen. Während die Zellen mit geringerer Ladung, Zeit haben ebenfalls Voll zu Laden.

Natürlich darf diese hohe Spannungslage nicht zulange anliegen, da durch die verstärkte Gasung natürlich die Rekombinationsfähigkeit des Akkus an seine Grenzen kommt. Weiters findet durch die hohe Spannung natürlich auch verstärkte Gitterkorrosion statt. Ein weiterer Positiver Effekt ist die Beseitigung von Säureschichtung durch die starke Bläschenbildung bei der Überladung.

Daher kann man sagen dass diese Lademethode ausschließlich bei offenen bzw. verschlossenen Nass-Batterien Sinnvoll eingesetzt werden kann.

Nach Beendigung der zweiten U-Phase wird die dritte U-Phase mit Reduzierter Spannung eingeleitet. (Abbildung 8: ab t_3) Dies ist die Erhaltungsspannung der Batterie, und kann praktisch unbegrenzt anliegen ohne nennenswerte Gasung oder Gitterkorrosion zu Verursachen. Sie verhindert praktisch nur die Selbstentladung, trägt jedoch nicht mehr zum Kapazitäts-Eintrag bei. Die Ladung kann völlig Unbeaufsichtigt erfolgen.

Die Vorteile werden allerdings durch erhöhten Verschleiß der Batterie erkauft.

Zusätzlich muss das Ladegerät genau auf die zu ladende Batterie eingestellt werden, da andernfalls die Umschaltsschwellen zwischen den Ladephasen nicht korrekt festgestellt werden können, und die Batterie würde beschädigt, bzw. zerstört.

Außerdem sollte die Batterie während einer IUoUoU Ladung nicht benutzt werden.

Bestenfalls sollte sie Abgeklemmt geladen werden. Sollten während des Ladevorgangs Verbraucher einschalten, würde sich die Polspannung verringern. Das Ladegerät könnte diesen Spannungsabfall als Batteriedefekt einstufen, und die Ladung unterbrechen. Man hätte am nächsten Tag keine Vollgeladene, sondern eine Tiefentladene Batterie.

Schlimmstenfalls würde das Ladegerät den Spannungsabfall gar nicht als solchen erkennen, sondern die Batterieladung als ungenügend werten und zurück auf die Ausgleichsladung schalten. In diesem Fall würde die Batterie permanent mit der hohen U₂ Spannung geladen. Starke Gasung und Gitterkorrosion wären die Folge. Eventuell sogar ein Thermisches Durchgehen, sofern das Ladegerät nicht über eine Temperaturüberwachung verfügt.

PULSLADUNG

Die Pulsladung hat nicht den Zweck eine Bleibatterie Voll zu Laden, sondern wird benutzt um Sulfatierung zu beseitigen.

Da gewachsene Bleisulfat-Kristalle nicht aktiv an der normalen Ladung teilnehmen können, müssen sie zuerst gespalten werden um ihre Oberfläche zu vergrößern. Da dies nur durch hohe Spannung möglich ist, würde die Batterie bei Anlegen einer so hohen Spannung unweigerlich innerhalb kürzester Zeit zerstört.

Die Lösung sind also extrem hohe Spannungsimpulse, (*Abbildung 9*) die aber kurz genug sind das keine Gasung auftritt und auch keine Nennenswerte Gitterkorrosion.

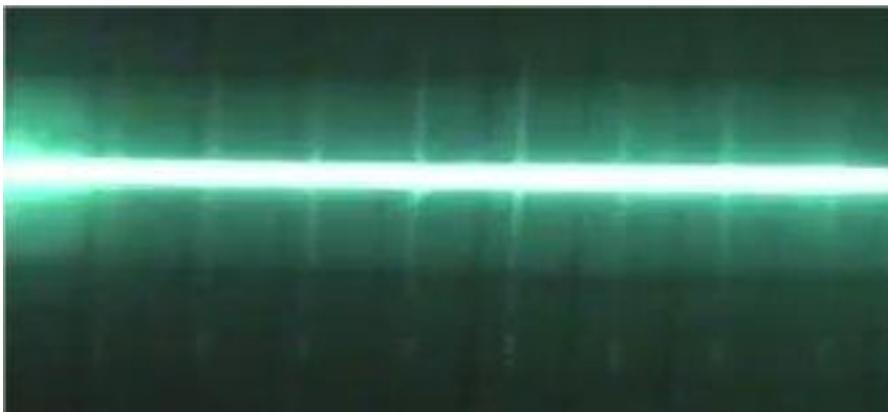


ABBILDUNG 9: OSZILLOSKOPDARSTELLUNG EINER PULSLADUNG [YOU01]

Ein Herkömmliches Ladegerät ist nicht in der Lage solche Nadelimpulse zu erzeugen. Auch die Desulfatierungs-Funktion handelsüblicher Ladegeräte ist dafür nur bedingt geeignet. Wenn die Sulfatierung schon zu weit fortgeschritten ist, sind sie dafür gänzlich ungeeignet.

Ein entsprechendes Puls-Ladegerät erzeugt Nadelimpulse von >50V und nur wenigen Mikrosekunden Dauer, bei einer Frequenz von 5-10 kHz.

Dies wird durch Induktive Entladung einer geladenen Spule erreicht, ähnlich wie bei einer Zündspule.

Durch die geringe Dauer der Impulse ist trotz der hohen Spannung die eingeladene Kapazität extrem gering. Solche Pulser haben im Normalfall eine Stromaufnahme von nur ca. 1W. Entsprechend gering ist der mittlere Ladestrom. Eine stark Sulfatierte Batterie zu regenerieren kann mitunter mehrere Wochen dauern!

Um dieses Ladeverfahren Optimal zu nutzen, ist die Batterie vor Beginn der Pulsladung erstmal mit einem normalen IU Ladegerät voll zu laden, um möglichst viel feinkristallines Bleisulfat in Blei und Bleidioxid umzuwandeln. Erst danach wird der Pulser angeschlossen.

Dieses Ladeverfahren darf Ausschließlich bei abgeklemmter Batterie benutzt werden, da die Nadelimpulse große Schäden an Steuergeräten und Bordelektronik verursachen können.

Die Anschlusskabel müssen möglichst Kurz und mit hohen Querschnitten ausgeführt sein, um die Dämpfung der Impulse gering zu halten.

ENTLADUNG DER BLEIBATTERIE

Ebenso wie bei der Ladung, ist auch bei der Entladung der Batterie, nicht davon auszugehen, dass man den eingeladenen Strom wie aus einem Tank wieder entnehmen kann.

Bei der Entladung der Batterie spielt der „Peukert-Faktor“ eine wichtige Rolle.

Die Peukert Gleichung lautet:

$$I * t = C20 * \left(\frac{I20}{I}\right)^{k-1}$$

		Im Beispiel
I*t	Ist die aktuelle Kapazität	100Ah
C20	Ist die 20 Stunden Kapazität	100Ah
I20	Ist der 20 Stunden Strom	5A
I	Ist der aktuelle Strom	20A
k	Ist der Peukert Exponent	1,25

Für Blei-Säure Batterien liegt der „Peukert-Exponent“ bei 1,2 – 1,3

Bei einer Bleibatterie mit einer Kapazität von 100Ah kann bei einem Entladestrom von 5A (C20) eben 20 Stunden lang 5A entnommen werden bis sie Leer ist (Entladeschlußspannung)

Steigert man den Entladestrom nun auf 20A so sinkt die verfügbare Kapazität auf 70,7Ah. Das bedeutet dass die Batterie bereits nach 3,5 Stunden ihre Entladeschlußspannung erreicht hat.

