

## Die Stromnetze der Elektrotechnik

# Spannung, Phase und Frequenz

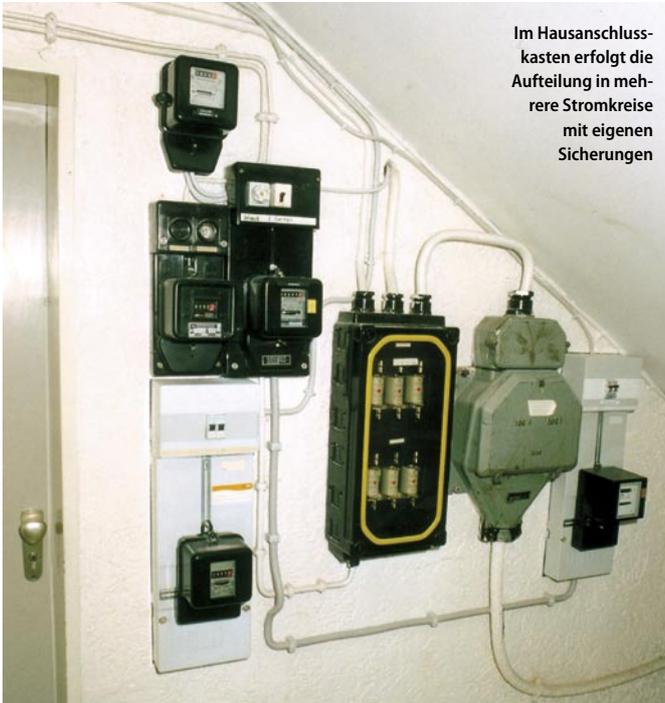
Strom ist etwas Alltägliches – auf alle Fälle dann, wenn es sich um den elektrischen Strom handelt. Man kann diese Energie aus dem täglichen Leben nicht mehr wegdenken: Morgens weckt uns der strombetriebene Radiowecker sanft aus dem Schlaf. Die Kaffeemaschine benötigt zur Produktion des Wachmachers ebenfalls den Saft aus der Leitung. Die Heizung macht nur das, was ihr die Regelung sagt – ohne elektrische Spannung herrscht hier Funkstille – und damit auch Kälte in den eigenen

vier Wänden. Ganz zu schweigen von der Baustelle: Hier würde sich ohne Strom nun gar nichts tun. Schön, dass er da ist – nur: wo kommt er her?

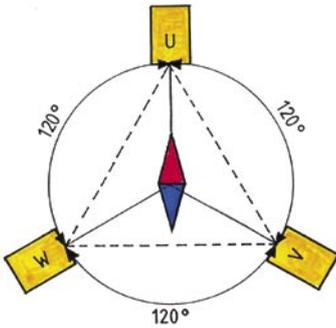
### Der Strom aus der Drehung

Wer sich abends auf sein Fahrrad schwingt, der wird es nicht versäumen, durch anlegen des Dynamos an das Rad für verkehrssicherndes Licht zu sorgen. Hier wird eine Drehbewegung zu elektrischem Strom. Das passiert auch in einem Kraft-

werk. Durch Dampf oder durch Wasserkraft wird eine Turbine in Wallung gebracht, die Leben in einen Drehstromgenerator einhaucht. Ein Drehstromgenerator besteht im einfachsten Fall aus einem ringförmigen Ständer mit drei Wicklungsspulen, die man sich als Ecken eines gleichseitigen Dreiecks vorstellen kann. In der Mitte des Dreiecks dreht sich ein Stabmagnet. Wenn sich der Magnet dreht, erzeugt er in jeder Spule eine Wechselspannung. Auf dem Bildschirm eines Oszillographen hat die Wechselspannung die Form einer Sinuskurve. Die Sinuskurve ergibt sich aus der Drehbewegung, indem jede Spule mal stärker und mal schwächer, „in den Genuss“ des Magnetfeldes kommt. Deshalb wird die Spannung mal höher und mal niedriger. Da sich mal der Nord- und mal der Südpol an jeder Spule vorbei dreht, bewegt sich die Spannung mal nach oben und mal nach unten. Die drei Spulen sind gleichmäßig auf dem Kreis verteilt. Vom Mittelpunkt aus gesehen stehen sie in einem Winkel jeweils  $120^\circ$  zu einander. Der Winkel ist ein Drittel des ganzen Kreises. Wer die Geburtstagstorte in genau drei Teile teilt, kommt zu demselben Ergebnis. Der ganze Kreis hat einen „Innenwinkel“ von  $3 \times 120^\circ = 360^\circ$ . Das Polrad beschreibt bei einer Umdrehung einen Winkel von  $360^\circ$ . Da es sich dabei zwischen den drei Spulen dreht, erzeugt es drei Wechselspannungen. In den drei Spannungskurven (Phasen) des Drehstroms taucht



