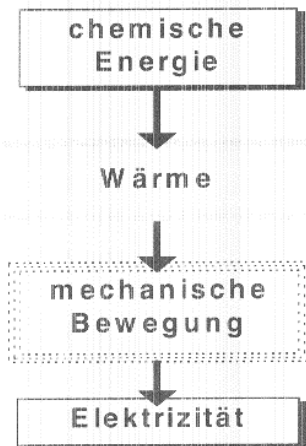

Batterien

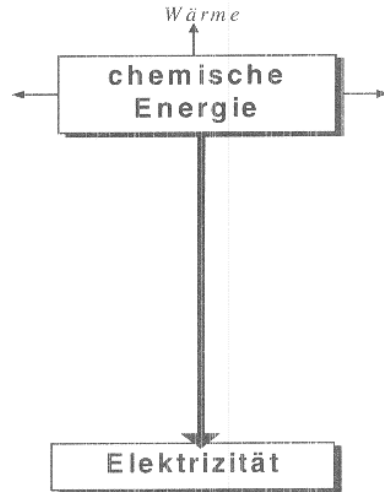
Funktionsweise und Grenzen

Batterie, Akkumulator, Zelle' - was ist das?

Diesel-Generator



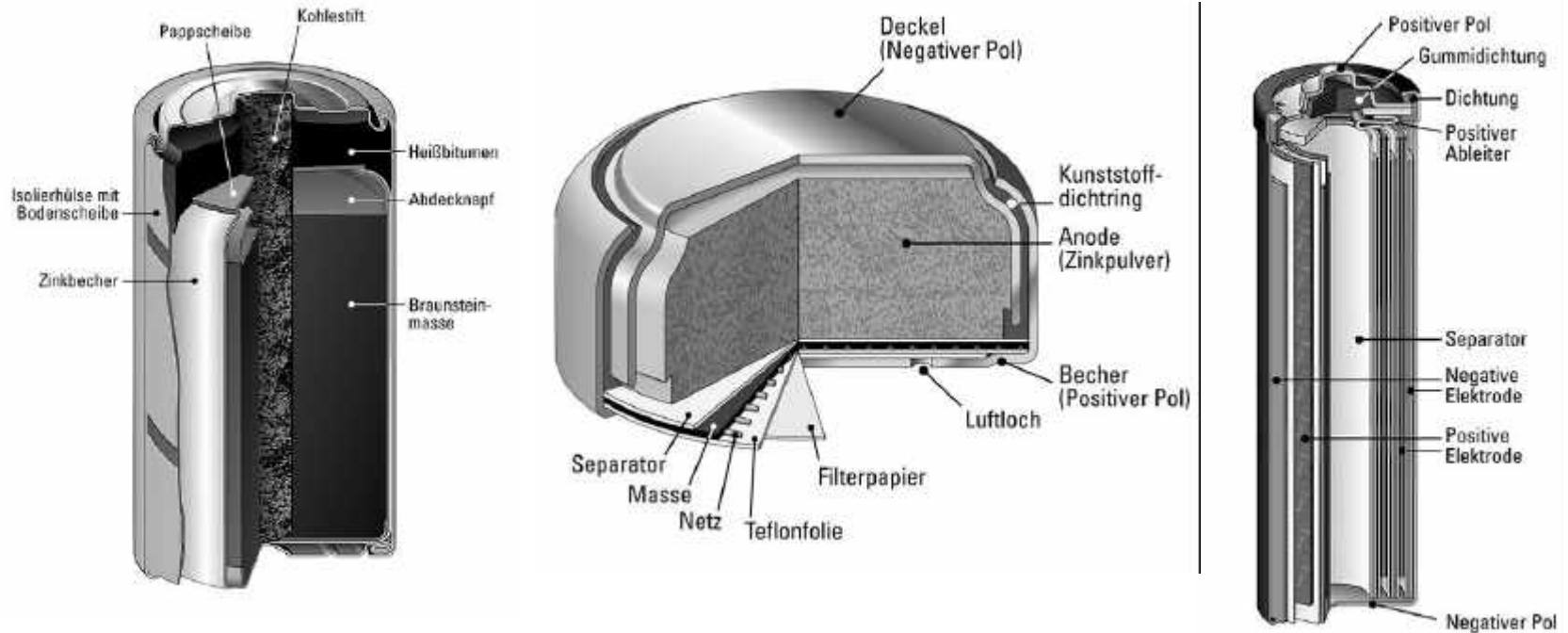
elektrochemische Energiequelle



Die Batterie ist ein Speicher elektrischer Energie. Ihre kleinste Einheit heißt galvanische Zelle. In der Regel besteht eine Batterie aus mehreren, elektrisch in Serie verbundenen Einzelzellen. Die in ihnen gespeicherte chemische Energie wandelt sich direkt in elektrische Energie um, wenn ein elektrischer Verbraucher angeschlossen wird.

Auch eine galvanische Zelle benötigt für die Energieumwandlung zwei Stoffe, nur sind es hier zwei elektrochemisch aktive Elektroden unterschiedlicher Zusammensetzung, die im Innern der Zelle über den sogenannten Elektrolyten miteinander leitfähig in Verbindung stehen.

Aufbau



Die eine Elektrode besteht aus einem Metall (z.B. Zink oder Lithium). Sie baut innerhalb des Elektrolyten ein negatives Potential auf. Die zweite Elektrode besteht aus einer elektronenleitenden und sauerstoffreichen Verbindung wie z.B. Braunstein, Silberoxid, Nickelhydroxid oder Luftsauerstoff in Verbindung mit einer Luftsauerstoffelektrode. Sie baut innerhalb des Elektrolyten ein positives Potential auf.

Unterschied zwischen Primär- und Sekundärbatterie?

Die Art des elektrochemischen Systems bestimmt darüber, ob es wieder aufladbar oder nicht wieder aufladbar ist. Echt wieder aufladbare Systeme sind reversible. Die Konstruktion einer Primärbatterie ist sehr viel einfacher, da sie u.a. keine reversiblen Volumenänderungen zu berücksichtigen hat: sie wird nur einmal entladen.

Deutliche Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärbatterie-Systemen bestehen im Bereich der spezifischen, speicherbaren Energie- und Belastbarkeit sowie ihrer Selbstentladung.

So ist z.B. die gewichts- und volumenbezogene Energiedichte von Primärbatterien in der Regel deutlich größer als die von Sekundärbatterien, während es bei der Belastbarkeit genau umgekehrt ist: Die höhere Belastbarkeit bieten die Sekundärbatterien.

Welche Spannung liefern die verschiedenen Batterietypen?

Die Kapazität einer Batterie wird durch Ihren Vorrat an chemischer Energie festgelegt. Sie bestimmt - bei gegebenem Stromverbrauch - die Betriebsdauer des entsprechenden Gerätes.

