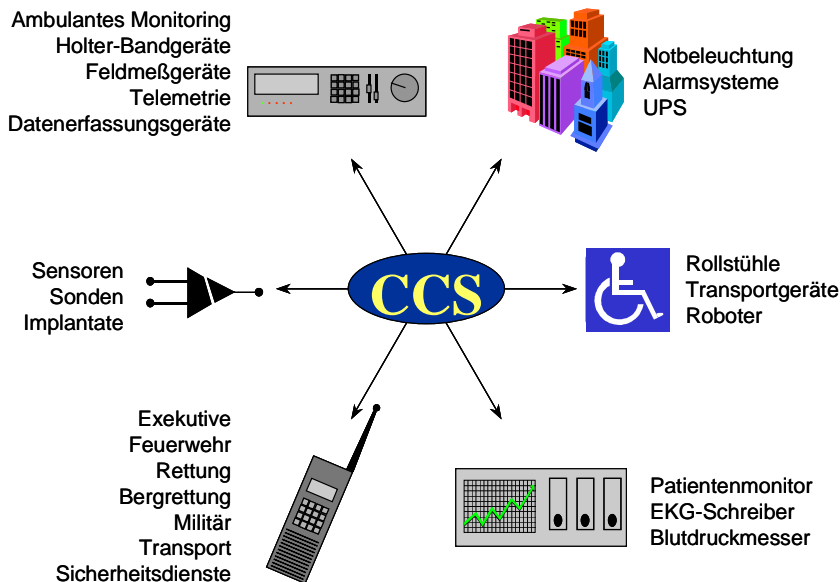


Ladetechnik zwischen Zuverlässigkeit und Lebensrettung

G. Wiesspeiner

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Mikroelektronik erlauben die Realisierung immer kleinerer, leistungsfähigerer und mobiler Geräte.



Während auf dem Gebiet der Konsumerelektronik, netzunabhängige portable Geräte praktisch und wünschenswert sind (zum Beispiel: Handy, Video, Werkzeuge) stellen Akku- bzw. Batteriebetriebene Geräte in bestimmten professionellen Bereichen die einzige Lösungsmöglichkeit dar.

(Bild)

Die eigentliche bestimmungsgemäße Funktion liegt nicht nur im beiderseitigen Interesse des Herstellers und des Anwenders, sie ist auch durch entsprechende nationale und internationale Vorschriften definiert (DIN, EN, IEC). Das trifft für die Stromversorgung (Akkus/Ladegeräte) nur eingeschränkt zu, wie viele Anwender aus leidvoller Erfahrung wissen, obwohl die gesamte Gerätefunktion davon abhängt.

Neben den unmittelbaren Erfordernissen an die Gerätefunktion und -sicherheit kommen den Anforderungen an Qualität (ISO9000, MIL) und Zuverlässigkeit besonderes Augenmerk zu.

Qualität

Qualität beschreibt den Zustand einer Ware zum Zeitpunkt der Lieferung und ist definiert durch die von der Produktbeschreibung (Spezifikationen, Datenblatt) abweichende Anzahl innerhalb der Losgröße.

**Höhere Qualität bedeutet nicht gleichzeitig bessere Produkte sondern nur, daß ein höherer Prozentsatz der Ware die spezifizierten Eigenschaften auch erfüllt.
Höhere Qualität sagt nichts über die Spezifikationen selbst aus.**

Ein typisches Beispiel sind ICs in militärischer- industrieller, kommerzieller Ausführung. In Wirklichkeit handelt es sich um ein und denselben Chip mit herstellungstechnisch und funktionell gleichen Eigenschaften. Um die höheren Qualitätserfordernisse in MIL zu erreichen werden nur die Spezifikationen „verschlechtert“.

Auch die Richtlinien nach ISO9000 sagen nichts darüber aus, ob ein Produkt besser, genauer oder zuverlässiger funktioniert, sondern nur, daß das *Qualitätssicherungssystem* allgemeinen und überprüfbar Anforderungen genügt.

Es wird also sichergestellt, daß die beschriebenen Eigenschaften (auch Mängel!) durch kontrollierte Produktions- und Prüfschritte reproduziert werden.