Im Hausanschlusskasten erfolgt die Aufteilung in mehrere Stromkreise mit eigenen Sicherungen

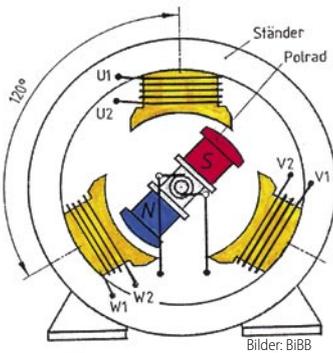


der 120°-Winkel wieder auf. Er ist für den Abstand der einzelnen Kurven voneinander verantwortlich. Den Abstand kann man sich auch als Abwicklung von 120° oder 1/3 Umdrehung vorstellen.

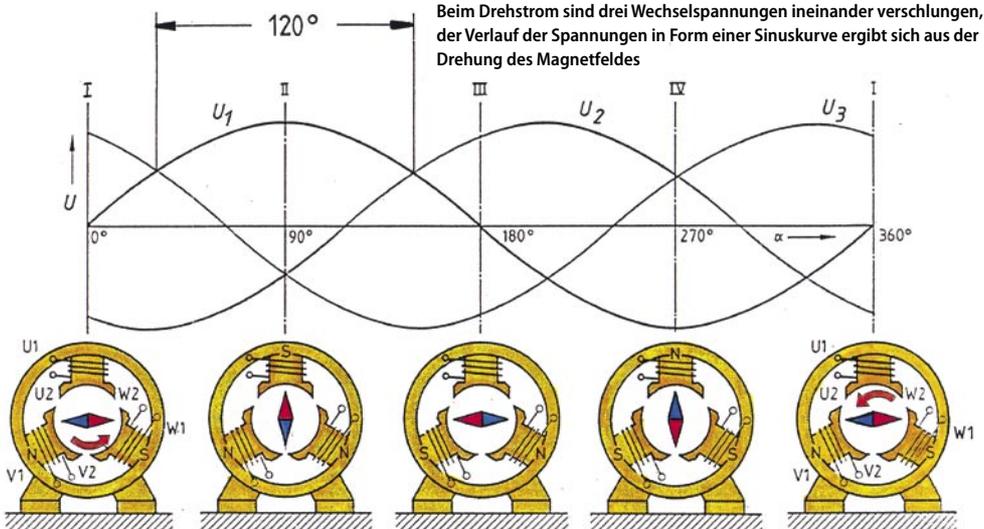
**Periode aus zwei Halbwellen**

Von dem sich drehenden Magnetfeld hat der Drehstrom etwas irreführend seinen Namen bekommen. Auch bei Gleichstrom- und Einphasenwechselstromgeneratoren dreht sich das Magnetfeld. Wegen der drei ineinander verschobenen Spannungsphasen wird er auch Dreiphasenwechselstrom genannt. Ein großer Drehstromgenerator hat meistens mehrere Polpaare und mehr als drei Spulen, die zu den drei Spulen U, V, W zusammengefasst werden. Jede Spannungskurve hat eine obere und eine untere Halbwelle. Eine Periode besteht aus einer oberen und einer unteren Halbwelle. Die Zahl der Perioden wird als Frequenz bezeichnet

