

# Batteriepulser

**Stromversorgung:** Batteriepulser sorgen gerade in der kalten Jahreszeit immer wieder für Diskussionsstoff, wobei die Sachlichkeit oft auf der Strecke bleibt. Michael Herrmann hat sich die kleinen Kästen näher angeschaut und berichtet, was darin und vor allem in den daran angeschlossenen Batterien vor sich geht.

**A**llein in Deutschland werden jährlich circa 17 Millionen Bleibatterien durch neue ersetzt. Nach Ansicht von Fachleuten können zwischen 70 und 80 Prozent der Ausfälle auf Sulfatierung zurückgeführt werden. Sulfatierung ist ein Prozess, der in einer Bleibatterie abläuft, die sich im entladenen oder teilentladenen Zustand befindet. Dieser Prozess läuft umso stärker ab, je tiefer die Batterie entladen ist und je länger sie in diesem Zustand bleibt. Er führt dazu, dass die an den Lade- und Entladevorgängen beteiligte sogenannte aktive Masse immer we-

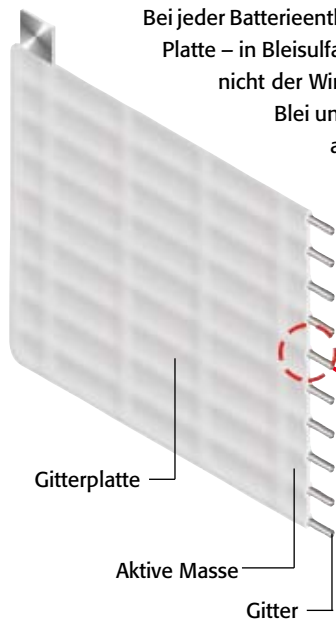
niger wird und somit das Vermögen der Batterie, Ladung aufzunehmen, ebenfalls zurückgeht. Im industriellen Bereich werden Batterien ausgemustert, wenn deren Kapazität auf 80 Prozent des Nennwerts gesunken ist. Im privaten Einsatz werden sie oft so lange verwendet, bis Verbraucher ausfallen oder die aufgenommene Energiemenge trotz häufigen Nachladens nicht mehr ausreicht, das Bordnetz zu versorgen.

## Sulfatierung

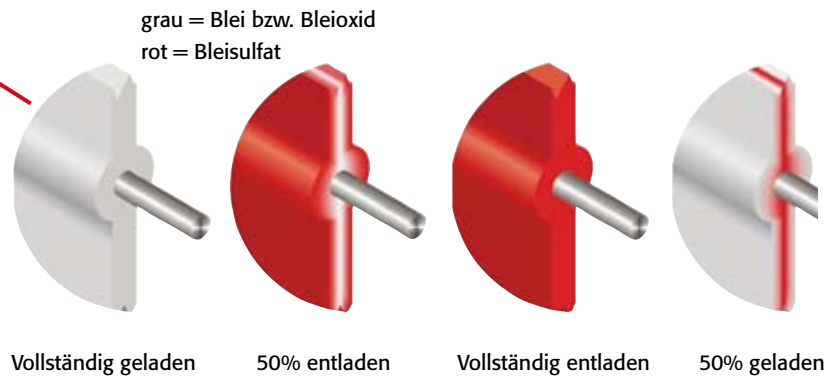
Will man verstehen, wie dieser Kapazitätsverlust zustande kommt

(und wie Pulser diesen rückgängig machen können), muss man ein wenig in die Chemie einer Bleibatterie einsteigen. Im voll geladenen (Neu-) Zustand besteht die aktive Masse der Platten, die mit den Anschlusspolen verbunden sind, aus reinem Blei (negativ) und Bleidioxid (positiv), die von dem Elektrolyten, einer verdünnten Schwefelsäure mit einer Dichte von 1,26 bis 1,28 Gramm je Kubikzentimeter, umgeben sind. Blei und Bleidioxid liegen als Paste in den jeweiligen Plattengittern, die aus metallischem Blei bestehen. Während der Entladung verbinden sich Blei und Bleidioxid durch die

