



# Elektrische Energie und chemische Bindungsenergie (1)

Im Jahre 2012 soll ein durch die Sonne angetriebenes Flugzeug um die ganze Welt fliegen. Ein wichtiger Schritt für diese ehrgeizige Vision gelang dem Schweizer Bertrand Picard mit dem Prototyp „Solar Impulse HB-SIA“, der insgesamt 26 Stunden in der Luft war. Für den Nachtflug wurde die Sonnenenergie als chemische Bindungsenergie in Lithium-Polymer-Batterien gespeichert.

## Speichertechnologien

Nach einer Studie des Bundesverbandes Erneuerbare Energien (BEE) werden 2020 die erneuerbaren Energien dominierend für die deutsche Stromversorgung sein. Der Anteil wird etwa 47 % betragen [1]. Die Windenergie wird laut Prognose zwar der größte Stromproduzent im Bereich der erneuerbaren Energien bleiben. Der Anteil des Solarstromes soll jedoch um 7 % steigen, damit eine Verzehnfachung im Vergleich zum heutigen Stand erreichen. Die Vorbehalte gegen den Einsatz von Photovoltaik- und Windenergieanlagen bestehen im Wesentlichen in deren selten kontinuierlichen Energiebereitstellung, bedingt durch die wechselnden Wetterverhältnisse. Die ausschließliche Versorgung durch erneuerbare Energien erfordern große und eine Vielzahl kleiner Energiespeicher.

### Pumpspeicher

In Deutschland wurden bereits zwischen 1926 und 1932 die Pumpspeicherwerke Schwarzenbach, Niederwartha, Herdecke,

Waldeck und Schluchsee gebaut. Im Prinzip geht es darum, den überschüssigen elektrischen Strom in Zeiten geringen Energiebedarfs zur hydraulischen Energiespeicherung zu verwenden. Pumpenanlagen heben Wasser von einem niedrigeren auf ein höheres Niveau, von einem unteren Becken in ein höher gelegenes Speicherbecken. Dort bleibt es, bis bei höherem Energiebedarf die Wasserkraft Turbinen und damit Generatoren antreibt. Eine schnell einsetzbare Leistungsreserve, geringe Wartungskosten und ein Wirkungsgrad bis zu 75 %, das sind einige Vorteile des Pumpspeicherbetriebs. Einen weltweiten Aufschwung nahm dieses System etwa seit 1950. So entstanden gewaltige Pumpspeicherwerke in den USA (Bad County und Ludington), in Japan, Luxemburg und Italien (Piastra).

### Bioenergie und Geothermie

Weniger problematisch ist die Nutzung der Bioenergie und der Erdwärme. Biogase sowie Klär- und Deponiegase bzw. feste und flüssige Biomassen werden direkt gespeichert und erst bei Bedarf umgewandelt. Die Stromerzeugung durch Geothermie ist jederzeit möglich, da die Erde als Großspeicher wirksam ist.

### Virtuelles Kraftwerk

Vorteile erwartet man von dem Verbund von einigen über ganz Deutschland verteilten Windenergie-, Biogas-, Photovoltaikanlagen, von Blockheizkraftwerken und einem Pumpspeicherkraftwerk zu einem virtuellen Kraftwerk für die Deckung des Strombedarfs einer Kleinstadt. Die Zukunft der Energieversorgung wird aller Voraussicht nach jedoch durch dezentrale integrierte Systemlösungen bestimmt werden.

### Elektrische Speicherelemente

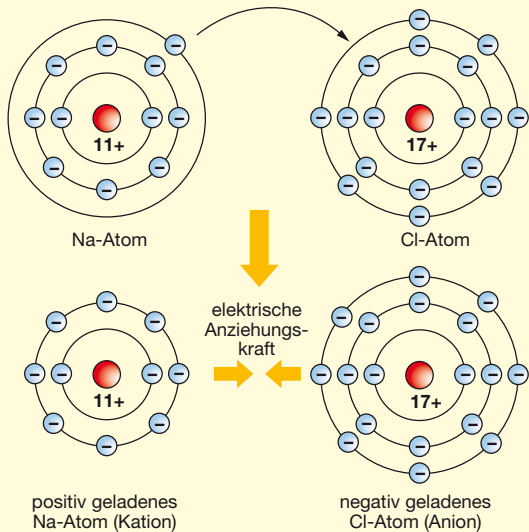
Kleinere elektrische Speicher sind die uns näher interessierenden **Batterien**, die insbesondere in Elektro- und Hybridfahrzeugen und seit Langem in handgeführten

