

# Akkus und Ladegeräte für autonome Roboter und andere mobile Anwendungen

G.Wiesspeiner

## EINLEITUNG

Während bis vor wenigen Jahren die Auswahlkriterien für eine Stromversorgung aus Akkus relativ einfach waren, stehen dem Entwickler und Konstrukteur heute eine Vielzahl von Technologien (NiCd, NiMH, Pb, Pb-Gel, LiIon, Li-Polymer, ZnO, NiZn, NiFe), Ladeverfahren und Stromversorgungs-Systeme zur Verfügung. Obwohl jedoch die Probleme der Akku- und Ladetechnik hinreichend bekannt sind, werden diese Problemen weder seitens der Entwickler und Konstrukteure noch seitens der verantwortlichen Produktmanager und Betreuer mit der angemessenen Aufmerksamkeit behandelt. Später wird dann einfach den Akkus die Schuld für die Probleme (Leistungs- und Kapazitätsverlust, Ausfall) gegeben und man erwartet sich eine Verbesserung der Situation durch den Einsatz anderer Akku's bzw. neuer Akku-Technologien. Dieses Spiel wird seit Jahren weitergespielt, obwohl neue Technologien die Vermeidung der altbekannten Probleme zwar versprochen, aber nicht gehalten haben. Eine genauere Analyse der Situation zeigt fast immer, daß nicht die Akku's per se schuld sind, [Akkus sind besser als ihr Ruf], sondern daß falsche Voraussetzungen im Konzept des Gesamt-Systems [Die größten Irrtümer der Ladetechnik] und die Fehler im Design der Schaltung in der Praxis zu Fehlfunktionen, frühzeitigem Geräteausfall und Akkudefekten führen.

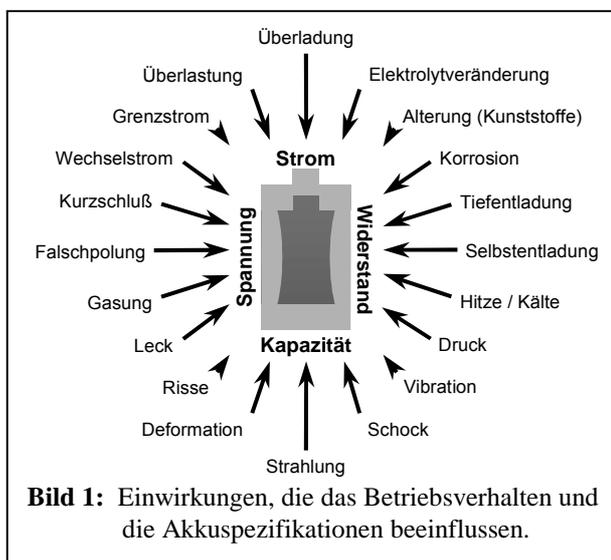
Das Design von Stromversorgungen aus Akku's erfordert spezielles Fachwissen, welches grundlegend über Kenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit elektronischen Bauelementen hinausgeht.

Bauelemente lassen sich über weite Bereiche in engen Grenzen spezifizieren, wogegen sich Akkus eher wie lebende Organismen verhalten. Dementsprechend verändern Akkus ihre Eigenschaften und ihr Betriebsverhalten (Bild 1) und sind damit für den Elektroniker scheinbar unberechenbar.

Zusätzlich wird häufig übersehen, daß die größere Beanspruchung des Akku's nicht im Betrieb, sondern beim Laden auftritt.

Außergewöhnliche Anforderungen treten bei mobilen Geräten im Feld auf. Die unterschiedlichen Dauer- (Steuerung, Elektronik) bzw. lastabhängigen Impuls-Stromverbraucher in den für Akkus extremen Temperaturbereichen sind ebenso zu berücksichtigen wie schneller Verfügbarkeit (kurzer Nachladezeit) als auch ständiger Einsetzbarkeit (Standby-Bereitschaftsladen,) gekoppelt mit hoher Effizienz und langer Akkulebensdauer.

Mit solider Technik und dem entsprechenden Know-How lassen sich jedoch auch heikle Aufgaben zur vollen Zufriedenheit lösen.



## Bestimmung des Kapazitätsbedarfes

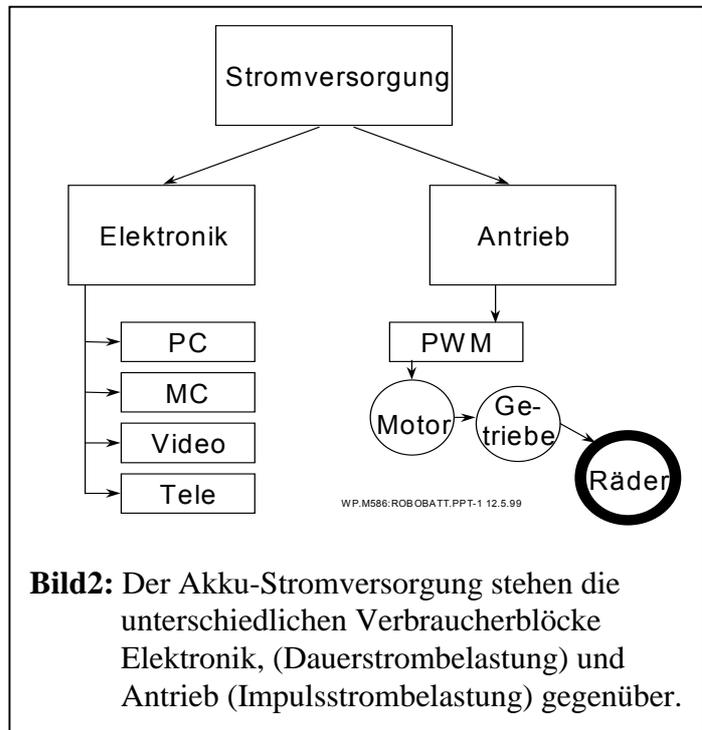
Bei vollkommen autonomen und mobilen Geräten muß die gesamte Energie aus den mitgeführten Batterien zur Verfügung gestellt werden.

