

## Wasser und Wind – traditionelle Energielieferanten neu entdeckt

In diesem Leitfaden erhalten Sie einen Überblick über den inhaltlichen und didaktischen Zusammenhang der Medien des Medienpakets „Wasser und Wind – traditionelle Energielieferanten neu entdeckt“.

### 1 Didaktisch-pädagogische Hinführung

Die praktische Bedeutung liegt bei diesen Themen auf der Hand, denn Wasser und Windkraft sind nach der Biomasse die vom Menschen bereits am längsten genutzten regenerativen Energieträger.

Die Themen Wasserkraft und Windkraft stehen je nach Bundesland, Schulart und Schulzweig in Physik in den Jahrgangsstufen 7–12 in den Lehrplänen. Soweit die Themen nicht explizit vorgegeben sind, können sie hervorragend als aktuelle Beispiele zu anderen Lehrplanthemen aus verschiedenen Bereichen behandelt werden, wie z. B. Energieerzeugung, Energieversorgung, Energiewandlung, Generator, Turbine, Windrad, Bernoulli-Effekt, Strömung oder elektrische Kenngrößen. Das vorliegende Medienpaket bietet darüber hinaus Schnittstellen zum Unterricht in Geografie. Es unterstützt damit die Lehrkraft bei der Behandlung von Standardlehrstoff anhand von zwei hochaktuellen Themen.

Zur allgemeinen Einführung in das Thema „Regenerative Energien“ findet man ein Medienpaket „Regenerative Energie – die Zukunft ist sonnig“ auf dem Medienportal der Siemens Stiftung. Auch ein weiteres Medienpaket zum Thema „Solarthermie und Photovoltaik“ ist dort zu finden.

Zur Einarbeitung in die Themen „Wasserkraft“ und „Windkraft“ und als schnelle Referenz kann die Lehrkraft die Leitfäden im vorliegenden Medienpaket verwenden.

|        |  |
|--------|--|
| Medien | Leitfaden „Regenerative Energien“<br>Leitfaden „Energieumwandlung“ |
|--------|--|

Die Medien des Pakets können einzeln und völlig unabhängig voneinander streng nach Fachbezug eingesetzt werden, doch lebendiger wird der Unterricht sicher im Zusammenhang. Anhand der Bedeutung für das Leben der Schülerinnen und Schüler besteht so die Chance, das Interesse am fachlichen Detail zu wecken. Zu diesem Zweck empfiehlt sich die Erarbeitung des Themas in folgenden Schritten:

- **Wasser und Wind – zwei sehr ähnliche Energieträger**  
Zwei altbewährte Energieträger mit moderner Technologie  
Wie ordnen sich Wasser und Wind in die anderen Energieträger ein?
- **Wasserkraft**  
Was heißt Wasserkraft?  
Warum gibt es unterschiedliche Wasserkraftwerke, wie funktionieren sie?  
Physik der Wasserturbine  
Ist ein Ausbau der Wasserkraft durch innovative Kraftwerkstypen möglich?
- **Windkraft**  
Unterschätzte Windkraft  
Wie funktionieren Windkraftwerke?  
Frequenz und Phase – Brauchen Windkraftwerke ein Getriebe?  
Wie passt der Strom aus Wind ins Netz?

- **Wind- und Wasserkraft im physikalischen Vergleich**

Potenzielle und kinetische Energie bei Wind und Wasser

Wind- und Wasserturbinen als Widerstandsläufer oder Strömungsmaschinen („Auftriebsläufer“)

## **2 Einstieg: Wasser und Wind – zwei sehr ähnliche Energieträger**

### **2.1 Zwei altbewährte Energieträger mit moderner Technologie**

Beide Energieträger werden in Form von Wassermühlen (seit ca. 2300 v. Chr.) und Windmühlen (seit ca. 600 n. Chr.) bereits lange vom Menschen genutzt. Wasserkraftwerke in moderner Form zur Stromgewinnung mit Wasserturbinen entstanden ab 1880. Windkraftwerke zur Stromgewinnung kamen erstmals kurzzeitig um 1900 auf. Ab den 1980er Jahren entwickelten sie sich dann sehr schnell zu einer technisch ausgereiften Lösung. So gesehen sind Wind und Wasser zwei regenerative Energieträger, bei denen keine technischen Schranken beim schnellen Ausbau zum Ersatz fossiler Energieträger bestehen. Auch die Physik bei der Nutzung der beiden Energieträger in Kraftwerken ist recht ähnlich und so kann man an Unterschieden und Gemeinsamkeiten einiges aus Physik und Technik lernen.

