

Grundbegriffe der Elektrizitätslehre

Grundlage für die verschiedenen Anschlussprinzipien bei der Modelleisenbahn sind einige Grundbegriffe aus der Elektrotechnik, die wir nachfolgend vorstellen wollen.

Die wichtigsten elektrischen Größen stellen die Begriffe Spannung, Strom und Leistung dar. Im Gegensatz zu vielen anderen physikalischen Größen, die für uns sichtbar und damit leichter verständlich sind, können wir diese elektrischen Grundgrößen nur an ihrer Wirkung erkennen.

Ob zum Beispiel durch einen Draht ein elektrischer Strom fließt ist für uns direkt nicht erkennbar, solange der Draht sich nicht nennenswert erwärmt oder gar zu glühen beginnt. Nur zum Beispiel an dem abgegebenen Licht einer Glühlampe ist für uns ersichtlich, dass durch diese Glühlampe gerade ein elektrischer Strom fließt.

In dieser Situation hilft uns das Modell eines Wasserkreislaufs, wie er in dem untenstehenden Bild dargestellt ist, zum Erklären dieser physikalischen Größen weiter. Aus einem Vorratsbecken als Wasserquelle fließt bei diesem Modell das Wasser über eine Zuleitung auf ein niedriger positioniertes

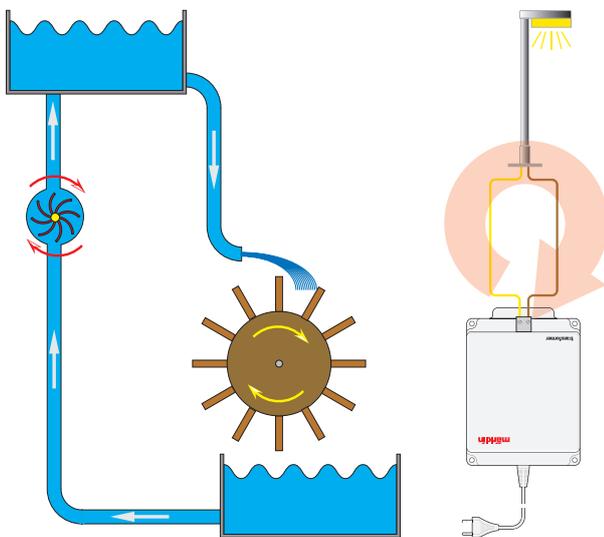
Mühlrad und treibt dieses dabei an. Damit der Wasserverlust in der Wasserquelle wieder ausgeglichen wird, befördert eine Pumpe über eine Rückleitung das unter dem Mühlrad aufgefangene Wasser wieder zurück in dieses Vorratsbecken.

Die Leistungsfähigkeit des Mühlrades als Verbraucher ist von zwei wichtigen Größen abhängig. Auf der einen Seite ist die Höhe zwischen Wasserquelle und Verbraucher hierfür maßgebend. Je höher die Wasserquelle über dem Verbraucher positioniert ist, umso größer ist die Geschwindigkeit und damit auch die Kraft mit der das Wasser auf das Mühlrad trifft.

Die zweite wichtige Größe ist die Durchflussmenge des Wassers durch die Zuleitung. Je größer der Durchmesser der Zuleitung gewählt wird, umso größer ist die durchfließende Wassermenge und die dadurch resultierende Leistung des Mühlrades.

Dieser ständig weiterlaufende Wasserkreislauf ist ein ideales Bild für einen elektrischen Kreislauf. Die Funktion der Pumpe und damit der Elektronenquelle hat in diesem Fall der Transformator inne. Die Elektronen wandern über den Hinleiter zum Verbraucher und von dort über den Rückleiter zurück zum Transformator. Wie bei dem Wasserkreislauf ist es daher immer notwendig, dass sowohl eine Zuleitung als auch eine Rückleitung existiert. Nur wenn ein geschlossener Kreislauf hergestellt wird, kommt es auch zu einem Stromfluss.

