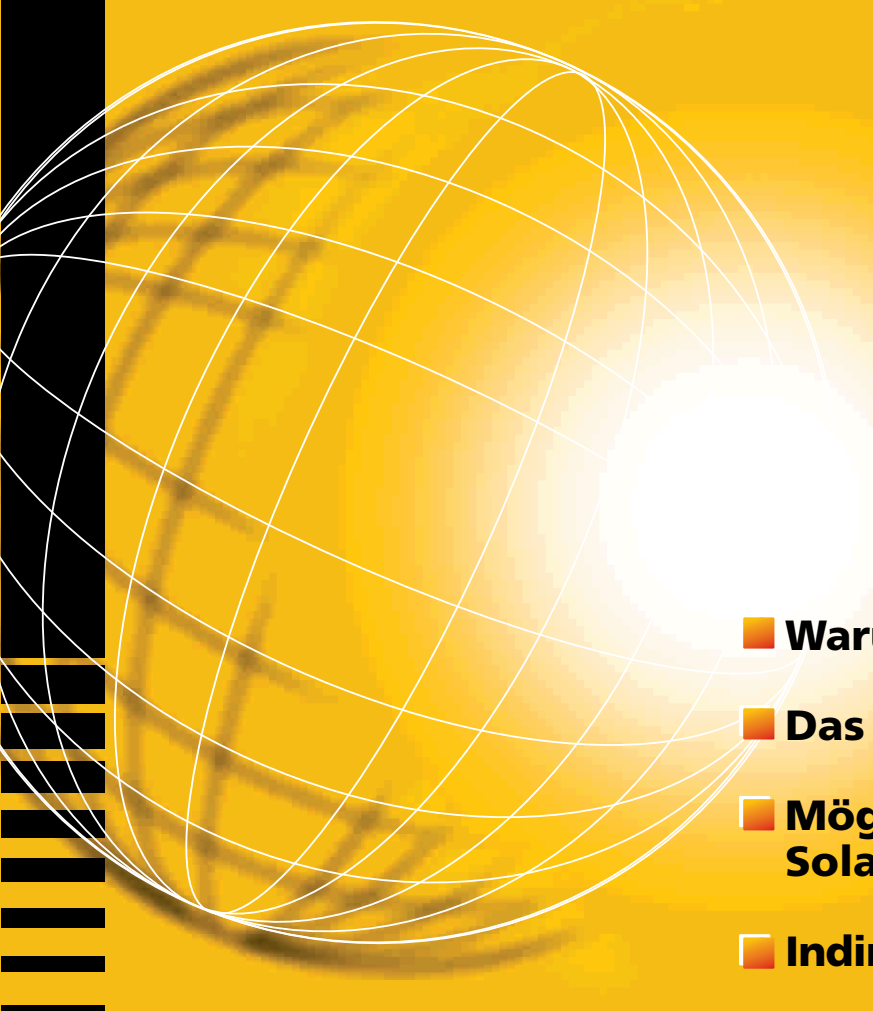




**ABTEILUNG
WASSER
& ENERGIE**

AMT FÜR ENERGIEEINSPARUNG

Die solare Zukunft

- 
- **Warum Sonnenenergie**
 - **Das solare Angebot**
 - **Möglichkeiten der direkten Solarenergienutzung**
 - **Indirekte Solarenergienutzung**
 - **Möglichkeiten und Grenzen der Solarenergie**



Autonome
Provinz
Bozen
Südtirol

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	S. 4
2. Das solare Angebot	S. 6
Sonneneinstrahlung auf der Erde	S. 7
Die solare Einstrahlung in unseren Breiten	S. 9
3. Möglichkeiten der direkten Solarenergienutzung	S. 10
Direkte Solarenergienutzung	S. 11
Thermische Nutzung der Sonnenenergie	S. 11
Brauchwassererwärmung	S. 11
Sonnenenergie zur Heizunterstützung	S. 15
Sonnenenergie zur Sommerkühlung	S. 16
Passive Solarenergienutzung im Bauwesen - Bioklimatische Architektur	S. 17
Stromerzeugung mit Sonnenenergie	S. 22
Photovoltaik	S. 22
Arten von "Solarzellen" Anwendungen	S. 23
Die Wasserstofftechnik	S. 25
Solarthermische Kraftwerke	S. 27
Parabolrinnenkraftwerk	S. 28
Turmkraftwerk	S. 28
Stirling Anlagen	S. 29
Aufwindkraftwerke	S. 30
4. Indirekte Solarenergienutzung	S. 32
Wasserkraft	S. 33
Kreislauf des Wassers und Nutzung in Kraftwerken	S. 33
Biomasse	S. 35
Kreislauf der Biomasse	S. 35
Nutzung von Holz und Stroh	S. 37
Biogas	S. 37
Windenergie	S. 38
Arten von Windkraftwerken	S. 39
Möglichkeiten und Grenzen in unseren Breiten	S. 40
5. Möglichkeiten und Grenzen der Solarenergie	S. 41
Sonnenenergie - unbegrenzte aber "verdünnte" Energie	S. 42
Speicherung von Sonnenenergie	S. 43
Aktueller Stand und Zukunftsaussichten	S. 43