Quality Control

*electrical,
mechanical,
chemical
visual*

Inspection

Je nach Anforderung an die Gerätesicherheit wird die Qualität durch Stichproben bis hin zur Stückprüfung ermittelt und nachgewiesen. Diese Prozedur ist u.a. in MIL-STD-105D in

Losgröße	Stichprobe	Zurückweisung	AQL
26-50	alle	1	0.25%
26-50	13	1	1.0%
26-50	13	2	4.0%

Tabellen spezifiziert.

Beispiel:

Um „Zero-Defect-Quality“ zu erreichen, müssen Akkus stückgeprüft werden.

Zuverlässigkeit

bedeutet die ordnungsgemäße Funktion des Produktes während seiner vorgesehenen Produktlebensdauer.

Die ordnungsgemäße Funktion wird durch entsprechende Produkt-Beschreibungen (Datenblatt/Typenschild/ Spezifikation) festgelegt. Auch hier ist nichts über die Vergleichbarkeit von Funktionen unterschiedlicher Produkte ausgesagt. Die Zuverlässigkeitsangabe gibt nur Auskunft darüber, wie lange mit der o.a. Funktion gerechnet werden kann.

$$P_{(t)} = e^{-t\lambda}$$

P..Zuverlässigkeit, λ..Fehlerrate, t..Zeit

Wie auch die Qualität ist die Zuverlässigkeit ein statistischer Mittelwert, Das heißt bei einer Zuverlässigkeit von P=10 000 h beträgt die mittlere Lebensdauer 10 000h im Mittel, oder wenn von 100 Geräten die Hälfte (50Stk) innerhalb der ersten Betriebsstunde ausfallen, die restlichen 50Stk. aber erst nach 4 Jahren, so beträgt die mittlere Lebensdauer 2 Jahre oder (17540 h) und die Fehlerrate 0,057 Ausfälle/1000h

Beispiele Lebensdauer.		
Akku	4 Jahre	35.000h
Mensch	70 Jahre	614.000h
IC	1.200 Jahre	10Mio h

Was hat Qualität und Zuverlässigkeit mit Akkus zu tun?

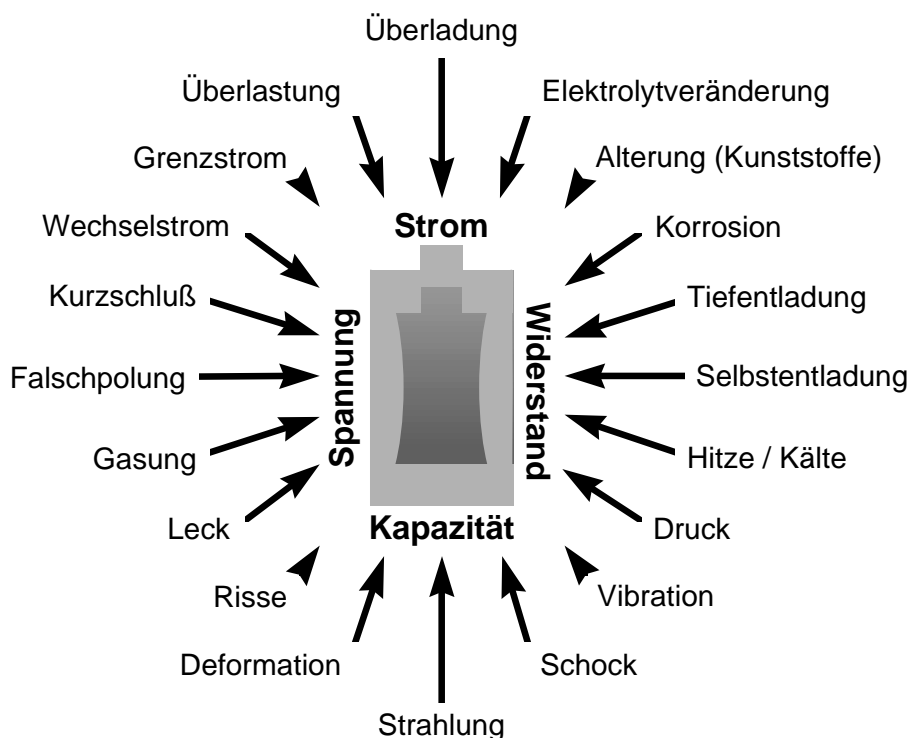
Auch wenn noch so große Anstrengungen unternommen werden die Qualität und Zuverlässigkeit der Elektronik sicherzustellen, die Gesamtzuverlässigkeit eines Gerätes ist schlechter (niemals besser) als die des schlechtesten Bauteiles.

