

Bo Hanus

FRANZIS
EXPERIMENTE



6. Auflage

Der leichte Einstieg in die **Elektronik**

Ein leicht verständlicher Grundkurs mit vielen interessanten Bauanleitungen



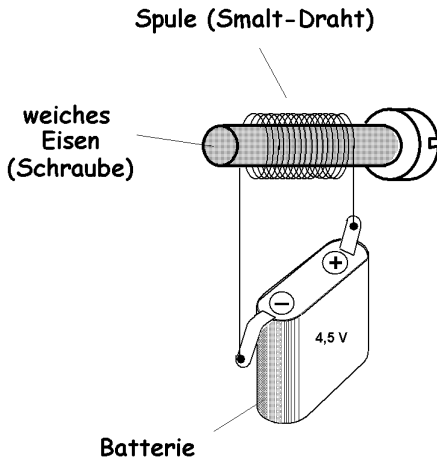
Inhalt

1	Die elektrische Energie	11
1.1	Die elektrische Spannung	12
1.2	Der elektrische Strom	13
1.3	Die elektrische Leistung	16
1.4	Die Kilowattstunden.....	19
1.5	Elektrische Leitungen	20
2	Batterien und Akkus	23
2.1	Batteriespannung.....	27
2.2	Batteriekapazität	28
2.3	Das Laden	30
2.4	Selbstentladung	32
3	Magnetismus	34
3.1	Dauermagnete	34
3.2	Zungenschalter (Reed-Kontakte)	37
3.3	Elektromagnete	38
3.4	Hubmagnete	40
3.5	Elektromagnetisches Türschloss.....	41
3.6	Elektromagnetisch bediente Glocke.....	41
3.7	Elektromagnetischer Türgong.....	42
3.8	Elektromagnetische Türklingel.....	42
3.9	Zungenrelais (Reed-Relais)	43
3.10	Elektromagnetische Relais.....	45
3.11	Lautsprecher.....	49
4	Elektrische Stromgeneratoren	52
4.1	Strom aus dem öffentlichen Netz.....	59
5	Energie erzeugende Mini-Generatoren	60
5.1	Elektromagnetischer Gitarren-Tonabnehmer.....	60
5.2	Elektromagnetisches Mikrofon.....	63
5.3	Elektrodynamisches Mikrofon.....	64

6	Solarstrom	65
6.1	Fotovoltaik & Solarzellen	66
6.2	Temperaturabhängigkeit der Solarzellen	79
6.3	Mechanische Eigenschaften der Solarzellen.....	81
6.4	Kühlung der Solarzellen	82
6.5	Schutzdioden (Bypass-Dioden)	82
6.6	Solar-Wechselrichter	86
7	Gleichspannung kontra Wechselfpannung	88
8	Messgeräte	90
8.1	Voltmeter.....	90
8.2	Amperemeter	92
8.3	Ohmmeter	93
8.4	Multimeter	93
8.5	Richtig messen ist einfach	94
8.6	Oszilloskope.....	100
9	Der Ohmsche Widerstand	102
9.1	Das Ohmsche Gesetz	106
9.2	Kodierung von Widerständen	111
9.3	Potentiometer	112
9.4	Fotowiderstände	114
10	Kondensatoren	116
11	Spulen und Drosseln	127
12	Transformatoren	132
13	Halbleiterdioden	137
13.1	Zenerdioden	143
14	Gleichrichter	146
15	Netzgeräte & Netzteile	152
16	Elektrische Leuchtkörper	160
16.1	Leuchtdioden (LEDs)	161
16.2	Infrarot-Dioden (IR-Dioden)	176
17	Elektrische Heizkörper	177

18	Elektrische Ventilatoren	179
19	Elektrische Kühlkörper	180
20	Elektromotoren	181
21	Schalten in der Elektrotechnik	184
21.1	Einfache Schalter	184
21.2	Schalten mit Relais	186
21.3	Bistabile Relais	189
21.4	Kontroll-Glimmlampen	190
21.5	Elektronische Lastrelais	191
22	Sicherungen	196
23	Drahtloses Schalten	200
24	Transistoren	204
25	Integrierte Schaltungen – ICs	209

3.3 Elektromagnete

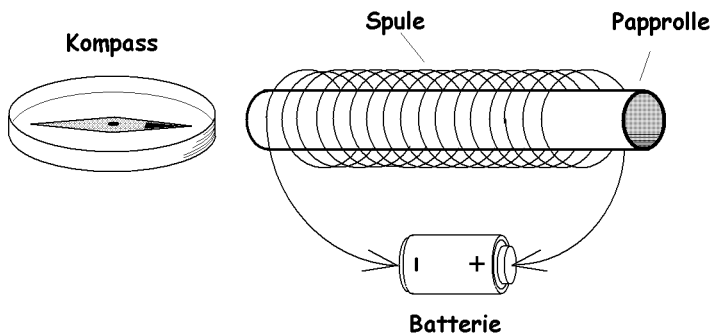


Das Prinzip eines einfachen Selbstbau-Elektromagneten zeigt die nebenstehende Lösung: Man nehme z.B. eine eiserne Schraube, wickelt um sie eine Art Spule aus dünnem Kupferdraht (Smalt-Draht), schließt diese Spule an eine Batterie an und ein Elektromagnet ist fertig. Ein solcher Elektromagnet verhält sich ähnlich wie ein Dauermagnet. Allerdings mit dem Unterschied, dass der Elektromagnet nur so lange eine magnetische Kraft besitzt, wie seine Spule an eine *Versorgungsspannung* angeschlossen ist.

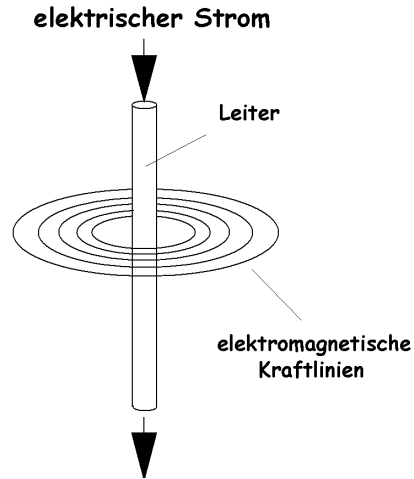
Wird die *Versorgungsspannung* abgeschaltet, verliert der Elektromagnet (jeder Elektromagnet) seine Anziehungskraft.

Würde man an Stelle einer Weicheisen-Schraube auf dieselbe Weise z.B. einen Stahlnagel magnetisieren, würde er nach Abschalten der *Versorgungsspannung* magnetisch bleiben (zu einem Dauermagneten werden). Eine solche Lösung eignet sich zwar für die Erstellung von Dauermagneten, aber nicht für Elektromagnete, von denen erwartet wird, dass sie nur bedarfsgeerecht aktiv werden. Was man sich darunter konkret vorstellen dürfte, zeigen wir nun an einigen praktischen Beispielen.

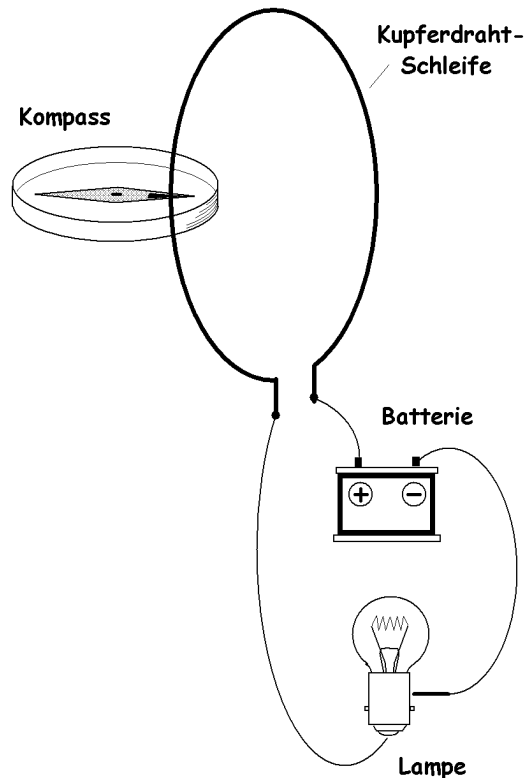
Ob – und wo – ein elektromagnetisches Feld vorhanden ist, kann uns ein Kompass anzeigen. Seine Nadel ändert ihre Position, wenn neben ihr ein Elektromagnet oder auch nur eine Spule ohne einen magnetischen Kern an eine Spannung angeschlossen wird:

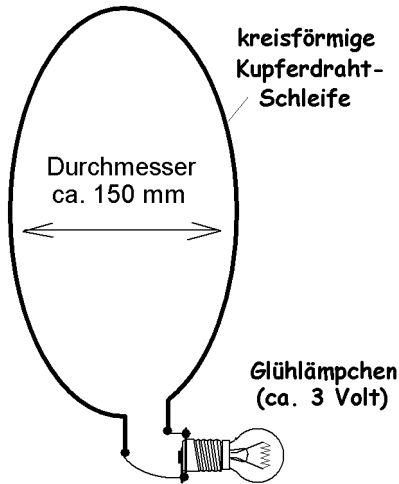


Ein elektromagnetisches Feld entsteht jedoch nicht nur um einen Elektromagneten, sondern um jeden elektrischen Leiter (Draht), durch den elektrischer Strom fließt. Auch dieses elektromagnetische Feld nimmt mit wachsender Entfernung von dem Leiter an Stärke ab.



