



Akkumulatoren

Systeme, Technik, Einsatz und Ladetechnik – Teil 3



Akkumulatoren sind, allgemein definiert, wiederaufladbare Speicher für elektrische Energie. Jedoch gibt es unzählige Systeme, die auf unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen beruhen. Entsprechend umfangreich sind auch ihre Einsatzgebiete, die u. a. auch immer mehr die der Primärzelle erobern, und die Techniken, diese Akkus zu laden und zu pflegen. Unser Exkurs gibt einen Überblick über praktisch eingesetzte Systeme, ihren Einsatz und die zugehörige Ladetechnik. Im dritten Teil widmen wir uns den Lithium-Akkus.

Lithium – Grundlage einer eigenen Akku-Klasse

Er ähnelt im (mechanischen) Grundaufbau zwar den bisher schon besprochenen Nickel-basierten Akkus, stellt aber eine ganz andere Akku-Klasse dar – der Lithium-Akku, heute hauptsächlich als Lithium-Ionen-Akku (LiIon), Lithium-Polymer-Akku (LiPo) und Lithium-Eisenphosphat-Akku (LiFePO₄) im Einsatz.

Diese Akkus beruhen auf der reversiblen Einlagerung von positiven Lithium-Ionen (Li⁺) in die aus verschiedenen Verbundmaterialien bestehenden Elektroden, die in einer Gitterstruktur ausgeführt sind und jeweils als Wirtselektrode für die Lithium-Ionen dienen. In Bild 1 sieht man in der Darstellung des Lade- und Entladevorgangs, wie die Lithium-Ionen zwischen den Elektroden wandern. Dabei findet im Gegensatz zu anderen Akku-Technologien keine chemische Elektrolytreaktion statt, sondern lediglich

ein Volumenanstieg der jeweils als Wirtselektrode dienenden Elektrode. Der Elektrolyt besteht aus einer Mischung aus leitenden Salzverbindungen und einem organischen Lösungsmittel (das riecht man deutlich bei einem defekten bzw. ausgasenden Akku). Die hermetisch abgeschlossene Umhüllung macht den Akku völlig lageunabhängig einsetzbar.

Warum Lithium? Es ist das leichteste alkalische Metall (Dichte 0,53 g/cm³), hat mit 3,05 V das größte Standardpotential in der elektrochemischen Spannungsreihe, ist in Reinform vor allem mit Wasser äußerst reaktionsfreudig, und es ermöglicht den Bau von Akkus mit sehr hohen Energiedichten von über 100 Wh/kg – der höchsten der derzeit im Masseneinsatz befindlichen Akku-Systeme. Wie gesagt, Lithium ist in der Reinform äußerst reaktionsfreudig, was heißt, dass man, auch wenn in den realen Akkus das Lithium chemisch gebunden ist, bei der Nutzung unbedingt die hier sehr gefährliche Gasbildung vermeiden muss – sowohl beim Laden als auch bei der Benutzung und der Lagerung. Hier sind beim Laden, Entladeschluss und der Lagerung eine Reihe von Bedingungen zu beachten, damit es nicht zum Platzen, einem Brand oder gar einer Explosion kommt.

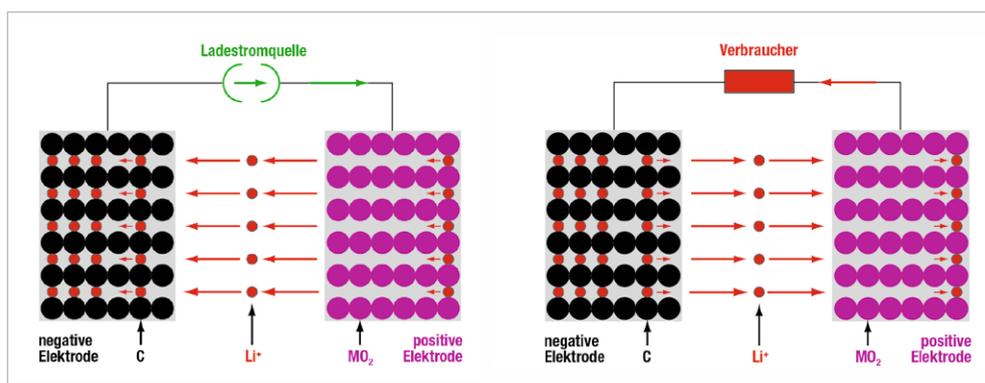


Bild 1: Die Lithium-Ionen wandern wechselseitig zu einer der Elektroden und lagern sich hier bis zur Umkehrung des Vorgangs an.