INHALT	
<b>Grundwissen</b> Lernfelder 1-5	
<b>Elektrochemie</b>	
Elektrische Energie und chemische Bindungsenergie .....	1
<b>Fachbegriffe</b>	
Was versteht man unter ... ..	5
<b>Fachwissen</b> Lernfelder 6-13	
<b>Installationstechnik</b>	
Installationsbestimmungen für elektrische Anlagen (3) .....	6
<b>WISO</b>	
Wirtschafts-, Sozial- und Gemeinschaftskunde .....	8
<b>Antennentechnik</b>	
Koaxiales Verteilungssystem (6) ....	9
<b>Arbeitssicherheit</b>	
Arbeiten mit Leitern und Tritten (5) .....	11
<b>Fremdsprache</b>	
Technisches Englisch .....	13
<b>Prüfung</b> Lernfelder 1-13	
<b>Fachtest</b>	
Fachtest AT .....	14
Fachtest CT .....	15
Lösungen .....	16

Geräten eingesetzt werden. Neuartige elektrische Speicherelemente sind elektrochemische **Doppelschichtkondensatoren** und **supraleitende magnetische Energiespeicher**. Die noch teuren Superkondensatoren werden zukünftig in Bereichen mit hohen Leistungsanforderungen eingesetzt werden. Die im magnetischen Feld einer Spule gespeicherte Energie ist extrem schnell verfügbar. Im Forschungsbereich wurden bereits Leistungen von mehreren Megawatt erreicht.

### Wasserstoff

Eine weitere Möglichkeit Energie zu speichern besteht darin, Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Wasserstoff ist transport- und speicherfähig und kann bei Bedarf in einer Brennstoffzelle direkt in elektrischer Energie und Wärme umgewandelt werden. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes werden für die Fachkraft zunehmend wieder interessant.

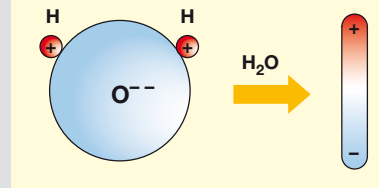


Tafel 1 Elektrochemische Äquivalente ausgewählter Stoffe

elektrochemisches Äquivalent in 10 <sup>-6</sup> kg/As	Aluminium Al	Silber Ag	Gold Au	Sauerstoff O	Wasserstoff H
	0,093	1,118	19,3	0,083	0,010

1 Ionenbindung des Kochsalzes

2 Wasserdipol



Tafel 2 Elektrochemische Spannungsreihe

edel	Silber	+0,80 V
	Quecksilber	+0,79 V
	Kohle	+0,74 V
	Kupfer	+0,34 V
	Antimon	+0,14 V
Wasserstoff		
unedel	Blei	-0,13 V
	Zinn	-0,14 V
	Nickel	-0,23 V
	Eisen	-0,44 V
	Chrom	-0,56 V
	Zink	-0,76 V
	Aluminium	-1,67 V
	Magnesium	-2,40 V
Lithium	-3,02 V	

## Elektrolyse

Im Folgenden wird die Wandlung elektrischer Energie in chemische Bindungsenergie beschrieben. Chemische Verbindungen sind besonders stabil, wenn die äußere Schale ihrer Atome eine sogenannte Edelgaskonfiguration aufweist. Diese entsteht dann, wenn die äußere Elektronenschale acht Elektronen enthält. Am Beispiel des Kochsalzes NaCl soll die Ionenbindung (Bild 1) verdeutlicht werden.

