

# Netzteile, Primär- und Sekundär-Batterien testen

Die programmierbare elektronische DC-Last ist ein wichtiges Testgerät. Wie und wo es eingesetzt wird erklärt der folgende Artikel.



B+K Precision Lasten, verschiedene Ausführungen  
Hintergrund © Gerd Altman from Pixabay

Ein zentraler Aspekt praktisch aller Neuentwicklungen im elektronischen Bereich ist die Stromversorgung. Sie soll zuverlässig, effizient und nachhaltig sein. Daher wird von Entwicklern und Herstellern viel Aufwand in den Test von Netzteilen, Primär- und Sekundär-Batterien („Akkus“) etc. gesteckt. Schließlich geht es dabei um die Versorgung von Geräten, die im Alltag in Bereichen von reiner Unterhaltung bis hin zu sicherheitskritischen oder lebensnotwendigen Anwendungen eingesetzt werden: Mobilfunk, Elektrofahrzeuge, Computernetzteile, IoT, Standard-Haushaltsbatterien aber auch Batterien für medizinische Geräte, Sicherheitssysteme etc.

## Programmierbare elektronische DC-Last

Ein wichtiges Testgerät ist hierbei die programmierbare elektronische DC-Last, die bei der Prüfung verschiedener Einstellungen, Konfigurationen, Schemata und Methoden hilft. Im Folgenden werden einige typische Einsatzbeispiele von DC-Lasten beschrieben. Darüber hinaus werden verschiedene Methoden zum Testen der DC-Last selbst vorgestellt.

## Prüfen von Stromversorgungen

Bei Entwicklung und Test von elektronischen Komponenten und Designs werden geregelte, präzise Stromversorgungen („Netzgeräte“) verwendet. Sie müssen möglichst viele Gegebenheiten simulieren können, die später im Einsatz auftreten können, um das Verhalten des Prüflings zu untersuchen. Aber auch diese Stromversorgungen selbst müssen dafür geprüft und charakterisiert werden. Einige Spezifikationen bestimmen dabei grundlegende Leistungsfaktoren in typischen Netzteilen. Dies gilt insbesondere für das Einschwingverhalten, die Lastregelung und die Strombegrenzung. Für solche Tests von Stromversorgungen spielen Lasten eine wichtige Rolle.

Autor:  
Ernst Bratz  
Marketingleiter  
Meilhaus Electronic  
www.meilhaus.com  
nach Unterlagen von  
B+K Precision

## Lastsprungverhalten

Ein wichtiger Aspekt bei der Prüfung von Stromversorgungen ist die Charakterisierung des Einschwingverhaltens. Es beschreibt die Fähigkeit der Stromversorgung, sich bei einer sprunghaften Änderung des Laststroms zu stabilisieren. Zur Überprüfung des Ansprechverhaltens sind Messungen der Anstiegs- und Abfallzeiten bei einer sprunghaften Änderung der Last erforderlich. Im Allgemeinen wird für diese Art von Test eine Last benötigt, die eine Anstiegs- und Abfallzeit erzeugen kann, die etwa fünfmal schneller ist als die des Netzteils.

Zielsetzung ist also die Charakterisierung der Zeit, die eine Stromversorgung benötigt, um ihre Ausgangsspannung nach einer sprunghaften Änderung der Last zu stabilisieren.

## Vorgehensweise

Die prinzipielle Vorgehensweise ist wie folgt: An eine zu testende Stromversorgung wird eine DC-Last angeschlossen. Verwendet wird der transiente Modus der Last, um einen Lastsprung auf die Stromversorgung anzuwenden. Ein beispielhafter Messaufbau ist in Bild 1 dargestellt: Ein Netzteil wird auf 5 V Ausgangsspannung eingestellt, wobei die Stromgrenze auf 3 A gesetzt wird. Ein Digital-Oszilloskop wird verwendet, um die Ausgangsspannung des Netzteils zu beobachten. Das Oszilloskop ist AC-gekoppelt und so eingestellt, dass es auf negative Flanke triggert. Die DC-Last wird auf einen transienten Modus von 1,5 A bis 3 A eingestellt. Für die DC-Last wird der Impulsauslösemodus gewählt, d. h. ein Auslösesignal bewirkt, dass die Last von 1,5 A auf 3 A ansteigt und dann wieder auf 1,5 A fällt.

