

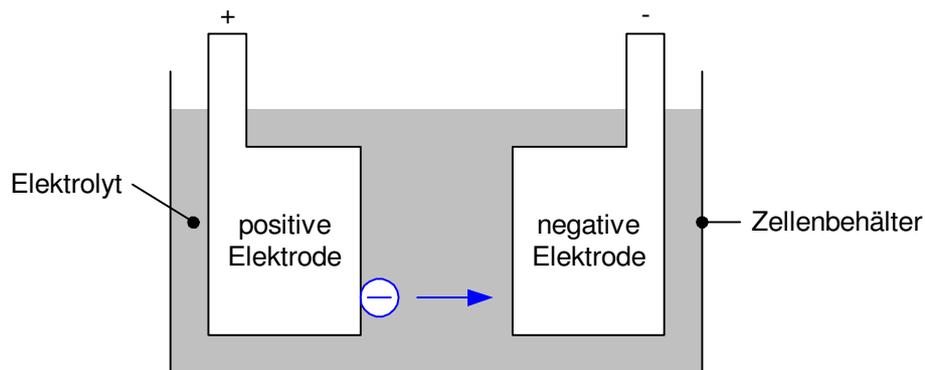
## 7. Chemische Spannungsquellen

Unter einer chemischen Spannungsquelle versteht man entweder Batterien oder Akkumulatoren (kurz Akkus genannt). Batterien sind Spannungsquellen mit einer begrenzten Menge an gespeicherter Ladung. Ist diese aufgebraucht, ist die Batterie leer und kann im Gegensatz zu den Akkumulatoren nicht wieder aufgeladen werden.

### 7.1 Funktionsweise

Eine Batterie- oder Akkuzelle besteht im einfachsten Fall aus:

1. einer positiven Elektrode (Pluspol)
2. einer negativen Elektrode (Minuspole)
3. einem Elektrolyten (elektrisch leitende Flüssigkeit)
4. einem Zellenbehälter



Die beiden Elektroden bestehen immer aus unterschiedlichem Material. Dadurch entsteht in der Batterie eine chemische Reaktion zwischen dem Elektrolyten und den Elektroden, die dazu führt, dass der positiven Elektrode Elektronen entzogen und an die negative Elektrode abgegeben werden. Dadurch lädt sich die positive Elektrode positiv und die negative Elektrode negativ auf.

Die negative Elektrode eines **Bleiakkumulators**, wie er in Autos verwendet wird, besteht zum Beispiel aus Blei (Pb). Die positive Elektrode besteht aus Bleioxid (PbO<sub>2</sub>). Als Elektrolyt wird Schwefelsäure verwendet (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Durch die Entladung wandelt sich die Schwefelsäure langsam zu Wasser (H<sub>2</sub>O) um und die beiden Elektroden werden von einer Schicht Bleisulfat

( $\text{PbSO}_4$ ) überzogen. Indem man Strom in den Akku hineinschickt, kann man ihn wiederaufladen. Dabei laufen die chemischen Reaktionen in genau umgekehrter Richtung ab.

Du kannst dir selber ganz einfach eine kleine Batterie bauen. Stecke einfach zwei verschiedene Metalle in eine Zitrone. Die Metalle funktionieren als Elektroden, die Zitronensäure als Elektrolyt. Zwischen den Elektroden kannst du nun eine kleine Spannung messen die abhängig ist von den Metallen die du benutzt hast. Leider ist der Innenwiderstand einer solchen Batterie so groß, dass selbst der Kurzschlussstrom einer solchen Batterie kaum über 1 mA ansteigt.

**Achtung: Die Zitrone ist nach diesem Versuch nicht mehr zum Verzehr geeignet!**

### Kontrollfragen:

1. Wodurch unterscheiden sich grundsätzlich Batterien von Akkumulatoren?
2. Wie groß ist die Spannung zwischen den zwei Elektroden einer Zitronen-Batterie, wenn man das gleiche Metall für beide Elektroden benutzt?

## 7.2 Unterscheidungsmerkmale von chemischen Spannungsquellen

### 7.2.1 Aufbau und Spannung

Die verschiedenen chemischen Spannungsquellen unterscheiden sich vor allem durch ihren Aufbau. Direkt damit verbunden ist auch ihre Leerlaufspannung. Hier eine Liste gängiger Batterien und Akkumulatoren sowie deren Leerlaufspannung.