Wird ein Leiter (z.B. 4-mm²-Kupferdraht) zu einer Schleife geformt und über einen Verbraucher (Lämpchen) an eine Spannungsquelle angeschlossen, reagiert auch hier die Kompassnadel auf das elektromagnetische Feld der Schleife. Das Lämpchen fungiert hier nur als eine „Strombegrenzung“, die die Batterie schützt (andernfalls würde ein direkter Anschluss der Schleife an die Batterie einen Kurzschluss zufolge haben).

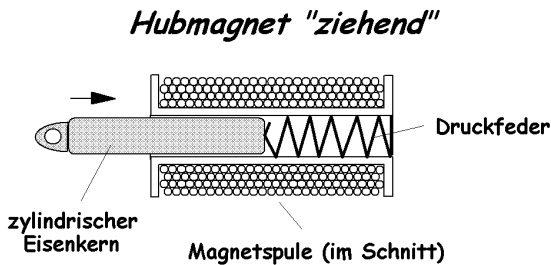




Wer die Möglichkeit hat, kann in die Nähe einer Senderantenne eine solche Schleife halten, an deren beiden Enden ein Taschenlampen-Glühlämpchen (ca. 3 Volt) oder eine Leuchtdiode (ca. 2 Volt) angelötet ist. Ist das elektromagnetische Feld des Senders stark genug, wird das Glühlämpchen bzw. die Leuchtdiode leuchten. Hier erzeugt das elektromagnetische Feld des Senders eine ziemlich hohe Spannung, die durch *Induktion* in der Kupfer-Schleife eine ausreichend hohe Spannung entstehen lässt. Anstelle eines Lämpchens kann an die Enden der Kupfer-Schleife

ein Voltmeter (Multimeter) angeschlossen werden, das die jeweilige *induzierte* Spannung sensibler anzeigt.

3.4 Hubmagnete



Das Interessante an der eigentlichen Funktionsweise eines *Hubmagneten* ist, dass die Magnetspule einen magnetisch leitenden (gleitenden) Kern in sich hineinzieht, wenn sie an eine Spannung angeschlossen wird. Sie strebt dabei an, einen „Magnetkern“ in ihre Mitte hineinzuziehen, in der die Intensität der magnetischen Kraftlinien am höchsten ist. Bei einem Hubmagneten, der – wie hier abgebildet – als „ziehend“ ausgelegt ist (und somit als „Zugmagnet“ funktioniert), drückt die eingezeichnete Druckfeder den Magnetkern aus der Spule wieder heraus, sobald die Spannungszufuhr zu der Magnetspule abgeschaltet wird.

6 Solarstrom

Über den Solarstrom wird in letzter Zeit viel gesprochen, aber nur wenige Menschen können sich darunter etwas Konkretes vorstellen. Die eigentlichen *Solargeneratoren (Solarzellen)* haben sich in letzter Zeit zunehmend sowohl als Energiequellen bei diversen Kleingeräten (darunter z.B. auch bei Taschenrechnern) als auch in der Form von größeren „Hausanlagen“ durchgesetzt (*Foto: Siemens*):



Handelsübliche Solarzellen – als Grundbausteine größerer Solarzellenmodule – teilen sich in zwei technologisch unterschiedliche Grundausführungen: in kristalline und amorphe (Dünnschicht-)Solarzellen.

Für die meisten langlebigen Anwendungen werden bevorzugt kristalline Silizium-Solarzellen verwendet. Amorphe Dünnschichtzellen weisen immer

noch zu viele Nachteile auf: Abgesehen von dem relativ niedrigen Wirkungsgrad zeigen sich vor allem bei Anwendungen im Außenbereich gravierende „Ermüdungserscheinungen“. Sie eignen sich somit eigentlich nur für kurzlebige Produkte oder für einfachere Experimente.

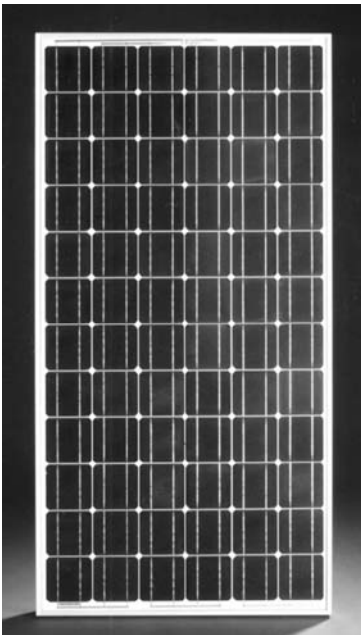
Da es sich bei der Solarstromnutzung um ein noch ziemlich unbekanntes Fachgebiet der Elektrotechnik handelt, widmen wir diesem Thema angemessen mehr Spielraum.



6.1 Fotovoltaik & Solarzellen

Dem Anwender stehen Solarzellen sowohl als kleine gekapselte Solarzellen als auch in der Form von Solarmodulen zur Verfügung.

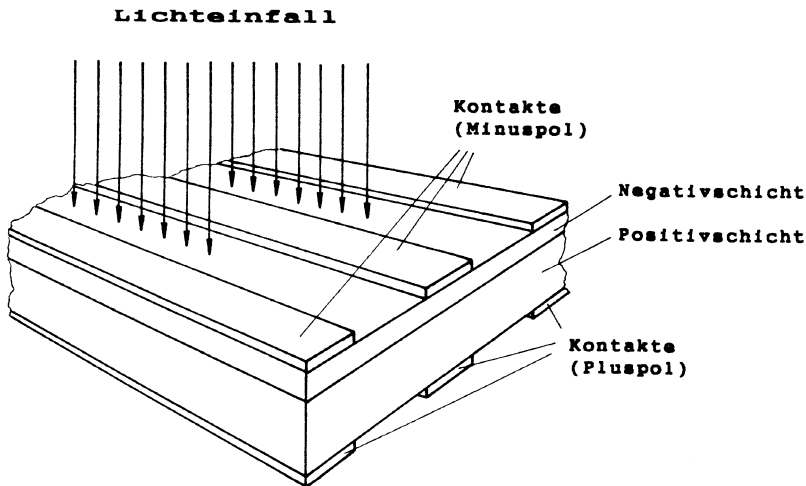
Kleine gekapselte Solarzellen oder Solarzellen-Minimodule eignen sich vor allem für einfachere Experimente. Sie sind für kleinere Spannungen und Leistungen ausgelegt (Foto: Conrad Electronic).



Große Solarmodule werden vor allem für Fotovoltaik-Dachanlagen verwendet. Sie sind in diversen Abmessungen und Leistungsstufen erhältlich (Foto: Siemens).

Der Aufbau einer kristallinen Silizium-Solarzelle ist vom Prinzip her identisch mit dem Aufbau einer Siliziumdiode: Eine dünne *n-Schicht* (Negativschicht) und eine *p-Schicht* (Positivschicht) bilden – wie rechts abgebildet – zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterteile, die bei Belichtung zu Potentialfeldern werden.

Die *n-Schicht* verhält sich dann ähnlich wie der Minuspol und die *p-Schicht* wie der Pluspol einer Batterie. Die Spannung und die Leistung der Zelle hängt von der Lichtintensität ab, der die obere Zellen-



schicht ausgesetzt ist. Bei absoluter Dunkelheit weist die Solarzelle kein Potential auf und kann daher keine elektrische Energie liefern.

Theoretisch spielt es an sich keine Rolle, welche der Zellschichten als die obere „Sonnenseite“ präferiert wird. Auf jeden Fall muss aber die obere Schicht sehr dünn sein (ca. 0,02 mm), denn der funktionell wichtige n/p-Übergang darf nicht zu tief unter der vom Licht bestrahlten Oberfläche liegen.

Die „Sonnenseite“ der Zelle wird üblicherweise mit einer zusätzlichen Antireflex-Schicht versehen (z.B. mit Titandioxyd), um Reflektionsverluste zu vermeiden. Für einen hohen Umwandlungswirkungsgrad der Solarzelle ist ja wichtig, dass möglichst viele Photonen (Sonnenstrahlen), mit denen die *n-Schicht* bombardiert wird, in den Halbleiter auch eindringen.

Es wurde bereits erwähnt, dass für eine langlebigere Nutzung nur kristalline Solarzellen anzuraten sind. Es gibt jedoch auch kurzlebige Produkte, bei denen gegen den Einsatz von den wesentlich preiswerteren amorphen Dünnschicht-Zellen nichts einzuwenden ist. Daher werden wir diese Zellentype nicht völlig außer Acht lassen.

Handelsübliche **kristalline Solarzellen** gibt es in zwei Ausführungsarten: **monokristalline** Zellen und **polykristalline** (multikristalline) **Zellen**.

Bei der Herstellung von *monokristallinen* Zellen werden monokristalline Blöcke „gezogen“ und mit etwa 0.5 mm dünnen Diamantsägen (oder Laserstrahlen) wie die Wurst beim Metzger in dünne Scheiben zersägt. Dasselbe

monokristalline Grundmaterial wird bereits traditionell in der Halbleitertechnik bei der Herstellung von Dioden, Transistoren und integrierten Schaltungen (Chips) verwendet.

Ausgangsmaterial ist hier Quarzsand oder auch natürliche Quarzkristalle. In einem Ofen wird aus dem Grundmaterial durch Reduktion mit Kohle ein metallurgisch reines Silizium gewonnen. Dieses weist allerdings immer noch etwa 2 % Verunreinigungen auf, die noch durch ein weiteres aufwändiges Verarbeiten (Reduktion mit Salzsäure und Destillation) ausgeschieden werden müssen. Erst danach hat man ein hochreines Silizium zur Verfügung, das aber „noch“ *polykristallin* ist.