## Ergebnis:

In Bild 2 ist das Einschwingverhalten der Last während der Anstiegszeit bei einer sprunghaften Änderung von 1,5 A auf 3 A zu sehen. Die Ausgangsspannung fällt im Beispiel um etwa 1,6 mV ab.

## Lastregelung

Die Lastregelung ist eine weitere wichtige und zu testende Eigenschaft eines Netzteils. Dabei handelt es sich um eine Leistungsmessung, bei der das Netzteil auf seine Nennspannung eingestellt wird. Gemessen wird der Ausgangsspannungspegel des Netzteils, wenn eine angeschlossene Last von Null auf den Nennstrom der Stromversorgung wechselt. Mit dieser Prüfung soll sichergestellt werden, dass das Netzgerät seine Ausgangsspannung bei Änderungen des Nennstroms beibehält. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass die für die Prüfung verwendete Last den maximalen Nennstrom und die maximale Nennspannung des Netzteils unterstützt.

## Messung der Änderung der Ausgangsspannung

Zielsetzung ist die Messung der Änderung der Ausgangsspannung von der stromlosen Last bis zur Nennstromlast des Netzteils. Mit einem Gleichspannungsmessgerät wird die Spannungsänderung gemessen, wenn die Gleichstromlast das Netzgerät von 0 auf Nennstrom schaltet.

Die Messung ist konzeptionell einfach (Bild 3), aber es ist wichtig, dass das zur Messung der Spannungsänderung verwendete Voltmeter unabhängig von den Leitungen, die zum Anschluss der Gleichstromlast verwendet werden, an die Ausgangsklemmen des Netzteils

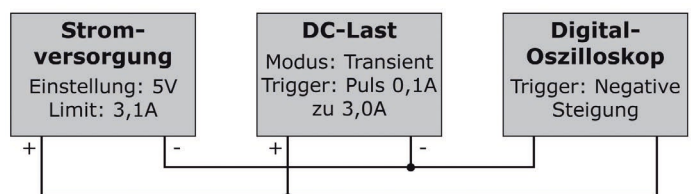
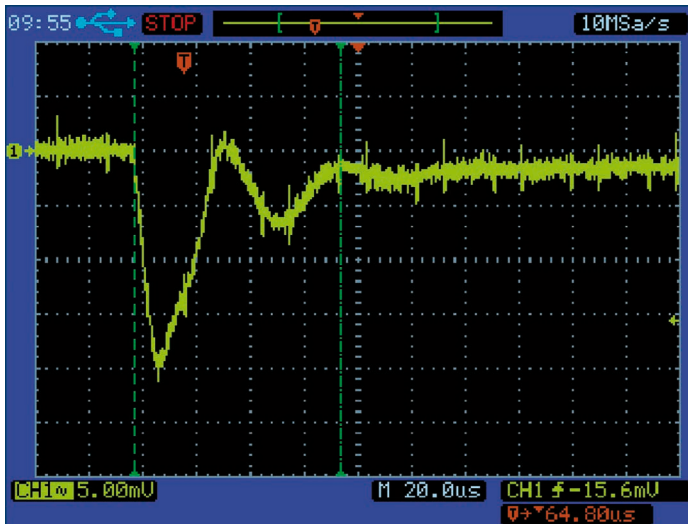


Bild 1: Testaufbau für das Einschwingverhalten



**Bild 2: Einschwingverhalten für eine handelsübliche Stromversorgung**

angeschlossen wird. Andernfalls wird der Übergangswiderstand der Stromkabel gemessen, wodurch die Lastregelung und der Ausgangswiderstand des Netzteils überbewertet werden. Das Voltmeter und die Gleichstromlast werden parallel an die Klemmen des Netzteils angeschlossen (Bild 3).