Auf der Verbraucherseite stehen dem die beiden Teilsysteme

- A) Steuerungsteil (von der Betriebszeit abhängiger Dauerstromverbraucher) und
- B) Anwendungsteil (von der Arbeitsleistung bzw. Reichweite abhängiger Spitzenstromverbraucher) gegenüber.

Der Energieverbrauch des Steuerteiles läßt sich einfach aus der Summe der Einzelverbraucher ermitteln.

(Tab1: Roboter mit Master/Slave Prozessor, Kamera und Sensor/Aktor Interfaces). Dabei müssen jeweils auch die Verluste der Versorgungs-Spannungsregler berücksichtigt werden.



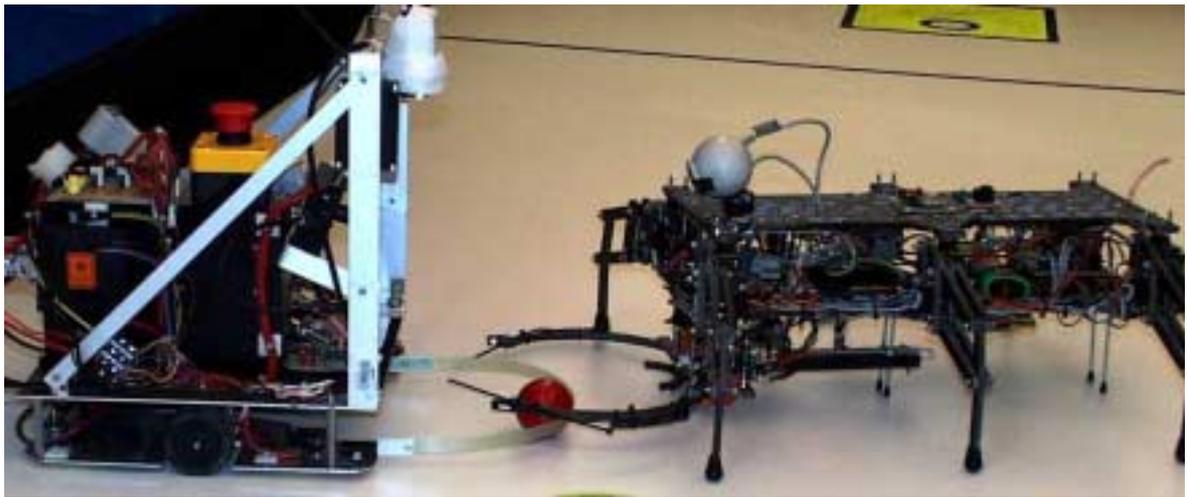
**Tabelle 1:** Stromverbrauch des Steuerteils eines 6-Beinigen Roboters (Robo 2)

Komponenten	Anzahl	Spannung	Strom	Leistung	Regler	Gesamt
	Stk	[V]	[mA]	[W]	$\eta$ [%]	[W]
Mainboard 586 133MHz	1	5	1250	6,25	85	7,35
Flash HD	1	5	50	0,25	85	0,3
digitale Kamera Quickcam	1	5	300	1,5	85	1,76
Microcontroller	1	5	80	0,4	85	0,47
Kompass	1	5	10	0,05	85	0,06
Infrarot Abstandsensoren	4	5	10	0,2	85	0,23
CCD Kamera mit Telemetrie	1	8	300	2,4	80	3
Steuerteil Summe						13,17

Komponenten	Anzahl	Spannung	Strom	Leistung	Einsatz	Gesamt
	Stk	[V]	[A]	[W]	[%]	[W]
Beinbewegung Servomotor	12	7,2	0,6	52	10	5,2
Abschussvorrichtung Motor	1	6	80	240	1,5	3,6
Anwendungsteil Summe						8,8

**Tabelle 2:** Stromverbrauch des Anwendungsteils des 6-Beinigen Roboters (Robo 2)

Der Energieverbrauch des Leistungsteiles ergibt sich erst aus der jeweiligen Anwendung und ist vor Abschluß der Entwicklungsphase nur grob abschätzbar. Als Ausgangswerte für eine solche Abschätzung eignen sich die Vergleichsdaten von verschiedenen Elektrofahrzeugen aus der Praxis nach Tabelle 3. Für eine erste Dimensionierung kann daraus, bezogen auf das Fahrzeuggewicht, die mittlere Leistung mit rund 12W/kg und die Energie mit 9,6 W/kg angesetzt werden. Anwendungsspezifische Abweichungen und andere Leistungsdaten (Motorisierung, Reichweite, etc.) kann man ebenfalls der Tabelle 3 entnehmen.



