

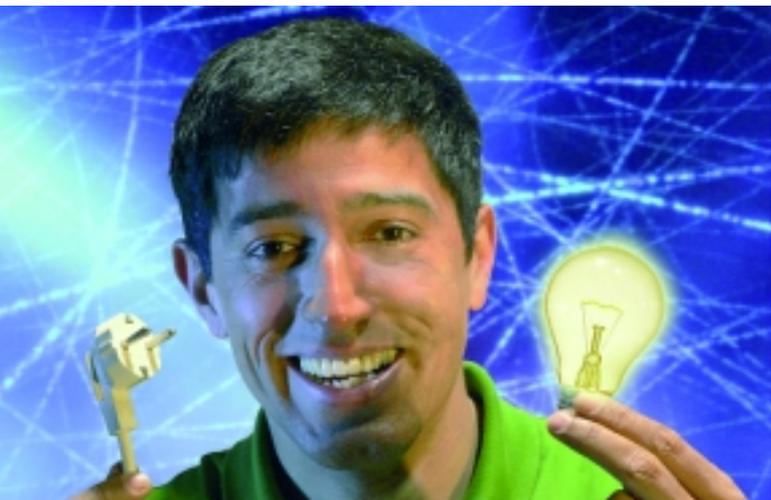
WDR FERNSEHEN

Quarks & Co



SCRIPT ZUR WDR-SENDEREIHE „QUARKS & CO“

UNTER STROM



Unter Strom

Inhalt

Wenn die Lichter ausgehen: Stromausfall	4
Das Stromnetz in Deutschland	7
Verkabeltes Land – die Geschichte der Elektrifizierung	11
Edison und der Stromkrieg	13
Ein Tag im Leben eines Stromverbrauchers	15
Hattersheim und das Stromkartell	18
Glossar	21
Lesetipps	26
Linktipps	27

Impressum

Text:
Carsten Binsack
Reinhard Brüning
Ilka aus der Mark
Martin Rosenberg

Redaktion und Koordination: Wolfgang Lemme

Copyright: WDR Juni 2005
Weitere Informationen erhalten sie unter: www.quarks.de

Gestaltung: Designbureau Kremer & Mahler, Köln
Diese Broschüre wurde auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Bildnachweise:

Alle Abbildungen wdr ausser:

Italiener stecken in der U-Bahn fest; ARD Studio Rom
Strom wird über die Alpen transportiert; Aare-Tessin AG

Stromverbrauch im Laufe eines Tages; UCTE
Spitzenverbrauch in der Halbzeit; RWE Power, Markus Haase

Thomas Edison, dpa
George Westinghouse; Süddeutscher-Verlag-Bild

Wenn die Lichter ausgehen: Stromausfall

Das Jahr der Blackouts

Strom ist unsichtbar. Trotzdem ist er allgegenwärtig. Doch spürbar wird er vor allem dann, wenn er fehlt. Manchmal kommt es zu einem kleinen Stromausfall, wenn ein Bagger bei Bauarbeiten versehentlich eine Leitung durchtrennt hat oder ein Strommast umgeknickt ist. In solchen Fällen sind nur wenige Menschen ohne Elektrizität. Doch im Jahr 2003 kam es zu einer Reihe von flächendeckenden Stromausfällen, bei denen Millionen Menschen im Dunkeln standen: In Nordamerika (Kanada/USA) waren über 50 Millionen Menschen ohne Strom und in Skandinavien (Dänemark/Schweden) traf es rund 4 Millionen Einwohner. In Italien wurde fast das ganze Land lahm gelegt. Bis auf Sardinien waren rund 57 Millionen Italiener zwischen den Alpen und Sizilien ohne Elektrizität.

Notte Bianca – Weiße Nacht ganz schwarz

Es war in der Nacht auf den 28. September 2003, ein Sonntag. In Rom wurde gerade die „Notte Bianca“ - die „Weiße Nacht“ - gefeiert, ein kulturelles Highlight mit offenen Museen, Konzerten und anderen Kulturveranstaltungen in der hell erleuchteten Stadt. Doch gegen 3.28 Uhr fiel im ganzen Land der Strom aus und in Rom wurde die „Weiße Nacht“ dunkel. Die Feier war vorbei. Überall im Land blieben Menschen in



Italiener stecken
in U-Bahnen fest

Aufzügen und U-Bahnen stecken, der Flugverkehr wurde eingestellt. Nur noch Notstromaggregate funktionierten. Ursache für den Blackout war eine unglückliche Folge von Ausfällen.

Kurzschluss in den Alpen

Um kurz vor 3.00 Uhr war die italienische Stromwelt noch in Ordnung. Über die Alpen wurde die übliche Leistung von 6.500 Megawatt nach Italien importiert. Das Land ist Stromimporteur. Es braucht neben der eigenen Produktion auch noch Strom aus Österreich und Slowenien, vor allem aber aus Frankreich und der Schweiz. Gegen 3.01 Uhr kam es jedoch in der Schweiz zu einem Kurzschluss bei der großen 380-KV-Leitung über den Lukmanierpass, zwischen Mettlen und Lavorgo. Der Strom war auf einen Baum übergeschlagen, der zu nahe an der Leitung stand. Die Leitung fiel komplett aus. Mehrere Versuche, sie wieder zu aktivieren, schlugen fehl. In der Zwischenzeit mussten die anderen Leitungen den Ausfall kompensieren und zusätzliche Mengen Strom transportieren – besonders die nahe gelegene zweite große 380-KV-Transitleitung in der Schweiz, die San-Bernardino-Leitung.

Kettenreaktion trennt Italien vom europäischen Netz

Nur für kurze Zeit kann die San-Bernardino-Leitung in Notsituationen solche Mehrbelastungen aushalten. Deshalb wandten sich die Techniker des Schweizer Stromnetzes an ihre italienischen Kollegen in Rom. Sie sollten die Importleistung reduzieren, um das Schweizer Stromsystem zu entlasten. Sofort drosselten



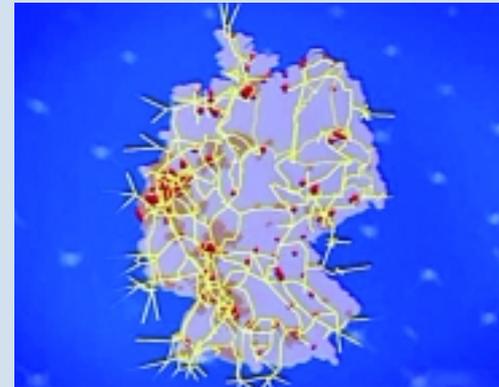
Strom wird über die Alpen nach Italien
importiert

Das Stromnetz in Deutschland

die Italiener den Import um 300 Megawatt. Doch das reichte nicht aus: um 3:25 Uhr fiel auch die San-Bernardino-Leitung zwischen Sils und Soazza aus. Sie war heiß geworden und hatte sich ausgedehnt, so dass auch sie zu nahe an einen Baum kam. Auf den schlug jetzt ebenfalls der Strom über – ein weiterer Kurzschluss mit verheerenden Folgen. Denn die verbliebenen Importleitungen wurden schlagartig belastet. Sicherheitssysteme schalteten sie deshalb automatisch fast gleichzeitig ab. Zwölf Sekunden nachdem die San-Bernardino-Leitung ausgefallen war, wurde das italienische Stromnetz vom europäischen Netzwerk getrennt.