### Vorgehensweise

Die Vorgehensweise ist wie folgt: Die DC-Last wird für diesen Test im Konstantstrommodus (CC/Constant Current) betrieben und der Strom auf den Nennstrom des Netzteils eingestellt. Das Netzgerät wird eingeschaltet und auf seine Nennausgangsspannung eingestellt. Die Spannung des Netzteils wird als  $V_0$  gemessen. Nun wird die Last mit den entsprechenden Einstellungen (CC-Modus, Nennwert des Netzteils) eingeschaltet. Auch hier wird die Spannung gemessen als Wert  $V$ . Die Lastregelung des Netzteils in Prozent berechnet sich mit der Formel

$$100 * (V_0 - V) / V_0$$

Auch der Ausgangswiderstand des Netzteils kann berechnet werden als  $(V_0 - V) / I$

wobei  $I$  der bei diesem Test entnommene Strom ist.

Hochwertige Netzteile haben niedrige Ausgangswiderstände in der Größenordnung von 1 mΩ oder weniger. Dies bedeutet, dass die Messung von  $V_0$  und  $V$  mit ausreichender Genauigkeit erfolgen muss, um einen Signifikanzverlust bei der Subtraktion zu vermeiden. Bei einem 30-V-Netzteil mit einer Nennleistung von 3 A und einem Ausgangswiderstand von 1 mΩ ist beispielsweise die Messung von 30 V mit einer Auflösung von 100 μV erforderlich, um zwei signifikante Stellen in der Lastregelungszahl zu erhalten. Diese Messung würde ein 6-stelliges Voltmeter erfordern.

### Strombegrenzung

Stromversorgungen im Konstantspannungsbetrieb (CV/Constant Voltage) haben im Allgemeinen eine voreingestellte Grenze für den maximalen Ausgangsstrom. Die Prüfung der Strombegrenzung besteht aus Messungen, die das Verhalten eines Netzteils und seine Stromregelung definieren. Diese Messungen können durch eine Spannungs-Strom-Kurve charakterisiert werden. Sie zeigt, wie und wann das

Netzteil vom CV- in den CC-Modus übergeht. Im Idealfall spiegelt eine präzise Stromregelung eine Spannungs-/Stromkurve ähnlich wie in Bild 4 wider (blau, CV/CC).

Bei Stromversorgungen im CV/CC-Modus sieht die typische Strombegrenzungskennlinie wie in Bild 4 aus (blau), mit geringer oder sehr geringer Biegung in der Nähe des Übergangspunkts. Es ist sinnvoll, die Stromgrenzen eines Netzteils zu testen, da dies zum Schutz der Geräte für die jeweilige Anwendung beiträgt. Ohne ein gewisses Maß an Stromregulierung kann die Stromversorgung sogar zu viel Strom liefern oder bestimmte Geräte beschädigen.

### Bestimmen der Stromgrenze

Zielsetzung ist das Bestimmen der Stromgrenze eines zu prüfenden Netzteils. Dazu wird neben dem Netzteil eine Gleichstromlast und ein Computer zur Analyse der Spannungs-Strom-Kennlinie verwendet. Das Netzteil wird parallel zur Gleichstromlast angeschlossen und auf seine Nennspannung und einen voreingestellten Wert für den Strom gesetzt. Die DC-Last sollte die Nennspannung anzeigen, wenn der Ausgang des Netzteils eingeschaltet ist. Nun erhöht man schrittweise den von der Last entnommenen Strom und untersucht das Verhalten der Spannung in der Stromquelle.

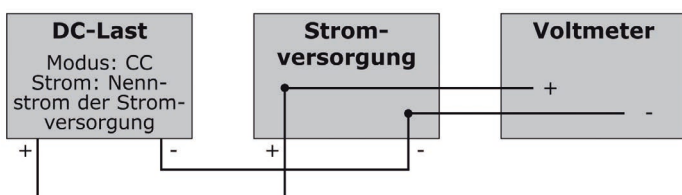
Wenn der Strom an der Last nahe an die voreingestellte Stromgrenze des Netzteils herankommt, beobach-

tet man das Verhalten vor, während und nach dem Übergangspunkt, an dem das Netzteil vom CV- in den CC-Modus umschaltet. Die DC-Last wird auf den CC-Modus eingestellt.