Starterbatterie (aufladbar), 12 Volt, 6 Volt

Lithiumblock (2 Zellen in Serie), 6 Volt

Lithium-Mangan-Knopfzelle, 3 Volt

Silberoxid-Zink-Knopfzelle, 1,55 Volt

Alkali-Mangan-Zink-Zelle, 1,5 Volt

Zink-Kohle-Rundzelle, 1,5 Volt

Zink-Luft-Knopfzelle, 1,4 Volt

Quecksilberoxid-Zink-Knopfzelle, 1,35 Volt

Nickel-Cadmium-Zellen (aufladbar), 1,2 Volt

Nickel-Metalhydrid-Zellen (aufladbar), 1,2 Volt

Lithium-Ionen-Zellen (aufladbar) nur als Akku Pack erhältlich, 4 Volt/Zelle

Bezeichnung	Elektroden (Negative/ Positive)	Nom. Spannung (V)	Typische Anwendung
Leclanché	Zn/MnO ₂	1,1	
Zink-Zinkchlorid	Zn/MnO ₂	1,2	
Zink-Braunstein (alkalisch)	Zn/MnO ₂	1,2	
Zink-Luftsauerstoff	Zn/O ₂	1,2	Medizinische Geräte
Zink-Silberoxid	Zn/Ag ₂ O	1,5	Uhren
Lithium-Kupferoxid	Li/CuO ₂	1,3	
Lithium-Eisendisulfid	Li/FeS ₂	1,4	
LithiumMangandioxid	Li/MnO ₂	2,5	Kameras & Speicher- backup
Lithium-Polycarbon- monofluorid	Li/(CF) _n	2,5	Kameras & Speicher- backup
Lithium-Iodid	Li/I ₂	2,7	Herzschrittmacher
Lithium- Schwefeldioxid	Li/SO ₂	2,9	Militärische Radios
Lithium- Thionylchlorid	Li/SOCl ₂	3,5	Speicherbackup

Bezeichnung	Elektroden (Negative/ Positive)	Nom. Spannung (V)	Typische Anwendung
Nickel-Metall- Hydride (NiMH)	H ₂ /NiOOH	1,2	
Nickel-Zink (NiZn)	Zn/NiOOH	1,5	
Zink-Silberoxid	Zn/AgO	1,5	Militärausrüstung
Geschlossene Blei/ Säure (SLA)	Pb/PbO ₂	2,0	Preisgünstige Allge- meinanwendungen
Lithium- Molybdändisulfid	Li/MoS ₂	1,7	
Lithium-Niobtrisenid	Li/NbSe ₃	1,8	Laptops
Lithium-Titandisulfid	Li/TiS ₂	2,2	Laptops
Lithium-Karbon	Li/C	2,5	
LithiumMangandioxid	Li/MnO ₂	2,9	
Lithium-Polyanilin	Li/PAn	3,0	
Lithium- Schwefeldioxid	Li/SO ₂	3,1	
Lithium-Ion	Li-C/CoO ₂	3,6	
Lithium-Ion	Li-C/Mn ₂ O ₄	3,6	

Bezeichnung	Elektroden (Negative/ Positive)	Nom. Spannung (V)	Typische Anwendung
Nickel-Kadmium (NiCd)	Cd/NiOOH	1,2	

Nennspannung

- ist als die mittlere Entladespannung definiert; dies ist der Mittelwert der über die gesamte Entladezeit gemessenen Spannungen bei Raumtemperatur, mit Strömen $\leq 0.2C$. Für NiCd-Batterien entspricht das der Spannung nach Entnahme von ca. 55% der entnehmbaren Kapazität.

Kapazität

Die Kapazität Q einer sekundären Batterie (Akkumulator) definiert sich nach der Entladestromstärke I in der Entladezeit t :

$$Q = I * t$$

Mit I -konstanter Entladestrom in Ampere [A], t -Entladezeit von Entladebeginn bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung.

Einheit: Ampere * Stunde [A*h], bzw. mA*h = 1/1000 A*h

Nennkapazität

-diese Kapazität ist für die Batterie charakteristisch. Bei kleinen geschlossenen Batterien ist sie durch 5-stündige Entladung definiert, für manche Typen von Blei-Akkus durch 10- oder 20-stündige Entladung. Die Entladung verläuft bei Raumtemperatur ($20\text{ °C} \pm 0.5$).

Entnehmbare Kapazität

- die Kapazität, die dem Benutzer zur Verfügung steht. Sie entspricht der Nennkapazität, sofern der Entladestrom Nennstrom ist. Einflussgrößen sind:

Entladestromstärke
zulässige Entladeschlussspannung
Batterietemperatur
Ladeprozess
Batterievorgeschichte

Stromdefinitionen

Lade- und Entladeströme werden als Vielfaches von der Nennkapazität angegeben, mit der Bezeichnung C. So ergibt sich für eine Batterie mit einer Nennkapazität von 2 Ah folgender Zusammenhang:

Bezeichnung	Wert
0.1C	200 mA
1C	2 A
2C	4 A

Entladenennstrom

- ist in DIN und den Internationalen Normen für alle standardisierten Batterietypen definiert, für die kleinen NiCd- oder NiMH-Zellen als fünfstündiger Entladestrom von 0.2C.

Maximal-Ladestrom

- ist der vorgegebene Strom, mit dem eine Batterie aufgeladen werden kann, ohne beschädigt zu werden.

Maximal-Entladestrom

- ist der vorgegebene maximale Strom, mit dem eine Batterie arbeiten kann, ohne beschädigt zu werden.

Wirkungsgrad

Das Verhältnis zwischen entnehmbarer und geladener Energie:

$$\eta = \text{entnehmbare Energie} / \text{geladene Energie.}$$

Geschlossene Nickel-Cadmium-Batterien

Der Nickel-Cadmium-Akku wurde bereits gegen Ende der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts bis zur Produktionsreife entwickelt

Vorteile gegenüber anderen Systemen (besonders dem Blei-Akku) sind:

