



Die Wahl der optimalen Batterie für Ihr Embedded-System

Die Batterietechnik ist zum größten Teil auf die Erfindung der Volta'schen Säule des italienischen Physikers Alessandro Volta zurückzuführen. Vor mehr als 200 Jahren beobachtete Volta, dass die Energie, die in den chemischen Verbindungen einer Lösung gespeichert ist (zu dieser Zeit konnte er noch nicht bestätigen, dass es die chemischen Verbindungen sind), in elektrische Energie umgewandelt und für andere Zwecke verwendet werden kann. In den folgenden zwei Jahrzehnten kam es zu zahllosen Neuerungen, um den ursprünglichen Entwurf zu verbessern. Einige Beispiele brachten effizientere Herstellungsprozesse hervor, andere erhöhten die gespeicherte Energiedichte. Und die Entwicklung reversibler chemischer Reaktionen ebnete den Weg zu wiederaufladbaren Batterien (Akkus). Aus anwendungstechnischer Sicht wurde deutlich, dass ein enormes Potenzial bei der Speicherung elektrischer Energie für den Einsatz in Sekundärsystemen bestand. Jeder, der jemals ein Auto angelassen hat, sich auf ein Hörgerät oder einen Herzschrittmacher verlässt, oder ein Mobiltelefon verwendet, erkennt den Wert dieses Konzepts und somit die Vorteile einer Batterie.

Embedded-Entwickler, die damit beschäftigt sind, tragbare oder stromsparende Anwendungen der nächsten Generation zu entwickeln, müssen an einem bestimmten Punkt die am besten geeignete Batterie für ihr System wählen. Wie funktioniert das? Als ich das letzte Mal durch einen Digi-Key-Katalog blätterte, enthielt der Abschnitt mit den Batterien mehr als 5000 einzelne Posten und eine schier unendliche Vielfalt von Größen, Spannungen, chemischen Zusammensetzungen und Funktionen. Bei dieser Vielzahl von Batterie-Optionen stellt sich die Frage, wie man die optimale Batterie für seine Anwendung findet?

Obwohl viele Arten von Batterien für eine breite Palette von Anwendungen zur Verfügung stehen, wollen wir uns hier auf Primärbatterien (also nicht wiederaufladbare Batterien) konzentrieren. Sie sind kostengünstiger und kommen in gängigen Embedded-Anwendungen häufig zum Einsatz. Tabelle 1 fasst eine Reihe von Batterietypen zusammen, die üblicherweise in Consumer- und Industrie-Anwendungen zum Einsatz kommen.

Tabelle 1: Übersicht gängiger Batterietypen

Batterietyp	Anode (-)	Kathode (+)	Nennspannung (V)	Energiedichte ca. (MJ/kg)	besondere Eigenschaften
Alkaline	Zn	MnO ₂	1,5	0,50	Lange Haltbarkeit, für hohen bis mittleren Energiebedarf
Zink-Kohle	Zn	MnO ₂	1,5	0,13	wirtschaftlich hinsichtlich Kosten/Stunde für niedrigen Energiebedarf
Lithium (BR)	Li	CF _x	3	1,30	großer Betriebstemperaturbereich, hohe Innenimpedanz (niedriger Pulsstrom)
Lithium (CR)	Li	MnO ₂	3	1,00	gutes Pulsverhalten, stabile Spannung während des Entladungsvorgangs
Lithium-Thionyl-Chlorid	Li	SOCl ₂	3,6	1,04	sehr niedrige Selbstentladungsrate; bis zu 20 Jahre Batteriebensdauer möglich
Zink-Luft	Zn	O ₂	1,4	1,69	hohe Energiedichte; relativ kurze Batteriebensdauer (d.h. Wochen bis Monate)

Alkaline

Alkaline-Batterien werden in der Regel mit Mangandioxid und Zink-Pulver hergestellt, zusammen mit einer ätzenden Lauge (Kaliumhydroxid) als Elektrolyt. Diese Batterietechnik ist eine der am häufigsten eingesetzten und kommt in zahlreichen Standardanwendungen wie Rauchmeldern, persönlichen medizintechnischen Geräten und Blitzlampen zum Einsatz. OEMs und Verbraucher können sie einfach erwerben. Die Nennspannung einer Alkaline-Zelle beträgt 1,5 V; die Entladespannung beträgt 0,9 V.

