

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 Produktportfolio 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** auf 11 Bit oder 10 Bit, also 2048 oder 1024 Werte. Das ist von Gerät zu Gerät unterschiedlich und daher nicht festlegbar. 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 des DAC auf den jeweiligen, zu betrachtenden Ausgangswert.

2.3 Auflösung von Anzeigen

Geräte haben diverse Anzeigen (LED oder LCD), um Sollwerte und Istwerte anzuzeigen. Bei neueren Geräten von EA sind alle Werte immer vierstellig dargestellt, die Anzahl der Nachkommastellen variiert je nach Modell. Zum Beispiel stellt eine EL 9080-200 Last die Istspannung als 80.0V dar und den Strom als 200.0A. Diese Darstellung bedingt gleichzeitig die manuell einstellbare **Auflösung**, die bei 80V und Darstellung 80.0V trotzdem sinnvoll definiert sein muß. Wenn es 10mV **Auflösung** wären, ergäben sich 8000 Werte für den Einstellbereich, bei 100mV wären es 800 Werte. Wenn man zum Stellen des Sollwertes wiederum die ideale **Auflösung** des DACs 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 100mV. 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 720V Nennspannung, 15A Nennstrom und 3000W Nennleistung. Bei 11 Bit, also 2048 Werten, wäre für die Spannung $720V / 2048 = \text{etwa } 0,35V$ pro Schritt erreichbar. Bei Leistung und Strom verhält es sich ähnlich. Für die 15A des Beispielgerätes ergibt sich eine Strom-**Schrittweite** von $15A / 2048 = \text{rund } 7mA$. Für die Leistung von 3000W ergibt sich eine Leistungs-**Schrittweite** von $3000W / 1024 = \text{ca. } 1,5W$. Die manuellen **Einstellschrittweiten** bei diesem Gerät sind jedoch 0,1V, 10mA und 1W 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...10V 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 720V einen Sollwert wie 566,455V schicken. Das sind 566455mV bzw. 720000mV 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

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. Bei den Schnittstellen, die mit der Befehlssprache SCPI arbeiten, kann man Sollwerte mit mehreren Nachkommastellen angeben, weil das System 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 Ausgangswertes 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 allen aktuellen Geräten mit digitaler Anzeige werden 4-stellige Werte verwendet.

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

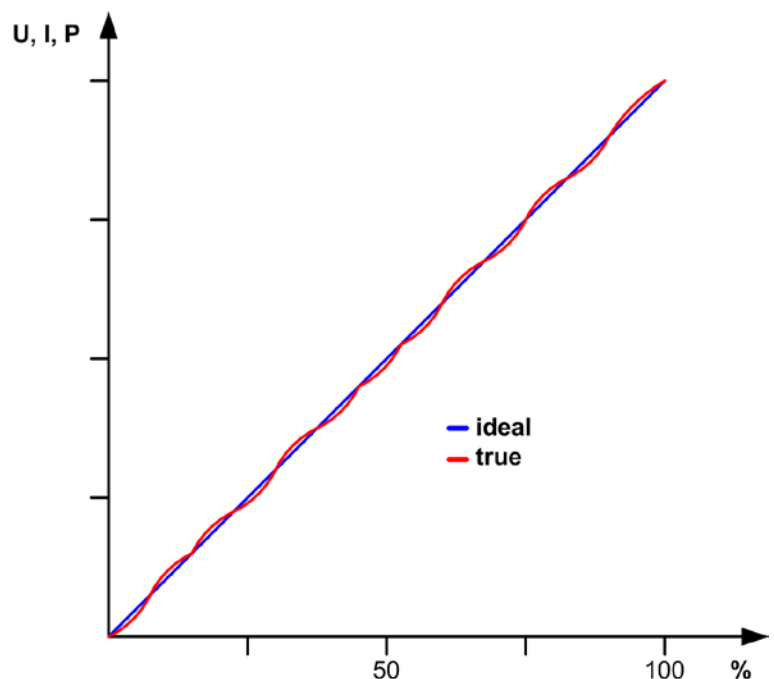
Die minimale Einstellschrittweite wäre normalerweise die letzte Stelle, bei einem Gerät mit 80V Nennspannung also 10mV. Jedoch wären das 8000 Einstellwerte, die man mit einem 12-Bit-DAC nicht erreichen kann. Entweder man hätte nur alle 2-4 Sollwertsschritte eine Veränderung am Eingang/Ausgang oder man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

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 80V-Gerät bedeutet, der Istwert am Ausgang darf bis 80mV 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 80V-Gerät mit 0,1% max. Spannungsfehler sind 5V Sollwert eingestellt. Die Messung mit einem Multimeter (dessen eigener Fehler wird jetzt mal vernachlässigt) bietet bei 5V häufig drei Nachkommastellen und zeigt z. B. 5,035V an, also eine Abweichung von 35mV. Dies ist, bei zulässigen 80mV, 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 Istwerteneinstellung geht, ist ein externes und sehr genaues Meßgerät notwendig, um diese Werte einzustellen, denn ein Netzgerät oder eine elektronische Last ist kein Meßgerät.