Impressum:

Herausgeber:

Amt für Energieeinsparung
Autonome Provinz Bozen/Südtirol

Für den Inhalt verantwortlich:

Dr. Ing. Norbert Klammsteiner

Grafische Gestaltung:

Studio Creation Sterzing



Die Energie der Sonne wird uns gratis ins Haus geliefert. Keine Luftschadstoff-Emissionen, keine radioaktiven Strahlen. Die Energie der Sonne kann in vielfacher Hinsicht genutzt werden: Zur Erwärmung des Brauchwassers, in geringem Maße auch für Heizzwecke und durch Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke sogar zur Stromerzeugung. Wenn wir uns dann noch die von der Sonne "geborene", indirekte Solarenergie in Form von Wasserkraft, Biomasse und Windenergie zu eigen machen, wird uns die Tragweite der Möglichkeiten zur Ausnutzung der solaren Energie erst bewußt.

Unser Ziel muß es sein, sämtliche Anstrengungen zu unternehmen, diese Energiequelle für die Bevölkerung "greifbar" und schmackhaft zu machen, da sie die Umwelt fraglos weniger belastet und bei optimaler Nutzung ein großes Potential innehat. In Südtirol haben wir vom Klima und der Sonneneinstrahlung her die besten Voraussetzungen für die Installation von Solaranlagen.

Also auf in die solare Zukunft!

Landesrat
Dr. Michl Laimer

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michl Laimer". The signature is written in a cursive, flowing style.

Die solare Zukunft

1. Einleitung

Um die Frage "Warum Sonnenenergie?" etwas genauer zu beantworten, kann man zunächst auch versuchen, sich die Frage "Warum Energie?" zu stellen. Für viele Jahrtausende kam der Mensch mit der Energie aus, die ihm sein Körper geben konnte und die er durch die Nahrungsaufnahme regenerierte. Mit der Zeit gelang es ihm, sich die Energie des Feuers zunutze zu machen. Diese zusätzliche Energiequelle reichte ihm dann für eine weitere sehr lange Zeitspanne aus. Große Kulturen, die sich mit der Zeit entwickelten, wie jene der Ägypter oder der Römer wurden sich jedoch bald bewußt, daß zum Realisieren großer Projekte und zum Erreichen eines hohen Lebensstandards unter anderem auch große Energiemengen notwendig waren. In jenen Epochen wurde der große Energiebedarf durch den massiven Einsatz von Sklavenarbeit gedeckt.

Wenn man heute in den modernen Industriestaaten den durchschnittlichen Pro Kopf-Energieverbrauch mit der Leistungsfähigkeit eines gesunden körperlichen Schwerarbeiters vergleicht, so stellt man fest, daß jeder Einwohner durchschnittlich etwa 70mal so viel Energie verbraucht wie er bei schwerer körperlicher Arbeit in der Lage wäre selbst zu leisten. Das heißt jeder Einwohner braucht heute 70 "Sklaven", die Tag und Nacht für ihn arbeiten um seinen Energiebedarf zu decken. Wenn auch an dem Slogan "die beste Energiequelle ist die Energieeinsparung" einiges dran und in dieser Hinsicht noch vieles zu tun ist, so zweifelt sicher niemand daran, daß auch bei einer drastischen Reduzierung des Energieverbrauchs in den Industriestaaten doch jeder Mensch ein Vielfaches der Energie benötigt, die er körperlich erbringen könnte.

Der fast banale Schluß aus dieser Überlegung: man braucht also Energie in erheblichen Mengen um den Fortbestand der menschlichen Zivilisation zu sichern. Da die Energieversorgung der Erde derzeit immer noch zu einem guten Teil auf dem Raubbau an fossilen Energieressourcen wie Erdöl und Erdgas basiert, müssen

in absehbarer Zeit Ergänzungen und Alternativen zu den herkömmlichen Energiequellen gefunden, erprobt und realisiert werden.

Die Kernspaltung ist sicherlich eine Alternative (insofern als sie "alternativ", also als Ersatz für die derzeit zur Stromerzeugung noch massiv eingesetzten fossilen Brennstoffe verwendet werden kann). Sie hat heute schon einen relativ großen Anteil an der Weltenergieversorgung und dieser ist sicherlich, zumindest mittelfristig, dazu bestimmt, weiter anzuwachsen.

Die zum Teil ungelösten Probleme, die auch die friedliche Nutzung der Kernspaltung aufwirft, sind jedoch nicht erst seit Tschernobyl bekannt.