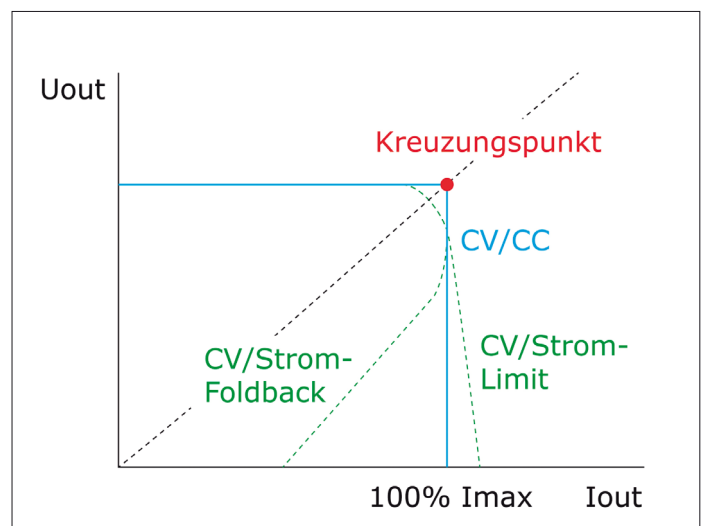
### Ergebnis:

Es wird zum Beispiel eine DC-Stromversorgung mit 32 V und 3 A mit einer DC-Last getestet. Die Spannung vor und nach dem Stromübergangspunkt wird beobachtet. Tabelle 1 zeigt die Daten einiger Messungen, um das Verhalten des Netzteils vor und nach dem Überkreuzungspunkt zu demonstrieren.

Daraus folgt, dass die Messungen eine Spannungs-/Stromkurve ähnlich wie in Bild 4 aufweist. Aus den Daten geht hervor, dass die Spannung unmittelbar nach Erreichen des Überkreuzungspunktes abfällt, der in diesem Fall bei 2,99467 A liegt. Nach diesem Punkt wechselt das Netzteil in den CC-Modus, und die Spannung bleibt bei 0,1569 V, wobei der Strom auf 2,99999 A begrenzt ist. Dieses Verhalten ist normal und für ein CV/CC-Netzteil zu erwarten. Es gibt andere Arten von Stromversorgungen mit anderen Strombegrenzungsgestaltungen, wie z. B. Foldback-Strom- und CV-Netzteile (ohne CC-Modus, Bild 4, grüne Kurven). Die Spannungs-Strom-Kurve unterscheidet sich stark von derjenigen der CV/CC-Netzteile, so dass es ratsam ist, deren Strombegrenzungseigenschaften zu testen, bevor sie in Geräten oder Testanwendungen eingesetzt werden.



**Bild 3: Testaufbau für die Lastregelung**



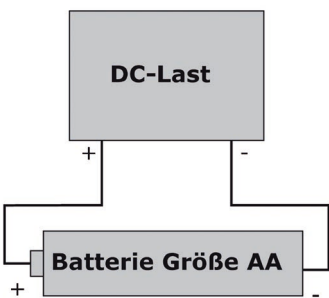
**Bild 4: Spannung versus Strom**

## Batterieprüfung

Immer wichtiger - insbesondere auch im Zusammenhang mit regenerativer Stromgewinnung - wird die Speicherung elektrischer Energie in Batterien. Hinzu kommen Brennstoffzellen, Superkondensatoren, photovoltaische Zellen etc. Es werden stetig neue Technologien entwickelt, die entsprechend getestet werden müssen. Oft sind die Designs dieser Energiequellen komplex, so dass ein programmierbares Prüfgerät nützlich ist, mit dem genaue Details des Verhaltens der Quellen untersucht werden können. Aufgrund ihrer Programmierbarkeit, Flexibilität und Funktionen ist eine DC-Last dafür prädestiniert, Tests auch an Batterien durchzuführen. Ein Aspekt sind zum Beispiel Batterieentladungs- und Innenwiderstandsprüfungen.