Dies bedeutet, dass hier sehr viele kleine ungeordnete Kristalle die eigentliche Substanz des Siliziummaterials verunreinigen. Wenn man daraus eine monokristalline Struktur haben möchte, müssen diese polykristallinen „Barren“ in einem Tiegel nochmals eingeschmolzen werden und unter langsamen axialem Drehen wird aus dieser Schmelze ein *monokristalliner* „Balken“ gezogen. So ein Stab oder Balken besteht danach nur aus einem einzigen Kristall (daher die Bezeichnung *monokristallin*) und kann beispielsweise eine Länge von bis zu 2 m haben.

Bei der Herstellung der *polykristallinen* Zellen (die manche Hersteller als „*multikristalline*“ bezeichnen) wird flüssiges Silizium nur in Stahlformen gegossen. Es bildet nach der Erstarrung die typische, bläulich marmorisierte Eisblumenstruktur. So entstehen auch hier Siliziumblöcke, die ebenfalls in dünne Scheiben zersägt werden.

Amorphe Dünnschichtzellen werden auf die Weise hergestellt, dass auf eine Glas- oder Kunststoffplatte eine nur wenige Tausendstel Millimeter dünne Siliziumschicht *aufgedampft* wird.

In den letzten Jahren wurden die eigentlichen Herstellungsverfahren bei den kristallinen Zellen weitgehend modernisiert und zum Teil vereinfacht. Die Vereinfachungen basieren u.a. auf der Tatsache, dass hier die ursprüngliche hochreine Siliziumstruktur bei weitem nicht so einen hohen Stellenwert hat wie beim Silizium für die Halbleiterindustrie.

Man kann sich ja gut vorstellen, dass bei der Siliziumscheibe eines Mikroprozessors auch eine einzige mikroskopisch kleine Verunreinigung eine Bahn- oder Bausteinunterbrechung und somit einen Totalausfall des Produktes zufolge haben kann. Bei einer Solarzelle spielt dagegen in Hinsicht auf die Flächengröße eine geringfügigere Verunreinigung keine derartig maßgebliche Rolle.

Aus diesen Überlegungen ergaben sich bei der Herstellung von *monokristallinen* Solarzellen diverse Vereinfachungen und Zugeständnisse. Bei den *polykristallinen* Solarzellen wurde dagegen die Herstellungstechnologie perfektioniert. Demzufolge sind die Unterschiede zwischen dem Wirkungsgrad der *mono-* und der *polykristallinen* Zellen etwas geringer.

So gibt es momentan hersteller- oder lieferantenbezogen so manche polykristalline Solarzellen, die es vom Wirkungsgrad her mit den monokristallinen Zellen aufnehmen können. Das muss nicht immer nur eine Frage des Herstellungsverfahrens, sondern auch einer kundenbezogenen Vorselektion sein.

Dennoch weisen auch „vorselektierte“ Solarzellen gewisse parametrische Unterschiede auf. Bei etwas Glück halten sich die Parameter in Grenzen von 5 %, manche Hersteller geben sogar 10 % an. Oft hängt die Streuung der technischen Zellenparameter auch davon ab, ob der eine oder andere Hersteller die Möglichkeit hat, seine „minderwertigen“ Zellen abseits des Standardangebotes abzustoßen. So gibt es z.B. in der fernöstlichen Spielzeugindustrie oder unter den fernöstlichen Kleinmodulen-Herstellern Abnehmer, denen es nichts ausmacht, wenn die preiswert erstandenen Zellen etwas schwächere Leistungen aufweisen. Anspruchsvollere Kunden können dann wiederum nur die qualitativ hochwertigeren Zellen erhalten.

Wie bei jeder anderen elektrischen Energiequelle auch, interessieren uns bei den Solarzellen vor allem die Spannungs- und Stromwerte, wie auch die Bedingungen, unter denen wir die elektrische Energie abnehmen können bzw. dürfen.

Alle technischen Angaben basieren bei Solarzellen – wie auch bei Solarzellenmodulen – auf folgenden internationalen Standard-Testbedingungen:

Sonneneinstrahlung $E = 1000 \text{ W/m}^2$ (oder auch 100 mW/cm^2)

Zellentemperatur $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Spektralverteilung $AM = 1,5$

Das sind Bedingungen, die in Deutschland überwiegend nur an sonnigen Sommertagen vorzufinden sind. Allerdings kann es sogar auch im Dezember oder im Januar um die Mittagszeit sonnige Tage geben, an denen die Sonneneinstrahlung nur geringfügig unterhalb der Testbedingungen liegt.

Die Herstellerangaben der Zellenparameter beziehen sich auf diese technischen **Maximumwerte**, die oft auch als „**Nennwerte**“ bezeichnet werden. Manche Hersteller und Anbieter benutzen auch noch die Bezeichnung

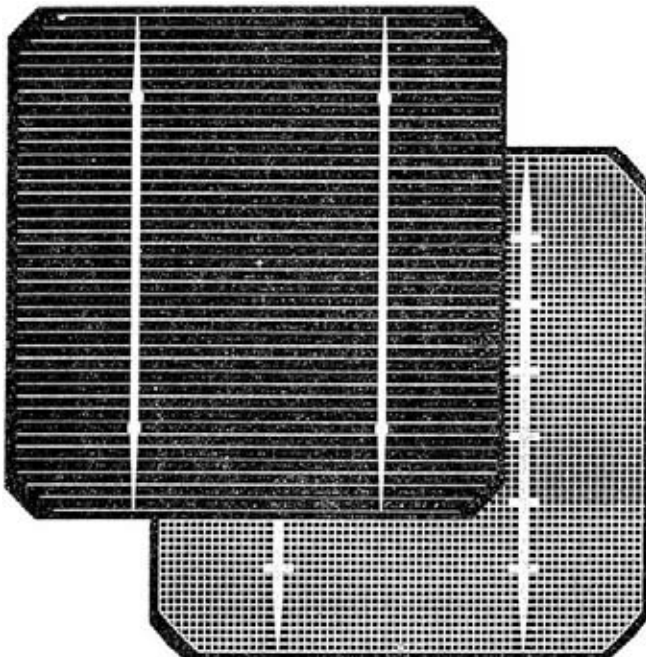
„**Werte bei max. Leistung**“. Alle diese Bezeichnungen haben dieselbe Bedeutung und basieren auf Messungen, die also *nur unter optimalen Bedingungen* erreicht werden.

Die wichtigsten technischen Daten einer Solarzelle sind:

- a) Nennspannung (Spannung bei max. Leistung)
- b) Nennstrom (Strom bei max. Leistung)
- c) Nennleistung (max. Leistung)
- d) Leerlaufspannung
- e) Kurzschlussstrom
- f) Wirkungsgrad

Die Nennspannung liegt bei monokristallinen Zellen bei etwa **0,48 V** und bei polykristallinen bei etwa **0,46 V**. Sie ist im Prinzip unabhängig von der Zellengröße. Wenn Sie beispielsweise eine Zelle wie das Eis auf einer Pfütze zertreten, werden alle ihre Bruchstücke weiterhin annähernd dieselbe Spannung liefern, die ursprünglich die ganze Zelle hatte.

Der Nennstrom einer Solarzelle hängt von ihrer Größe, wie auch von ihrem Wirkungsgrad ab. Viele handelsübliche Solarzellen haben eine Solarfläche von nur etwa 1 dm^2 (100 cm^2), sind nur etwa $0,4 \text{ mm}$ dünn und ihr Nenn-



strom liegt bei etwa **2,9 A** bis **3,29 A** (typen- bzw. markenabhängig). In letzter Zeit mehren sich jedoch Angebote an größeren Solarzellen. Die momentan größten Abmessungen liegen bei ca. 150×150 mm. Solche Zellen können dann einen Nennstrom von über **5 A** liefern. Die nebenstehende Abbildung (auf Seite 70) zeigt links die Vorderseite („Sonnenseite“) und rechts die Rückseite („Schattenseite“) einer „kahlen“ Solarzelle.

Die Nennleistung wird bei allen Solarzellen als reine Multiplikation von *Nennspannung* und *Nennstrom* errechnet: ***Nennspannung [Volt] × Nennstrom [Ampere] = Nennleistung [Watt]***.

Unter dem Begriff ***Leerlaufspannung*** versteht sich die Spannung an einer unbelasteten Zelle.

Bei den meisten kristallinen Zellen ist die Leerlaufspannung typenabhängig etwa 23 % bis 26 % höher als die Nennspannung. In der Praxis wird man mit einer Art „Leerlaufspannung“ konfrontiert, wenn z.B. eine fast leere *unbelastete* Batterie eine gewisse Spannung am Voltmeter anzeigt, die sich jedoch nur als eine „Scheinspannung“ erweist, solange eine Belastung angeschlossen wird.

Eine ähnliche Verhaltensweise trifft bei einer Solarzelle unter Umständen auch zu. Wenn an sie ohne jegliche Belastung ein hochohmiges Voltmeter angeschlossen wird, zeigt es auch bei einer geringeren Beleuchtung eine ziemlich hohe Leerlaufspannung an. In der Hinsicht ist die Leerlaufspannung als Indikator unbrauchbar. Die ***Leerlaufspannung*** weist jedoch auf die obere Spannungsgrenze der unbelasteten Solarzellen – und somit auch Solarmodule – hin.