Auch der Aufbau der Kathode aus einer Kombination aus Lithium, Kobalt und Sauerstoff (LiCoO_2) sowie weiteren Beimengungen, etwa von Mangan oder Nickel, stellt, wie auch der brennbare Elektrolyt, bei Fehlreaktionen und bestimmten äußeren Einflüssen, z. B. hohe Wärme, in der Reaktion mit den wandernden Lithium-Ionen ein Brandrisiko dar, insbesondere bei Akkus der ersten Generationen – man erinnere sich nur an das frühe Akku-Desaster bei Apple.

Deshalb gibt es auch zahlreiche Restriktionen für das Laden, den Transport und die Lagerung sowie spezielle Brandschutzhinweise. Und deshalb auch gelten diese Akkus bei der Beförderung als Gefahrgut, das als Hinweis z. B. für die Brandbekämpfung speziell angemeldet und gekennzeichnet sein muss.

Die Hersteller beugen einer Falschbehandlung beim Laden und Entladen der Akkus heute fast immer mit integrierten Schutzschaltungen gegen das hier besonders gefährliche Tiefentladen (wir erinnern uns: Volumenanstieg), Überladen und die Übertemperatur vor. Bei mehrzelligen Akkus, die in Reihe geschaltet sind (je Zelle hat der Li-Ion-Akku nominal je nach konkret eingesetztem Kathodenmaterial 3,6 bis 3,8 V), müssen zudem Balancer bzw. Batteriemanagementsysteme (BMS) eingesetzt werden, da, wie gesagt Zellen auch auf kurzzeitiges Überladen mit Schäden reagieren. Thema Temperatur: Lithium-Ionen-Akkus sind im bereits recht weiten Bereich zwischen -20 °C bis $+60\text{ °C}$ einsetzbar, wobei auch hier die Leistung bei niedrigeren Temperaturen unter $+5\text{ °C}$ und Temperaturen über 35 °C stark absinkt, weshalb die meisten Akkuhersteller genau diesen Temperaturbereich als Nutzungsbereich angeben.

Die Selbstentladungsrate ist sehr gering mit durchschnittlich 2 bis 3 % je Monat – das macht Lithium-Akkus auch sehr beliebt für alle Nutzungen, bei denen nur gelegentlicher Gebrauch nach längerer Lagerzeit die Regel ist, etwa bei Akku-Werkzeugen im Consumerbereich.

Weitere Vorteile des Lithium-Ionen-Akkus („Li-Ion“) sind das sehr geringe Gewicht und das vergleichsweise geringe Volumen trotz hoher Energiedichte. Das macht diese Akkus besonders prädestiniert für mobile Geräte aller Art. Auch ein Memory-Effekt tritt hier nicht auf.

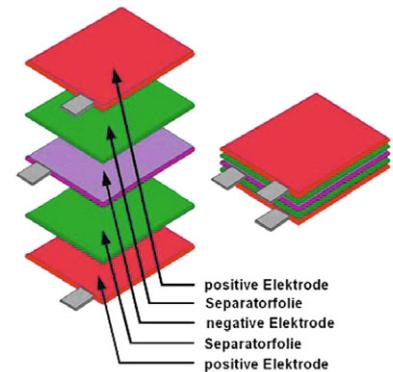
Stark von der individuellen Behandlung abhängig ist die erreichbare Zyklenzahl/Lebensdauer. Immerhin reicht inzwischen die Zyklenzahl bei definierter Behandlung je nach Hersteller, Akku-Nutzung und Ladequalität bis zu einigen Tausend Zyklen. Der Akkutyp dankt es mit deutlich höherer Lebensdauer, wenn man ihn nur mit 80 % statt 100 % lädt – vor allem bei hoch belasteten Anwendungen wie in der Antriebstechnik inzwischen vielfach geraten.

Die Bauform (siehe auch Titelbild des Artikels) ist meist die zylindrische Zelle oder die flache Pouch-(Bag)-Zelle, in der Umgangssprache auch gern „Suppentüte“ genannt, aufgrund der Ähnlichkeit der Umhüllung und der flachen Form, die eine ideale Einsatzmöglichkeit in besonders kompakten Geräten bietet.