## Entladungskurven von Batterien

Bei der Entwicklung und Prüfung einer Batterie für die Stromversorgung eines Geräts wird der Energieeffizienz und der Lebensdauer große Aufmerksamkeit gewidmet. Aus diesem Grund ist ein Standardtest die Analyse von Entladekurven, die das Verhalten der Batterie charakterisieren. Durch die Beobachtung dieser Kurven kann die Lebensdauer der Batterie gemessen und ihre Effizienz berechnet werden. Einige DC-Lasten wie die Serien 8500 und 8600 von B+K Precision bieten diese nützliche Funktion bereits integriert. Dabei wird die Gesamtladung in Ah (Ampere x Stunde) zu einer bestimmten Spannung angegeben. Für den Test wird eine Batterie (im Beispiel eine Alkali-Batterie der Größe „AA“) an die DC-Last angeschlossen (Bild 5). Idealerweise wird dafür ein Batteriehalter verwendet (beim direkten



**Bild 5: Testaufbau für Batterie-Entladeprüfung**

Spannung	Strom	Modus
32,0001 V	0,00024 A	CV
31,9999 V	2,65178 A	CV
31,9999 V	2,99467 A	CV
0,1569 V	2,99999 A	CC

**Tabelle 1: Gemessene Beispiel-Daten - Messungen an der Stromversorgung (Messwerte vom Netzteil)**

Anlöten von Drähten an Batterien muss auf Schäden durch Überhitzung geachtet werden).

## Testdurchführung

Der Test wird von der entsprechenden Funktion der DC-Last bzw. einem zugehörigen Programm gesteuert. Spannungs- und Strombereich sollten jedoch zuvor manuell eingestellt werden. Wenn die Stromstärke relativ hoch ist, kann die Remote-Voltage-Sensing-Funktion der DC-Last sinnvoll sein.

Als Ergebnis erhält man ein Diagramm wie in Bild 6 dargestellt. Es zeigt die Batterieentladungskurve (im Beispiel für die verwendete „AA“-Alkalibatterie).

## Batterie-Innenwiderstand

Die DC-Last ist auch ein effektives Werkzeug zur Messung des Innenwiderstands einer Batterie, wobei hier natürlich auch noch andere Verfahren in Frage kommen. Die Batterie wird in der Regel wie in der gestrichelten Fläche in Bild 7 dargestellt modelliert. Die Spannungsquelle  $V_0$  wird als ideal betrachtet und entspricht der Leerlaufspannung der Batterie. Der Innenwiderstand  $R_i$  wird verwendet, um die internen Verluste in der Batterie zu idealisieren, wenn Strom fließt. Betrachtet man die Elektrochemie der Batterie als ein Netzwerk von Spannungsquellen und Widerständen, so bilden  $V_0$  und  $R_i$  das sogenannte Thévenin-Ersatzschaltbild.

Bei Alkalibatterien steigt der Innenwiderstand, wenn die chemische Energie der Batterie verbraucht ist. Der Innenwiderstand sinkt, wenn die Temperatur steigt.

Wenn VL die Spannung an der Last ist, ergibt sich

$$V_L = V_0 + i \times R_i$$

Daraus folgt

$$R_i = (|V_L - V_0|)/i$$

Auf diese Weise lässt sich der Innenwiderstand unter Verwendung der Gleichstromlast entweder manuell oder mit Hilfe eines Programms ermitteln. Bei kleineren Batterien ist ein programmgesteuerter Ansatz von Vorteil. Die Messungen können schnell durchgeführt werden, wodurch die Batterie weniger belastet wird. Mit Hilfe eines Oszilloskops kann ein millisekundenbreiter Stromimpuls verwendet werden, um eine Innenwiderstandsmessung durchzuführen.