Welcher Größe beim Wasserkreislauf entspricht nun die elektrische Spannung? Eine andere Bezeichnung für die elektrische Spannung ist auch „Potentialdifferenz“. In unserem Bild von dem Wasserkreislauf ist sie daher mit der Höhendifferenz zwischen der Wasserquelle und dem Mühlrad vergleichbar.



Grundbegriffe der Elektrizitätslehre

Trivial ausgedrückt ist die Spannung eine Größe „für die Intensität mit der die Elektronen durch den Verbraucher fließen wollen“. Je höher der Betrag der anliegenden Spannung ist, umso größer ist diese Intensität.

Eine Spannung liegt auch dann an, wenn keine Elektronen sich von einem Pol des Trafos zum anderen bewegen. Auch das Wasser behält ja in unserem Beispiel von dem Wasserkreislauf die potentielle Energie um der Schwerkraft folgend nach unten zu fließen, selbst wenn die Zuleitung geschlossen ist und damit kein Wasser fließen kann.

Die Einheit der elektrischen Spannung wird mit „Volt“ (Abkürzung: V) zu Ehren von dem italienischen Physiker Alessandro Volta bezeichnet.

In der Fachliteratur ist es weiterhin üblich, dass für die elektrische Spannung der Großbuchstabe „U“ verwendet wird.

Der elektrische Strom lässt sich an dem Modell des Wasserkreislaufs mit der Durchflussmenge im Hinleiter vergleichen. Je größer der Betrag des Stroms ist, umso mehr Elektronen fließen durch den Verbraucher. Die Einheit für den elektrischen Strom

wird mit Ampere (Abkürzung: A) nach dem französischen Physiker André Marie Ampère benannt.

Im Modellbahnbereich sind in vielen Fällen deutlich kleinere Ströme üblich, die daher in der Einheit Milliampere (1 A = 1000 mA) angegeben werden. Ein Beispiel hierfür ist der Strom durch eine Modellbahn-Glühlampe, der bei einer Spannung von 16 Volt ca. 50 mA beträgt.

Das übliche Kurzzeichen in einer physikalischen Formel für den Strom ist der Buchstabe „I“. Die im Verbraucher umgesetzte Leistung ist von der Spannung und dem Strom abhängig. Diese Leistung berechnet sich, indem der Betrag der an einem Verbraucher anliegenden Spannung mit dem Betrag des dort durchfließenden Stroms multipliziert wird.

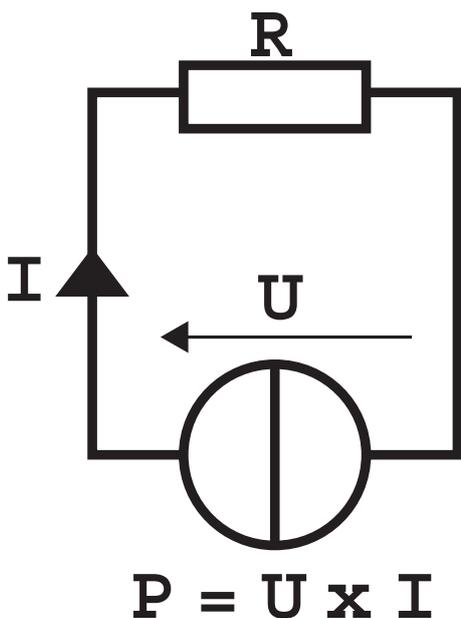
Formelmäßig lautet dies daher:

$$P = U \times I$$

Damit haben wir auch das Formelzeichen „P“ für die elektrische Leistung kennen gelernt. Die Einheit für die Leistung wird bei Gleichspannung mit Watt (Abkürzung: W) zu Ehren des englischen Ingenieurs James Watt und bei Wechselspannung mit Volt-Ampere (Abkürzung: VA) bezeichnet. Wer die Begriffe Gleich- und Wechselspannung noch nicht kennt, wird ein paar Zeilen weiter fündig. Die Unterschiede in der Leistung zwischen Gleich- und Wechselspannung sind bei der Modellbahn in der Praxis zu vernachlässigen. Daher gehen wir in den nachfolgenden Kapiteln davon aus, dass gilt:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ VA}$$