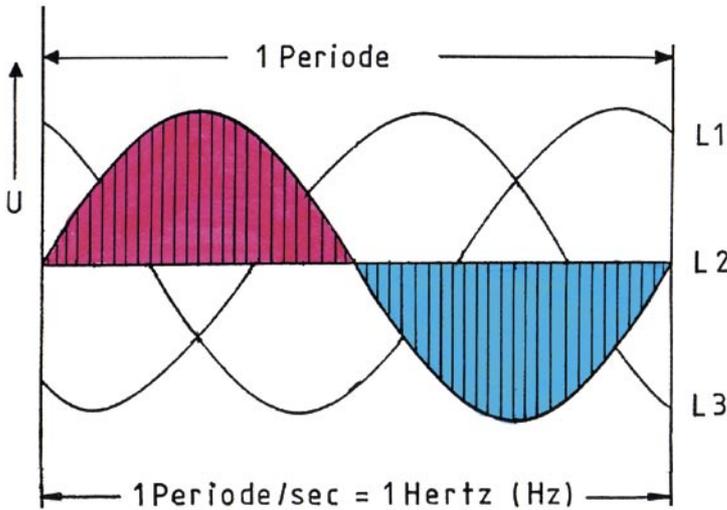
und in Hertz (Hz) gemessen. Ein Hertz bedeutet 1 Periode pro Sekunde. Der in Europa übliche Drehstrom hat eine Frequenz von 50 Hz. Es werden also 50 solcher Perioden in jeder Phase durchs Netz geschickt. Dass das Drehstromsystem weltweite Verbreitung gefunden hat, ist vielleicht einer Laune der Geschichte zu verdanken. Anlässlich der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Frankfurt im Jahre 1891 wurde Strom von der schwäbischen Kleinstadt Lauffen am Neckar ins 175 km entfernte Frankfurt geschickt. Die aus Wasserkraft gewonnene Elektrizität trieb auf der Ausstellung einen künstlichen Wasserfall an. Zum ersten Mal war es möglich, Elektrizität mit geringen Verlusten über große Entfernungen zu transportieren. Und das erregte nicht nur in der Fachwelt enormes Aufsehen. Die Stromübertragung arbeitete zufällig nach dem beschriebenen Drehstromsystem, das von da an zum Aufbau der Versorgungsnetze verwendet wurde.



Das Polrad eines Generators kann man sich als eine rotierende Magnetnadel in einem Dreieck vorstellen



Beim Drehstrom sind drei Wechselspannungen ineinander verschlungen, der Verlauf der Spannungen in Form einer Sinuskurve ergibt sich aus der Drehung des Magnetfeldes



Eine Periode besteht aus einer oberen und einer unteren Halbwellen.  
50 Perioden pro Sekunde ergeben eine Frequenz von 50 Hz

### Vom Dreh- zum Wechselstrom

Jede Spule des Generators hat zwei Enden, die mit U1, U2, V1, V2, W1, W2 bezeichnet werden. Die Spulen werden mit je einem Ende innerhalb des Generators verbunden. Die drei übrigen Enden werden zum Transport der elektrischen Energie nach außen geführt. Sie sind die Außenleiter L1,

L2, L3. Der Mittelpunkt des Generators, die Welle des Polrades, ist spannungsfrei. Dreiphasenwechselspannung besteht zwischen den Außenleitern. Zwischen nur einem Außenleiter und dem Neutralleiter kann nur ein Strom mit einer einzigen Wechselspannungsphase fließen. Dies ist der „normale“ Haushaltswechselstrom mit der bekannten Spannung von 230 V. Drehstrom ist leistungsfähiger als Einphasenwechselstrom, da schon die Spannung mit 400V höher ist. In Industrie und Gewerbe dient er zum Antrieb großer Elektromotoren. Für den Hausgebrauch reicht in den meisten Fällen Einphasenwechselstrom. Aber auch hier lassen sich Umwälzpumpen, Durchlauferhitzer und Vorratswasserheizer erfolgreich mit Drehstrom betreiben. Die Außenleiter werden zur Transformatorstation geschickt, die die Spannung auf bis zu 400 000 V „hochjubelt“, um die Verluste beim Transport in der Überlandleitung klein zu halten. Vom Höchst- und Hochspannungsnetz (110 – 400 kV) wird der Strom für das Mittelspannungsnetz (6 – 30 kV) zur regionalen Verteilung heruntertransformiert. Die Übergabestation („Trafohaus“) spannt ihn noch einmal auf Niederspannung 400 V Drehstrom und 230 V Einphasenwechselstrom herab. Beim Drehstromtrafo hat jede Phase jeweils eine Spule auf der



Der Stromtransport erfolgt in den Überlandleitungen mit Spannungen von bis zu 400 000 Volt. Mit der hohen Stromspannung erreicht man, dass sich die Transportverluste in vertretbaren Grenzen halten



Im Trafoshaus wird die Hochspannung dann wieder zu braven 400/230 V heruntertransformiert

Hoch- und Niederspannungsseite. Die Wicklungen werden auf den „inneren“ Seiten miteinander verbunden. Der Mittelpunkt (Fachausdruck: Sternpunkt) der Niederspannungsspulen wird in die Erde gesteckt und in vielen Fällen als PEN- oder Schutzleiter im Verteilungsnetz mitgeführt.