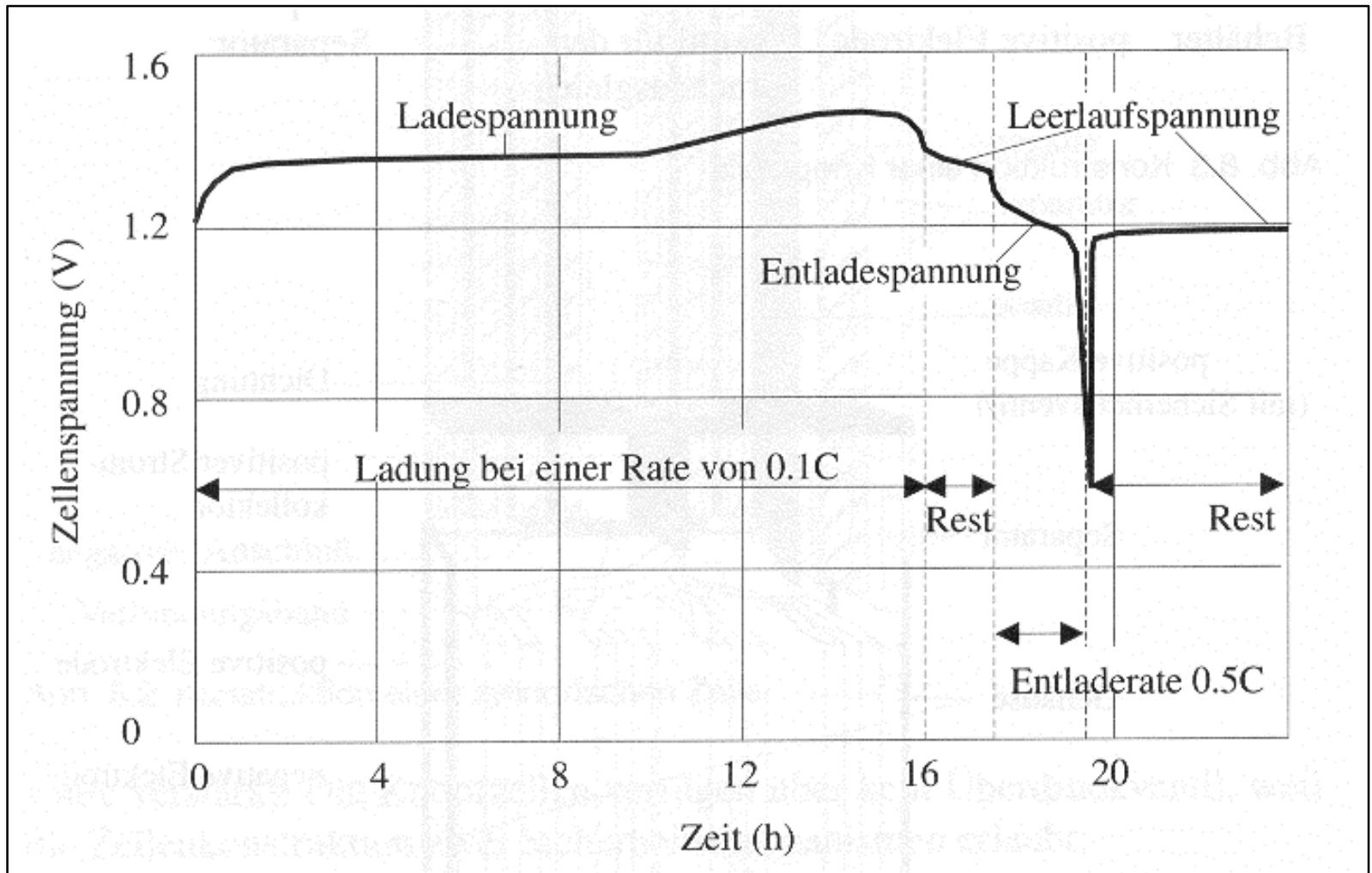
- Flache Entladecharakteristik
- Lange Standzeit in entlademem Zustand
- Tiefentladefähigkeit
- Entladefähig auch bei tiefen Temperaturen
- Elektrische und mechanische Robustheit
- Größere Energiedichte als beim Blei-System.

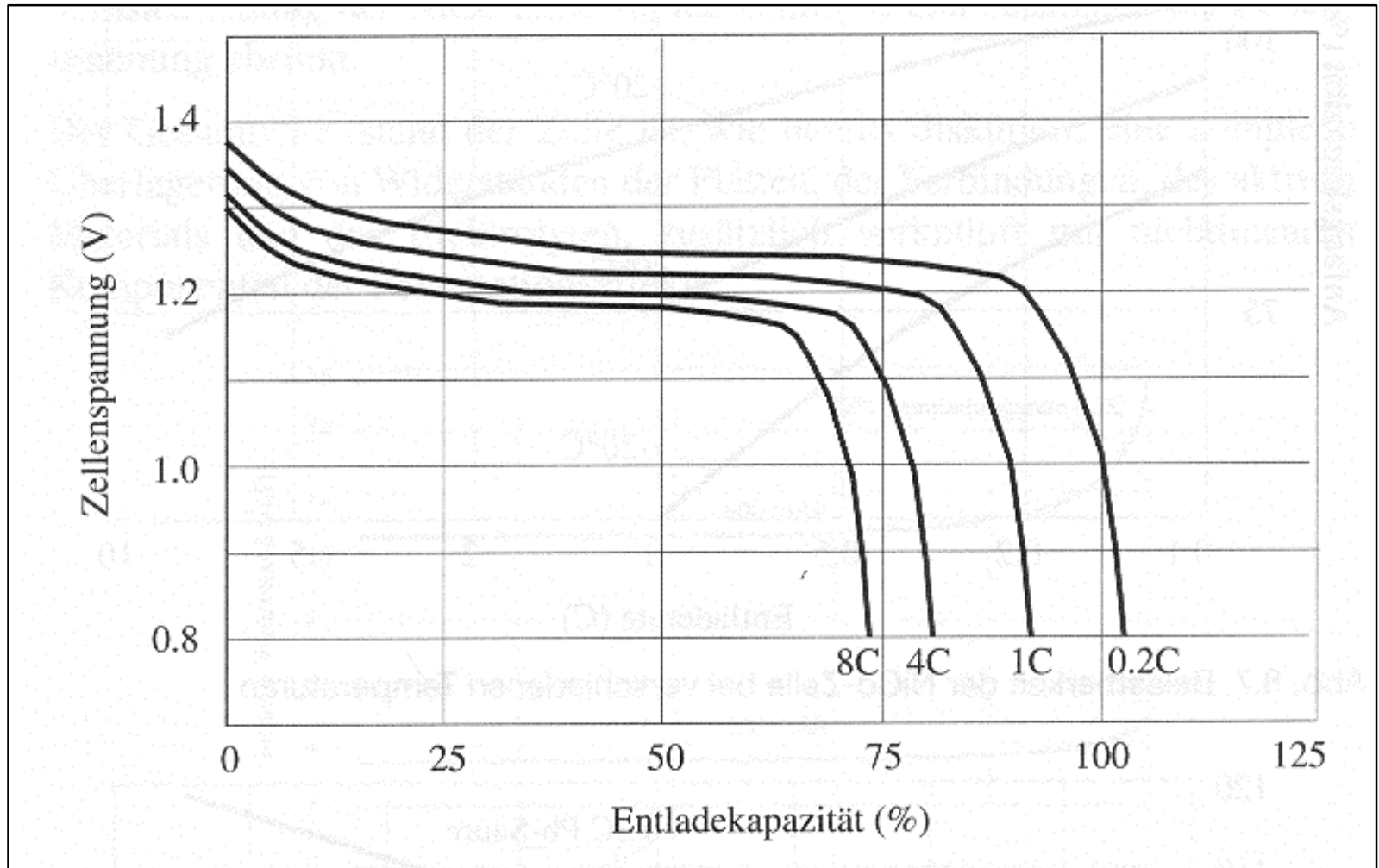
Vorteile

- Geschlossene Bauform
- Keine Wartung
- Lange Lebensdauer
- Gutes Tieftemperaturverhalten
- Großer Entladestrom
- Lange Lagerungszeiten in beliebigem Ladezustand
- Schnellade-Fähigkeit.