Bei einer Stromentnahme von 300A (z.B. der Startermotor) hat die 100Ah Batterie nur noch eine Kapazität von 36Ah und ist nach wenigen Minuten völlig entladen.

Ein Teil dieser „verlorenen“ Kapazität wird durch Elektrochemische und Osmotische Prozesse innerhalb der Batterie wieder regeneriert, ein Großteil jedoch in Wärmeenergie umgewandelt.

Aus diesem Grund ist es relativ schwierig eine exakte Angabe über die Verbleibende Kapazität zu machen, wie es z.B. bei einer Tankanzeige möglich ist.

Zur Veranschaulichung:

Wenn ein Motor im Leerlauf ist, hat man einen 100 Liter Tank und einen Verbrauch von 0,5l/Std. Wenn man Vollgas gibt verbraucht der Motor nun 30 l/Std. Gleichzeitig wären im Tank aber nur noch 10 Liter!

Heutige hochwertige Batteriemonitore arbeiten mit einem Mess-Shunt, der die jeweils eingeladenen und entnommenen Ströme misst und summiert. Da natürlich auch die Spannung permanent überwacht wird, kann (bei entsprechend programmiertem Peukert-exponent) die verbleibende Kapazität recht genau ermittelt und angezeigt werden. Das täuscht leider oft zu große Sicherheitsreserven vor. Wenn plötzlich hohe Stromstärken benötigt werden, versagt auch dieses Instrument:

100%...90%...80%...70%...30%...Leer!!

BEURTEILUNG DER BLEIBATTERIE

Die Beurteilung einer Bleibatterie ist in der Praxis nur sehr schwer, um nicht zu sagen unmöglich.

Natürlich muss der äußere Zustand der Batterie einwandfrei sein.

Zu achten ist vor allem auf Säureaustritt durch undichtes/beschädigtes Gehäuse. In diesem Fall muss die Batterie unbedingt ersetzt werden. Oder Säurespuren an den Zellenstopfen bzw. Druckventilen. Dies deutet auf starke Überladung oder starke Gasung durch Zellschluss hin. Auch in diesem Fall ist die Batterie bereits beschädigt. Vor allem muss in diesem Fall die Ladespannung überprüft werden.

Besonderes Augenmerk sollte auch auf die Batteriepole und die Polklemmen gerichtet werden. Sollten sie korrodiert sein, sind die Klemmen und die Pole zu reinigen, und anschließend mit Polfett zu schützen (nur außen, NICHT an den Kontaktflächen).

Oft zeigt sich auch ein Salzbelag am Pluspol. Dieser ist mit warmem Wasser leicht zu entfernen. Bei offenen Flüssigbatterien wurde möglicherweise etwas Säure auf den Pol gebracht. Allerdings entsteht er meist durch Austritt von Schwefelsäure durch Haarrisse zwischen Batteriepol und Gehäuse. Diese entstehen meist durch mechanische Belastung beim Ab- und Anklemmen der Batterie, oder unvorsichtiges Stapeln bei der Lagerung. Die Batterie gilt als undicht und ist zu ersetzen.

Abgesehen vom Äußerlichen Zustand der Batterie sind zwei entscheidende Faktoren bei der Beurteilung zu beachten.

Der Ladezustand der Batterie und der Allgemeine Zustand

LADEZUSTAND SOC (STATE OF CHARGE)

Um den Ladezustand einer Batterie zu beurteilen kann man entweder eine Messung der Klemmenspannung durchführen, oder eine solche der Säuredichte

Die Klemmenspannung der Batterie ist leider nur Aussagekräftig wenn der Einschwingvorgang abgeschlossen ist. Nach erfolgter Ladung finden an und in den Platten immer noch Osmotische Prozesse statt, die Klemmenspannung sinkt langsam ab, bis diese Oberflächenspannung abgebaut ist. Ebenso kann nach einer Entladung (insbesondere mit hohen Strömen) die Batterie sich innerhalb von einigen Stunden wieder Teilweise regenerieren. Hier steigt die Klemmenspannung langsam. Auch in diesem Fall sind Elektrochemische Prozesse im inneren der Bleiplatten verantwortlich. Zudem sind diese Prozesse auch noch Temperaturabhängig. Bei hohen Temperaturen laufen sie schneller ab und Vice Versa. Weiters muss beachtet werden, dass die Spannungen je nach Batterietyp Variieren können. Es muss also bekannt sein welche Spannung für den jeweiligen Typ (Antimon, Kalzium, CA-CA, Silber, EFB etc.) welchen Ladezustand bedeuten.

Eine Zuverlässige Aussage über den Ladezustand ist also erst nach mindestens 12 Stunden Standzeit der Batterie möglich, und auch nur wenn entsprechende Datenblätter des Herstellers vorliegen.

Eine Messung der Säuredichte unterliegt den gleichen Problemen, und noch zusätzlich weiteren Schwierigkeiten.

1. Ist die Säure bei heutigen Batterien nicht mehr zugänglich
2. Ist (wenn überhaupt) nur eine Messung an der Oberfläche möglich (Säureschichtung)

Zusammengefasst bedeutet das:

Es gibt nur eine Praktikable Möglichkeit den Ladezustand zu beurteilen. Voll-Laden!

Mit einem Leistungsstarken Ladegerät, mit entsprechender Ladespannung und ausreichender Ladedauer.

BATTERIEZUSTAND SOH (STATE OF HEALTH)

Der Allgemeine Zustand einer Bleibatterie ist, ebenso wie der Ladezustand, nur schwer festzustellen. Er hängt von mehreren Faktoren ab.

Einige gehören zur normalen Alterung der Batterie durch hohen Ladungsdurchsatz, andere werden durch Mechanische Beschädigung oder falsche Benutzung der Batterie verursacht.

Die in der Praxis wohl wichtigste Messgröße einer Batterie ist die Kapazität. Diese entspricht im Normalfall der Nennkapazität. Jedoch wird sie mit fortschreitendem

Alter der Batterie immer weiter abnehmen. Sei es durch Abschlämmung, Gitterbruch, oder Sulfatierung. In jedem Fall liegt ein Verlust von Aktivmasse vor.

Da ein Gitterbruch nur in einer Zelle stattfindet hat in diesem Fall eine Zelle weniger Kapazität als die anderen Fünf. Da die Zellen in Serie geschaltet sind, wird diese Zelle beim Entladen der Batterie unter die Tiefentladespannung fallen, das Bleisulfat wird, Bedingt durch sein größeres Volumen, die Zelle weiter beschädigen. Beim Ladevorgang, wird eben diese Zelle dann Überladen, da sie wesentlich weniger Ladung aufnehmen kann als die intakten Zellen. Zu der mechanischen Beschädigung kommt also noch erhöhter Wasserverlust und Gitterkorrosion dazu. Der Zellenschluss ist vorprogrammiert.