**Eine Kette ist so stark wie ihr schwächstes Glied
Eine Stromversorgung ist so gut wie ihr schwächster Akku**

Auch wenn das Gerät als erstklassiges Spitzenprodukt spezifiziert ist, und wenn noch so viele Prüfungen, Tests und Zertifikate die ordnungsgemäße Funktion nachweisen, und wenn die Qualitätserfordernisse auch erfüllt werden, dann ist das Gerät trotzdem unbrauchbar, wenn die Stromversorgung ausfällt. Wenn das Gerät noch so gut funktionieren kann, es fällt aus, wenn die Stromversorgung ausfällt, weil ein Akku leer ist. Das mag für den Handy Benutzer ärgerlich sein, beim Einsatz von Geräten zur Lebensrettung kann es tödlich sein.

Es ist klar, daß die Lebensdauer und damit die Zuverlässigkeit in engem Zusammenhang mit den Betriebsbedingungen, dh. mit dem Stress dem das Produkt ausgesetzt wird, steht. Für den Akku ist das im folgenden Bild dargestellt.

AKKU-STRESS



Dein Akku, das unbekannte Wesen

Anders als elektronische Bauelemente halten sich Akkus bestenfalls bei der Auslieferung an die Qualitätskriterien, entwickeln aber dann im Lauf ihrer Lebensdauer ein individuelles Eigenleben.

Angaben zur Zuverlässigkeit sind nur unter genau definierten Randbedingungen gültig, die aber dann selten der praktischen Realität entsprechen.

Die „Fitness“ des Akkus hängt wesentlich von den Vorbedingungen (s.o. Akkustress) ab und beeinflusst praktisch alle Eigenschaften des Akkus insbesondere **Kapazität, Innenwiderstand, Strom** und **Spannung** und in weiterer Folge **Zyklenanzahl** und **Lebensdauer**.



Bei der Auswahl eines Ladesystems ist darauf zu achten, daß sich das Ladegerät diesen veränderlichen Bedingungen anpassen kann, damit der Akku nicht überlastet und seine Lebenszeit eingeschränkt wird.

Anforderungen an Stromversorgungen mit Akkus

Seit jeher gibt es in der Medizin besondere Anforderungen für die Stromversorgung aus Batterien oder Akkus. Das Anwendungsspektrum reicht von der stationären Notstromversorgung über Elektrofahrzeuge bis zu ambulanten Kleingeräten und Implantaten. Obwohl Akkus im Vergleich zu Primärelementen eine geringere Kapazität aufweisen, ist ihr Einsatz immer dann zu bevorzugen, wenn

- 1) hoher Energieverbrauch vorliegt
- 2) Batterien nachgeladen aber nicht ausgetauscht werden können
- 3) ständige Einsatzbereitschaft (Notstrom) gefordert wird.

Die Tabelle zeigt, daß dabei an Akkus und Ladegeräte die unterschiedlichsten Anforderungen gestellt werden.

Einsatzbereich	Entladen	Laden	Zyklen	Akku
Ambulantes Monitoring	Dauerstrom 30h	12h	3/Woche	NiCd/NMH
Personenrufsysteme	Dauerstrom 20h	4-8h	1/Tag	NiCd/NMH
Patientenmonitor (Bedside)	Dauerstrom 2h	Standby	0-20/Woche	NiCd/NMH/Pb
EKG/BP/Resp. Monitor	variabel 1-20h	1-8h	1-5/Woche	NiCd/NMH
Myo-Prothesen	Impulsstrom	<1h	1-3/Tag	NiCd
Elektro-Rollstuhl	Fahrstrom 3h	<8h	1/Tag	Pb
Notstromanlage	Hochstrom 1h	Standby	1/3Monat	Pb, NiCd
Defibrillator	Spitzenstrom	Standby	1-10/Monat	NiCd

Anforderungen an die Ladeschaltungen

Die Tabelle zeigt eine Auflistung der speziellen, für Akkus und Ladeschaltungen zutreffenden Normen. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, daß diese Liste im Februar 97 mit dem Hauptaugenmerk auf Europäische Normen erstellt wurde, jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann.