Zink-Kohle

Zink-Kohle-Batterien sind in der Zusammensetzung ähnlich den Alkaline-Batterien. Sie sind die Vorgänger der Alkali-Technologie. Mit ihrer geringeren Leistungsfähigkeit adressieren sie kostensensitive Anwendungen wie Spielwaren, Wecker und Radios, die keine hohe Batterie-Leistungsfähigkeit benötigen. Für OEMs sind sie einfach verfügbar. Die Nennspannung dieser Art von Batteriezelle beträgt 1,5 V; die Entladungsspannung beträgt 0,9 V.

Lithium (BR)

Lithium-Batterien gibt es in einer Vielzahl von Formfaktoren, sind aber meist als „Knopfzellen“ bekannt. Sie bestehen aus einem Kohle-Monofluorid-Gel und einer Lithium-Legierung. Diese besondere Zusammensetzung hat gute Hochtemperatur-Eigenschaften sowie eine sehr niedrige Selbstentlade-Charakteristik. Ihr Einsatz findet sich daher vornehmlich in Anwendungen, die sehr lange Wartungsintervalle und eine sehr geringe Stromaufnahme erfordern. Dazu zählen Wasser-, Gas- und Wärmezähler, elektronische Mautsysteme und Reifendruck-Überwachungssysteme. OEMs können die Batterien einfach erwerben. Die Nennspannung dieser Art von Batteriezelle beträgt 3 V; die Entladespannung 2,2 V.

Lithium (CR)

Wie der BR-Typ verwendet die CR-Lithiumzelle eine Lithium-Legierung als Anode; die Kathode wird aber durch ein Mangandioxid-Material ersetzt. Dieses Material hat den Vorteil, dass es den Innenwiderstand der Batterie verringert, womit die CR-Zelle im Gegensatz zur BR-Zelle besser zur Bereitstellung höherer Pulsströme geeignet ist – zum Nachteil einer etwas höheren Selbstentladung und einer geringeren Leistungsfähigkeit bei höheren Temperaturen. Zu den Einsatzgebieten zählen RKE (Remote Keyless Entry), RFID und Uhren. OEMs und Verbraucher können sie einfach erwerben. Die Nennspannung dieser Art von Batteriezelle beträgt 3 V; die Entladespannung 2,2 V.

Lithium-Thionyl-Chlorid

Diese Art von Batterien ist relativ neu und bietet eine sehr niedrige Selbstentladungsrate, was eine Batteriebensdauer von ca. 20 Jahren ermöglicht. Zusätzlich profitieren sie von einer sehr flachen Entladungskurve über der Zeit, sodass die Klemmenspannung im Laufe der gesamten Lebensdauer relativ konstant bleibt. Diese Batterien bestehen in der Regel aus einer Lithium-Tetrachloraluminat-Lösung in Thionyl-Chlorid als flüssige Kathode mit einer Zink-Legierung als Anode. Diese Batterietechnik ist etwas teurer als andere Lithium-Zusammensetzungen und kommt in Anwendungen zum Einsatz, die eine extrem lange Batteriebensdauer erfordern, z.B. in Wasser- und Gaszählern sowie in industriellen und militärischen Elektronikanwendungen. Diese Batterien sind in Consumer-Anwendungen nicht gängig und sind für OEMs über ausgewählte Zulieferer erhältlich. Die Nennspannung dieser Art von Batteriezelle beträgt 3,6 V; die Entladespannung 2,2 V.