Kochsalz besteht aus Natrium (auf dessen äußerer Elektronenschale sich ein Elektron befindet) und aus Chlor (mit 7 Elektronen auf der äußeren Schale). Das Chloratom ist bestrebt ein weiteres Elektron aufzunehmen, das dem Natrium entzogen wird. Beide weisen dann die stabile Edelgaskonfiguration auf. Es sind dabei positiv bzw. negativ geladene Ionen (Na<sup>+</sup>-Kation, Cl<sup>-</sup>Anion) entstanden. Durch die elektrische Anziehungskraft zwischen beiden Ionen entsteht die chemisch stabile, elektrisch neutrale Kochsalzverbindung. Diese leitet den elektrischen Strom nicht, da frei bewegliche Ladungsträger fehlen.

Nicht nur Salze, auch Säuren und Basen sind wasserlöslich ohne mit Wasser eine chemische Bindung einzugehen. Solche wässrigen Lösungen (Elektrolyte) leiten den elektrischen Strom. Diese Fähigkeit beruht auf der elektrolytischen Dissoziation der Stoffe. Ein Wasserstoffmolekül H<sub>2</sub>O besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom (Bild 2).

Durch die unsymmetrische Anordnung der Wasserstoffatome zum Sauerstoffatom bilden sich positive und negative Ladungs-

bereiche im nach außen insgesamt elektrisch neutral wirkenden Wassermolekül. Die elektrischen Kräfte der Ladungsbereiche trennen die Kochsalzmoleküle in Natrium- und Chlorionen. Als frei bewegliche Ladungsträger erfüllen sie die Bedingung für das Fließen eines elektrischen Stromes. Durch eine elektrische Spannung wandern die positiven Natrium-Ionen zur negativen Elektrode (Kathode) und die Chlor-Ionen zur positiven Elektrode (Anode). Die Ionen nehmen an den Elektroden Elektronen auf bzw. geben sie ab und werden selbst als elektrisch neutrale Stoffe abgeschieden. Dieser Vorgang wird als Elektrolyse bezeichnet. Es ist auch möglich, dass Sekundärreaktionen mit dem Elektrodenmaterial oder dem Elektrolyten eintreten.

In Elektrolyten werden bei Stromfluss stets Stoffe transportiert. Die an den Elektroden abgeschiedene Masse *m* des Stoffes ist proportional der sich im Elektrolyten bewegenden Ladungsmenge *Q*. Die Zusammenhänge werden quantitativ konkreter durch die nach Faraday<sup>1)</sup> genannten Gesetze beschrieben.

1. faradaysches Gesetz

$$m = c \cdot Q \quad (1)$$

Der Proportionalitätsfaktor *c* ist das sogenannte elektrochemische Äquivalent, eine elektro-chemische Stoffgröße, die die elektrolytisch gewonnene Stoffmenge bezogen auf die Einheit der Ladungsmenge [Q] = 1 As = 1 C (Coulomb) angibt. Einige ausgewählte Angaben sind in der Tafel 1 zusammengefasst.

Vor der Einführung des SI-Einheitensystems wurde die Einheit der Stromstärke als Basiseinheit auf die chemische Wir-

kung des elektrischen Stromes zurückgeführt. So ist noch in älteren Fachbüchern zu finden: „Ein Strom von einem Ampere fließt dann, wenn aus einer Silbernitratlösung in einer Sekunde 1,118 mg Silber ausgeschieden werden.“ Diese Definition ergibt sich aus dem Betrag des elektrochemischen Äquivalents von Silber.

2. faradaysches Gesetz

$$m = \frac{M}{F} \cdot Q \quad (2)$$

*m* Masse des abgeschiedenen Stoffes

*Q* Ladungsmenge

*M* stoffmengenbezogene (molare) Masse, auch als Grammäquivalent = relative Atommasse in g; Wertigkeit bezeichnet  
*F* faradaysche Konstante (9,64534 · 10<sup>4</sup> As/mol) gibt die Ladungsmenge in As an, die zur elektrolytischen Abscheidung von 1 Mol eines chemischen 1wertigen Stoffs nötig ist.

