



# Internet-Akademie

Serie

## „Streifzüge durch die Naturwissenschaften“

Autor: Hans Stobinsky

Folge 05

Elektrizitätslehre  
für den Hausgebrauch

## Elektrizitätslehre für den Hausgebrauch

### 1. „Nichts ist praktischer als eine gute Theorie“

Ob wir es wollen oder nicht: Elektrizität ist in unserem Alltagsleben allgegenwärtig: vom Toaster beim Frühstück bis zur elektrischen Zahnbürste vor dem Schlafengehen. So angenehm sie uns das Leben auch macht, manchmal schafft sie auch Probleme: Ob wir ratlos vor dem Regal mit Glühlampen stehen oder uns wundern, warum Toaster und Bügeleisen gleichzeitig an einer Steckdose offenbar die Sicherung ärgern...

Ein paar einfache Grundlagen sollen Ihnen helfen, sich in elektrischen Fragen (fast) professionell auszukennen!

### 2. Am Anfang war die Ladung

Es ist schon ein Kreuz mit der Physikersprache! Eine (Lkw-)Ladung Backsteine hat leider mit der „Ladung“ der Elektrizität nicht viel gemein: Man glaubte früher, ein „elektrisch geladener“ Körper sei mit einer rätselhaften Substanz „gefüllt“ worden. Heute ist „Ladung“ die Bezeichnung für eine besondere Eigenschaft, die ein Körper besitzen kann. Sie ist vergleichbar mit Eigenschaften eines Menschen wie Gutmütigkeit oder Boshaftigkeit. Ob ein Mensch sie besitzt, erkennen wir an seinem Verhalten gegenüber anderen Menschen; bei geladenen Körpern ist das ebenso (nur viel einfacher!):

- „Ladung“ gibt es in zwei Varianten: positiv oder negativ.
- Auch Verhaltensweisen gibt es nur zwei: Abstoßung, wenn beide Körper gleichsinnig und Anziehung, wenn sie entgegengesetzt geladen sind.

Ebenso, wie Sie nicht ein Kilo Gutmütigkeit in der Tüte kaufen können, losgelöst von einem Besitzer, gibt es „Ladung“ nicht ohne Besitzer (bedenken Sie immer, dass es sich um eine Eigenschaft handelt, nicht um eine Substanz!). Die Ladungsbesitzer heißen „Ladungsträger“ (eine gutmütige Person ist also ein „Gutmütigkeitsträger“). Auch hier gibt es wieder nur zwei Sorten:

- Elektronen, sie sind negativ geladen und
- Protonen, die positiv geladen sind;  
dabei ist ein Elektron genauso hoch negativ wie ein Proton positiv geladen.  
Sie sehen, wie schön einfach es in dieser Welt zugeht.
- Protonen sind groß und schwer, sitzen in den Atomkernen fest verankert und lassen sich von den kleinen flinken Elektronen in der Atomhülle umschwirren.

### 3. Leiter und Nichtleiter (Isolatoren)

Bei den Ladungen ist es wie bei uns: wenn alle nur herumsitzen, passiert nichts Rechtes. Vereinfacht gibt es zwei Materialarten:

- die „langweiligen“ Nichtleiter: Bei ihnen halten die Atomkerne „ihre“ Elektronen so fest, dass sie sich nicht entfernen können.
- die Leiter: Hier lassen es die Atomkerne zu, dass sich einige Elektronen relativ frei bewegen können. Dies gilt besonders für die Metalle, die klassischen Leiter der Elektrotechnik. In Metallen gibt es zwischen den Atomen ein „Elektronengas“. Diese Elektronen sind keinem Atom fest zugeordnet, sie vagabundieren ständig herum. In Leitern können sich Ladungen also bewegen, wenn sie jemand „anschubst“. Damit kommen wir zum ersten wichtigen Begriff, den Sie sicher kennen: der Spannung.

#### 4. Vorsicht Hochspannung!

Auch der Begriff „Spannung“ stammt aus den Urzeiten der Elektrizitätslehre, nehmen Sie ihn bitte ebensowenig wörtlich wie die „Ladung“. Was versteckt sich nach unserer heutigen Vorstellung dahinter?