Batterien:

<b>Aufbau</b>	<b>Leerlaufspannung</b>
Alkali-Mangan-Batterie	1,5 V
Zink-Kohle-Batterie	1,5 V
Zink-Luft-Batterie	1,5 V
Lithium-Batterien	2,9 bis 3,6 V

Akkus:

Aufbau	Leerlaufspannung
Blei- oder Bleigel-Akku (Pb)	2,0 V
Nickel-Cadmium-Akku (NiCd)	1,2 V
Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH)	1,2 V
Lithium-Ionen-Akku (Li-Ion)	3,7 V

Durch Reihenschaltung von mehreren Batterie- oder Akkuzellen kann man die Leerlaufspannung erhöhen. Eine klassische „Auto-Batterie“ ist ein Bleiakkumulator mit 6 Zellen die intern bereits in Reihe geschaltet sind. Dadurch ergibt sich eine Leerlaufspannung von  $6 \times 2\text{V} = 12\text{V}$ .

**Kontrollfrage:**

3. Wie viele Alkali-Mangan-Batterien oder Nickel-Cadmium-Akkus muss man in Reihe schalten um eine Leerlaufspannung von 6V zu erhalten?

**7.2.2 Kapazität und Baugröße**

Batterien und Akkumulatoren unterscheiden sich des Weiteren durch ihre Kapazität. So bezeichnet man die Ladungsmenge die in ihnen gespeichert ist. Die Kapazität von chemischen Spannungsquellen wird in Amperestunden (Abkürzung: Ah) gemessen. Eine Batterie von 6 Ah kann eine Stunde einen Strom von 6A liefern, oder zwei Stunden einen Strom von 3A liefern, u.s.w.. Allgemein gilt:

$$Q = I \cdot t$$

Q ist die Kapazität in Amperestunden [Ah]

I ist der Strom in Ampere [A]

t ist die Zeit in Stunden [h]

**Kontrollfrage:**

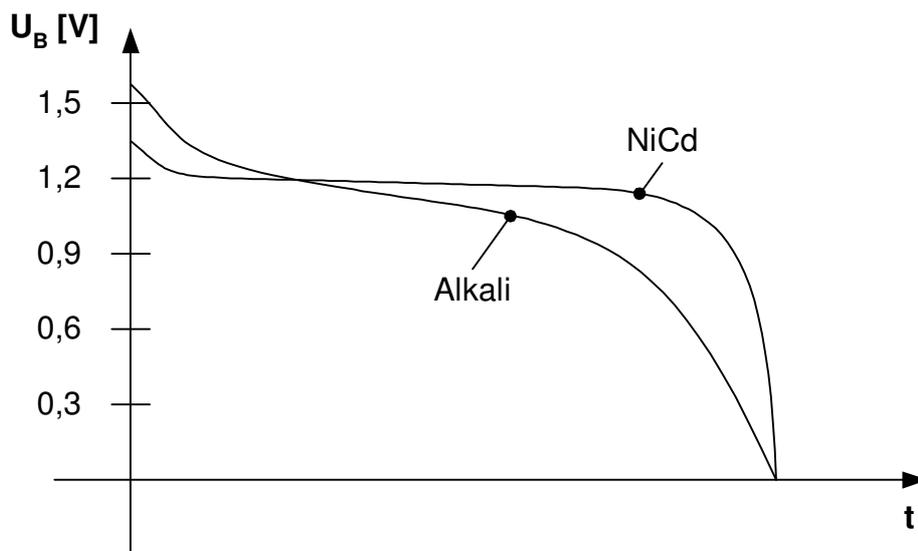
4. Berechne die Zeit die ein Akku mit einer Kapazität von 1800 mAh einen Strom von 0,3A liefern kann?

Die Kapazität hat indirekt auch etwas mit der Baugröße zu tun. Im Allgemeinen gilt, je größer die Batterie ist, umso größer ist ihre Kapazität. Verschiedene Bauformen sind genormt, wie in der folgenden Tabelle gezeigt.