Der ***Kurzschlussstrom*** ist bei den meisten kristallinen Zellen nur etwa 6 % bis 12 % höher, als der Nennstrom. Ein vorübergehender Kurzschluss an einer Solarzelle – oder an einem Solarzellenmodul – führt demzufolge nicht zu ihrer Vernichtung oder Beschädigung. Vorausgesetzt, wir geben ihr nicht die Zeit sich zu sehr aufzuheizen. Da jedoch eine Solarzelle üblicherweise Temperaturgrenzen zwischen ca. -40 °C und $+125$ °C verkraftet, kann sie sogar zu einer Art Kochplatte werden, ohne dass es dadurch zu einer Beschädigung kommen müsste.

Bei eingebetteten Zellen im Modul wird jedoch bei extremer Wärmeentwicklung die Vergussmasse in Mitleidenschaft gezogen, was zu Blasenbildung, Schleierbildung oder Verfärbung der Masse führen kann.

Der in den technischen Daten angegebene *Kurzschlussstrom* kommt natürlich **nur** bei einer Zelle vor, die laut Testbedingungen voll beleuchtet ist.

Wenn dagegen die Sonneneinstrahlung beispielsweise nur etwa 900 W/m^2 statt 1000 W/m^2 erreicht, liegt der *Kurzschlussstrom* bereits unterhalb des tabellarischen Zellen-Nennstromes und die Zelle wird sich in dem Fall bei einem Kurzschluss möglicherweise sogar weniger aufheizen, als während eines Normalbetriebs bei voller Leistungsabgabe.

Fazit: Durch den relativ niedrigen Kurzschlussstrom kann eine Solarzelle (bzw. ein Solarzellen-Modul) bei einem Kurzschluss nur dann beschädigt oder vernichtet werden, wenn sie bei Vollbelastung längere Zeit einer vollen Sonneneinstrahlung von 1000 W/m^2 ausgesetzt ist.

Der *Solarzellen-Wirkungsgrad* wird auch als *Umwandlungs-Wirkungsgrad* bezeichnet, weil er angibt, wie viel Prozent der einwirkenden Strahlungsenergie (Sonnenstrahlungsenergie) in der Form von elektrischem Strom abgegeben wird.

Die modernsten handelsüblichen Solarzellen weisen herstellerabhängig gegenwärtig (weltweit) folgenden Wirkungsgrad auf:

- a) monokristalline Solarzellen: 13–16 %
- b) polykristalline Solarzellen: 10,6–15 %
- c) amorphe Silizium-Dünnschichtzellen: 3–8 %

Bemerkung: Die hier angegebenen Wirkungsgradbereiche der aufgeführten Zellentypen orientieren sich in unseren Publikationen an den jeweiligen Angeboten auf dem Weltmarkt, wie auch an den neuesten Datenblättern der fernöstlichen und amerikanischen Hersteller bzw. der westeuropäischen Anbieter.

Den Wirkungsgrad einer Solarzelle können Sie problemlos selbst ausrechnen, wenn Sie die in technischen Daten angegebene Nennleistung der Zelle auf ihre Fläche umrechnen und dieses mit den laut Testbedingungen aufgeführten 1000 W/m^2 (= 10 W/dm^2 oder $0,1 \text{ W/cm}^2$) vergleichen.

Beispiel: Eine Solarzelle von $100 \times 100 \text{ mm}$ hat eine Fläche von 1 dm^2 . Bei einem Wirkungsgrad von 14 % muss sie (unter Testbedingungen) $1,4 \text{ W/dm}^2$ liefern können.

Ist bei einer Solarzelle keine Nennleistung angegeben, kann sie durch einfaches Multiplizieren der Nennspannung (nicht der Leerlaufspannung!) mit dem Nennstrom ausgerechnet werden.

Beispiel: Die Nennspannung einer Solarzelle beträgt $0,46 \text{ V}$, der Nennstrom 3 A . Ihre Nennleistung ist $0,46 \text{ V} \times 3 \text{ A} = 1,38 \text{ W}$. Wenn die Abmessungen dieser Zelle genau $100 \times 100 \text{ mm}$ betragen, ergibt es eine Zellenfläche von 1 dm^2 und der Wirkungsgrad wäre hier genau 13,8 %. Sollte beispielsweise

diese Zelle bei derselben Leistung Abmessungen von 105×105 mm haben, ergibt sich daraus eine Zellenfläche von $1,07 \text{ dm}^2$ und der Wirkungsgrad liegt dann nur bei ca. 12,9 %.

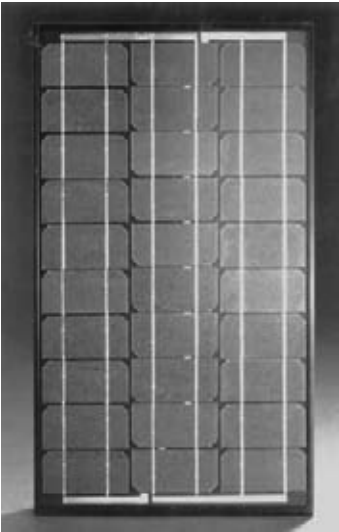
Der Wirkungsgrad der mono- und polykristallinen Solarzellen bleibt während der ersten 20 Betriebsjahre praktisch unverändert. Mit dem Wirkungsgrad der amorphen Dünnschichtzellen geht es dagegen oft bereits nach einigen Jahren etwas bergab (vor allem, wenn sie im Außenbereich angewendet werden).

Bei einem kleinen Taschenrechner, der einen winzigen Stromverbrauch hat, kann so ein Handicap durch die Verdoppelung der Solarzellenfläche aufgefangen werden (was ja der Taschenrechner-Hersteller präventiv macht). Zudem kann der Hersteller davon ausgehen, dass hier der Kunde einerseits nur wenige Betriebsjahre in Kauf nimmt und andererseits ohnehin nicht dahinter kommt, inwieweit gerade die Solarzellen die Schuld daran haben, dass so ein Produkt nach einigen Jahren plötzlich nicht mehr funktioniert.

Inwieweit bei den kristallinen Solarzellen der Wirkungsgrad eine wichtige Rolle spielt, hängt vor allem von dem Einsatzgebiet ab. Im Grunde genommen muss hier dem Wirkungsgrad nicht immer ein zu hoher Stellenwert zugeordnet werden. Man braucht nur darauf hinzuweisen, dass unsere normalen Glühbirnen sozusagen in der Gegenrichtung oft nur einen Wirkungsgrad um die 5 bis 6 % aufweisen (den Rest der verbrauchten Energie wandeln sie in Wärme und nur die 5 bis 6 % in Licht um).

Bei aufwändigeren Anwendungen wäre es natürlich von Vorteil, wenn aus einer Solarzelle pro Quadratdezimeter (100 cm^2) Fläche etwas mehr als die bisherigen **1,3 bis 1,6 Watt** an elektrischer Energie (bestenfalls) zu holen wären – was umgerechnet ca. **130 bis 160 Watt pro m^2 Zellenfläche** ergibt. Bei vielen Einsatzgebieten spielt dagegen die eigentliche Solarzellen-Flächengröße keine allzu große Rolle. Wichtiger ist hier eher das Preis-Leistungs-Verhältnis.

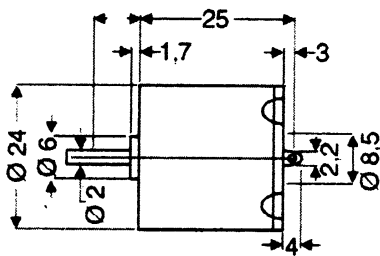
Der Solarzellen-Umwandlungswirkungsgrad ist allerdings keine Konstante, mit der sich bei Nutzung der Sonnenenergie fest rechnen ließe. Es kann ja nur dann umgewandelt werden, wenn die Sonne – oder zumindest genügend Tageslicht da ist. Die Ausgangsspannung und Ausgangsleistung einer Solarzelle – oder eines Solarmoduls – hängt dabei von der momentanen Zellen-Ausleuchtung ab.



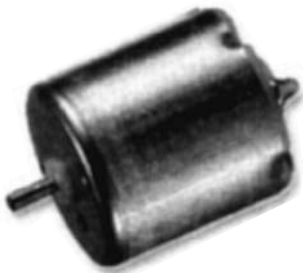
Solarzellen lassen sich mit Diamantsägen oder mit Laserstrahlen in beliebig kleine Stücke schneiden. Das ist für einen kleineren Leistungsbedarf sehr nützlich. Kleinere Solarmodule können – wie abgebildet – z.B. mit halben Zellen bestückt werden. Auf die Zellenspannung hat die Zellenteilung praktisch keinen Einfluss.

Zu den wichtigsten spezifischen Eigenheiten aller Solarzellen gehört ihr *naturabhängiges* Verhalten, das aus dem Rahmen aller anderen herkömmlichen Stromquellen fällt. Durch Einhalten aller Grundregeln können wir zwar der Solarzelle optimale Vorbedingungen verschaffen, aber der allerwichtigste Faktor – die Sonnenscheinintensität – entzieht sich unserem Einfluss.

Bei der praktischen Anwendung von Solarzellen, wie auch beim Experimentieren mit Solarzellen, kann man diese zwar ähnlich nutzen (und verschalten) wie Batterien, aber die von ihnen gelieferte Spannung und Leistung entspricht der jeweiligen Belichtung der Zelle. Die Zelle liefert elektrische Energie nur solange sie ausgeleuchtet ist. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Zelle von der Sonne oder von einer künstlichen Lichtquelle (Glühbirne) beleuchtet ist.



