

# Elektrische Energie und chemische Bindungsenergie (2)

**Der Einsatz von elektrischen netzunabhängigen Werkzeug, Geräten und Elektrofahrzeugen erfordern eine Vielzahl leistungsstarker Batterien. Die Kenntnisse der auf chemische Reaktionen beruhenden Wirkungsweise und ihre technischen Parameter gehören zum Grundwissen einer Elektrofachkraft.**

**Kapazität<sup>1)</sup>.** Sie ist die Ladungsmenge, die eine Batterie im Höchstfall speichern kann. Die Kapazität wird üblicherweise in Amperestunden (Ah) angegeben. Die Angabe von 1 Ah bedeutet, dass zum Beispiel die Batterie theoretisch bei einem Belastungsstrom von 1 A nach einer Stunde oder bei 0,1 A nach zehn Stunden entladen ist. Die Kapazität *C* wird durch die Baugröße der Zelle bestimmt und kann durch Parallelschalten mehrerer Zellen erhöht werden.

**Selbstentladung.** Auch bei den Akkumulatoren reduziert sich wie bei den Primärelementen ohne angeschlossenen Verbraucher die Ladungsmenge. Die Abnahme ist hauptsächlich vom Elektrodenmaterial und von der Lagertemperatur abhängig.

**Ladefaktor.** Die chemischen Reaktionen in der Zelle sind wie alle Energieumwandlungsprozesse verlustbehaftet. Es muss

immer eine größere Ladungsmenge zugeführt werden als später entnommen werden kann. Die Verhältnisgröße

$$\text{Ladefaktor} = \frac{\text{zugeführte Ladungsmenge}}{\text{entnehmbare Ladungsmenge}} \quad (4)$$

ist stets größer als 1 und darf nicht mit dem Wirkungsgrad verwechselt werden.

**Energiedichte.** Sie bezeichnet das Energiespeichervermögen in Wh bezogen auf die Masse des Speichersystems. Zwischen den Systemen sind erhebliche Unterschiede festzustellen. Im Vergleich zu den Primärelementen sind die Energiedichten der Sekundärelemente erheblich kleiner.

## Batteriesysteme für Elektrowerkzeuge

Aus der Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten sollen im Folgenden die Niederspannungsquellen für Elektrowerkzeuge näher betrachtet werden.

Elektrowerkzeuge werden zurzeit dominierend durch drei Betriebssysteme betrieben:

- Bleibatterien für höhere Belastungen über eine längere Zeit, wegen ihres Gewichtes meist in mobilen Geräten,
- Nickel-Cadmium-Batterien durch ihre günstige Energiedichte vor allem in portablen Geräten,

### INFORMATION



#### Umweltverträglichkeit

Bleibatterien enthalten als Legierungsbestandteile auch andere Schwermetalle. Als Elektrolyt wird Säure verwendet. Da das Schwermetall Cadmium in den NiCd-Batterien hochgiftige Verbindungen eingehen können, sind die vom Gesetzgeber bindend erlassenen Vorschriften in jedem Fall beim Entsorgen und Recyceln zu beachten.

- Nickel-Metallhydrid-Batterien ersetzen zunehmend die umweltkritische Nickel-Cadmium-Technologie.

Nicht aufladbare Batterien kommen bei Elektrowerkzeuge mit Ausnahme der elektronischen Messwerkzeuge nicht zum Einsatz.

Generell müssen Batteriesysteme für Elektrowerkzeuge folgende Kriterien erfüllen:

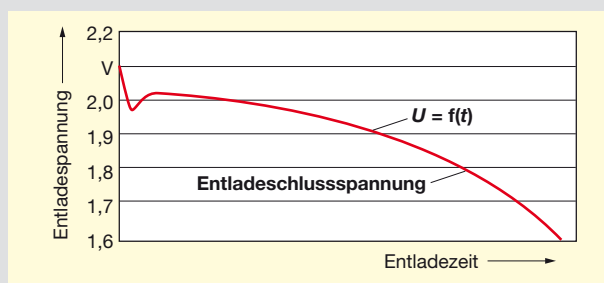
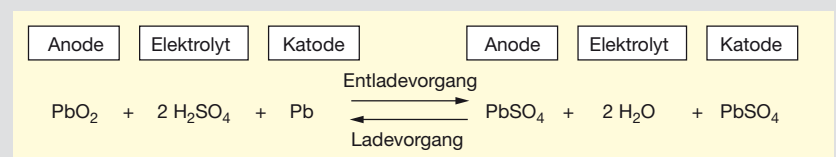
- Anwendbarkeit in jeder Betriebslage,
- kein Austritt des Elektrolyten,
- Wartungsfreiheit,
- nach Möglichkeit Entladen und auch Laden mit relativ hohen Strömen.