Nach zweieinhalb Minuten außer Kontrolle

Abgeschnitten von der Außenwelt konnte sich das italienische Stromnetz nur noch zweieinhalb Minuten im Inselbetrieb halten, bis es außer Kontrolle geriet. Denn die Spannung und die Frequenz im Netz sanken so schnell, dass sich nun auch die Kraftwerke abschalteten. Dies geschieht automatisch zum Schutz der Generatoren und Turbinen. Dadurch brach nun das Stromnetz völlig zusammen und Italien versank für Stunden in Dunkelheit. Auch wenn man schon gegen 3.45 Uhr begann, das Netz wieder aufzubauen, stand die Stromversorgung in Rom erst am Nachmittag wieder vollständig. Im Süden des Landes dauerte es sogar bis zum Abend. Ein Blackout von europäischer Dimension – er zeigt, wie komplex das Netzwerk ist, das ein Land mit Strom versorgt.



Das Stromversorgungsnetz in Deutschland

Genau kalkuliertes Gleichgewicht

Stecker rein, Strom fließt – das ist alles andere als selbstverständlich. Damit es genügend Strom gibt, laufen Tag und Nacht die Kraftwerke. Der Stromverbrauch muss dabei genau berechnet werden, denn das Stromnetz ist kein Speicher. Strom lässt sich nicht lagern wie Kohle, Öl oder Gas. Deshalb erzeugen die Kraftwerke immer genau so viel Strom, wie verbraucht wird. Wenn es Engpässe gibt, helfen sich die europäischen Länder in einem Verbundnetz gegenseitig aus. Sie alle halten nämlich Kraftwerke als Notfallreserve bereit. Damit das funktioniert, ist aber ein reibungsloser Stromtransport notwendig. Ein Netz von Transportkabeln durchzieht daher auch Deutschland. Dieses weit verzweigte Stromnetz verbindet die Kraftwerke mit den Verbrauchern. Es besteht aus Freileitungen und Erdkabeln, aber auch aus elektronischen Elementen wie Transformatoren, Schaltern und einer recht komplexen Steuerungstechnik. Das Gleichgewicht aus Erzeugung und Verbrauch sichert den Betrieb des Stromnetzes bei konstanter Frequenz (50 Hertz).



Hoch, höher, am höchsten – die Spannung

Für den Stromtransport gibt es mehrere unterschiedliche Spannungsebenen. Dabei gilt der Grundsatz: je höher die Spannung, desto geringer die Verluste beim Transport. Die Autobahnen des Stroms liegen auf der Höchstspannungsebene bei 220.000 oder 380.000 Volt. Hier werden die weiten Strecken quer durch das Land zurückgelegt. Es gibt in Deutschland insgesamt 36.000 Kilometer solcher Transportleitungen. Die großen Zubringer, die dann den Strom von der Fernleitung bis zur nächsten Verzweigung bringen, liegen auf der Hochspannungsebene (110.000 Volt). Insgesamt sind das in Deutschland 75.000 Kilometer Leitung. Industrie und Eisenbahn bekommen ihre Energie direkt von dieser Spannungsebene. Die feinere Verteilung erfolgt dann auf der Mittelspannungsebene bei 20.000 Volt, 490.000 Kilometer Kabel laufen dafür durch das Land. So werden kleinere Industrie- und Gewerbebetriebe versorgt. Eine Trafostation setzt die Spannung schließlich herunter auf 230 oder 400 Volt. Damit werden die Haushalte beliefert. Und auf dieser Ebene sind die meisten Kabel verlegt, in Deutschland über eine Million Kilometer.



Blick auf das Versorgungsnetzwerk einer Stadt

Wie sicher ist das deutsche Netz?

Das gewaltige Versorgungsnetzwerk funktioniert erstaunlich gut. Deutschland ist bei der Sicherheit sogar Spitzenreiter. Die deutschen Verbraucher müssen pro Jahr im Durchschnitt 15 Minuten Stromausfall erdulden. Das liegt fast ausschließlich an Fehlern im Bereich der Mittelspannung oder Niederspannung, die Folgen sind deshalb regional begrenzt. Dramatisch sind jedoch Ausfälle im Transportnetz – die betreffen immer ein großes Gebiet. Damit es nicht dazu kommt, gibt es in Deutschland ein ausgeklügeltes Sicherheitssystem. Ein so dramatischer Blackout wie im Jahr 2003 in Italien kann in Deutschland kaum auftreten. In solch einem Fall müssten alle Leitungen blockiert sein, die Strom aus dem Ausland in die Bundesrepublik bringen. Das ist sehr unwahrscheinlich, weil Deutschland wegen seiner zentralen Lage viele solcher Verbindungen ins Ausland hat – und die würden kaum alle zur selben Zeit ausfallen. Aber selbst dann gäbe es

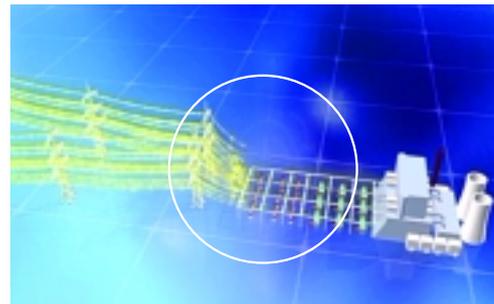


Stromunterbrechungen im europäischen Vergleich (in Stunden)

noch genug Strom, denn die deutschen Kraftwerke haben eine Kapazität, die im Notfall den Bedarf abdecken kann. Dann springen auch die unrentableren Kraftwerke ein.