Zink-Luft

Zink-Luft-Batterien sind in der Hinsicht einzigartig, dass sie im Vergleich zu den vorher beschriebenen Batterietechniken eine sehr hohe Energiedichte bieten. Ihre Energie entsteht durch die Oxidation von Zink, wobei der Sauerstoff aus der Luft einer Hydroxid-basierten Lösung gewonnen wird. Verbraucher kennen diesen Batterietyp für Hörgeräte und Kamera-Batterien. Wesentlich größere Batterien dieser Art kommen in Marine- und Eisenbahn-Navigationsanwendungen zum Einsatz. Die Batterien bieten eine Haltbarkeit von mehreren Jahren – werden sie aber in ein Gerät eingesetzt und aktiviert, beträgt die Lebensdauer in einem Consumergerät nur einige Hundert Stunden. OEMs und Verbraucher können sie einfach erwerben. Die Nennspannung dieser Art von Batteriezelle beträgt 1,4 V; die Entladespannung 0,9 V.

Entwickler prüfen eine Reihe von Parametern, wenn es darum geht, die Eignung eines Batterietyps für eine bestimmte Anwendung zu beurteilen. Im Folgenden sind einige der wichtigsten Faktoren für die richtige Analyse der passenden Batterie für die jeweilige Anwendung aufgeführt:

Nennspannung

Dieser Wert bezieht sich auf die Spannung der Batteriezelle, die über die positiven und negativen Anschlüsse der Batterie gemessen wird. Oft sind mehrere Batterien in Serie oder parallel angeordnet, um eine wünschenswertere Zellenspannung oder Stromversorgung für die Anwendung zu garantieren.

Energiekapazität

Dieser Wert bezieht sich auf den gespeicherten Energieinhalt der Batterie. Die SI-Einheit für Energie ist Joule, wird von den meisten Batterie-Herstellern aber in mAh angegeben. Da die Gesamtenergie einer Batterie sich aus der Strommenge, die entnommen werden kann, und der Klemmenspannung zusammensetzt, eignet sich für einen Vergleich der verschiedenen chemischen Zusammensetzungen eher der Joule-Wert. Die Batteriekapazität lässt anhand der folgenden Formel einfach von mAh in Joule umrechnen:

$$\mathcal{E}(\text{Joule}) = \text{Kapazität}(\text{mAh}) \times \text{Klemmenspannung} (V) \times 3,6$$

Energiedichte

Unterschiedliche chemische Batteriezusammensetzungen basieren auf verschiedenen elektrochemischen Reaktionen, um elektrische Energie zu liefern. Einige dieser Reaktionen sind stärker als andere, was zu kleineren Batterien mit der gleichen Energiemenge führt. Dieses Größen-zu-Energie-Verhältnis wird als Energiedichte bezeichnet. Generell gilt: je höher die Energiedichte, desto teurer die Batterietechnologie. Entwickler bemühen sich unentwegt, das optimale Verhältnis zwischen Kosten und Energiedichte zu finden.

Selbstentladungsrate

Eine Batterie wird nicht ewig halten. Selbst wenn sie unbenutzt im Regal lagert, findet eine elektrochemische Reaktion statt, die den Energieinhalt der Batterie langsam verringert. Dieser natürlich stattfindende Prozess wird als Selbstentladungsrate bezeichnet. Alkaline-Batterien weisen meist eine Lebensdauer von 7-10 Jahren auf. Lithium-BR- und CR-Batterien bieten eine Lebensdauer von 10-15 Jahren, und Lithium-Thionyl-Chlorid-Zellen können über 20 Jahre gelagert werden. Selbstentladungsraten und andere Verschlechterungsmechanismen, welche die Batterielebensdauer beeinträchtigen, hängen vor allem von der Temperatur und den Betriebszyklen ab. Schwankende Betriebszyklen haben meist negative Auswirkungen auf die Entladungscharakteristik einer Batterie.