## Bleibatterien

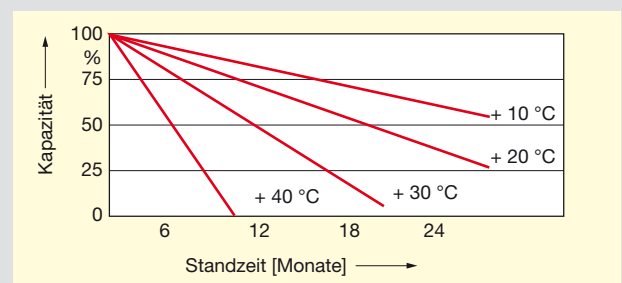
In einem isolierenden Gehäuse aus Kunststoff befinden sich zwei durch Separatoren getrennte Plattensätze. Die aktive Masse der Minuspolplatte besteht aus einem hochporösen Bleischwamm, die aktive Masse der Pluspolplatte aus Bleioxid. Eine frei zwischen den Platten durch

1) DIN 40729 Galvanische Sekundärelemente (Akkumulatoren); Grundbegriffe.

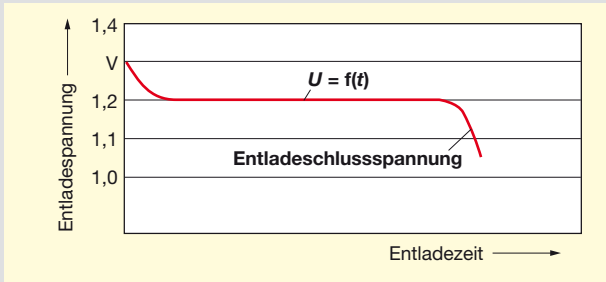
### 5 Ablauf der chemischen Reaktionen einer Bleibatterie



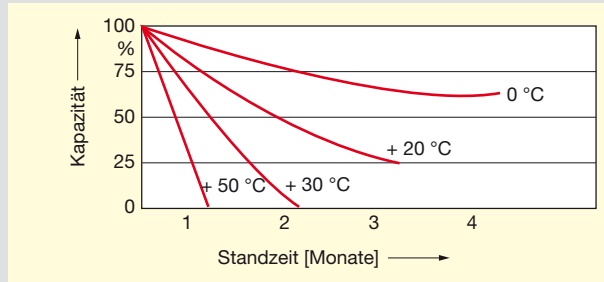
6 Verlauf der Entladespannung eines Blei-Akkumulators



7 Selbstentladung von Bleiakkumulatoren



8 Verlauf der Entladespannung eines NiCd-Akkumulators



9 Abnahme der Kapazität von NiCd-Batterien

die Separatoren zirkulierende verdünnte Schwefelsäure als Elektrolyt wirkt als Ionenleiter im Lade- und Entladevorgang. Die Zellenspannung zwischen den beiden Polen beträgt im geladenen, ruhenden Zustand 2 V.

**Entladevorgang.** Mit zunehmender Entladung wandeln sich die aktiven Massen der Platten zunehmend in Bleisulfat  $PbSO_4$  um. Außerdem wird Schwefelsäure verbraucht und Wasser gebildet. Die Konzentration der Säure nimmt ab. Die Zellenspannung verringert sich. Bleisulfat ist ein elektrischer Nichtleiter. Besonders gegen Ende der Entladung steigt deshalb der Innenwiderstand sprunghaft an.

**Ladevorgang.** Beim Ladevorgang wandern die Ionen des Elektrolyten jeweils zur entgegengesetzt geladenen Polplatte. Die aktiven Massen der Platten werden wieder in ihren ursprünglichen Zustand umgewandelt, die Elektrolytkonzentration steigt (Bild 5). Erreicht die Ladespannung einen Wert von 2,3 V, zersetzt sich noch recht zaghaft das Wasser. Am Minuspol bildet sich Wasserstoff  $2H_2$  und am Pluspol Sauerstoff  $O_2$ . Ab etwa 2,4 V (Gasungsspannung) verstärkt sich die Gasung. Wenn man die Spannung nicht begrenzt, steigt die Ladespannung rasch auf 2,7 bis 2,8 V. Das Gasen ist unbedingt zu vermeiden, da

- der Wasseranteil im Elektrolyten vermindert wird,
- Gasblasen das Gefüge der aktiven Massen verändern können,
- das entstehende Sauerstoff-Wasserstoff-Gemisch (Knallgas) sich sowohl innerhalb als auch außerhalb der Batterie explosionsartig entzünden kann.

**Nasse Batterien.** Als nasse Batterien bezeichnet man Bleibatterien, bei denen der Elektrolyt (verdünnte Schwefelsäure) in flüssiger Form im Batteriebehälter vorhanden ist. Der Elektrolyt kann die aktiven Massen gut durchdringen und damit einen schnellen Ionenaustausch bewirken. Hohe Entlade- und Ladeströme sind möglich. Diese Eigenschaft ist bestimmend für den Einsatz als Starterbatterie für Verbrennungsmotore. Nasse Batterien sind jedoch nur durch relativ aufwendige Gestaltung kipp sicher zu machen. Bei Beschädigung des Batteriebehälters läuft der Elektrolyt aus.