Regelmäßige Ausfälle – doch der Verbraucher merkt kaum etwas

Um das Stromnetz möglichst wenig zu belasten, sollten Kraftwerke eigentlich möglichst nah bei den Verbrauchern stehen. Doch das ist schwer einzurichten – Braunkohlekraftwerke zum Beispiel stehen dort, wo es Kohle gibt. Die Kohle extra zu transportieren wäre unwirtschaftlich. Auch Atomkraftwerke stehen nicht in Großstädten, wo der meiste Strom gebraucht wird. In der Nähe von Ballungsgebieten werden sie aus Sicherheitsgründen nicht genehmigt. Es gibt aber eine ganze Reihe von großen Kraftwerken, die mitten in einer Metropole stehen. Kraftwerke laufen nicht immer reibungslos, im Gegenteil – jedes Großkraftwerk hat im Durchschnitt alle fünf Monate einen Störfall. Dafür ist jedoch vorgesorgt, andere stehen bereit und können einspringen. Wenn ein Kraftwerk in einer Stadt ausfällt, muss allerdings Strom von außen hertransportiert werden. Und dafür braucht man zusätzliche Leitungen. Dass die im Notfall auch ausreichend zur Verfügung stehen, wurde bei der Planung des deutschen Transportnetzes berücksichtigt.



Jedes Stromkraftwerk fällt im Durchschnitt alle fünf Monate aus

Sprengt Stromhandel das deutsche Netz?

Eine andere Störung ist der Ausfall einer großen Überlandleitung. Das kommt bei jeder Leitung alle fünf bis zehn Jahre vor. Damit das Transportnetz das verkraften kann, gibt es jeweils mindestens eine Leitung, die einspringen kann. Mit gutem Grund ist Deutschland also so verkabelt: Das Transportnetz kann den Ausfall einer Komponente verkraften – ganz egal, welche es ist.



Jede Transportleitung mit 380.000 Volt fällt im Durchschnitt alle fünf bis zehn Jahre aus

Deshalb gilt das deutsche Netz als eines der zuverlässigsten der Welt. Aber trotzdem gibt es Probleme: Die Situation beim Stromtransport verändert sich durch den zunehmenden Stromhandel, der vor allem über Deutschland abgewickelt wird. Dafür ist das Netz nicht ausgelegt. Für die Zukunft besteht also durchaus die Gefahr, dass in Deutschland die Transportkapazitäten für Strom nicht mehr ausreichen.

1881 gibt es weder Kraftwerke noch Stromleitungen. Nur vereinzelt steht hier und da ein Generator.



Strom als Luxusgut

Jahrhundertlang beleuchteten die Menschen in Europa ihre Städte mit Öl- und Gaslampen. Bis 1881 die Internationale Elektroausstellung in Paris die neue Glühlampe aus Amerika präsentierte – eine Sensation. Alle wollten jetzt elektrisches Licht haben, auch in Deutschland. Doch hier gab es 1881 weder Kraftwerke noch Stromleitungen. Die Reichen versorgten sich selbst mit eigenem Generator im Keller. Die anderen zapften ihren Strom bei den Generatoren der nah gelegenen Fabriken ab. Wenn die abends keinen Strom mehr brauchten, gingen im Dorf die Lichter an.

Die Anfänge des Stromnetzes

In den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurden in den größeren Städten so genannte Blockstationen gebaut. Sie versorgten in einem Umkreis von immerhin 800 Metern mehrere Häuser gleichzeitig mit Strom und belieferten angrenzende Restaurants und Läden. Eine wichtige Voraussetzung dieser Neuerung übrigens: die Erfindung des Dynamoprinzips durch Werner von Siemens.

Edison und der Stromkrieg

Mitte der 1880-er Jahre gingen in Berlin die ersten beiden Kraftwerke in Betrieb. Sie lieferten Gleichstrom. Die erste deutsche Stromleitung baute 1882 Oskar von Miller: 60 Kilometer von Miesbach nach München. Seine zweite Leitung 1891 war sogar schon 175 Kilometer lang. Das gelang ihm aber nur mit Wechselstrom, denn der kann über größere Distanzen geleitet werden. Das erste Wechselstromkraftwerk entstand 1891 in Köln. Es versorgte fast 11.000 Lampen. Die ersten Kraftwerke erzeugten Energie mit Wasserkraft, Braun- und Steinkohle.

Von der Niedrigspannung zur Höchstspannung

Strom wurde immer begehrt – bald reichten die vorhandenen Leitungen nicht mehr aus. Die Spannung des verschickten Stroms kletterte rasant in die Höhe. 1891 wurden noch bescheidene 15.000 Volt verschickt, 1912 waren es immerhin schon 110.000 Volt. In den 1920-er Jahren wurden die ersten Höchstspannungsleitungen mit 220.000 Volt angelegt, und 1957 ging es dann richtig los: zwischen Rommerskirchen bei Köln und Ludwigsburg in Schwaben ging die erste 380.000 Volt-Leitung in Betrieb.

Land unter Strom

Was mit Glühlampe und Telegraphie anfing, modernisierte nach und nach die Fabriken, das öffentliche Leben und schließlich auch die privaten Haushalte. Und dabei ist Strom im Laufe des 20. Jahrhunderts vom Luxusgut zur bezahlbaren Massenware geworden – Strom ist überall.

1914



1914 sind die Anfänge des heutigen Stromnetzes gelegt

1957



1957 geht die erste 380 000 Volt-Leitung in Betrieb

2005



2005 ist Deutschland komplett vernetzt. Strom ist selbstverständlich geworden

Gleichstrom gegen Wechselstrom

Es war ein regelrechter Stromkrieg – zwei Amerikaner lieferten sich vor dem Siegeszug der Elektrifizierung eine Propagandaschlacht, bei der es um ihre konkurrierenden Systeme ging: Gleichstrom oder Wechselstrom? Die Protagonisten: Thomas Alva Edison und George Westinghouse. Die Opfer: Hunde, Katzen, ein Elefant – und zum Schluss sogar Menschen.



Die Glühlampe löste den Stromkrieg aus

Der Herausforderer

Am 21. Oktober 1879 gelingt Thomas Alva Edison nach monatelanger, harter Arbeit der Durchbruch: Er bringt eine Kohlefaden-Glühlampe zum Leuchten – sie brennt 40 Stunden lang. Bisher hatte sie immer nur wenige Augenblicke durchgehalten, jetzt bedeutet die lange Brenndauer einen großen Triumph. Sofort schmiedet Edison große Pläne: Er will elektrisches Licht in die Wohnungen der New Yorker bringen und damit das Monopol der Gasproduzenten brechen, das er ungerecht findet. Dazu verwendet er Gleichstrom.



Der berühmte Thomas Alva Edison ging mit seinem Forscherdrang sogar über Leichen

Der Gegner

Zur gleichen Zeit brütet in Pittsburgh ein Großindustrieller über einem ähnlichen Plan. George Westinghouse will ein elektrisches Stromnetz aufbauen und damit reich werden. Seine Generatoren produzieren aber nicht Gleichstrom wie bei Edison, sondern Wechselstrom. Dass der sich über längere Strecken besser transportieren lässt als Gleichstrom, beweisen Westinghouse und sein Kollege, der Physiker Nikola Tesla, im März 1886: Zum ersten Mal wird Strom eine Meile weit entfernt vom Kraftwerk genutzt. Das Experiment erregt Aufsehen, Westinghouse und sein Wechselstrom sind in aller Munde.



