

# Energieeffizienz: Erzeugen – Speichern – Umwandeln



**Elektronische Lasten (Keysight EL34000A-Serie): 1-Kanal bis 350 W oder 2-Kanal bis 2 x 300 W (Powerbank/Hintergrund Image by Eak K. from Pixabay)**

Wir sind umgeben von Technologien, die eine Versorgung mit elektrischer Energie aus Batterien benötigen: Vom E-Fahrzeug über das Smartphone, Wearables, tragbaren medizinischen Geräten bis hin zu intelligenten IoT-Geräten und industriellen Steuerungen.

Dabei spielen – neben der Erzeugung der Energie durch Generatoren, Solarzellen etc. – immer zwei Standardprozesse eine wichtige Rolle: Das Speichern und die Umwandlung von elektrischer Energie. Der Strom aus dem Kraftwerk fließt durch das Stromnetz und kommt in der Wandsteckdose zu Hause an. Ladegeräte wandeln den Wechselstrom in Energie um, die in Batterien/Akkus gespeichert wird. Diese Batterien können eine hohe Kapazität haben, zum Beispiel in E-Fahrzeugen, oder eine geringere Kapazität wie in einer Smartwatch oder einem IoT-Gerät für die Raumklima-Messung. Auch in den batterieversorgten Geräten wird intern die Energie aus der Batterie umgewandelt und an die verschiedenen Funktionsgruppen innerhalb des Geräts angepasst und verteilt.

*Autor:  
Ernst Bratz  
Meilhaus Electronic  
www.meilhaus.com*

*unter Verwendung von Bildmaterial und Informationen von Keysight*

Wenn es um die Speicherung geht, so erkennt man schnell, dass sowohl Kapazitäten als auch Ladezeiten der heutigen Batterien in vielen Bereichen nicht optimal sind und noch viel Entwicklungspotenzial bieten. Stark begrenzten Betriebszeiten stehen oft noch relativ lange Ladenzeiten gegenüber. Durch Klimaschutz und Energieknappheit ist die Energieeffizienz von elektronischen Geräten noch einmal mehr in den Fokus geraten.

## Spezielle Messgeräte

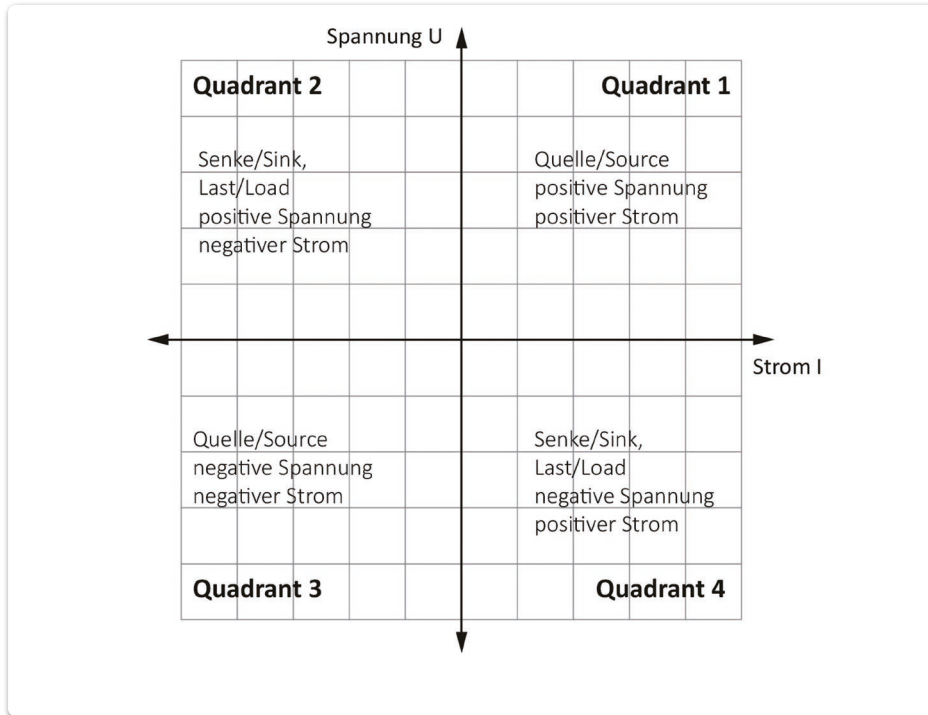
Für die Entwicklung und den Test neuer Energiespeicher- und Energiewandler-Technologien sind Messgeräte erforderlich, die es dem Ingenieur und Techniker ermöglichen, schnell, präzise und einfach Batterien und Wandler zu analysieren, charakterisieren und Aussagen über ihr Verhalten und ihre Effizienz zu treffen. Zu diesen Messgeräten gehören unter anderem die elektronischen Lasten.