Die Sulfatierung verhindert ebenfalls eine vollständige Nutzung der Kapazität. Diese kann aber durch entsprechende Behandlung mit einem Pulsladegerät wieder rückgängig gemacht werden.

Abschlämmung ist ein normaler Prozess bei hohem Ladungsdurchsatz. Mikrofeiner Bleistaub fällt aus den Platten aus und sinkt in den Schlammraum. Diese Masse ist natürlich ebenfalls nicht mehr als nutzbare Kapazität verfügbar. Auch dieser Vorgang ist Irreversibel. Er ist, ebenso wie die Gitterkorrosion, ein natürlicher Alterungsprozess der Bleibatterie.

Wie kann man nun die tatsächliche Kapazität einer Bleibatterie herausfinden?

Durch Messen.

Die Batterie wird Vollgeladen, und mit einem definierten Strom (z.B. C20) Entladen. Aus der Zeit bis zum Erreichen der Entladeschlusspannung kann man so die Kapazität errechnen. Der komplette Vorgang sollte bei 20°C stattfinden, um Korrekte und Vergleichbare Werte zu erhalten.

Allerdings bedeutet ein kompletter Zyklus natürlich Stress für die Batterie, sollte also nicht zu oft durchgeführt werden. Besonders Hochstromfähige Batterien können durch eine solche Entladung bereits Irreversibel beschädigt werden.

Bei Starterbatterien kommt hier auch noch die Fähigkeit hinzu, den Motor auch bei Winterlichen Bedingungen starten zu können. Zur Feststellung dieser Fähigkeit sind verschiedene Normen entwickelt worden, um Batterien besser vergleichen zu können. In jedem Fall werden die Batterien auf die vorgegebene Temperatur abgekühlt, und anschließend mit einem genau definierten Strom belastet. Die Klemmenspannung darf den mindestwert bis zum Ende der Belastung nicht unterschreiten.

Kälteprüfstrom:

Norm	Temperatur	Testzeit	Endspannung
SAE/CCA	-18°C	30s	7,2V
DIN 43 539	-18°C	30s	9V
IEC 95-1	-18°C	60s	8,4V
EN 60095-1	-18°C	10s	7,5V
MCA (Marine Crank Amps)	0°C	30s	7,2V

Diese, auf der Batterie angegebenen Werte geben nur die Leistung einer neuen Batterie wieder. Bei einer gealterten oder bereits vorgeschädigten Batterie können diese Werte wesentlich niedriger liegen.

ALTERUNG UND DEFEXT VON BLEIBATTERIEN

GITTERKORROSION

Die wohl häufigste Alterungserscheinung eines Bleiakkus ist die Gitterkorrosion.

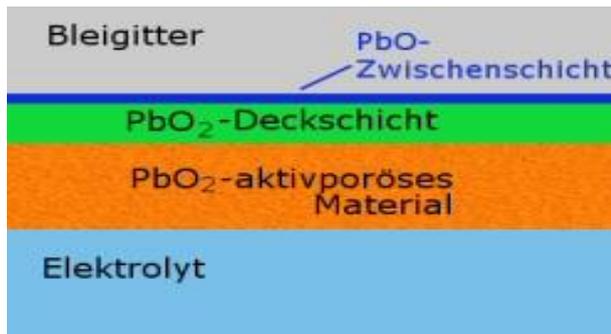


ABBILDUNG 10: POSITIVE GITTERPLATTE [MIC02]

Bei der zyklischen Benutzung eines Bleiakkus wird bei der Entladung das Bleidioxid der positiven Platte in Bleisulfat umgewandelt, und bei der anschließenden Aufladung wieder zurück zu PbO_2 . Aus physikalischen Gründen kann Blei nicht direkt neben Bleidioxid existieren, also bildet sich eine dünne Grenzschicht aus Bleimonoxid dazwischen aus. (Abbildung 10)

Durch oftmalige zyklische Belastung der Platten, nimmt auch das Hartblei-Gitter am elektrolytischen Prozess teil, und verwandelt sich in Bleidioxid.

Dieser Effekt ist zu Beginn durchaus positiv zu sehen, da durch die Erhöhung der PbO_2 -Masse die aktiv am Prozess beteiligte Menge erhöht, steigt die Kapazität der Batterie sogar an.

Allerdings werden durch den Umwandlungsprozess auch die Legierungsbestandteile des Gitterbleis freigesetzt. Diese haben massiven negativen Einfluss auf das chemische und physikalische Gleichgewicht der Zelle. Antimon wandert zur negativen Platte und senkt dort die Wasserstoffgasungsschwelle ab. (Antimonvergiftung) Bei neueren Zellen wird anstelle von Antimon, Kalzium verwendet. Wenn dieses zur negativen Platte gelangt, erhöht sich an dieser die Selbstentladung.



ABBILDUNG 11: VOLLSTÄNDIG KORRODIERTE GITTERPLATTE [MIC03]

Mit den Jahren dringt das Bleidioxid immer weiter in das Gitterblei vor. (Abbildung 11) Es ist nicht nur wesentlich brüchiger und poröser als das ursprüngliche Blei, sondern hat auch das ca. 1,4-fache Volumen. Dadurch kommt es zu massiven mechanischen Belastungen des Gitters. Durch Verformung fällt immer mehr Aktivmasse aus dem Verbund und steht somit nicht mehr als Kapazität zur Verfügung. Im Endeffekt bricht das Gitter.

Somit ist die elektrische Verbindung zu großen Teilen der Aktivmasse unterbrochen. Die Batterie ist unweigerlich defekt.

ABSCHLÄMMUNG/SHEDDING

An der Negativen Elektrode wird während der Entladung aus Schwammigem Blei Bleisulfat (PbSO_4) gebildet. Da dieses das fast dreifache Volumen benötigt, kommt es auch an der Negativen Platte zu hohen Mechanischen Belastungen. Dadurch wird bei jeder Entladung und anschließender Ladung feinstes Aktivmaterial aus dem Plattenverbund gedrückt. Dieses sinkt nach unten in den Schlammraum und steht nicht mehr als Aktivmasse zur Verfügung.



ABBILDUNG 12: ABSCHLÄMMUNG AM ZELLENSTOPFEN [MIC04]

Wenn die Abschlämmung während der Ladeperiode stattfindet, wird das Material oft durch die aufsteigenden Gasbläschen mit nach oben gerissen. Wenn die Bläschen an der Elektrolyt Oberfläche zerplatzen, wird das Material nach oben gespritzt und legt sich am Gehäuse und den Zellenstopfen an. (Abbildung 12)

Wenn Zellenstopfen so Aussehen, ist die Batterie durch hohen Ladungsdurchsatz und hohe Ladespannungen bereits stark gealtert.

SULFATIERUNG

Die Sulfatierung ist genau genommen keine Alterung des Akkus, sondern entsteht durch Fehlbehandlung.

Während der Entladung einer Blei-Säure Zelle entsteht Feinst kristallines Bleisulfat, das sich durch seine große Oberfläche im Verhältnis zum Volumen gut wieder zurück in Blei und Bleidioxid verwandeln lässt.

