

# Energie auf Tour

Lehrerinformationsbroschüre

Vorwort.....	2
Über „Energie auf Tour“ .....	2
Was ist Energie?.....	6
Erzeugung elektrischer Energie .....	11
Die Energiewende .....	29
Das zukünftige Stromnetz .....	30
Die Ausstellung.....	31
Ausbildungsberufe im Energiesektor .....	39
Veranstalter der „Energie auf Tour“ .....	40
Sponsor .....	40
Kontakt.....	40
Anhang.....	42

## Vorwort

Die Art und Weise wie die Menschheit heute Energie erzeugt ist mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden. Die bisherige Energieerzeugung war nicht effizient genug und in den meisten Fällen auch nicht nachhaltig. Eine nachhaltige, ausreichende und zuverlässige Versorgung mit Energie ist jedoch für jede Gesellschaft eine zentrale Voraussetzung für eine sichere, umweltverträgliche und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft. Deutschland hat daher die Energiewende beschlossen. Das Unglück im Atomkraftwerk Fukushima gab dazu schlussendlich den Ausschlag, aber die globalen Klimaveränderungen, die große Abhängigkeit von ausländischen Energielieferanten und die Begrenztheit der fossilen und atomaren Energieträgern machen eine zukunftsfähige Umgestaltung unserer Energieversorgung notwendig.

Während in der Verwaltung, den Energieversorgern, Unternehmen und Forschungseinrichtungen schon emsig an Konzeptionen für die zukünftige Versorgung mit Energie arbeiten, ist das Thema „Energiewende“ in den Schulen kaum angekommen. Doch gerade die Generation der heutigen Schülerinnen und Schüler werden in wenigen Jahren eine vollständige Veränderung der Energie- und Stromversorgung in unserem Land erfahren. Die mit den Veränderungen einhergehenden Veränderungen im Berufsleben und in der Berufsausbildung bieten große Chancen für die jungen Menschen von heute.

Mit der „Energie auf Tour“ möchte der Förderverein Science & Technologie e.V. mit Unterstützung der EnBW Energie Baden-Württemberg das Thema auf unterhaltsame und interessante Weise in die Schulen bringen. Das didaktische Konzept des Projekts beabsichtigt eine aktive Beteiligung der Schülerinnen und Schüler.

Diese Handreichung ist für Lehrkräfte aller allgemeinbildenden Schulen gedacht. Sie soll den Lehrerinnen und Lehrern sowohl fachliche als auch didaktisch-methodische Impulse geben, um das Thema „Energiewende“ im Unterricht weiter vertiefen zu können. Eine thematische Spezifizierung auf bestimmte Schularten oder Unterrichtsfächer ist an dieser Stelle jedoch nicht vorgesehen.

Während der Veranstaltung ist leider nicht so viel Zeit gegeben, um alle Experimente mit ihrer ganzen Bandbreite durchführen zu können. Die Inhalte dieser Broschüre gehen daher weit über die zweistündige Wissenschaftsshow „Energie auf Tour“ hinaus. Die detaillierte Darstellung der Experimente in dieser Handreichung soll Anregungen geben, den einen oder anderen Versuch im eigenen Unterricht noch zu ergänzen.

Diese Handreichung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Einem Leser mag sie zu umfangreich sein, dem andern wiederum vielleicht an manchen Stellen zu kurz. Wer mehr wissen will, kann viele Informationsquellen nutzen, die es im Internet zu finden gibt. Einige Empfehlungen werden wir in dieser Handreichung nennen.

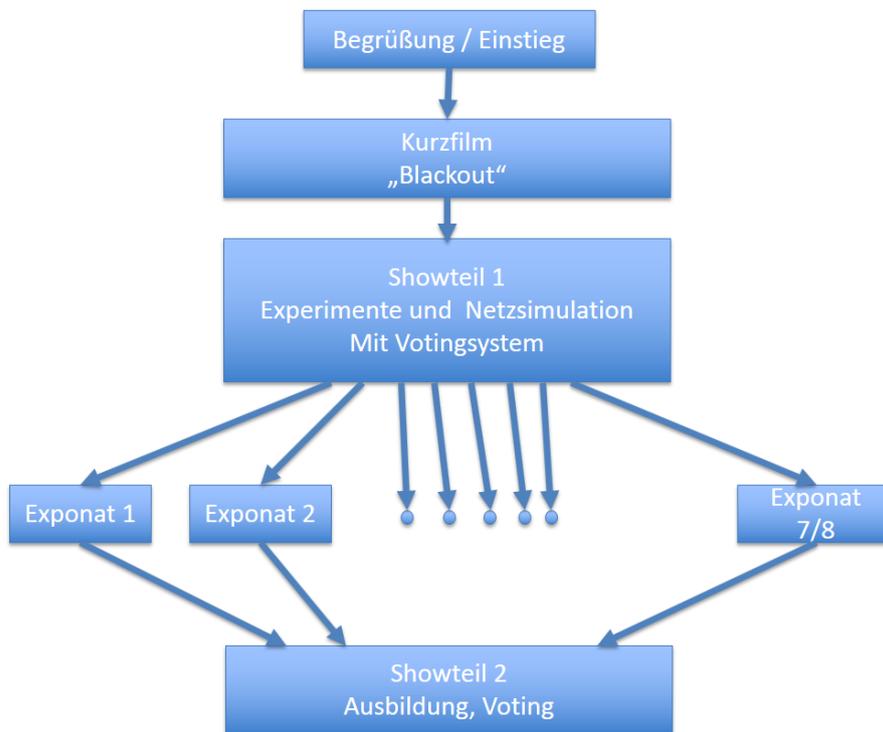
## Über „Energie auf Tour“

Mit dem Projekt „Energie auf Tour“ möchten wir Schülerinnen und Schüler altersgerechte, interessante und motivierende Einblicke in die derzeitige und zukünftige Energieversorgung anbieten, die auch die vielfältigen Möglichkeiten einer beruflichen Ausbildung in diesem Bereich aufzeigen. Dabei werden so manche Bezüge zu den Bildungsplänen der allgemeinbildenden Schulen hergestellt.



Moderne Methoden der Didaktik, wie der Einsatz von elektronischen Abstimmungssystemen oder dem Experimentieren an interaktiven Stationen sowie der sinnvolle, behutsame Einsatz von Medien wird Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler faszinieren.

Die Veranstaltung gliedert sich grob in die folgenden Blöcke:



## Einführung



Die Schülerinnen und Schüler sollen auf die Bedeutung der Versorgung mit elektrischem Strom aufmerksam gemacht werden. Mit einem Animationsfilm werden aus der Sicht eines jungen Mädchens die möglichen Folgen des Ausfalls unseres Stromnetzes dargestellt.

Diese Auswirkungen verschärfen die Lebensumstände des Mädchens von Stunde zu Stunde. Immer mehr Aspekte des Notfalls kommen hinzu.

Die bei einem längeren Stromausfall entstehenden Folgen wirken sich in allen Bereichen unseres gesellschaftlichen Lebens aus. Kurze Ausfälle der Versorgung mit elektrischer Energie führen in der Regel nicht zu gravierenden Auswirkungen, weil wichtige Institutionen die Stromversorgung durch Notstromaggregate eine Weile selbst aufrechterhalten können. Kommt es jedoch zu längeren, mehrtägigen Ausfällen, müssen Notfallpläne zum Einsatz kommen.

Die z.T. gravierenden Folgen für die Bevölkerung werden anhand dieser Auflistung deutlich:

- liegengebliebene Bahnen, S- und U-Bahnen
- feststehende Aufzüge
- Ausfall der Wasserversorgung und -entsorgung (Trinkwasser, Hygiene)
- Ausfall von Heizungsanlagen zu Hause
- Ausfall von Gebäudetechnik im privaten, öffentlichen und gewerblichen Bereich
- Ausfall von Kühlanlagen im privaten und gewerblichen Umfeld
- Auswirkungen auf die Lebensmittelversorgung
- Einschränkungen bei der Versorgung mit Medikamenten
- medizinische Versorgung wird knapper, Krankenhäuser können nur wenige Tage die Versorgung gewährleisten, Einschränkungen bei Operationen und der Versorgung von Akutkranken und Säuglingen
- Einschränkungen bei der Lebensmittelzubereitung
- Ausfall von Beleuchtungsanlagen
- Bargeld ist nicht mehr in vollem Umfang verfügbar
- Kreditkarten werden nicht mehr akzeptiert
- Ausfall des Mobilfunknetzes und des Internets
- Staus auf den Straßen, liegen gebliebene Fahrzeuge  
- usw.



## Experimentalshow

Ausgehend vom Eingangsfilm wird die Frage aufgeworfen, wie das derzeitige Stromnetz funktioniert und unter welchen Umständen es zu Störungen kommen kann. Bei höheren Klassenstufen wird z.T. auch auf die Frequenzstabilität eingegangen.

Zwischendurch können die Schülerinnen und Schüler mit einem Votingsystem gestellte Fragen beantworten, ihre Meinung äußern und Einschätzungen abgeben.

Mit einer Grafik wird dargestellt, über welche Spannungsebenen das öffentliche Stromnetz verfügt und wie die elektrische Energie im ganzen Land verteilt wird. In diesem Zusammenhang wird auch auf die verschiedenen Kraftwerkstypen und die Kraftwerksebenen (Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerke) eingegangen.

Abbildung siehe Anhang 1.

Der Transport der elektrischen Energie mittels Hochspannungsleitung wird in einem weiteren Experiment vorgestellt. Hierzu werden zwei Modell-Hochspannungsmasten verwendet und mit einem eingebauten Widerstand eine 200 km lange Stromtrasse simuliert. Zu Beginn soll ohne Hochspannung eine Lampe mit einem 12 Volt – Netzgerät betrieben werden. Wegen des hohen Leitungswiderstandes reicht die Spannung an der Lampe nicht aus.

Nun werden zwei Hochspannungstransformatoren in den Stromkreis eingebaut und die Übertragungsspannung (ca. 1.000 V) mit einem großen Demonstrationsmessgerät dargestellt. Nun leuchtet die Lampe deutlich auf.

Das Experiment zeigt also eindrücklich, dass die Übertragung von elektrischer Energie ohne Hochspannung zu hohe Verluste erzeugt.

Die oberste Spannungsebene im öffentlichen Stromnetz verfügt über eine Spannung von 380.000 V. Diese Spannung ist lebensgefährlich. Dennoch ist die Spannung allein kein Maßstab für die Gefährlichkeit des elektrischen Stroms. Dies wird mit einem Van-de-Graaff-Generator nachgewiesen, mit dem eine Schülerin oder ein Schüler auf ca. 330.000 Volt aufgeladen wird. Der Effekt, dass sich die Haare aufstellen, wird zu diesem Zeitpunkt aus dramaturgischen Gründen eingesetzt. Trotz der vergleichbar hohen Spannung ist dieses Experiment völlig ungefährlich, weil es sich hier um statische Elektrizität handelt und keine nennenswerte Stromstärke fließt (Spannung und Stromstärke wird von Schülern sehr oft nicht unterschieden). Auch handelt es sich hier nicht um eine Wechselspannung, weil die Polarität bestehen bleiben.



Die Gefährlichkeit des fließenden, elektrischen Stroms hängt neben der Höhe der Spannung u.a. von der Frequenz ab. Sehr hohe Frequenzen über 100 kHz führen im Körper zu keiner Nervenreizung mehr. Es kann dann aber dennoch zu Schädigungen des menschlichen Körpers kommen, wenn die Stromstärke zu einer thermischen Belastung führt. Entscheidend für die Folgen eines Stromunfalls ist auch die Einwirkzeit auf den Körper.

Um das Stromversorgungsnetz verstehen zu können, muss auf die verschiedenen Lastzustände in Abhängigkeit von Tageszeit, Jahreszeit usw. eingegangen werden. Wie wichtig die automatisierte Regelung von Kraftwerkskapazitäten ist und welche Kraftwerke eingesetzt werden, wird mit einem spielerischen Ansatz vermittelt. Eine hierfür zu entwickelnde einfache Spielsoftware, die von den Schülern während der Show und später in der Aktionsphase selbst bedient werden kann, funktioniert folgendermaßen:



- Das Programm zeigt einen typischen Lastverlauf an einem Tag. In einer fiktiven Landschaft sind verschiedene Kraftwerke und Verbraucher zu sehen.

Zwei Schülerinnen bzw. Schüler, die jeweils für ein Mittellast- oder Spitzenlastkraftwerk zuständig sind, müssen nun mit einer Spielekonsole per Tastenanschlag die erforderlichen Leistungen bereitstellen. Wenn die Lastkurve unterschritten wird, fällt in einigen Teilbereichen die Stromversorgung aus. Da sich der Energieverbrauch über den Tag hin ständig ändert, ist die Steuerung des Stromversorgungsnetzes eine spielerische Herausforderung.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler nun das bisherige Stromnetz kennengelernt haben, wird mit einem Animationsfilm auf die Veränderungen unserer Energieversorgung im Rahmen der Energiewende eingegangen. An dieser Stelle wird auch die Konzeption von Smart Grids, also von intelligenten Stromnetzen hingewiesen (siehe Kap. Xxx).

## Was ist Energie?

Energie ist eine der wichtigsten Strukturbegriffe der Physik. Energie ist eine Größe, die notwendig ist, bestimmte Eigenschaften eines Systems zu verändern. In der Wissenschaft versuchte man in den vergangenen Jahrhunderten immer wieder, den Energiebegriff zu erklären. Noch im 19. Jahrhundert wurde Energie oft mit Kraft gleichgesetzt. Erst William Thomson („Lord Kelvin“) und William Rankine gelang es, eine allgemeingültige Erklärung des Begriffs herbeizuführen. Albert Einstein, der in der speziellen Relativitätstheorie die Äquivalenz von Energie und Masse begründete, hat den Energiebegriff entscheidend geprägt.

Da Energie an sich als Begriff nicht wirklich erklärbar ist, hat es sich als hilfreich erwiesen, Energie anhand von Beispielen zu erklären, in denen Energie umgewandelt wird.