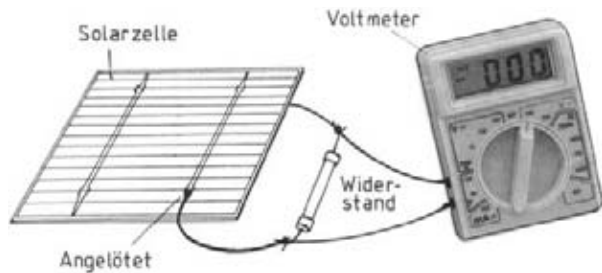
Einige spezielle Solar-Kleinmotoren geben sich mit einer Betriebsspannung zufrieden, die bei ca. 0,5 Volt liegt. So kann z.B. eine kleine Drehbühne oder ein kleines Solarspielzeug den Energiebedarf aus einer einzigen Solarzelle beziehen.



Für die meisten Anwendungen wird jedoch eine höhere Betriebsspannung benötigt, als eine einzige Solarzelle liefern kann. In dem Fall werden einfach mehrere Solarzellen in Reihe geschaltet, wobei sich die Ausgangsspannung ähnlich addiert wie bei Batterien.

Die Nennleistung einer Solarzelle nimmt ziemlich proportional mit der sinkenden Sonnenintensität ab. Bei einer belasteten Zelle hängt auch die Ausgangsspannung von der jeweiligen Bestrahlung der Zelle ab: wenig Licht = niedrige Spannung, niedrige Leistung; viel Licht = hohe Spannung, hohe Leistung.

Wird z.B. die Ausgangsspannung einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Belichtung getestet, ist es erforderlich, dass sie dabei z.B. mit einem Widerstand belastet wird. Anson-



sten zeigt sie ihre Leerlaufspannung an, die sich mit der jeweiligen Belichtung nur wenig ändert und keinen verwertbaren Wert darstellt.

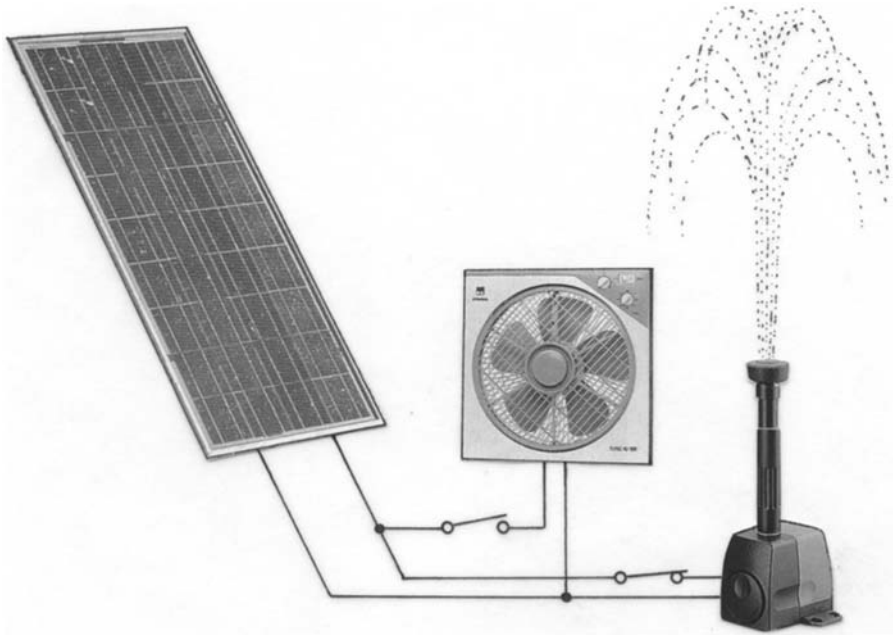
In der Fachliteratur wird immer darauf hingewiesen, dass die Belichtung einer im Freien installierten Solarzelle einerseits aus der direkten Sonnenbestrahlung und andererseits aus dem so genannten *diffusen Licht* besteht. Unter dem Begriff *diffuses Licht* versteht sich die Summe von verschiedensten Lichtreflektionen und von der Sonnenlichtstreuung in der Atmosphäre. Dieser Teil der Sonnenenergie kommt aus allen Richtungen und hängt nur geringfügig von der jeweiligen Position der Sonne ab.

Dem diffusen Licht ist zwar rein *theoretisch* fast die Hälfte der durchschnittlichen Jahresausbeute der Solarzellen zu verdanken, aber *ohne* eine Beimischung von direkter Sonnenbestrahlung ist es in der Regel zu schwach, um eine praktisch brauchbare Solarzellenspannung zu bewirken.

Erklärungsbedürftig ist nun der Begriff „praktisch brauchbare Spannung“, denn hier handelt es sich um einen anwendungsbezogenen Wert.

Wird z.B. mit Solarstrom ein Gleichstrommotor (Ventilator, Pumpe) direkt angetrieben, der in einem Spannungsbereich von 3 bis 8 V arbeitet, kann er unter Umständen seine Aufgabe auch noch dann brauchbar erfüllen, wenn eine von vornherein großzügiger dimensionierte Solarspannung wetterbedingt z.B. von 8 auf 4 Volt (= um ca. 50 %) sinkt.

Der Solarzellen-Nennstrom muss ebenfalls mit entsprechender Großzügigkeit dimensioniert werden und die mechanische Belastung des Motors muss sich einer Leistungsminderung flexibler anpassen können. Der Ventilator

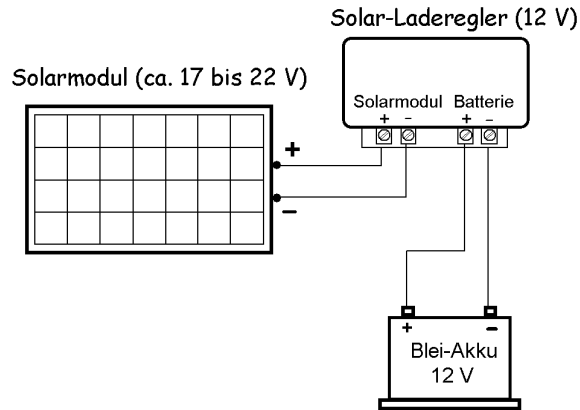


wird dann etwas langsamer drehen, der Pumpenmotor wird bei niedrigerer Solarspannung etwas weniger Wasser pro Minute pumpen, aber die Pumpe könnte dennoch laufen.

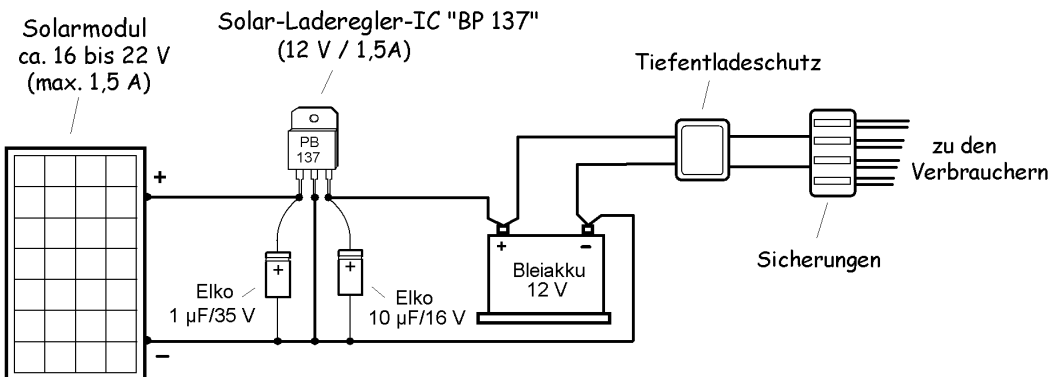
Ein direkter Solarantrieb – wie abgebildet – setzt voraus, dass sowohl die *Nennspannung* und der *Nennstrom* (somit auch die Nennleistung) auf den Bedarf des „Verbrauchers“ möglichst optimal abgestimmt sind. Genau genommen darf der tabellarische *Solarzellen-Nennstrom* beliebig höher sein, als der Verbraucher benötigt, denn dieser bezieht automatisch *nur* den Strom, den er benötigt – und dieser sinkt ebenfalls automatisch mit evtl. sinkender Solar-Versorgungsspannung.

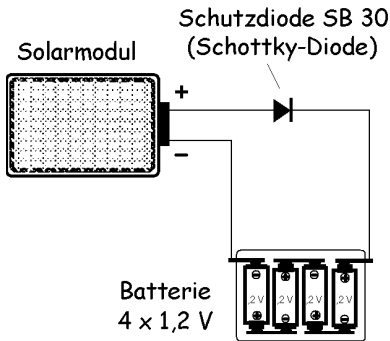
Wird ein Verbraucher über einen Zwischenspeicher (einen wieder aufladbaren Akku) solarelektrisch betrieben, fungieren die Solarzellen nur als Quellen der Ladeenergie (= als ein Ladegerät). Dies ist vor allem dort von großem Vorteil, wo kein Netzanschluss vorhanden ist. Es spielt dabei keine Rolle, ob auf diese Weise nur kleine Akkus von Kleingeräten oder große Akkus von z.B. Schrebergarten- oder Wochenendhäusern geladen werden. Die Kapazität der eingepflanzten Akkus – und natürlich auch die Leistung der Solarmodule – muss allerdings auf den vorgesehenen Bedarf der Energieversorgung abgestimmt werden.