Norm	Titel
EN60086	Primärbatterien
EN60095	Blei Starterbatterien; -1. allg. Anforderungen; -2. Abmessungen, Kennzeichnung; -4. LKW Batt.
EN60285	Alkalische Sekundärzellen und Batt.; gasdichte zylindr. NiCd Einzelzellen
EN60335-2	Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch -19 Batt. Haarschneider; -29. Batterieladegeräte; -20. Batt. Zahnbürsten
EN60622	Aufladbare gasdichte prismatische NiCd Einzelzellen
EN60623	Offene prismatische NiCd Einzelzellen
EN60896	Ortsfeste Blei Akkumulatoren allg. Anforderungen und Prüfungen
EN60952	Flugzeug-Batterien; -1. Prüfverfahren und Leistungsmerkmale, -2. Planung und Konstruktion
EN61044	Zwischenladen von Blei Antriebsbatterien
EN61065	Tragbare Blei-Batterien (m.Ventil); Anforderungen, Eigenschaften, Prüfungen
EN61150	NiCd Akku,. Blockbatterien, Knopfzellenbauweise
EN60601-1	Medizinische elektrische Geräte, allg. Festlegung -1. Systeme; -2. EMV
EN60065	Sicherheitsbestimmungen für netzbetriebene Geräte
EN60950	Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik
EN60801	EMV von Betriebsmitteln d. industriellen Prozessautomation
	EMV Störfestigkeit
EN61010-1	Elektr. Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte; all. Anforderungen

Medizinprodukte und CE-Zeichen

Zur Festlegung des Aufwandes für die Anbringung des CE-Zeichens werden in der Medizinprodukte-Direktive (93/42EWG) alle medizintechnischen Produkte (auch Ladegeräte) vier Produktgruppen zugeordnet.

	Invasivitätsgrad	Risiko	Anwendung	Beispiel
Gruppe I	gering	ohne	vorübergehend	EKG, Blutdruckmesser
Gruppe IIa	mäßig	gering	kurzzeitig	Muskel-Stimulatoren
Gruppe IIb	mäßig	erhöht	langzeitig	Defibrillator, Herz-Kreislaufmonitor
Gruppe III	hoch	hoch	Herz,Nerven	Implantate, Schrittmacher, Med.Pumpen

Batteriegeräte stellen den wirksamsten Schutz gegen gefährliche Leckströme dar. In Verbindung mit Ladeteilen hängt die Einstufung als Batteriegerät davon ab, ob das Gerät nach dem Anschluß an die Steckdose noch bestimmungsgemäß betrieben werden kann. Nur wenn dies konstruktiv verhindert ist gilt das Gerät als Batteriegerät.

Die Sicherheitsvorschriften für elektromedizinische Geräte (EN 60601-1) fordern außerdem, daß elektromedizinische Geräte so gebaut werden müssen, daß sie beim bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht nur unter Normalbedingungen, sondern auch im Falle eines Ersten Fehlers keine vernünftigerweise vorhersehbaren Gefährdungen darstellen dürfen, und zwar weder für Anwender noch für Patient und Umwelt, sofern die Geräte vorschriftsmäßig gewartet wurden.

Es ist daher für Ladegeräte eine **Risikoanalyse** vorzunehmen (zum Beispiel. Abdeckung der Kühlschlitze, Eindringen von Flüssigkeit, Vertauschen der Batterieanschlüsse, Nachladen voller Batterien, Zelldefekt, etc.)