Die Kernfusion, also derselbe Prozeß der in der Sonne für die enorme Energieproduktion verantwortlich ist, ist sicherlich eine Vision, die vielleicht in Zukunft einmal einen Teil der Energieversorgung der Erde übernehmen kann. Man ist jedoch bis heute nicht sehr viel weiter als bis zum Nachweis der physikalischen Machbarkeit auf der Erde gekommen. Außerdem bringt auch diese auf der Erde hypothetische Art der Energieerzeugung Probleme mit radioaktiver Strahlung mit sich, wenn auch in sehr viel geringerem Maße als die Kernspaltung.

Die einzige wirklich "saubere", also für den Menschen und seine Umwelt in keiner Weise schädliche Energiequelle ist die Sonne. Es ist also sicherlich eine der größten Herausforderungen der nächsten Jahre, die Sonnenenergie immer massiver nicht nur als Ergänzung sondern wirklich als Ersatz (als wirkliche "Alternative") für herkömmliche, vor allem fossile, Energieträger einzusetzen.

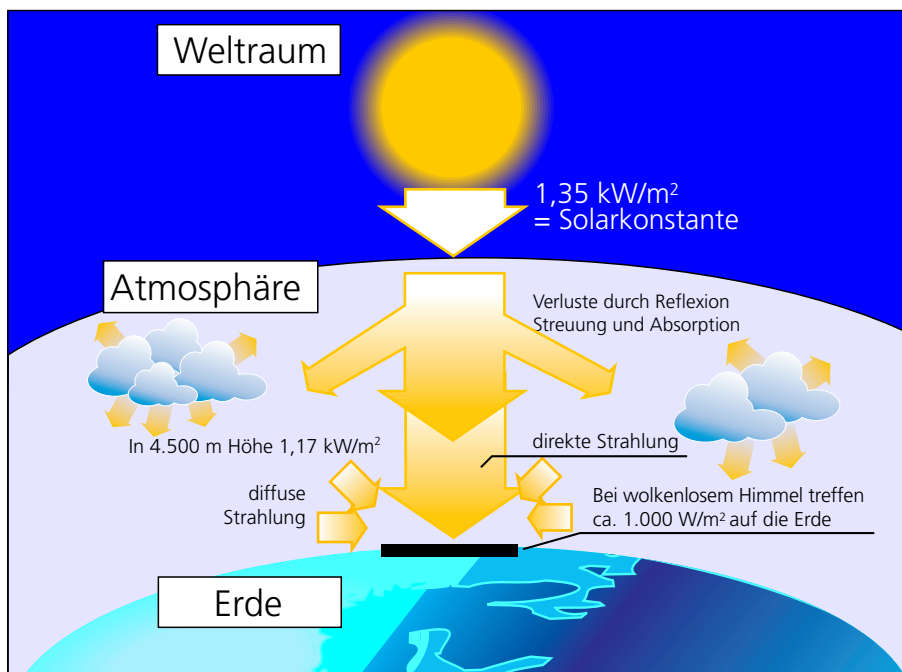
Es ist von äußerster Wichtigkeit, hierin jetzt alles Verfügbare an Wissen, Technologie und Geld einzusetzen. Wir müssen uns alle bewußt sein, daß das "ob" der Sonnenenergienutzung sich schon lange beantwortet hat; es geht jetzt um das "wie".