Nachteile

- Memory-Effekt
- Höhere Kosten als Blei-Systeme
- Hohe Selbstentladung
- Blei-Akkus haben bessere Eigenschaften bei höheren Temperaturen und im Pufferbetrieb
- Umweltschädlich wegen Verwendung von Cadmium.





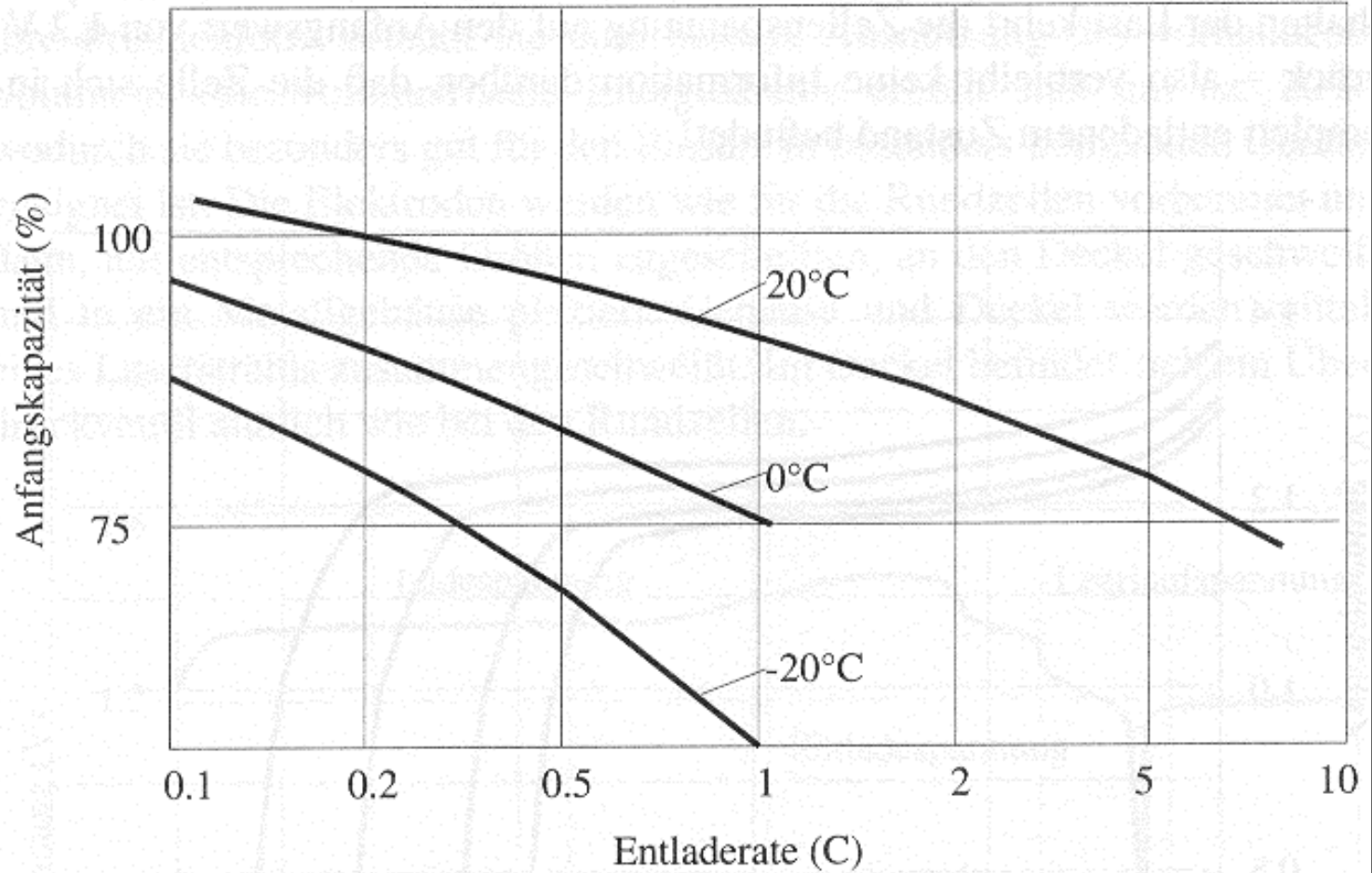


Abb. 8.7 Belastbarkeit der NiCd-Zelle bei verschiedenen Temperaturen

Tab. 111 Vergleich der 4 Stromarten für die verschiedenen Systeme

System	Blei-Säure	NiCd	NiMH	Li-Ion
Batterietyp	geschlos.	geschlos.	geschlos.	geschlos.
Anode	Pb	Cd	MH	Li_xC_6
Kathode	PbO_2	NiOOH	NiOOH	LiCoO_2 (LiMn_2O_4)
Nom.Zellenspannung	2,0	1,2	1,2	3,7 (3,5)
Elektrolyt	Flüssig, anorganisch	Flüssig, anorganisch	Flüssig, anorganisch	Flüssig (Fest) organisch
Arbeitsbereich [V]	2,0-1,6	1,25-1,0	1,25-1,0	4,1-2,7
Grenzwert der Entlade- schlußspannung [V]	1,6	0,8	0,9	2,5
Max. Entl.strom [C]	10	20	2-3	2(3)
Arbeitstemperat.[°C]	-40+55	-40+70	-20+50	-20+60
Energiedichte				
-gravim. Wh/kg	30(40)	40(60)	50	100(125)
-volum. Wh/l	90(100)	105(110)	175	260(250)
Selbstentladung, Max bei 20°C, %NK/Monat	8	15	25	10
Brauchbarkeit/Jahre	4-8	4-15	KA	KA
Zyklenfestigkeit bei 100% Entladetiefe	200-300	300-700	300-600	500 (1000)
Impulsverhalten	++	++	KA	+
Nennentladerate[C]	0,1-0,05	0,2	0,2	0,2

Ladetechniken

Der Ladeprozess wird durch drei Parameter bestimmt:

- Ladestrom
- Ladespannung
- Temperatur der Zelle.

Alle Lademethoden basieren auf der Variation dieser Parameter. Die Effektivität des Ladeprozesses wird durch den Wirkungsgrad gemessen. Man unterscheidet den Strom-Wirkungsgrad

η_{Ah} = Entnehmbare Ladung/Zugeführte Ladung (in Ah)

und den energetischen Wirkungsgrad:

η_{Wh} = Entnehmbare Energie/Zugeführte Energie (in Wh).

Der η_{Ah} -Faktor ist z.B. bei der Ausrechnung der Ladezeit und der aufgeladenen Ladung hilfreich. Der energetische Wirkungsgrad ist dagegen einer der Faktoren zur Abschätzung der Qualität des Batteriesystems.