Die wichtigen Grundlagen zum Energiebegriff lauten:



Es gilt der Energieerhaltungssatz:  
Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System ändert sich mit der Zeit nicht.

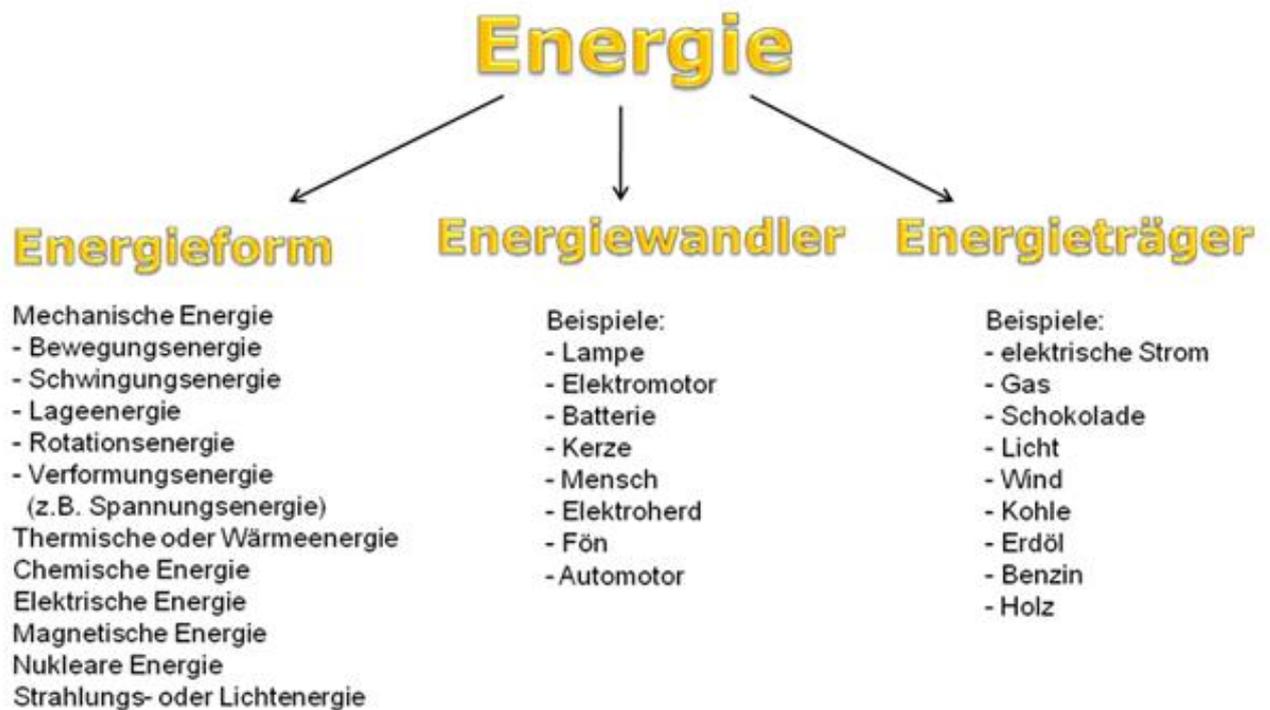


Es ist nicht möglich, Energie zu vernichten oder zu erzeugen. Energie kann nur umgewandelt werden.



Umgangssprachlich spricht man von Energieverlust, wenn ein Teil der Energie der weiteren Nutzung verloren geht. Dennoch bleibt die Energie insgesamt erhalten.

Bei Energieumwandlungsprozessen sind Energiewandler wirksam, die eine Energieform in eine oder mehrere andere umwandeln. Die Energie benötigt einen Energieträger, in dem sie gespeichert oder mit dem sie transportiert wird.



## Eigenschaften von Energie

- Energie ist eine mengenartige Größe!  
Daher können die Energieträger wie Gas, Öl, Benzin und elektrischer Strom mengenartig abgerechnet werden.
- Energie wird nicht verbraucht, sondern nur in andere, oft nicht mehr nutzbare Energieformen umgeformt.
- Energie „strömt“ von einer Quelle zu einem „Verbraucher“ (dieser verbraucht die Energie im engeren Sinne gar nicht, sondern setzt sie nur in eine Energieform um, die nicht oder nur zum Teil weitergenutzt werden kann)
- Jede Energieform benötigt einen Energieträger, um transportiert werden zu können.

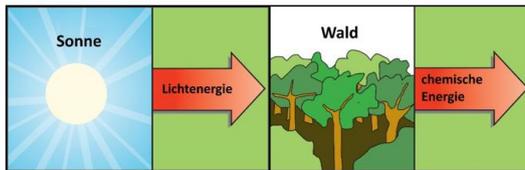
### Beispiele:

Energieträger	Einfließende Energieform	Energiewandler	Wegfließende Energieform	Energieträger
elektrischer Strom	elektrische Energie	Bügeleisen 	Wärmeenergie	Metallplatte (Laufsohle)
Erdgas	chemische Energie	Gaszentralheizung 	Wärmeenergie	Wasser
Licht	Lichtenergie	Solarzelle 	elektrische Energie Wärme)*	elektrischer Strom

Eine Energieumwandlung ist in der Regel immer Teil einer Umwandlungskette. Energie fließt oder wird zeitweise gespeichert.

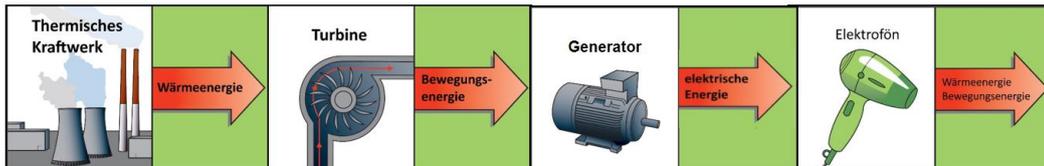
## Energieflussdiagramme

Dies kann man anhand von Energieflussdiagrammen darstellen, wie hier z.B. bei der Erzeugung von elektrischer Energie aus fossilen Brennstoffen:

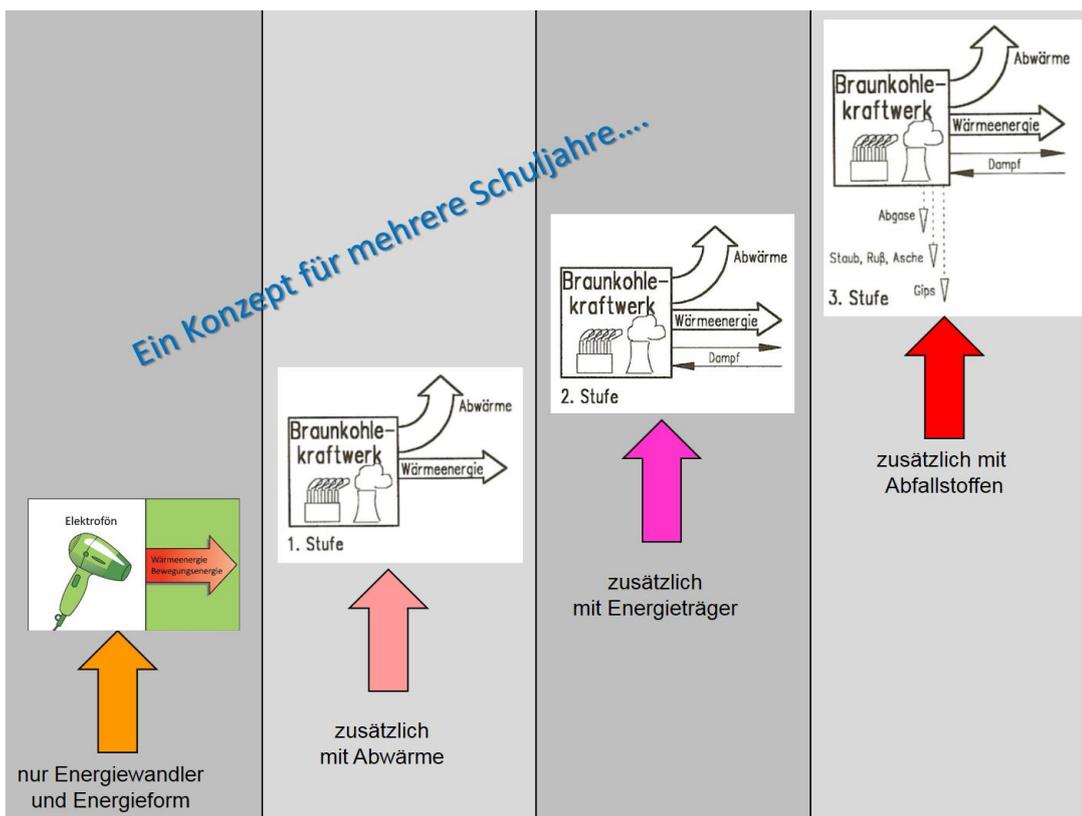


daraus wird z.B. Kohle.....

ca. 350 Mio Jahre später .....



Solche Energieflussdiagramme können und sollten in den verschiedenen Schulfächern eingesetzt werden, um den Schüler ein grundsätzliches Verständnis der Energieflüsse zu vermitteln. Je nach Klassenstufe und Schultart können die Diagramme ergänzt werden:



Einheiten der Energie:

- Bei elektrischer Energie gilt als Energieeinheit die Kilowattstunde  
1 kWh = 1.000 Wattstunden

1 kWh wird benötigt, wenn man einen Fön mit 1000 W Leistung genau eine Stunde betreibt.

- Bei mechanischer Energie gilt als Energieeinheit das Nm (Newtonmeter)  
1 Nm  
Wenn man eine Tafel Schokolade (Masse 100 g) um einen Meter hochheben will, benötigt man 1 Nm Energie (das Gewicht von 100 g im Normalgravitationsfeld ist ein 1 Newton)
- Bei chemischer Energie gilt als Energieeinheit das J (Joule)  
100 g Schokolade hat einen Energiegehalt von ca. 2.200 kJ (=2.200.000 J).

### *Elektrische Energie und Leistung*

**Die elektrische Leistung** ist ein Maß dafür, wie viel elektrische Energie pro Zeiteinheit eingesetzt oder umgewandelt wird. Die Einheit der elektrischen Leistung ist das Watt,  $1 \text{ W} = 1 \text{ VA} = 1 \text{ J/s}$

Man unterscheidet zwischen

- der Wirkleistung (der tatsächlich umgesetzten Energie pro Zeitspanne in Watt. Sie kommt schlussendlich beim Verbraucher an)
- der Blindleistung (eine unerwünschte und nicht nutzbare Energie pro Zeit in Var). Sie entsteht dadurch, dass beim Wechselstrom das bei der Erzeugung des Stroms in Generatoren entstehende Magnetfeld ständig auf- und abgebaut wird. Da beim Abbau des Magnetfelds wieder Leistung ins Netz zurückgegeben wird, bezeichnet man diese Leistung als Blindleistung. Sie kann nicht genutzt werden, ist aber für die Erzeugung der Spannung notwendig.
- der Scheinleistung (auch Anschlussleistung genannt in  $V \cdot A$ ). Sie ist die Gesamtleistung von Wirk- und Blindleistung.

### *Liste von Leistungswerten von elektrischen Geräten*

LED-Lampen: 8 Watt  
Laptop: 80 Watt  
Gefrierschrank: 150 Watt  
TV Flachbildschirm: 150 Watt  
PC: 200 Watt  
Abzugshaube: 120 – 210 Watt  
Mikrowelle: 1000 Watt  
Fön: 1.000 Watt  
Wasserkocher: 2.000 Watt  
Waschmaschine: 2.000 Watt  
Staubsauger: 2.000 Watt  
Wäschetrockner: 3.000 Watt  
Geschirrspülmaschine: 2.300 Watt  
Herd: 3.000 Watt

## Liste von Kraftwerksleistungen

Kraftwerksstandort	Energieträger	Elektrische Bruttoleistung in MW
Altbach/Deizisau	Steinkohle/Öl/Erdgase	1270
Heilbronn	Steinkohle	1130
Heizkraftwerk Karlsruhe	Erdgas	37
Kehl	Biomasse	48

## Erzeugung elektrischer Energie

### *Kraftwerkstypen*

#### *a. Wasserkraftwerk*

Bei den erneuerbaren Energien spielt die Energie aus Wasserkraft weltweit die bedeutendste Rolle. Sie ist weitestgehend von natürlichen Tagesschwankungen unabhängig. Auch Deutschland verfügt über einige Wasserkraftwerke. Mit Ausnahme des Verbrauchs an Flächen und der Emissionen in der Phase der Anlagenerrichtung ist diese Form der Energieerzeugung sehr umweltfreundlich, weil bei der Stromerzeugung keine Emission von CO<sub>2</sub> stattfindet, keine schädlichen Rückstände in die Umwelt gelangen, kein Verbrauch wertvoller Rohstoffe erfolgt und – im Vergleich zu anderen Kraftwerken – wenig Eingriffe in die natürliche Umwelt notwendig sind.

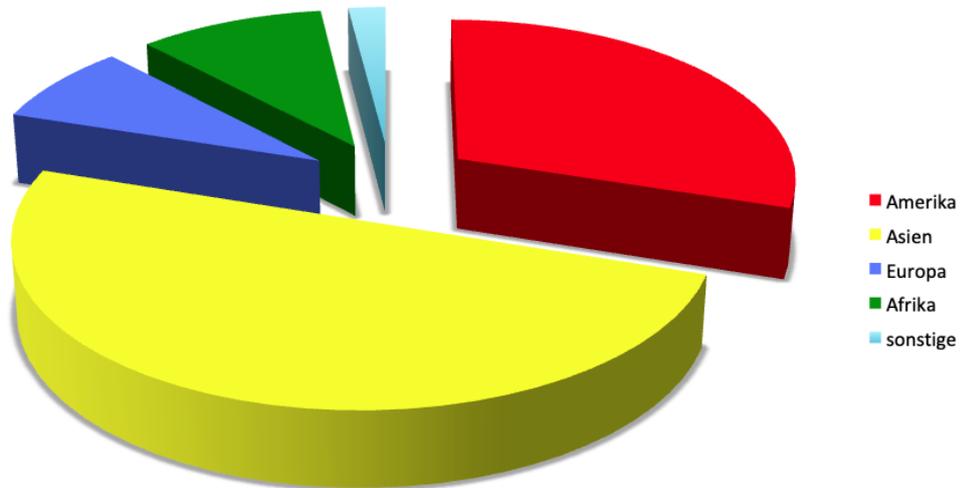
Eine Vielzahl von Gründen sprechen für den Energieträger Wasser:

- geringe Betriebskosten
- sehr lange Lebensdauer
- hohe Betriebssicherheit
- geringer Wartungsaufwand
- ausgereifte Technik
- höchster Erntefaktor aller regenerativen Energien

Unter allen Arten der Energieerzeugung nimmt die Wasserkraft mit Wirkungsgraden von bis zu 85% den besten Platz ein.

