

1. Vorwort

Dieses Merkblatt soll helfen, bestimmte Zusammenhänge und Begrifflichkeiten zu erläutern und zu verstehen. Die Erläuterungen beziehen sich dabei allein auf technische Geräte wie Netzgeräte, elektronische Lasten oder Batterielader, die in unserem Produkt-Portfolio zu finden sind. Dabei kann es vorkommen, daß allgemeingültige Vorstellungen und Definitionen von bestimmten Begriffen abweichend erläutert werden. Das wird, sofern möglich, auch begründet.

2. Auflösung und Schrittweite

2.1 Allgemeines

Der Begriff „Auflösung“ betrifft zum Einen die diversen Anzeigen an Geräten, auf denen Werte dargestellt werden, und zum Anderen die Anzahl von unterschiedlichen Werten, mit denen Sollwerte wie Strom, Spannung, Leistung oder Widerstand eines Gerätes gesetzt werden können. Da in der heutigen Zeit auch Stromversorgungsgeräte über Microcontroller gesteuert werden, sind bei den Ausgangs-/Eingangswerten die Auflösung und die daraus resultierende Schrittweite relevant.

2.2 Auflösung von Ausgangs- bzw. Eingangswerten (Istwerte, Sollwerte)

Bestimmt wird die **Auflösung** eines Stellwertes maßgeblich von dem verwendeten, sogenannten Digital-Analog-Wandler (DAC). Die **Auflösung** von Meßwerten oder Istwerten maßgeblich von dem verwendeten, sogenannten Analog-Digital-Wandler (ADC) abhängig. Der DAC erzeugt analoge Sollwerte aus den digitalen Vorgaben, die der Anwender am Gerät manuell einstellt bzw. über digitale Fernsteuerung sendet. Der ADC mißt Istwerte und wandelt sie in digitale Werte um, die der Microcontroller auf der Anzeige darstellt oder dem Anwender auf Anfrage zuschickt. Beide Komponenten haben eine ideale **Auflösung** und eine tatsächliche **Auflösung**. Weil jedes Bauteil einen gewissen Fehler hat, kann die ideale **Auflösung** in den meisten Fällen nicht erreicht werden und wird daher vom Hersteller des Gerätes auch nicht garantiert. Der Hersteller wird daher, wenn überhaupt, eine **Auflösung** angeben, die das Gerät aber immer mindestens erreicht.

Beispiel: ein typischer 12-Bit-DAC stellt die Sollwerte Strom, Spannung und Leistung für ein Netzgerät. 12 Bit bedeutet 4096 verschiedene Werte, das ist die ideale **Auflösung** des DAC. Durch Fehler des DAC und anderer Komponenten reduziert sich die **Auflösung** etwas. Dazu kommt, daß der volle Arbeitsbereich des DAC technisch bedingt nicht ausgenutzt wird. Das ist von Serie zu Serie unterschiedlich. Durch Tests an Geräten aus laufender Produktion kann aber ermittelt werden, welche **Auflösung** man mindestens erreicht. Gibt der Hersteller also an, das Gerät erreicht eine Auflösung von mindestens 10 Bit, dann verteilen sich die 1024 Werte Auflösung auf den jeweiligen, zu betrachtenden Ein-/Ausgangswert.

2.3 Auflösung von Anzeigen

Geräte haben diverse Anzeigen (LED oder LCD), um Sollwerte und Istwerte anzuzeigen. Bei älteren Serien von EA waren alle Werte immer vierstellig dargestellt, bei neueren Serien sind Werte 3- bis 5-stellig. Die Anzahl der Nachkommastellen variiert je nach Nennwert. Zum Beispiel stellt eine EL 9080-200 Last die Istspannung als 80.0 V dar und den Strom als 200.0 A. Diese Darstellung bedingt gleichzeitig die manuell einstellbare **Auflösung**, die bei 80 V und Darstellung 80.0 V trotzdem sinnvoll definiert sein muß. Wenn es 10 mV **Auflösung** wären, ergäben sich 8000 Werte für den Einstellbereich, bei 100 mV wären es 800 Werte. Wenn man zum Stellen des Sollwertes wiederum die ideale **Auflösung** des DACs dieser Serie von 4096 betrachtet, dann sind 8000 Einstellwerte viel zu hoch und 800 Einstellwerte unvorteilhaft wenig. Daher ist die **Einstellschrittweite** ein Kompromiß und in diesem Fall 100 mV. Weiteres dazu in Abschnitt 2.5.3.

2.4 Zusammenhang von Auflösung und Schrittweite

Die tatsächliche **Schrittweite** ist ein Wert, der aus der Auflösung resultiert, die ein Gerät durch den DAC hat. Sie bestimmt, mit welchen Abständen von einem Sollwert zum nächsten z. B. die Ausgangsspannung tatsächlich gesetzt werden kann. Üblicherweise ist die erreichbare **Schrittweite** geringer als die angegebene. Sie ist nicht genau definierbar und könnte auch nur als Durchschnittswert angegeben werden, der durch Messung von x Punkten über den gesamten Sollwertbereich ermittelt werden kann. Die Einstellschrittweite ist durch den Bedienort (manuell, digital, analog) vorgegeben.