Da ein Teil der Elektronen eines Metalles so leicht beweglich sind, kann man sie teilweise aus einem Metall herausreißen und auf einen anderen Metallkörper übertragen. Wie das im Einzelnen geschieht, braucht uns hier nicht zu interessieren, entscheidend ist vor allem die grundsätzliche Tatsache, dass man dafür Energie braucht, ein wenig „kämpfen“ muss man eben doch gegen die Anziehungskraft der Atomkerne, um die Ladungen zu trennen. Ein Generator verwendet dazu mechanische Energie (z.B. die Bewegung einer Turbine oder eines Windrades), in einer Batterie nutzt man die Energie chemischer Reaktionen dazu. Als Ergebnis erhält man einen Metallkörper, dem man Elektronen „geklaut“ hat und einen, dem man sie „geschenkt“ hat (besser eigentlich „aufgedrängt“ hat). Der erste hat durch den Verlust der Elektronen mehr positive Protonen als Elektronen, er ist „positiv geladen“; der andere hat umgekehrt einen Überschuss an Elektronen, er ist also „negativ geladen“. Zwischen ihnen besteht nun ein besonderer Zustand, den man als „Spannung“ bezeichnet (zwischen den getrennten Ladungen stellte man sich früher imaginäre „Gummifäden“ vor). Was ist das besondere an diesem „Spannungszustand“? Ebenso wie ein gespanntes Gummiband wieder in die Ausgangslage zurückschnurrt (wenn man es loslässt), bewegen sich die Elektronen vom negativ geladenen Körper wieder zurück zum positiv geladenen (wenn man ihnen dazu eine Möglichkeit bietet). Vielleicht hat die Erwähnung des gespannten Gummibandes bei Ihnen alte Erinnerungen geweckt: damit konnte man doch Papierröllchen schießen oder kleine Autos antreiben! Richtig: In dem gespannten Gummi steckt Energie, die man beim Dehnen hineingesteckt hat. Genauso steckt in den getrennten Ladungen Energie. Die geladenen Metallkörper sind also Energiespeicher. Jedes Elektron, das man von einem Proton getrennt hat, ist nicht nur ein Ladungsträger, sondern jetzt auch ein Energieträger! Während aber die Ladungsmenge, die es besitzt, unveränderlich ist, kann die Energie, die es speichert, sehr unterschiedlich sein, je nach dem, wieviel Energie beim Trennen der Ladungen aufgewendet wurde. (*Vergleich: Die Masse von zwei gleichen Backsteinen ändert sich nicht, wenn man sie in die Höhe hebt, aber je nach dem, wie hoch sie sie gehoben wurden, stecken in ihnen unterschiedliche Energien, was man beim Aufprall leicht feststellen kann!*)

Halten wir also fest:

Zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Metallkörpern herrscht eine elektrische Spannung. Die Spannung ist umso höher, je mehr Energie in den getrennten Elektronen steckt (wesentlich ist also nicht die Elektronenmenge, sondern die Energie der einzelnen Elektronen!)

Die elektrische Spannung ist eine Energiegröße.

Als Formelzeichen wird „U“ verwendet.

Damit können wir gleich ein oft unverstandenes Problem leicht erklären: Warum ist die hohe Spannung einer Elektrisiermaschine (durchaus mehrere 1000 Volt) harmlos, die doch viel niedrigere Spannung aus der Steckdose (230 Volt) lebensgefährlich? Weil nicht nur die Spannung, also die Energie der einzelnen Elektronen entscheidend ist, sondern ihre verfügbare Menge und damit die Gesamtenergie: Die Elektrisiermaschine liefert nur sehr wenige Elektronen, ihre Menge kann in unserem Körper keinen Schaden anrichten (*es fallen einzelne Sandkörner aus großer Höhe herab*), aus der Steckdose hingegen schießt ein Schwall Elektronen heraus (*es schüttet jemand den Sand sackweise auf uns herab*).

Nebenbei haben wir noch die Maßeinheit für die Spannung getroffen: das Volt (zu Ehren des italienischen Naturwissenschaftlers VOLTA).

Ein Volt ist die Maßeinheit für die elektrische Spannung.  
Das Abkürzungszeichen ist „1 V“ (z.B.  $U_{\text{Netz}} = 230 \text{ V}$ ).