Beim solarelektrischen Laden von größeren Bleiakkumulatoren wird zwischen die Solarzellen und den Akku ein Solar-Laderegler geschaltet, der dafür zuständig ist, dass die Ladespannung die erlaubte Höchstgrenze (die bei 12-Volt-Bleiakkus ca. 13,6 Volt beträgt) nicht überschreitet. Der bereits an anderer Stelle angesprochene Tiefentladeschutz sollte bei Bleiakkus nicht fehlen. Die *Solar-Nennspannung* ist hier großzügiger zu wählen, um z.B. auch bei einem leicht bewölkten Himmel noch eine brauchbare Ladespannung (= eine höhere Spannung, als der geladene Akku gerade hat) beziehen zu können.

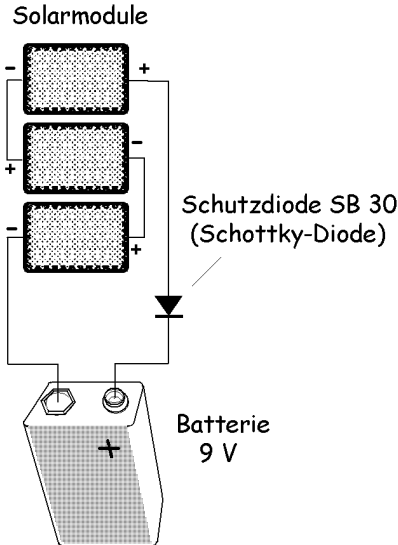


Die Laderegelung kann bei Bleiakkus auch mit einem speziellen Lade-IC „BP 137“ (*Anbieter: Conrad Electronic*) erfolgen. Der Selbstbau eines solchen Ladereglers ist sehr einfach (wir haben hier die zwei Elkos bildlich dargestellt, um auch den weniger erfahrenen Lesern den Nachbau zu erleichtern). Dieses Laderegler-IC verkraftet jedoch nur einen Ladestrom von maximal 1,5 A (das angewendete Solarmodul darf daher bei Anwendung für einen Nennstrom von maximal 1,5 A ausgelegt sein).

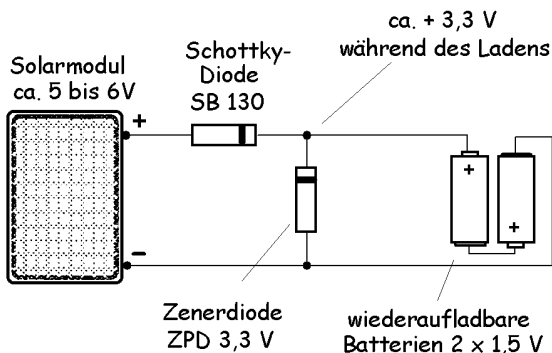




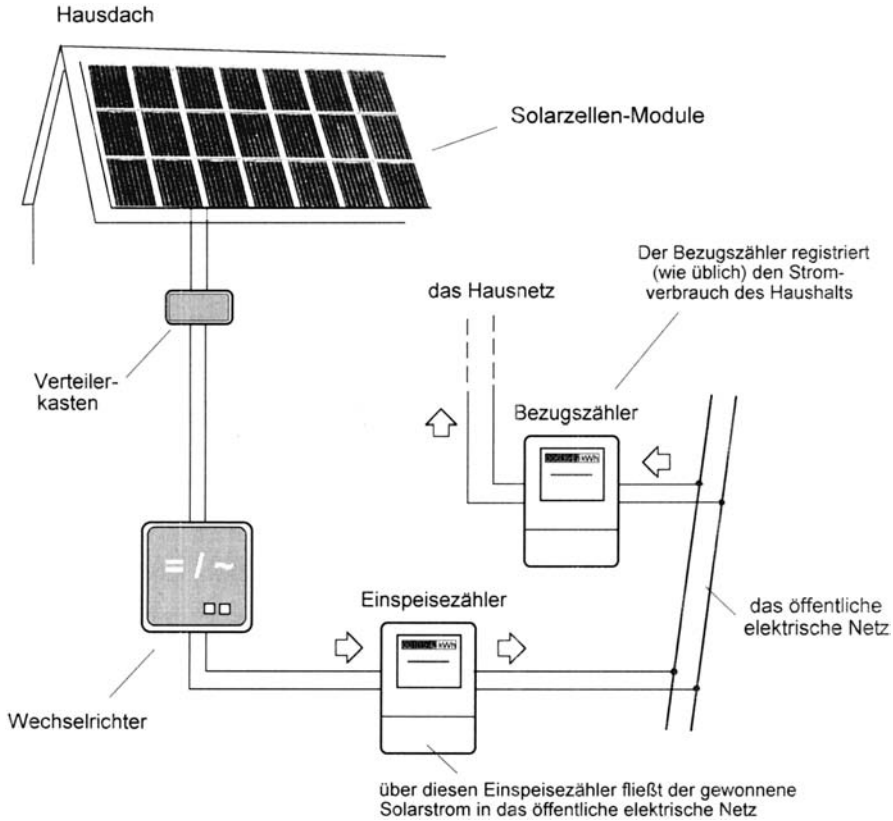
Kleinere NiCd- oder NiMH-Akkus können auch *ohne* einen zusätzlichen Laderegler direkt von einem Solarmodul geladen werden, wenn seine offizielle Nennspannung unterhalb der zulässigen Ladespannung der angewendeten Akkus liegt (bzw. maximal etwa um 20 % höher ist als die Akkuspannung). Der Ladestrom (= der Nennstrom des Solarmoduls) darf bei NiCd-Akkus 10 % der Akkukapazität, bei NiMH-Akkus 20 % der Akkukapazität nicht überschreiten.



Für das Laden von kleineren wieder aufladbaren Akkus können auch z.B. mehrere kleine „gekapselte Solarmodule“ in Reihe geschaltet werden, um eine ausreichend hohe Ladespannung (Akkuspannung \times 1,2) liefern zu können. Ihre einzelnen Spannungen addieren sich bei einer Reihenschaltung ähnlich wie die Spannungen von Batterien. Bei einem 9-V-Akku dürfte die Ausgangs-Nennspannung der drei eingezeichneten Module höchstens 10,2 Volt ($9\text{ V} \times 1,2 = 10,2\text{ V}$) betragen.



Mit der Anpassung der Solarmodulen-Nennspannung auf den exakten Ladebedarf klappt es nicht immer zufrieden stellend. Eine Abhilfe bietet eine Selbstbau-Laderegulierung mit einer Zenerdiode (Näheres über die Funktionsweise der Zenerdioden finden Sie im Kapitel 13).



Bei netzgekoppelten Fotovoltaik-Anlagen wird die gewonnene Solarenergie nicht zwischengespeichert, sondern über einen (hauseigenen) Wechselrichter in das öffentliche Netz eingespeist. Hier muss jedoch der Wechselrichter auf die Leistung und Spannung der ganzen Solarzellen-Fläche optimal abgestimmt werden.

6.2 Temperaturabhängigkeit der Solarzellen

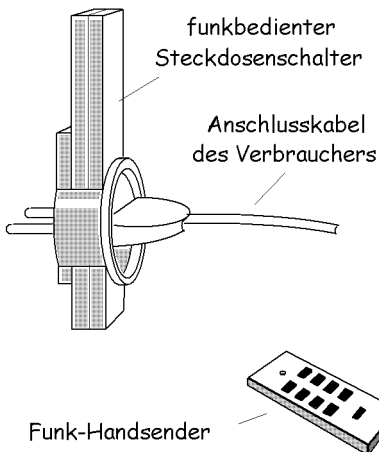
Wie alle anderen Silizium-Halbleiter weisen auch die modernsten Silizium-Solarzellen eine gewisse Temperaturabhängigkeit auf, die sich auf die theoretischen Parameter (*darunter Nennspannung, Nennstrom und Nennleistung*) auswirkt. Die so genannte Testtemperatur von 25 °C bildet hier eine Art Kreuzpunkt, an dem sich sozusagen alle Wege trennen.

23 Drahtloses Schalten

Drahtloses Schalten kennen wir hauptsächlich als Fernbedienung der Geräte, die als „Unterhaltungselektronik“ bezeichnet werden.

Fernbedienungen, die für das Schalten von Geräten vorgesehen sind, die in demselben Raum stehen, verwenden überwiegend kodiertes Infrarotlicht zum Übertragen der Schaltbefehle. Fernbedienungen, die ihre Befehle auch durch Wände senden sollen, sind mit Funksendern ausgelegt. Bei Funk-Fernbedienungen und Fernschaltern wird üblicherweise auch ihre Reichweite angegeben. Allerdings nur als „Richtwert“.

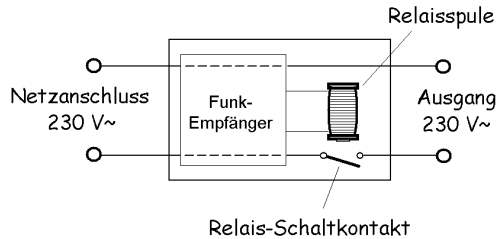
Funk-Steckdosenschalter, Funk-Lichtschalter, Funk-Dimmer, Funk-Türglocken (bzw. Türgongs) und diverse andere Funk-Fernschalter sind in letzter Zeit in großer Auswahl (und oft zu sehr günstigen Preisen) erhältlich. Sie können Aufgaben übernehmen, die sich ansonsten nicht vergleichbar bequem erledigen lassen oder die auf eine andere Weise nur schwer zu bewerkstelligen wären.