Dynamische Überlegungen

Eine Reihe dynamischer, physikalischer Parameter beeinflusst die Leistungsfähigkeit einer Batterie. Schwankungen der Temperatur, der Ausgangsimpedanz, der Einschaltzyklen und der Energiebereitstellung wirken sich auf die Lastbedingungen der Batterie und damit auf die letztendliche Auswahl der Batterie aus. Dabei ist zu beachten,

dass einige dieser Effekte entscheidend sind und dementsprechend zu berücksichtigen sind.

Viele Systeme haben eine hohe dynamische Bandbreite in Bezug auf den Leistungsbedarf. So können funkbasierte Verbrauchszähler zur Erfassung des Gas- und Wasserverbrauchs einen Standby-/Sleep-Leistungsverbrauch im Microwatt-Bereich aufweisen, sowie einen Spitzenverbrauch im Watt-Bereich.

In anderen Worten: wenn die dynamische Systemleistungsbedarf-Bandbreite 5- bis 6-mal höher ist (d.h. Microwatt während des „Sleep-Mode Low-Duty-Cycle“ und Watt während des „aktiven und High-Duty-Cycle-Funkübertragungsmodus“), entsteht ein zusätzlicher Energiebedarf, der durch die Batterie selbst oder durch eine andere Art von Energiespeicher abgedeckt werden muss. Meist wird ein Kondensator parallel zur Batterie geschaltet, um den Spitzenenergiebedarf abzudecken. Dabei sind zusätzliche Design-Erwägungen zu treffen bzw. zu beachten, wie z.B. die Kondensator-Kosten, dessen Größe, sein Ladungsschema- und Leckstrom-Management.

Weitere Überlegungen

Entwickler müssen noch weitere Faktoren berücksichtigen, wenn sie eine Batterie für ihre Anwendung auswählen. Batterieentladungsprofile können sich je nach chemischer Zusammensetzung der Batterie und des Leistungsbedarfs (Spitzenlast und Einschaltdauer) stark voneinander unterscheiden. Umgebungsbedingte Aspekte (vor allem die Temperatur) können die Leistungsfähigkeit einer Batterie beeinflussen. Überlegungen auf Systemebene, wie der Batteriewechsel und die Systemspannungsanforderungen, wirken sich ebenfalls auf die Batterieauswahl aus. Darüber hinaus spielen auch Umweltaspekte eine Rolle, z.B. das Recycling, giftige Materialien, Schwermetalle, genauso wie Sicherheits- und Versandvorschriften.

Wie bei den meisten technischen Problemen, muss der Entwickler eine Reihe widersprüchlicher Anforderungen abwägen, um eine optimale Lösung entwickeln zu können, die den Systemspezifikationen entspricht.

Um dies zu verdeutlichen, betrachten wir ein übertriebenes Beispiel: Mitarbeiter von Strafverfolgungsbehörden verwenden manchmal nicht tödliche Hochspannungswaffen (Stun Gun, Teaser), um gefährliche bzw. gewalttätige Personen außer Gefecht zu setzen, die Widerstand bei der Festnahme leisten und somit eine Gefahr für den Beamten bzw. unbeteiligte Personen darstellen. Diese Geräte basieren auf der Bereitstellung einer Spannung, die dem Körper des Angreifers zugeführt wird, Tausende von Volt beträgt, das Nervensystem des Täters unterbricht und diesen damit vorübergehend kampfunfähig macht. Das System verwendet u.a. einen Transformator, der die Batteriespannung auf Werte hochtransformiert, die tausende Male höher als die ursprüngliche Klemmenspannung ist.