Sollte eine Batterie nun Teilweise oder vollständig entladen sein, und länger in diesem Zustand belassen werden, beginnen diese Mikrokristalle zusammen zu Wachsen. Dadurch verschlechtert sich das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche merklich. Eine Rückverwandlung zu den Ausgangsstoffen ist mit herkömmlichen Ladegeräten oder gar der Lichtmaschine nicht mehr möglich. Die Bleisulfat-Kristalle sind nicht mehr Teil der Aktivmasse.

Hand in Hand mit der Sulfatierung geht auch die Dendriten Bildung.

Bleisulfat ist in Schwefelsäure nicht löslich, sehr wohl aber in Wasser. Wenn eine Batterie nun sehr weit entladen ist, sinkt die Säuredichte weit ab. In unmittelbarer Umgebung der Umsetzung kann sich sogar fast reines Wasser bilden. Hier beginnen die Sulfatkristalle in Lösung zu gehen, und werden durch Diffusion abtransportiert. Während der Ladung steigt die Säuredichte wieder an, und das Bleisulfat fällt aus der nun gesättigten Lösung aus. Bei herkömmlichen Nass-Batterien ist „nur“ das Material verloren, da es in den Schlammraum fällt, Bei AGM Batterie hingegen bleibt es im verfilzten Glasvlies hängen und kann Kristallnadeln, so genannte „Dendriten“ bilden, die bis zur gegenüberliegenden Platte reichen, und dadurch einen Zellschluss verursachen.

Eine Bleibatterie im Kfz wird praktisch immer an Sulfatierung leiden, da es im Normalbetrieb nicht möglich ist, den Akku Vollständig aufzuladen. Wie oben beschrieben, dauert eine Vollladung mehrere Stunden, Wenn die Fahrt (also die Laufzeit der Lichtmaschine) kürzer ist, kann noch Bleisulfat in den Zellen vorhanden sein, dass noch nicht umgewandelt wurde.

Nach dem Abstellen des Fahrzeugs wird von der Bordelektronik weiter Strom verbraucht. Bei modernen Fahrzeugen kann man von einem „Ruhestrom“ vom ca. 50mA ausgehen. Die zu diesem Zeitpunkt schon nicht Vollgeladenen Zelle wird also weiter entladen. Das Sulfatwachstum dadurch begünstigt. Außerdem wird durch diese permanente Stromentnahme auch ein hoher Ladungsdurchsatz erzeugt, der die Batterie weiter schneller altern lässt (Gitterkorrosion). Einzige Abhilfe: Regelmäßiges externes Laden der Batterie mit einem entsprechenden Ladegerät über eine ausreichende Zeit.

Verschärft wird diese Situation durch heutige BMS (**B**atterie-**M**anagement-**S**ystem) Diese müssen um eine Rekuperation zu ermöglichen, die Batterie auf ca. 70-75% SOC also Teilentladen halten. Genau das sollte man aber, um Sulfatierung zu vermeiden, eben nicht machen.

SÄURESCHICHTUNG

Die Säureschichtung ist Simple Physik. Schwefelsäure mit hoher Dichte ist natürlich schwerer als solche mit geringerer Dichte, daher sinkt sie nach unten. Die Wässrige Säure hingegen steigt nach oben. Somit kann die Batterie nicht mehr Voll geladen werden, und die Sulfatierung wird gleich durch Zwei Mechanismen gefördert. (Teilentladung und Säurekonzentration)

Säureschichtung betrifft vor allem Starterbatterien. Da die Stromaufnahme des Anlassers bei niedrigen Temperaturen nahe am Kurzschlußstrom liegt. Die Gitterplatten der Batterie haben zwischen oberem und unterem Plattenrand einen sehr geringen, aber doch Nennenswerten Ohm'schen Widerstand. Somit Trägt der obere Plattenrand wesentlich mehr zur Strombereitstellung bei als der untere Rand. Also wird auch oben mehr Bleisulfat umgesetzt und die Säuredichte fällt weiter ab. Beim Wieder Aufladen der Batterie sind die Ströme wesentlich geringer und verteilen sich gleichmäßig über die Platte. Nun hat der untere Teil der Platte aber wenig Ladung abgegeben, zieht die Klemmenspannung also relativ früh wieder hoch. Durch diesen Effekt ist die Klemmenspannung höher als sie es laut gesamt-Ladezustand der Batterie sein dürfte. Durch die hohe Klemmenspannung sinkt der Ladestrom weiter ab. (IU-Linie) Durch die ohnehin schon kurzen Ladezeiten im Kfz kann die Teilentladung nicht beseitigt werden. Bei jedem Startvorgang wird diese Situation noch verschlimmert.

Während der Standzeit findet im unteren Bereich der Platten, durch die hohe Säurekonzentration, dagegen eine Sulfatierung statt, obwohl dieser Bereich als Vollgeladen gilt. Im oberen Bereich wachsen die Sulfatkristalle hingegen da die Platten hier nur Teilgeladen sind.

Erschwerend zu diesen Problemen kommt noch das Kälteverhalten der Säure hinzu. Eine Vollgeladene Batterie hat eine Säuredichte von 1,28kg/l. Bei dieser Säuredichte liegt der Gefrierpunkt bei -68°C. In einer entladenen Batterie beträgt die Säuredichte nur noch 1,12kg/l. Hier ist der Gefrierpunkt nur noch ca. -11°C. Durch die starke Volumensänderung von Wasser beim Gefrieren, ist eine Mechanische Zerstörung der Batterie unausweichlich. Wenn das Gehäuse beschädigt wird droht im Falle des Wieder Auftauens sogar vollständiger Säureaustritt.

WASSERVERLUST

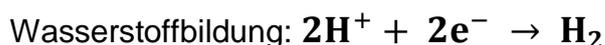
Sollte, aus welchen Gründen auch immer, (übermäßige Gasung, geöffnetes Druckventil, undichtes Gehäuse) der Säurestand unter die Plattenobergrenze sinken, kommen die Plattenpakete mit der Umgebungsluft in Kontakt. Das Blei der Negativen Platte oxidiert relativ schnell zu Bleimonoxid und Bleidioxid. Da die Positive Platte ebenfalls aus diesem Material besteht, ist keine Elektrochemische Spannungsdifferenz mehr vorhanden. Es kann kein Ladungseintrag oder Ladungsentnahme mehr stattfinden. Das Material ist als Aktivmasse verloren. Der Prozess ist Irreversibel, da in der geschlossenen Batterie keine erneute Formatierung möglich ist. Die Batterie ist Defekt.

SELBSTENTLADUNG

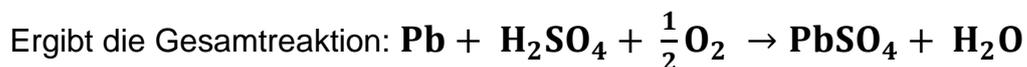
Die Selbstentladung einer Bleibatterie beträgt ca. 1-60%/Monat, abhängig von Batterietyp und Temperatur. Bei hohen Temperaturen läuft jeder Chemische Prozess schneller ab, also auch jene die zur Selbstentladung führen. Bei einer Temperatur von 35°C ist die Selbstentladung beinahe doppelt so hoch als bei 20°C.

Der Grund für die Selbstentladung sind Teile der im inneren der Batterie stattfindenden Nebenreaktionen. Einige davon laufen immer ab, unabhängig davon ob Ladung oder Entladung stattfindet, bzw. die Batterie überhaupt Angeklemmt ist.