Leider werden weltweit erst ca. 22% der technisch nutzbaren Potentiale der Wasserkraft genutzt.

Die weltweite Produktion von erneuerbaren Energien aus Wasserkraft ist sehr ungleich verteilt:



Man unterscheidet die folgenden Kraftwerkstypen voneinander:

- Laufwasserkraftwerke (sie nutzen fließendes Wasser eines Flusses, können jedoch keine Energie speichern)
- Speicherkraftwerke (Wasser wird in einer höheren Lage gespeichert und beim Ablassen durch Turbinen geschickt)
- Pumpspeicherkraftwerke (eine besondere Form der Speicherkraftwerke, die in der Lage sind, Energie zu speichern, indem man Wasser nachts wieder auf das höhere Reservoir pumpt)
- Ausleitungskraftwerke (von einem Fluss wird eine bestimmte Wassermenge ausgeleitet)
- Gezeitenkraftwerke (sie nutzen an Küsten die Wasserströmungen aus, die durch die Gezeiten wie Ebbe und Flut erzeugt werden)
- Meeresströmungskraftwerke (sie befinden sich im Meer an Stellen, an denen besonders starke Strömungen vorhanden sind)
- Wellenkraftwerke (sie nutzen die Energie von Meereswellen zur Stromerzeugung)

Ca. 80% der durch Wasserkraft erzeugten elektrischen Energie in Deutschland wird in Baden-Württemberg und in Bayern erzeugt. Vorwiegend handelt es sich da um Laufwasserkraftwerken. Die Wasserkraftwerke lieferten im Jahr 2015 19,3 Terrawatt elektrische Leistung in das deutsche Stromnetz. Das entsprach einem Anteil von 3,2 % an der gesamten Produktion von elektrischer Energie.

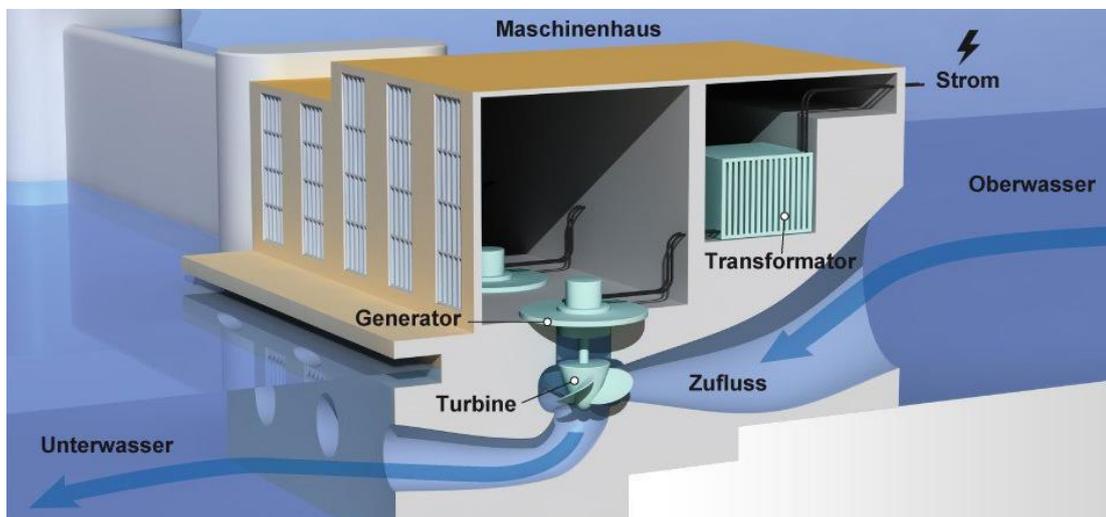
Die erneuerbaren Energien insgesamt hatten einen Anteil von 32,6% am Strommix.

Der folgende Text stellt die Funktionsweise der zwei wichtigsten Wasserkraftwerke vor, des Fluss- bzw. Laufwasserkraftwerks und des Pumpspeicherkraftwerks.

### A Laufwasserkraftwerke:

---

Laufwasserkraftwerke nutzen die kinetische Energie eines Flusses, um sie in elektrische Energie umzuwandeln. Durch den Wasserkreislauf in der Atmosphäre (Verdunstung – Wolkenbildung – Regen), wird laufend Wasser von einem niedrigen Höhengiveau (Meeresspiegel) auf ein höheres Niveau (Hochland, Berge etc.) transportiert. Durch kleine Rinnsale und Bäche bilden sich Flüsse, die große Mengen Wasser mit sich führen. Durch ein Wehr (ein Damm) wird das Wasser gestaut, so dass der Höhenunterschied zwischen dem Oberwasser und dem Unterwasser zwischen 3 und 30 m beträgt. Das Wasser, das durch die Fließbewegung des Flusses schon kinetische Energie besitzt, bekommt nun zusätzlich potentielle Energie durch das schnelle Fallen im Zuflusskanal (water inflow). Das Wasser tritt in die Turbine ein (in diesem Fall eine Kaplan-Turbine) und versetzt sie in Drehung. Die Turbine wiederum ist mit einem Generator verbunden, der – ähnlich wie ein Fahrraddynamo – nun elektrischen Strom erzeugt. Um stets einen konstanten Zufluss für die Turbine zu gewährleisten, wird ein Teil des Flusswassers über ein Wehr geführt, dessen Höhe man individuell einstellen kann. So ist sichergestellt, dass die Turbine immer die gleiche Drehgeschwindigkeit hat und der erzeugte Strom eine konstante elektrische Spannung und eine konstante Frequenz aufweist.



(Quelle: Energieagentur NRW)



Das Rheinkraftwerk Rheinfelden (Quelle: EnBW)

Leider können an einem Fluss nicht beliebig viele Laufwasserkraftwerke errichtet werden, weil dadurch die Fließgeschwindigkeit des Flusses stark reduziert wird und das Gewässer im Laufe der Zeit stark versandet, weil sich Sedimente schneller auf dem Grund absetzen können.

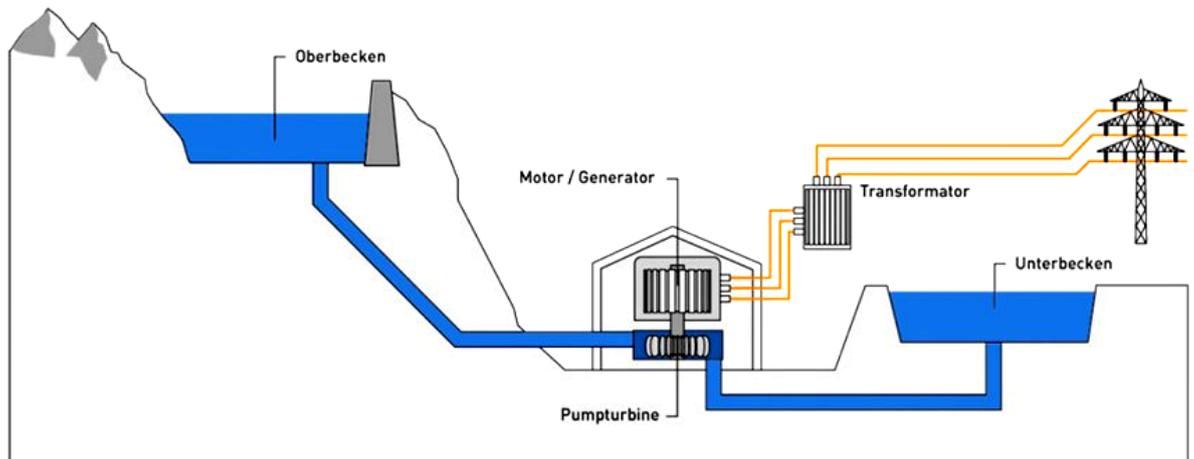
### B Pumpspeicherkraftwerke:

---

Eine versorgungssichere Produktion von elektrischem Strom ist auf Kraftwerke angewiesen, die kurzfristig Energie bereitstellen oder sogar speichern können. Siehe auch „Lastkurve“. Pumpspeicherkraftwerke sind besonders effiziente Kraftwerke, um die täglichen Spitzenlasten abzudecken.

Und so funktionieren diese Kraftwerke:

Pumpspeicherkraftwerke bestehen aus zwei Speicherseen, einem oberen und einem unteren Reservoir. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Speicherseen sollte möglichst groß sein, um viel Energie speichern zu können.



Schema eines Pumpspeicherkraftwerks (Quelle: EnBW)

Ist der obere Speichersee gefüllt, kann Wasser durch lange Rohre hindurch fallen und in eine Turbine geleitet werden. Die Turbine, die durch den Wasserstrom in Drehung versetzt wird, treibt selbst wiederum einen Generator an, mit dem Strom erzeugt werden kann, der in das Stromversorgungsnetz eingespeist wird. In Zeiten, in denen zusätzlich elektrische Energie benötigt wird, wird das Wasser also vom oberen Speichersee in den unteren abgelassen. Energetische gesprochen, wird zu Beginn die potentielle Energie (Höhenenergie) des Wassers in kinetische Energie umgewandelt, um sie über die Turbine dann im Generator in elektrische Energie umzuwandeln. Später wird die elektrische Energie, die in anderen Kraftwerken anfällt und nicht genutzt werden kann, in Bewegungsenergie umgewandelt, um dem hochgepumpten Wasser wieder potentielle Energie zuzuführen.

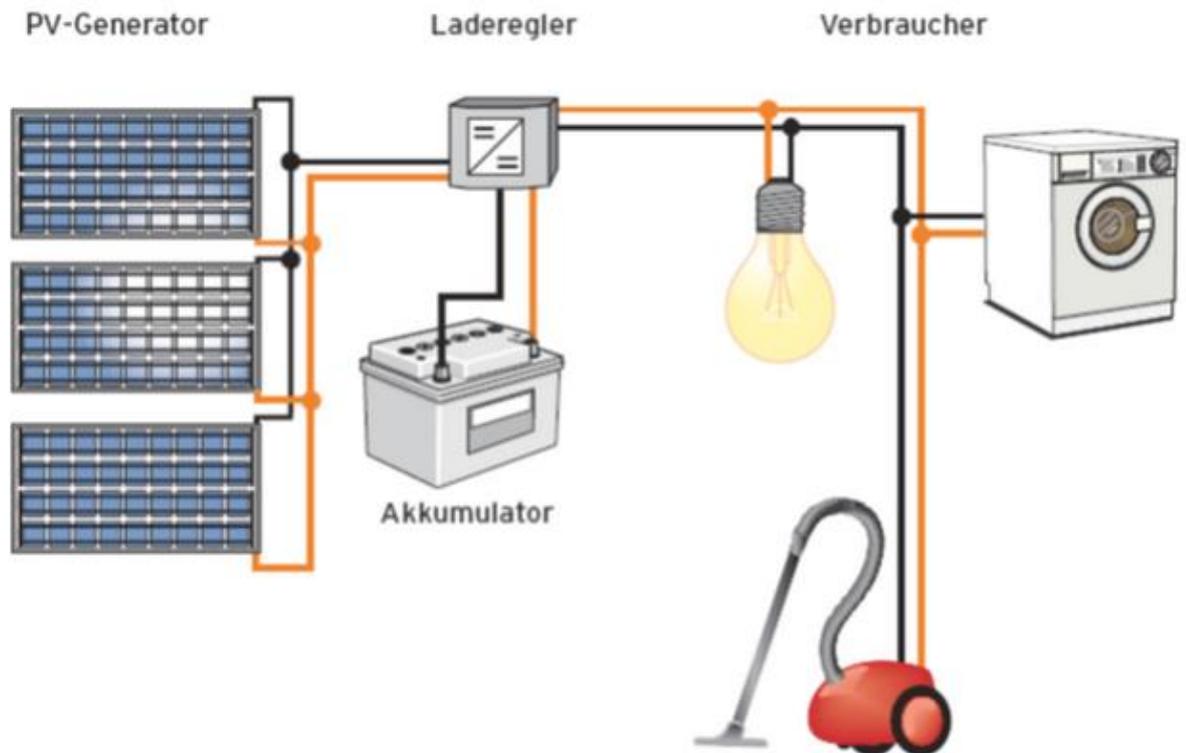
### Photovoltaikanlagen und Solarzellen

Photovoltaikanlagen wandeln die Lichtenergie der Sonne in elektrische Energie um. Man unterscheidet zwischen zwei verschiedenen Anlagentypen:

#### a. *Insellösung*

Photovoltaikanlagen, die weitab von Stromnetzen oder mobil eingesetzt werden müssen, werden Inselanlagen genannt. Betreibern dieser Anlagen ist es aus Gründen der Versorgungssicherheit oder der Wirtschaftlichkeit wichtig, autark zu sein. Im Gegensatz zu den netzgebundenen Anlagen, verfügen die Inselanlagen über Akkumulatoren. Sie werden von einem Laderegler vor Überladung oder Tiefstentladung geschützt. Werden Geräte versorgt, die mit Netzspannung arbeiten, wird zusätzlich noch ein Wechselrichter benötigt, der aus der erzeugten Gleichspannung Wechselspannung macht und sie auf die Netzspannung von 230 V hochtransformiert.

(dieses Schema muss nachgezeichnet werden. Achtung, Fehler! Konverter fehlt!)