Die solare Zukunft

2. Das solare Angebot

Sonneneinstrahlung auf der Erde

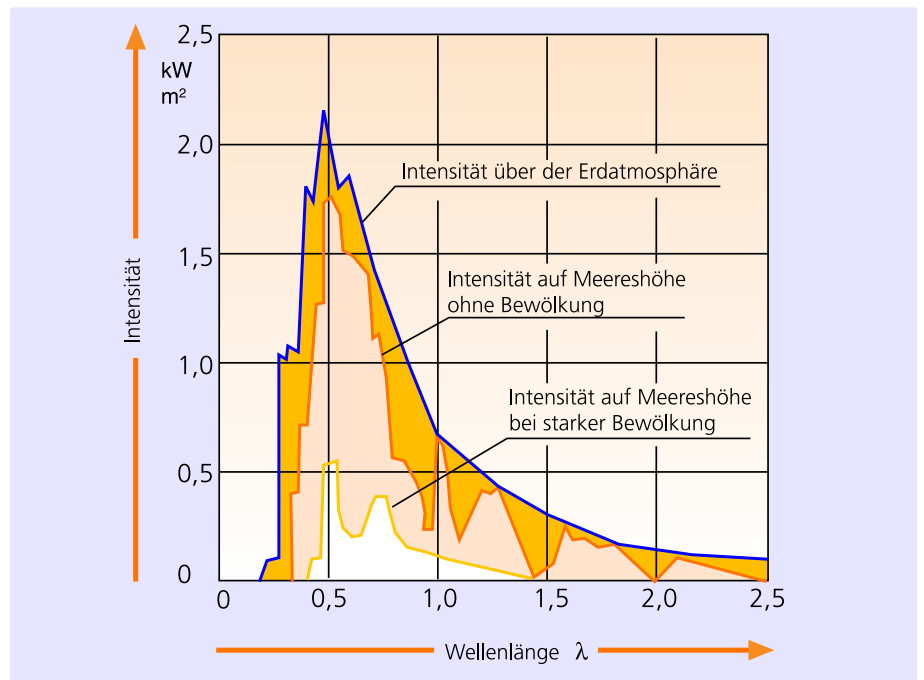
Die Strahlungsenergie, die von der Sonne zur Erde gelangt und auf die Erdatmosphäre auftrifft, beträgt durchschnittlich 1353 Watt/m^2 auf eine Oberfläche, die senkrecht zu den Sonnenstrahlen ausgerichtet ist. Dieser Wert ist ziemlich konstant in der Zeit und wird auch als "Solarkonstante" bezeichnet. Die Erdatmosphäre und die in ihr enthaltenen Substanzen (Luft, Ozon, Wasserdampf, Staub, sonstige Bestandteile) absorbieren und reflektieren einen Teil der Energie, so daß auf der Erdoberfläche noch etwa zwei Drittel der Strahlungsenergie ankommen. Ungefähr 1000 Watt/m^2 treffen an einem klaren Tag auf einer horizontalen Fläche auf, wenn die Sonne am höchsten steht. Wenn man diese Energiemenge auf die gesamte Oberfläche der Erde hochrechnet, die der Sonne zugewandt ist (eine kreisrunde Fläche mit einem Durchmesser von fast 14.000 km), so ergibt das in einem Jahr die sehr große Energiemenge von 10^{18} kWh . Diese entspricht in etwa dem 13.000 fachen der gesamten auf der Erde in einem Jahr verbrauchten Energie. Die Nutzung der Sonnenenergie ist allerdings durch verschiedene Umstände, auf welche im folgenden etwas genauer eingegangen wird, eingeschränkt.



Energieflußbild von Sonne und Erde außerhalb und innerhalb der Erdatmosphäre

Sonnenenergie ist Strahlungsenergie. Die Sonnenstrahlung ist ein „Gemisch“ elektromagnetischer Wellen verschiedener Wellenlängen. Die „Sonnenwärme“, also die Wärme- oder Infrarotstrahlung macht dabei nur einen Teil der gesamten

**Spektrum
Intensität/Wellenlänge der
Sonnenstrahlung**



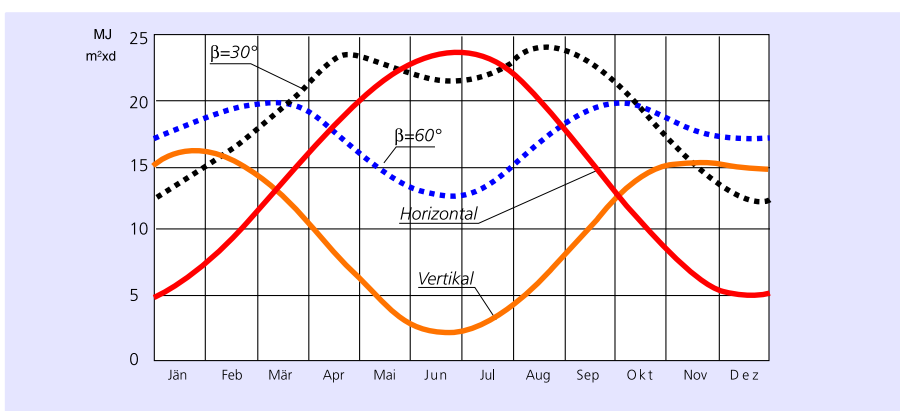
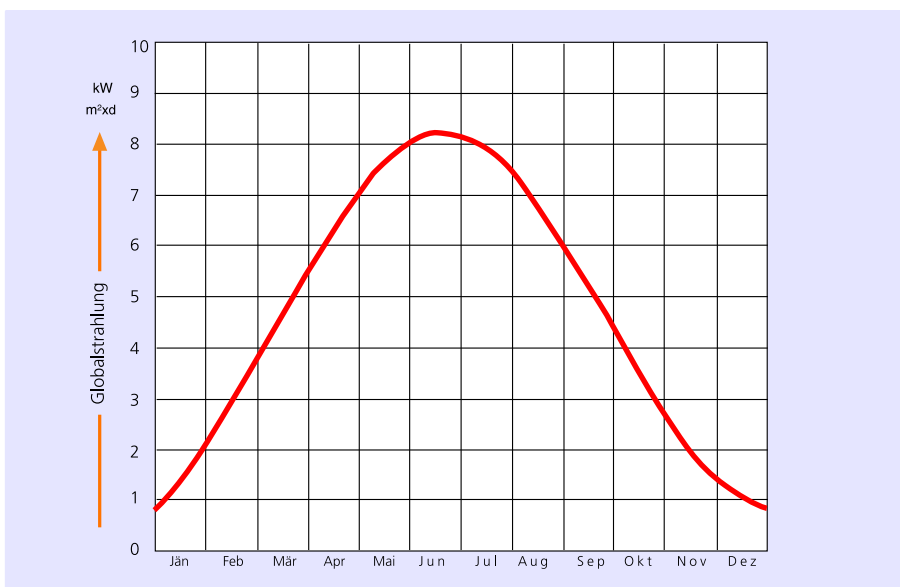
Die durchschnittlich pro Jahr in einer bestimmten Zone einstrahlende Sonnenenergie ist allerdings auf der gesamten Erdoberfläche nicht konstant sondern unterliegt starken Schwankungen, welche von mehreren Faktoren abhängen. Der gewichtigste dieser Faktoren ist die geographische Breite: die Sonneneinstrahlung ist am Äquator am stärksten und an den beiden Polen am schwächsten. Weiters spielt das Wetter und somit die durchschnittliche Anzahl der Sonnentage im Jahr eine große Rolle. Auch die durchschnittliche Meereshöhe eines Gebietes und die damit zusammenhängende Dicke der "Sonnenfilterschicht" Atmosphäre haben einen großen Einfluß. Schließlich spielen lokale Gegebenheiten wie zum Beispiel Nebelentwicklung im Winter, starke Dunstbildung im Sommer u. ä. eine wesentliche Rolle.