George Westinghouse trieb den berühmten Erfinder Edison in die Enge

Ein Tag im Leben eines Stromverbrauchers

Kampf mit harten Bandagen

Edison kocht vor Wut über den Erfolg des Konkurrenten und verklagt Westinghouse wegen Patentverletzung. Dann steigert er sich in einen aggressiven Propaganda-Feldzug gegen Westinghouse und dessen Wechselstrom hinein. Es beginnt harmlos: Edison präsentiert der Öffentlichkeit eine Lichterschau nach der anderen. Er will zeigen, wie ungefährlich sein Gleichstrom für die Menschen ist. Als noch immer alle vom Wechselstrom des Konkurrenten schwärmen, greift er zu drastischeren Maßnahmen: Er lässt öffentlich Hunde und Katzen mit 1.000 Volt-Wechselstrom töten, um zu zeigen, wie gefährlich der Strom von Westinghouse ist. Aber auch das genügt Edison nicht. Als ein Elefant in einem Tierpark zwei Wärter angegriffen hat und getötet werden soll, ergreift er die Gelegenheit: er lässt den Elefanten mit Westinghouse-Strom töten.

Das schaurige Nachspiel

Doch Edisons Abwehrschlacht nützt nichts: Der Siegeszug des Wechselstroms ist nicht mehr aufzuhalten. Bald werden ganze Städte mit Westinghouse-Strom erleuchtet, Edison hat verloren. Aber eine vom New Yorker Parlament ins Leben gerufene Kommission ist auf seine brutalen Versuche aufmerksam geworden: dass man mit Strom selbst große Tiere töten kann, bringt sie auf eine Idee: Ließe sich das auch mit Menschen machen? Edison nimmt sich der Sache an. Und so gipfelt der Stromkrieg in der Geburtsstunde des elektrischen Stuhls – ebenfalls ein Werk des unermüdlichen Erfinders Thomas Alva Edison.

Der Stromverbrauch ist nicht immer gleich

Wenn morgens die Kaffeemaschinen anlaufen und die Computer in den Büros hochgefahren werden, steigt schlagartig der Stromverbrauch: Um acht Uhr wird 25 Prozent mehr Strom benötigt als um sechs Uhr früh. Solche Schwankungen im Netz erstrecken sich über den ganzen Tag, über die Woche und über das Jahr. Sie sind abhängig vom Wetter, von der Jahreszeit und von der Wirtschaftslage. Allerdings ist ein großer Teil von ihnen planbar, denn sie kehren regelmäßig wieder und lassen sich statistisch erfassen.

Planung ist alles

Für die Stromversorger bedeutet das: sie müssen auf die aktuellen Schwankungen sofort reagieren, denn das Stromnetz kann nichts auf Vorrat speichern. Es muss immer so viel Strom da sein, wie gerade gebraucht wird – und auch nicht mehr. Zu viel Strom darf nicht ins Netz gelangen. Damit die Balance stimmt, stehen verschiedene Kraftwerkstypen zur Verfügung, um den unterschiedlichen Bedarf zu decken: Für die so genannte Grundleistung sorgen Braunkohle- und Kernkraftwerke, zu einem kleinen Teil auch Laufwasser-Kraftwerke. Sie sind alle rund um die Uhr in Betrieb. Sie zu steuern ist aufwendig, dafür ist der Strom, der hier erzeugt wird, billiger als bei anderen Kraftwerken. Zusammen produzieren Atomkraft-, Braunkohle- und Laufwasser-kraftwerke ungefähr die Hälfte der gesamten Strommenge.

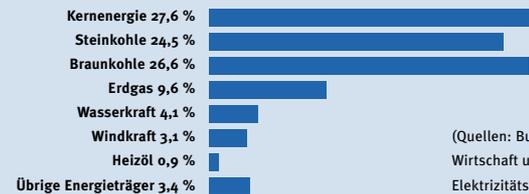


Wenn alle gleichzeitig Kaffee kochen, schießt der Verbrauch in die Höhe



Atomkraftwerke produzieren billig, doch ist es aufwändig, sie zu steuern

Der deutsche Strom wird auf verschiedene Arten erzeugt, setzt sich die Gesamtleistung so zusammen:



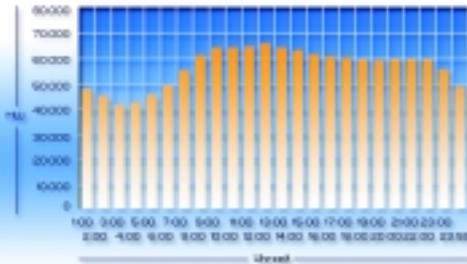
(Quellen: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit; Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) e.V.; Bezugsjahr 2003)



Die üblichen Schwankungen im Tagesverlauf werden vor allem von Steinkohle-Kraftwerken aufgefangen. Sie lassen sich leichter regeln als die Grundlastkraftwerke, produzieren aber mit höheren Kosten. Ihr Vorteil: man kann von vornherein einen Plan aufstellen, wann das Werk welche Last zu liefern hat. Erfahrungsgemäß wird zum Beispiel um die Mittagszeit am meisten Strom verbraucht. Darauf können sich die Betreiber von Steinkohlekraftwerken aber einstellen, sie fahren dann die Produktion hoch.

Typischer Stromverbrauch im Laufe eines Tages in Deutschland

Nachts ist der Verbrauch am geringsten (Grundlast), mittags am höchsten (Spitzenlast)



Spitzenverbrauch in der Halbzeit

Wenn abends im Fernsehen ein Fußball-Länderspiel läuft, kann es noch einmal zu ganz heftigen Verbrauchsspitzen kommen: Pünktlich zur Halbzeitpause geht in Millionen von Badezimmern das Licht an, und Millionen von Kühlschränken werden um Bierflaschen erleichtert. Beim Öffnen der Kühlschränktür springt das Licht im Gerät an, oft auch das Kälteaggregat. Die Bedürfnisse der Fußballzuschauer lassen den Stromverbrauch blitzartig in die Höhe schnellen. Solche starken Schwankungen können nur von so genannten Spitzenlastkraftwerken abgefangen werden, das sind vor allem Gasturbinenkraftwerke und Pumpspeicherwerke. Sie lassen sich innerhalb von Sekunden

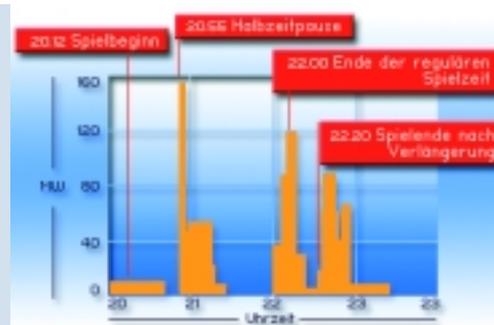
regeln, sind aber recht teuer. Doch dafür können sie plötzliche Unregelmäßigkeiten ausgleichen. Wenn zum Beispiel ein Kraftwerk ausfällt.