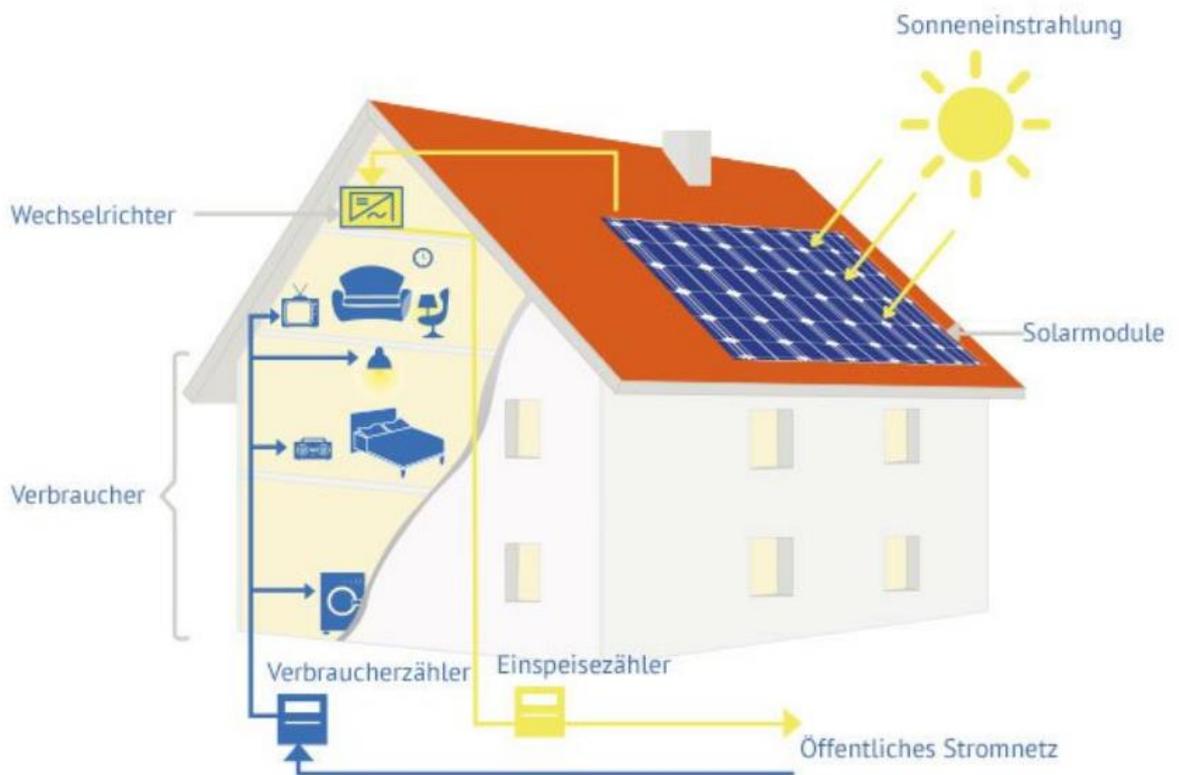
**b. Netzgekoppelte Anlagen**

Der Betrieb eines ganzen Hauses oder einer ganzen Wohnung mit einer Inselanlage ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, weil die hohe Speicherkapazität der Akkumulatoren mit hohen Anschaffungskosten verbunden ist. Daher werden die meisten Anlagen in Deutschland an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Nach dem „Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)“ erhalten die Betreiber dafür eine Vergütung.

Der selbst erzeugte Strom wird in das Netz gespeist. Die im eigenen Haushalt benötigte elektrische Energie wird dann wieder aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Beim Ausfall des öffentlichen Stromversorgungsnetzes können die Besitzer solcher Solaranlagen meist nicht auf den selbst erzeugten Strom vom Dach zurückgreifen. Dieser Nachteil wirkt sich jedoch in Deutschland wegen der hohen Versorgungssicherheit nicht ernsthaft aus.

Abbildung muss nachgezeichnet werden!



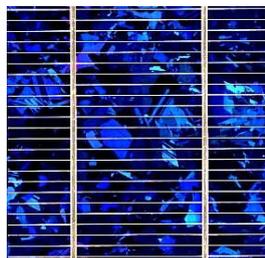
### Einführung in die Solarzelle

Eine Solarzelle wandelt die Lichtenergie der Sonnenstrahlen direkt in elektrische Energie um. Die meisten gängigen Solarzellen bestehen aus Silizium, das aus Sand gewonnen wird. Silizium gehört zur Gruppe der Halbleiter, deren Leitfähigkeit zwischen Leitern (wie z.B. Kupfer) und Isolatoren (z.B. Kunststoffen) liegt.

Man unterscheidet die folgenden Arten von Solarzellen:



Monokristalline Silizium-Solarzelle  
Aus einem Kristallblock  
(monokristallin)  
Wirkungsgrad: ca. 20 %  
einheitlich, hell- oder dunkelblau  
höchste Leistung



Polykristalline Silizium-Solarzelle  
poly- bzw. multikristallin  
Wirkungsgrad: bis zu 18%  
plättchenartig, hell- bis  
dunkelblau

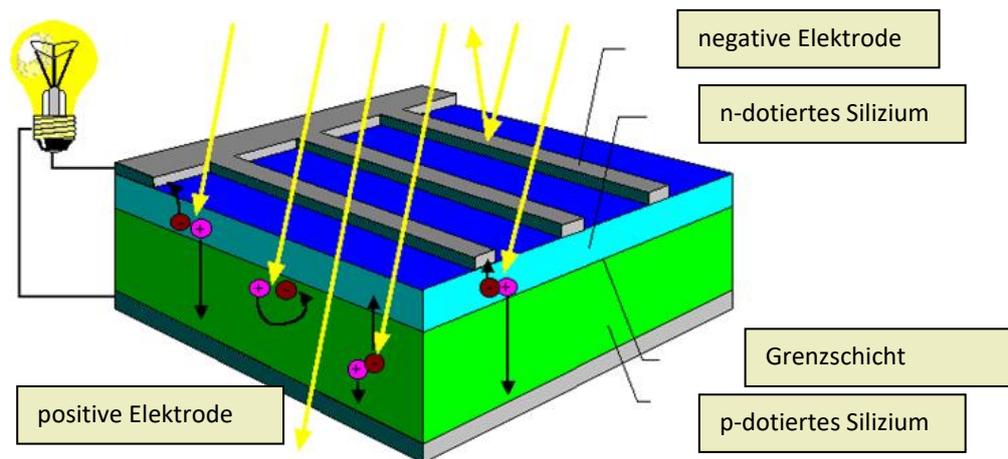


Amorphe Solarzelle  
amorph  
Wirkungsgrad: 6 – 8 %  
verschiedene Farben – meist  
braun  
für beschattete Flächen  
Verwendung bei  
Dünnschichtzellen

Solarzellen aus anderen Halbleitern haben unterschiedliche Einsatzgebiete:

Halbleiter	Wirkungsgrad	Einsatzgebiete und Hinweise
GaAs-Zellen	ca. 40%	(sehr teuer, Einsatz in Raumfahrt)
CdTe-Zellen	ca. 10%	(günstige Herstellung, Dünnschichtzellen)
CIS-Zellen	ca. 10-12 %	(Dünnschichtzellen)
Org. Zellen	ca. 7%	(„Plastiksolarzellen“)
Farbstoffzellen	ca. 6%	(„Grätzelzellen“)

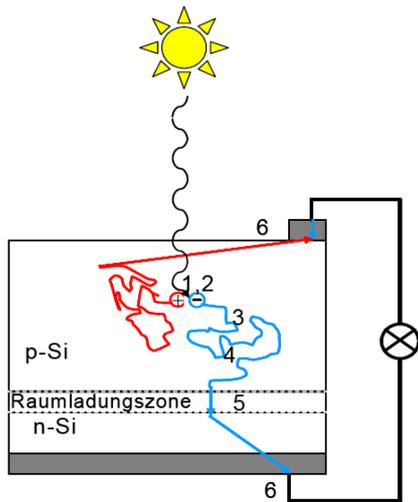
### Aufbau einer Solarzelle



### Funktionsweise einer Solarzelle

Die physikalische Grundlage der Solarzelle ist der so genannte innere lichtelektrische Effekt. Ein Halbleiter absorbiert dabei Lichtteilchen (Photonen). Im Sonnenlicht gibt es Lichtteilchen mit sehr unterschiedlichen Energien, die von der Lichtfrequenz abhängig sind. Halbleiter können jedoch nur Lichtteilchen mit ganz bestimmten Frequenzen absorbieren. Daher kann eine Solarzelle schon aus physikalischen Gründen nicht die gesamte Lichtenergie aufnehmen.

Bei der Aufnahme von Lichtteilchen und der damit freiwerdenden Energie werden Elektronen im Halbleiter freigesetzt und kann zu anderen Atomen springen. Den Fluss von vielen solchen Elektronen nennt man elektrischen Strom, in diesem Fall Fotostrom.



Damit ein Elektronenstrom entstehen kann, muss ein elektrisches Feld im Innern der Solarzelle dafür sorgen, dass die Elektronen nicht gleich wieder an ihre alte Stelle zurückspringen („rekombinieren“). Dieses elektrische Feld wird „Raumladungszone“ genannt.

Wir ein Elektron durch die Absorption eines Photons „angeregt“, entsteht im Kristallgitter ein sogenanntes „Loch“, welches wie ein positives Elektron wirkt.

Die Entstehung einer Raumladungszone bzw. eines elektrischen Feldes kann durch Inhomogenitäten im Kristall des Halbleiters hervorgerufen werden. Das erreicht man, in dem man zwei Schichten hat, die p-Schicht und die n-Schicht. Sie werden erzeugt, indem

man sie mit Fremdatomen „verunreinigt“, z.B. mit Phosphor. Die beiden Schichten bekommen dadurch unterschiedliche elektrische Eigenschaften, obwohl sie aus dem gleichen Ausgangsmaterial (Silizium) bestehen.

Durch Diffusion (ungleichmäßiges Bewegen von Elektronen und Löchern) wandern die Ladungen nun zu den Metallkontakten auf der Oberfläche der Solarzellen. Ist ein elektrischer Verbraucher angeschlossen, entsteht ein elektrischer Stromkreis.

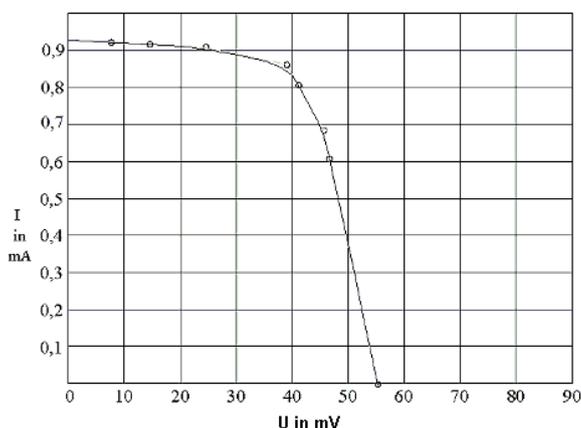
Solarzellen in Laborqualität erreichen heute Wirkungsgrade von ca. 20-24 Prozent, d.h. sie wandeln 20-24 Prozent der ankommenden Lichtenergie in elektrische Energie um. Der Rest wird entweder durch die reflektierenden Sonnenstrahlen wieder wegtransportiert oder in Wärme umgewandelt.

Eine ca. 50cm x 50cm großen Solarzelle kann im günstigsten Fall eine Leistung von etwa 30W erzeugen.

### Eigenschaften einer Solarzelle

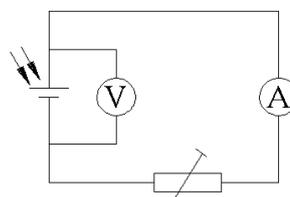
Die Eigenschaften einer Solarzelle werden mit ihren Kennlinien dargestellt. Kennlinien beschreiben, wie sich Solarzellen unter ganz bestimmten Verhältnissen verhalten. Die wichtigsten Kennlinien werden hier beschrieben.

#### a) Die Spannungs-Stromstärke-Kennlinie



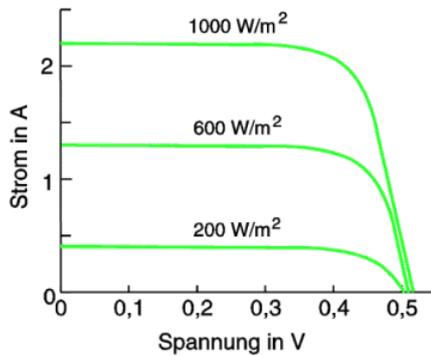
Wird eine Solarzelle in einem Stromkreis betrieben, entsteht eine Spannung  $U$  und eine Stromstärke  $I$ .

Verändert man im Stromkreis den Verbraucherwiderstand, so ändern sich Spannungen und Stromstärken.



Die entstehende Spannung wird mit einem Voltmeter (V) und die Stromstärke mit einem Amperemeter (A) gemessen. Die Messwerte werden in einer Tabelle aufgelistet und in ein Diagramm (siehe oben) eingetragen.

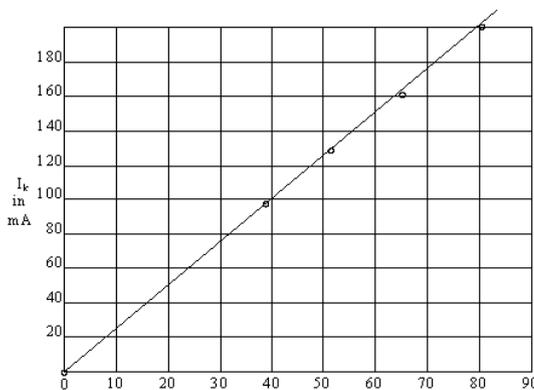
**b) Die Spannungs-Stromstärke-Kennline (U-I) bei unterschiedlichen Bestrahlungsstärken**



Der Verlauf der U-I-Kennline hängt davon ab, wie groß die Bestrahlungsstärke des Sonnenlichts ist. Nimmt man bei verschiedenen Bestrahlungsstärken die U-I-Kennline wie in a) geschildert auf und zeichnet die verschiedenen Kennlinien in ein gemeinsames Diagramm, kann man Gemeinsamkeiten der verschiedenen Kennlinien erkennen.