Die wohl kritischste Phase ist beim Li-Ion-Akku die der Lagerung. Am schädlichsten ist hier Lagerung bei hohen Temperaturen im vollgeladenen Zustand. Deshalb sollte man Akkus nur bei etwa 80 % geladenem Zustand und bei Temperaturen um max. 20 °C lagern. Die flachen Bag-Zellen sind zudem gegen mechanische Beschädigungen zu schützen, wie sie etwa im Modellbaubereich, z. B. bei einem Flugmodell-Absturz auftreten können.

Durch den Einsatz spezieller Separatoren in den Akkus beugen die Hersteller einem Brand oder gar einer Explosion des Akkus aufgrund der starken Reaktionsfähigkeit des Lithiums vor, dennoch kann insbesondere falsches Laden durch ungeeignete Ladegeräte zu einem Metallbrand führen, der aufgrund der extrem hohen Temperatur und des meist explosionsartigen Verlaufs kaum – und schon gar nicht mit üblichen Löschmethoden wie Wasser – löscherbar ist. Hierfür gibt es speziell entwickelte Löschmittel, die dem Brand sehr schnell den Sauerstoff entziehen. Auch dies ist ein Grund, solche Akkus immer in speziellen Transportbehältern zu transportieren und zu lagern, die den Akku u. a. von brennbaren Gegenständen in der Umgebung isolieren.

Bild 2:
Der stilisierte Aufbau
des LiPo-Akkus



Der Lithium-Polymer-Akku (LiPo)

Der LiPo-Akku entspricht in der Funktion und dem prinzipiellen Aufbau dem bisher beschriebenen Li-Ion-Akku, allerdings ist hier der Elektrolyt nicht flüssig, sondern als Gel-/Polymerfolienkombination (Bild 2) ausgebildet. Das macht den hier oft sehr dünnen Zellaufbau ebenso möglich wie eine relativ hohe Flexibilität der Zelle, sodass man diese im Extremfall sogar dem im Gerät zur Verfügung stehenden Bauraum im Gerät anpassen kann.

Der LiPo-Akku hat eine noch höhere Energiedichte als der Li-Ion-Akku, eine Zellen-Nennspannung von 3,6 V, quittiert auf der anderen Seite aber insbesondere Überladen, aber auch starkes Tiefentladen mit noch schnellerem Ausfall als der Li-Ion-Akku. Hier ist das schnelle und starke Aufblähen ein sicheres Zeichen einer Falschbehandlung bzw. einer defekten Zellschutzelektronik, und es kommt mitunter sehr schnell zum explosionsartigen Akku-Brand. Ansonsten gelten alle zum Lithium-/Li-Ion-Akku gegebenen Hinweise entsprechend, allerdings geben hier verschiedene Hersteller unterschiedliche Prozeduren für eine längere Lagerung vor, etwa, den Akku nur halb statt zu 80 % geladen zu lagern.

Robuster Arbeiter – Lithium-Eisenphosphat-Akku (LiFePO_4)

Diese Ableitung (Bild 3) des Lithium-Akkus verfügt als wesentlichstem Unterschied über ein anderes Kathodenmaterial, nämlich das namensgebende Lithium-Eisenphosphat. Dazu ist die interne Reaktionskette deutlich „entschärft“, denn durch das Fehlen von Sauerstoff darin verhält sich der Akku nicht so reaktionsfreudig wie der Lithium-Akku mit der LiCoO_2 -Kathode, die ja zum Teil aus Sauerstoff be-



Bild:
SIGA Batterien

Bild 3: Lithium-Eisenphosphat-Akkus sind weit verbreitet als Antriebs-, Solar- oder USV-Akku bzw. im Marinebereich.

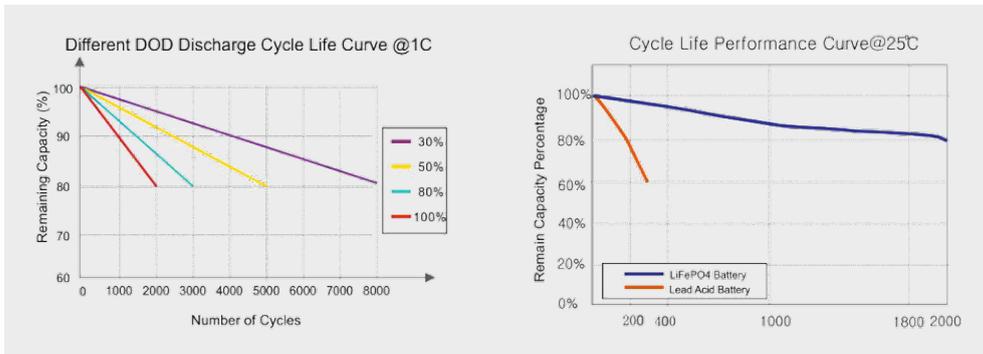


Bild 4: Ladezyklen-Verlauf eines modernen LiFePO_2 -Akkus - hier sieht man deutlich, wie sich schonender Umgang auf die Lebensdauer auswirkt und wie langlebig ein solcher Akku sein kann. Bild: SIGA Batterien