Das Funktionsprinzip eines Steckdosenschalters oder Lichtschalters ist einfach: Der Handsender „aktiviert“ mittels einer kodierten Funkfrequenz den Steckdosenschalter- oder Lichtschalter-Empfänger, in dem ein Schaltrelais den elektrischen Strom ein- oder ausschaltet.

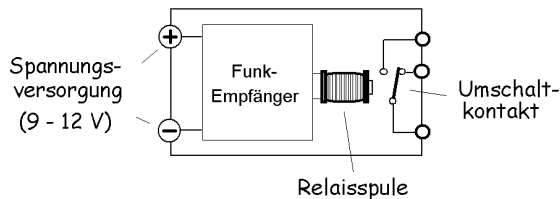
Die meisten dieser Relais verfügen allerdings nur über einen einzigen Schaltkontakt und schalten daher den elektrischen Strom nur einpolig. Ein „ausgeschalteter“ Steckdosen-Funkempfänger unterbricht möglicherweise (je nach der Anordnung der Leiter in der Steckdose) nicht die Phase, sondern nur den Nullleiter. Die Steckdose des Funkempfängers ist somit am Ausgang nicht als „stromfrei“ zu betrachten. Darauf ist zu achten, denn die Phase ist der „Bösewicht“ der Netzspannung. Bei der Installation eines Funk-Lichtschalters hat man es in der Hand, welchen Leiter der Schaltkontakt des Funkempfänger-Relais unterbricht. Das sollte aus Sicherheitsgründen grundsätzlich die Phase sein.

Funkgesteuerter Netzschalter

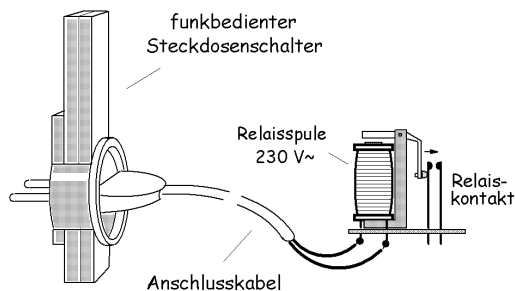


Neben netzbetriebenen Funk-Fernschaltern gibt es auch mit Gleichspannung betriebene Fernschalter. Sie verfügen meist über Umschaltkontakte, die als „potentialfrei“ ausgeführt sind, schalten somit keine Spannung „durch“, sondern stehen einfach zur Verfügung für beliebige Anschlüsse. Manche dieser Fernschalter sind mit mehreren Fernschaltkanälen ausgelegt, von denen jeder sein eigenes Relais und seinen eigenen Umschaltkontakt bedient.

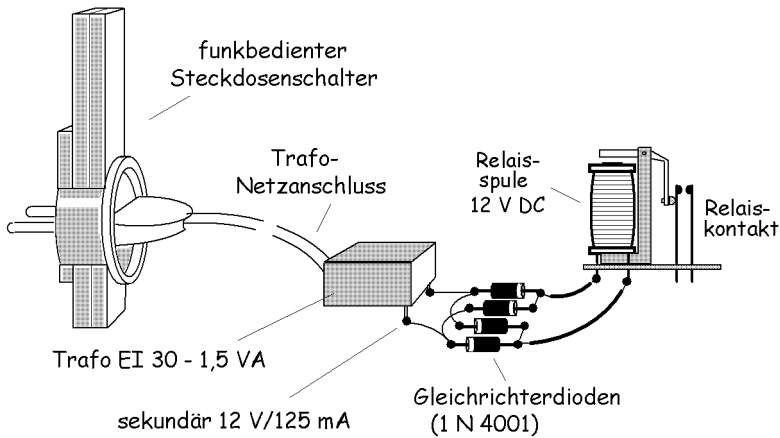
Funkgesteuerter Schalter mit potentialfreiem Umschaltkontakt



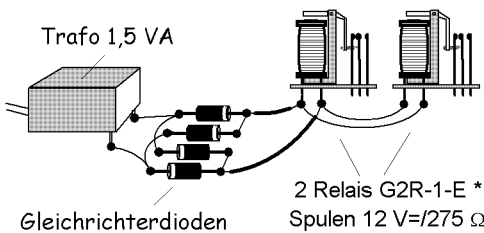
Netz-Funkschalter sind meist wesentlich preiswerter als Gleichspannungs-Funkschalter und können bei Bedarf für netzunabhängiges Schalten einfach dadurch umfunktioniert werden, dass man an sie ein externes Relais anschließt, dessen Magnetspule für 230 V~ ausgelegt ist.



Netz-Funkschalter sind meist wesentlich preiswerter als Gleichspannungs-Funkschalter und können bei Bedarf für netzunabhängiges Schalten einfach dadurch umfunktioniert werden, dass man an sie ein externes Relais anschließt, dessen Magnetspule für 230 V~ ausgelegt ist.



Alternativ kann – wie oben abgebildet – an den Ausgang eines Steckdosen-Funkschalters ein kleiner preiswerter Transformator mit vier Gleichrichterdioden angeschlossen werden, der die Versorgungsspannung (von z.B. 12 Volt) für ein (ebenfalls preiswertes) Kleinrelais liefert. Hier ist nur darauf zu achten, dass die Relaisspule nicht einen höheren Strom bezieht, als der verwendete Transformator liefern kann (was jedoch bei Anwendung eines Kleinrelais und eines preiswerten „EI 30/1,5 VA“-Transformators nicht droht).



* Anbieter Conrad Electronic; Bestell-Nr. 50 39 24

Die meisten Kleinrelais (z.B. die preiswerte „Standard-Typen“ G2R-2) verfügen nur über zwei Umschaltkontakte (2 × UM). Die 12-Volt-Magnetspule dieses Relais hat einen Widerstand von 275Ω und bezieht somit bei einer 12-Volt-Gleichspannung nur einen Strom von ca. 44 mA ($12 \text{ V} : 275 \Omega = 0,0436 \text{ A}$). Der Trafo „EI 30/1,5 VA“ (aus vorhergehendem Beispiel) kann sekundär einen Strom von bis zu 125 mA liefern und könnte somit bei Bedarf zwei Relais der Type G2R-2 parallel schalten. Eine solche Lösung bietet sich an, wenn für ein Vorhaben vier Umschaltkontakte benötigt werden und ein passendes „4 × UM-Relais“ nicht zur Verfügung steht.

Hinweis: Wenn Sie mehr über dieses Thema in Erfahrung bringen möchten, empfehlen wir Ihnen folgende leicht verständliche Bücher von Bo Hanus/Franzis Verlag:

- **Drahtlos schalten, steuern und übertragen in Haus und Garten (234 Seiten)**
- **Schalten, Steuern und Überwachen mit dem Handy (97 Seiten)**
- **Drahtlos überwachen mit Mini-Videokameras (205 Seiten)**
- **Spaß und Spiel mit der Elektronik (120 Seiten)**

Sachverzeichnis

A

Abgabeleistung 18
 Abnahmeleistung 18
 Akku-Werkzeuge 31
 „AlInGaP“- (Aluminium-Indium-Gallium-Phosphat-)Leuchtdioden 174
 Amorphe Dünnschichtzellen 65
 Ampere (A) 13
 Amperemeter 92, 97
 Amperestunden (Ah) 28
 Amplitude 88
 Analog-Multimeter 95
 Autobatterie 12
 Autositz-Heizbezug 178

B

Basis 204
 Batterie-Elektroden 23
 Batteriekapazität 28
 Batterien 11
 Batterie-Schaltzeichen 32
 Batteriespannung 27
 Bezugszähler 79
 bipolare Kondensatoren 120
 bipolare Transistoren 204
 Bistabile Relais 48, 189
 Bleiakkus 24
 Brücken-Gleichrichter 146
 Brückengleichrichter 148
 Bypass-Dioden 84

D

Dämmerungsschalter 161, 212
 Dauermagnete (Permanentmagnete) 34
 Dielektrikum 117
 diffuses Licht 75

Digital-Multimeter 95
 Dioden-Durchlassspannungen 138
 Dioden-Schaltzeichen 137
 Drahtloses Schalten 200
 Drahtwiderstände 103
 DRAIN 205
 Drehstrom-Anschlüsse (Drei-Phasen-Anschlüsse) 59
 Dreiklang-Gong 209
 Dreiphasen- (Drehstrom-)Elektromotoren 181
 Dreiwege-Frequenzweiche 129
 Dünnschichtzellen 68
 Durchlassspannung 137, 164
 Dynamobleche 132

E

E12-Reihe 105
 Einphasen-Kondensator-Motor 110, 181
 Einspeisezähler 79
 einstellbare Spannungsregler 158
 einstellbarer Spannungsregler 174, 175
 Einstellpotentiometer 163
 Einstellpotentiometer, Einstellregler 112
 Einstellregler 106
 Einweg-Gleichrichter 146
 elektrische Energie 11
 Elektrische Heizkörper 177
 Elektrische Kühlkörper 180
 elektrische Leistung 17
 Elektrische Ventilatoren 179
 Elektrodynamisches Mikrofon 64
 Elektrolyt-Kondensatoren 116
 Elektromagnete 38
 Elektromagnetisch bediente Glocke 41