## Technische Anwendung der Elektrolyse

### Gewinnung von Reinstmetallen

Bei der Herstellung zum Beispiel von Elektrolytkupfer besteht die Anode aus Kupfer von geringem Reinheitsgrad. Das Kathodenmaterial ist ein dünnes Elektrolytkupferblech. Der Elektrolyt ist eine wässrige Lösung von Kupfersulfat CuSO<sub>4</sub>. Seine Moleküle sind in Cu-Kationen und SO<sub>4</sub>-Anionen zerfallen. Bei Anlegen einer Gleich-

1) Faraday, Michael: englischer Physiker 1791-1867.

spannung wandern die Cu-Ionen zur Kathode und setzen sich als elektrisch neutraler Belag ab. Die zur Anode wandernden  $\text{SO}_4^-$ -Ionen lösen das Kupfer aus der Elektrode, so dass der Elektrolyt wieder die notwendige Kupfersulfatkonzentration hat.

### Abscheidung von Überzügen

Zur elektrolytischen Abscheidung gehören auch Metallabscheidungen ohne die Einwirkung einer äußeren Stromquelle sowie Vor- und Nachbehandlungsverfahren. Es werden bestimmte Oberflächeneigenschaften von Werkstücken wie zum Beispiel der Korrosionsschutz verbessert. Zur Abscheidung der Metallüberzüge werden die vorbereiteten Gegenstände als Kathode in ein galvanisches Bad eingehängt, das die Salze des abzuscheidenden Metalls enthält. Durch Gleichspannung zwischen 1 bis 15 V wird Metall an der Kathode abgeschieden. Die Überzugsdicke beträgt für die meisten Anwendungsfälle etwa 0,001 bis 0,05 mm. Es gibt saure und alkalische Bäder, mit oder ohne Cyaniden oder anderen Komplexbildnern sowie Glanzzusätze oder Härtebildnern. Die Betriebstemperaturen liegen im Bereich bis etwa 80 °C. Ohne äußere Stromquelle lassen sich unedle Werkstoffe meist bei höheren Temperaturen im Sudverfahren dünn überziehen. Dickere Überzüge kann man mit den Reduktionsmitteln Formaldehyd, Hypophosphit oder Natriumborhydrid abscheiden. So versilbert und verkupfert man zum Beispiel Glas und Kunststoffe oder vernickelt Hohlkörper.

### Wandlung chemischer Bindungsenergie in elektrische Energie

Der bei der Elektrolyse ablaufende Energieumwandlungsprozess ist umkehrbar. Chemische Bindungsenergie lässt sich in elektrische Energie umwandeln. Dieser Prozess beruht auf der Ladungstrennung zwischen Metall und Elektrolyt. An den Grenzflächen zwischen Elektrode und Elektrolyt versucht das Metall in Ionenform durch den Lösungsdruck in Lösung zu gehen. Der Elektrolyt wiederum ist bestrebt durch den osmotischen Druck Metallionen an die Elektrode abzugeben. Überwiegt der Lösungsdruck, wird die Elektrode negativ, überwiegt der osmotische Druck, wird sie positiv gegenüber dem Elektrolyten aufgeladen. Durch diesen chemischen Vorgang entsteht ein Potentialunterschied zwischen Elektrolyt und Elektrode.

Eine im Jahre 1789 von Galvani<sup>2)</sup> gemachte Entdeckung zog die Aufmerksamkeit Voltas<sup>3)</sup> auf sich. In zahlreichen Experimenten stellte er die Spannungen der einzelnen Werkstoffe nach Polarität und Betrag zu einer Spannungsreihe (Tafel 2) zusammen, die später nach und nach erwei-

tert wurde. Die einzelnen Spannungen werden auf die Normal-Wasserstoff-Elektrode, ein mit Wasserstoffmolekülen bedecktes Platinblech bezogen.

**Edle Metalle und Kohle weisen gegenüber Wasserstoff ein positives Potential, unedle Metall ein negatives Potential auf.**

Das elektrische Potential zwischen einer Elektrode und dem Elektrolyten ist direkt nicht abgreifbar. Es müssen zwei Elektroden aus unterschiedlichem Metall oder Metall und Graphit in den Elektrolyten getaucht werden. Aufgrund der ungleichen Lösungsdrücke der Elektrodenmaterialien entsteht zwischen den Elektroden eine Quellenspannung. Diese ist umso größer, je weiter der Abstand der Materialien in der elektrochemischen Spannungsreihe ist.