In der Technik kommen zwei Spannungsarten vor:

Gleichspannung (die Polarität der beiden Anschlüsse ist dauerhaft gleich), Symbol „=“;

Wechselspannung (die Polarität wechselt ständig, in der Technik üblich „50Hz“, d.h. die Polarität wechselt 50mal in der Sekunde), Symbol „~“.

Beispiele:

Batterien: 1,5V oder 9V=, Autobatterie: 12V=;

Netzspannung: 230V~ (früher 220V).

### 5. Jetzt kommt Bewegung in die Sache: die Stromstärke

Wenn Sie das Prinzip, dass Elektronen als Energieträger fungieren, verinnerlicht haben, ist der Rest fast nur noch „Formsache“.

An den Polen einer Batterie oder den Buchsen einer Steckdose stehen (mehr oder weniger) energiereiche Elektronen auf Abruf bereit. Daher kommt die Bezeichnung „Spannungsquelle“, die jedoch sprachlich irreführend ist: Was herausfließt, ist nicht die Spannung (das ist ja ein Zustand!), sondern es sind energiereiche Ladungen, eigentlich sollte man besser „Ladungsquelle“ sagen. Jedes elektrisch betriebene Gerät ist im Prinzip ein Leiter, durch den diese Ladungen fließen können, sobald es an der Spannungsquelle angeschlossen wird. Je besser die Leitfähigkeit des Gerätes ist, d.h. je leichter die energiereichen Elektronen es durchfließen können, umso mehr Energie wird in dem Gerät umgesetzt. Das versteckt sich hinter der alltagssprachlichen Bezeichnung „Stromverbrauch“. Das ist wieder eine irreführende Wortbildung: Der „Strom“ besteht aus fließenden Elektronen, die als solche nicht „verbraucht“ werden können, „verbraucht“ wird die Energie, die sie mit sich bringen! Also:

Elektrischer Strom ist fließende Ladung, die Energie transportiert.

Aus praktischen Gründen bezieht man für die „**Stromstärke**“ die Ladungsmenge auf die Zeit, in der sie fließt:

Die Stromstärke gibt an, wieviele Ladungen pro Sekunde durch einen Leiter fließen. Als Formelzeichen für die Stromstärke wird „I“ (von Intensität) verwendet. Die Maßeinheit ist das Ampere, Abkürzungssymbol 1 A (zu Ehren des französischen Physikers Ampère).

Wie wir in Abschnitt 4 sahen, bringen Elektronen je nach Höhe der Spannung unterschiedliche Energiemengen mit.

Die insgesamt pro Sekunde umgesetzte Energie ergibt sich also sowohl

- aus der Spannung (Energie der einzelnen Ladungen, *aus welcher Höhe fallen die Sandkörner herab*) als auch
- aus der Stromstärke (Menge der durchgeflossenen Ladungen pro Zeiteinheit, *welche Sandmengen stürzen pro Sekunde herunter*).

Allgemein gibt man die pro Sekunde umgesetzte Energie (man kann auch sagen: die pro Zeiteinheit erbrachte Arbeit) mit der **Leistung** an. Beachten sie dabei bitte, dass im Gegensatz zur Alltagssprache, Arbeit und Leistung in der Physik klar getrennt sind: Arbeit ist zeitunabhängig, Leistung ist Arbeit pro Zeiteinheit (Arbeit geteilt durch die Zeit). Eigentlich vernünftig, nur häufig nicht konsequent angewendet: Wenn ein Mitarbeiter für die gleiche Arbeit die halbe Zeit braucht, hat er doppelt soviel geleistet! Damit kommen wir zur ersten Formel, die ich Ihnen zumuten möchte:

elektrische Leistung = Spannung x Stromstärke  
in Formelschreibweise:  $P = U \cdot I$   
Die Einheit ist 1 Watt (zu Ehren des englischen Technikers WATT), Abkürzung 1W.

Als Formelzeichen für die Leistung wird allgemein das „P“ (von *power*) verwendet.