## Praktische Durchführung

In der Praxis wird die Batteriespannung bei zwei verschiedenen Stromlasten gemessen. Die Fernmessungsfähigkeit der DC-Last wird genutzt, um Fehler aufgrund von Leitungswiderständen zu vermeiden. Es wird ein Stabilisierungsstrom von 5 mA angelegt, die Batteriespannung  $V_0$  gemessen wird, ein Strom von 505 mA angelegt wird und die Spannung  $V$  gemessen.

$$R_i = (V_0 - V)/0,5$$

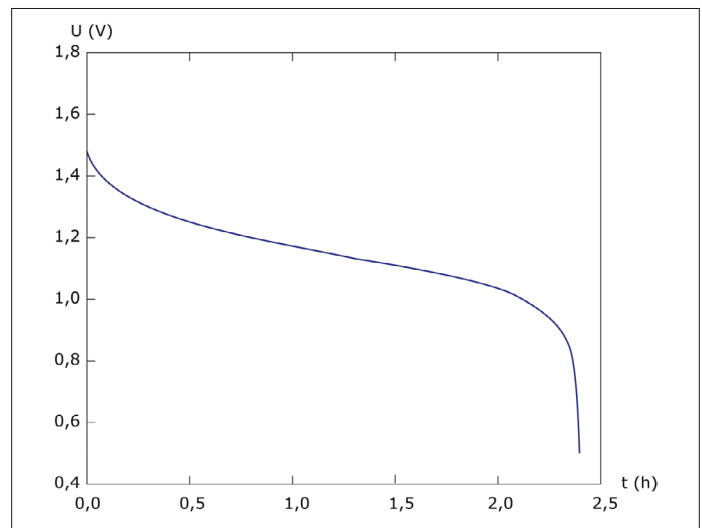
Den vereinfachten Messaufbau zeigt Bild 8.

Beträgt die Stabilisierungsspannung ( $V_0$ ) für die gemessene Batterie zum Beispiel 1,496 V und die Spannung  $V$  bei einer Last von 0,505 A zum Beispiel 1,415 V, so ergibt die Gleichung oben einen Innenwiderstand von 0,16  $\Omega$ .

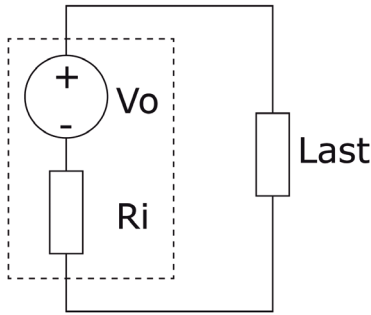
## Gleichstrom-Innenwiderstand und Wechselstrom-Innenimpedanz

Batterien sind komplexe, nicht-lineare elektrochemische Gebilde. Die beiden gebräuchlichsten elektrischen Messgrößen zur Beurteilung des Batteriezustands sind der Gleichstrom-Innenwiderstand und die Wechselstrom-Innenimpedanz. „Früher“ waren die Wechselstromeigenschaften einer Batterie für den Gleichstrombetrieb nicht sonderlich wichtig. Moderne digitale elektronische Geräte können jedoch starke Stromspitzen aus ihrer Stromquelle beziehen (z. B. beim Einschalten eines Mobiltelefons zum Senden). In einem 1-kW-Audiosystem können Ströme von über 100 A fließen, und das Wechselstromverhalten von Batterien, Versteifungskondensatoren und Streuinduktivitäten kann eine Rolle spielen.

DC-Lasten können bei der Untersuchung des dynamischen Verhaltens dieser Systeme hilfreich sein. Das einfache Modell einer Batterie als ideale Spannungsquelle in Reihe mit einem Widerstand in Bild 7 gibt das Verhalten erster Ordnung wieder. Es werden jedoch auch komplexere Modelle verwendet. Mit Hilfe von Gleichstromlasten können Batterien in einer Weise charakteri-



**Bild 6: Entladekurve einer „AA“ Alkali-Batterie**



**Bild 7: Modell einer Batterie mit Innenwiderstand**

siert werden, die ihre Anwendung widerspiegelt, und es kann ein für die Konstruktion geeignetes Modell erstellt werden.