Probleme mit Akkus und Ladegeräten im professionellen Einsatz

Wie bereits erwähnt hängt die Zuverlässigkeit der Akkustromversorgung in erster Linie von den Randbedingungen ab, die nur schwer allgemein spezifiziert werden können. Die erwartete Lebensdauer stellt sich dann nicht wie erwartet oder vorberechnet ein.

Temperaturschwankungen um wenige Grad oder Abweichungen um wenige Prozent vom Referenzwert entscheiden über den Ausfall des Gerätes nach allzu kurzer Betriebszeit und die Lebensdauer des Akkus. Einzelne Zellen halten über Jahre, andere sind nach wenigen Monaten unbrauchbar. Schuld sind meist nicht die Akkus, sondern die Ladegeräte. Nur wenn sich das Ladegerät dem Akku anpaßt, kann mit hoher Zuverlässigkeit und langer Lebensdauer gerechnet werden.

Im folgenden werden konkrete Problemlösungen vorgestellt.

1. Beispiel: Bergrettung, Standby Betrieb

Die Bergrettung verwendet auf Schutzhütten professionelle Funkgeräte, die im Dauereinsatz stehen. Ständig wird der Äther abgelauscht, ob ein Alpinist einen Notruf aussendet. In diesem Fall macht sich der Suchtrupp mit dem Funkgerät auf die Suche nach dem Opfer.

Für das Ladegerät stellen sich folgende Forderungen:

Kurze Ladezeit (1h)

Ständige Nachladung im Standbybetrieb (20-80mA)

Kapazitätsreserve für den Notfall mindestens 80%

Ergebnis: Das Problem konnte mit einem CCS9310 Ladeprozessor gelöst werden. Dieser Baustein ermöglicht nicht nur eine Schnell-Ladung innerhalb einer Stunde, sondern auch eine adaptive automatische Nachladung, die abhängig vom variablen Stromverbrauch des Funkgerätes im Empfangsbetrieb, die Nachlademenge anpaßt. Durch die präzise Ladekontrolle des CCS9310 konnte die Lebensdauer der Akkus von ehemals wenigen Monaten auf nunmehr mehrere Jahre verlängert werden.

2. Beispiel: Holter-Bandgeräte, Defibrillator, Memory Effekt

In einem Rehabilitationszentrum werden täglich Holter Bandgeräte mit je 4 NiCd-Akkus eingesetzt. Nach der EKG-Aufzeichnung wurden die Akkus einzeln, in handelsüblichen Ladegeräten (14h bei 0.1CA), aufgeladen. Die in den Zellen gespeicherte Restenergie kann nicht berücksichtigt werden, wodurch die Akkus mehr oder weniger überladen werden. Jene Zellen, während des Betriebes ausfallen, werden als "defekt" ausgeschieden. Es wurde eine typische Lebensdauer von 6-8 Monaten erreicht, was etwa 70-100 Ladezyklen entspricht. In einer Untersuchung wurden von 28 "defekten" Zellen 27 (96%) mit dem Ladegerät CCS-5A regeneriert.

Defibrillatoren müssen ständig einsatzbereit sein und werden daher ständig mit Erhaltungsladestrom geladen oder immer wieder nachgeladen. Die Überladung hat bereits am anodischen Anschluß deutliche Spuren hinterlassen (Auskristallisation durch Gasung). Die Zellen (Saft VR4D). waren offenbar defekt und auszutauschen. Vor dem definitiven Austausch wurde doch noch versucht, die Zellen zu formieren. Alle 6 Akkus konnten auf 90% Nennkapazität regeneriert werden

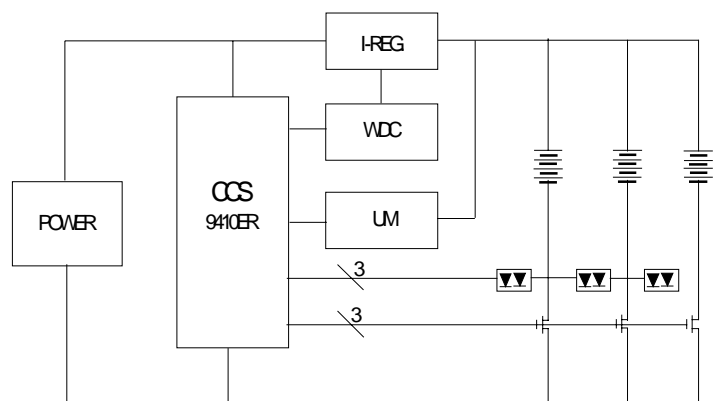
Ergebnis: Mit dem CCS-Verfahren wird der Memory Effekt nicht nur vermieden sondern auch beseitigt..