Bild 5: Lithium-Akkus sind fast immer ab Werk mit Batteriemanager- oder wenigstens Schutzsystemen gegen Tiefentladung und Überladung versehen.

steht. Deshalb ist hier die Gefahr des „thermischen Durchgehens“ des Akkus bei Fehlbehandlung und anderen Einflüssen weit geringer – der Akkutyp gilt als sicherer im Umgang.

Die Energiedichte dieses Akkutyps liegt unter der des Li-Ion-Akkus, sie beträgt um 100 Wh/kg (was ihn im Vergleich zum sehr leichten Li-Ion-Akku größer und schwerer macht), allerdings liegt die Leistungsdichte, die ja kennzeichnend für hohe Dauerstrombelastung ist, deutlich höher als bei den technologischen Verwandten. Insgesamt ist der Akku robuster als diese, er verträgt hohe Ladeströme (bis 3 C gegenüber 1 C bei Li-Ion/LiPo, was ihn gegenüber diesen schnellladefähig macht) ebenso wie hohe Entladeströme (Spitzen bis 40 C), hat einen weiten Lagerungs- und Betriebstemperaturbereich und kann bis zu 10.000 Zyklen erreichen. Die Entladekurve ist flacher als bei den anderen Lithium-Akku-Technologien. Die Zellenspannung liegt bei 3,2 bis 3,3 V, die Entlade- und Ladeschlussspannungen unterscheiden sich zum Teil von denen der bisher beschriebenen Lithium-Akkus (siehe „Ladetechnik“). In Bild 4 kann man sehr gut anhand der Ladezyklen-Performance sehen, wie langlebig, zyklenfest und niveaustabil diese Akkus heute sind.

Ansonsten gelten prinzipiell die gleichen Hinweise zum Umgang, zur Lagerung, auch hier wirkt z. B. eine reduzierte Ladeschlussspannung lebensdauerverlängernd. All diese Eigenschaften führen in der Summe dazu, dass sich diese Akkus einer hohen Beliebtheit in USV-/Netzersatzanlagen, Solaranlagen, als An-

triebs-, Starter-, Versorgungs- und Modellbau-Akkus erfreuen. Allerdings sind sie auch relativ teuer.

Die Ladetechnik und der Umgang mit dem Akku

Lithium-Akkus sind mit Abstand die unter den bisher in unserer Serie diskutierten Akku-Technologien die Akkus, die am empfindlichsten und heftigsten auf eine Fehlbehandlung reagieren – bewegt man sich doch auf allen Ebenen an den Grenzen der Akku-Technologie. Hier an der Ladetechnik zu sparen kann fatal werden, wie dies etliche spektakuläre Fälle bei Notebooks und besonders im E-Bike-Bereich bereits bewiesen haben.

Am wichtigsten ist beim Laden das Einhalten der genauen Ladeschlussspannung, die je nach Typ bei 4,1 bis 4,35 V liegt und sehr genau auf wenige Millivolt eingehalten werden muss. Auch spielt die Zellentemperatur hier eine wesentliche Rolle, da ein zu hohes Ansteigen die exotherme Reaktion des Akkus wesentlich unterstützt. Hier ist von den meisten Herstellern eine Zellentemperaturbegrenzung von 35 °C bis max. 50 °C als äußerste Grenze beim Laden vorgeschrieben.