### Leistungsprüfung von Gleichstromlasten

Eine gute Stromversorgung, die unter verschiedenen Testbedingungen genaue Messungen durchführt, ist wichtig. Ebenso wichtig für diverse Testszenarien kann eine Gleichstromlast sein, die robust ist und unter den erforderlichen Spezifikationen und Testaufbauten funktioniert. Also müssen auch die Lasten selbst wiederum geprüft und charakterisiert werden. Zu den am häufigsten verwendeten Tests zur Überprüfung der Eigenschaften einer DC-Last gehören Auslöseverzögerung, Schaltzeit und Anstiegsgeschwindigkeit.

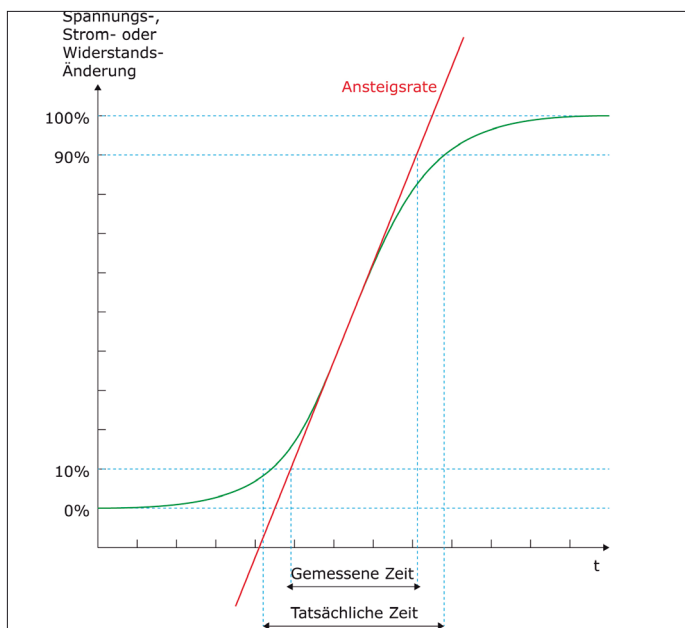
Die Anstiegsgeschwindigkeit einer Gleichstromlast ist eine Leistungsmessung, die angibt, wie schnell eine Gleichstromlast innerhalb verschiedener Stromübergangsbereiche Strom aufnehmen kann. Im Allgemeinen ist die Anstiegsrate für niedrige Stromübergänge (z. B. 0 bis 0,5 A) deutlich niedriger als die Anstiegsrate für Stromübergänge von 30 bis 70 A. Eine geeignete Methode zur Prüfung der Anstiegsrate ist die Beobachtung eines Teils des Zeitablaufs während des maximalen Stromübergangs. Die Grafik in Bild 9 veranschaulicht dies. Zwischen dem 10%- und dem 90%-Bereich kann die Anstiegsgeschwindigkeit durch Beobachtung des steilsten Abschnitts gemessen werden. Die angezeigte gemessene Zeit wird zur Berechnung der Anstiegsrate verwendet. Die Berechnung der Anstiegsgeschwindigkeit ist daher einfach:

$$\text{(Maximaler Nennstrom - 0A)/t}$$

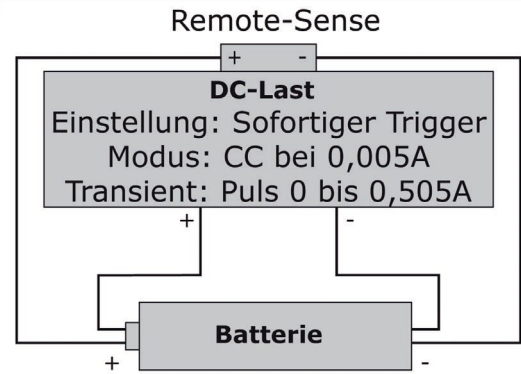
wobei t die gemessene Zeit zwischen dem 10%- und dem 90%-Bereich und der maximale Nennstrom der spezifizierte Maximalstrom der jeweiligen Last ist.