3. Beispiel: Mehrfachlader, Zyklen Betrieb

Die Akkus von Blutdruckmeßgeräten, Pagern, und div. Kleingeräten müssen regelmäßig nachgeladen werden.

Mehrere Benutzer benutzen eine Ladestation.

Ergebnis: Mit dem Ladekontroller werden sequentiell drei Ladeschächte bedient. Beliebige Ladereihenfolge ermöglicht fehlerfreien Betrieb. Der CCS9410 benötigt nur etwa 1/3 der Bauteile einer vergleichbaren Ladeschaltung.



4. Beispiel: Datenerfassungssysteme, extreme Temperaturen

Portable Datenerfassungssysteme im Automotive Bereich werden einem weiten Temperaturbereich (-20+60°) ausgesetzt. Die Geräte müssen in unregelmäßigen Abständen in kürzester Zeit (<1h) aufgeladen werden. Eine Temperaturstabilisierung oder eine Entladung ist nicht möglich.

Ergebnis: Der CCS Kontroller (9310, 9410, 9505, 9620 usw) erkennt am Verlauf der internen Impedanz wenn der Akku 100% voll ist und ist damit von äußeren Temperatur Einflüssen weitestgehend unabhängig.

5. Beispiel: Patientenmonitor USV, Backup Betrieb

Für unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) verwendet man vorzugsweise Blei Akkus mit Konstanzspannungsladung. Nachteilig ist, daß geringe Abweichungen von der Sollspannung (Temp, Elektrolyt, Druck, Alter, etc) zu ungenügender oder Überladung führt, sowie die lange Nachladedauer nach dem Stromausfall (10-20h). Diese Nachteile werden mit dem CCS9620 Laderegler vermieden.

Ergebnis: Der CCS9620 ermöglicht eine Aufladung von Blei-Akkus (SLA) innerhalb 90 Minuten ohne Überladung oder Gasung.

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
Ludwig Boltzmann Institut für Technische Lebenshilfen
BTI-Büro für Technologie und Innovation, FAX +43-316-38 18 08

Literatur:

N. Leitgeb: „**Sicherheit in der Medizintechnik**“, Expert Verlag, ISBN 3-8169-1272-9

G. Wiesspeiner: „**Kriterien für den Einsatz von Akkumulatoren in elektromedizinischen Geräten**“ Ergänzungsband BMT-Kongress 1993 Graz 16.-18. September 1993, Seite 443-444

G. Wiesspeiner: „**CCS: Fast & Reliable Charging of Accumulator Batteries**“, World Congress on Medical Physics Biomedical Engineering Rio de Janeiro 21-26 August 1994

G. Wiesspeiner: „**Einsatz der CCS-Lade-Elektronik zur Optimierung von Produkten und Produktion**“ ÖVE Schriftenreihe Nr.8, ME Informationstagung Mikroelektronik 1995 - VIET 1995, Seite 207-212

G. Wiesspeiner: „**CCS (Computer Charge System) im Vergleich mit anderen Ladeverfahren**“ Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Seite 155-161, Design & Elektronik, 25. April 1995

G. Wiesspeiner: „**Die größten Irrtümer der Ladetechnik**“ Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Design & Elektronik, 30. April 1996, Seite 25-32

P. Schneider: „**Akkus wirklich voll zu laden ist kein Zufallsereignis mehr**“ Tagungsband Entwicklerforum: Batterien und Ladekonzepte, Design & Elektronik, 30. April 1996 Seite 33-38

G. Wiesspeiner: „**CCS - A New Battery Management Technique for the Design of Portable Equipment**“ Portable by Design Conference 25.-29. März 1996

G. Wiesspeiner: „**Stromversorgung für Medizinische Geräte mit Akkumulatoren**“,