Nebenreaktionen an der Negativen Elektrode:



Sauerstoffreduktion: Im Elektrolyt vorhandener Sauerstoff wird Reduziert



Da die Sauerstoffdiffusion aus Schwefelsäure recht gering ist, ist diese Reaktion bei Nass-Batterien zu Vernachlässigen. Bei verschlossenen Batterien, wo Gaskanäle zwischen den Elektroden existieren, ist die Diffusionsgeschwindigkeit so hoch, dass der Sauerstoffzyklus zur wichtigsten Nebenreaktion wird.

Nebenreaktion an der Positiven Elektrode:



Bei Kobaltverunreinigungen im Elektrolyt kann die Sauerstoffentwicklung stark beschleunigt werden. Weiters ist die Reaktionsgeschwindigkeit stark von der Gitterlegierung abhängig.

Bei Nass-Batterien entweichen sowohl Sauerstoff als auch Wasserstoff in Form von Bläschen an die Oberfläche (Gasung) und Rekombinieren dort wieder zu Wasser.

Bei Festgelegtem Elektrolyt gelangt der Sauerstoff direkt durch die Gaskanäle zur Negativen Elektrode und wird dort Reduziert.

Einzig die Sauerstoffreduktion findet ohne Elektronenfluss statt, und stellt damit die Selbstentladung.

Ohne Stromentnahme wird die Negative Elektrode von Blei zu Bleisulfat umgewandelt, und gleichzeitig die Säuredichte durch Eintrag von Wasser Reduziert. Die Positive Elektrode ist von dieser Umwandlung nicht betroffen. Es ergibt sich also ein Elektrochemisches Ungleichgewicht in der Zelle, da bei einer normalen Entladung beide Platten zu Bleisulfat würden. Eine durch Selbstentladung entladene Batterie kann, aufgrund ihres hohen Innenwiderstandes, nur mit geringen Strömen geladen werden. Das bedeutet, je nach Kapazität und (Selbst)entladegrad eine lange Ladedauer, bis das Bleisulfat vollständig Rückverwandelt wurde.

LAGERUNG DER BLEIBATTERIE

Was macht man mit einer Bleibatterie wenn sie längere Zeit (z.B. Winter) nicht benutzt wird?

Es muss sichergestellt sein, dass sie nicht Sulfatiert, und die Selbstentladung möglichst gering gehalten wird.

Die Selbstentladung ist einfach zu minimieren, da sie Temperaturabhängig abläuft. Also reicht es die Batterie an einem Kühlen Ort zu Lagern. Viel entscheidender ist der Zustand in dem sie dort gelagert wird. Natürlich sollte sie Voll geladen werden, inklusive einer Ausgleichladung mit erhöhter Spannung, damit alle Zellen wirklich geladen sind. (IUoUoU Ladung). Der Elektrolyt sollte (wenn möglich) ergänzt werden (Destilliertes Wasser nachfüllen). Aber das Wichtigste ist die Sulfatierung zu verhindern. Das ist mit einem kleinen aber Simplen Trick durchaus möglich.

Nach der Ladung und des Einschwingvorgangs (Abbau der Oberflächenspannung) Muss nun Kurzzeitig (max. 10 Sekunden) ein hoher Strom entnommen werden. Auch wenn die Batterie nun nicht mehr Vollgeladen ist, hat diese Vorgehensweise durchaus Sinn. Durch die hohe Stromentnahme bilden sich sowohl auf der Positiven wie auch auf der Negativen Platte extrem viele, extrem kleine Bleisulfat-Kristalle. Diese können nun als Unmengen Kristallisationskeime betrachtet werden. An Stelle von wenigen Riesenkristallen, die nur Schwierig zu beseitigen sind, wachsen nun sehr viele kleine Kristalle. Durch ihr günstiges Volumen/Oberflächen - Verhältnis sind

sie bei Wieder Inbetriebnahme der Batterie durch Ladung mit einem handelsüblichen Ladegerät einfach rückzubilden.

Eine weitere Möglichkeit wäre, die Batterie zwischendurch immer wieder aufzuladen. Etwa einmal monatlich. Dies würde allerdings auch erhöhten Ladungsdurchsatz und damit Alterung der Batterie bedeuten. Außerdem steht der Aufwand in keinem Verhältnis zum Nutzen.

Natürlich gibt es am Markt auch eine große Auswahl an Erhaltungs-Ladegeräten. Eine permanente Erhaltungsladung sollte allerdings nur in Erwägung gezogen werden, wenn unbedingt, zu jeder Zeit, eine vollgeladene Batterie zur Verfügung stehen muss. Dieser Fall wäre eine USV (**U**nterbrechungsfreie **S**trom **V**ersorgung) Permanentes Laden bedeutet permanenten Ladungsdurchsatz, permanente Gasung, permanente Gitterkorrosion. USV-Batterien sind nach maximal 3 Jahren defekt, und müssen ersetzt werden, ohne benutzt worden zu sein.

ANSCHLUSSARTEN VON BATTERIEN

EINZELSCHALTUNG

In den meisten Anwendungsfällen ist es ausreichend eine einzelne, entsprechend dimensionierte Batterie einzusetzen.

Diese wird als Gleichstromquelle einfach am Plus und Minuspol mit dem Fahrzeugnetz und der Masse verbunden. (*Abbildung 13*)

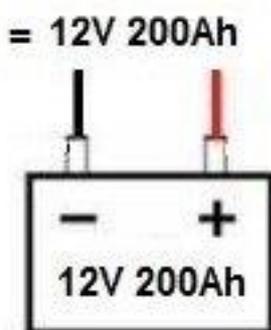


ABBILDUNG 13:
EINZELANWENDUNG [DVD01]

In dieser Konfiguration ist keine Startsicherheit oder Redundanz gegeben. Sollte die Batterie erschöpft sein, ist kein weiterer Betrieb der elektrischen Einrichtungen mehr möglich. Auch ein Starten des Motors um die Batterie durch die Lichtmaschine wieder aufzuladen ist nicht mehr möglich. Ohne Starthilfe bzw. externer Spannungsquelle, zum Aufladen der Batterie, ist das Fahrzeug nicht wieder in Gang zu setzen. Die einzige Möglichkeit zu verhindern, in eine solche Situation zu kommen, ist eine rechtzeitige Trennung der Verbraucher von der Batterie, bevor die Spannung soweit absinkt, dass ein Anlassen des Motors unmöglich wird.

In einigen Fällen ist es nötig, mehrere Batterien zu einem Batterieblock zu verbinden, um die Nennspannung, die Nennkapazität oder beides zu erhöhen.

Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten: Die Parallel-Schaltung oder die Seriell-Schaltung.

In beiden Fällen gibt es einige Regeln zu beachten.