## ■ Sulfatierung



Bei jeder Batterieentladung wird die aktive Masse in den Platten – Blei an der negativen, Bleidioxid an der positiven Platte – in Bleisulfat umgewandelt. In den Zeichnungen ist das Blei grau, das Bleisulfat rot dargestellt, was zwar nicht der Wirklichkeit entspricht, aber besser erkennbar ist. Bei der Ladung wird das Bleisulfat wieder in Blei und Bleidioxid zurückgewandelt. Der Prozess läuft in beiden Richtungen von außen nach innen ab: Zunächst sind die äußeren Schichten betroffen und der Kern wird erst gegen Ende des Lade- oder Entladevorgangs umgewandelt. Werden Batterien nun längere Zeit in einem teilgeladenen Zustand gelagert oder betrieben, wachsen in dem aktiven amorphen Bleisulfat Kristalle, die nicht mehr an den Lade- und Entladevorgängen teilhaben. Je größer diese Sulfatkristalle werden, desto schwieriger ist es, sie zurückzubilden.



Aufnahme von Schwefel aus dem Elektrolyten zu Bleisulfat, bis die Batterie entladen ist und die aktiven Massen der beiden Platten bis auf einen kleinen Rest zu Bleisulfat geworden sind. Weil die Säure Sulfationen an die Platten abgibt, wird sie dünner – das spezifische

Gewicht des Elektrolyten in einer entladenen Batterie beträgt maximal 1,12 Gramm je Kubikzentimeter.

Das Bleisulfat liegt zunächst ebenfalls in einer Art Paste, dem amorphen Zustand, vor. In dieser Form ist es leitend, es nimmt an den elektrochemischen Prozessen teil und

wird daher ebenfalls „aktive Masse“ genannt. Wir haben es also mit drei aktiven Massen in den Platten zu tun: Blei und Bleidioxid im geladenen und amorphes Bleisulfat im entladenen Zustand.

Liegt Bleisulfat in amorpher Form vor, nimmt es trotz seiner ►

## ■ Das Eimerprinzip oder die Auswirkung der Sulfatierung

Ohne Sulfatierung



Mit Sulfatierung



Die Auswirkung einer Sulfatierung lässt sich einleuchtend mit dem Eimermodell nach Dipl.-Ing. Klaus Ernst Krüger darstellen. Als Beispiel dient eine 120-Amperestunden-Batterie, die hier als Eimer dargestellt ist. Im nicht sulfatierten Zustand fasst diese Batterie eine Energiemenge von 120 Amperestunden, ist sie zur Hälfte entladen, stehen noch 60 Amperestunden zur Verfügung (oben).

Ist die Batterie so weit sulfatiert, dass nur noch 50 Prozent der aktiven Masse an den Lade- und Entladevorgängen teilnehmen (unten), beträgt die Kapazität 60 Amperestunden – der Eimer fasst nur noch die Hälfte. Zur Hälfte entladen bleiben davon 30 Amperestunden. Selbst wenn man diese Batterie nun tagelang an ein konventionelles Ladegerät anschließt, wird sie nicht mehr als 30 Amperestunden aufnehmen. Dann ist die Ladeschlussspannung erreicht, die Batterie verhält sich genauso wie eine voll geladene 60-Amperestunden-Batterie. Kennliniengesteuerte Ladegeräte schalten auf Ladungserhaltung (IU<sub>0</sub>U-Kennlinie) oder ab (IU-Kennlinie) – die Batterie nimmt keine weitere Ladung mehr auf.



Plattenoberfläche einer neuen Batterie unter dem Elektronenmikroskop. Keine Kristalle, lediglich amorphes Bleisulfat.



Sechs Monate alte Batterie ohne Pulser unter dem Elektronenmikroskop. Es sind bereits einige größere Kristalle erkennbar.

eher schlechten Leitfähigkeit an den Lade- und Entladevorgängen teil. Unangenehmerweise neigt es jedoch dazu, zu Kristallen zusammenzuwachsen, wenn kein Strom durch die Batterie fließt. Je größer die Kristalle werden, desto kleiner wird das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen und desto schwieriger wird es, diese Sulfatkristalle wieder zu zerlegen. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Sulfatkristalle mit herkömmlichen Ladeverfahren nicht mehr in Blei und Sulfationen aufgebrochen werden können – sie sind kein Teil der aktiven Masse mehr. Alleine daraus resultiert eine Kapazitätsverringering.