<b>Bezeichnung der Bauform</b>	<b>ANSI-Bezeichnung</b>	<b>Nennspannung</b>	<b>Typische Kapazität von Alkali-Magan-Zellen in mAh</b>
Micro	AAA	1,5 V	900...1250
Mignon	AA	1,5 V	2.200...2.850
Baby	C	1,5 V	≈ 8.000
Mono	D	1,5 V	≈ 20.000
Flachbatterie		4,5 V (3 Zellen à 1,5 V)	≈ 5.900
9V-Block	1604D	9,0 V (6 Zellen à 1,5 V)	500...600

### 7.3 Entladekurve

Die Ausgangsspannung einer Batterie verringert sich nicht nur mit der Belastung, sondern auch mit der Entladedauer. Je „leerer“ die Batterie wird, umso kleiner wird die Spannung. Im Folgenden ist eine typische Entladekurve einer Alkali-Magnan-Batterie und eines Nickel-Cadmium-Akkus gezeigt. Eine Entladekurve zeigt die Ausgangsspannung einer Batterie in Abhängigkeit von der Zeit, wenn sie mit einem konstanten Strom entladen wird.



Bei beiden Zellentypen fällt die Spannung zunächst schnell ab. Bei dem NiCd-Akku bleibt die Spannung dann aber während langer Zeit ungefähr auf 1,2V bevor sie kurz vor Schluss schnell abfällt. Die Spannung der Alkali-Mangan-Batterie fällt mehr oder weniger kontinuierlich ab.

Der Vorteil des Spannungsverlaufs eines NiCd-Akkus ist, dass das betriebene Gerät lange Zeit voll funktionsfähig ist, bevor es dann relativ plötzlich gar nicht mehr funktioniert. Bei der Alkali-Mangan-Batterien wird die Spannung und somit auch die Funktion des Gerätes zunehmend schwächer.

#### Kontrollfrage:

5. Welche Gefahr besteht bei der Verwendung von NiCd-Akkus in Fahrradlampen?

## 7.4 Ladeverfahren

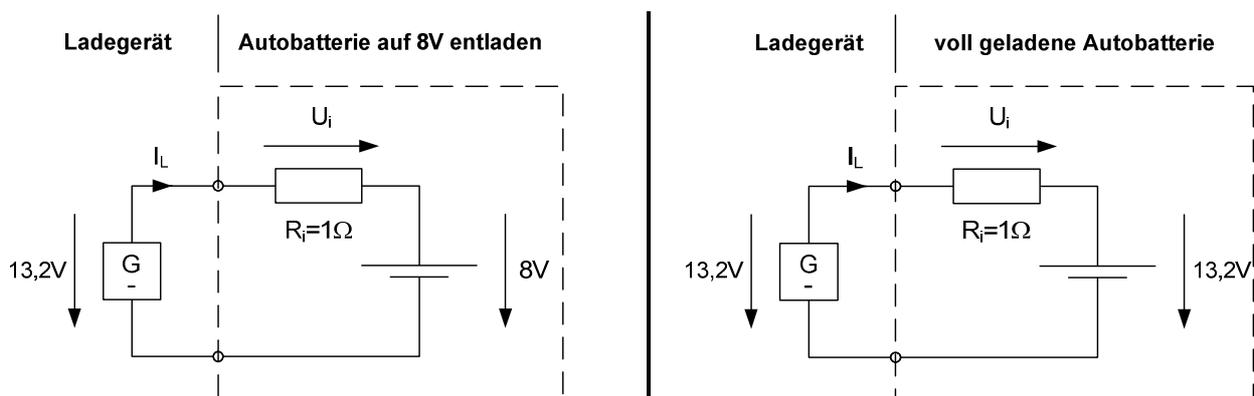
Um einen leeren Akkumulator wieder aufzuladen, muss man einen Strom in den Akku hineinfließen lassen. Dazu schließt man den Akku an eine Spannung an die größer ist als dessen aktuelle Leerlaufspannung. Das Ladegerät ist im einfachsten Fall also nichts anderes als eine Spannungsquelle die eine etwas höhere Ausgangsspannung hat als der Akku. Letzterer funktioniert beim Laden demnach wie ein Verbraucher und nicht mehr wie eine Spannungsquelle.

Jeder Akkutyp hat ein optimales Ladeverfahren um eine bestmögliche Lebensdauer zu erzielen.

**Bleiakkus** haben das einfachste Ladeverfahren. Sie werden einfach an eine **konstante Spannung** von zum Beispiel 2,2V pro Zelle angeschlossen. Bei Ladebeginn, wenn der Akku leer ist, ist die Spannung des Akkus noch recht klein. Die Spannungsdifferenz zwischen dem Akku und dem Ladegerät ist also recht hoch. Dadurch fließt ein großer Strom in den Akku hinein, der nur durch den Innenwiderstand des Akkus gebremst wird. Die Spannung des Akkus steigt während des Ladevorgangs wieder an. Dadurch verringert sich die Spannungsdifferenz zur der Ladespannung. Der Ladestrom wird automatisch kleiner. Ist die Akkuspannung gleich der Ladespannung, so fließt kein Strom mehr in den Akku und der Ladevorgang ist abgeschlossen.