Strombedarf beim Fußballspiel

Diese Kurve zeigt den Stromverbrauch während eines EM-Endspiels, und zwar anhand des Kraftwerkbetriebs. Ein so genanntes Pumpspeicherwerk springt bei dem plötzlich ansteigenden Bedarf ein und wirft die Turbinen an, wenn die Fans in den Pausen das Licht in der Toilette anmachen oder Bier aus dem Kühlschrank holen.



Beim Fußball-Länderspiel müssen Spitzenlastkraftwerke ran



Strombedarf beim Fußballspiel anhand des Kraftwerkbetriebs

Ein Pumpspeicherwerk springt bei dem plötzlich ansteigenden Bedarf ein und wirft die Turbinen an

Kampf gegen die Konzerne



Vier große Stromunternehmen versorgen Deutschland

Landes, im Süden liefert EnBW Elektrizität, und Vattenfall Europe im Osten. Trotz Liberalisierung des Strommarktes kann es für andere schwer werden, sich gegen die Macht der vier Großfirmen durchzusetzen – und das bekam auch die hessische Kleinstadt zu spüren.

Abwärme umweltfreundlich nutzen

Die Umweldezernentin von Hattersheim, Karin Schnick, hatte 1999 die Idee, für ein Neubaugebiet im Südwesten der Stadt ein kleines, mit Erdgas betriebenes Blockheizkraftwerk zu bauen. Der Vorteil gegenüber den Großkraftwerken: das eigene Werk sollte mit Kraft-Wärme-Kopplung arbeiten. Dieses System nutzt die Wärme, die bei der Stromerzeugung entsteht, und leitet sie direkt in die benachbarten Häuser. Das ist bei den Großkraftwerken nicht möglich, da sich Wärme nur über kurze Strecken transportieren lässt und der Weg von den großen Kraftwerken in die Wohngebiete zu weit ist. So verpuffen bis zu 60 Prozent der erzeugten Energie bei Großkraftwerken als Abwärme.

Dumping-Preis blockiert den Plan

Die Hattersheimer planten ein Nahwärmenetz, das direkt ans eigene Kraftwerk angeschlossen sein sollte. So wollten sie mit der Abwärme ihres kleinen

Der Strommarkt in Deutschland ist in der Hand von vier mächtigen Energieunternehmen – in ganz Deutschland? Nein! Eine kleine Stadt in Hessen, Hattersheim am Main, hat es gewagt, sich mit den Großen anzulegen. Die Hattersheimer wollten ein eigenes Kraftwerk bauen und ihren Strom ins Netz einspeisen. Doch dabei gerieten sie in das Hoheitsgebiet der vier großen Stromerzeuger. Die haben das Land unter sich aufgeteilt: die RWE versorgt vor allem den Westen, E.ON die Mitte des

Kraftwerks direkt alle Häuser im Neubaugebiet heizen. Den Strom, der eigentlich in dem neuen Blockheizkraftwerk entstehen sollte, wollten die Hattersheimer an den örtlichen Energieversorger verkaufen. So weit der Plan, um den umweltfreundlichen Energiebetrieb rentabel zu machen. Doch die Süwag Energie AG, ein Tochterunternehmen von RWE, bot einen zu niedrigen Preis für den Strom der Hattersheimer. Dieser Preis hätte unter den Produktionskosten gelegen - das ganze Projekt drohte zu scheitern.

Hattersheim am Netz

Karin Schnick und ihre Hattersheimer ließen sich jedoch nicht entmutigen. Sie planten jetzt nicht nur ihr eigenes Kraftwerk, sondern auch ein eigenes kleines Stromnetz, ein Arealnetz. Das wollte der Energieversorger verhindern. Er berief sich auf einen Konzessionsvertrag, den die Hattersheimer schon 1988 mit dem Stromlieferanten abgeschlossen hatten. Dieser Vertrag erlaubte nur der Süwag die Energieversorgung. Doch die Hattersheimer blieben standhaft und bauten das Netz. Ihr Argument: Der Vertrag stammte aus dem Jahr 1988, und mit Beginn der Liberalisierung auf dem Strommarkt 1999 war er nicht mehr gültig. Damit setzten sie sich durch, und so konnten alle Häuser im Neubaugebiet Strom und Wärme von der Stadt beziehen. Doch für eine reibungslose Versorgung waren die Hattersheimer weiterhin auf fremde Hilfe angewiesen. Denn mittags oder abends, wenn besonders viel Energie verbraucht wird, konnte das kleine Werk den Bedarf nicht alleine decken.

Stromversorgung: das große Geschäft

Für solche Spitzenzeiten müssen die Stromlieferanten vorsorgen und rechtzeitig einschätzen, wie hoch der Verbrauch



Hattersheim, die unbeugsame Stadt in der Nähe von Frankfurt am Main



Arealnetz im Neubaugebiet



Glossar

wird. Das beruht auf Erfahrungswerten, die im Stromgeschäft eine große Rolle spielen. Das Stromnetz ist kein Speicher. Es muss immer genauso viel Strom in das Netz gespeist werden, wie aus der Steckdose entnommen wird. Jeder Stromversorger hat dafür schon Jahre vorher den größten Teil des Stroms gekauft, der an einem bestimmten Tag benötigt wird. Hat er zuviel oder zuwenig eingekauft, wendet er sich an die Strombörse, etwa in Leipzig. Hier werden Milliardenumsätze mit Strom gemacht. Genau wie an der Börse für Aktien ermitteln Computer aus Angebot und Nachfrage für jede Stunde des kommenden Tages einen eigenen Strompreis. Der kann schwanken, je nachdem wie knapp der Strom gerade ist. Wenn nun überraschend mehr Strom verbraucht wird, als ursprünglich geplant, muss der Betreiber des Stromnetzes schnell eingreifen. Vorsorglich hat er schon eine Reserve eingekauft – die Regelernergie. Sie wird zusätzlich ins Netz gespeist, damit die Bilanz ausgeglichen ist. Der Verkauf von Regelernergie ist in Deutschland ein Markt von rund einer Milliarde Euro.