## Beim Fehler in die Erde

Zwischen jedem der drei Außenleiter und dem Neutralleiter, wie auch dem PEN-Leiter, besteht eine Spannung von 230 V. Dieselbe Spannung herrscht auch zwischen jedem Außenleiter und der Erde, mit der der Schutzleiter ja verbunden ist. Sollte durch einen Fehler in der Isolierung das Metallgehäuse eines Elektrogerätes unter Spannung gesetzt werden, leitet der Schutzleiter sie an die Erde ab. Es fließt ein Kurzschlussstrom, der die Sicherung zum Abschalten der Spannung bringt und so den Menschen davor schützt, „einen gepfeffert zu bekommen“. Der PEN-Leiter wird als grün-gelbes Kabel geführt. Früher wurde er als Nullleiter bezeichnet. Er ist mit Heiz- und Wasserleitungen, Fundamenterdern oder Blitzableitern verbunden. Nach der Aufteilung des PEN-Leiters werden der Neutralleiter N als blaues Kabel und der PE-Leiter als grüngelbes Kabel zu Steckdosen und Verbrauchern geführt. Zwischen ihnen besteht keine Spannung. Ein Voltmeter darf nur Null Volt anzeigen. Zwischen jedem der drei Außenleiter und dem Neutralleiter wie auch dem PE-Leiter, besteht eine Spannung von 230 V. Dieselbe Spannung herrscht auch zwischen jedem Außenleiter und der Erde, mit der der Schutzleiter ja verbunden ist.

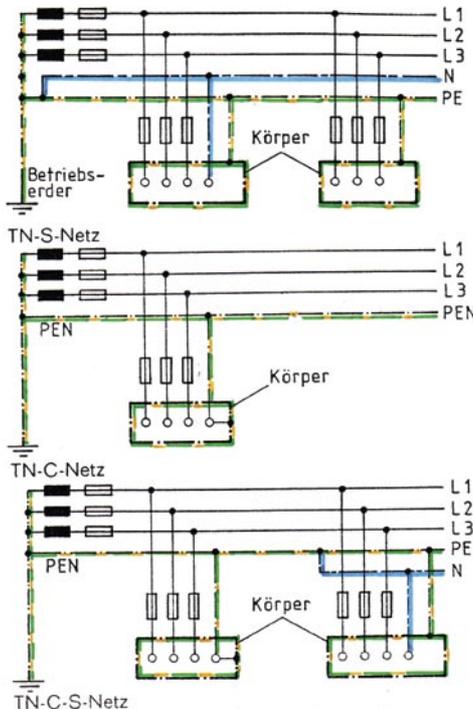
## Bezeichnungen entschlüsseln

Alle Verteilungsnetze für Drehstrom haben die drei Außenleiter gemeinsam. Sie unterscheiden sich aber hinsichtlich der Erdungsverhältnisse der Stromquelle oder des Niederspannungsverteilungsnetzes und durch die Erdungsverhältnisse der Körper in elektrischen Verbraucheranlagen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Schutzleiter anzuordnen. Daraus ergeben sich im Wesentlichen drei verschiedene Netzformen:

- TN-Netz
- TT-Netz
- IT-Netz

Insgesamt sind es fünf Netzformen, denn das TN-Netz gibt es in drei Ausführungen. Während die Abkürzun-

gen in der Elektrotechnik üblicherweise aus dem Englischen stammen, geht es diesmal international bunt gemischt zu. Der erste Buchstabe bezeichnet die Erdungsverhältnisse der Stromquelle oder des Niederspannungsnetzes (z. B. Transformator). „T“ kommt vom französischen „terre“ und heißt Erde, was Betriebserdung bedeutet. „I“ heißt Isolierung der dem Energietransport dienenden Teile gegenüber der Erde. Der zweite Buchstabe beschreibt die Erdungsverhältnisse der elektrischen Verbraucher (Betriebsmittel). „N“ bedeutet direkt geerdet. „N“ kommt von „neutral“ und meint, dass der Körper des Elektrogerätes mit dem Erder der Stromquelle verbunden ist. Für die drei Ausführungen des TN-Netzes gibt es noch einen dritten Buchstaben: „C“ stammt vom englischen



Das TN-Netz gibt es in drei Ausführungen – je nachdem, ob Neutralleiter N und der Schutzleiter PE getrennt oder als PEN-Leiter kombiniert geführt werden

„combined“ und meint, dass Neutral- und Schutzleiter im bereits erwähnten PEN-Leiter kombiniert sind. „S“ kommt vom englischen „separated“ und bedeutet, dass Neutral- und Schutzleiter als zwei separate (getrennte) Leitungen ausgeführt werden. Der PE-Leiter hat seinen Namen vom englischen „protection earth“, was Schutz Erde bedeutet. Tritt er mit dem Neutralleiter kombiniert auf, heißt er PEN-Leiter.