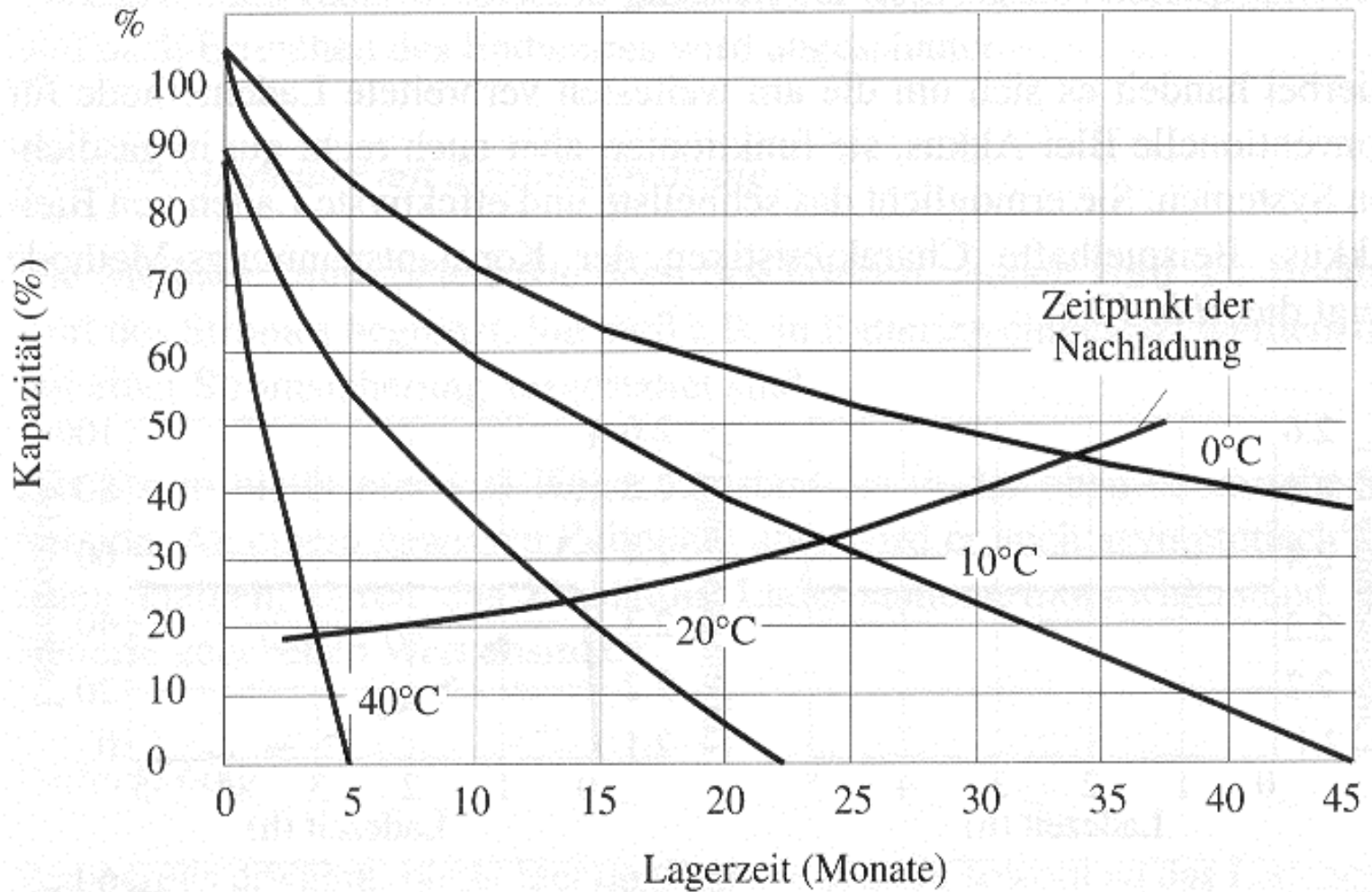
Ladeverfahren

Man unterscheidet Ladeverfahren, die entweder selbständig funktionieren oder in eine kompliziertere Methode zusammengeschaltet werden:

1. Hauptladung
2. Ergänzungsladung
3. Erhaltungsladung

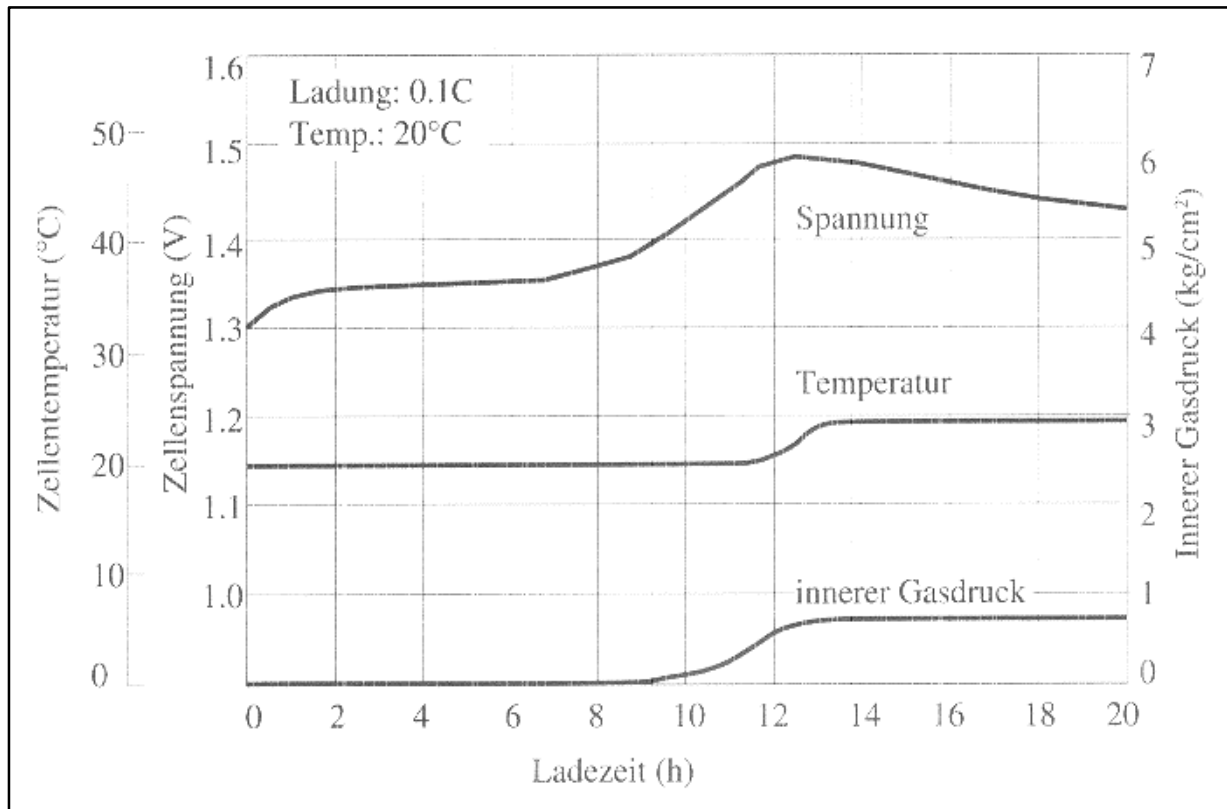
plus eine Anzahl von speziellen Verfahren wie:

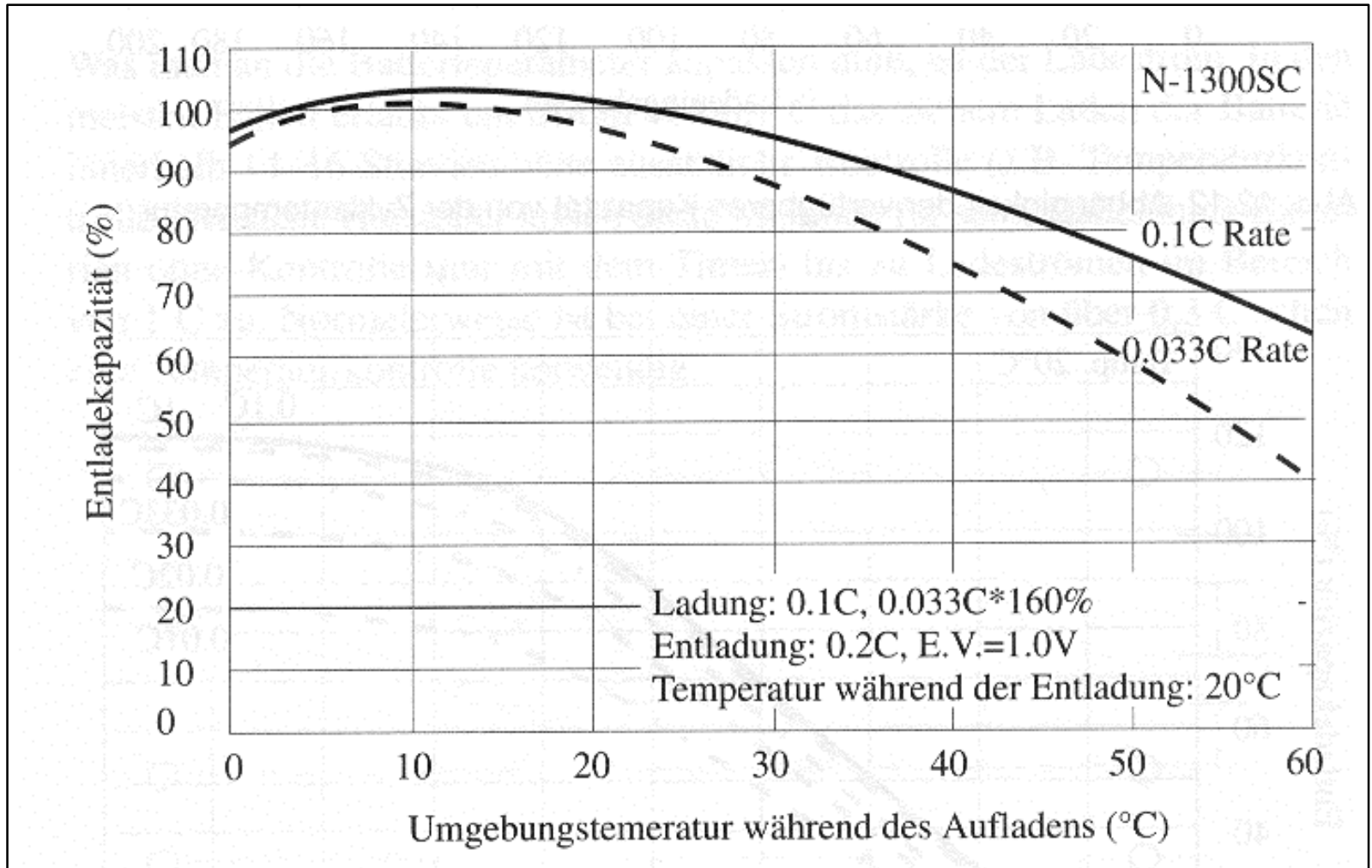
- Pufferladung
- Ausgleichsladung
- Erfrischungsladung



Lademethoden von geschlossenen NiCd-Batterien

Die Überladung des NiCd-Systems ist unkritisch: Die Gasung und Korrosion der Batteriekomponenten sind in den meisten Fällen zu vernachlässigen; der Gasabsorptionsmechanismus ist viel effektiver als in Blei-Zellen.





Konstantstromladung

Die Konstantstrom-Methode ist die empfohlene Lademethode für die NiCd- und NiMH-Batterien.

Was man an die Batterieparameter anpassen muss, ist der Ladestrom. In den meisten Fällen erlaubt ein Strom von 0.1 C das sichere Laden der Batterie innerhalb 14 -16 Stunden ohne zusätzliche Kontrolle (z.B. Temperaturkontrolle).

Manche Hersteller lassen diese Methode für schnellladefähige Batterien ohne Kontrolle (nur mit dem Timer) bis zu Ladeströmen im Bereich von 1 C zu.

Normalerweise ist bei einer Stromstärke von über 0.3 C schon eine Temperaturkontrolle notwendig.

Semikonstantstrom-Ladung

Hierbei handelt es sich um eine preiswerte Version der Konstantstrom-Methode - anstatt den Strom genau zu stabilisieren, begrenzt man ihn mit einem Widerstand, der seriell mit der Batterie geschaltet wird. Der Widerstand muss einen Spannungsabfall von mindestens dem dreifachen Wert der Batteriespannung aufweisen.

Erhaltungsladung

Diese Ladungsart ist eine normale Konstantstrom-Ladung mit einem Strom im Bereich von 0.05 bis 0.02 C, der lediglich die Selbstentladung ausgleicht. Manche Ladegeräte verwenden diese Methode nach der Beendigung des normalen Ladevorgangs, z.B. schaltet das Gerät nach 14 Stunden Ladung mit 0.1 C auf 0.02 C um, macht dafür jedoch keine automatische Abschaltung. Man muss aber beachten, daß sich manche Typen von Batterien innerhalb von 16 Stunden Ladezeit bis etwa 115 - 120% der Nennkapazität aufladen lassen und mit dieser Methode nie den Vollladezustand erreichen.

Beschleunigtes Laden

Die meisten Batteriehersteller definieren die sogenannte Quickcharge- oder Beschleunigtes-Laden-Methode als eine Konstantstromladung mit einem Strom von 0.25 – 0.3 C ohne zusätzliche Temperaturkontrolle als zulässige, billige Schnellladung von Standardbatterien. Die Batterie benötigt dann 4-6 Stunden Ladezeit, je nach Stromstärke und Ladefaktor.