Beispiel:

Fließt bei 230V eine Stromstärke von 2A, dann wird die Leistung von 460W umgesetzt. Die „Wattzahl“ gibt also Auskunft über die umgesetzte Leistung und damit die verursachten „Strom“kosten (die eigentlich Kosten für energiereiche Ladungen heißen müssten). Damit känen wir zum letzten, heute besonders wichtigen Schritt:

## 7. Was kostet der Spaß? Die elektrische Arbeit

Der Begriff „elektrische Arbeit“ ist Ihnen vielleicht weniger geläufig, sicher kennen Sie aber die „Kilowattstunde (kWh, „h“ von *hora* oder *hour* für Stunde)“. Dieses sprachliche Monstrum wird viele in ihrem Vorurteil bestärken, dass Physiker irgendwie verbogene Gehirne haben müssen, ich möchte Ihnen den Begriff „auseinandernehmen“:

- Dass „Kilo-“ immer „1000“ bedeutet, kennen wir vom Kilometer und dem Kilogramm.
- „Watt“ ist (s. vorherigen Abschnitt) die Leistungseinheit, also Energie (Arbeit) geteilt durch die Zeit.
- Jetzt kommt das verbogene Gehirn: „Stunde“ bedeutet, dass man das Kilowatt (also 1000W) mit einer Stunde multipliziert hat. Wissen sie noch? Erst teilen und dann multiplizieren, das hebt sich doch auf! Richtig: Die Einheit „Kilowattstunde“ gaukelt vor, zeitabhängig zu sein, ist es aber nicht. Vielmehr ist es eine Energieeinheit! Jetzt wird Ihnen sicher auch sofort klar, weshalb Ihre Stromkosten in kWh berechnet werden: Sie zahlen für die von Ihnen „verbrauchte“ Energie.

Zum Schluss muss natürlich die Ehrenrettung für die Physiker kommen: Die Einheit kWh hat sich aus der praktischen Anwendung ergeben: Bei den meisten elektrischen Geräten wird die Leistung angegeben (z.B. Glühlampen usw.). Man braucht also nur diesen Leistungswert mit der Betriebsdauer in Stunden zu multiplizieren, um die umgesetzte Energiemenge (und damit die Kosten) zu errechnen.

Damit kommen wir zur zweiten und letzten Formel, die sich lohnt zu kennen:

Energie = Leistung x Zeit  
in Formelschreibweise:  $E = P \cdot t$

Beispiele:

- a. Eine Glühlampe mit 100W (= 0,1 kW) brennt einen halben Tag lang (12h): 1,2 kWh.
- b. Eine Herdplatte (1000W = 1kW) „verbrät“ schon in gut einer Stunde (1,2 h = 1h 12min) die gleichen Kosten! Wer also glaubt, durch Austausch der Treppenhausglühlampe (die immer nur für wenige Minuten brennt) mit dem Risiko, dass jemand im Dämmerchein einer 25W-Lampe stolpert, Geld sparen zu können, der täuscht sich. Erheblich wirkungsvoller ist es dagegen, Herdplatten nicht ständig auf höchster Stufe zu betreiben, sondern schon während des Kochens herunterzuschalten und die Restwärme, die in Platte und Topfboden steckt, nicht nur zum Heizen der Küche zu verwenden.

Jetzt schauen Sie in Ihrer Stromrechnung nach, was Sie für 1 kWh zahlen müssen. Dann können Sie leicht die Kosten für den Betrieb Ihrer Elektrogeräte ausrechnen. Rechnen Sie auch einmal aus, was der „Standby“-Betrieb Ihres Fernsehgerätes im ganzen Jahr kostet!

## 8. Was kann ich meiner Steckdose aufbürden?

Zum Schluss noch eine Ergänzung, die nicht unbedingt notwendig, aber manchmal hilfreich sein kann: Was kann ich alles an eine Steckdose anschließen, ohne die Sicherung zu überlasten? Heute übliche Haushaltssicherungen sind für 10A Stromstärke ausgelegt. Als Elektro-Profi, der Sie jetzt sind, rechnen sie sofort aus: Bei 230V Spannung bedeutet das eine maximale Leistung von 2300W (2,3kW). Das ist schon einiges, aber mit einem Bügeleisen (2300W) schon erreicht! Deshalb sind Geräte mit hohen Leistungen, wie z.B. Elektroherde, immer über eigene Leitungen, meist mit speziell höher ausgelegten Sicherungen (15A) angeschlossen und bei der Elektrifizierung einer Küche sollte man mindestens zwei Leitungen vorsehen, um den modernen „Gerätepark“ (Spülmaschinen, Heißwasserbereiter usw.) auch gleichzeitig betreiben zu können (besonders in Altbauwohnungen kann es da schon leicht zu „Engpässen“ kommen).