PARALLELSCHALTUNG

Bei der Parallelschaltung werden zwei oder mehrere Batterien mit der gleichen Nennspannung parallelgeschaltet. D.H. alle Plus-Anschlüsse und alle Minus-Anschlüsse werden zu gemeinsamen Anschluss Punkten zusammengefasst wie in *Abbildung 14* gezeigt

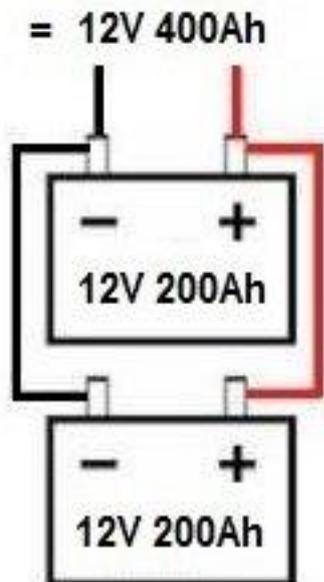


ABBILDUNG 14:
PARALLELSCHALTUNG [DVD02]

Bei der Parallelschaltung werden sowohl die Kapazität, als auch die Stromleistungsfähigkeit der Einzel Batterien Addiert. Es ist dabei völlig unerheblich welche Kapazitäten, oder welche Batterietechnologien zusammen geschaltet werden, solange sie die gleiche Nennspannung haben. Sollten eine 12V 100Ah Nass und eine 12V 50Ah AGM Batterie so verbunden werden, erhält man einen 12V 150Ah Batterieblock. Da sie (zwangsweise) immer die gleiche Polspannung aufweisen, sind sie auch immer im gleichen Lade/entladezustand. Dies ist der einzige Schwachpunkt dieser Schaltung. Sollte eine Hochstrombatterie mit einer Versorgerbatterie kombiniert werden, wird die Hochstrombatterie bei fortschreitender Entladung bereits geschädigt, während die Solarbatterie noch Strom liefern kann. Bei der Aufladung des Blocks teilt sich der Ladestrom aufgrund der gleichen Spannungslage ebenfalls auf alle Batterien auf, bis die Vollladung erreicht ist.

SERIENSCHALTUNG

Die Serienschaltung wird immer dann eingesetzt wenn eine höhere Spannung erforderlich ist, als die Nennspannung der Batterie. Oftmals ist diese Schaltung bei Lkw anzutreffen. Da die Anlasser dieser schweren Motoren eine hohe Stromaufnahme haben, müssten bei 12V Anlagen sehr dicke Kabel verwendet werden. Bei einer Verdoppelung der Spannung auf 24V, fließt auch die doppelte Leistung bei gleicher Stromstärke über das Kabel. Diese können somit wesentlich schwächer ausgeführt werden. In diesem Schaltungsfall wird jeweils ein Pluspol mit dem Minuspol der folgenden Batterie verbunden. Die Endpole sind dann die Abgriffpunkte. (*Abbildung 15*)

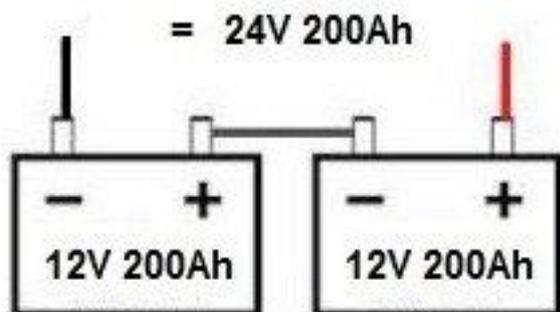


ABBILDUNG 15: SERIENSCHALTUNG [DVD03]

Bei der Serienschaltung ist es unbedingt erforderlich Batterien mit gleichen Spezifikationen zu verwenden. In diesem Fall nicht nur Die Angaben am Typenschild, sondern die Tatsächlichen Werte. Die Batterien in einer Serienschaltung sollten also Baugleich sein, und im besten Fall sogar aus derselben Charge, um eventuelle Herstellungsdifferenzen zu vermeiden. Wenn Batterien zu einer Serienschaltung

zusammengestellt werden, sollten ausschließlich neue Batterien verwendet werden, da gebrauchte Batterien, durch Alterungsprozesse, bereits veränderte Technische Daten aufweisen könnten, die sich im Betrieb Nachteilig auswirken. Eine 12V Batterie ist Prinzipielle eine Serienschaltung von 6 Zellen, die eben diesen Anforderungen entsprechen. Da bei Entladung oder Ladung nun durch jede einzelne Zelle der gleiche Strom fließt, würde eine Batterie mit weniger Kapazität völlig entladen werden, bis zum Umpolen der Zelle, während die größere Batterie immer noch Strom liefert. Dies würde die schwächere Batterie unweigerlich zerstören. Ebenso verhält es sich bei der Aufladung. Die schwächere Batterie würde schon lange Überladen und starker Korrosion unterliegen, während die stärkere Batterie noch nicht vollgeladen ist. Auch im Fall eines Defekts einer Batterie, müssen alle Batterien einer Serie erneuert werden, um Folgeschäden der anderen Batterien zu Vermeiden.

GRUPPENSCHALTUNG

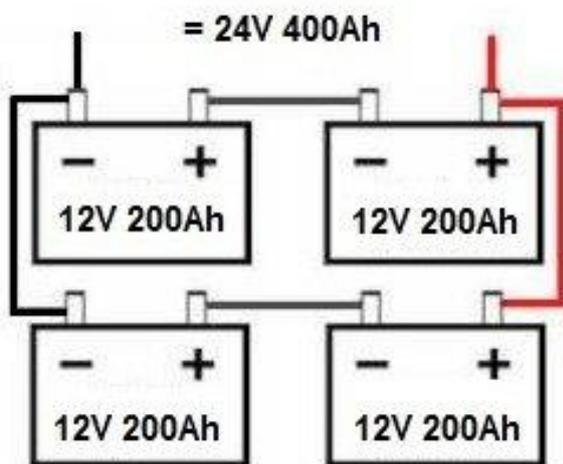


ABBILDUNG 16: GRUPPENSCHALTUNG [DVD04]

Die Gruppenschaltung wird verwendet um sowohl Kapazität als auch Spannung zu steigern. Hier werden mehrere Stränge Serienschalteter Batterien parallel geschaltet. (Abbildung 16)

Für die einzelstränge gilt die Behandlung als Serienschaltung (gleichwertige Batterien) bei der Parallelschaltung ist wiederum nur auf die Spannung zu achten. Diese Verschaltung wird oft bei Insel-Solaranlagen verwendet um höhere Spannungslagen (meist 48V) und gleichzeitig hohe Kapazitäten zu realisieren. In solchen Fällen wird meist

bereits mit Batterie-Management Systemen (Balancer) gearbeitet, um unterschiedliche Batteriezustände in den Seriellen Strängen auszugleichen.

Gemeinsam haben alle drei Schaltungsvarianten, dass sie wie auch die Einzelanwendung, keinerlei Startersicherheit oder Redundanz aufweisen. Dazu ist eine Batterietrennung erforderlich, die Sicherstellt, dass immer eine geladene Batterie zur Verfügung steht, um den Motor starten zu können.

BATTERIETRENNUNG

Diese sogenannten „Zwei-Batterie-Systeme“, werden oft in Einsatzwagen, wie Polizei, Rettung und Feuerwehr eingesetzt.