Schnellladen

Dieses Ladeverfahren ist für die Schnellladebatterien zugelassen. Es ist eine Konstantstromladung mit einer Stromstärke je nach System, die die volle Aufladung einer Batterie innerhalb von einer Stunde erlaubt (dies impliziert einen Ladestrom von 1.5 -1.6 C). Zu dieser Ladung muss unbedingt ein Ladegerät mit einer Ladekontrolle eingesetzt werden.

Konstantspannungs-Ladung

Die Methode wird bei Blei-Batterien durchgeführt. Sie ist für die NiCd-Batterien NICHT ZULÄSSIG.

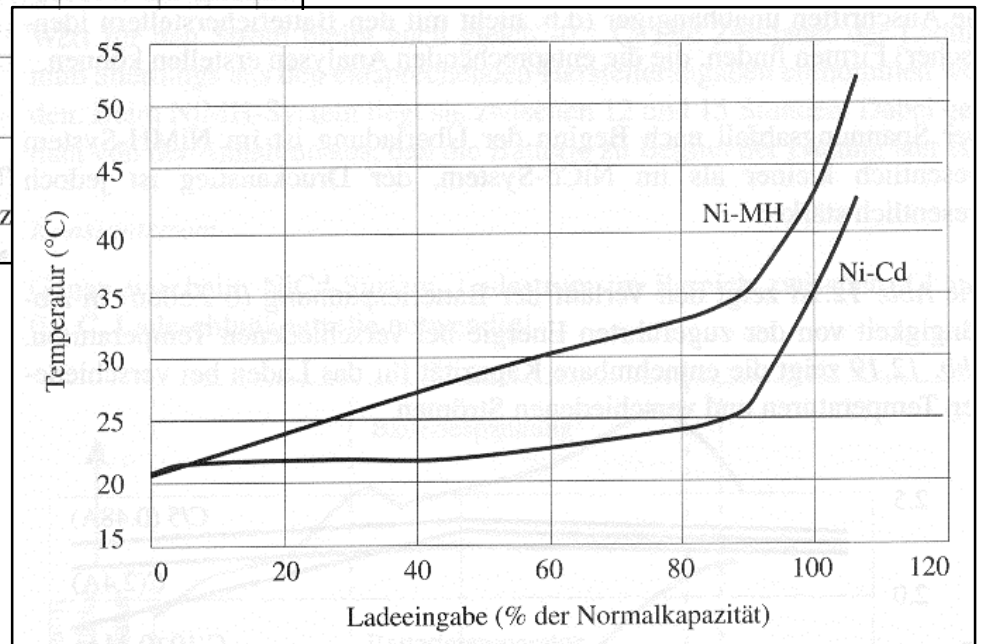
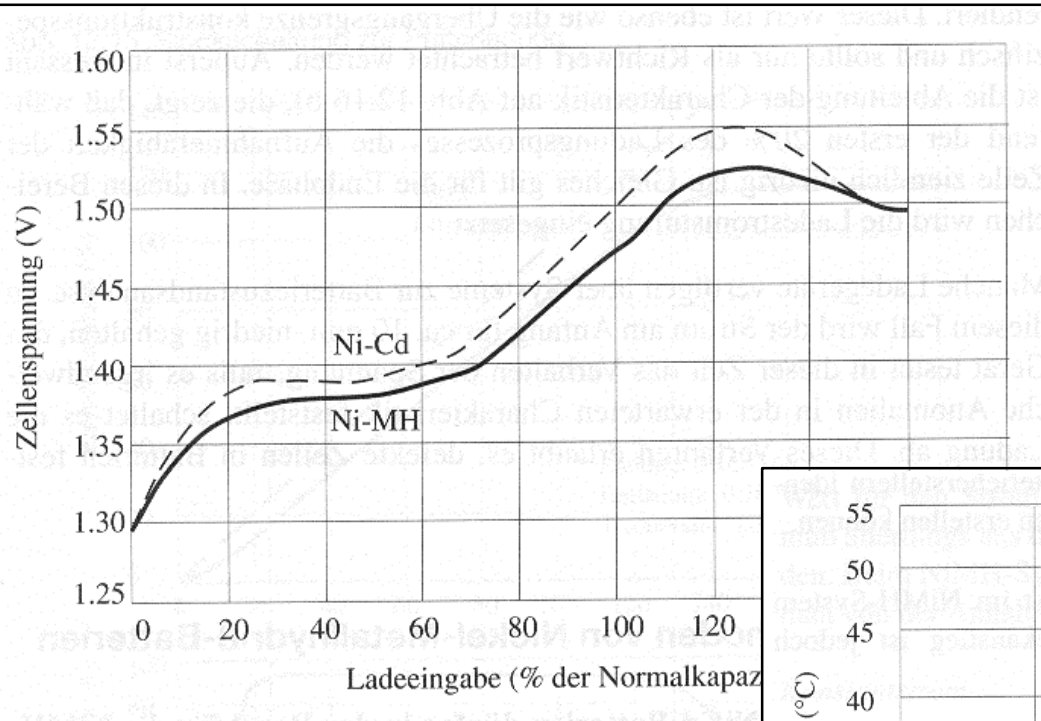
Nach dem Erreichen der Überladungsphase steigt die Temperatur an, was ein Absinken der Zellenspannung bewirkt. Bei der Konstantspannungs-Methode würde der Strom dann ansteigen, was die Überladung vergrößern und die Temperatur noch mehr nach oben treiben würde usw. Es entsteht ein Lawineneffekt - die Zelle gerät aus dem Gleichgewicht, und die Ladung wird nach Austritt des Elektrolyten unterbrochen.

Lademethoden von Nickel-Metallhydrid-Batterien

Die Ladegeräte für NiCd-Batterien dürfen in der Regel für die NiMH-Batterien NICHT eingesetzt werden.

Das Nickel-Metallhydrid-System hat Eigenschaften, die denen der NiCd-Systeme sehr ähnlich sind.

Der wichtigste Unterschied liegt darin, daß das NiMH-System eine wesentlich geringere Toleranz gegen Überladung aufweist: Es arbeitet mit größerem Druck als das NiCd-System, und schon eine relativ kleine Überladung führt zur Öffnung des Sicherheitsventils und zum Ausstoß des Elektrolyten.



Für das Laden der NiMH-Batterien verwendet man ausschließlich verschiedene Varianten der Konstantstrom-Methode.

Semikonstantstrom

Dies ist dieselbe preiswerte Lademethode wie für das NiCd-System. Der Wert für den Strom bleibt auch gleich -0.1 C . Die Zeitdauer der Ladung muss allerdings aus den entsprechenden Herstellerangaben entnommen werden. Beim NiMH-System liegt sie zwischen 12 und 15 Stunden.

Konstantstrom

Genau wie beim NiCd-System. Ladestrom im Bereich zwischen 0.1 und 0.3 C . Ladeschlusskontrolle notwendig!