## 9. Was sichert eigentlich eine Sicherung?

### 9.1. Trügerische Sicherheit

Die Bezeichnung „Sicherung“ gaukelt „Sicherheit“ (für den Benutzer eines Stromnetzes) vor. Diese Vorstellung ist aber trügerisch: Die Sicherungen im Zähler- oder Verteilerkasten schützen vor allem die Leitungen vor Überlastung. Was man normalerweise nicht bemerkt: auch Leitungen aus gut leitfähigem Material (z.B. Kupfer) „verbrauchen“ Energie, da ihre Leitfähigkeit zwar gut, aber keineswegs unendlich ist. Beim Stromdurchfluss heizen sie sich auf. Überlastete Leitungen können schlimmstenfalls durchglühen, aber schon das Schmelzen der isolierenden Kunststoffummantelung kann zu Kurzschlüssen (u.U. in den Wänden!) führen. Am ehesten fällt dieser Effekt an Kabeltrommeln auf: Qualitätsprodukte besitzen einen eingebauten Thermoschalter, der den Stromfluss unterbricht, wenn sich das aufgewickelte Kabel erwärmt. Deshalb immer, wenn Geräte mit hoher Leistung angeschlossen werden, das Kabel vollständig abrollen!

## 9.2. Was schützt wirklich?

Einen echten Schutz liefern zwei technische Vorkehrungen:

- a. Der Schutzleiter („Schuko“, Abkürzung für Schutzkontakt) und
- b. ein Fehlerstromschutzschalter.

zu a.: Den Schutzleiter kennen Sie: einerseits die beiden Metallfedern in der Steckdose (deren Hauptaufgabe es nicht ist, den Stecker festzuhalten!), andererseits die beiden entsprechenden Metallstreifen an der Außenseite eines „Schuko“-Steckers. Wie schützt der „Schuko“? Er ist über eine eigene Leitung mit der Erde verbunden. Diese Leitungen sind farblich auffällig gelb-grün gestreift gekennzeichnet. Sobald durch einen Defekt (z.B. gelockerte Anschlussleitungen, eingedrungenes Wasser) leitende Teile eines Gerätes (insbesondere Metallgehäuse) mit dem spannungsführenden Leiter in Verbindung kommen, wird ein Stromkreis zur Erde hergestellt. Der darin fließende Strom ist in den meisten Fällen hoch genug, um die Sicherung auszulösen. Damit wird verhindert, dass ein Mensch, der das Gerät berührt, von einem u.U. tödlichen Stromschlag getroffen wird. Die „Sicherung“ entfaltet also erst in Zusammenarbeit mit dem Schutzleiter eine Schutzwirkung für den Benutzer. Wenn also bei Ihnen zu Hause aus zunächst unerklärlichem Grund eine Sicherung „rausfliegt“: Suchen Sie zuerst nach einer Ursache, bevor Sie die Sicherung wieder einschalten!

Der gelb-grün markierte Schutzleiter  
ist eine wichtige Grundsicherung gegen Elektrounfälle.

**Niemals:**

Zweiadrige Verlängerungsleitungen für Geräte mit Schuko-Stecker, Steckdosenadapter (Ausland) ohne Schutzleiterdurchleitung.