Der Friede von Hattersheim

In Hattersheim ist der Stromstreit mittlerweile vorbei. Die Stadt und der Energieversorger arbeiten zusammen. Beide haben erkannt, dass sie voneinander profitieren können. Die Hattersheimer haben ihre Strominsel mit den großen Versorgern verbunden und das Neubaugebiet bekommt jetzt Strom und Wärme von seinem eigenen Kraftwerk. Das Arealnetz ist über einen Transformator mit der Leitung der Süwag verbunden. Das große Unternehmen deckt so den Bedarf zu Spitzenzeiten. Jetzt können die Stromproduzenten von Hattersheim mit ihrem System der Kraft-Wärme-Kopplung ausreichend und umweltfreundlich Energie liefern, die auch noch günstig ist. Die Stadt will deshalb weiterhin auf Blockheizkraftwerke setzen und überlegt jetzt sogar, ob sie demnächst das komplette Stromnetz von Hattersheim selbst betreiben soll. Denn ihr Fall zeigt, dass kleine, dezentrale Arealnetze im Geschäft der großen Stromversorger eine Chance haben.



Karin Schnick im Blockheizkraftwerk von Hattersheim

Spannung und Stromstärke

Elektrischer Strom entsteht, wenn sich Elektronen durch einen Leiter bewegen. Er wird durch die Einheiten Stromstärke und Spannung bestimmt. Die Stromstärke gibt dabei an, welche elektrische Ladung in einer bestimmten Zeit fließt: Je mehr Elektronen gleichzeitig fließen, desto höher ist die Stromstärke. Sie wird in **Ampère (A)** gemessen.

Dagegen gibt die Stromspannung an, wie groß der Unterschied der Ladungen zwischen zwei Punkten eines Leiters ist, zum Beispiel zwischen den beiden Polen einer Steckdose. Man kann sich die Spannung als „Druck“ oder „Kraft“ vorstellen, die auf die Ladungen wirkt – dabei entsteht eine Spannung immer aus dem Vergleich der Ladungsmengen an zwei verschiedenen Punkten. Die Spannung wird in **Volt (V)** gemessen.

Leistung

Elektronen, die durch den Glühfaden einer Glühlampe strömen, erzeugen Licht und Wärme. Mit anderen Worten: Sie verrichten Arbeit. Wie groß die Arbeit ist, die ein Strom in einer bestimmten Zeitspanne verrichten kann, gibt die Leistung an. Sie wird in **Watt** gemessen und ergibt sich als Produkt aus Spannung und Stromstärke. Für eine Glühlampe bedeutet die Leistung von 60 Watt: Bei einer Spannung von 230 Volt fließt ein Strom von rund 0,26 Ampère. Die Grundlage für die Stromrechnung, die das Elektrizitätswerk stellt, ist die Menge an Arbeit, die der Verbraucher bekommen hat. Um bei der 60-Watt-Lampe zu bleiben: Wenn sie 1.000 Stunden lang brennt, verbraucht sie 60 Kilowattstunden (kWh). Bei einem Strompreis von 4 Cent pro Kilowattstunde wären also 2,40 Euro fällig.

Gleichstrom

Gleichstrom fließt zum Beispiel in der Taschenlampe: Am Minuspol der Batterie herrscht ein Elektronenüberschuss, am Pluspol ein Mangel. Wird die Taschenlampe eingeschaltet, bewegen sich die Elektronen vom Minuspol zum Pluspol. Dabei passieren sie die Glühlampe und bringen sie zum Leuchten. Ein ständiger Strom von Elektronen fließt immer in dieselbe Richtung.

Wechselstrom

Beim Wechselstrom wechseln die Elektronen, anders als beim Gleichstrom, regelmäßig die Richtung. In unserem Stromnetz zum Beispiel 100 Mal in der Sekunde: 50 Mal in eine Richtung und 50 Mal in die Gegenrichtung. Daraus ergibt sich eine Frequenz von 50 Hertz. Der Vorteil von Wechselstrom gegenüber Gleichstrom besteht

darin, dass Leistungen mit wesentlich weniger Verlust übertragen werden können. Außerdem ist es mit Wechselstrom deutlich einfacher, Spannungen zu transformieren – zum Beispiel von der Hochspannungsleitung zum Niederspannungsnetz.

Höchst-, Hoch-, Mittel- und Niederspannung

Spannungen über 1 kV (1 Kilovolt = 1.000 Volt) bezeichnet man als Hochspannung. Je höher die Spannung ist, desto geringer sind die Energieverluste bei der Übertragung. Im Stromnetz gibt es deshalb verschiedene Ebenen, auf denen unterschiedlich hohe Spannungen übertragen werden:

Höchstspannung ist der Bereich zwischen 220 und 380 kV. Diese Spannungen liegen in den großen Überlandleitungen an, die regionale Stromversorger und große Industriebetriebe beliefern. Auch der Stromhandel mit dem Ausland läuft über diese großen Netze.

Hochspannung ist der Bereich zwischen 36 und 110 kV. Damit wird in regionalen Verteilungsnetzen gearbeitet. Kunden sind lokale Stromversorger und Industriebetriebe.

Mit **Mittelspannung** (6 bis 36 kV) werden die regionalen Verteilungsnetze betrieben, die Industrie und größere Gewerbebetriebe versorgen.

Niederspannung ist die unterste Ebene im Stromnetz, die mit 400 Volt betrieben wird. Diese Spannung kommt bei Haushalten, Gewerbe und Landwirtschaft an. Trafostationen, die in unmittelbarer Nähe der Wohngebiete stehen, wandeln die ankommende Spannung auf die haushaltsüblichen Werte um: 230 V (Einphasenwechselstrom) für Lampen, Föhn und Radio. 400 V – der Dreiphasenwechselstrom – für den Elektroherd.

Frequenz (50 Hertz)

Die Generatoren in den Kraftwerken müssen mit genau 50 Umdrehungen pro Sekunde rotieren. Der Wechselstrom durchläuft entsprechend 50 Mal seine komplette Phase. Wenn diese vorgegebene Frequenz nicht eingehalten wird, kommt es zu Problemen: Motoren, elektrische Uhren und Computer funktionieren nicht mehr richtig. Sinkt die Frequenz unter 47,5 Hertz, treten so genannte mechanische Resonanzschwingungen auf. Das würde die Generatoren im Kraftwerk zerstören. Damit das nicht passiert, schalten die Generatoren bei dieser Frequenz automatisch ab.