1. Preamble

This document is intended to explain and to help understanding certain terms and relations between them.

The explanations are only related to technical devices like power supplies, electronic loads or battery chargers which can be found in the EA product portfolio. It may occur that common thoughts and definitions are dissenting from what is explained below.

2. Resolution and step width

2.1 General

The term „resolution“ is, on one hand, related to the various displays on technical devices which will values and, on the other hand, related to the number of values or steps that are available to adjust set values like voltage, current, power or resistance. It is very common nowadays to control electronic devices by microcontrollers and thus terms like resolution and step width become relevant to the output/input values.

2.2 Resolution of input and output values (actual values, set values)

The **resolution** of a set value primarily depends on a so-called digital-to-analogue converter (DAC) and the **resolution** of measured (actual) values primarily depends on a so-called analogue-to-digital converter (ADC). The DAC creates analogue signals from digital values, which are adjusted by the user manually on the device or sent to the microcontroller (and thus DAC) via digital communication from a PC. The ADC measures actual analogue values and converts them into digital equivalents, which may be brought to display by the microcontroller or sent to the PC upon request via digital control. Both components have an **ideal resolution** and a **true resolution**. Every electronic component has an error, so the **ideal resolution** can not be achieved in most situations and a device manufacturer won't thus guarantee it. The manufacturer will, if at all, specify a **resolution** which the device can always achieve as minimum.

An example: a typical 12 bit DAC will put the set values for current, voltage and power of a power supply. 12 bit means 4096 different values, this is the **ideal resolution** of the DAC. Due to the errors of the DAC and other components, the **true resolution** can be reduced to 11 bit, i.e. 2048 values, or even less. This will vary from device to device and can thus not be determined exactly. Data, measured during end tests of units from running production, can be used to extract the minimum average **resolution**, that is achieved by a certain device series. If the specification says, a device has a **resolution** of minimum 10 bits, then the 1024 steps of the DAC are spread over the range of the particular output values.

2.3 Resolution of displays

The devices feature various displays (LED or LCD) to show set values and actual values. With newer devices of EA, values in the display always have 4 digits and the number of decimal places changes from model to model. For example, the EL 9080-200 electronic load displays the actual voltage as 00.0V and the current as 000.0A. This also defines the manually adjustable **resolution**, which has to be expedient for the 80V input, displayed as 80.0V. If the **resolution** would be 10mV, then the adjustment range would have 8000 steps and with 100mV resolution it would be 800 steps. When considering the **ideal resolution** of a 12 bit DAC being 4096, then 8000 steps would be much too high and 800 steps quite low. The specified step width is thus a compromise, in this case it is 100mV. Further information in section 2.5.3.

2.4 Relation between resolution and step width

The **step width** is a value that results from the true resolution of a device's DAC. It defines the minimum difference between two set values, like the voltage, that can be achieved on the output when adjusting. Usually, the true and measurable **step width** is lower than the specified one. But it is also not exactly determinable and can only be specified as average value, built from x measured samples along the whole range of a value. The adjustable step width depends on the way of adjusting a set value (manual, digital, analogue).

Let's consider the approximate **step width** that can be achieved with a PS 8720-15 2U, as an example. This model offers 720V max. output voltage, 15A max. current and 3000W power. With 11 bits, i.e. 2048 steps, it would be $720V / 2048 =$ approx. 0.35V per step. For power and current it is similar. The max. 15A of the example model results in a current **step width** of $15A / 2048 =$ approx. 7mA. For the power of 3000W it results in a power **step width** of $3000W / 2048 =$ approx. 1.5W. But the step widths for manual adjustment are 0.1V, 10mA and 1W for this model and are thus either finer or coarser than the measurable step width on the output.

What does that mean in the end?

A device will only be able to achieve a DAC depending step width for adjustment, no matter how many steps the user can adjust manually on the device or how many different values can be sent through digital communication.

Why is that?

Because you can not map any set or actual value to the true or ideal resolution of a DAC or ADC. Because analogue remote control is set up for common ranges of 0...10V and for digital remote control there has to be a system that fits best.

Assumed that any set value would be transmitted as 32 bit value in dig. remote control and in millivolt or milliampere format, etc. It would allow to send even a value like 566.455V for a model with high voltage, like the 720V. That would be 566455mV or 720000mV for the maximum and would require to use at least a 24 bit converter in order to set a value like this. Instead, this value is usually downsized by the microcontroller to match the resolution of the 12 bit DAC, that does not allow more than 4096 different values.

The resolution of the set value that the user can send to the device is much higher than the true resolution. If the resolution and/or step width of a value is not given in the technical specifications of an electronic device, the user might assume the possible resolution of set values will be identical to the resolution of the resulting output values. But this is wrong!