In diesem Zusammenhang kann kurz ein Problem angesprochen werden, das im folgenden noch ausführlicher behandelt wird, nämlich daß die Sonnenenergie nicht zu jeder Stunde und in jedem Monat gleichermaßen zur Verfügung steht und deshalb nicht unbedingt jederzeit den augenblicklichen Energiebedarf deckt.

Die solare Einstrahlung in unseren Breiten

Aufgrund der im letzten Absatz aufgezählten Faktoren stehen die Alpenregionen im allgemeinen und Südtirol im besonderen als gebirgiges Gebiet in der gemäßigten Klimazone und mit einer relativ großen durchschnittlichen Anzahl von Sonnentagen pro Jahr relativ gut da. Auf Oberflächen, die nicht horizontal ausgerichtet sind, sondern die eine gewisse Neigung aufweisen, hat die eingestrahlte Sonnenenergie einen anderen Verlauf. Bei einer senkrechten Oberfläche ist der Leistungsverlauf entgegengesetzt dem einer horizontalen Fläche; die eingestrahlte Leistung erreicht in diesem Fall das Maximum im Winter, wenn die Sonne am niedrigsten steht.

Verlauf der mittleren Strahlungsleistung auf eine horizontale Fläche an wolkenlosen Tagen im Laufe des Jahres in unseren Breiten



Verlauf der mittleren Strahlungsleistung auf Flächen verschiedener Neigung an wolkenlosen Tagen im Laufe des Jahres in unseren Breiten

Die solare Zukunft

3. Möglichkeiten der direkten Solarenergienutzung

Direkte Solarenergienutzung

Die Sonnenenergie ist Grundlage für eine immense Zahl von biologischen Abläufen auf der Erdoberfläche, in den Ozeanen, in der Biosphäre und wird von der Natur dafür seit Bestand der Erde „genutzt“. Der Mensch versucht auch seit jeher auf die verschiedensten Weisen die Kraft der Sonne in die Dienste der Zivilisation zu stellen. Im folgenden soll jene Nutzung der Sonnenenergie etwas näher beleuchtet werden, die der Energieeinsparung allgemein sowie der Einsparung und dem Ersatz knapper Energieträger und damit auch der Erhöhung der Lebensqualität und der Verringerung der Umweltbelastung dienen soll.