**Bild 3:** Die selbständig lernfähigen Roboter Oskar1 (links) und Robo2 (rechts) im Wettstreit um die Kugel [W.Maass: Lernende Maschinen, <http://www.cis.tu-graz.ac.at/igi/maass/117/117.html>]

**Tabelle 3:** Leistungsdaten von Elektrofahrzeugen

Fahrzeug	Betriebs-Gewicht	Betriebsdauer	Reichweite	max. Geschw.	Motor-Leistung		Batterie Eigenschaften			Energie	Leistungs-Gewicht	Energie-Gewicht
					Art	[W]	Art	U [V]	C [Ah]			
	[kg]	[h]	[km]	[km/h]	Art	[W]	Art	U [V]	C [Ah]	E [Wh]	[W/kg]	[Wh/kg]
<b>Modellbau</b>												
Modellauto	1,2	0,3			1DC65	65	NC	7,2	2,8	20,16	54,2	16,8
<b>Elektro Fahrrad (inkl. 1 Person 70kg)</b>												
ZAP	90		25	30	1DC	600	SLA	12	17	204	6,7	2,3
<b>Behinderten Fahrzeuge (inkl. 1 Person 70kg)</b>												
E-Rollstuhl	130		50	10	2DC200	400	PbG	24	50	1200	3,1	9,2
Lark6/38	150		40	10			PbG	24	38	912		6,1
Graf-Carello	250		50		2DC500	1000	Pb	24	120	2880	4,0	11,5
Para-Magic	320		10	15	2DC750	1500	Pb	24	165	3960	4,7	12,4
<b>Autos (Leergewicht)</b>												
Fiat Panda	1150		100	70	1DC9,2	9200	PbG	72	160	11520	8,0	10,0
Renault Clio	1150		70	95	DC16k	16000	NC	114	100	11400	13,9	9,9
Toyota RAV	1540		215	125	AC50k	50000	NMH	288	95	27360	32,5	17,8
<b>Roboter</b>												
Gehstuhl GS2 gehen	250	2	0,1	0,054	6DC72 1DC20	452	Pb	24	48	1152	1,8	4,6
GS2 fahren	250		30,0	10	2DC170	320	Pb	24	48	1152	1,3	4,6
IS-Hermes		0,5					NC	14,4	1,5	21,6		
Sony AIBO	1,6	1,5			18DC		Lilon	7,2	3	21,6		13,1
Honda P3	130	0,3		2	28DC		NiZn	136	7	952		7,3
XR4000	150	9		5,4	4DC		Pb			1575		10,5
Sojourner	11,5	8			DC		LiThy	10	12	120		11,5
<b>Gabelstapler</b>												
Hubstapler	3500	8h			AC	6000	Pb	48	600	28800	1,7	8,2
<i>Mittelwert</i>											11,9	9,6

## Einfluß der Strombelastung

Die Motoren von Robotern und Fahrzeugen aber auch die Sender von Kommunikationsgeräten, die Computerperipherie (HD, Printer), Interfaces von Meß- bzw. Datenerfassungsgeräten können zu extremen Wechsel- bzw. Impulsbelastungen der Energiequelle führen.

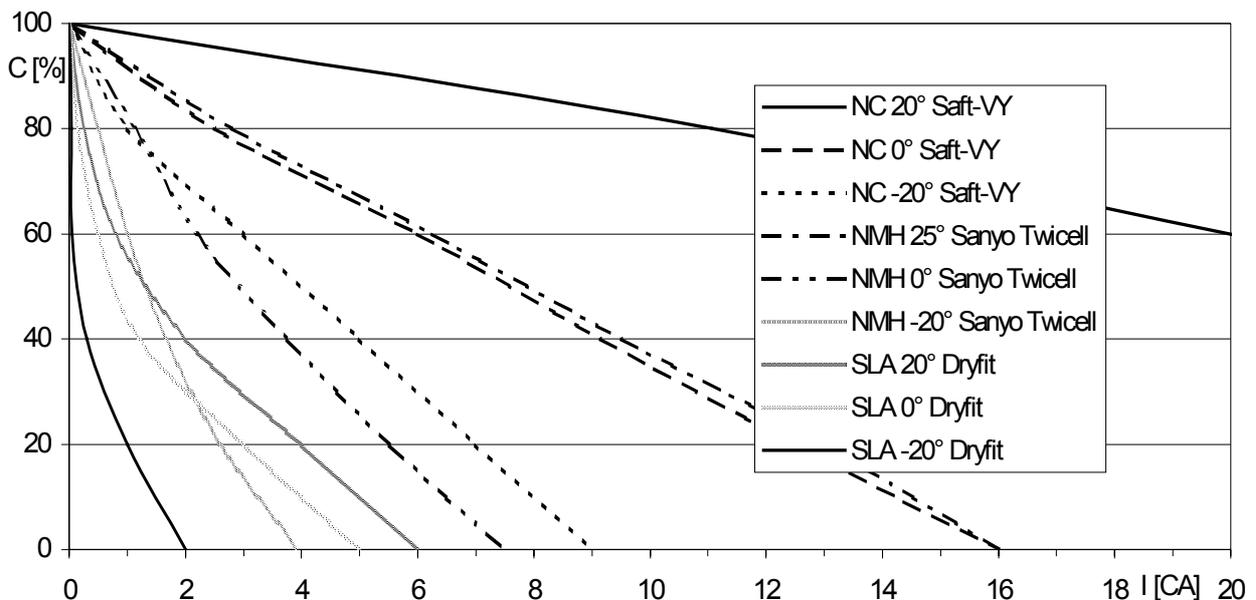
Hohe Ströme reduzieren die Klemmspannung des Akkus (kompletter Spannungseinbruch beim Anfahren von Motoren) und können darüberhinaus zu einer drastischen Reduktion der verfügbaren Kapazität führen. Der auf die Kapazität bezogene Ladestrom wird in CA angegeben. Dementsprechend könnte man theoretisch z.Bsp. aus einem Akku mit einer Kapazität von  $C=50\text{Ah}$  bei