In diesem Fall wird das Fahrzeug selbst von einer Starterbatterie versorgt. An der Einsatzstelle wird aber der Motor abgestellt, und es steht keine Ladung der Lichtmaschine mehr zur Verfügung. In diesem Fall übernimmt die Versorgerbatterie die Stromversorgung für Beleuchtung, Funk, Computer und weitere Aufbaugeräte. Die Starterbatterie wird hiervon getrennt, damit kein Strom aus ihr gezogen wird. Dadurch ist sie zum Einsatzende noch immer Vollgeladen und in der Lage den Motor des Fahrzeuges zu Starten. Wenn die Lichtmaschine wieder Arbeitet, werden die Batterien verbunden und somit gemeinsam geladen.

Um zu verhindern dass die Starterbatterie während der Motor Standzeit entleert wird, gibt es mehrere Möglichkeiten:

Trenndioden:

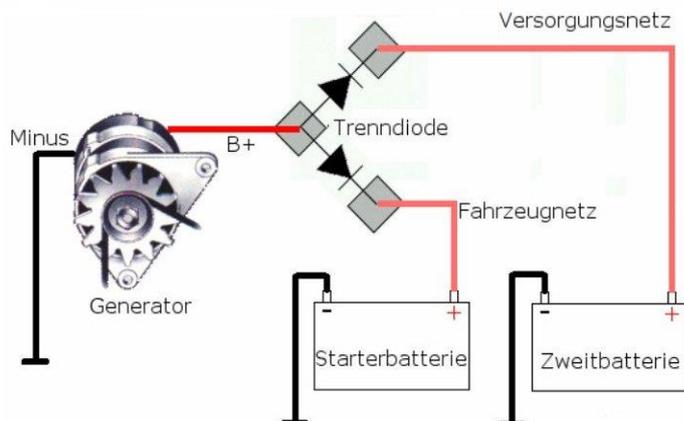


ABBILDUNG 17: TRENNUNG DURCH DIODEN [MIC05]

Die einfachste Variante ist der Einbau von Trenndioden. Diese ermöglichen den Stromfluss von der Lichtmaschine zu den Batterien um diese zu Laden, erlauben aber keine Stromentnahme aus der Starterbatterie, während die Versorgerbatterie benutzt wird. (Abbildung 17) Nachteilig an Trenndioden ist ihr

Spannungsabfall von 0,5-1V
Dadurch würden Batterien nicht

bis zur Ladeschlussspannung geladen, und dadurch Sulfatieren. Auch eine Anhebung der Ladespannung um eben diesen Spannungsabfall ist keine Option, da der Spannungsabfall abhängig vom fließenden Strom ist. Moderne Kfz mit BMS können damit nicht ausgerüstet werden. Sie werden heute praktisch nicht mehr verwendet, und gelten nicht mehr als Stand der Technik.

Trennrelais:

Eine weitere Möglichkeit um Startersicherheit zu garantieren ist die Verwendung eines Spannungsgeführten Trennrelais. (Abbildung 18)

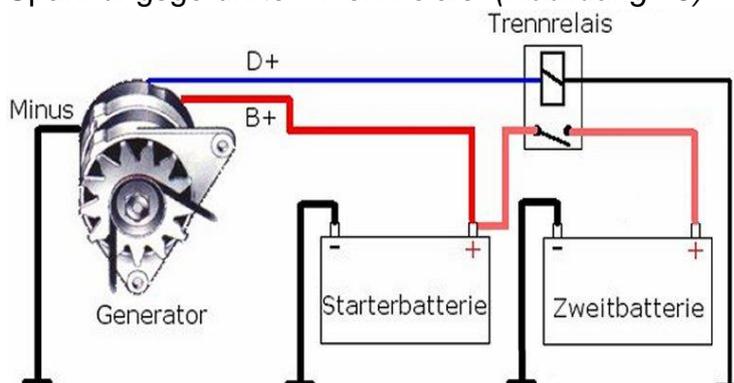


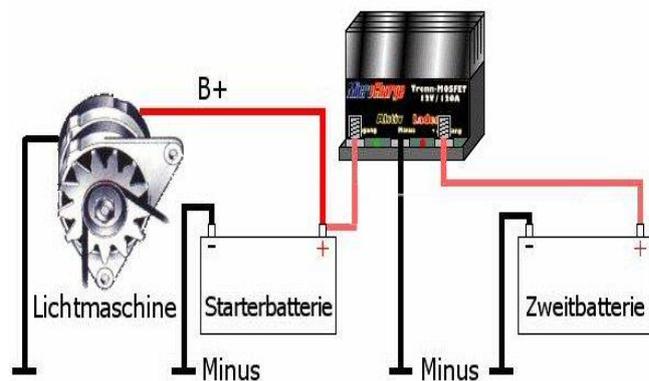
ABBILDUNG 18: TRENNUNG DURCH RELAIS

Bei dieser Schaltung wird das Relais bei anliegen einer Spannung an D+ (Lichtmaschine lädt) geschlossen. Dadurch werden die Batterien parallel geschaltet und gemeinsam geladen. Bei Abstellen des Motors fällt die Spannung am D+ Anschluss weg, das Relais fällt ab. Dadurch sind die Batterien getrennt. Es kann nur aus der Versorgerbatterie Strom entnommen werden. Die Starterbatterie kann nicht entladen werden, und steht somit zum Starten des Motors zur Verfügung. Nachteile dieser Schaltung sind das zusätzlich zu verlegende Kabel, und die Mechanische Anfälligkeit des Relais. Weiters besteht die Gefahr des Verschweißens der Kontakte bei hohen Strömen zwischen den Batterien. Auch dieses System kann bei BMS Ausgerüsteten Fahrzeugen nur bedingt verwendet werden, da die Lichtmaschine

vom Steuergerät geregelt wird und dadurch kein D+ Anschluss mehr vorhanden ist. Bei Fahrzeugen die Werksseitig mit Mehrbatteriesystemen ausgerüstet sind, kann das Relais allerdings direkt vom Steuergerät betätigt werden. Als Beispiel sind hier der Ford Transit und der BMW E38 750i anzuführen. Beim Transit ist eine Batterie einzig für den Antrieb des Anlassers zuständig, die zweite für die Restliche Fahrzeugelektrik. Im Fall des BMW ist nur eine kleine Batterie für die Elektrik vorhanden, und eine größere für Anlasser und Elektrische Katalysator-Vorheizung.

Trenn MOSFET:

Die wohl eleganteste wie auch Technisch am weitesten entwickelte Lösung zur Batterietrennung, und gleichzeitig auch die teuerste, ist der Trenn-MOSFET. Dieser



wird nur zwischen die beiden Batterien geschlossen, und an ein Masse-Potenzial. (Abbildung 19)

Der MOSFET ist ein Halbleiter Bauelement und somit keinerlei Mechanischem Verschleiß ausgesetzt. Eine Ansteuerung ist nicht nötig. Durch eine Integrierte Spannungsauswertung erkennt er selbsttätig ob eine Ladung erfolgt (Motor läuft) und verbindet die Versorger mit der Starterbatterie um beide zu Laden. Sollte die

ABBILDUNG 19: TRENNUNG DURCH MOSFET [MIC07]

Versorgerbatterie soweit entladen sein, oder der Strombedarf des Fahrzeugs so hoch sein, dass die Ladespannung aufgrund der hohen Stromaufnahme, unter einen bestimmten Grenzwert abfällt, wird die Versorgerbatterie auch bei laufendem Motor wieder getrennt um die Starterbatterie vorrangig laden zu können, bzw. den Strombedarf des Fahrzeugs decken zu können. Durch die völlig eigenständige Regelung können auch BMS Fahrzeuge mit diesem System Nachgerüstet werden. Weiters bringt dieses System auch den Vorteil einer Notstartmöglichkeit mit sich. Sollte die Starterbatterie leer oder defekt sein, kann der Trenn-MOSFET per Knopfdruck überbrückt werden, um mit der Aufbaubatterie den Motor zu Starten.