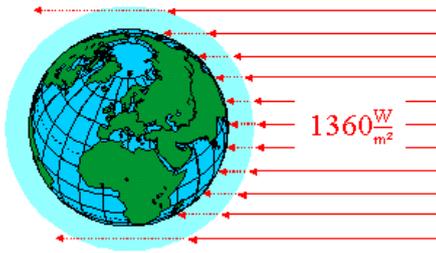
Dort wo die Messkurven die I-Achse schneidet, kann der Kurzschlussstrom abgelesen werden. Die Fotospannung ist dort nämlich Null und kein Verbraucherwiderstand befindet sich im Stromkreis. Dort, wo die Messkurven die U-Achse schneidet, kann die Leerlaufspannung abgelesen werden. Hier fließt kein Strom im Stromkreis und es ist nur das Voltmeter angeschlossen. Sehr deutlich zeigt der Vergleich, dass die verschiedenen Kennlinien eine gemeinsame Leerlaufspannung von etwa 0,5 V (500 mV) aufweisen. Eine Solarzelle produziert also schon bei geringer Beleuchtung eine Spannung von einem halben Volt.

**c) Die Kennline von Kurzschlussstrom und Bestrahlungsstärke ( $I_k - E$ )**



Trägt man bei verschiedenen Bestrahlungsstärken E die jeweiligen Kurzschlussströme in ein Diagramm ein, zeigt sich, dass der Kurzschlussstrom proportional von der Bestrahlungsstärke E abhängig ist.

## INFOKASTEN: Was ist die Bestrahlungsstärke?



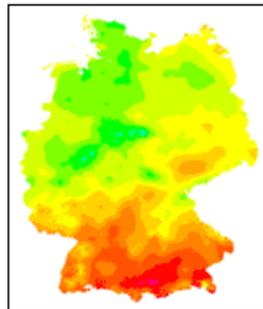
Die Bestrahlungsstärke gibt an, wie hoch die Energieleistung ist, die pro  $\text{m}^2$  auf die Erde trifft.

Abhängig von der Schichtdicke der durchdrungenen Atmosphäre wird ein Teil der Sonnenstrahlung gestreut oder absorbiert, so dass nur ein Teil davon auf der Erdoberfläche ankommt.

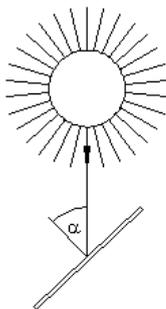
Das sind in Deutschland bei klarer Sonne im Tages- und Jahresmittel etwa  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Globalstrahlung 1981-2000  
Mittlere Jahressummen in  $\text{kWh/m}^2$

- Über 1150
- 1125-1150
- 1100-1125
- 1175-1100
- 1050-1075
- 1025-1050
- 1000-1025
- 975-1000
- 950-975
- 925-950
- 900-925
- Unter 900



### d) Die Kennlinie der Leistung in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel

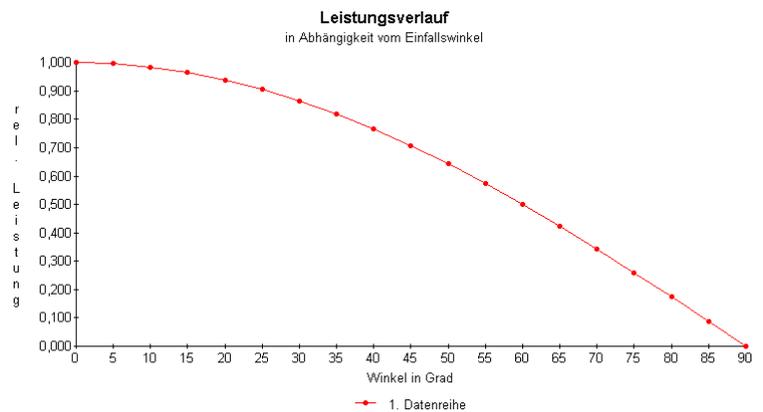


Im Laufe des Tages wandert die Sonne von Osten nach Westen. Da in der Regel Solarzellenanlagen der Sonne nicht nachgeführt werden, sondern fest installiert sind, ändert sich ständig der Winkel, mit dem das Sonnenlicht auf die Zelloberfläche trifft.

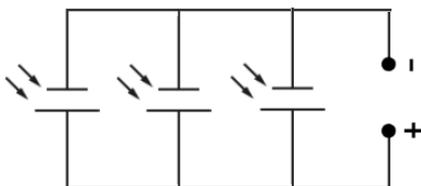
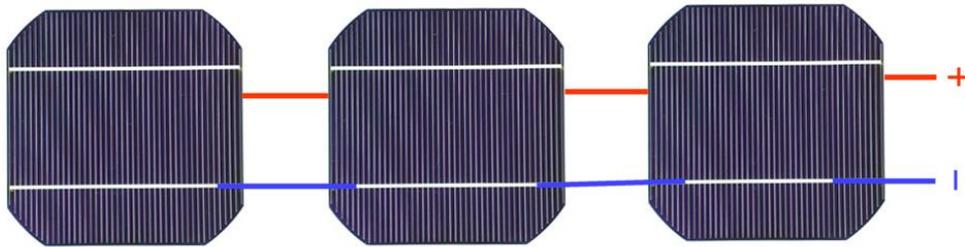
Wenn man die Leistung einer Solarzelle berechnet sie in Abhängigkeit zum Winkel zum Sonnenlicht in ein Diagramm einträgt sieht man, dass die Leistung langsam abfällt, wenn der Winkel  $\alpha$  geändert wird.

Kleine Winkelveränderungen machen kaum etwas aus. Bei 90° jedoch trifft kein oder nur diffuses Licht auf die Zelle und die Leistung ist fast bei Null.

Wenn Solaranlagen im Freien aufgebaut werden sollten sie daher so ausgerichtet sein, dass sie zur Mittagszeit – dem Zeitpunkt größter Bestrahlungsstärke – genau auf die Sonne ausgerichtet sind und  $\alpha$  etwa Null ist.



### e) Solarzellen in Parallelschaltung



Werden Solarzellen parallel geschaltet, gilt wie bei Batterien:

Die Gesamtspannung entspricht der Spannung einer einzelnen Zelle:  $U_g = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$

Da jede Solarzelle ca. 0,5 V Spannung ergibt, kann an parallel geschalteten Solarzellen auch nur 0,5 V abgenommen werden.

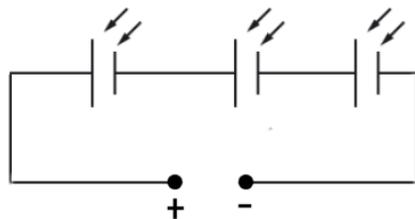
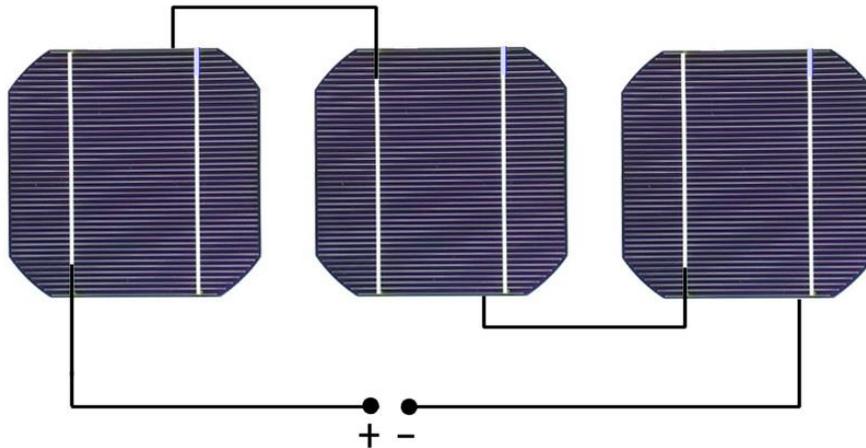
Die Gesamtstromstärke jedoch ist die Summe der Stromstärken jeder einzelnen Zelle:

$$I_g = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

Wenn man also höhere Stromstärken erzeugen will, müssen mehrere Zellen parallelgeschaltet werden.

Zur Herstellung einer Parallelschaltung werden zuerst die Rückseiten der Solarzellen miteinander verbunden und dann alle Rückseiten miteinander.

f) Solarzellen in Reihenschaltung



Werden Solarzellen in Reihe geschaltet, gilt wie bei Batterien:

Die Gesamtspannung entspricht der Summe aller Einzelspannungen der Zellen:  $U_g = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$

Die Gesamtstromstärke jedoch ist in allen Zellen gleich:

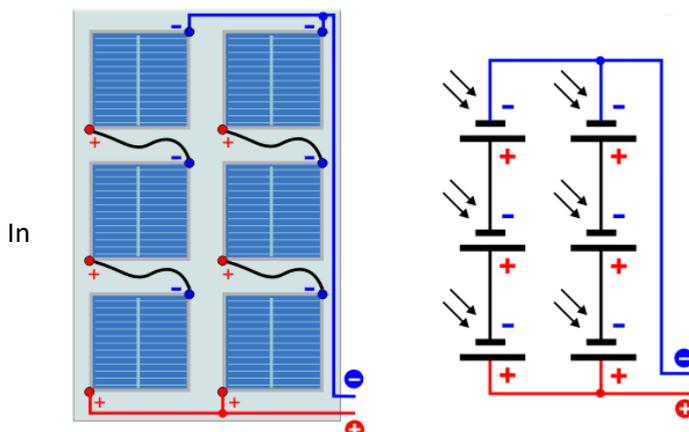
$$I_g = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

Wenn man also höhere Spannungen erzeugen will, müssen mehrere Zellen in Reihe geschaltet werden.

Zur Herstellung einer Reihenschaltung wird stets die Unterseite einer Solarzelle mit der Oberseite verbunden usw.

Praxistipp: Wenn eine der in Reihe geschalteten Solarzellen von Laub oder sonstigem Schmutz vollständig abgedeckt wird, sperrt die entsprechende Solarzelle den gesamten Stromkreis und es kann keine elektrische Energie produziert werden!

g) Solarzellen in kombinierten Schaltungen

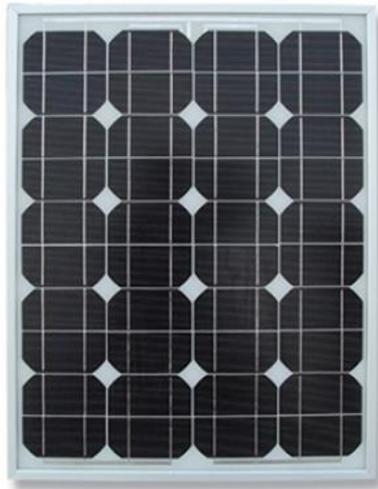


Wenn man höhere Spannungen und Stromstärken zum Betrieb eines Geräts benötigt, müssen die Solarzellen in kombinierten, also gemischten Schaltungen zusammengefasst werden. diesem Beispiel sind zwei Reihen von je drei Solarzellen zusammengeschaltet worden. Die Spannung von Reihe 1 (links) beträgt ca. 1,5 Volt, weil drei Solarzellen in Reihe

geschaltet sind. Da die Reihe 1 und die Reihe 2 jeweils 1,5 Volt ergeben, jedoch wiederum parallelgeschaltet werden, ergibt sich als Gesamtspannung für das Solarmodul 1,5 Volt.

Nehmen wir an, dass jede Solarzelle 1 A Stromstärke erzeugt. Die Reihe 1 wird dann mit einem Strom von 1 A durchlaufen. Weil auch in der zweiten Reihe eine Stromstärke von 1 A vorhanden ist, ergeben beide Reihen zusammen 2 A, weil die beiden Reihen parallelgeschaltet sind.

Aus sechs Einzelzellen (je 0,5 V und 1 A) haben wir nun ein Solarmodul mit 1,5 V und 2 A.



Dieses Solarmodul liefert 12 Volt Spannung. Dazu sind die vier senkrecht angeordneten Reihen parallelgeschaltet. In jeder Reihe sind fünf Zellen in Reihe geschaltet.

## Windkraftanlagen



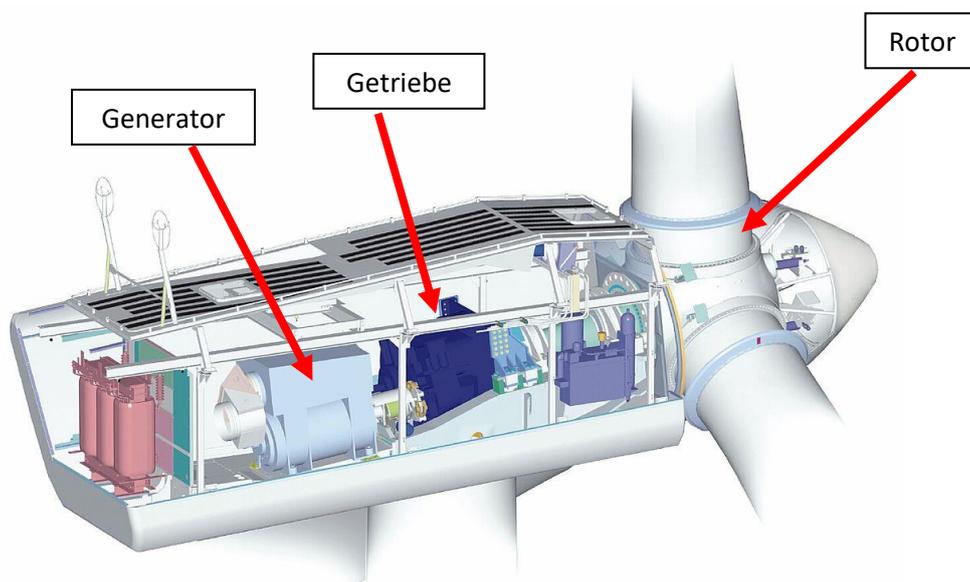
◀ Offshore-Anlage Baltic 2 auf der Ostsee (Quelle: EnBW)

Unter den erneuerbaren Energien nimmt die Windkraft (Onshore- und Offshoreanlagen) mit fast 50% (Jahr 2017) den größten Anteil ein. So wurde im Jahr 2017 insgesamt 88 Terrawatt elektrische Leistung produziert. Zehn Jahre

zuvor war es weniger als die Hälfte.