$$I=C/10=50/10=5\text{A d.h. 10Stunden lang 5A entnehmen, oder}$$

$$I=2*C/CA=2*50=100\text{A d.h. } \frac{1}{2} \text{ Stunde lang 100A entnehmen.}$$

Tatsächlich nimmt aber die Kapazität mit der Strombelastung ab, und zwar abhängig von Akkutyp und Konstruktion und seinem Innenwiderstand. So kann man z.B. bei einem Entladestrom von  $1\text{CA}$  aus Bleizellen nur mehr ca. 50% der  $C_{20}$ -Nenn-Kapazität entnehmen. Bei der Definition der Akkukapazität müssen daher auch die Entladebedingungen definiert werden. Die Angabe  $C_{20}$  bedeutet, daß die Kapazität für eine 20-stündige Entladung ( $0,05\text{ CA}$ ) angegeben wurde.

Die Grafik (Bild 4) stellt die Abnahme der max. verfügbaren Kapazität (100%) über dem Entadestrom (in Einheiten von CA) dar. Abhängig von der vorgesehenen Betriebszeit, bzw. von der installierten Akkukapazität, muß man daraus eine sinnvolle Grenze für bestimmte Akku-Technologien (Tab. 4) akzeptieren, die vom Spitzen-Entladestrom (Sekunden-Integral) vorgegeben wird.



**Bild 4:** Abnahme der max. Kapazität (100%) über dem Entadestrom (in CA)

## **Berücksichtigung von Umgebungsbedingungen**

Neben Lage-, Beschleunigungs- und Vibrationseinflüssen (Bild 1) ist bei Feldanwendungen in erster Linie der Temperatureinfluß zu beachten. Falls nicht durch spezielle Normen festgelegt (MIL), muß für Mitteleuropa im Freien mit einem Temperaturbereich von  $-20...+70^{\circ}\text{C}$  (Sonneneinstrahlung) gerechnet werden.

Mit der Temperatur ändern sich die Elektrolyt-eigenschaften und damit insbesondere die Zellspannung, die Ladeschlußspannung, der Innenwiderstand, die Akku-Leistung und – Kapazität (Linden: Handbook of Batteries). Der Grund dafür ist die elektro-chemische Natur des Akkus weil chem. Reaktionen bei tieferer Temperatur langsamer ablaufen. Der Kapazitätsrückgang muß auch in diesem Fall stromabhängig betrachtet werden und ist ebenfalls aus Bild 4 ersichtlich.

## **Problematik der Zellenzahl und Schaltung**

Um die Akkus möglichst wenig und möglichst gleichmäßig auszulasten, sollte man alle Verbraucher von einem Akkupack versorgen<sup>^</sup>(siehe Bild 2). Akkusplitting oder Anzapfungen bringen durch ungleichmäßige Belastungen unnötige Probleme und sollten vermieden werden. Die unterschiedlichen Versorgungsspannungen erzeugt man mit Hilfe von Schaltreglern (DC/DC-Converter mit geringen Verlusten). Für eine ausreichende Entkopplung muß gesorgt werden, damit Spannungseinbrüche (Spikes) abgefangen werden.

Als Schaltung der Zellen im Akkupack kommt normalerweise nur die Serienschaltung in Frage. Der Grund dafür liegt wieder im individuellen Akkuverhalten (unterschiedliche Klemm-Spannung beim Laden und unter Belastung). In der Serienschaltung werden alle Zellen vom gleichen Strom durchflossen, d.h. die Ladung ( $A \cdot h$ ) wird sowohl beim Laden als auch beim Entladen gleichmäßig aufgeteilt. Dagegen würden bei der Parallelschaltung einzelne Zellen übermäßig und andere gar nicht beansprucht.

Grundsätzlich ergibt sich die gleiche Energiemenge auf zwei verschiedene Arten:

1. Wenige Zellen mit hoher Kapazität.
2. Viele Zellen mit geringer Kapazität.

Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen heraus, sollte man die Akku-Anzahl möglichst gering halten. Akkus zählen in der Elektronik zu den Bauelementen mit der schlechtesten Zuverlässigkeit. Geht man davon aus, daß ein Akku eine Lebensdauererwartung von ca. 500 Stunden hat (vgl. Halbleiter 5000 Jahre), dann kann man damit rechnen, daß er nach 500h ersetzt werden muß. Kalkuliert man weiters, daß 2% der Akkus frühzeitig ( $< 30\text{h}$ ) ausfallen, dann ist davon im Mittel jeder 50te betroffen. Bei einer Serienschaltung von 10 fällt jedes 5te Pack, bei einer Serienschaltung von 50 fällt bereits jedes Pack frühzeitig

***Je höher die Zellenanzahl, desto größer ist die Ausfallswahrscheinlichkeit !***



aus.