## Merkmale von Primärelementen

Galvanische Elemente werden auch als Primärelemente bezeichnet. Die zuerst (primär) vorhandene Bindungsenergie wird in elektrische Energie umgewandelt. Sie sind zur einmaligen Verwendung bestimmt. Bei der Auswahl von Primärelementen sind einige grundsätzliche Merkmale zu berücksichtigen.

**Energiedichte.** Bei möglichst geringem Volumen sowie geringer Masse soll ein Höchstmaß an elektrischer Energie verfügbar sein. Die Energiedichte wird deshalb in Wh/cm<sup>3</sup> oder in Wh/kg angegeben.

**Selbstentladung.** In Abhängigkeit vom elektrochemischen System laufen ohne angeschlossene Verbraucher schwache chemische Prozesse ab, die die Lagerzeit der Elemente begrenzen. Die Lagertemperaturen sollen vorzugsweise zwischen 10 °C und 25 °C liegen. Die relative Luftfeuchtigkeit soll 65 % nicht übersteigen.

**Entladeverhalten.** Es wird durch die Änderung der Spannung  $U$  in Abhängigkeit von der Entladezeit  $t$  charakterisiert. Das Bild dieser Abhängigkeit ist die Entladekennlinie

(Bild 3). Temperatur, Lastspiel und die vorgehende Lagerung bestimmen das Entladeverhalten. Niedrige Temperaturen verschlechtern die Entladeeigenschaften. **Lebensdauer.** Die Lebensdauer ist infolge der chemischen Prozesse begrenzt und wird durch eine untere Spannung festgelegt. Diese beträgt im Allgemeinen 50 % der Bemessungsspannung. Die Lebensdauer sinkt mit zunehmendem Entladestrom.

**Primärelemente sind nicht aufladbar. Ladeversuche führen zur Gasbildung und zur Explosion. Entladene Batterien sind Sondermüll!**

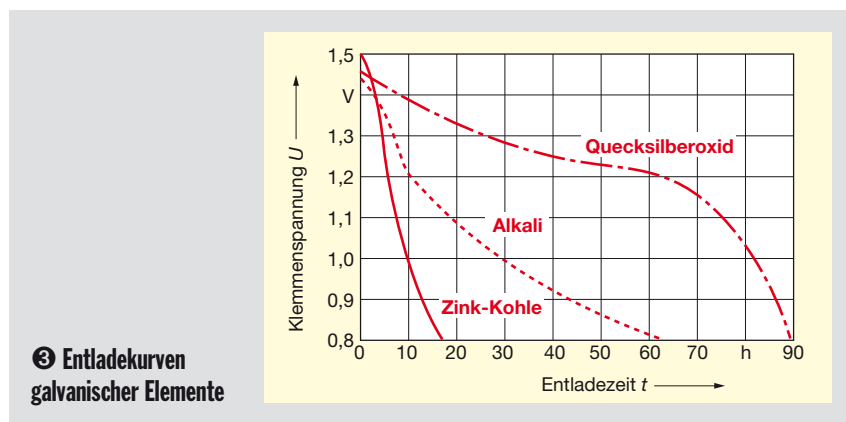
## Verschiedene galvanische Elemente

**Kupfer-Zink-Element.** Es wurde etwa um 1800 von Volta gebaut. Ein Kupferstab Cu und ein Zinkstab Zn werden in eine verdünnte Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ) getaucht. Durch den höheren Lösungsdruck wird Zn negativ gegenüber dem Cu. Wie aus der elektrochemischen Spannungsreihe abgelesen werden kann, entsteht eine Spannung von 1 V.

**Zink-Kohle-Element.** Die klassische Bauform des Leclanché-Elements ist die Rundzelle. Ein als Gefäß dienender Zinkbecher ist die negative Elektrode. Zwischen dem Kohlestift (positive Elektrode) befindet sich als Elektrolyt eine eingedickte Salmiaklösung  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Der Kohlestift ist von einem Braunstein-Depolarisator umgeben. Er verhindert ein Überziehen der Elektrode mit Wasserstoff. Dieser würde durch seine ionisierende Wirkung die Zelle unbrauchbar machen. Die Nennspannung beträgt 1,5 V, die Energiedichte 50 Wh/kg. Die Selbstentladung wird mit 1 % pro Monat angegeben.