Eine elektronische Last (auch Stromsenke, im Gegensatz zu einer Stromquelle) absorbiert Leistung. Oder mit anderen Worten: Sie ist ein steuerbarer, elektrischer Verbraucher für Testzwecke. Am einfachsten lässt sich dies mit dem 4-Quadranten-Modell beschreiben (Bild 1), das die Arbeitsweise von Stromquellen und -senken darstellt. Quadrant 1 ist eine einfache Quelle, die positive Spannung und positiven Strom liefert (zum Beispiel Batterie). Quadrant 2 beschreibt eine Last-Betriebsart (positive Spannung und negativer Strom). Im Quadrant 3 sind sowohl Spannung als auch Strom der Quelle negativ, Quadrant 4 schließlich ist wieder eine Lastbetriebsart mit negativer Spannung und positivem Strom.

Bild 2 zeigte als Beispielanwendung das Entladen einer Batterie mit einer Last in einem möglichen Test-Setup. Meist sind Last und Multimeter in einem multifunktionalen Gerät integriert.

## Testsystem mit Quelle und Senke

Batterien und DC/DC-Wandler sind bidirektionale Komponenten, die sowohl Strom aufnehmen als auch abgeben können. Test und Analyse dieser Komponenten erfordern daher sowohl eine Quelle („Sourcing“, Stromversorgung) als auch eine Senke („Sinking“, elektronische Last oder „Verbraucher“).



**Bild 1: Das 4-Quadrant-Modell für Stromquellen und -senken**

Beide sind notwendig, um zu untersuchen, wie sich die Eingangsbedingungen auf die Ausgangsbedingungen auswirken. Bild 3 zeigt vereinfacht einen typischen Prüfaufbau für einen DC/DC-Wandler mit einer am Eingang angeschlossenen Stromversorgung und einer am Ausgang angeschlossenen elektronischen Last.

Eine einfache Analyse von Ursache und Wirkung kann helfen, die Energieeffizienz zu steigern.

Stellt man beispielsweise fest, dass ein geteilter Wandler mit einem Wirkungsgrad von nahezu 100% arbeitet, wenn der Eingang 80% der Eingangsspannung beträgt, kann

man die Konstruktion des Geräts daraufhin anpassen und erheblich verbessern.

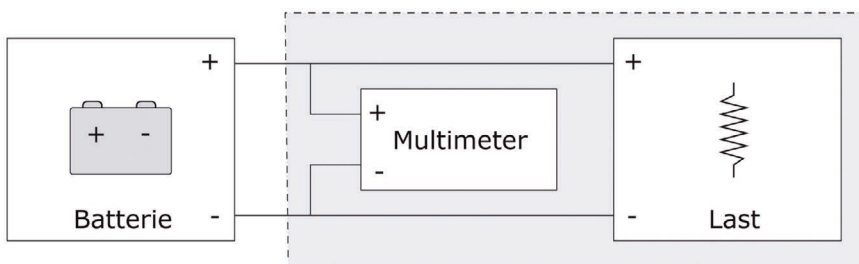
Weitaus aufwändiger kann die Untersuchung der Batterie eines Mobilgeräts wie zum Beispiel eines Smartphones sein. Ein solches Gerät befindet sich immer wieder in ganz unterschiedlichen Betriebszuständen wie „ausgeschaltet“, „Ruhe-/Bereitschaftszustand“, „Energiesparmodus“, „Vollstrommodus“. Selbst wenn das Gerät ausgeschaltet ist, so benötigt dennoch die eingebaute Uhr (wenn auch nur sehr geringe) Energie. Im Ruhe- und Bereitschaftsmodus ist das Display ausgeschaltet, das Gerät ist jedoch bereit, einen Anruf oder SMS zu empfangen.