Wärmekraftwerk (Braunkohlekraftwerk, Steinkohlekraftwerk)

Die meist verbreitete Art, Strom zu gewinnen, besteht darin, irgend etwas zu verbrennen, mit der entstehenden Hitze Wasser aufzuheizen oder zu verdampfen und damit Turbinen anzutreiben, die wiederum über Generatoren Strom erzeugen. Unterschiede bestehen natürlich darin, welche Art von Brennstoff verwendet wird. Der in Deutschland am meisten verwendete fossile Brennstoff ist die Braunkohle, gefolgt von der Steinkohle. Aber auch Öl und Erdgas, ja sogar Biomasse und Restmüll werden verwendet, um über den Umweg der Wärmeerzeugung Strom zu produzieren. Die Nachteile bestehen zum einen darin, dass bei Wärmekraftwerken immer ein Teil der Energie als Abwärme ungenutzt verloren geht – die Wirkungsgrade können nicht viel über 40 % hinaus gehen. Außerdem werden mit den fossilen Energieträgern wie Erdöl, Steinkohle und Braunkohle Ressourcen benötigt, die nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen und irgendwann verbraucht sind. Bei der Verbrennung wird immer Kohlendioxid freigesetzt, das zum Treibhauseffekt beiträgt, und die Abgase müssen außerdem aufwendig von Verbrennungsrückständen gereinigt werden.

Gasturbinenkraftwerk

Gasturbinenkraftwerke, oder GuD-(Gas- und Dampf-)Kraftwerke kombinieren Gas- und Dampfturbinen, um zwei Verbrennungsprozesse hintereinander zu schalten. Zunächst erzeugen Gasturbinen Energie aus Erdgas. Die heißen Abgase daraus werden genutzt, um mit einer Dampfturbine einen weiteren Generator anzutreiben. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Anlage erhöht. Gasturbinenkraftwerke können sehr kurzfristig geregelt werden und eignen sich deshalb zur Abdeckung von Spitzenlasten.

Laufwasserkraftwerk

Die einfachste Form des Laufwasserkraftwerks ist das gute alte Mühlrad „am rauschenden Bach“: Die Energie des fließenden Wassers wird ausgenutzt und in eine andere Form umgesetzt. Moderne Laufwasserkraftwerke liegen an Flüssen und Stauseen. Mit Hilfe von Turbinen erzeugen sie Strom. Da die Flüsse ständig fließen, können die Laufwasserkraftwerke auch ständig Strom produzieren. Sie decken so einen Teil der Grundlast ab, in Deutschland tragen sie insgesamt rund 4 % zur Stromerzeugung bei.

Laufwasserkraftwerke haben eine sehr lange Lebensdauer und dabei relativ geringe Betriebskosten. Rund 100 Jahre lang kann so ein Laufwasserkraftwerk Strom produzieren und damit seine Investitionskosten bei weitem wieder amortisieren.



Pumpspeicherkraftwerke

Pumpspeicherkraftwerke nutzen die Energie des Wassers aus, das aus einem höhergelegenen Speichersee herunterfließt. Sie pumpen nachts, wenn wenig Strom verbraucht wird, mit elektrischen Pumpen Wasser in ein höhergelegenes Becken. Treten im Laufe des Tages kurzfristig Verbrauchsspitzen auf, kann dieses Wasser schnell wieder abgelassen werden und treibt dabei Turbinen an, die wiederum Strom produzieren. Pumpspeicherkraftwerke erzeugen streng genommen keinen Strom, sondern sie speichern ihn nur in Form von potentieller Energie ab. Dabei geht weniger als ein halbes Prozent der eingesetzten Energie verloren. Aber auch das Abpumpen ist wichtig für das Funktionieren des Stromnetzes: wenn insgesamt zu wenig Energie verbraucht wird, muss sie aus dem Netz herausgenommen werden, damit es nicht überlastet wird.

Windkraftwerke

Bei einem Windkraftwerk treibt der Wind riesige Rotoren an, die über einen Generator Strom erzeugen – völlig ohne fossile Brennstoffe zu verbrauchen und ohne klimaschädigendes Kohlendioxid in die Atmosphäre zu blasen. Der Anteil der Windenergie bei der Stromerzeugung hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Knapp 4 % des deutschen Stroms werden zur Zeit von Windrädern produziert, bis 2030 sollen es 25 % sein. Neue Anlagen können mit 130 Metern Rotordurchmesser bis zu 5 Megawatt Nennleistung erzeugen. Ab 2005/06 soll 40 bis 100 km vor der deutschen Küste mit der Errichtung der ersten seegestützten Windenergie-Anlagen begonnen werden.

Kernkraftwerke

Kernkraftwerke sind streng genommen, genauso wie Kohle- oder Gaskraftwerke, Wärmekraftwerke. Sie verdampfen Wasser, um damit eine Turbine anzutreiben. Das besondere ist hierbei der Brennstoff: Statt Erdöl oder Erdgas zu verbrennen, wird die Wärme genutzt, die bei der Kernspaltung entsteht. Dabei werden Urankerne durch Beschuss mit Neutronen in kleinere Kerne zerlegt, und es wird eine große Menge Energie in Form von Hitze frei. In den ausgebrannten Brennstäben finden aber noch weiter Zerfallsprozesse statt, der Atom Müll ist deshalb hoch radioaktiv. Die ungeklärte Frage, was mit diesem radioaktiven Abfall passieren soll, ist eines der Hauptargumente der Atomkraft-Gegner.

Zur Zeit sind in Deutschland 17 Kernkraftwerke in Betrieb, die etwa ein Viertel des deutschen Stroms produzieren. Nach einem Vertrag der Bundesregierung mit den Betreibergesellschaften soll das letzte deutsche Kernkraftwerk im Jahr 2020 abgeschaltet werden.



Grundlast

Die Grundlast ist die Menge Strom, die ständig verbraucht wird, unabhängig von allen Schwankungen, zum Beispiel durch die Straßenbeleuchtung, Industrieanlagen oder im Haushalt der Kühlschrank, der auch in der Nacht kühlt. Diese Grundlast wird vor allem von Braunkohle-, Kernkraft- und Laufwasserkraftwerken gedeckt. Auch Windenergieanlagen zieht man zur Deckung der Grundlast heran. Wichtig ist eine möglichst kostengünstige Stromproduktion. Kraftwerke, die die Grundlast abdecken brauchen sich nicht unbedingt spontan regeln zu lassen – bei Laufwasserkraftwerken und Kernkraftwerken ist das auch nur unter großem Aufwand möglich. Sie sollen einfach nur vor sich hin produzieren, möglichst gleichmäßig, möglichst zuverlässig und möglichst günstig. Für alles andere gibt es andere Lösungen.