2) Galvani, Luigi: italienischer Mediziner 1737-1798.

3) Volta, Alessandro: italienischer Physiker 1745-1827.



3 Entladekurven galvanischer Elemente

**Alkali-Mangan-Element.** Die Bezeichnung leitet sich aus dem Kaliumhydroxid-Elektrolyten ab. Die Elektroden bestehen aus Mangandioxid hoher Reinheit und Zinkgranulat. Die Nennspannung beträgt 1,5 V. Nach 3 Jahren Lagerung bei 20 °C kann die Kapazität immerhin noch einen Wert von 85 % aufweisen.

**Lithium-Element.** Es besteht prinzipiell aus einer Lithium-Anode und einer flüssigen Schwefeldioxid-Katode. Der organische Elektrolyt ist das Acetonnitrit, dem zur Erhöhung der Leitfähigkeit Lithium-Bromid beigemischt ist. Die Nennspannung erreicht 2,85 V und die Energiedichte etwa 300 Wh/kg.

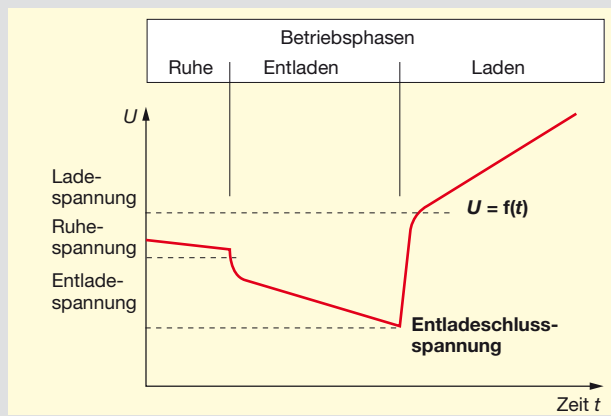
## Sekundärelemente

Sind bei Primärelementen die Elektrodenmaterialien und der Elektrolyt durch die chemischen Reaktionen aufgebraucht, ist der energieliefernde Vorgang beendet. Die elektrochemische Stromquelle ist entladen. Einige chemische Reaktionen lassen sich durch eine von außen angelegte Gleichspannung umkehren. Durch die Aufnahme von Elektronen entstehen die ursprünglichen Elektrodenmaterialien und der Elektrolyt in seiner Ausgangskonzentration. Das Entladen kann erneut beginnen. Solche Systeme nennt man Sekundärelemente oder Akkumulatoren (Sammeler). Ist es möglich, die Reaktionspartner kontinuierlich der chemischen Reaktion zuzuführen (vorwiegend sind das gasförmige oder flüssige Stoffe), läuft der stromliefernde Vorgang theoretisch unbegrenzt und praktisch so lange ab, bis die Bauelemente verschleifen. Diese Systeme heißen elektro-chemische Brennstoffelemente. Die Bezeichnung ist darauf zurückzuführen, als ursprünglich versucht wurde, für die Elektroden traditionelle Brennstoffe wie Kohle einzusetzen. Ein typisches elektrochemisches Brennstoffelement ist die Wasserstoff-Luft-Zelle mit Kalilauge oder Schwefel- bzw. Phosphorsäure als Elektrolyten. Die Betriebsspannung beträgt 1,2 V. Die Energiedichte von 100 bis 500 Wh/kg ist abhängig vom Reaktandenvorrat.

## Akkumulatoren

Einen ersten Blei-Akkumulator entwickelte im Jahre 1854 *Sincedten*<sup>4)</sup>. Entscheidende Verbesserungen durch das Formieren der Platten stammen von *Planté*<sup>5)</sup>, der dem Blei-Akkumulator seine im Wesentlichen noch heute gebräuchliche Form gab. 1901 erhielt *Edison*<sup>6)</sup> das Patent für den Nickel-Cadmium- bzw. den Nickel-

### 4 Allgemeiner Spannungsverlauf der Akkumulatoren



Eisen-Akkumulator. Zur industriellen Verwertung des Patentes begann zwischen *Edison* und *W. Jungner* ein jahrelanger Patentstreit. Straßenfahrzeuge mit Elektroantrieben auszurüsten, führte Anfang der 1970er Jahre zur Suche nach neuen Batteriesystemen zum Beispiel Zink-Brom-Batterien, Natrium-Nickelchlorid-Batterien und Lithium-Ionen-Batterien.