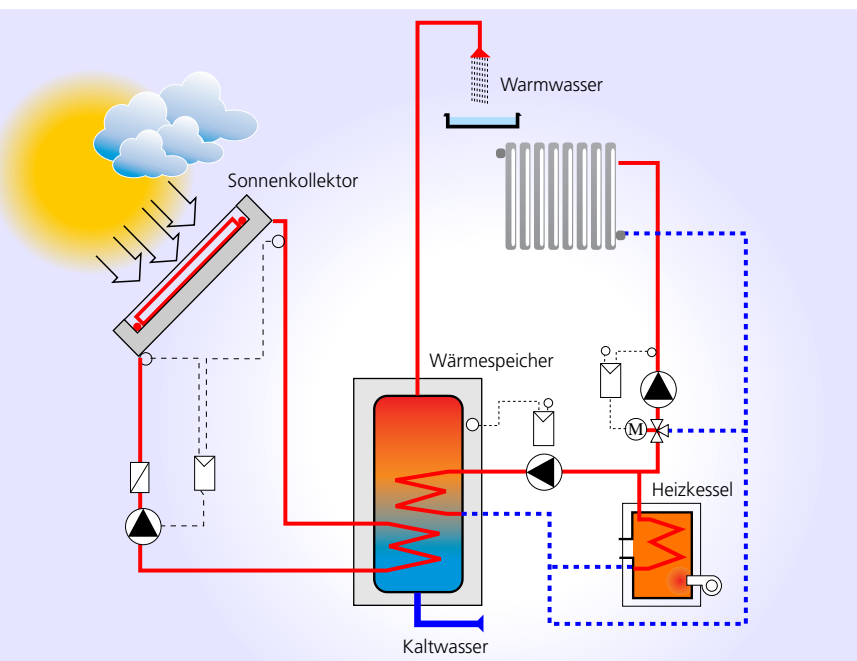
Thermische Nutzung der Sonnenenergie

Wie bereits erwähnt ist ein Teil der Sonnenstrahlung Wärmestrahlung. Aber auch ein guter Teil des sichtbaren Lichtes und der ultravioletten Strahlung wandelt sich beim Aufprall auf einen geeigneten (z. B. schwarzen) Körper in Wärme um. Es liegt daher nahe, die Sonnenenergie direkt in Form von Wärmeenergie zu nutzen. Dies kann mit den verschiedensten Apparaturen und für verschiedene Zwecke erfolgen, was im folgenden erläutert werden soll.

Brauchwassererwärmung

Eine der naheliegendsten Nutzungen der Sonnenenergie ist die Erwärmung von Brauchwasser. Diese Anwendungsart erscheint deshalb attraktiv, weil heute in vielen Ein- und Mehrfamilienhäusern Brauchwasser mit dem Heizungskessel erzeugt wird und gerade in den Sommermonaten diese Anlagen mit äußerst schlechtem Wirkungsgrad arbeiten. Andererseits ist im Sommer das Angebot an Sonnenenergie sehr groß, und das Solarsystem benötigt nur wenig Kollektorfläche (etwa 6-10 m² für einen Haushalt mit vier bis acht Personen) und eine kleine Speicherkapazität (0,5-1 m³).

Außerdem ist die Temperatur mit der Warmwasser allgemein benötigt wird relativ niedrig, so daß für diese Anwendungen auch mit relativ einfachen Apparaturen gute Wirkungsgrade erreicht werden können. Im Prinzip verwendet man eine Oberfläche, die einen möglichst großen Anteil der auftreffenden Sonnenstrahlung



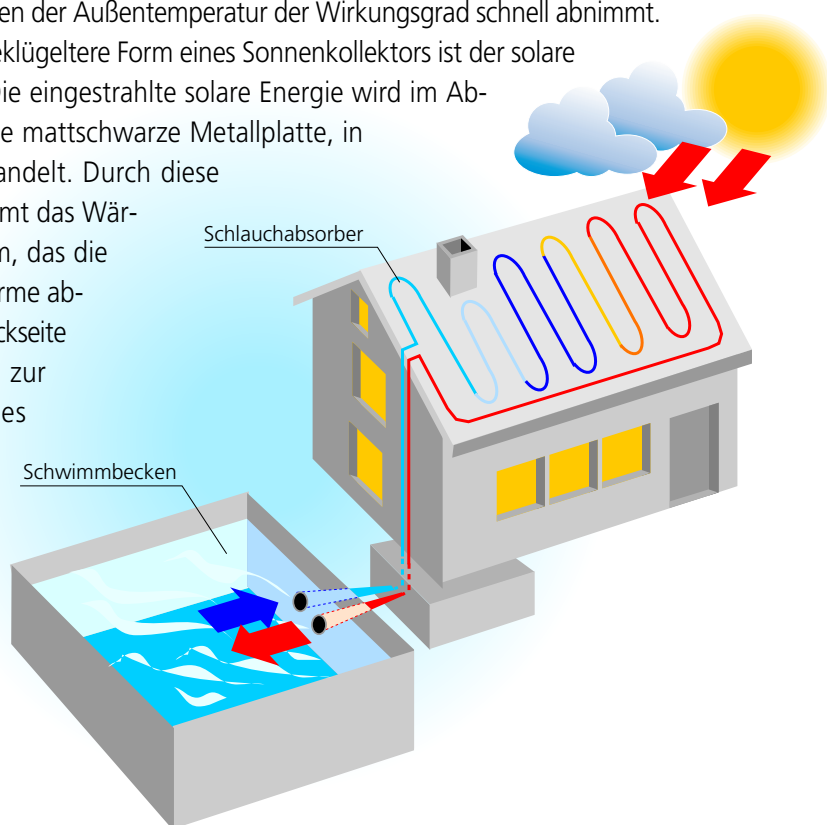
**Prinzip der solaren
Brauchwassererwärmung
mit Sonnenkollektoren**

einem Gebäudedach ausgelegt werden, so leisten sie zur Wassererwärmung gute Dienste. "Kollektoren" (also "Sammler") dieser Art haben allerdings relativ große Wärmeverluste durch Strahlung und Wärmedurchgang, weshalb bereits bei geringem Absinken der Außentemperatur der Wirkungsgrad schnell abnimmt.