In dem nebenstehenden Bild ist der elektrische Kreis mit Standard-Symbolen dargestellt. Noch unbekannt ist nur der Buchstabe „R“, der in dieser Grafik stellvertretend für den Verbraucher steht. Dies kann bei der Modelleisenbahn eine Glühlampe, ein Motor, ein Weichenantrieb etc. sein.



$$P = U \times I$$

Grundbegriffe der Elektrizitätslehre

Genau genommen steht der Buchstabe R für einen sogenannten „Ohmschen Widerstand“. Bei diesem Stichwort werden dann bei vielen Laien wieder Erinnerungen an den Physikunterricht wach und das Schlagwort „Ohmsches Gesetz“ macht seine Runde.

Die Herleitung des Ohmschen Gesetzes erfolgt im Physikunterricht traditionell nach folgender Methode. In einem wie im Bild auf Seite 2 aufgebauten Stromkreis wird für unterschiedliche am Verbraucher anliegende Spannungswerte der durch den Verbraucher fließende Strom gemessen. Dabei ergibt sich beispielsweise folgende Messreihe:

U:	2 V	5 V	10 V	12V	15 V
I:	0,19A	0,51A	1A	1,21A	1,48A
U/I	10,53	9,80	10,0	9,92	10,14

Teilt man die für die Messreihe eingestellten Spannungswerte durch die ermittelten Werte für den Strom, so stellt man fest, dass dieser Wert anscheinend konstant ist. In unserer Messreihe ist diese Konstante ungefähr 10. In einer Formel ausgedrückt bedeutet dies:

$$U = \text{Konstante} \times I$$

Diese Konstante ist der nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm benannte Ohmsche Widerstand „R“, dessen Einheit mit „Ohm“ (entspricht 1 Volt/Ampere. Abgekürzt: Ω) bezeichnet wird. Diese als „Ohmsches Gesetz“ bekannte Formel lautet daher komplett:

$$U = R \times I$$

In welchen Situationen helfen die beschriebenen Formeln und Begriffe beispielsweise weiter?

In der Praxis gibt es ständig wieder Fragen, die durch Anwendung dieser Formeln leicht beantwortet werden können. Beispielsweise finden Sie in den Herstellerangaben zu einem Zubehörmotor, dass dieser bei 16 Volt eine Stromaufnahme von 0,5 A besitzt. Daraus ergibt sich eine Leistungsaufnahme von

$$P = U \times I = 16 \text{ V} \times 0,5 \text{ A} = 8 \text{ W}$$

Ein Trafo mit einer Ausgangsleistung von maximal 16 VA ist daher in der Lage zwei dieser Zubehörmotoren zu versorgen.

Oder es stellt sich zum Beispiel die Frage, welche elektrische Leistung in einer für 12 Volt- Betrieb konzipierten Glühbirne in Wärme umgesetzt wird, wenn die Versorgungsspannung um 33 Prozent auf 16 Volt erhöht wird. Eine andere Darstellung des Ohmschen Gesetz ist

$$I \times R = U$$

$$I = U/R$$

Wird dieser Ausdruck in die Formel für die Leistung eingesetzt, ergibt sich folgender Ausdruck:

$$P = U \times I$$

$$P = U \times U/R = U^2/R$$

Der Ohmsche Widerstand ist bekanntermaßen eine Konstante. Die Leistung bei 12 Volt bzw. 16 Volt ergibt sich daher zu:

$$P_{12V} = 144 /R \text{ (W)}$$

$$P_{16V} = 256 /R \text{ (W)}$$

Die Leistung steigt also um knapp 80 %, während die Spannung nur um 33 % erhöht wurde. In der Praxis bedeutet diese Mehrleistung eine deutlich erhöhte Wärmeabgabe, was auf der einen Seite die Glühbirne schnell zerstören kann und in deren Umgebung zu Beschädigungen durch zu hohe Temperaturen führen kann.