## Physikalische Größen der Akkumulatoren

**Zellenspannung.** Sie wird durch das Elektrodenmaterial und dem Elektrolyten bestimmt. Höhere Spannungen entstehen durch die Reihenschaltung von grundsätzlich gleichartigen Zellen. Diese werden meist vom Hersteller in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht.

**Innenwiderstand.** Er besteht aus dem ohmschen Widerstand des Elektrodenmaterials und des Elektrolyten sowie dem Reaktionswiderstand. Dieser entsteht ursächlich durch die in der Zelle ablaufenden chemischen Reaktionen. Der Innenwiderstand hängt außer von der Zellengröße auch noch vom Alter der Zelle, deren Ladezustand sowie von der Temperatur ab. Der Innenwiderstand hat somit keinen konstanten Betrag. Herstellerangaben sind oft nicht eindeutig. Liegen keine verlässlichen Angaben vor, kann der aktuelle Innenwiderstand messtechnisch erfasst werden. Hierzu wird die Batterie mit dem einsatzüblichen Strom belastet. Die Stromstärke *I* und die Klemmenspannung *U* sind zu messen. Die Leerlaufspannung *U<sub>0</sub>* ist sofort zu messen. Mit der Formel (3) wird der Innenwiderstand berechnet:

$$R_i = \frac{U_0 - U}{I} \quad (3)$$

Die Messungen sollten nicht unmittelbar nach der Ladung des Akkumulators und auch nicht an einem nahezu vollständig entladenen vorgenommen werden, da sich in beiden Fällen der Betrag von *R<sub>i</sub>* rasch ändert.

Zum Beispiel bei einer Ni/Cd-Zelle mit einer Kapazität von 1,2 Ah wurde bei einer Belastung mit 5,2 A eine Klemmenspannung von 1,16 V gemessen. Bei Entlastung stieg die Klemmenspannung auf 1,24 V an. Nach (3) beträgt der Innen-

$$widerstand R_i = \frac{1,24 \text{ V} - 1,16 \text{ V}}{5,2 \text{ A}} = 15 \text{ m}\Omega.$$

Der Innenwiderstand bestimmt das Spannungsverhalten  $U = f(I)$  und den Betrag des Kurzschlussstromes

$$I_k = \frac{U_0}{R_i} = \frac{1,24 \text{ V}}{0,015 \Omega} = 82,7 \text{ A}.$$

Werden mehrere Zellen in Reihe zu einer Batterie geschaltet, addieren sich die Innenwiderstände der einzelnen Zellen. Andererseits wird durch Parallelschalten der Zellen der Gesamtinnenwiderstand kleiner.

**Spannungsverlauf.** Betrachtet man die zeitliche Änderung der Klemmenspannung eines Sekundärelementes  $U = f(t)$  sowohl bei Energieabgabe als auch bei Energieaufnahme, ergibt sich ein vom Batteriesystem unabhängiger typischer Verlauf (Bild 4).

In der Ruhephase sinkt die Ruhespannung durch die Selbstentladung geringfügig ab. Beim Entladen verringert sich in Abhängigkeit vom Entladestrom die Klemmenspannung durch den inneren Spannungsfall. Wird die Entladeschlussspannung erreicht, muss geladen werden. Regelmäßige und typentsprechende Ladungen bestimmen das Leistungsvermögen und die Lebensdauer der Batterien. Insbesondere bei Bleibatterien ist eine Überladung zu vermeiden.

H. Spanneberg

- 4) *Sincedten, Wilhelm Josef*: deutscher Arzt 1803-1891.
- 5) *Planté, Gaston Raimond*: französischer Physiker 1834-1889.
- 6) *Edison, Thomas Alva*: amerikanischer Erfinder 1847-1931.

Fortsetzung  **LERNEN & KÖNNEN**  
Batteriesysteme