Da die Kristalle in der Regel auf den Plattenoberflächen sitzen, haben sie

den zusätzlichen Effekt, die verbliebene aktive Masse zu isolieren. Ist die Sulfatschicht dick genug – etwa nach einer Tiefentladung –, kann dies dazu führen, dass die Batterie überhaupt keinen Ladestrom mehr aufnimmt, da die Elektronen nicht mehr an die aktive Masse gelangen können. Dies erklärt, weshalb eine tiefentladene Bleibatterie, wenn sie lange genug in diesem Zustand geblieben ist, nicht mehr geladen werden kann.

Sulfatierung, also die Bildung von Sulfatkristallen, tritt immer dann auf, wenn eine teilweise oder ganz entladene Batterie – nur an deren Platten gibt es Bleisulfat – nicht unmittelbar nach der Entladung wieder geladen wird. In welchem

Umfang das amorphe Bleisulfat auskristallisiert, hängt von der Entladetiefe, der Verweildauer im entladenen Zustand und der Batterieart ab. Starterbatterien mit ihren verhältnismäßig großen Plattenoberflächen können bereits nach wenigen Stunden im tiefentladenen Zustand so weit geschädigt sein, dass sie mit konventionellen Ladeverfahren (geregelt oder unregelt Ladegeräte, Lichtmaschine) nicht mehr geladen werden können. Üblicherweise wandern diese Batterien auf den Schrott.

### Mechanische Folgen

Nicht nur die chemischen Reaktionen in der Batterie werden durch



Plattenoberfläche nach zwei Jahren ohne Pulsung. Überwiegend kristallines Sulfat, starker Kapazitätsverlust.



Plattenoberfläche nach 11 Monaten mit Pulsung. Diese Batterie kann noch die volle Ladung aufnehmen.

Sulfatkristalle negativ beeinflusst, auch die Mechanik leidet. Das spezifische Volumen von Bleisulfat ist etwa doppelt so groß wie das von Bleidioxid und drei mal so groß wie das von Blei. Durch diese bei jedem Lade- und Entladevorgang auftretende Volumenänderung des Plattenmaterials wird dessen Zusammenhalt mit der Zeit immer schlechter. Partikel lösen sich aus dem Materialverbund und sinken nach unten – eine der Ursachen der Verschlammung. Auch hier gilt: Je tiefer eine Batterie entladen wird, desto stärker ist der Materialverlust.

Die zunehmende Verschlammung führt bei den meisten Batteriebauarten letztlich zu einem Plattenschluss. Wenn die Schlammsschicht am Gehäuseboden so weit gewachsen ist, dass der Schlamm die Platten erreicht, werden diese kurzgeschlossen – die Batterie fällt aus.

Verschlammung tritt als alleinige Ausfallursache relativ selten auf. Meistens werden die betroffenen Batterien vorher wegen des durch die Sulfatierung hervorgerufenen Kapazitätsverlustes ausgemustert. Verschlammung wird durch Sulfatierung und der damit verbundenen Volumenänderung begünstigt.

## Korrosion

Gitterkorrosion tritt an den positiven Platten auf und hat ihre Ursache darin, dass die bei der Ladung ablaufende Umwandlung des Bleisulfats in Bleidioxid in der positiven Platte auch auf das Gitter übergreift, das der Platte die mechanische Festigkeit verleiht und den Strom zu den Zellenverbindern leitet. Dieses Gitter, das aus metallischem Hartblei besteht, wandelt sich mit der Zeit ebenfalls in das nicht besonders stabile Bleidioxid und verliert so seine Festigkeit. Letztlich fällt das Gitter auseinander, die betroffene Zelle und somit die Batterie fallen aus.

Gitterkorrosion ist ein alterungsbedingter Prozess, der bei jedem Ladevorgang stattfindet. Übermäßige Korrosion entsteht, wenn mit zu großen Strömen, zu hohen Spannungen oder – mit unregelmäßig

Ladegeräten – zu lange geladen wird. In Extremfällen kann eine einzige Überladung ausreichen, selbst nagelneue Batterien zu zerstören. Sulfatierung hat, wenn überhaupt, nur einen sehr geringen Einfluss auf die Korrosion.