Bei der Einheit für die elektrische Leistung P wurden bereits kurz die Begriffe Wechsel- und Gleichspannung aufgegriffen. Auf der nächsten Seite sind für diese beiden Spannungsformen ein Diagramm mit den Spannungswerten über die Zeit dargestellt. Bei der Gleichspannung ist dieser Wert idealerweise immer gleich. Bei der Wechselspannung hingegen verändert sich dieser Wert periodisch zwischen einem maximalen positiven und negativen Wert. Dabei zeigt dieses

Grundbegriffe der Elektrizitätslehre

Diagramm im Idealfall einen sinusförmigen Verlauf.

Der Vorteil der Wechselspannung liegt in der leichten Transformierbarkeit. Hierunter versteht der Fachmann die Möglichkeit die Höhe der Spannung den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.

Um beim Transport der elektrischen Energie über weite Strecken möglichst geringe Verluste zu haben ist z.B. eine hohe Spannung von Vorteil. Die Elektrizitätswerke legen an Überlandleitungen zum Beispiel eine Spannung von 110 kV~ (1 kV = 1000 V) an.

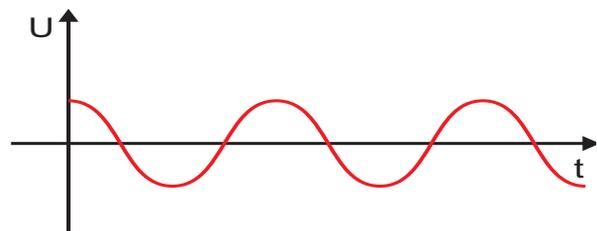
Diese Spannung wird dann über mehrere Stationen heruntertransformiert bis auf die Haushaltsspannung von 230 V~. Aber auch die Höhe dieser Spannung ist aus Sicherheitsgründen für die Modelleisenbahn viel zu hoch. Daher wird diese Haushalts-Spannung mit einem Modellbahn- Transformator auf 16 V~ heruntertransformiert.

Das Zeichen „~“ gibt übrigens die Auskunft, dass es sich bei dem angegebenen Spannungswert um eine Wechselspannung handelt. Das entsprechende Zeichen für die Gleichspannung ist „=“. Gleichspannung ist die Form, die zum Beispiel von einer Batterie geliefert wird. Sie ist aber auch in der Elektronik meistens für die Versorgung der Bauteile üblich.

Auf die spezifischen Unterschiede zwischen Gleich- und Wechselspannung einzugehen würde den Rahmen dieses Buches eindeutig sprengen.

Wichtig sind nur einige Konsequenzen, die der Modelleisenbahner aus diesen beiden unterschiedlichen Spannungsformen ziehen muss:

- Die analogen Fahrtrafos von Märklin für das H0-System liefern an ihren Ausgängen eine Wechselspannung.
- Bei Versorgungsgeräten für das Digitalsystem handelt es sich heute um Schaltnetz-



teile (z.B. 66361, 60061, 60101), die am Ausgang eine Gleichspannung liefern. Sollte für einen Verbraucher eine Wechselspannung benötigt werden, kann dies über einen zwischengeschalteten Converter von Märklin oder LGB aus dieser Gleichspannung generiert werden. Die früheren „Lichttrafos“ 6002 oder 60052 lieferten am Ausgang eine Wechselspannung. Beachten Sie im Zweifelsfall die Angaben auf dem Typenschild.

- Wenn Sie irgendeinen Modellbahnartikel anschließen wollen, so überprüfen Sie immer zuerst, an welche Versorgungsspannung er angeschlossen werden darf. Verwenden Sie immer nur die Versorgungsspannung bzw. das Versorgungsgerät, das vom Hersteller vorgegeben ist. Im Zweifelsfall immer eine zusätzliche separate Versorgungsquelle verwenden. Aus Sicherheitsgründen nie irgendwelche selbstgebastelten oder für andere Geräte konzipierte Transformatoren oder Netzgeräte verwenden.