### Kontrollaufgabe:

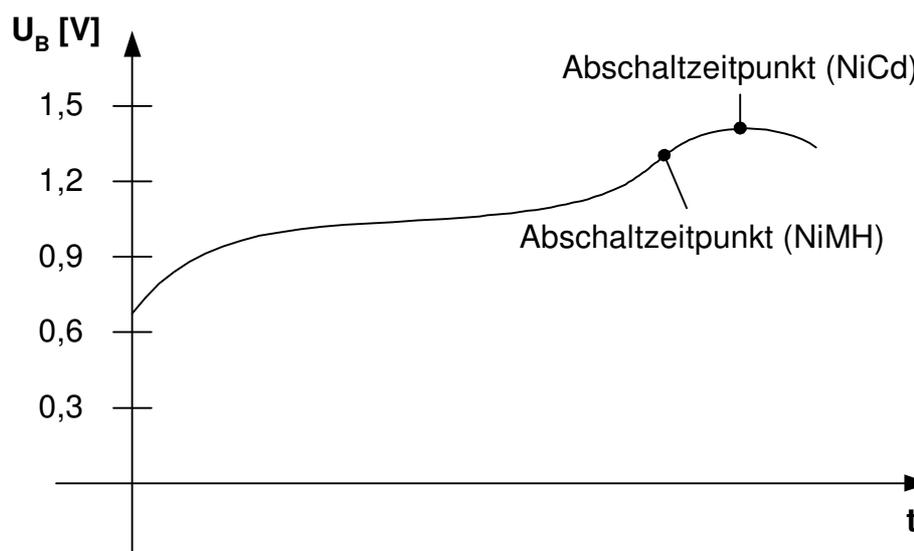
6. Berechne den Ladestrom  $I_L$  in den folgenden zwei Situationen.



Bei Bleiakkus muss man allerdings darauf achten, dass man die Ladespannung nicht größer als 2,35V pro Zelle wählt, sonst beginnt der Akku zu „gasen“. Ab dieser Spannung wird das in der Schwefelsäure enthaltene Wasser durch Elektrolyse in Sauerstoff und explosives Wasserstoffgas zerlegt.

Wenn man **NiCd- oder NiMH-Akkus** mit konstanter Spannung laden würde, würden diese nie richtig voll werden. Außerdem würden sie unter den hohen Anfangsströmen leiden. Deshalb werden diese Akkus mit einem **konstanten Strom** geladen. Die Ladeelektronik stellt die Ladespannung automatisch so ein, dass der gewählte Ladestrom fließt. Um den richtigen Zeitpunkt zum **Abschalten** des Ladestroms zu bestimmen, muss bei NiCd-Akkus das für sie typische **Spannungsmaximum** am Ende des Ladevorgangs detektiert werden. Dies erfolgt ebenfalls automatisch durch das Ladegerät.

#### Ladekurve eines NiCd-Akkus bei Konstantstrom-Ladung:



Das Spannungsmaximum von NiMH-Akkus ist nicht sehr ausgeprägt, deshalb wird der Ladevorgang bei diesen Akkus bereits im Wendepunkt abgeschaltet. Um eine Überladung zu vermeiden dürfen deshalb NiMH-Akkus nicht in NiCd-Ladegeräten geladen werden. Umgekehrt dürfen aber NiCd-Akkus in NiMH-Ladegeräten geladen werden.

#### Kontrollfrage:

7. Wie groß ist die maximale Ladespannung die man an eine Autobatterie legen darf?

## 7.5 Überladung

Unter Überladung versteht man das Fortsetzen des Ladevorgangs obwohl der Akku bereits voll ist. Bei Bleiakkus führt die Überladung zum Gasen und somit zum Abbau von Elektrolyt. NiCd- und NiMH-Akkus erhitzen sich beim Überladen und verringern dadurch stark ihre Lebensdauer.

## 7.6 Selbstentladung

Selbstentladung bezeichnet von selbst ablaufende Vorgänge, die dazu führen, dass sich Batterien und Akkumulatoren mehr oder weniger schnell entladen, auch wenn kein Verbraucher angeschlossen ist.