Zur Einstimmung ein Bild, das beide Energieträger zusammen zeigt:

Medium      Foto „Offshorewindpark“

(Wasserkraft nur indirekt als Gezeiten- und Wellenkraftwerke, die hier nicht im Bild sichtbar sind; es sollte also der Hinweis auf Gezeiten und Wellen im Meer als Energieträger erfolgen.)

### **2.2 Wie ordnen sich Wasser und Wind in die anderen Energieträger ein?**

Die Schülerinnen und Schüler können überlegen, auf welchen Prozess sich alle Energiequellen letztendlich zurückführen lassen. Das Beispiel mit dem Gezeitenhub ist didaktisch besonders wertvoll für den Physikunterricht, denn es scheint auf den ersten Blick ein Perpetuum mobile zu sein. Zwar leuchtet jedem ein, dass die Hubarbeit der Mond geleistet hat. Doch woher hat er die Energie genommen? Was auf der einen Seite an Energie „gewonnen“ wird, muss ja woanders „verloren“ gehen.

Eine kleine Auffrischung zum Thema Energieformen und wo und wie viel Wasser drinsteckt:

Medien      Übersichtsgrafik „Energieträger regenerativ“  
Tabelle „Welche Energie steckt in welchem Energieträger?“  
Schemagrafik „Energiequellen für elektrischen Strom“  
Infomodul mit Diagrammen „Stromerzeugung weltweit“

Zur Vorbereitung für die Lehrkraft oder auch als Grundlage für Schülerreferate:

Medien      Leitfaden „Regenerative Energien“  
Leitfaden „Energieumwandlung“  
Linkliste „Regenerative Energien“

### 3 Wasserkraft

#### 3.1 Was heißt Wasserkraft?

Sieht man von Thermalwasser (Erdwärme) und Tidenhub (Mond, Erdrotation) ab, beruht die Wasserkraft auf der potenziellen Energie der durch die Sonne verdampften und abgereinigten Wassermassen.

Medien                      Übersichtsgrafik „Energieträger Wasser“  
Sachinformation „Wasser als Energielieferant“

#### 3.2 Warum gibt es unterschiedliche Wasserkraftwerke, wie funktionieren sie?

Auf dem Abflussweg des abgereinigten Wassers bis auf Meereshöhe Normalnull kann die o. g. potenzielle Energie in Wasserkraftwerken zur Stromgewinnung genutzt werden. Je nach den geografischen Gegebenheiten gibt es unterschiedliche Kraftwerkstypen. Das Laufwasser- und das Speicherkraftwerk werden als die beiden Grundtypen vorgestellt; das Pumpspeicherkraftwerk als vom Menschen geschaffener Energiezwischenpeicher. Das Gezeitenkraftwerk (Energiequelle Mond bzw. Erdrotation) und das Wellenkraftwerk (Energiequelle Wind) fallen bezüglich ihrer Energiequellen aus dem Rahmen, die Kraftwerksphysik ist aber dieselbe.

Medium                      Infomodul mit Animation „Wasserkraftwerke“

Um Strom aus Wasserkraft zu gewinnen, braucht man Turbinen und Generatoren:

Medium                      Foto „Turbinen und Generatoren im Walchenseekraftwerk“

#### 3.3 Physik der Wasserturbinen

Im Wasserkraftwerk soll möglichst viel der potenziellen und kinetischen Energie des Wassers in Rotationsenergie umgewandelt werden, damit über die Rotation ein Generator angetrieben werden kann. Da dies eine Umwandlung „von mechanisch nach mechanisch“ ist, könnte das theoretisch mit 100 % Wirkungsgrad erfolgen. Beim Mühlenrad fließt ein Großteil des Wassers von der Schaufel ab (oberschlächtig) oder um die Schaufel herum (unterschlächtig), der Wirkungsgrad ist daher gering. Dagegen wird in der Wasserturbine durch das Gehäuse, zusätzliche Düsen oder Leitschaufeln und die Form der Laufschaufeln das Wasser gezwungen, komplett gegen die Turbinenschaufeln zu laufen, sodass es bis zu 95 % seiner Energie abgeben kann. Misst man die Summe aus potenzieller Energie ( $= m \cdot g \cdot h$ ) und kinetischer Energie ( $= 1/2 \cdot m \cdot v^2$ ) vor und nach der Turbine, weiß man, wie viel von der Energie des Wassers übertragen wurde.