- Wird ein System mit Wechselspannung versorgt, so fließt in diesem System automatisch auch Wechselstrom. Gleiches gilt für die Gleichspannung und für den Gleichstrom. Ein „Wechselstromtrafo“ liefert also automatisch auch Wechselspannung.

Grundbegriffe der Elektrizitätslehre

Trotzdem sollte man sich angewöhnen, für die jeweilige Bezeichnung auch die richtige Einheit zu verwenden. Ein „Wechselstromtrafo mit 16 Volt“ ist daher ein „missglückter“ Ausdruck, der leider in der Praxis oft zu lesen ist. Der richtige Ausdruck ist ein „Wechselspannungstrafo mit 16 Volt“

- Die Bezeichnungen Wechselspannung/-strom und Gleichspannung/-strom werden in der Modelleisenbahn-Praxis leider häufig auch in einem völlig falschen Zusammenhang eingesetzt.

Wer hat noch nicht die Frage zu einer H0-Modelleisenbahn gehört, ob es sich bei dieser Ausführung um eine Wechselstrom oder Gleichstrom-Bahn handelt. In Wirklichkeit werden mit dieser Frage die Unterschiede in der Stromzuführung angesprochen. Bei der „Wechselstrombahn“ wird auf den Mittelleiter als Hinleiter für die Stromversorgung hingewiesen. Rückleiter sind bei diesem System beide Schienen des Gleises. Bei der „Gleichstrombahn“ hingegen wird die eine Schiene als Hin- und die andere als Rückleiter benutzt.

Richtig müsste es daher „Dreischienen-Zweileiter“- System und „Zweischienen-Zweileiter“- System heißen.

Die Art der Stromzuführung hat nichts mit der Form der Versorgungsspannung zu tun! Man kann auf einem Zweischienensystem genauso mit Wechselspannung fahren (Beispiel: Märklin 1) wie auch umgekehrt ein Betrieb auf einem Dreischienen-Gleis mit Gleichspannung technisch möglich ist.

Auch Begriffe wie „Gleichstrom-Digital“ oder „Wechselstrom-Digital“ sind unsinnige Wortkombinationen, die jedoch leider nicht nur als gesprochenes Wort immer wieder verwendet werden.

- Für die Fehlerermittlung können Spannungs- und Strommessungen sehr hilfreich sein. Dies ist jedoch mit den handelsüblichen Messgeräten nur sinnvoll, wenn man die

anliegende Form der zu messenden Größe genau kennt. Diese Messgeräte sind in vielen Fällen für eine reine Gleichspannung oder für eine sinusförmige Wechselspannung konzipiert. Wird mit diesen Geräten zum Beispiel die Spannung eines Digitalsignals gemessen, so können dabei sehr kuriose Messwerte in der Anzeige erscheinen. Nur mit sehr aufwändigen Messapparaturen wie zum Beispiel einem Oszillographen lässt sich eine Aussage über die Spannungshöhe eines Digitalsignals machen.

- Achten Sie immer auf die Einhaltung der vom Hersteller gemachten Aussage zu Mindest- und Maximal-Spannungen bzw. -Ströme.

- Bei bestimmten Zubehörartikel mit LED vor dem Kürzen der Anschlussleitungen genau überprüfen, ob sich in der Zu- oder Rückleitung nicht irgendwelche Bauteile wie Vorwiderstände oder Gleichrichterioden befinden. Ein Entfernen dieser Bauteile führt dann direkt zum Zerstören der LED nach dem Anschluss.

- Knausern Sie nicht mit ausreichender Beschriftung an den Kabeln oder im Bereich der Zubehörartikel, wenn unterschiedliche Versorgungsspannungen an der Anlage eingesetzt werden. Machen Sie sich auch Skizzen und Pläne über die durchgeführten Anschlüsse. Spätestens bei einem späteren Ausbau oder bei der Fehlersuche sind diese Unterlagen Gold wert.