zu b.: Den „Fehlerschutzschalter“ finden Sie in Ihrem Sicherungskasten. Vor jeder Reihe von „normalen“ Sicherungen können Sie einen meist etwas breiteren, besonderen Schalter mit der Aufschrift „FI-Schalter“. Darin bedeutet „F“ Fehler und „I“ Strom(stärke) (jetzt können Sie sich auf die Schulter klopfen: „Das kenne ich schon!“). Seine Funktion kann man mit einer Waage vergleichen: Der Schalter vergleicht die Stromstärke, die in ein Gerät hineinfließt, mit der, die herausfließt. Ist diese „Waage“ im Gleichgewicht, ist alles in Ordnung. Sobald sich aber ein (kleiner) Teil der hineinfließenden Ladungen irgendwo „seitlich in die Büsche schlägt“, unterbricht der Schalter den Stromfluss. Solcher „Fehlerströme“ entstehen besonders häufig durch Feuchtigkeit. Nässe im Freien, aber auch die feuchte Luft in Küche oder Bad können leicht dünne Wasserfilme im Inneren von Geräten entstehen lassen. Aber auch ein umgestoßenes Wasserglas, dessen Inhalt sich boshafterweise in eine Mehrfachsteckdose ergießt, die am Boden liegt, kann schnell zur Ursache für eine „Zeitbombe“ werden. Der FI-Schalter schließt eine Sicherheitslücke: Die Schutzwirkung des Schutzleiters wird erst wirksam, wenn der „falsche“ Strom (Fehlerstrom) über 10A stark ist. Für den Menschen gefährlich sind aber bereits Ströme über etwa einem Tausendstel davon (30 mA). In diesem durch den Schutzleiter ungeschützten Bereich greift der FI-Schalter ein. Sie können den Auslösewert ablesen, er ist mit „ $I_{\Delta n}$ “ (z.B.  $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$ ) aufgedruckt. Wenn Sie in Ihrem Sicherungskasten einen solchen Schalter nicht finden (z.B. in älteren Gebäuden), können Sie sich wenigstens für besonders kritische Bereiche (Garten, Terrasse, Bad und nicht zu vergessen: Kinderzimmer!!) durch sogenannte „Personenschutzschalter“ in Form eines Zwischensteckers für die Steckdose wirkungsvoll schützen. Eine Investition von etwas unter 20€, die Leben retten kann! Darüberhinaus sollten Sie einen Fachmann zu Rate ziehen, ob ein nachträglicher Einbau in das Leitungsnetz Ihrer Wohnung möglich ist.

## Fachbegriff-Erklärungen

### AMPÈRE, André Marie

Franz. Physiker und Mathematiker, 1775-1836, entdeckte die Zusammenhänge zwischen Magnetismus und Elektrizität, Grundlage für wesentliche technische Entwicklungen (Generator, Elektromotor, Transformator).

### Ampere (A)

Einheit der elektrischen Stromstärke.  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ ; C = Coulomb (Einheit der Ladung), s = Sekunde

### Arbeit (W)

Maß für die verrichtete Arbeit (im Sinne der Physik, gleichwertig mit der dabei umgesetzten Energie); Einheit 1 Joule (1J); in der Elektrotechnik häufig verwendet: 1kWh (1 kWh = 3 600 000 J = 3 600 kJ, da eine Stunde 3 600 Sekunden hat).

### Elektron

Elementarteilchen, einfach negativ geladen, in der Hülle der Atome, sehr klein und massearm. Elektronen können einem Atom relativ leicht entrissen werden (Ionisierung).

### Leistung (P)

Allgemein: Arbeit pro Zeit ( $P = W/t$ , Achtung, hier bedeutet „W“ nicht Watt, sondern Arbeit!)); Einheit 1 Watt (1W)

### Proton

Elementarteilchen, einfach positiv geladen; Protonen enthalten im Atomkern zusammen mit den Neutronen praktisch die gesamte Masse eines Atoms; Atomkerne können nur durch sehr hohe Energien „zerlegt“ werden (Kernspaltung).

### Spannung, elektrische (U)

Physikalische Größe, beschreibt den Zustand zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Körpern, der durch Ladungstrennung unter Energieaufwand erreicht wird. Spannung ist Voraussetzung für elektrischen Strom.  $U=W/Q$  (W=Energie, Q= Ladungsmenge; Einheit: 1 Volt (1 V)).

### Stromstärke, elektrische (I)

Physikalische Größe, mit der die Ladungsmenge erfasst wird, die in einer bestimmten Zeit durch einen Leiter fließt.  $I=Q/t$  (Q=Ladungsmenge, t=Zeit); Einheit: 1 Ampere (1 A)

### VOLTA, Alessandro

Ital. Physiker, 1745-1827, entwickelte mehrere elektrische Geräte (z.B. Elektroskop, Kondensator), insbesondere aber die erste Batterie („Voltasche Säule“).

### WATT, James

englischer Techniker, 1736-1819, machte die Dampfmaschine durch entscheidende Verbesserungen zum allgemeinen Einsatz tauglich.

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage [www.die-reise-maus.de](http://www.die-reise-maus.de) in der Rubrik „Lexika“ in der Datei „Biologie\_LX.pdf“.