Ein weiterer Grund gegen eine hohe Zellenzahl ist das individuelle und umgebungsbedingte Verhalten der Akkuspannung in einem Toleranzbereich von ca. 5..15% von den Nennwerten. Das bedeutet, daß bei einer Messung über 10 Zellen in Serie nicht mehr festgestellt werden kann, ob es sich tatsächlich um 10 oder um 9 oder 11 Zellen handelt. Die Toleranzbereiche beginnen sich zu überlappen. Diese Unsicherheit steigt mit der Zellenzahl.

Für eine bestimmte Mindestzellenanzahl spricht dagegen die benötigte Versorgungsspannung, und zwar jene, des größten Verbrauchers. In dieser Überlegung spielt der Wirkungsgrad der einzelnen Stromversorger die entscheidende Rolle. Schaltregler können zwar die benötigte Versorgungs-Spannung aus der Akkuspannung in beide Richtungen transformieren, haben aber Verluste und StepUpConverter haben einen etwa 10% schlechteren Wirkungsgrad als StepDownConverter. Vor allem wenn der Hauptverbraucher (z.Bsp. Motor) keine geregelte Versorgungsspannung benötigt empfiehlt es sich, den Akku und den Hauptverbraucher gegenseitig aufeinander abzustimmen.

### ***Betrachtung von Lebensdauer und Zyklenzahl***

Blei und Li unterliegen Verschleißmechanismen (stromabhängig) und haben eine Lebenserwartung von ca. 200 Voll-Zyklen. Die Zyklenzahl erhöht sich bei nur teilweiser Entladung. Komplette Entladung führt in kurzer Zeit zum Elektrodenausfall.

Nickel Zellen haben keinen Materialtransport im Elektrolyten und daher haben NiCd Akkus eine theoretisch unbegrenzte Lebensdauer. So wurde eine Lebensdaueruntersuchung von handelsüblichen NiCd Zellen an einem CCS-Lader nach über 5000 Ladezyklen ohne nennenswerten Kapazitätsverlust eingestellt.

Bei NiMH-Zellen können allerdings geringe Mengen von H-Molekülen diffundieren, sodaß auch sie einem gewissen Verschleiß unterliegen.

Beim Entladen ist darauf zu achten, daß hohe Entladeströme insbesondere bei Blei-Gel-Akkus sowie bei Lithium Zellen leicht zu sog. Hot-Spots und zur partiellen, irreversiblen Zerstörung der Elektroden führen können. Außerdem sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, damit einzelne Zellen beim Entladen nicht umgepolt werden.

Einen nicht zu unterschätzenden negativen Einfluß auf die Lebensdauer haben schlechte Ladeverfahren. Die meisten Schäden werden durch das Laden verursacht (zB. Memory, Sulfatierung, Dendritenbildung). [Die größten Irrtümer der Ladetechnik]. Immerhin wird der Akku mehr geladen als entladen, da die entnommene Ladung durch eine mindestens gleiche Energiemenge zuzüglich der Ladeverluste nachgeladen werden muß. Wie später gezeigt wird, kann es dabei leicht zum "kontrollierten" Überladen und damit zur Schädigung der Akkus kommen.

## Auswahl der Akkutechnologie

BATTERY	NiCAD	NiMH	SLA	Li-Ion	Li-Poly	RAM
Energy Density [Wh/kg]	40-60	60-80	30	100	<b>150-200</b>	80 (initial)
Energy Density [Wh/l]	180	220	100	<b>250</b>	250	<b>300 (initial)</b>
Cycle Live (80%C)	<b>1500</b>	500	200-500	500-1000	100-150	10 (to 65%)
Fast charge time	<b>0,3-1h</b>	2-4h	8-16h	3-4h	8-15h	2-3h
Overcharge tolerance	moderate	low	<b>high</b>	very low	N/A	moderate
Self-discharge per month	20%	30%	<b>5%</b>	10%	N/A	<b>0.3%</b>
Cell voltage nom.	1.25V	1.25V	2V	<b>3.6V</b>	2.7V	1.5V
Load current	<b>&gt;2C</b>	0.5-1C	0.2C	1C or less	0.2C	0.2C
Operating Temperature	<b>-40° to +60°C</b>	-20° to +60° C	-20° to +60° C	-20° to +60° C	N/A	0° to +65° C
Maintenance requ.[month]	2	1	<b>5</b>	4	not req.?	<b>not req.</b>
Cost US\$/Wh	1,8	2,5	<b>0,9</b>	3,6	3,2	<b>0,2</b>
commercial use since	<b>1950</b>	1990	1970	1997	200?	1992

**Tabelle 4:** Für alle Akkutypen sind die Unterschiede bei der Energiedichte bezogen auf das Volumen (1:3) wesentlich kleiner sind, als gewichtsbezogen (1:6).