- Elektromagnetische Kraftlinien 39, 52
 Elektromagnetische Relais 45
 Elektromagnetische Türklingel 42
 Elektromagnetischer Türgong 42
 Elektromagnetisches Feld 39, 52
 Elektromagnetisches Mikrofon 63
 Elektromagnetisches Türschloss 41
 Elektromotoren 181
 Elektronische Lastrelais 191
 Emitter 204
 Energiesparlampen 160
 Entmagnetisieren 36
 Entstör-Kondensatoren 123
 Erdung 22
- F**
- Fahrrad-Dynamo 12
 Fahrradrücklicht 175
 Fahrzeug-Lichtmaschine 96
 Fehlerstrom (FI-) Schutzschalter 198
 Feldeffekt-Transistoren 204, 205
 ferromagnetische Stoffe 34
 Festspannungsregler 154
 Fotovoltaik 66
 Fotowiderstände 114
 Funk-Dimmer 200
 Funk-Lichtschalter 200
 Funk-Steckdosenschalter 200
 Funk-Türglocken 200
- G**
- GATE 205
 Geheimschalter 187
 gekapselte Solarzellen 66
 Germaniumdiode 138
 getaktete Netzgeräte 153
 Gitarren-Tonabnehmer 60, 122
 Glättungs-Elkos 156
 Glättungskondensator (Ladekondensator)
 124, 148
 Gleichrichter 88, 146
 Gleichrichterioden 147
 Gleichspannung 11
 Gleichstrom 11
- Gleichstrom-Energiequelle 88
 Gleichstrom-Leistungsrelais 192
 Gleichstrommotoren 183
 Glimmlampen 190
 Gold Cap 125, 126
 Gondeln 57
 Gußmasse 82
- H**
- Halbleiterdioden 137
 Halogenlampen 160
 Hausnetz-Normspannung 12
 Heizfolien 178
 Heizkabel 178
 Heizkissen 177
 Henry 127
 Hubmagnete 40
- I**
- Induktion 40
 Induktivität 127
 „InGaN“- (Indium-Gallium-Nitrogenium-) Leuchtdioden 174
 Infrarot-Dioden 176
 Integrierte Schaltungen – ICs 209
 IR-Scheinwerfer 176
- K**
- Kapazität 117
 Kilovolt 12
 Kilowattstunden 19
 Kleinrelais 202
 Kleinsignal-Dioden 137
 Klingel-Transformator 135
 Knopfzellen 29
 Kodierung von Widerständen 111
 Kohleschicht-Widerstände 103
 Kollektor 204
 Kompassnadel 36
 Kondensatoren 116
 Kondensatoren-Schaltzeichen 119
 kristalline Solarzellen 65, 67
 Kühlung der Solarzellen 82
 Kurzschluss 15

L

Ladegerät 31
Ladekondensator 124
Laderegung 77
Ladespannung 30
Ladestrom 30
Lautsprecher 49
Lautsprecher-Frequenzweichen 121
LDR (light-dependent resistor) 114
LED 162
Leerlaufspannung 71
Leistungsverlust 110
Leitungen 20
Leuchtdioden (LEDs) 161
Leuchtdioden-Punktmatrixmodule 142
leuchtende Anzeigen 141
Leuchtkörper 160
Leuchtstofflampen 160
Lithium-Knopfzellen 24
LOW-current-Leuchtdiode 165
LUXEON-LED 167

M

Magnetfeld 35
magnetische Kraftlinien 35
magnetisches „Strefeld“ 132
magnetisches Kraftfeld 35
Magnetismus 34
Masse 22
Mechanische Eigenschaften der Solarzellen 81
Memory-Effekt 25
Messbereich 97
Messgeräte 90
Messung eines Widerstandes 98
Metallfilm-Widerstände 103
Mikroampere (μA) 15
Mikrofarad (μF) 118
Mikroschalter 184
Milliampere (mA) 13
Mini-Generatoren 60
Mittelpunkt-Schaltung 151
monokristalline Zellen 67

MOS-FETs 206
MOS-Technologie 206
Multimeter 93
Multivibrators 207

N

Nanofarad (nF) 118
Neigungsschalter 185
Netzfilter 128
Netzgeräte & Netzteile 152
Netztransformatoren 133
Nickel-Cadmium-(NiCd-) Akkus 24
Nickel-Metallhydrid-(NiMH-) Akkus 24
N-Kanal 205
Nullleiter 198
Nullspannungsschalter 193

O

Ohmmeter 93, 98
Ohmscher Widerstand 102
Ohmsches Gesetz 106
Oszilloskope 100

P

Paneel-Einbaumessgeräte 91
Peltier-Elemente 180
Phasenverschiebung 19
Phasenwinkel „j“ 19
Photonen 67
Piepser 189
P-Kanal 205
polykristalline (multikristalline) Zellen 67
Potentiometer 106, 112
Prioritätsschaltung 187
PS (Pferdestärke) 16

Q

Quecksilberschalter 185

R

Reflektionsverluste 80
Relais 46, 186

- Relais-Spule 45, 46
Richtig messen 94
Ringkern-Transformatoren 132
Rotor 52
- S**
- Schalter 184
Schaltplan 20
Schaltzeichen 22, 162
Schaltzeichen der Feldeffekt-Transistoren 205
Schaltzeichen der bipolaren Transistoren 205
Schaltzeichen der Zener-Dioden 143
Schleifkontakt 54
Schmelzsicherung 196
Schottky-Diode 78, 85, 138
Schutzdiode 45, 78
Schutzdioden (Bypass-Dioden) 82
Schutzleiter 198
Selbstbau-„Huckepack-Netzteil“ 157
Selbstbau-Laderegelung 78
Selbstentladung 32
Sicherungen 196
Sicherungsautomaten 197
Sinusspannung 54
Solarantrieb 76
solarelektrische Laderegelung 145
Solar-Fahrzeug 83
Solargeneratoren 65
Solar-Kleinmotoren 74
Solar-Laderegler 77
Solarmodule 66
Solarstrom 65
Solar-Wechselrichter 86
Solarzellen 66
Solarzellenleistung 80
Solarzellen-Module 79
Solarzellen-Wirkungsgrad 72
Sound-Modul 189
SOURCE 205
Spannungsglättung 155
Spannungsregler 157
Spannungsverlust 109
Spannungsverlust im Widerstand 164
Spannungsverluste in Dioden 138
Sperrrichtung 143
Spulen und Drosseln 127
stabilisierte Spannung 156
Standard-Querschnitte der Leiter 102
Standard-Testbedingungen 69
Stator 52
Stecker-Netzgerät 172
Stecker-Transformatoren 134
Steuerspannung 195
Störimpulse 129
Strahlungsdichte 80
String-Wechselrichter 85
Stromgeneratoren 52
Stromstoß-Relais 48
Stromverbrauch 19
Stromzangen 92
„superhelle“ Leuchtdioden 166
- T**
- Tantal-Kondensatoren 119
technischen Daten einer Solarzelle 70
Temperaturabhängigkeit der Solarzellen 79
Thermoschalter 177
Tiefentladeschutz 30, 77
Tiefentladeschwelle 25, 30
Timer 210, 211
Timer-IC 210
Transformatoren („Trafos“) 132
Transformatoren-Schaltzeichen 133
Transistoren 204
Trenntransformatoren 133
- U**
- Übertrager 133
„ultrahelle“ Leuchtdioden 166
unipolare Transistoren 205
- V**
- Verlustspannung 108
Versuchsschaltung 206
Volt 12

Voltmeter 90
Vorwiderstand 107, 162

W

Warnsystem 187
Wasserkocher 177
Wattstunden 19
Wechselrichter 79, 85
Wechselspannung 11
Wechselstrom 11
Wechselstrom-Energiequelle 88
Wechselstrom-Leistungsrelais 194
Widerstand 102
Windgeneratoren 57

Z

Zenerdioden 143
Zenerspannung 144
Zündspannung 191
Zungenrelais (Reed-Relais) 43
Zungenschalter 184
Zungenschalter (Reed-Schalter) 37
Zweispulen-Elektromagnete 42
Zweispulen-Relais 189
Zweiwege-Frequenzweiche 129
Zwischenspeicher 76

Bo Hanus

Der leichte Einstieg in die Elektronik

Ein leicht verständlicher Grundkurs mit vielen interessanten Bauanleitungen

Dieses ultimative Einsteigerbuch ermöglicht es Ihnen, sich ohne Vorkenntnisse schnell und leicht in der modernen Elektronik zurecht finden.

Es hat den Anschein, dass sich die Elektronik im Computerzeitalter zu einer geheimnisvollen Branche entwickelt, die viele Outsider abschreckt, sich eingehend damit zu befassen. Viele Interessenten haben schon aufgrund der verwirrenden Fachwörter Angst vor der nur scheinbar komplizierten Materie. Dabei ist die Elektronik gar nicht so schwierig zu verstehen. Im Gegenteil!

Viele interessante Schaltungen weisen Ihnen den Weg zum Verständnis und führen geradewegs zum befreienden Aha-Erlebnis. Der Autor hat bewusst auf theoretische Abhandlungen verzichtet, um den Leser direkt zum Erfolg zu führen. Maßgeschneiderte Bauanleitungen bieten dabei nicht nur entsprechende Erfolgserlebnisse, sondern auch praktische Nutzenanwendungen im Alltag.

Aus dem Inhalt:

Das nötige Grundlagenwissen • Wozu eignen sich die nötigen Bausteine der Elektronik? • Wie können einfache, preiswerte und nützliche Schaltungen im Selbstbau erstellt werden? • Was, wie und womit wird in der Elektronik gemessen? • Entwickeln Sie eigene Schaltungen • Wie können Schaltungen über den PC angesteuert werden

ISBN 978-3-7723-5908-8



9 783772 359088

EUR 29,95 [D]