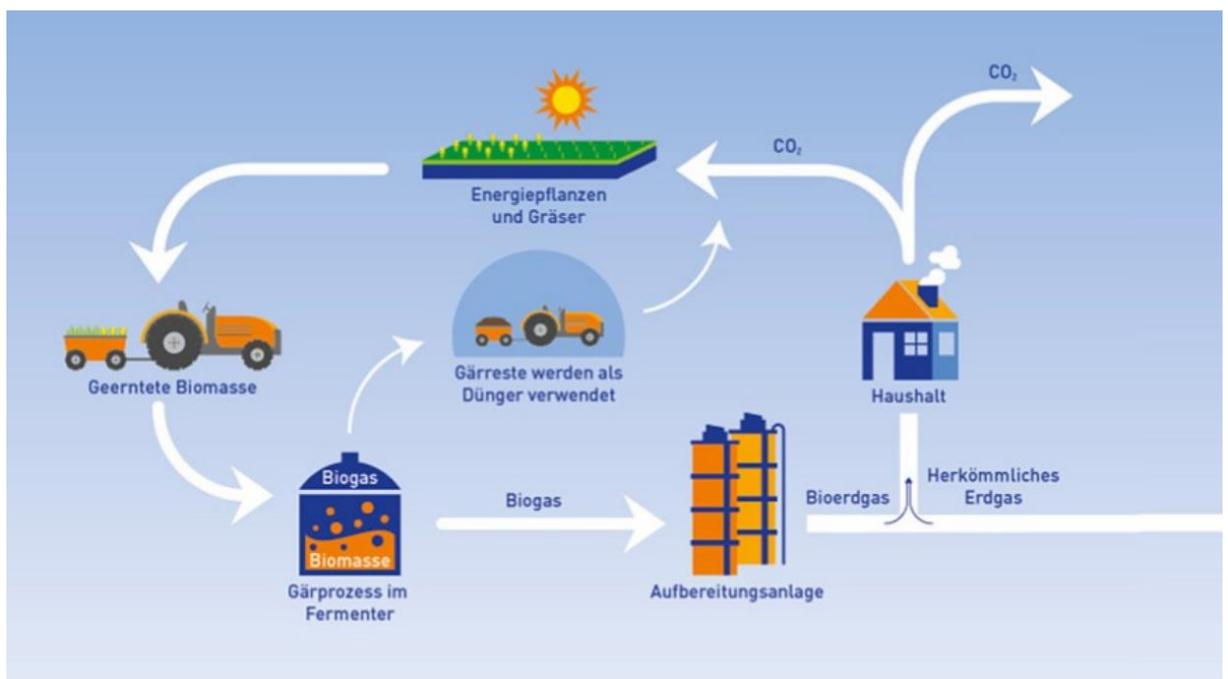
Die gängige Bauform einer Windkraftanlage besteht aus einem dreiflügeligen Windrotor, deren Rotorblätter je nach Windsituation verstellt werden können. Solche Schwachwindanlagen können ca. 50% der kinetischen Energie der sie durchströmenden Luft

nutzbar machen. Da Generatoren einen sehr hohen Wirkungsgrad besitzen (ca. 95-98 %), wird ein großer Teil der aufgenommenen kinetischen Energie in elektrische Energie umgewandelt.



#### - Biomasseanlagen

Biomasseanlagen werten die in der Land- und Forstwirtschaft sowie in Haushalten anfallenden biologischen Abfälle (Holz, Stroh, Bioabfälle usw.) energetisch aus. Sie wandeln die chemisch gebundene Energie der Abfälle zumeist durch die Verbrennung des entstehenden Methans in Blockheizkraftwerken in elektrische Energie um. Es gibt jedoch auch Anlage, in denen das Gärgas in Bioerdgas veredelt und anschließend ins öffentliche Gasnetz eingespeist wird.



(Quelle: EnBW) [EnBW um diese Grafik bitten \(mit höherer Auflösung\)](#)

Das Methan enthaltene Biogas entsteht, in dem die Bio-Abfälle in luftdichten, sauerstofffreien Tanks mittels Mikroorganismen vergärt. Trotz Verbrennung stellt die Erzeugung mit Biogasanlagen eine ökologisch sinnvolle Variante der Energieumwandlung dar, da das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> wieder von Pflanzen aufgenommen wird und damit kein zusätzlicher Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt.

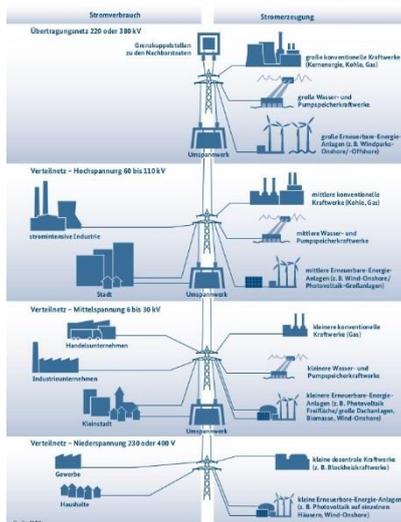
## Energietransport im öffentlichen Stromnetz

### a. Hochspannungs-Wechselstromübertragung

Hochspannungsmasten und Freileitungen gehören zum Landschaftsbild der Industriestaaten. Mit ihnen gelingt es, elektrische Energie über weite Strecken zu transportieren. Die damit verbundenen Energieverluste (z.B. ohmsche Widerstandsverluste) hat man durch die Verwendung von Hochspannung erheblich reduziert, weil die ohmschen Verluste von der Höhe der Stromstärke abhängig sind. Erhöht man durch Transformation die Spannung in den Leitungen, so verringert sich entsprechend die Stromstärke. Dadurch entsteht eine geringere Stromwärme im Leiter und die Energieverluste sinken.

Bis die Energie den Verbraucher erreicht, hat sie in der Regel mehrere Spannungstransformationen durchlaufen.

Abb.: Die Spannungsebenen des Hochspannungsnetzes



Zum Schutz von naturnahen Landschaften und historischen Gemeinden werden teilweise auch Hochspannungs-Erdkabel verwendet. Die Kosten für diese Verkabelung sind jedoch erheblich größer zumal Reparaturen hier sehr viel aufwendiger sind. Sie dürfen auch nur maximal 400 m an Siedlungen vorbeigeführt werden.

## *b. Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ)*

Unter gewissen Voraussetzungen ist die Übertragung mit Hilfe von Gleichstrom von Vorteil. In diesem Fall bleibt die Spannung etwa konstant oder kann auch pulsieren, ohne dass die Richtung des Stromes sich ändert.

Da in den meisten Fällen die elektrische Energie aus Wechsel- oder Drehstrom gewonnen wird, muss der Wechselstrom mit Hilfe von Gleichrichtern in Gleichstrom mit großer Spannung umgeformt werden. Der Gleichstrom kann dann mit Hochspannungsleitungen weitergeleitet werden. Am Zielort wird der Gleichstrom mit modernen Umrichtern wieder in Wechselstrom umgewandelt. Die dabei entstehenden Energieverluste sind deutlich unter 2%.

Vorteile der HGÜ:

- Bei der Gleichstromübertragung entstehen keine Blindströme, die insbesondere bei See- und Bodenkabeln problematisch sein können.
- Da weniger Leiter benötigt werden als bei der Drehstromübertragung, ist der Flächenbedarf dieser Leitungen erheblich kleiner.
- Es entstehen keine Wirbelstromverluste.
- Die an Schaltstellen entstehenden Koronarentladungen sind bei gleicher Spannung geringer als bei Wechselspannung.
- Eine HGÜ-Leitung kann bei gleichem Querschnitt deutlich mehr Leistung transportieren als eine Wechselstromleitung, bei gleichzeitig niedrigen Verlusten.
- Es ist möglich, mit der HGÜ Wechselspannungsnetze zu verbinden, die unterschiedliche Netzfrequenzen aufweisen.

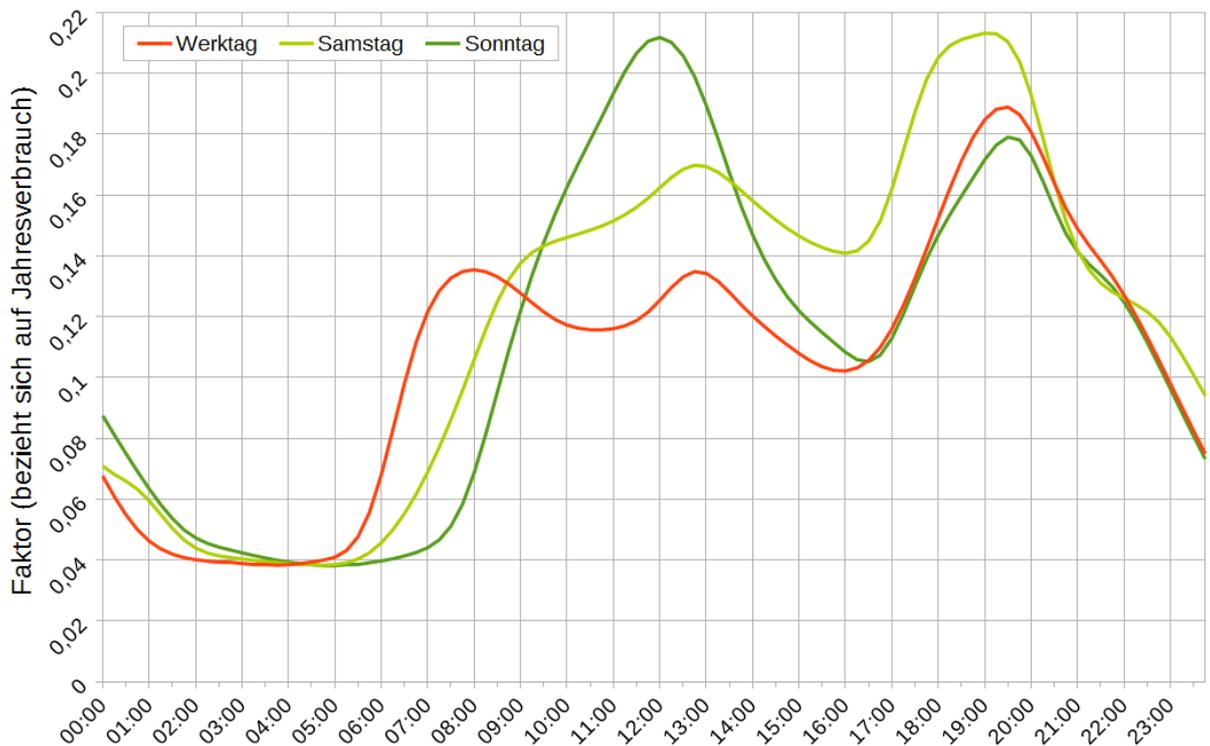
Nachteile der HGÜ:

- Für die Anpassung an unterschiedliche Spannungsniveaus kann man beim Gleichstrom keine Transformatoren einsetzen. Daher ist das Anzapfen von Leitungen sehr viel aufwändiger.
- Die Verluste beim Wechselrichten (Wechsel von Gleich- in Wechselspannung) sind höher, werden aber bei langen Strecken durch die geringeren Leitungsverluste mehr als kompensiert.

## *Lastkurve*

Der Bedarf an elektrischer Energie ist über den Tag starken Schwankungen unterworfen. So wird an Werktagen in Deutschland in den Abendstunden der meiste Strom benötigt. Die

Lastkurven sind auch von den jahreszeitlichen Klimaschwankungen abhängig.



Lastkurve in Deutschland, nach Werktagen, Samstag und Sonntag  
(Quelle: Wikipedia)

Durch aufwendige Steuermechanismen stellen die Energieversorger sicher, dass die jeweils notwendige Menge an elektrischer Energie parat steht. Hierzu entwickeln die Versorger Prognosen, die jedoch durch das Kundenverhalten oder durch unvorhersehbare Ereignisse (Wetterlagen, Ausfall von Großverbrauchern usw.) sehr stark abweichen können, so dass zur Sicherstellung der Versorgung sehr schnell reagiert werden muss. Steht zu wenig oder zu viel Energie zur Verfügung kann es zu großflächigen Ausfällen kommen.

Die aktuelle Netzfrequenz kann von der Website <https://www.netzfrequenz.info/aktuelle-netzfrequenz-full> abgefragt werden. Das Diagramm zeigt, was bei den verschiedenen Störfällen veranlasst werden muss. Die maximale, noch tolerierbare Frequenzabweichung darf 0,2 Hz nicht überschreiten.

### Netzstabilität

Die europäischen Stromnetze werden mit einer Frequenz von 50 Hz betrieben, d.h. die Polung der Wechselstromnetze wechselt 50 Mal pro Minute. Mit diesem Polwechsel arbeiten die Generatoren in den Kraftwerken. Ist zu wenig elektrische Energie im Stromnetz vorhanden, sinkt die Frequenz, wird zu viel Energie ins Netz gespeist, steigt die Frequenz über den Normwert 50 Hz. Die Frequenz stellt somit einen Indikator für die Auslastung der Netze dar. Da viele Geräte und Anlagen (z.B. Computer, elektronische Wecker, Prozessanlagen usw.) bei zu großer Abweichung vom Durchschnittswert der Frequenz Störungen ausweisen oder nicht mehr korrekt funktionieren oder sogar zu Schaden kommen,

darf die Netzfrequenz nicht mehr als 0,2 Hz vom Normwert abweichen.