Anstelle eines Transformators könnte der Entwickler auch 30.000 AAA-Alkaline-Batterien in Serie schalten. Dieses Design würde ebenfalls imstande sein, einen 45.000-

V-Spannungsstoß bereitzustellen, um einen Angreifer kampfunfähig zu machen. Leider würden damit praktische Einschränkungen einhergehen, denn der Teaser würde 1,33 km lang sein und 360 kg wiegen – vom Betätigungsschalter mit 50 kV Spannungsfestigkeit ganz zu schweigen.

Dieses Beispiel ist natürlich übertrieben – aber es unterstreicht die Tatsache, dass sich mithilfe moderner Elektronik die natürlichen Grenzen, die durch die chemische Zusammensetzung der Batterie gegeben sind, überwinden lassen und Batterien in unterschiedlicher Weise eingesetzt werden können.

So werden z.B. Zink-Luft-Batterien seit langer Zeit in Hörgeräten eingesetzt, da sie eine hohe Energiedichte (1,69 MJ/kg) und hohe Spitzenströme bieten. Diese Batterien weisen in der Regel eine Lebensdauer von weniger als drei Monaten auf, da innerhalb dieses Zeitraums die elektrolytische Reaktion ($2\text{Zn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}$) zur Neige geht. Für diese Art der Anwendung ist dies jedoch eine völlig akzeptable Lebensdauer. Die Batterien werden in sogenannten „Kalenderpackungen“ ausgegeben, sodass der Anwender jeden Monat eine Ersatzbatterie zur Verfügung hat.

Ein weiterer Aspekt dieser chemischen Zusammensetzung ist, dass die Klemmenspannung einer einzelnen Zelle 1,4 V beträgt. Für Hörgeräte wurden spezielle Low-Voltage-Schaltkreise entwickelt, die mit dieser niedrigen Spannung arbeiten können. Diese Batteriespannung lässt sich aber nicht so einfach in durchschnittlichen Embedded-Anwendungen anwenden. Hier sind weitere Vorkehrungen notwendig, um eine Batteriezelle mit 1,4 V Nennspannung für Standard-CMOS-Elektronik verwenden zu können.

Zum Glück finden sich in immer mehr Anwendungen fortschrittliche Power-Management-Schaltkreise, die sich genau dieser Herausforderung annehmen. Man stelle sich einen Chip mit integrierten DC/DC-Boost-Wandler vor: Dieser verarbeitet die niedrige 1,4-V-Eingangsspannung einer Zink-Luft-Batterie oder die eher gängige 1,5-V-Spannung einer Alkaline-Batterie und wandelt diese auf einen Wert, der für das System am besten geeignet ist.

Ist der Boost-Wandler dynamisch programmierbar, kann er die Ausgangsspannung je nach Systembedarf ändern, sodass die von der Batterie für das System bereitgestellte Energie immer auf die effizienteste Art und Weise übertragen wird. Dies ermöglicht dem Systementwickler, die Effizienz der Stromversorgung während der Laufzeit je nach Anwendung zu optimieren.

Man stelle sich einen bidirektionalen Funk-Sensorknoten für eine Home-Security-Anwendung vor. Dies könnte ein Glasbruchsensor mit einer bidirektionalen Kommunikationsstrecke sein, also mit Sender und Empfänger. Der Sensor überwacht den Zustand eines Fensters und meldet in regelmäßigen Abständen den Status des Fensters und der Batterie an die Hauptbedieneinheit. Die Kommunikation zwischen dem

Sensor und dem Bedienpanel basiert auf einem Sende-/Empfangs-/Bestätigungsprotokoll, das die Anzahl redundanter Nachrichten verringert, die der Sensor an das Panel sendet. In der Mehrheit der Zeit befindet sich der Sensor im Stromsparmodus, um die Batterielebensdauer maximal zu halten. Der Einfachheit halber wollen wir die verschiedenen Zustände, die der Glasbruchsensor einnehmen kann, definieren:

Tabelle 2: Betriebszustände des Glasbruchsensors

	Häufigkeit	Beschreibung
Messung	ereignisgesteuert	Piezo-Stoßsensor, der an System-I/Os angeschlossen ist. Bei Glasbruch wird das System aktiviert.
Senden	1x pro Minute	Sendet den Sensor- und Batteriestatus an die Bedieneinheit
Empfangen	1x pro Minute	Empfangsbestätigung vom Panel
Sleep-Modus	restliche Zeit	Hält den Low-Power-Sleep-Modus, die Echtzeituhr und I/O-Funktion für den Sensor aufrecht

Das System besteht aus den folgenden Komponenten: einem Mikrocontroller mit integrierten DC/DC-Wandler, einem Sub-GHz-Funk-Transceiver, einem Piezo-Stoßsensor und einer einzelnen Alkaline-Batterie. Das folgende vereinfachte Blockdiagramm bietet einen Überblick.

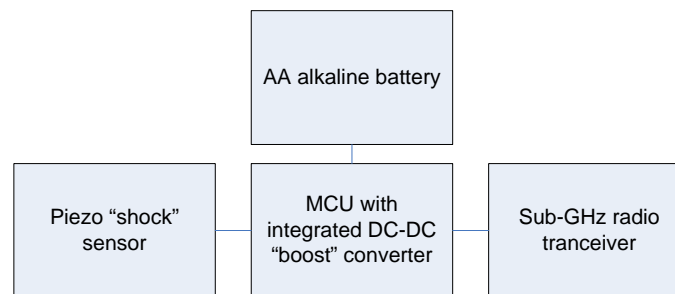


Bild 1: Blockdiagramm eines Systems zur Glasbruchererkennung

Folgende Annahmen sollen über das System getroffen werden:

1. Der Piezosensor versorgt sich selbst und erzeugt einen 3-V-Spannungspuls falls das Glas zerbricht. Dieses Signal reicht aus, um den Interrupt in der Änderungsfunktion innerhalb der MCU-I/O auszulösen.
2. Der MCU-Core wird durch einen integrierten Regler an 1,8 V betrieben. Das RAM, die Power-Management-Einheit und die Echtzeituhr können bis hinab auf 0,9 V betrieben werden. Somit muss nur eine AAA-Alkaline-Batterie eingesetzt werden.
3. Der Leistungsverstärker im Sendeblock des Sub-GHz-Transceivers stellt eine höhere Ausgangsleistung und Effizienz zur Verfügung, wenn sich seine Spannung der maximalen Nennleistung nähert.

4. Der rauscharme Verstärker (LNA – Low Noise Amplifier), Empfangsteil, PLL und Synthesizer werden durch einen integrierten Regler an 1,8 V betrieben. Die minimale Betriebsspannung beträgt daher 1,8 V.

Betrachtet man die verschiedenen Systemzustände, kann die dynamische Anpassung der Batteriespannung die Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit optimieren. So ergibt sich eine maximale Sendeleistungseffizienz wenn der Transceiver mit 3 V Spannung betrieben wird. Da die Alkaline-Batterie aber nur 1,5 V Nennspannung liefert, sorgt der integrierte DC/DC-Boost-Wandler mit etwa 90% Wirkungsgrad für die erforderliche Spannung. Der Empfangsschaltkreis wird jedoch intern mit 1,8 V geregelt. Werden hier die gleichen 3 V während des Empfangsvorgangs angelegt, verringert sich der Wirkungsgrad durch den integrierten Low-Dropout-Regler (LDO) auf 60%. Eine wesentlich bessere Wahl wäre die dynamische Anpassung des DC/DC-Wandler-Ausgangs von 3,0 bis 1,8 V, was den Wirkungsgrad während des Empfangsvorgangs des Sensors erhöht.