RESUMEE

Die Bleibatterie ist ein relativ alter, simpel aufgebauter, zuverlässiger und günstiger Energiespeicher, wenn man einige Grundlegende Regeln im Umgang mit ihr beachtet.

- Es ist immer die für den Verwendungszweck geeignete Technologie zu verwenden.
- Sie darf nicht überladen oder zu tief entladen werden.
- Sie sollte ihrem Verwendungszweck entsprechend Dimensioniert werden, im Bedarfsfall durch Serien, Parallel oder Gruppenschaltung erweitert.
- Defekte Batterien sind umgehend auszutauschen und entsprechend zu entsorgen.

- Die Ladung sollte nur mit einem für diesen Zweck geeigneten und der Batteriegröße angepasstem Ladegerät erfolgen.
- Eine erhöhte Ladespannung bei AGM oder CA-CA Batterien, wie sie oft von Ladegeräte-Herstellern angepriesen wird, ist nicht nötig. Da sie alle dem gleichen Chemischen Prinzip unterliegen, können sie auch alle mit der gleichen Ladeschlußspannung zur Vollladung gebracht werden.
- Eine erhöhte Ladespannung ist dagegen bei Zyklisch belasteten Batterien wünschenswert, um Sulfatierung entgegenzuwirken. Sie hat jedoch keinerlei Einfluss auf die Ladedauer. Eine Bleibatterie ist nicht Schnellladefähig.
- Bei Mehrbatteriesystemen ist auf eine Korrekte Trennung und Vorrangschaltung zu achten, um immer eine geladene Starterbatterie zur Verfügung zu haben.

Auch wenn die Bleibatterie Millionenfach verwendet wird, sind beim Umgang mit ihr Grundsätzlich einige Sicherheitsrichtlinien zu beachten. (Abbildung 24)

- Schwefelsäure (Elektrolyt) ist stark Ätzend (Abbildung 22, Abbildung 25, Abbildung 26)
- Blei ist Hochgiftig (Abbildung 20, Abbildung 23)
- Bleidioxid ist Hochgiftig (Abbildung 20, Abbildung 23)
- Bleisulfat ist Hochgiftig (Abbildung 20, Abbildung 23)
- Knallgas (Sauerstoff/Wasserstoff durch Elektrolyse) ist Hochexplosiv (Abbildung 21, Abbildung 25, Abbildung 27)

Gefahrensymbole nach GHS (Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien)



ABBILDUNG 20: SEHR GIFTIG



ABBILDUNG 21: EXPLOSIONSGEFAHR



ABBILDUNG 22: ÄTZEND



ABBILDUNG 23: UMWELTGEFÄHRDEND

Gebotszeichen nach DIN EN ISO 7010



ABBILDUNG 24: GEBRAUCHSANWEISUNG BEACHTEN



ABBILDUNG 25: AUGENSCHUTZ BENUTZEN



ABBILDUNG 26: HANDSCHUTZ BENUTZEN

Verbotszeichen nach DIN EN ISO 7010



ABBILDUNG 27: KEINE OFFENE FLAMME FEUER, OFFENE ZÜNDQUELLE UND RAUCHEN VERBOTEN



ABBILDUNG 28: KINDER FERNHALTEN

LITERATUR UND QUELLENVERZEICHNIS:

http://www.gsg-physik.net/physik/akkus/		26.10.2016
http://www.microcharge.de	[MIC01] [MIC02] [MIC03] [MIC04] [MIC05]	26.10.2016
http://www.powerframe.com	[POW01], [POW02]	26.10.2016
http://www.exide.com/at/de/		26.10.2016
http://www.exide-academy.de/	[EXI01]	26.03.2017
https://de.wikipedia.org/wiki/Bleiakkumulator		26.03.2017
http://www.elektronikinfo.de/strom/bleiakkus.htm		25.03.2017
http://www.varta-automotive.de		26.10.2016
http://www.triathlon-system.de	[TRI01]	26.03.2017
http://www.eurotransport.de/	[EUR01]	30.04.2017
http://www.elektroniknet.de/elektronik/	[ELE01]	26.03.2017
http://www.dvddemystifiziert.de/batterien/	[DVD01], [DVD02], [DVD03], [DVD04]	26.03.2017
http://shelvin.de/		26.03.2017
http://www.basytec.de/pbbatterie/Bleibatterie.html		25.03.2017
https://www.youtube.com/watch?v=n6V0E3fLzwl&feature	[YOU01]	30.04.2017
https://de.wikipedia.org/wiki/Gebotszeichen		30.04.2017
https://de.wikipedia.org/wiki/Verbotszeichen		30.04.2017
https://de.wikipedia.org/wiki/GHS		30.04.2017
Bootselektrik, Pat Manley ISBN:978-3-7688-2532-0		
Elektrik auf Yachten, Michael Herrman ISBN:3-931617-32-5	[YAC01]	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Labyrinthdeckel mit Zentralentgasung [EUR01]	5
Abbildung 2: "Powerframe" Hochstrom-Gitter [POW01]	7
Abbildung 3: Röhrenplatten Batterie [TRI01]	9
Abbildung 4: Streckmetall-Gitterplatte [POW02]	10
Abbildung 5: ETN/DIN Kennzeichnung [EXI01]	11
Abbildung 6: IU Ladekennlinie [ELE01]	12
Abbildung 7: Vergleich 9A / 40A Ladegerät [YAC01]	13
Abbildung 8: IUoUoU Kennlinie [DVD01]	14
Abbildung 9: Oszilloskopdarstellung einer Pulsladung [YOU01]	15
Abbildung 10: Positive Gitterplatte [MIC02]	20
Abbildung 11: Vollständig Korrodierte Gitterplatte [MIC03]	20
Abbildung 12: Abschlämmung am Zellenstopfen [MIC04]	21
Abbildung 13: EINZELANWENDUNG [DVD01]	25
Abbildung 14: Parallelschaltung [DVD02]	26
Abbildung 15: Serienschaltung [DVD03]	26
Abbildung 16: Gruppenschaltung [DVD04]	27
Abbildung 17: Trennung durch Dioden [MIC05]	28
Abbildung 18: Trennung durch Relais	28
Abbildung 19: Trennung durch MOSFET [MIC07]	29
Abbildung 20: Sehr Giftig	30
Abbildung 21: Explosionsgefahr	30
Abbildung 22: Ätzend	30
Abbildung 23: Umweltgefährdend	30
Abbildung 24: Gebrauchsanweisung beachten	30
Abbildung 25: Augenschutz benutzen	30
Abbildung 26: Handschutz benutzen	30
Abbildung 27: Keine offene Flamme	30
Abbildung 28: Kinder fernhalten	30