**RAM-Zellen** (Rechargeable Alkali Mangan) verlieren viel (50%) Kapazität in den ersten 10 Zyklen, sind nur teilentladbar und daher in der Tabelle nur der Vollständigkeit halber angeführt.

**Li-Akkus** sind empfindlich und kommen nur für Spezialaufgaben in Frage, bei denen Aufwand (Lade- u. Entlade-Sicherheitsmaßnahmen) und Kosten keine Rolle spielen.

**Blei-Akkus** kommen bei geringen (Impuls-) Belastungen, d.h. langen Betriebszeiten über 5h und auch Ladezeiten(!), in Frage. Der Verschleiß wird durch den geringeren Preis kompensiert.

Man unterscheidet

- A) Offene Naß-Zellen dazu gehören Starterbatterien mit hoher Impulsbelastbarkeit aber geringer Entladetiefe, "wartungsfreie" Batterien für allgemeine Anwendungen im Hobby- und Solarbereich mit geringer Belastung, und Traktionsbatterien (verstärkte Elektroden) für Antriebe mit hoher Entladetiefe und Zyklenzahl
- B) Geschlossene Blei-Gel-Akkus (SLA = Sealed Lead Acid) und
- C) Gasdichte Blei-Akkus in meist gerollter (Spiral) zylindrischer Bauform (Gates, Hawker) mit Kapazitäten unter 10Ah aber relativ hoher Strombelastbarkeit (>1CA).

Für **NiMH Akkus** spricht die Energiedichte und die Umweltfreundlichkeit. Allerdings gilt der 10 bis 30 prozentige Kapazitätsvorteil gegenüber NiCd nur unter 1 CA Entladestrom.

**NiCd-Akkus** sind seit vielen Jahren im Einsatz und wurden ständig verbessert. Moderne Zellen unterscheiden sich konstruktiv für Hochstrom- (>20C), Hochtemperatur-, Hochkapazitäts- (90% von NiMH) Anwendungen. Ab 2C Entladestrom (bis über 20C) und bei kurzen Ladezeiten (bis unter 20 Minuten) ist die NiCd Zelle den NiMH-Akkus überlegen. Auch bei hoher Zyklenzahl und sehr tiefen Temperaturen (-40°C) ist NiCd zu bevorzugen.

**Brennstoffzellen** werden derzeit nur in der Forschung eingesetzt. Eine Membranbrennstoffzellenanlage kostet derzeit etliche tausend US\$ pro kW (K. Kordes: Brennstoffzellen-Fahrzeuge, Workshop, Graz, Nov.99).

## Auswahl des Ladeverfahrens

Von mobilen Geräten und autonomen Robotern wird eine möglichst hohe Verfügbarkeit Zuverlässigkeit, hohe Lebensdauer, einfache Austauschbarkeit gefordert. Dies bedeutet:

- \* Lange Betriebsdauer kurze Ladezeit
- \* Voll-Laden aus jedem Ladezustand
- \* Problemloses Dauer-Bereitschaftsladen
- \* Geringe Ladeverluste (Kosten/Verschleiß)
- \* Lange Akkulebensdauer
- \* Unabhängigkeit von Akkutyp und Hersteller
- \* Unabhängigkeit von Umgebungseinflüssen (Temp.)

Den größten Einfluß auf die Akku-Leistung, Verfügbarkeit und Lebensdauer hat das Ladeverfahren. Wie bereits festgestellt muß der Akku mehr geladen als entladen werden, da die entnommene Ladung durch eine mindestens gleiche Energiemenge nachgeladen werden muß. Zusätzlich müssen auch die Ladeverluste ersetzt werden. Die meisten Schäden werden daher meist durch ungeeignete Lademethoden, insbesondere durch Überladen, verursacht (Memory, Sulfatierung, Dendriten, Gasung). Das Hauptproblem beim Laden betrifft weniger die Stromform, als die Erkennung des 100% vollen Akkus und die Abschaltung des Ladestroms zu diesem Zeitpunkt. Vor allem bei hohen Ladeströmen führen Fehler rasch zu einer merklichen Verringerung der Akku-Lebensdauer (Kapazitätsrückgang, Ausfall). Die verschiedenen Lademethoden (Tabelle 5) versuchen nun auf unterschiedliche Weise diese Schädigung des Akkus zu vermeiden.

**Tabelle 5:** Übersicht über die Eigenschaften verschiedener Ladeverfahren.

Parameter	NiCd	NiMH	Pb	SLA	Li	Typenwahl	Herstellervwahl	Tankanpassung	Alterung	Temp. Compens.	Temp. Bereich	Ladedauer	Standby-Last	Start leer	start voll	Überladung	Memory-Effekt	Akkudefekt	Elektronik	Sensoren	Calibration	Summe
BTI=CCS=	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	3	1	1	25
-Delta V	1	2	5	4	5	1	1	2	2	2	3	2	4	4	3	2	3	3	3	1	2	54
2.Differential	2	2	5	4	4	1	1	1	1	1	3	1	5	4	5	2	3	3	3	1	1	53
Const. Volt	5	5	2	2	2	4	4	1	4	5	1	4	1	1	1	4	3	5	1	3	5	63
Gas Gauge	2	2	2	2	1	3	3	4	3	4	2	1	1	1	1	1	2	4	4	2	5	50
Peak Volt	5	5	3	3	2	4	4	1	3	3	3	2	3	4	1	3	3	5	2	2	4	65
Temperatur	3	2	4	4	3	1	1	1	1	3	4	3	1	1	4	3	3	2	2	3	2	51
Timer	3	3	2	2	5	2	2	4	3	1	3	1	5	1	5	4	4	2	2	1	1	56