Eine etwas ausgeklügeltere Form eines Sonnenkollektors ist der solare Flachkollektor. Die eingestrahlte solare Energie wird im Absorber, das ist die mattschwarze Metallplatte, in Wärme umgewandelt. Durch diese Metallplatte strömt das Wärmeträgermedium, das die entstehende Wärme abführt. Auf der Rückseite ist der Kollektor, zur Verringerung des Wärmeverlustes, mit einer Wärmedämmung versehen. Eine lichtdurchlässige Abdeckung soll

absorbiert und sich dadurch erwärmt. Diese Wärme wird dann durch eine Wärmeträgerflüssigkeit (in der Regel Wasser mit einem Gefrierschutz) abtransportiert und über einen Wärmetauscher dem Warmwasserspeicher zugeführt. Die Umwälzpumpe beginnt zu arbeiten, wenn die Kollektortemperatur um einige Grade höher ist als die Speichertemperatur, d. h. wenn Wärme vom Kollektor an das im Speicher befindliche Wasser abgegeben werden kann. Für Perioden ohne ausreichenden Sonnenschein muß eine Zusatz- oder Nacherwärmung vorgesehen werden. Die einfachste Form eines "Sonnenkollektors" ist ein Schlauch oder eine Kunststoffmatte, die eine möglichst stark absorbierende (z. B. schwarze) Oberfläche haben und die direkt von dem zu erwärmenden Wasser durchflossen werden. Wenn diese Schläuche oder Matten an einem sonnenausgesetzten Ort wie

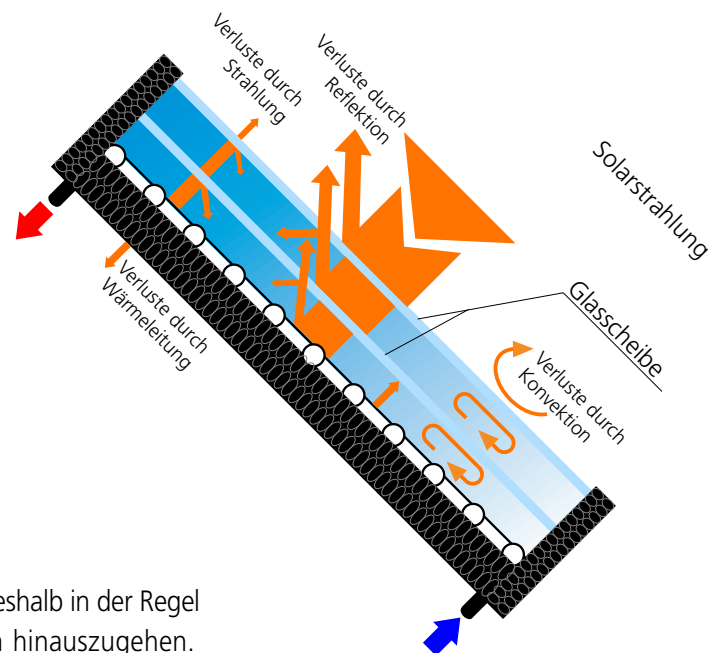
**Schlauchabsorber zur
Schwimmbadheizung**



eine unmittelbare Abkühlung der Absorberfläche durch die Umgebungsluft vermeiden. Eine Abdeckung aus Glas hat z. B. die Aufgabe, die vom Absorber ausgehende langwellige Strahlung teilweise zu reflektieren (Treibhauseffekt). Die Wärmeverluste können dadurch erheblich herabgesetzt werden. Der Absorber des Kollektors besteht im Normalfall aus Metall (Kupfer, Aluminium, Stahl). Zur Verringerung der Wärmeverluste sind die Metallflächen bei einigen Kollektoren mit einer sogenannten selektiven Beschichtung überzogen, die das sichtbare Licht gut absorbiert, im Infraroten aber wenig Wärme abstrahlt. Um die Wärmeverluste durch Wärmeleitung und Konvektion noch mehr herabzusetzen, wird in gewissen Flachkollektoren ein Teil der im Inneren enthaltenen Luft abgesaugt, da die Luft für einen guten Teil der Wärmeverluste verantwortlich ist. In diesem Fall spricht man von den sogenannten Vakuum - Flachkollektoren. Allerdings ist die Konstruktion dieser Kollektoren um einiges aufwendiger, da das Gehäuse luftdicht sein muß, um den erzeugten Unterdruck mit der Zeit nicht zu verlieren. Deshalb sind diese Kollektoren wesentlich teurer. Bei den gebräuchlichen Betriebstemperaturen zwischen 40°C und 60°C betragen die Wärmeleitungsverluste durch Rück- und Seitenwände nur etwa 10 % der gesamten Verluste des Kollektors. Es ist deshalb in der Regel nicht sinnvoll, über die üblichen Dämmstärken von 5 -10 cm hinauszugehen. Sehr wichtig ist die Berücksichtigung der "Stillstandstemperatur" des Kollektors. Diese kann bei starker Sonneneinstrahlung auch 150 °C - 200 °C auf dem Absorber erreichen und es ist wichtig daß das Wärmedämmmaterial dadurch (z. B. bei der Montage) nicht beschädigt wird.