Doch wie muss man die Turbinen bauen, dass dieser Wirkungsgrad optimal wird? Je nach Fallhöhe und Wassermenge haben sich hierfür drei Grundtypen herausgebildet, die alle über 90 % Wirkungsgrad erreichen: die Pelton-, Francis- und Kaplan turbine.

Medium                      Infomodul mit Animation „Physik der Wasserturbinen“

### 3.4 Ist ein Ausbau der Wasserkraft durch innovative Kraftwerkstypen möglich?

In den USA gilt die Wasserkraft unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten als weitgehend ausgeschöpft, könnte aber durch Ausbau und Verbesserung der bestehenden Anlagen um rund 10 % gesteigert werden. In Afrika, Asien und Südamerika werden dagegen erst rund 20 % des technischen Potenzials an Wasserkraft genutzt. In Deutschland und Mitteleuropa ist dagegen das Potenzial an Wasserkraft mit konventionellen Kraftwerken weitgehend ausgeschöpft. Auch herkömmliche Gezeitenkraftwerke lohnen sich nicht. Zusätzliche Möglichkeiten stecken in der Ausschöpfung der Wellenkraft:

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Infomodul mit Animation „Wasserkraftwerke“<br>Beschriftete Grafik „Wellenkraftwerk“<br>Simulation „Pumpspeicherkraftwerk“ |
|--------|---|

**Unterrichtsidee:** Projekt oder Referat zum Thema „Um wie viel Prozent könnte man in Deutschland den Wasserkraftanteil an der Stromerzeugung steigern, wenn an der Küste Wellenkraftwerke und in Flüssen und Bächen ‚Wasserbojen‘, ‚Wasserschrauben‘ oder sog. ‚Schachtwasserkraftwerke‘ eingesetzt werden würden?“

## 4 Windkraft

### 4.1 Unterschätzte Windkraft

Die Windsäcke vor großen Talbrücken erinnern einen an die oft unterschätzte Windenergie.

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Foto „Energieträger Wind“<br>Foto „Windrad in Landschaft“ |
|--------|---|

Schwere, zerstörerische Stürme nehmen weltweit immer mehr zu. Was sind die Ursachen? Was bedeutet das für die Nutzung der Windkraft zur Energieerzeugung? Diese Fragen könnte die Lehrkraft als Rechercheauftrag an die Schüler geben.

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Rechercheauftrag und Linkliste „Stürme und Windkraft“ |
|--------|---|

### 4.2 Wie funktionieren Windkraftwerke?

Behandelt wird hier nur das Propellerwindrad mit horizontaler Rotationsachse – in meist dreiflügeliger Form ist es heute weltweit technischer Standard. Dessen Aufbau und auch sein Wirkungsgrad werden erklärt, der nach den Gesetzen der Physik 59,3 % nicht überschreiten kann. Es wird auch auf die Notwendigkeit der Energiespeicherung eingegangen, auf günstige Standorte und wie groß das Potenzial der Windkraft ist.

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Infomodul „So funktioniert ein Windkraftwerk“<br>Infomodul „Energiespeicherung“ |
|--------|---|

### 4.3 Frequenz und Phase – Brauchen Windkraftwerke ein Getriebe?

Ein kleiner Ausflug in die Elektrik zeigt: Um den Windstrom direkt transformieren und in das Netz einspeisen zu können, muss er exakt 50 Hz Frequenz in synchroner Phasenlage haben. Genauso wie die Generatoren in thermischen Kraftwerken oder Wasserkraftwerken müssten einpolige Generatoren deshalb mit exakt 3.000 U/min laufen, zweipolige mit 1.500 U/min usw. Da der Wind

jedoch unterschiedlich schnell „bläst“, haben herkömmliche Windkraftträder regelbare Getriebe und evtl. Generatoren mit umschaltbarer Polzahl. Bei der modernsten Technik wird jedoch der Wechselstrom des Generators zunächst gleichgerichtet und anschließend exakt mit Frequenz und Phase des Netzes wechselgerichtet und auf Netzspannung transformiert. Man spart in diesem Fall das Getriebe und umschaltbare Generatoren.