Schnellladen

Diese Methode wird immer nach dem Stufenstrom-Verfahren durchgeführt. Zuerst wird ein kleiner Strom – 0.2 C - angewendet, um den Batteriezustand zu ermitteln, die Batteriespannung wird gemessen. Nach dieser Anfangsphase (ca. 2-10 min) wird die Schnellladung mit einem Strom von 1 C gestartet. Nach Erfüllung einer der Kontrollkriterien (z.B. des Temperaturanstiegs) findet eine ca. 1/2-stündige Ergänzungsladung mit einem Strom von 0.2 – 0.5 C statt. Die Batterie wird dann auf Erhaltungsladung geschaltet.

Der Benutzer muss immer überprüfen, ob die für seine Batterien passenden Stromstärken und Abschaltkriterien einstellbar sind. Besonders die Erhaltungsladungsströme variieren stark zwischen dem NiCd- und NiMH-System.

Was ist der 'Memory-Effekt'?

Werden Nickel-Cadmium-Batterien wieder aufgeladen, bevor sie vollständig entladen sind, können sich auf ihrer negativen Elektrode Cadmiumkristalle bilden. Dadurch entsteht eine zweite Entladestufe. Die Batterie speichert diese Stufe als Entladestufe für den nächsten Zyklus in ihrem Gedächtnis („memory“). Beim nächsten Entladevorgang hat die Batterie nur noch eine reduzierte Kapazität. Folgen weitere unvollständige Entladezyklen, schaukelt sich der Prozess immer weiter hoch, die Leistungsfähigkeit der Batterie nimmt immer weiter ab. Nickel-Cadmium-Zellen sollten daher hin und wieder vollständig entladen werden. Auf diese Weise wird der "Memory-Effekt" vermieden und die Lebensdauer der Zelle bzw. Batterie verlängert.

Bei Nickel-Metallhydrid-Batterien tritt dieser Effekt nicht auf, man kann sie folglich jederzeit problemlos aufladen bzw. nachladen.

Lithium-Ion-System

Die größten Gefahren, die mit der Anwendung des metallischen Lithiums verbunden sind eliminiert. Tiefentladung und Überladung sind streng untersagt - beides führt zu erheblicher Verkürzung des Zellenlebens oder sogar zu sofortiger Beschädigung. Einer der Hersteller gibt z.B. die folgenden Spezifikationen an:

Beispiel der Abhängigkeit der Zyklenfestigkeit einer Li-Ion-Zelle von der Ladespannung

Ladespannung	Kapazität	Lebensdauer
4.1 V	1200 mAh	800 Zyklen
4.2 V	1300 mAh	400 Zyklen

Hiermit wird nur eine Lademethode festgelegt: die Konstantspannung mit Strombegrenzung.

Wie lange können Batterien unbenutzt aufbewahrt werden?

Grundsätzlich kann keine Batterie ohne Energieverlust gelagert werden. Der bekannteste Vorgang ist die sogenannte Selbstentladung. Sie hängt in der Regel mit der Elektrolytlöslichkeit des positiven Elektrodenmaterials und/oder ihrer thermodynamischen Instabilität zusammen.

Die Selbstentladung ist bei wieder aufladbaren Batterien (Sekundärbatterien, Akkus) im Vergleich zu Primärbatterien (einmal entladbare Batterien) besonders hoch. Sie beträgt bei Raumtemperatur - je nach System - zwischen 15 % und 25 % pro Monat. Mit nur 10 % Selbstentladung pro Monat bieten Solar-Batterien einen besonders kleinen Wert unter den wieder aufladbaren Systemen an.

Bei Primärbatterien ist die elektrochemische Selbstentladung weitaus geringer. Sie liegt bei Raumtemperatur deutlich unter 2 % pro Jahr.

Was ist beim Laden einer Batterie zu beachten?

- Niemals Primärbatterien aufladen!
- Beim Einsetzen der Batterie in das Ladegerät muss auf die korrekte Polarität geachtet werden.
- Sekundärbatterien vor der ersten Nutzung vollständig aufladen.
- Beim ersten Mal vorzugsweise nicht schnell laden.
- Darauf achten, dass Sekundärbatterien immer vollständig geladen werden.

Was ist beim Laden einer Batterie zu beachten?

- Um die Betriebszeit zu erhöhen, ist es bei wieder aufladbaren Nickel-Cadmium-Batterien wichtig, sie vollständig zu entladen, bevor sie erneut geladen werden.
- Wieder aufladbare Batterien nicht in der Kälte (unter 0 Grad) aufladen. Nach dem Aufladen können sie jedoch bei kalten Temperaturen verwendet werden.
- Bei -20°C wird die Entladung schwierig, da bei dieser Temperatur der Gefrierpunkt des Elektrolyten erreicht wird.

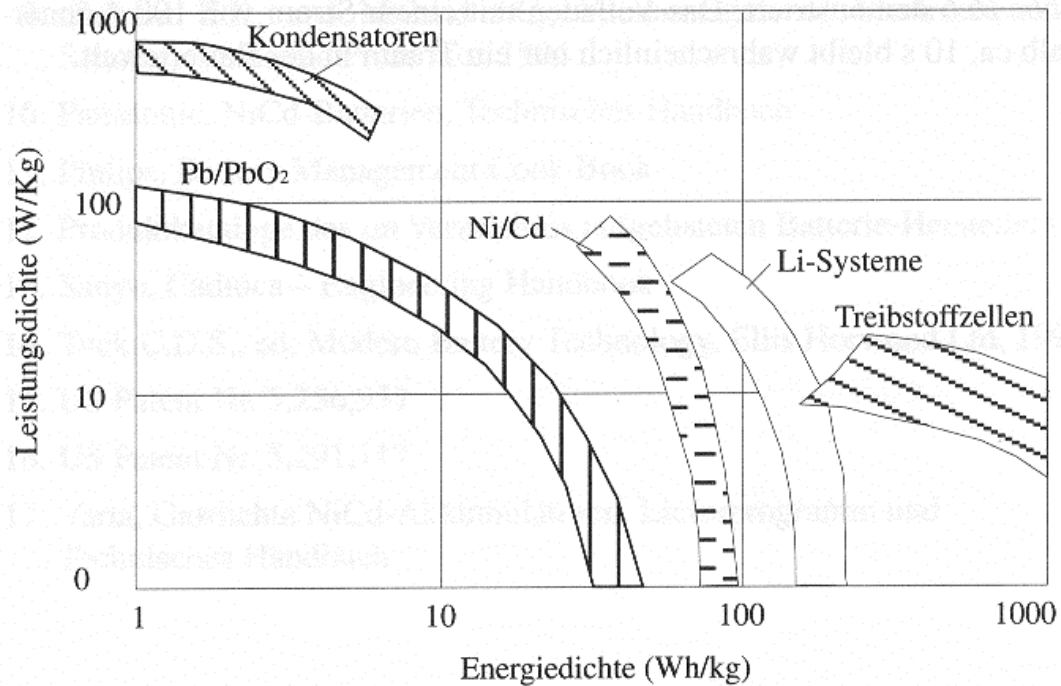


Abb. 16.5 Vergleich der Energiedichten und Leistungsdichten von Kondensatoren und verschiedenen elektrochemischen Zellen