Auch aktiviertes Bluetooth, WLAN und GPS benötigen Energie. Die Simulation all dieser möglichen Betriebszustände ist komplex. Ein gut durchdachtes, bidirektionales Leistungs-Testsystem ist der grundlegende Baustein, um hier nutzbare Erkenntnisse zu gewinnen. Der Aufbau dieses Testsystems bringt einige Herausforderungen mit sich:

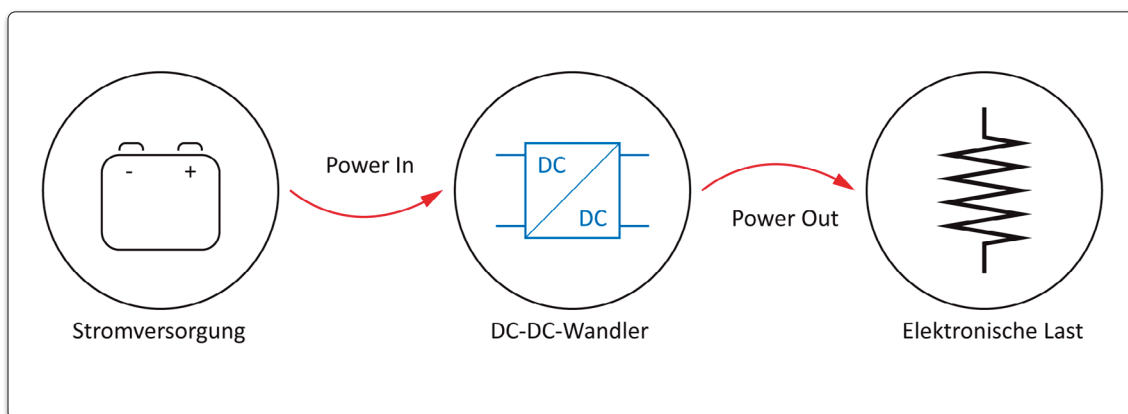
**Zeitmessung, Synchronisierung und Automatisierung**

Ein Testaufbau aus diskreten Geräten erfordert eine programmierbare Stromquelle und eine programmierbare Last. Die erste Herausforderung besteht schon einfach nur darin, diese „unter einen Hut“ zu bringen - insbesondere, wenn hier Produkte verschiedener Hersteller womöglich über unterschiedliche Schnittstellen oder Befehlsprachen miteinander kommunizieren müssen (eine Alternative sind Leistungsanalysatoren, die beide Funktionsgruppen in sich vereinen).

Bei der Programmierung einer Quelle und einer Last mit zwei verschiedenen Geräten sind Zeit und Synchronisation eine Herausforderung. Das Zyklieren einer Batterie beispielsweise folgt einer Abfolge von Ereignissen, bei denen die beiden Gerätetypen erkennen müssen, wann sie sich in einem alternierenden Protokoll ein- und



**Bild 2: Aufbau zum Entladen einer Batterie mit einer elektronischen Last**



**Bild 3: Grundlegender Testaufbau für einen DC/DC-Wandler – die Stromversorgung liefert Strom am Eingang, während die elektronische Last am Ausgang Strom abnimmt**