Anhand des Beispielmodells PS 8720-15 2U soll einmal die ungefähre **Schrittweite** der Ausgangswerte betrachtet werden. Das Modell bietet 720 V Nennspannung, 15 A Nennstrom und 3000 W Nennleistung. Diese Serie nutzt einen 12-Bit-Wandler mit einer effektiven Auflösung von ~3700 Schritten. Somit ist für die Spannung $720 \text{ V} / 3700 = \sim 0,19 \text{ V}$ pro Schritt erreichbar. Bei Leistung und Strom verhält es sich ähnlich. Für die 15 A des Beispielgerätes ergibt sich eine Strom-**Schrittweite** von $15 \text{ A} / 3700 = \sim 4 \text{ mA}$. Für die Leistung von 3000 W ergibt sich eine mögliche Leistungs-**Schrittweite** von $3000 \text{ W} / 3700 = \sim 0,8 \text{ W}$. Die manuellen **Einstellschrittweiten** bei diesem Gerät sind jedoch 0,1 V, 10 mA und 1 W und sind somit entweder feiner oder gröber als die tatsächlich erreichbare Schrittweite.

Was bedeutet das letztendlich?

Das Gerät wird, egal wieviele Schritte der Anwender durch manuelle Einstellung am Gerät oder Wertevorgabe über digitale oder analoge Fernsteuerung vorgeben kann, nur eine durch den DAC bedingte **Schrittweite** tatsächlich erreichen.

Warum ist das so?

Weil man nicht jeden Stellwert oder Istwert auf die ideale Auflösung des DAC- oder ADC-Wandlers beziehen kann. Weil man sich bei analoger Fernsteuerung auf übliche Einstellbereiche wie 0...10 V festlegt und für digitale Fernsteuerung ein System finden muß, das am besten paßt.

Mal angenommen, Sollwerte würden bei dig. Fernsteuerung immer als 32bit-Werte übertragen und zwar in Millivolt bzw. Milliampere usw. Man könnte also selbst für ein Gerät mit hoher Ausgangsspannung wie 720 V einen Sollwert wie 566,455 V schicken. Das sind 566455 mV bzw. 720000 mV für den Maximalwert und würde, um mit dieser Auflösung und möglichst auch Genauigkeit zu stellen, mindestens einen 24-Bit-DA-Wandler erfordern. Stattdessen wird dieser Wert durch den Microcontroller umgerechnet in einen 12-Bit-Wert, weil letztendlich ein 12-Bit-DAC den Stellwert der Spannung erzeugt. Die Auflösung des Vorgabewertes ist somit wesentlich höher als die des Stellwertes. Wenn die Auflösung der Eingangs-/Ausgangswerte für das Gerät in den technischen Daten nicht angegeben ist, könnte man vermuten, die Auflösung wäre gleich der stellbaren Auflösung. Das ist aber falsch!

2.5 Auflösung der verschiedenen Eingabemöglichkeiten

2.5.1 Sollwerte über digitale Schnittstellen

Alte Serien bis 2012:

Sollwerte, die über die verfügbaren digitalen Schnittstellen geschickt werden, haben eine max. Auflösung von 25600 Werten. Die tatsächlichen Ausgangswerte haben die max. Auflösung und Schrittweite, die der Microcontroller mit dem DAC zusammen erreichen kann. Das sind etwa 3700 Schritte. Bei den Schnittstellen, die mit der Befehlssprache SCPI arbeiten, kann man Sollwerte mit mehreren Nachkommastellen angeben, weil das Befehlsprotokoll es zuläßt. Diese werden intern umgerechnet und runden sich dann auch auf eine Schrittweite, die der im Gerät tatsächlich erreichbaren entspricht.

Neue Serien ab 2014:

Sollwerte, die über die verfügbaren digitalen Schnittstellen geschickt werden, haben eine max. Auflösung von 52428 Werten. Die tatsächlichen Ausgangswerte haben die max. Auflösung und Schrittweite, die der Microcontroller mit dem DAC zusammen erreichen kann. Das sind 26214 Schritte. Hier wird ein 16-Bit-Wandler verwendet, dessen Arbeitsbereich auf 0...125% für Soll- und Istwerte abgebildet wird und da der interne Regler auch der vorzeichenbehaftete Ist- und Sollwerte verarbeiten kann, reduziert sich die Auflösung auf $2^{15} \cdot 0.8 = 26214$ für 0...100%.

Bei den Schnittstellen, die mit der Befehlssprache SCPI arbeiten, kann man Sollwerte mit mehreren Nachkommastellen angeben, weil das Befehlsprotokoll es zuläßt. Diese werden intern umgerechnet und runden sich dann auch auf eine Schrittweite, die der im Gerät tatsächlich erreichbaren entspricht.