### Praktische Umsetzung

In der Praxis werden für den Test zum Beispiel drei 50-A-Hochstrom-Netzteile parallelgeschaltet. Dies kann genug Strom erzeugen, damit eine 120-A-Last in ihrem maximalen Bereich „zieht“. Eine Handvoll parallelgeschalteter Shunt-Wider-



**Bild 9: Diagramm zur Messung der Anstiegsgeschwindigkeit**



**Bild 8: Testaufbau für Batterie-Innenwiderstand**

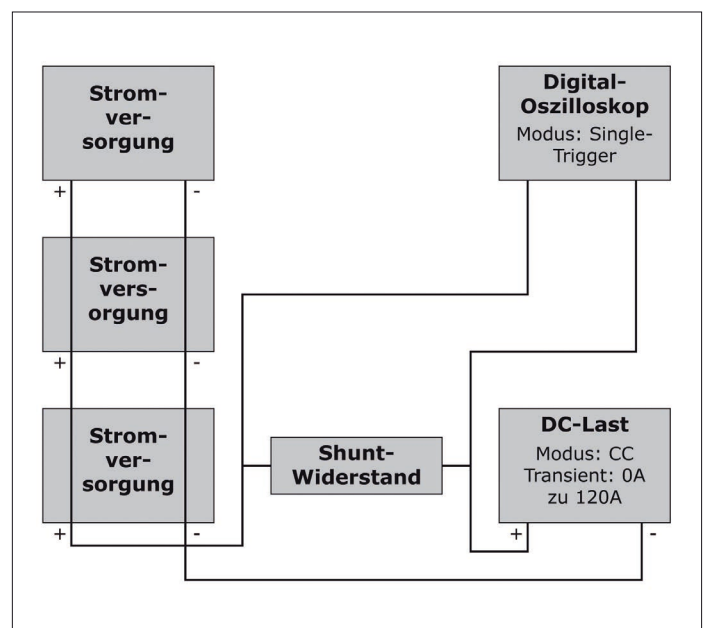
stände oder ein größerer Nebenwiderstand werden eingesetzt wie in Bild 10 dargestellt. Da in diesem Beispiel ein hoher Strom entnommen wird, ist es wichtig zu beachten, dass die Stromversorgungen untereinander und mit der Last mit dicken Drähten verbunden werden sollten.

Die DC-Last wird in diesem Test im transienten Modus betrieben und so eingestellt, dass sie Strom von 0 bis zum maximalen Nennstrom aufnimmt (zum Beispiel von 0 A für 0,5 ms bis 120 A für 1000 ms, Puls-Modus, CC). Nun werden die Stromübergangsänderung und das Timing auf einem Oszilloskop beobachtet. Das Oszilloskop arbeitet im Single-Trigger-Betrieb. Triggerpegel und vertikale/horizontale Skalierung werden so eingestellt, dass eine gut abgetastete Kurve aufgezeichnet ist. Eine grobe Schätzung kann anhand der

Differenz der beiden Cursorlinien (analog wie in Bild 9) vorgenommen werden. Da mit dem Beispiel-Aufbau ein Stromübergang von 0 A auf 120 A getestet wird, kann die Anstiegsrate berechnet werden, indem die Stromänderung durch die Zeitänderung geteilt wird, d. h. durch die Differenz der Cursorlinien.

### Zusammenfassung

Gleichstromlasten können für verschiedene Tests und Anwendungen sehr nützlich sein. Zusammen mit einem Voltmeter oder einem Oszilloskop dienen sie als Test- und Charakterisierungssystem für Stromversorgungen oder Batterien. Die Aufbauten und Vorgehensweisen sind hier nur prinzipiell beschrieben. Moderne Lasten unterstützen den Anwender jedoch häufig mit einer Vielzahl von Funktionen und Messmöglichkeiten. ◀



**Bild 10: Test-Setup für Anstiegsgeschwindigkeit**