## Pulser

Würden Batterien nach den Vorgaben der Hersteller behandelt, also ständig in einem guten Ladezustand gehalten oder nach jeder Entladung sofort wieder aufgeladen (zyklischer Betrieb), gäbe es keine Sulfatierung. In der Praxis sieht die Lage jedoch anders aus: Selbst in Automobilen sind die Lichtmaschinen oft nicht mehr in der Lage, für eine ausreichende Ladung der Starterbatterie zu sorgen. Auf Yachten sind lang andauernde Phasen ohne Ladung an der Tagesordnung – die wenigsten Bordnetze sind mit einem Energiemanagement ausgestattet, das eine optimale Behandlung der Batterien ermöglicht. Eine Sulfatierung scheint unausweichlich, was erklärt, weshalb Bordnetzbatterien oft nur eine Lebensdauer von drei bis vier Jahren erreichen.

Sogenannte Pulser – oder besser: deren Hersteller – versprechen Abhilfe. Diese kleinen Geräte, denen oft mit Skepsis begegnet wird, erzeugen aus der Batteriespannung in regelmäßigen Abständen kurze Impulse, die Sulfatkristalle auflösen sollen. Die theoretische Erklärung lautet etwa so: Werden Kristalle mit einer Schwingung konfrontiert, die deren Resonanzfrequenz – also der Frequenz, bei der das Kristall in Schwingungen gerät – entspricht, brechen sie auf. Bestimmte Elektronen, die für die Kristallbildung nötig sind, werden auf ein anderes Energieniveau versetzt und verlassen die Gitterstruktur. Folge: Das Gitter zerfällt, und die Bestandteile des Kristalls stehen wieder für die Eingliederung in den Elektrolyten oder die aktive Masse zur Verfügung.

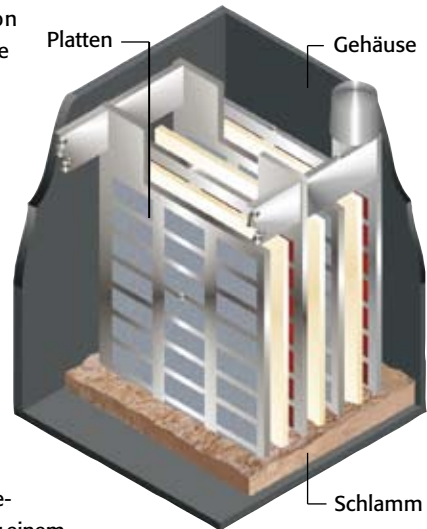
Ob diese Erklärung zutrifft, sei dahingestellt. Die Wirkung der Geräte ist jedoch mittlerweile durch diverse Untersuchungsreihen unabhängiger Institute nachgewiesen, bei ►

## ■ Korrosion und Verschlammung

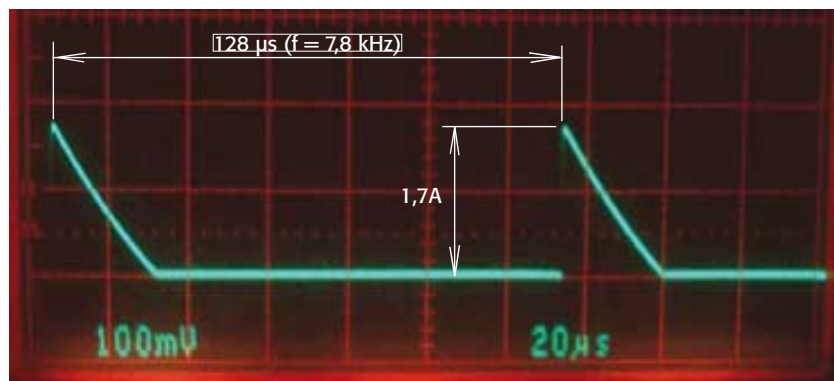
Neben fortgeschrittener Sulfatierung sind Gitterkorrosion und Verschlammung weitere Alterserscheinungen, die zum Batterieausfall führen können. Im Gegensatz zur Sulfatierung, die ein langsam fortschreitender Prozess ist, kommt das Batterieende durch Korrosion oder Verschlammung eher plötzlich.