Während die meisten Batterien mehrere Jahre gelagert werden können, ohne wesentlich an Ladung zu verlieren sind viele Akkus schon nach ein paar Monaten selbstentladen. Aus diesem Grund ist es zum Beispiel nicht sinnvoll Akkus in Geräten zu verwenden die man nur selten benutzt, wie zum Beispiel Taschenlampen in Autos für den Notfall.

## 7.7 Tiefentladung

Die Lebensdauer von Akkus nimmt stark ab, wenn man sie tiefentlädt. Darunter versteht man das Entladen bis auf 0V. Dies kann leicht mit Verbrauchern passieren die nur sehr wenig Strom verbrauchen, wie zum Beispiel Uhren. Diese hören erst auf zu funktionieren, wenn der Akku tiefentladen ist. Versucht man tiefentladene Akkus mit einem zu kleinen Ladestrom zu laden, dann nimmt der Akku diese Ladung gar nicht auf und bleibt trotz des fließenden Ladestroms entladen. Viele "intelligente" Ladegeräte verweigern es deshalb tiefentladene Akkus zu laden.

Ist der Akku nicht schon zu stark beschädigt kann man sich damit aushelfen, dass man mit Hilfe eines strombegrenzten Netzgeräts während mehreren Sekunden den Akku mit einem großen Strom lädt. Unter einem großen Strom versteht man einen Strom in der Größenordnung der Kapazität ( $Q=1800\text{mAh} \rightarrow I_L=1800\text{ mA}$ ). Im Normalfall nimmt der Akku danach wieder Ladungen auf und kann normal geladen werden.

## 7.8 Memoryeffekt

Entlädt man NiCd-Akkus älterer Bauart (<2005) nie vollständig, so verringert sich deren Kapazität mit der Zeit. Sie scheinen sich den Energiebedarf zu **merken** und mit der Zeit statt der ursprünglichen, nur noch die bei den bisherigen Entladevorgängen benötigte Energiemenge zur Verfügung zu stellen. Man spricht deshalb auch von dem Memoryeffekt.

Moderne NiCd-Akkus leiden nicht mehr unter dem Memoryeffekt.

## 7.9 Vor- und Nachteile verschiedener Batterie- und Akkutypen

### 7.9.1 Batterien

Alkali-Mangan-Batterien haben gegenüber Zink-Kohle-Batterien den Vorteil, dass sie bei gleicher Spannung und Bauform eine erheblich höhere Kapazität haben, weshalb man heute kaum noch Zink-Kohle-Batterien in unseren Gegenden findet. Lithium-Batterien haben noch höhere Energiedichten als die beiden bereits genannten Typen und liefern zudem höhere Spannungen pro Zelle sind aber auch entsprechend teurer.

### 7.9.2 Akkus

Bleiakkumulatoren sind billig, robust und lassen kurzzeitig sehr hohe Ströme zu. Durch die Verwendung von Blei sind sie aber recht schwer und gasen wenn sie überladen werden. Außerdem können die Bleiakkus wegen des flüssigen Elektrolyten nur in aufrechter Position betrieben werden. Der letztgenannte Nachteil wird zumindest in Bleigelakkus durch Binden des Elektrolyten in Gel eliminiert.

NiCd-Akkus haben eine höhere Energiedichte als Bleiakkus und sind gasdicht. Aufgrund ihrer Leerlaufspannung von 1,2V können sie sehr gut als Ersatz für Standardbatterien (1,5V) benutzt werden. Da sie aber das giftige Schwermetall Cadmium enthalten, dürfen sie genauso wenig wie Bleiakkus mit dem normalen Hausmüll entsorgt werden.

NiMH- und Li-Ion-Akkus haben die höchsten Energiedichten und vermeiden viele Nachteile der anderen Akkus. Allerdings reagieren sie empfindlich auf falsches Laden.

**abschließende Fragen:**

8. Gib Geräte oder Situationen an in denen man lieber Batterien als Akkus verwenden sollte.

9. Richtig oder falsch?

- Bringt man die Pluspole von zwei Batterien in Kontakt, so werden die Batterien schlagartig entladen.
- Wenn man jemandem Starthilfe gibt, muss man den Pluspol der eigenen Batterie mit dem Minuspol der Fremdbatterie verbinden und umgekehrt.
- Schaltet man zwei Autobatterien (12V/60Ah) in Reihe, so verhalten diese sich wie eine Batterie mit 24V und 120Ah.

richtig	falsch