## Die Energiewende

Am 11. März 2011 kam es im Kernkraftwerk Fukushima, verursacht durch ein schweres Seebeben und mehreren daraus hervorgegangenen Tsunamis, zu einer Kette von schwerwiegenden Unfällen in den vier Kraftwerksblöcken. Da die Kühlung des Kernbrennstoffs nicht mehr sichergestellt werden konnte, explodierte ein Reaktor nach dem andern. Als Folge sind große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umwelt gelangt. In den darauffolgenden Jahren bis heute sind große Anstrengungen unternommen worden, um die Freisetzung der Radioaktivität in Luft, Wasser und Boden zu vermindern. Aber noch immer ist die Bewältigung des Reaktorunglücks nicht abgeschlossen.

Dieses Ereignis hat insbesondere in Deutschland eine Debatte über die Zukunftsfähigkeit der Kernenergie befördert. Die Bundesregierung hat als Folge dieses Prozesses 2011 die Wende in der Energiepolitik beschlossen.

Neben dem Ereignis in Fukushima gibt es jedoch noch andere Gründe, weshalb Deutschland sich zukünftig primär mit erneuerbaren Energien versorgen wird:

- Der globale Klimawandel erfordert eine starke Reduktion des Treibhausgases CO<sub>2</sub>. Derzeit wird bei der Produktion einer elektrischen Leistung von einer kWh in Deutschland durchschnittlich ca. 537 g CO<sub>2</sub> freigesetzt (1990 waren es noch 763 g/kWh). Durch den Einsatz von regenerativen Energien soll dieser Wert weiterhin reduziert werden.
- Die fossilen Energieträger wie Öl, Kohle und Gas sind endlich. Zwar gehen die derzeitigen Prognosen davon aus, dass sie erst in ca. 100 Jahren zu Ende gehen werden, die Gewinnung dieser Energieträger wird jedoch immer aufwendiger und kostspieliger. Außerdem ist die Förderung schon jetzt mit großen ökologischen Belastungen verbunden.
- Deutschland ist beim größten Teil seiner Energieträger in hohem Maße von Importen abhängig. Damit geht ein Risiko einher, von anderen Staaten politisch abhängig zu sein.

Die konkreten Ziele der Energiewende lauten u.a.:

- Ausstieg aus der Kernenergie bis Ende 2022
- Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauchs auf 18 % bis 2020 und in weiteren Schritten auf 80% bis 2050.
- Verminderung der Emissionen von Treibhausgasen bis 2020 um 40% und in Schritten bis 2050 auf 95% gegenüber 1990.
- Reduktion des Verbrauchs an Primärenergie bis 2050 auf 50%
- Verminderung des Stromverbrauchs bis 2020 um 10% und bis 2050 um 20% gegenüber 2008.

## Das zukünftige Stromnetz

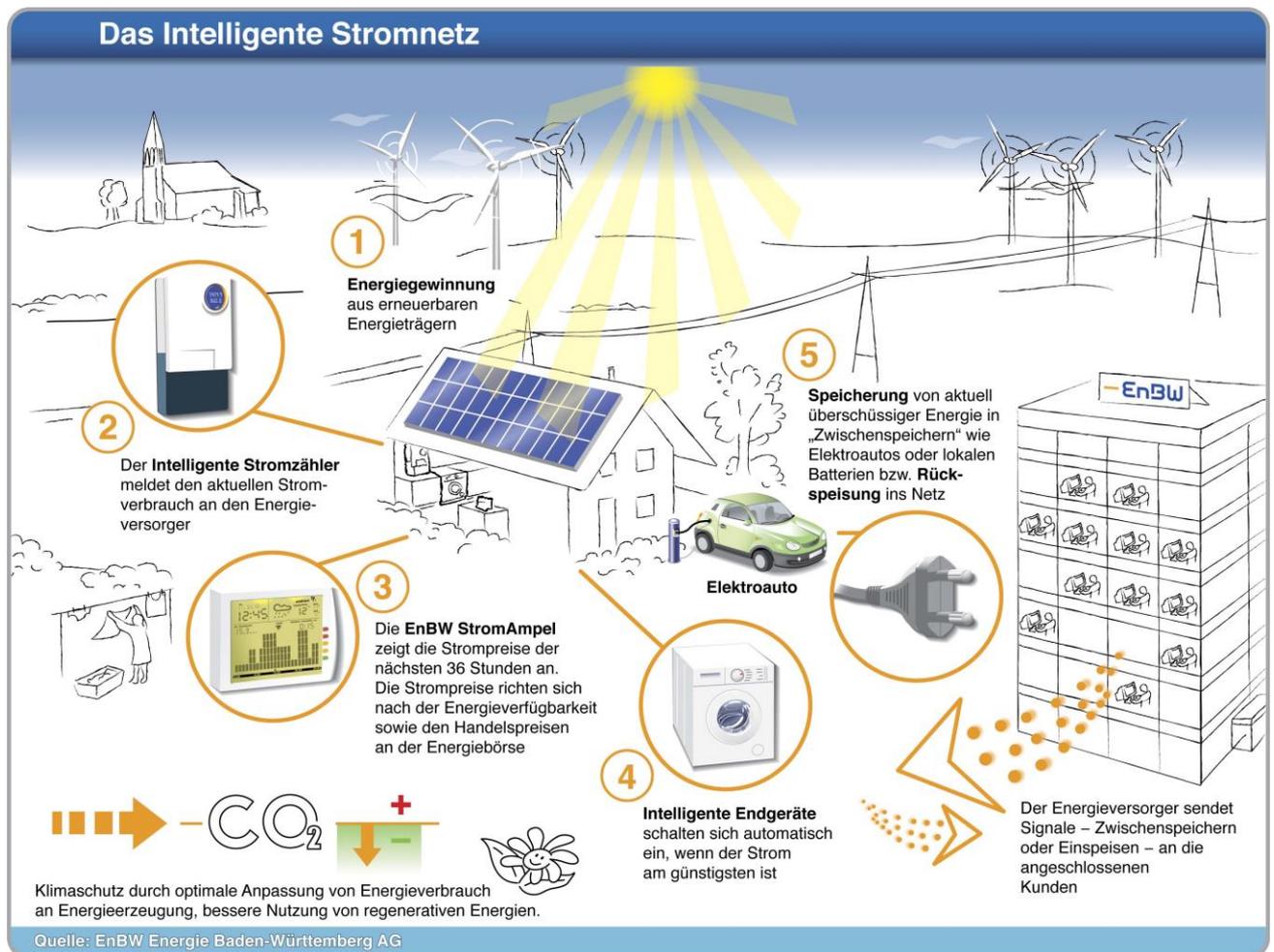
Das heutige Stromnetz hat sich in den vergangenen 100 Jahren zu einem System von Kraftwerken entwickelt, das von großen Kernkraftwerken und Öl- und Kohlekraftwerken geprägt war. Die Lage dieser Kraftwerke orientierte sich an den Orten, an denen besonders viel Energie benötigt wurde, wie z.B. in den großen Industrieregionen und den Metropolen.

Der Systemwechsel hin zu einem großen Teil erneuerbaren Energien bewirkt, dass die Erzeugerregionen (z.B. die Küsten an Nord- und Ostsee für die Windenergie) weiter von den Industrieregionen in der Mitte und im Süden Deutschland entfernt sind.

Insgesamt wird die Produktion von elektrischem Strom zukünftig eher dezentral stattfinden. Damit einher geht somit auch ein Wechsel von bisherigen zentralen Kontrollstellen hin zu dezentralen, selbstorganisierten Untersystemen, die über moderne Kommunikationstechnologien miteinander vernetzt sind und die Steuerung des Gesamtnetzes übernehmen. Dabei wird in Echtzeit der Bedarf der Kunden realisiert und die dafür notwendige Menge an elektrischer Energie bereitgestellt. Aufgrund der hohen Abhängigkeit von regenerativen Energien wie Sonnenenergie, Wind- und Wasserenergie von Wetter und Klima, müssen verstärkt Speichermöglichkeiten entwickelt und bereitgestellt werden.

Die Steuerung dieses intelligenten Stromnetzes („Smart Grid“) wird eine hohe Flexibilität der Nutzer und der Produzenten erfordern und eine hohe Effizienz aufweisen. Bis hinein in die Haushalte wird der Bedarf an elektrischer Energie erfasst. Außerdem werden die eigenen Photovoltaikanlagen der Kunden mit in die Energieversorgung einbezogen. Nach einem Ausbau der Elektromobilität werden die Speicher der ruhenden Fahrzeuge als Zwischenspeicher für das System genutzt.

Elektronische Anzeigen im Haushalt werden anzeigen wann der Bezug elektrischer Energie besonders kostengünstig ist. Intelligente Geräte (z.B. Waschmaschinen) werden dann eingeschaltet, wenn überschüssige Energiekapazitäten vorhanden sind.



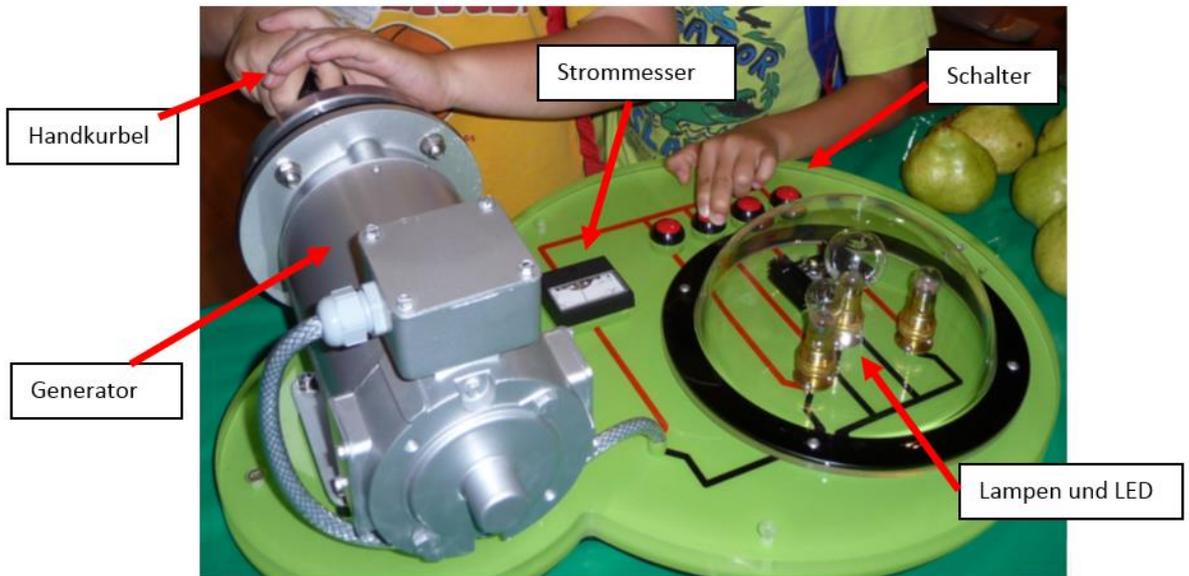
Alternativ:

Bild laden von <https://www.enbw.com/unternehmen/presse/medien-downloads/infografiken-logos/> : Kurzversion

## Die Ausstellung

Im zweiten Teil der ca. zweistündigen Veranstaltung haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, die Themen Energie, Leistung, Stromerzeugung und Effizienz an interaktiven Exponaten selbst erfahren zu können. Leider ist es aufgrund der Zeitknappheit aber nicht möglich, die Themen umfassender darzustellen. Deshalb findet man im Folgenden zur Vertiefung im Unterricht weitere Informationen.

## Elektrische Leistung



Mit dem Generator kann eine elektrische Leistung erzeugt werden. Drei verschiedene Lampen (2 Glühlampen verschiedener Leistungen und eine LED) können nun per Schalter dazu geschaltet werden. Bei den Glühlampen muss man erheblich mehr Kraft aufbringen als bei den LED. So kann man darstellen, dass bei unterschiedlichen Lasten die Kraftwerke unterschiedlich angepasst werden müssen. Die Effizienz der verschiedenen Leuchtmittel wird also sinnlich erfahrbar gemacht.

## Windkraftanlage



Eine Windturbine kann per Hand in Drehung versetzt werden. Je nach Drehzahl leuchtet eine LED-Lampe auf oder nicht. An einem Diagramm kann der Aufbau einer modernen Windkraftanlage untersucht werden.

## Solaranlage



Zu einer herkömmlichen Solaranlage (Insellösung) gehören eine Menge sehr unterschiedlicher Komponenten. Mit dieser Experimentierstation können die komplexen Verhältnisse beim Aufladen und Entladen vorgestellt werden. Sukzessive können einzelne Komponenten hinzugefügt werden, wie z.B. ein Akku, einen Lade- bzw. Entladeregler, eine Entladediode usw. Verschiedene „Verbraucher“ wie z.B. eine normale Glühlampe, eine Energiesparlampe, eine LED oder ein MP3-Player können in Betrieb gesetzt werden. Messgeräte zeigen die verschiedenen Betriebszustände sehr überzeugend an.

## Energieeffizienz, Leistung beim Energiefahrrad



Wenn die elektrische Leistung und die Effizienz von Energiewandlern lediglich als Zahlenwerte präsentiert werden, ist das für Schüler nur mäßig eindrucksvoll. Mit einem Energiefahrrad kann die Leistungsaufnahme von verschiedenen „Verbrauchern“ auch körperlich wahrgenommen werden. So können Glühlampen, Energiesparlampen und LEDs miteinander verglichen werden. Alternativ kann man auch einen Wasserkocher und ein Radio angeschlossen werden.

### a. Qualitative Experimente

A Stromerzeugung zum Betrieb eines MP3-Player

Die Schüler erzeugen durch gleichmäßiges, langsames Treten ausreichend Energie, um das Radio betreiben zu können. Der Spannungsbereich von 12 bis 15 Volt (siehe grüne Leuchtdiode) soll aufleuchten.

Die Schüler sollen spüren, wie viel Kraft abverlangt wird, um das Radio längere Zeit nutzen zu können.

**Lernziele:**

- Die Schüler lernen, dass man mit Hilfe von Muskelkraft mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln kann.
- Die Schüler lernen, dass in einem Kraftwerk Generatoren benutzt werden, um aus mechanischer Energie elektrische Energie zu machen.
- Die Schüler lernen, dass ein Generator im Kraftwerk gleichmäßig gedreht werden muss, um eine konstante elektrische Versorgungsspannung zu erreichen.