2.5.2 Sollwerte über analoge Schnittstelle

Die Sollwerte, die über die analoge Schnittstelle am Gerät vorgegeben werden, sind für den Microcontroller zunächst Meßwerte, die mit einer Auflösung X (in dem Fall meist 14 Bit (ideal)) abgetastet und intern zu Stellwerten umgerechnet werden. Die Auflösung der Eingangsabtastung ist aber irrelevant, da Auflösung und Schrittweite des Sollwertes wiederum in die tatsächlich am Gerät machbare resultieren. Eine höhere Abtastauflösung des Sollwertes hilft allerdings Fehler, die schon bei der Abtastung entstehen, zu reduzieren.

2.5.3 Manuelle Sollwertvorgabe am Gerät

Manuell eingestellte Sollwerte sind an zusätzliche Einstellschrittweiten gebunden, die sich aus dem Darstellungsformat der Anzeige ergeben.

Bei Serien **bis 2012** mit digitaler Anzeige wurden immer 4-stellige Werte und **12-Bit-Wandler** verwendet.

Beispiele: 4.000 A, 80.00 V, 1000 W, 15.00 kW

Die minimale Einstellschrittweite wäre normalerweise die letzte Stelle, bei einem Gerät mit 80 V Nennspannung also 10 mV. Jedoch wären das 8000 Einstellwerte, die man mit einem 12-Bit-DAC nicht erreichen kann. Entweder man hätte nur alle 2-4 Sollwertsschritte eine Veränderung am Eingang/Ausgang oder man erhöht die minimale Einstellschrittweite auf 20 mV bzw. 50 mV. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Einstellschritte auf 4000 bzw. 1600. Die Übertragung auf den DAC ist dann passend. Bei einem anderen Stellwert, z. B. 1500 W, ist es andersherum. Das sind 1500 Einstellwerte mit je 1 W, während der DAC locker das Doppelte schafft. Hier ist die manuell einstellbare Schrittweite größer als bei Sollwertvorgabe durch analoge oder digitale Schnittstelle, wo 0,5 W Schrittweite erreichbar sind.

Bei neueren Serien **ab 2014** werden 3- bis 5-stellige Werte und **16-Bit-Wandler** verwendet.

Beispiele: 20.000 A, 80.00 V, 3.50 kW

Durch die höhere Auflösung (siehe 2.5.1) paßt ein Einstellbereich von 20 A mit einer Darstellung von 20.000 und somit 20000 Schritten gut in die machbare Auflösung am DC-Eingang/-Ausgang. Aber auch hier kommt dazu, daß jeder Sollwert am DC-Ausgang bzw. DC-Eingang eines Gerätes einen Fehler, eine Toleranz hat.

3. Genauigkeit

Die Genauigkeit ist die Umkehrung des Fehlers eines Gerätes. Jeder Sollwert ist fehlerbehaftet und daher wird in den technischen Daten der max. Fehler bzw. die min. Genauigkeit angegeben. Der tatsächliche Fehler muß kleiner sein als angegeben, die Genauigkeit kann besser/größer sein als angegeben.

Der Fehler eines Stellwertes ist stets bezogen auf den jeweiligen Nennwert. Eine Angabe „ $\leq 0,1\%$ “ bei einem 80 V-Gerät bedeutet, der Istwert am Ausgang darf bis 80 mV vom eingestellten Sollwert abweichen, egal welcher Sollwert eingestellt wurde. Das wirkt sich bei sehr geringen Sollwerten natürlich stärker aus als bei hohen.

Für den Anwender stellt sich nun folgendes dar: er stellt einen Sollwert ein und mißt ggf. den Istwert mit einem externen Meßgerät nach. Der Istwert weicht meist etwas vom Sollwert ab, positiv oder negativ. Das ist normal. Wichtig ist dabei, ob die Abweichung innerhalb des zulässigen Wertes liegt.

Beispiel: bei einem 80 V-Gerät mit 0,1% max. Spannungsfehler sind 5 V Sollwert eingestellt. Die Messung mit einem Multimeter (dessen eigener Fehler wird jetzt mal vernachlässigt) bietet bei 5 V häufig drei Nachkommastellen und zeigt z. B. 5,035 V an, also eine Abweichung von 35 mV. Dies ist, bei zulässigen 80 mV, also in Ordnung.

Die Abweichung ist über den gesamten Bereich von 0...100% allerdings nicht konstant. Tatsächlich bildet sich der Fehler als unregelmäßige Kurve ab, siehe Grafik oben.

Wenn es bei einer Anwendung um sehr genaue Istwerteinstellung geht, ist ein externes und sehr genaues Meßgerät notwendig, um diese Werte einzustellen, denn ein Netzgerät oder eine elektronische Last ist kein Meßgerät.