Punkte      1=hervorragend      2=gut      3=mittelmäßig      4=kritisch      5=ungeeignet

Zu erkennen wann der Akku's exakt 100% voll ist, ist deswegen nicht einfach, weil sich elektrochemische Zellen im Gegensatz zu elektronischen Bauelementen nicht in engen Grenzen spezifizieren lassen. Akkus verändern ihre Eigenschaften und ihr Betriebsverhalten (Impedanz, Kapazität, Strom\_aufnahme\_vermögen, Ladeschlußspannung) ständig (abhängig von Temperatur und Umgebungsbedingungen, Ladezustand, Alter und Vorgeschichte, Strombelastung, Zyklenhäufigkeit und Zyklientiefe) und sind damit scheinbar unberechenbar.

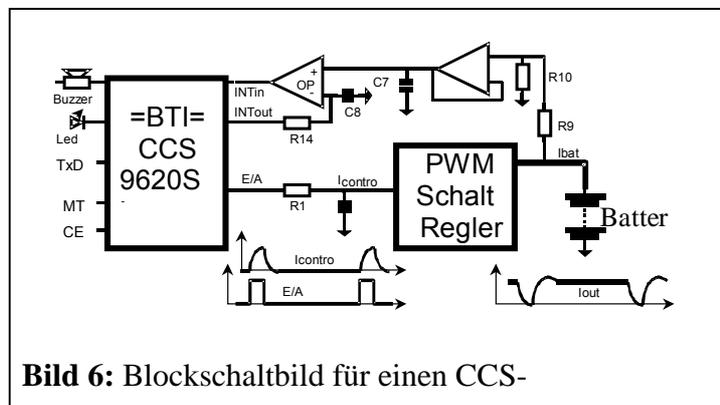
Aus der Tabelle 5 erkennt man deutlich die Überlegenheit der BTI-CCS Lademethode, insbesondere unter erschwerten Bedingungen, wie sie bei mobilen Geräten im Feld, Fahrzeugen oder autonomen Robotern auftreten. [CCS im Vergleich mit anderen Ladeverfahren].

Ausschlaggebend für die Bewertung in Tabelle 5 sind folgende Eigenschaften:

- \* **NiCd, NiMH, Pb, SLA, Lithium:** CCS kann in allen Fällen den 100%Vollzustand erkennen. Gegenüber den anderen Verfahren tritt keine Überladung auf. NiCd/NiMH können aus jedem Ladezustand (keine Entladung notwendig, kein Memory Effekt) geladen werden. Pb, SLA, Li können unabhängig von der Ladeschlusspannung (keine Temperaturkompensation notwendig) in 90 Minuten voll geladen werden. [Wie man Blei Batterien schnell und zuverlässig laden kann]
- \* **Typenwahl:** CCS arbeitet unabhängig von der Akkutechnologie. Mit einem Ladegerät ist es möglich alle Akkutypen zu laden. Damit kann auch nachträglich die Akkuart und Type optimiert und angepaßt werden.
- \* **Herstellerwahl:** Durch die automatische Anpassung sind keine Hersteller-spezifischen Lade-Einstellungen erforderlich und der Wechsel auf andere Akku-Hersteller völlig unproblematisch.
- \* **Tankanpassung:** Die Akkuvollererkennung ist bei CCS unabhängig von der tatsächlichen Akku-Kapazität.
- \* **Alterung:** Alterungseinflüsse auf die Akkueigenschaften spielen bei CCS keine Rolle, weil sie zwar die Datenblattwerte, nicht aber das grundsätzliche Verhalten der inneren Impedanz betreffen. In vielen Fällen werden Akkus sogar automatisch regeneriert.
- \* **Temperatur:** CCS ist nicht temperatursensitiv. Es ist möglich, Akkus in der Erwärmungs- oder Abkühlungsphase zu laden.
- \* **Temperaturbereich:** Die meisten Ladekriterien funktionieren nur innerhalb eines engen Temperaturbereiches(10-40°C). Die ordnungsgemäße Fnktion von CCS wurde von -25°C bis +70°C überprüft.
- \* **Ladedauer:** Wegen der exakten Ladeschlusberkennung erlaubt CCS die kürzeste Ladedauer (wenige Minuten, vom Akku abhängig) ohne Verlust an Kapazitäts- oder Lebensdauer. Bei kleinen Strömen können auch lange Ladezeiten von über 20h vorgesehen werden. Danach kann der Akku beliebig lang am Lader angeschlossen werden (Pflege)
- \* **Standby-Last:** Bei CCS ist eine Belastung bis 20% vom Ladestrom zulässig.
- \* **Start leer/voll:** Der zum Ladestart vollkommen leere (tiefentladene) Akku bereitet im Gegensatz zu anderen keine Probleme. Allerdings benötigt CCS vom Start weg bis zum Abschalten ca. 90 Sekunden für die Musteranalyse.
- \* **Überladung/Memory Effekt:** CCS vermeidet Überladung und Memory Effekt.
- \* **Akkudefekte** (hochohmige oder kurzgeschlossene Zellen, Verdrahtungsfehler) werden erkannt und angezeigt. Vorher wird versucht den Defekt zu beheben. es kommt immer zur sicheren Abschaltung.
- \* **Elektronik:** Der Schaltungsaufwand für CCS ist geringfügig höher als bei einfachen Netzteilen oder Lade-Steuerungen (Timer)
- \* **Sensoren:** CCS benötigt keine Sensoren (keine Thermistorproblematik). Eine einfache 2-Drahtleitung genügt
- \* **Calibration:** CCS ist selbstadaptierend, daher ist keinerlei Einstellung, Abgleich, Kompensation notwendig, weder in der Produktion noch im Betrieb.