**B Stromerzeugung zum Betrieb einer Glühlampe bzw. einer LED-Lampe**

Mit Hilfe von Schaltern können abwechselnd eine Glühlampe und eine LED-Lampe ein- und ausgeschaltet werden.



Die Schüler erzeugen durch gleichmäßiges, langsames Treten ausreichend elektrische Energie, um eine LED-Lampe betreiben zu können. Während des Versuchs achten die Schüler auf die Helligkeit der LED-Lampe.

Nun wird die LED-Lampe ausgeschaltet und die Glühlampe eingeschaltet. Die Schüler sollen nun mit ihrer Muskelkraft so viel elektrische Energie erzeugen, dass die Lampe die gleiche Helligkeit wie die LED-Lampe erzeugt.

**Lernziele:**

- Die Schüler lernen, dass man zur Versorgung einer Glühlampe mehr Energie benötigt als bei der LED-Lampe
- Die Schüler erkennen, dass die beiden Leuchtmittel bei der Energieumwandlung unterschiedlich effizient sind.
- Die Schüler spüren über ihre Muskelkraft, dass ein Kraftwerk stärker belastet wird, wenn mehr elektrische Energie benötigt wird.

**C Stromerzeugung zum Betrieb eines Wasserkochers**

Mit dem Energiefahrrad ist es möglich, eine kleine Menge Wasser zum Kochen zu bringen. Hierzu wird ein Wasserkocher angeschlossen. Es wird der gleiche Anschluss verwendet, der auch für das Radio genutzt wird.

Zu Beginn lesen die Schüler die Temperatur des Wassers ab und notieren den Messwert. Dann soll ein Schüler mit konstanter Geschwindigkeit einige Minuten treten, bis die Wassertemperatur sich merklich erhöht hat. Die Temperatur zum Ende des Versuchs wird notiert.

**Lernziele:**

- Die Schüler spüren, dass man zum Erwärmen erheblich viel mehr Energie benötigt im Vergleich zum Betrieb eines MP3-Player oder eine LED-Lampe.
- Die Schüler erkennen, dass man erhebliche Mengen Energie sparen kann, wenn man nur die tatsächlich notwendige Wassermenge erhitzt.
- Da die meisten Heizungssysteme mit Wasser funktionieren, erkennen die Schüler, dass man zum Heizen des Hauses sehr viel Energie benötigt.

**D Betrieb mehrerer Geräte zur gleichen Zeit**

Auf dem großen Schaltdisplay können mehrere Geräte gleichzeitig eingeschaltet werden. Es ist auch möglich, die Geräte in Stufen zuzuschalten. Damit kann man die Belastung eines Stromnetzes durch Hinzuschalten weiterer Leistungsabnehmer simulieren.



Es wird empfohlen, nacheinander die folgenden Geräte einzuschalten:

1. MP3-Player
2. LED-Lampe
3. Glühlampe

Die Schüler stellen fest, dass sie beim Zuschalten der Geräte stets etwas mehr Leistung aufbringen müssen.

**Lernziele:**

- Die Schüler bemerken, dass beim Zuschalten von Geräten der Leistungsbedarf ansteigt und damit mehr Kraft aufgebracht werden muss.
- Die Schüler verstehen, dass bei hoher Auslastung eines Stromnetzes, im Kraftwerk nachgeregelt werden muss, um eine konstante Versorgung aller Energienutzer gewährleisten zu können.

Quantitative Experimente**E Messung von Stromstärke und Spannung beim Betrieb einer Glühlampe / Bestimmung der Leistung**

Die eingebauten Messgeräte erlauben, den Zusammenhang von Stromstärke und Spannung mit der Leistung eines elektrischen Geräts darzustellen. Hierzu wird die Glühlampe eingesetzt, weil sie einen ohmschen Widerstand besitzt. Die Messwerte der LED-Lampe können hierzu nicht herangezogen werden, weil hier noch induktive und kapazitive Widerstände eine genaue Messung verhindern.



Ein Schüler soll das Energiefahrrad mit ca. 60 Umdrehungen pro Minute antreiben (eine Umdrehung = 1 s). Bei dieser Drehzahl wird eine Spannung von ca. 12 Volt erzeugt, die ausreicht, um die Glühlampe voll zum Leuchten zu bringen.

Zwei weitere Schüler sollen die Messwerte der Strommessung (Amperemeter/linkes Messgerät) und der Spannungsmessung (Voltmeter/rechtes Messgerät) beobachten. Da die Drehzahl nie konstant gehalten werden kann, sollen die Schüler sich die durchschnittlichen Messwerte merken. Anschließend wird die Leistung berechnet, wie z.B.

Messwerte		Berechnung
Messung von I (Stromstärke):	4,8 A	Leistung $P = U \cdot I$
Messung von U (Spannung):	11,9 V	$P = 4,8 \text{ A} \cdot 11,9 \text{ V}$
		<b><math>P = 57,1 \text{ Watt}</math></b>

Wenn die Schüler die erforderliche Drehzahl gehalten haben und die Lampe ihre volle Leuchtfähigkeit entwickeln konnte, müsste es eine Leistung von ca. 60 W geben. Dies entspricht dem aufgedruckten Leistungswert.

#### **Lernziele:**

- Die Schüler verstehen, dass die Leistung eines Geräts aus dem Produkt von Stromstärke und Spannung berechnet wird.
- Die Schüler lernen, dass die elektrische Leistung in Watt bzw. kW (1000 W) angegeben wird.

#### F Berechnung der elektrischen Energie

Die benötigte Energiemenge für den Betrieb eines elektrischen Geräts hängt nicht nur von deren Leistung ab, sondern auch von der Zeit, in der sie genutzt wird. Diese Energiemenge wird in dem folgenden Versuch berechnet und mit der chemischen Energie von Schokolade verglichen.



Ein Schüler treibt 5 min das Energiefahrrad an. Zur Zeitmessung ist eine Stoppuhr bzw. eine Armbanduhr mit Sekundenzeiger notwendig.

Die Leistung wird wie im Vorversuch ermittelt, in dem die Strom- und Spannungswerte gemessen und der Leistungswert berechnet wird.

Messwerte (Beispiel)	Berechnung
Messung von I (Stromstärke): 10 A Messung von U (Spannung): 10 V	<b>Leistung <math>P = U \cdot I</math></b> $P = 10 \text{ A} \cdot 10 \text{ V}$ <b><math>P = 100 \text{ Watt}</math></b>
Zeit : 5 min = 300 s Berechnung mit gerundetem Wert!	<b>Energie <math>W = P \cdot t</math></b> $W = 100 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 30.000 \text{ Ws}$
Ein Gramm Schokolade enthält 24 000 Ws Energie!  	Die in fünf Minuten mühsam erzeugte elektrische Energie entspricht also der chemischen Energie, die in einem Gramm Schokolade enthalten sind.  Weitere Informationen:  Um die Energie von acht Gummibärchen abzarbeiten, müsste man 20 Minuten auf dem Energiefahrrad strampeln!



## Energie speichern im Speicherkraftwerk



Elektrische Energie lässt sich nach heutigem Stand der Technik noch nicht sehr effizient speichern, z.B. mittels Akkumulatoren.

Man verwendet daher Pumpspeicherkraftwerke, in der die Energie als mechanische bzw. potentielle Energie gespeichert ist. Dieses Modell zeigt die Funktionsweise eines solchen Speichers. Die Schüler pumpen Wasser auf ein höheres Niveau. Von dort fällt es durch eine Turbine und erzeugt durch einen Generator elektrischen Strom.

### Experiment

Mit dem Exponat „Wasserkraftwerk“ kann das Grundprinzip beider Kraftwerke anschaulich dargestellt werden. Es wird gezeigt, dass die kinetische Energie von bewegtem Wasser zur Stromerzeugung genutzt werden kann.



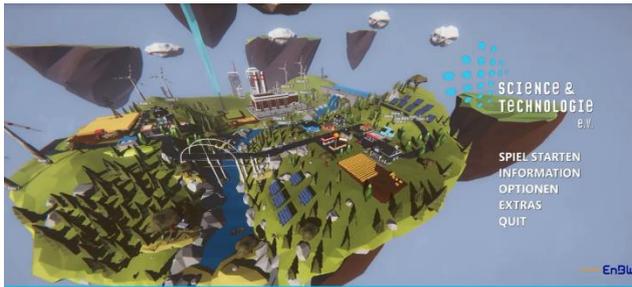
Die Teilnehmer können das Wasser aus dem unteren Behälter mit einer Handpumpe in den oberen Behälter pumpen. Ist ausreichend viel Wasser oben vorhanden, fließt es über den gebogenen Überlauf (overfall) nach unten und fällt auf eine Turbinenschaufel. In unserem Exponat hat sie die Form einer Pelton-Turbine.

◀ So sieht eine Pelton-Turbine aus.

Die Achse der Turbine ist direkt mit der Achse eines kleinen Generators verbunden, der dadurch in Drehung versetzt wird und Elektrizität erzeugt. Da in unserem Modell keine so große Energiemenge frei wird, kann die entstehende Elektrizität nur mit einem Messgerät dargestellt werden. Sie würde leider nicht ausreichen, um eine Leuchtdiode oder Lampe zu betreiben.

Ist das Wasser anschließend wieder im unteren Reservoir angekommen kann sie von Hand wieder nach oben gepumpt werden.

## Computerspiel Netzanpassung



Das bereits in der Bühnenshow eingesetzte Computerspiel zur Netzanpassung steht an einer Station auch im zweiten Teil der Veranstaltung zur Verfügung.

## Ausbildungsberufe im Energiesektor

Das zukünftige Stromnetz wird in noch größerem Maße von der Digitalisierung bestimmt sein. Daher wird der Bedarf an gut ausgebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, insbesondere im technischen Bereich bei den Energieversorgern stark ansteigen. Ein Ziel der „Energie auf Tour“ ist, auf den enormen Bedarf an möglichen Mitarbeitern und den damit verbundenen Berufschancen aufmerksam zu machen.

So bietet die EnBW Energie Baden-Württemberg eine große Vielzahl an Ausbildungsberufen und Studiengängen an:

### Übersicht der Ausbildungsstandorte der EnBW

<b>Technische Ausbildungsberufe</b>	<b>Standort</b>
Anlagenmechaniker (w/m)	Karlsruhe, Stuttgart
Elektroniker für Automatisierungstechnik (w/m)	Heilbronn
Elektroniker für Betriebstechnik (w/m)	Biberach, Forbach, Heilbronn, Herrenberg, Karlsruhe, Rostock, Öhringen, Stuttgart, Tuttlingen, Wiesloch
Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik (w/m)	Engstlatt, Rheinhausen
Elektroniker für Geräte und Systeme (w/m)	Stuttgart
Industriemechaniker (w/m)	Forbach, Heilbronn, Karlsruhe
Mechatroniker (w/m)	Forbach, Heilbronn, Karlsruhe, Stuttgart
<b>Kaufmännische Ausbildungsberufe</b>	<b>Standort</b>
Industriekaufleute (w/m)	Biberach, Stuttgart, Karlsruhe
Informatikkaufleute (w/m)	Karlsruhe
Kaufleute für Büromanagement (w/m)	Stuttgart

<b>Studiengänge (Duales Studium)</b>	<b>Standort</b>
B.A. BWL Industrie (w/m)	Karlsruhe, Stuttgart
B. Eng. Elektrotechnik (w/m)	Biberach, Stuttgart
B. Eng. Elektrotechnik/Nachrichtentechnik (w/m)	Stuttgart
B. Eng. Maschinenbau (w/m)	Karlsruhe, Stuttgart
B. Eng. Mechatronik/Energiewirtschaft (w/m)	Karlsruhe (DH Mannheim)
B. Sc. Angewandte Informatik (w/m)	Stuttgart

B. Sc. Sicherheitswesen (w/m)	Karlsruhe (Einsatzorte: Philippsburg, Neckarwestheim)
B. Sc. Wirtschaftsinformatik (w/m)	Karlsruhe, Stuttgart

## Veranstalter der „Energie auf Tour“



Der gemeinnützige Förderverein Science & Technologie e.V. hat die Förderung der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung zum Ziel. Seit seiner Gründung im Jahr 1998 hat der Verein eine Vielzahl von Bildungsprojekten für sehr unterschiedliche Zielgruppen durchgeführt.

An den beiden Wissenschaftsfestivals „Science Days“ und „Science Days für Kinder“ ([www.science-days.de](http://www.science-days.de)), die jährlich im Europa-Park in Rust stattfinden, können Schülerinnen und Schüler gemeinsam mit Expertinnen und Experten aus der Wissenschaft, der Industrie und anderen Bereichen experimentieren, konstruieren und diskutieren.

Mit dem Programm Kulturakademie Baden-Württemberg der Stiftung Kinderland, bei dem Science & Technologie e.V. für den MINT-Bereich zuständig ist, werden besonders talentierte Jugendliche im Land gefördert.

Das Team des Fördervereins führt regelmäßig mit seinem Science Mobil Shows an Grund- und weiterführenden Schulen durch und besucht im Rahmen des Projekts „Wunderfitze im Krankenhaus“ auch Kinder im Krankenhaus, um mit ihnen gemeinsam zu experimentieren.

Science & Technologie e.V. ist vom Kultusministerium Baden-Württemberg als Außerschulisches Schülerforschungszentrum anerkannt worden.

## Sponsor

Die EnBW Energie Baden-Württemberg unterstützt den Förderverein, damit mehrere Tausend Schülerinnen und Schüler im Land an den Aktionen von „Energie auf Tour“ teilnehmen können. Herzlichen Dank dafür!

## Kontakt

Informieren Sie sich auf der Projektwebsite [www.energie-auf-tour.de](http://www.energie-auf-tour.de) und der Website des Fördervereins [www.science-und-technologie.de](http://www.science-und-technologie.de).

Science & Technologie e.V.  
Brühlstr. 3  
79331 Teningen

info@energie-auf-tour.de  
Tel. 07641-9365 320

# Anhang