**Bild 4: DC-Leistungsanalysator Keysight N6705C mit vier Slots für verschiedene Stromversorgungs-, Last- und SMU-Module**

ausschalten. Das Testen eines DC-DC-Wandlers benötigt ein ähnliches Maß an Synchronisation. Dieser Prozess erfordert, dass die Eingangsquelle ein einzigartiges Stromversorgungsmuster durchläuft. Die Last muss erkennen, wann dieser Prozess stattfindet. Die gleichzeitige Steuerung von

zwei separaten Geräten ist schwierig, selbst wenn sich Quelle und Last auf einer einzigen Plattform mit Standard-Kommunikationsschnittstellen befinden. Die Durchführung dieses Prozesses mit Quelle und Last als zwei verschiedenen Instrumenten, die unterschiedliche Kommunikationsschnittstellen

und inkompatible Programmiersprachen verwenden, ist erst recht eine nicht triviale Angelegenheit.

Kommt dann noch die Simulation so komplexer Betriebszustände wie bei Mobilgeräten hinzu, kann sie zu einer echten Herausforderung werden.

Zudem ist es wichtig, im größer angelegten Einsatz eine Automatisierung des Tests im Blick zu haben. Ein Sequenz-Workflow ist unerlässlich, besonders wenn Tests viele Male wiederholt und reproduzierbar ablaufen müssen (zum Beispiel zur Beurteilung, wie sich die Kapazität einer Batterie im Laufe der Zeit durch Hunderte von Ladezyklen verändert).

## Eine elektronische Last (E-Load)

ist ein Prüfgerät, das als Stromsenke oder „Verbraucher“ arbeitet und somit kontrolliert Leistung aus einer Stromquelle absorbiert. Während ein Gerät von einer Stromversorgung/Netzteil versorgt und betrieben wird, wird eine elektronische Last verwendet, um das Netzteil oder die Batterie zu testen, indem das zu prüfende Gerät emuliert wird. Im Vergleich zu einem einfachen Festwertwiderstand bieten Lasten viele Vorteile. Festwertwiderstände eignen sich nicht für das Laden und Prüfen von Stromquellen mit komplexen Prüfanforderungen.

Solche Aufgaben erfordern hochentwickelte elektronische Lastfunktionen, um die verschiedenen Betriebszustände zu validieren. Lasten hingegen bieten die Möglichkeit, die Spannung oder den Strom, den die Last verbraucht, zu kontrollieren oder zu begrenzen.

Der Benutzer muss sich zudem nicht um kritische Sicherheits- und Geräteschutzbelange kümmern, um eine mögliche Beschädigung des Geräts zu vermeiden.

Eine elektronische Last bietet eine höhere Flexibilität, da sie verschiedene Leistungsprofile in mehreren Betriebsarten/Steuerungsmodi bietet, wie zum Beispiel konstante Spannung (CV), konstanter Strom (CC), konstante Leistung (CP) oder konstanter Widerstand (CR). Für die meisten elektronischen Lasten ist ein maximaler Leistungspegel angegeben, den sie aufnehmen können. Sie können nur innerhalb der durch die maximale Leistungskontur begrenzten Spannungs- und Stromkombinationen betrieben werden. Diese Lasten werden für den Test von Netzteilen, UPS (Uninterruptible Power Supply/unterbrechungsfreie Stromversorgungen), DC/DC-Wandlern, Ladegeräten, Adaptern, Batterien, Solar- und Brennstoffzellen eingesetzt.

## Lösungen

Ein Lösungsansatz besteht darin, aufeinander abgestimmte Geräte einzusetzen. So sind viele aktuelle Stromversorgungen und die Lasten von Keysight der EL34000A-Serie mit den gleichen Kommunikationsschnittstellen ausgestattet und können einheitlich über die BenchVue/PathWave Software-Plattform gesteuert werden. Eine alternative Lösung ist die Verwendung eines DC-Leistungsanalysators (Bild 4). Der Keysight N6705C vereint in modularer Bauform sowohl programmierbare Stromversorgungen als auch elektronische Lasten in einem einzigen 4U-Tischgerät mit den Funktionen Stromversorgung, Voltmeter/Amperemeter, Oszilloskop, Arbiträr-Signalgenerator und Datenlogger. ◀