Auch auf der anderen Seite sind strikte Grenzen einzuhalten, als Kriterium spielt hier die Entladeschlussspannung von meist 2,5 V die wichtigste Rolle. Sinkt die Spannung weiter ab, kann der Akku von selbst in Brand geraten. Die meisten (einzelligen) Akkus haben heute bereits kleine Batteriemanagementsysteme (BMS, Bild 5) an Bord, die zumindest eine Tiefentladung, ein Überladen und ein Laden bei zu hoher Temperatur verhindern. Mehrzellig konfektionierte Akkus wie z. B. Werkzeug-Akkus verfügen über ein sehr aufwendiges BMS (Bild 6), das dazu u. a. auch das Balancing (den Spannungsausgleich zwischen den in Reihe geschalteten Zellen auf gleiches Niveau) erledigt. Dazu kommen je nach Ausstattung Aufgaben wie die Kapazitätsermittlung und -anzeige, Lasterfassung und weitere Funktionen. Für den, der sich Lithium-Ionen-Akkupacks aus Standardzellen selbst zusammenstellen will, gibt es im Elektronikversandhandel auch gut funktionierende BMS zu kaufen (Bild 7 zeigt ein solches), allerdings sollte man hier wirklich genau wissen, was man tut.

Beim Einsatz und dem Laden der Akkus in einem Gerät ist die Ladeelektronik meist in das Gerät integriert, etwa beim Laptop oder im Smartphone. Damit eliminiert man nicht nur Bedienfehler, auch die Anforderungen an meist dann sehr einfach aufgebauten Ladeadaptern sind gering. Deshalb hat sich gerade auf der Ebene der mobilen Geräte der 5-V-Adapter, ob



Bild 6: Aufwendiges BMS für einen 18-V-Werkzeugakku

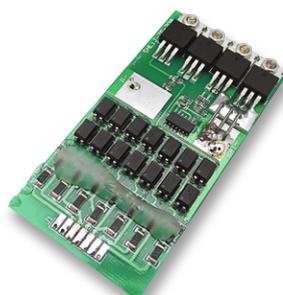


Bild 7: BMS für einen leistungsfähigen Selbstbau-Akkupack



Bild 8: Typischer Einzelzellenlader für Akkus in Lithium-Technik



als Netz- bzw. Kfz-Bordnetzadapter oder Powerbank weitgehend als eine Art Standardlader durchgesetzt. Diese müssen eben nur 5 V und den benötigten Strom „roh“ liefern, den Rest erledigt die interne Ladetechnik des so versorgten Geräts. Diese ist allerdings meist so ausgeführt, dass der Akku dem Versprechen des Geräteherstellers folgt, also komplett vollgeladen wird und zumindest zu Beginn die versprochene Betriebsdauer per Akkuladung abliefern. Dass dies der Lebensdauer (Zyklenzahl) abträglich ist, haben wir ja schon behandelt. Deshalb ist es beim Laden mit solchen Ladevorrichtungen immer anzuraten, wenigstens die Ladestandsanzeige des Geräts im Auge zu behalten und den Lader entsprechend früher vom Gerät zu trennen. Dann kommt es auch nicht zu vorzeitigen Akku-Ausfällen wegen „totgebratener“ Akkus, die ständig auf Voll-Zustand gehalten werden. Ein in der Neuzeit typisches Beispiel hierfür sind die in selbst konfigurierten Smart Home Haussteuerungen stationär eingesetzten Tablet-PCs, die oft der Einfachheit halber ständig am Netz laufen. Wenn man einen solchen Tablet-PC schon so nutzt, dann sollte man die Ladetechnik intelligent betreiben, etwa, wie sehr gut unter [1] beschrieben. Oder man setzt an dieser Stelle gleich ein Tablet ohne Akku ein – diese sind inzwischen auch in allen Größen und Ausstattungen verfügbar.

Zurück zur Ladetechnik und zur Akkupflege. Neue Lithium-Akkus haben zwar eine Grundladung, die bei Transport, Lagerung und Verkauf eine Zellenspannung im „gesunden“ Bereich sichert, dennoch sollte jeder Akku vor dem ersten Einsatz geladen werden. Überhaupt erreichen Lithium-Akkus erst nach einigen Zyklen ihre nominelle Kapazität, denn erst dann hat sich das Umladen der Lithium-Ionen stabilisiert.

Zum Ladegerät selbst – hier gibt es eine große Bandbreite von Ladegeräten, vom Einzelzellenlader, der mikroprozessorgesteuert jede Zelle einzeln behandelt und überwacht (Bild 8), über den typischen prozessorgesteuerten Modellbaulader (Bild 9), der zumeist auch einen Balancer für Akkupacks ohne integriertes BMS an Bord hat, bis hin zum aufwendigen und besonders universell einsetzbaren Spitzengerät (Bild 10), das es u. a. erlaubt, Ladeschlussspannungen genau an den verwendeten Akku anzupassen, denn diese liegt je nach Akkutyp bei 4,1, 4,2 oder 4,35 V.