Vergleichen wir das System mit einer Lithium-Knopfzelle und festen Spannungsversorgung zu einer Alkaline-Batterie und der eben beschriebenen dynamischen Umschaltung. Es wird angenommen, dass die Schaltverluste mit der Knopfzelle vernachlässigbar sind, da das Schaltnetzteil nicht verwendet wird und die Klemmenspannung 3 V beträgt. Darüber hinaus muss die Knopfzelle für den Spitzenstrombedarf ausgelegt sein, was eine große, teure Knopfzelle vorschreibt. Für die Alkaline-Batterie nehmen wir Schaltverluste in Höhe von 10% an.

Die folgenden Tabellen zeigen den Energiebedarf für jeden Systemzustand bei der Anwendung des drahtlosen Sensors. Die Sleep-Dauer beträgt eine Sekunde minus der Summe aller anderen Übergänge. Die Datenverarbeitung, das Empfangen und Senden von Funktionen tritt einmal pro Minute auf.

Tabelle 3: Energieanforderungen des Glasbruchsensors mit Lithium-Batterie

CR2450 Lithium-Batterie; 3,0 V; 620 mAh Kapazität; ca. 0,62 \$						
Modus	Frequenz	Dauer	Strom (A)	Spannung (V)	Schaltverlust	Energie (J)
Sleep	60	954,9E-3	600,0E-9	3,0	0%	103,1E-6
Verarbeitung	1	100,0E-6	4,0E-3	3,0	0%	1,2E-6
Senden	1	15,0E-3	27,0E-3	3,0	0%	1,2E-3
Empfangen	1	30,0E-3	18,0E-3	3,0	0%	1,6E-3
						2,94E-3

Mit diesem Nutzungsprofil würde die CR2450-Batterie ca. 4,33 Jahre halten.

Tabelle 4: Energieanforderungen des Glasbruchsensors mit Alkaline-Batterie

AAA Alkaline-Batterie; 1,5 V; 1125 mAh Kapazität; ca. 0,25 \$						
Modus	Frequenz	Dauer	Strom (A)	Spannung (V)	Schaltverlust	Energie (J)
Sleep	60	954,9E-3	600,0E-9	1,5	0%	51,6E-6
Verarbeitung	1	100,0E-6	4,0E-3	1,8	10%	800,0E-9
Senden	1	15,0E-3	27,0E-3	3,0	10%	1,4E-3
Empfangen	1	30,0E-3	18,0E-3	1,8	10%	1,1E-3
						2,48E-3

Mit dem gleichen Nutzungsprofil hält die AAA-Alkaline-Batterie in etwa 4,65 Jahre. Dies entspricht einem um 16% höheren Wirkungsgrad, was zu einer 7% längeren Lebensdauer und 60% geringeren Batteriekosten führt. Womit bewiesen ist, dass moderne dynamische Techniken zur Energieeinsparung erhebliche Vorteile mit sich bringen. Zu beachten ist auch die Einschaltdauer der Systemfunktionen, die den größten Nutzen aus der hocheffizienten Stromversorgung ziehen. Werden die Empfangsdauer oder der Einschaltzyklus erhöht, bieten sich mehr Vorteile durch den Einsatz einer Alkaline-Batterie mit Schaltnetzteil. Hinzu kommt, dass der Ausgang des DC/DC-Wandlers höher sein kann als der der Lithium-Batterie (d.h. 3,3 V) und somit noch mehr Ausgangsleistung und eine längere Lebensdauer bereitsteht.

Angesichts fortschrittlicherer Batterietechniken und Power-Management-Techniken auf Chipebene haben wir seit der Volta'schen Säule von Alessandro Volta sehr viel erreicht. 200 Jahre technische Weiterentwicklung und Innovation in den Bereichen Chemie, Elektrotechnik und Fertigung haben zu Batterien geführt, die tausendfach anspruchsvoller in Sachen Design und Funktion sind. Systementwickler haben heute viel mehr Möglichkeiten bei der Auswahl der geeigneten Batterie, wenn sie ihre nächste Embedded-Anwendung unterstützen wollen.