**Gelbatterien.** Sie besitzen als Elektrolyt ebenfalls verdünnte Schwefelsäure, die durch Bindemittel zu einer pastösen Viskosität eingedickt ist. Der Ionentransport verlangsamt sich. Gelbatterien, auch als wartungsfreie Batterien bezeichnet, sind kipp sicher, können theoretisch in jeder Lage betrieben werden und sind auslaufsicher.

**Spannungsverhalten.** Das Spannungsverhalten von Bleibatterien hängt von ihrer Größe (Kapazität) und vom Typ (Nass, Gel) ab. Je größer die Batteriekapazität ist, umso konstanter wird die Zellenspannung bei Belastung bleiben. Bild 6 zeigt den Verlauf der Entladespannung  $U$  (Zellenspannung 2 V) in Abhängigkeit von der Entladezeit  $t$ .

Grundsätzlich darf eine Bleibatterie nicht komplett entladen werden. Der Entladevorgang ist zu beenden, wenn die Zellenspannung von 2 V auf 1,75 V abgesunken ist. Sofort nach der Entladung muss wieder aufgeladen werden, da sonst die aktive Plattenmasse irreversibel in Bleisulfat umgewandelt bleibt. Am günstigsten für die Lebensdauer einer Bleibatterie ist eine ständige Ladung mit geringen Strömen als sogenannte Erhaltungsladung.

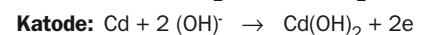
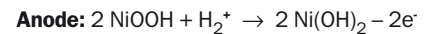
**Temperaturen.** Wie bei fast allen chemischen Prozessen verläuft die chemische Reaktion bei niedrigen Temperaturen langsamer als bei hohen. Die untere Grenztemperatur wird durch den Gefrierpunkt des Elektrolyten bestimmt. Er ist bei einer entladenen Batterien geringer (etwa  $-5\text{ °C}$ ) als bei einer geladenen ( $-50\text{ °C}$ ). Auch der Verlauf der Selbstentladung wird neben dem Elektrodenmaterial wesentlich von der Lagertemperatur bestimmt (Bild 7). Gelbatterien haben eine wesentlich geringere Selbstentladung als nasse Batterien.

## Nickel-Cadmium-Batterien

NiCd-Batterien haben meist ein Metallgehäuse aus Nickel, das gleichzeitig als Minuspol wirkt. Die eigentlichen Elektroden sind in Form von Folien oder in Sintertechnik als Nickel- bzw. Cadmiumverbindun-

gen mit einer isolierenden, den Elektrolyten durchgängigen Schicht als Wickel im Zellengehäuse untergebracht. Der Elektrolyt Kaliumhydroxid KOH (Kalilauge) liegt in pastöser Form vor. Die Zelle ist als geschlossenes System nach außen abgedichtet.

Bei der Entladung bzw. Ladung einer NiCd-Zelle laufen recht komplizierte chemische Mehrfachreaktionen ab. Vereinfacht entstehen bei Entladung an den Elektroden folgende Reaktionen:



Es ist zu erkennen, dass nur das im Elektrolyten enthaltene Wasser an der chemischen Umsetzung beteiligt ist. Das positiv geladene Wasserstoff-Ion führt das Nickelhydroxid der Anode unter Aufnahme von 2 Elektronen ( $2e^-$ ) in einen anderen Oxidationszustand über.

Katodenseitig wird das metallene Cadmium unter Elektronenabgabe in Cadmiumhydroxid umgewandelt. Da der Elektrolyt KOH sich bei den chemischen Vorgängen nicht ändert, hat er ausschließlich die Aufgabe, den Ionenstrom zu leiten. Das Elektrodenmaterial ändert während des Ladens und Entladens lediglich seinen Oxidationszustand. Dies begründet die hohe Lebenserwartung der NiCd-Akkumulatoren und die Spannungs Konstanz während der Entladung (Bild 8).

Der beim normalen Laden und Entladen entstehende Gasaustausch findet innerhalb des Elektrolyten statt. Bei zu hohen Ladeströmen oder bei Kurzschluss entsteht durch Wärme in dem Gehäuse ein Überdruck, der bei ausgewählten Zellen durch Ansprechen eines Ventils abgebaut wird.

Auch bei NiCd-Batterien verringert sich bei Lagerung die Kapazität. Der Verlauf der Selbstentladung hängt hauptsächlich von der Temperatur ab (Bild 9). Bei Raumtemperatur liegt die Entladezeit im Bereich von 3 bis 4 Monaten.

**Sonderform.** Zu den Batterien auf Nickelbasis gehören auch die Nickel-Metallhydrid-Batterien. Der Wasserstoff befindet sich nicht als freies Gas in der Zelle, sondern ist in die Elektrodenlegierung eingelagert und bildet dabei das namensgebende Metallhydrid. *H. Spanneberg*