Das patentierte CCS Verfahren (Computed Charge System) verwendet ein elektrisches Modell (Wechselstrom\_ersatzschalt\_bild) zur Bestimmung der inneren Impedanz. Die Innere Impedanz ist nicht zu verwechseln mit dem Akku-Innenwiderstand oder der Klemmen-Impedanz, sondern betrifft den Anteil zwischen Elektrode und Elektrolyt. Das CCS-Verfahren basiert daher auf Vorgängen, die direkt am Übergang von Strom zu Ladung ermittelt werden. Der Abschaltzeitpunkt wird durch digitale Musteranalyse aus dem Verlauf der inneren Impedanz erkannt. Entscheidend sind nicht vorgegebene Werte, sondern die zeitliche Reaktion des Verhaltens während der Ladung. Daher ist CCS ein Ladeverfahren, welches sich in einzigartiger Weise nicht nur dem jeweiligen Akkuzustand, sondern auch an unterschiedliche Akkutechnologien anpassen kann. So konnte gezeigt werden, daß man mit dem CCS9620 NiCd, NiMH, SLA und LiIon Akkus laden kann, wobei keinerlei Änderungen an der Schaltung bzw. am Ladegerät vorgenommen werden müssen. [Ladecontroller made in Austria] Bei Nickel-Akkus werden Ladezeiten von 20-30 Minuten (für den teilentleerten Akku entsprechend kürzer) erreicht. Erstmals können handelsübliche Blei-Akkus in 90 Minuten aufgeladen werden. Dabei tritt weder Überladung noch Gasung auf. CCS Ladecontroller gibt es seit einigen Jahren in mehrfacher Ausführung.

Für die korrekte Impedanzmessung wird ein veränderlicher Ladestrom benötigt. Bei den meisten CCS Ladecontrollern wird dafür einfach das ungeglättete 50Hz Netz verwendet. Der Ladecontroller CCS9620 kann einen Leistungsregler ansteuern und sich den veränderlichen Strom selbst erzeugen. (Bild6). Da der Controller die Energiezufuhr nur steuert, können beliebig große Akkus (Kapazität, Spannung) geladen werden.



**Bild 6:** Blockschaltbild für einen CCS-

Mit diesen Spezifikationen ergibt sich ein großer Einsatzbereich. Der CCS9620 wird bei Anwendungen mit höchster Anforderung an die Zuverlässigkeit, wie z.B. in der Medizintechnik für lebenserhaltende Geräte, eingesetzt. Andere Anwendungsbereiche sind Sicherheitstechnik, USV, Elektrofahrzeuge, Funkstationen, Datenerfassungsgeräte, Mobiltelefone, Notebooks, etc.

AUTOR: G. Wiesspeiner, Tel. +43-316-873 7392, email: WP@BMT.tu-graz.ac.at  
 Institut für Elektro- und Biomedizinische Technik, TU-Graz, Inffeldgasse 18, A-8010 Graz  
 Ludwig Boltzmann Institut für Technische Lebenshilfen  
 CCS-INFO: =BTI=Büro für Technologie und Innovation, Rudolfstraße 14, A8010 Graz,  
 Tel. +43-316-326 031 FAX +43-316-381 808, email: BTI\_CCS@COMPUSERVE.COM  
 INTERNET: [http://ourworld.compuserve.com/homepages/bti\\_ccs](http://ourworld.compuserve.com/homepages/bti_ccs)

#### LITERATUR:

- G. Wiesspeiner: **CCS (Computer Charge System) im Vergleich mit anderen Ladeverfahren** Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Seite 155-161, Design & Elektronik, 25. April 1995
- P. Schneider: **Akkus sind besser als ihr Ruf;** Elektronik Industrie, S40, Juli 1996
- D. Linden : **Handbook of Batteries**, Mc Graw Hill 1995, ISBN 0-07-037921-1
- G. Wiesspeiner: **Die größten Irrtümer der Ladetechnik** Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Design & Elektronik, 30. April 1996, Seite 25-32
- G. Wiesspeiner: **Moderne Ladetechnik zwischen Zuverlässigkeit und Lebensrettung**, Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Design & Elektronik, 10. April 1997 Seite 113-118
- G. Wiesspeiner: **Wie man Blei Batterien schnell und zuverlässig laden kann**, Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Design & Elektronik, 31. März 1998 Seite 153-156
- K.Zech: **Ladecontroller made in Austria**, ÖVE Schriftenreihe, Tagungsband ME99, S241-246, Wien 1999