Das Ladeverfahren, das bei Lithium-Akkus grundsätzlich zur Anwendung kommt, ist das IU- bzw. CCCV-Verfahren (Constant Current Constant Voltage). Hier beginnt das Laden je nach technischem Aufwand mit einer Vorprüfung auf den Zellenzustand, damit der Akku bei niedriger Spannungslage zunächst schonend mit einem niedrigeren Strom geladen wird. Das eigentliche Laden erfolgt zunächst mit Konstantstrom, dabei wird die Zellenspannung überwacht. Ist die Ladeschlussspannung erreicht, schaltet das Ladegerät um auf Konstantspannungsladung, so kann der Spannungspegel nicht weiter steigen. Dabei verringert sich die Ladungsaufnahme des Akkus stetig, sprich, der Ladestrom sinkt ab. Sinkt er unter einen definierten Wert, schalten intelligente Ladegeräte ab und prüfen fortan nur noch den Spannungsabfall. Da der Lithium-Akku aber eine sehr geringe Selbstentladung aufweist, verzichtet man oft auf den bei anderen Akkus ausgeführten Erhaltungslademodus und der Akku sollte entnommen werden.

Noch ein Hinweis zum bei Elektronikbastlern beliebten Selbstbau von mit Lithium-Akkus versorgten Geräten. Hier sollte man keine Ex-



Bild 9: In dieser und ähnlichen Ausführungen zigtausendfach bewährt – typische Modellbaulader mit Balancerports für Lithium-Akkus. Bild: Jamara



Bild 10: Spitzengerät für das Laden unterschiedlicher Akkutypen – mit dem ALC 8500-2 Expert ist auch eine genaue Anpassung an jeden zu ladenden Akku möglich.

perimente machen, sondern gleich zum Standard-Ladebaustein greifen. Ein solcher ist z. B. der weit verbreitete TP4056 (Bild 11 zeigt die Applikationsschaltung und einen über Elektronikshops vielfach erhältlichen Baustein) bzw. der LTC4056 [2] von Linear Technology (Bild 12).

Zum Thema Lagerung haben wir je bereits einiges erläutert, kurz noch einmal zusammengefasst: Lagerung bei Zimmertemperatur (optimal sind 10 bis 15 °C), nicht vollgeladen lagern (60–80 %), bei längerer Lagerung (> 1 Jahr) die Zellenspannung überprüfen und ggf. wieder nachladen, um ein schädliches Tiefentladen unter 2,5 V zu vermeiden. **ELV**



Weitere Infos:

- [1] Smart Wohnen, Jens P. Stern: <https://smart-wohnen.org/homemantic-android-tablet-als-hausautomations-front-end-einsetzen/>
- [2] Datenblatt LTC4056: http://www.analog.com/media/en/technical_documentation/data-sheets/405642f.pdf

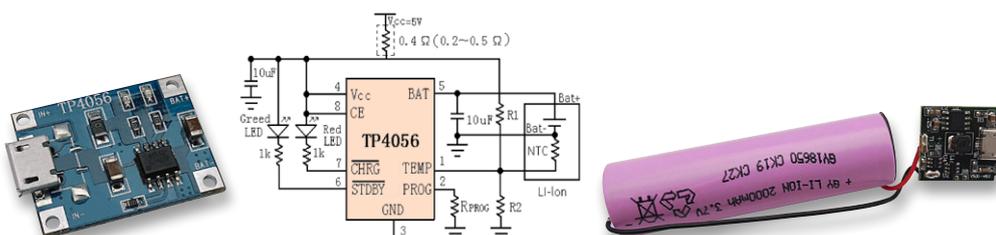


Bild 11: Weit verbreiteter Lithium-Akku-Ladebaustein: der TP4056 erfordert nur wenig Peripherie und bietet eine LED-Anzeige zur Überwachung. Rechts ist zusätzlich ein Step-up-Regler verbaut, der den 3,6-V-Akku zur 5-V-Powerbank macht.

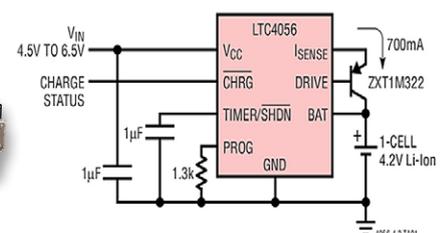


Bild 12: Ein typisches Einzelzellen-Lade-IC für Lithium-Akkus ist der LTC4056 von Linear Technology