### Neutral zur Erde

Beim TN-S-Netz ist der Neutralleiter des Elektrogerätes mit dem Neutralleiter N verbunden. Der „Körper“, das Gehäuse des Gerätes, wird über den Schutzleiter PE geerdet. Das TN-C-Netz unterscheidet sich vom vorigen durch den kombinierten Neutral- und Schutzleiter PEN. Der Neutralleiter des Gerätes wird mit PEN-Leiter verbunden. Die Erdung des Körpers

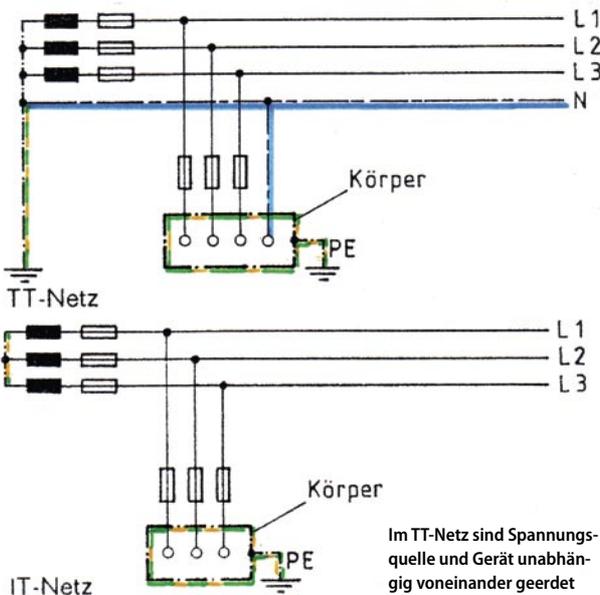
## Dictionary

Drehstromnetz	<i>three phase a.c. systems</i>
Elektrisches Betriebsmittel	<i>electrical equipment</i>
Steckdose	<i>socket-outlet</i>
Stromanlage	<i>power installation</i>

erfolgt über den Neutralleiter des elektrischen Gerätes. Im TN-C-S-Netz sind die Erdungen der elektrischen Verbraucher unterschiedlich angeschlossen. Der eine Körper wird über seinen Neutralleiter mit dem PEN-Leiter verbunden. Sein Nachbar bekommt dagegen getrennt Anschlüsse für Neutral- und PE-Leiter. Das TN-Netz ist mit seinen drei Spielarten die häufigste Netzform. Seltener Netzformen sind das TT-Netz und das IT-Netz. Beim TT-Netz liefert das Elektrizitätswerk zwar den Neutralleiter, aber nicht den Schutzleiter ins Haus.

Für den muss der Kunde selbst sorgen. Im IT-Netz ist nicht einmal mehr die Spannungsquelle geerdet, und der Neutralleiter glänzt ebenfalls durch Abwesenheit. Das Gehäuse des Verbrauchers wird an einen separaten Schutzleiter angeschlossen. Auf einen Neutralleiter wird dabei verzichtet.

Die elektrische Energie wird über die Hauptleitung zum Hausanschlusskasten geschickt. Hier erfolgt die Aufteilung in mehrere Stromkreise, die untereinander parallel geschaltet sind. Jeder Stromkreis hat seine eigene Sicherung. Im Allgemeinen werden alle Steckdosen, Lichtschalter und sonstige Elektrogeräte eines Raumes oder Stockwerkes zu einem Stromkreis zusammengefasst. Und dann hat man den Saft da, wo er benötigt wird, um Haus – und natürlich auch die Baustelle – zum Leben zu erwecken.



Dipl.-Ing. **Ronald Fischer** betreibt ein Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung und ist

als Fachautor tätig.

Telefon und Telefax (071 52) 28844

E-Mail: felix\_angler@web.de