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Beschriftete Grafik „Funktionaler Aufbau eines Windrads“<br>Beschriftete Grafik „Windrad – Innenansicht“<br>Foto „Generator für Windrad“<br>Leitfaden „Energieumwandlung“ |
|--------|---|

Hinweis: Das Problem der exakten Frequenz bzw. Drehzahl der Turbine gibt es auch bei Wasserkraft. Die Wasserturbinen sind von der Grundkonstruktion bereits an den vor Ort vorhandenen Wasserstrom angepasst. Die Feinregulierung des Wasserflusses erfolgt durch automatische Steuerung der Leitschaufeln bzw. Düsen.

#### 4.4 Wie passt der Strom aus Wind ins Netz?

Während der Strom aus Laufwasser und Speicherkraftwerken in der Regel zur Deckung der Grundlast verwendet wird, ist der Strom aus Wind dafür relativ ungeeignet. Es gibt die Möglichkeit, Windkraft in Kombination mit Gasturbinenkraftwerken einzusetzen. Je nachdem, wie viel gerade an Windstrom fehlt, wird dann durch Zuschaltung von Gasturbinen kompensiert, sodass Wind sowohl Beiträge zur Grund- als auch Spitzenlast leisten kann. Doch die Kombination mit Erdgas widerspricht eigentlich dem Ersatz fossiler Energien. Deshalb müssen Windkraft, wie auch Solar-energie, mit neu zu schaffenden Energiespeichern kombiniert werden. Auch die oft zitierte Idee „viele kleine modulare regenerative Energieerzeugungsanlagen liefern dezentral alle Energie“, geht unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit nicht auf (das würde vielleicht für private Haushalte funktionieren, aber nicht für große Industriebetriebe). Nur ein Verbund von zentraler Energieversorgung mit dezentraler Energieerzeugung, kombiniert mit Einspeisung und Speicherung von regenerativen Energien sowohl auf zentraler als auch dezentraler Ebene, wird das Problem lösen können.

|        |  |
|--------|--|
| Medium | Schemagrafik „Zentrale und dezentrale Energieversorgung“ |
|--------|--|

Durch die Umwandlung von überschüssigem Wind- und Solarstrom in Wasserstoff oder sogar Methan (Power to Gas) kann das bestehende Erdgasnetz zur Verteilung und Speicherung genutzt werden. Eine Grafik veranschaulicht das Power-to-Gas-Verfahren. Beispielsweise können mit dem so gewonnenen Wasserstoff auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellentechnik betrieben werden. Ein Foto zeigt eine Brennstoffzelle für (Schul-)Experimente.

|         |   |
|---------|---|
| Medien: | Grafik „Power to Gas“<br>Foto „Brennstoffzelle für Experimente“ |
|---------|---|

## 5 Wind- und Wasserkraft im physikalischen Vergleich

Je nach Klassenstufe und Lehrplan könnte das Thema Wind- und Wasserkraft noch vertieft werden.

Zum Beispiel könnte man genauer klären, warum der Wirkungsgrad von Wind- und Wasserkraft so stark unterschiedlich ist. Dazu kann man z. B. die Unterschiede im Strömungsverhalten kompres-

sibler (Luft) und nichtkompressibler Medien (Wasser) herausarbeiten. Man könnte das Betz'sche Gesetz für den optimalen Wirkungsgrad der Windkraft als Optimierungsaufgabe mathematisch ableiten.

Der Unterschied bei den Turbinen als Widerstandsläufer und Strömungsmaschinen wäre zu erklären. Beim Widerstandsläufer drückt der Massestrom das Schaufelblatt unmittelbar in Strömungsrichtung weg – ein Prinzip, das man bei der Pelton-Wasserturbine oder beim Savonius-Windrad findet. Bei der Strömungsmaschine weicht das Schaufelblatt aufgrund des Druckunterschieds zwischen der umströmten Vorder- und Rückseite des Schaufelprofils in Drehrichtung aus – ein Prinzip, wie man es beim Wasser bei der Kaplan-Turbine und beim Windrad in Propellerform findet. Die Francis-Turbine ist dagegen eine Mischform beider Typen. Diese Themen können an den beiden Infomodulen des Medienpakets in Verbindung mit den beiden Leitfäden behandelt werden.

|        |   |
|--------|---|
| Medien | Infomodul mit Animation „Physik der Wasserturbinen“<br>Infomodul „So funktioniert ein Windkraftwerk“<br>Leitfaden „Regenerative Energien“<br>Leitfaden „Energieumwandlung“<br>Linkliste „Regenerative Energien“ |
|--------|---|