Mittellast

Die üblichen Schwankungen im Tagesverlauf bezeichnet man als Mittellast: Regelmäßige Abweichungen im Stromverbrauch, die sich im Tages-, Wochen- und Jahresrhythmus wiederholen. Sie werden vor allem von Steinkohle-Kraftwerken aufgefangen. Diese Kraftwerke lassen sich leichter regeln als die Grundlastkraftwerke, produzieren aber zu höheren Kosten. Ihr Vorteil: man kann von vornherein einen Plan aufstellen, wann das Werk welche Last zu liefern hat. Erfahrungsgemäß wird zum Beispiel um die Mittagszeit am meisten Strom verbraucht. Darauf können sich die Betreiber von Steinkohlekraftwerken aber einstellen, sie fahren dann die Produktion hoch.

Spitzenlast

Zusätzlich zu den Mittellasten treten immer wieder auch außergewöhnliche Verbrauchsspitzen auf. Das kann zum Beispiel die Fußballübertragung im Fernsehen sein oder auch der Ausfall eines Kraftwerkes. Dann kommt es darauf an, dass in Sekundenschnelle gewaltige zusätzliche Kapazitäten bereitgestellt werden. In solchen Fällen müssen so genannte Spitzenlastkraftwerke in Aktion treten, das sind vor allem Gasturbinenkraftwerke und Pumpspeicherwerke. Jetzt kommt es auf schnelles Handeln an, und das hat seinen Preis: An Strombörsen können auch schon mal 100 Euro für eine einzige Kilowattstunde gehandelt werden.

Zentrale und dezentrale Stromversorgung

In Deutschland liegt eine überwiegend zentrale Stromversorgung vor. Wenige Großkraftwerke, z.B. Kohle- oder Atomkraftwerke, die außerhalb der Wohngebiete liegen, produzieren große Strommengen. über Hochspannungsleitungen muss der Strom dann in die Städte und Industrieanlagen transportiert werden. Dagegen wird die dezentrale Stromversorgung über mehrere kleine Kraftwerke, z.B. Blockheizkraftwerke, geregelt. Diese stehen dann direkt an den Verbrauchsorten.



Linktipps

Regelenergie

Normalerweise kann der Stromverbrauch einer Region für einen bestimmten Zeitpunkt ziemlich präzise vorhergesagt werden. Unvorhergesehene Schwankungen zwischen der Produktion und dem Verbrauch des Stroms müssen dann sehr kurzfristig ausgeglichen werden. Dies geschieht mit der so genannten Regelenergie. Das virtuelle Kraftwerk der STEAG-Saar Energie AG schaltet kleinere und größere Kraftwerke, die über Reservekapazitäten verfügen, bei Bedarf zu einem einzigen, virtuellen Kraftwerksblock zusammen. Damit kann kurzfristiger Mehrbedarf an Strom gedeckt werden.

Lesetipps

Elektrische Energieversorgung

Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis

Autoren: Klaus Heuck, Klaus-Dieter Dettmann
Verlagsangaben: Verlag Vieweg 2005, ISBN 3-528-58547-1
Sonstiges: Preis 49,90 Euro, mit 587 Abbildungen,
31 Tabellen und 75 Aufgaben mit Lösungen

Ein Lehr- und Übungsbuch, das Grundlagen zum Thema Strom vermittelt. Allerdings etwas anspruchsvoll, es wendet sich an Studierende an Hochschulen oder Jungingenieure beim Einstieg in die berufliche Praxis. Es umfasst daher die gesamte Breite der elektrischen Energieversorgung bis hin zu den Verbrauchern.

„Jahrbuch der europäischen Energie- und Rohstoffwirtschaft 2005“

Herausgeber: Dr. Ing. Georg Schöning
Verlagsangaben: Verlag Glückauf, ISBN 3-7739-1325-7
Sonstiges: 927 Seiten, Preis 188 Euro inklusive CD-ROM

Nachschlagewerk mit vielen Informationen und Karten rund um das Thema Energie. Auf der zugehörigen CD-ROM ist der komplette Inhalt des Jahrbuchs als Datenbank mit Such- und Exportfunktionen und mit den erweiterten Tabellen im Excel-Format enthalten. Außerdem gibt es umfangreiches Datenmaterial im PDF-Format.

Praxiswissen aktuell – Energiemarkt Deutschland

Autor: Hans-Wilhelm Schiffer
Verlag: TÜV-Verlag, Köln 2002

Das Buch vermittelt durch Fakten und Zusammenhänge einen Überblick von der deutschen Energiewirtschaft. Die Daten zur Kennzeichnung der Energiemärkte sind in Tabellen und Abbildungen anschaulich aufbereitet.

ZU: WENN DIE LICHTER AUSGEHEN: STROMAUSFALL

Abschlussbericht des europäischen Netzverbund UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) zum Blackout in Italien als PDF-File.
www.ucte.org/pdf/News/20040427_UCTE_IC_Final_report.pdf

Deutsche Kurzfassung des Abschlussberichts
www.vdn-berlin.de/blackout_i.asp

ZU: DAS STROMNETZ IN DEUTSCHLAND

Mehr Informationen zum Stromnetzwerk in Deutschland gibt es beim Verband der Netzbetreiber (VDN), als PDF-Datei.
<http://www.vdnberlin.de/global/downloads/Publikationen/DatenFakten/Daten+Fakten2005.pdf>

ZU: EDISON UND DER STROMKRIEG

Ausführliche Schilderung des Stromkriegs mit allen Nebenschauplätzen, Nebenfiguren und vielen Querverweisen.
<http://www.zdf.de/ZDFde/Inhalt/1/0,1872,2151297,00.html>

ZU: EIN TAG IM LEBEN EINES STROMVERBRAUCHERS

Statistiken über den täglichen, wöchentlichen und jährlichen Stromverbrauch in den Ländern des westeuropäischen Verbundnetzes.
www.ucte.org/statistics/onlineData/consumption/e_default.asp

Aktion "No Energy" des Umweltbundesamtes mit Informationen über versteckten Stromverbrauch durch Standby-Geräte und elektrische Geräte, die sogar im ausgeschalteten Zustand noch Energie verbrauchen oder sich gar nicht ausschalten lassen. <http://www.no-e.de/>

„Stromklau nein danke! - Informationen zum Thema Leerlaufverluste“ vom Umweltbundesamt und der Zeitschrift „PC Welt“, als PDF-Datei.
<http://www.umweltbundesamt.de/leerlauf/neues/Energiesparen.pdf>

Ratgeber: Energiesparen im Haushalt - Tipps und Informationen zum richtigen Umgang mit Energie Ausgabe Juli 2004, PDF-Datei.
<http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/188.pdf>

ZU: HATTERSHEIM UND DAS STROMKARTELL

European Energy Exchange, die Strombörse in Leipzig
www.eex.de