Gitterkorrosion (links) tritt hauptsächlich an der positiven Platte auf und wird durch Überladungen oder zu hohe Ladeströme beschleunigt. Sie führt zunächst zu einem Kapazitätsverlust, da ein Teil der aktiven Masse aus dem Gitter herausgedrängt wird und schließlich zum Zellenversagen, wenn die Verbindung zwischen Plattenverbinder und Gitter vollkommen unterbrochen ist.

Die Verschlammung (rechts) wird durch die bei jeder Ladung und Entladung entstehende mechanische Beanspruchung der aktiven Masse verursacht. Teile der aktiven Masse lösen sich aus dem Gitter und sinken auf den Gehäuseboden. Mit der Zeit erreicht die Schlammsschicht dort die Höhe der Plattenunterkanten und verursacht einen Kurzschluss zwischen den Platten, den sogenannten Plattenschluss. Die betroffene Zelle fällt aus und die Batterie wird alleine schon wegen der dadurch verringerten Spannung unbrauchbar. Die Verschlammung wird durch Sulfatierung beschleunigt. Sogenannte Heavy-Duty-Batterien sind gegen die Auswirkungen der Verschlammung weitgehend immun – hier ist jede Platte mit einem eigenen Schlammraum versehen.



Gitterkorrosion.



Impulsform des Novitec-Megapulse: Das Gerät erzeugt alle 128 Mikrosekunden (entspricht einer Frequenz von 7,8 Kilohertz) einen Impuls mit einer maximalen Stromstärke von 1,7 Ampere. Der Stromverbrauch des Geräts liegt zwischen 50 und 150 Milliampere.

denen in der Regel ausgemusterte Batterien aus dem Schrott einer Pulserkur unterzogen wurden. So kam zum Beispiel das Institut für industrielle Elektronik und Materialwissenschaften der technischen Universität Wien zu dem Schluss, dass „im Mittel 86 Prozent aller als Prüflinge herangezogenen Schrottbatterien (durch die Bepulsung) ihre Funktion zurückerlangt haben.“

## Einsatz

Der sinnvolle Einsatz dieser Geräte liegt jedoch nicht darin, zu warten, bis die Batterie versagt hat, um diese dann wieder zum Leben zu erwecken. Idealerweise sollten Pulser vom Anfang des Batteriealters an eingesetzt werden, damit auch die indirekten Folgen der Sulfatierung verhindert oder zumindest verringert werden können. Anders ausgedrückt: Je früher Pulser eingesetzt werden, desto mehr können sie zu einer Verlängerung der Gebrauchsdauer einer Bleibatterie beitragen.

Dazu Dipl.-Ing. Klaus E. Krüger, geschäftsführender Gesellschafter von Novitec: „Es spricht nichts dagegen, dass eine gute Batterie eine Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren erreicht – vorausgesetzt, sie wird vernünftig behandelt, wozu auch gehört, dass eine Sulfatation verhindert wird.“

Gegen fortgeschrittene Verschlammlung oder Gitterkorrosion können die Geräte nichts ausrichten, eine damit vorgeschädigte Batterie wird zwar nicht durch Sulfatierung ausfallen, jedoch auch nicht die Lebensdauer erreichen, die bei früherer Anwendung eines Pulsers erreichbar gewesen wäre.

Eine zusätzliche Schädigung alter Batterien durch Pulser ist bisher nicht bekannt. Die geringen Stromstärken der Impulse (zwischen 1,5 und 2 Ampere) liegen weit unter den üblichen Ladeströmen, der mittlere Stromverbrauch liegt zwischen 50 und 150 Milliampere. Anders bei den sogenannten Batterieaktivatoren: Diese arbeiten nicht mit niederfrequenten Impulsen, sondern schicken alle 15 bis 20 Sekunden einen hohen Ladestrom zwischen 80 und 100 Ampere durch die Batterie. 