2.5 Resolution of the various input types**2.5.1 Digital interfaces**

Set values that are sent via digital communication have a max. resolution of 25600 steps. The true step width on the output of the device is the one that can be achieved by the DAC. Interfaces which use the command language SCPI allow to send values with multiple decimal places, just because the SCPI format makes it possible. These values are internally converted and rounded to achieve a step width that matches the minimum output step width.

2.5.2 Analogue interfaces

Set values, as given by analogue interface, are actual values with resolution X to the device's microcontroller in the first place. For EA devices, ADC's generally use 14 bit (ideal). Because they're measured by the ADC and microcontroller, then converted and set with the DAC, the input resolution of the sampling ADC is irrelevant. But a higher input resolution helps to already minimize errors coming from the sampling procedure and thus minimize the overall error.

2.5.3 Manual adjustment on the device

Manually adjusted values are bound to definite adjustment step widths, which result from the display format. All current devices from EA use 4-digit values for display. Examples: 4.000A, 80.00V, 1000W, 15.00kW

Normally, the minimum adjustment step width would be the last digit. For a device with 80V nominal voltage that'd be 10mV. This makes 8000 steps and is not achievable with a 12 bit DAC. The user would either only see a reaction on the output with every 2-4 steps or the minimum step width is increased to 20mV or 50mV.

Doing so will reduce the number of steps to 4000 resp. 1600 for the 80V example. The number of steps would then match the DACs capabilities.

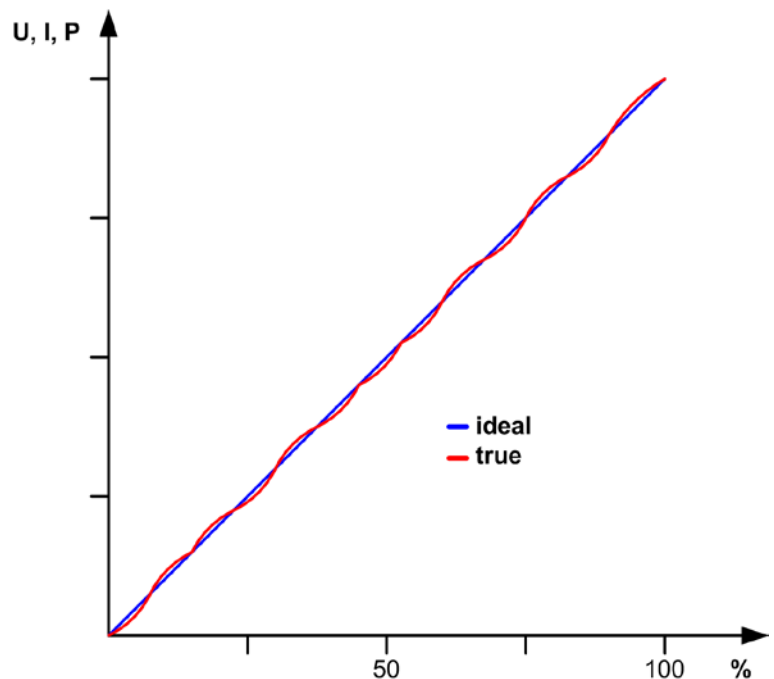
For other set values, like for example 1500W, it can be vice versa. This is defined as 1500 steps of 1W, while the DAC could provide double the steps. Here, the manual adjustment step width is bigger than for digital or analogue adjustment, because there 0.5W steps are possible.

3. Accuracy

Accuracy is the complement of an error. Every output value has an error and this error is given in the technical specifications as maximum error resp. minimum accuracy. The true error has to be smaller than given, the accuracy can be better or higher than stated.

The error of an output value is always related to the nominal value. A specification of „ $\leq 0.1\%$ “ for an 80V model means, the output value may have an error (or deviation) of up to 80mV compared the set value, no matter what set value between 0% and 100% was set. With small set values, this deviation is more significant than with high set values.

For the user it show like this: a set values is adjusted on the device and the output value is measured with a multimeter. The output value (or actual value) differs from the set value, either in negative or positive direction. This is normal. Important is, if the deviation is within the allowed range or not.



An example: an 80V power supply with 0.1% max. voltage error is adjusted to 5V. When measuring the output voltage with a multimeter (which also has an error we will ignore for the moment), it will display values around 5V usually with three decimal places and may show 5.035V. It's a deviation of 35mV from the set value and thus acceptable, because up to 80mV are allowed.

The actual-to-set value deviation is, unfortunately, not constant over the whole output value range of 0...100%. In fact, the output value with its error represents an unlinear curve (see figure above).

If an application requires very exact output value adjustment, the user is asked to use an external and very exact multimeter in order to adjust correctly, because a power supply or electronic load is no measuring device.