Eine weitere Bauart von Solarkollektoren sind die sogenannten Röhrenkollektoren. Auch bei diesen wird als "Dämmmaterial" ein Vakuum, also ein luftleerer Raum, verwendet. Durch die röhrenförmige Bauweise haben diese Kollektoren eine große Druckbeständigkeit und können dadurch einen großen Unterdruck aushalten. Durch das höhere Vakuum, als es zum Beispiel Vakuumflachkollektoren aushalten, haben Röhrenkollektoren geringere Wärmeverluste und deshalb bessere Leistungen als diese. Außerdem haben Kollektoren dieser Bauweise weniger Verbindungsstellen zwischen Glas und Metall, die die kritischsten Stellen für die Luftdichtheit sind. Aufgrund der stark verringerten Wärmeverluste können Kollektoren dieser Art auch bei niedrigen Außentemperaturen relativ gute Wirkungsgrade erzielen. Sie sind allerdings auch wesentlich teurer als "normale" Flachkollektoren. Unter Wirkungsgrad eines Sonnenkollektors versteht man das Verhältnis zwischen

Funktionsprinzip und Wärmeverluste des solaren Flachkollektors



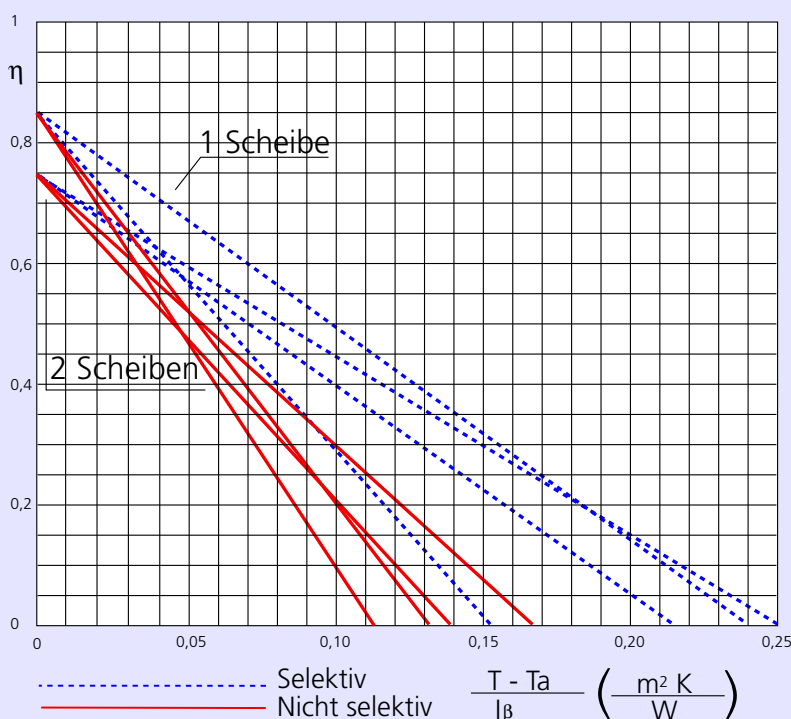
Nutzleistung, die der Kollektor abgibt und die auf die Kollektorebene auftreffende Leistung der Sonnenstrahlung.

Ein gutes Instrument zur Bewertung der Güte eines Kollektors sind die sogenannten Leistungskennlinien, welche den Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Flüssigkeitstemperatur im Kollektor und der Außenlufttemperatur angeben. Diese Temperaturdifferenz wird oft noch durch die eintreffende Strahlungsleistung dividiert; so erhält man einen fast linearen Verlauf.

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{abgegebene Nutzleistung}}{\text{auftreffende Strahlungsenergie}}$$

Zur Bestimmung der optimalen Neigung der Sonnenkollektoren gibt es eine sehr einfache Gebrauchsregel. Der größte Gesamtwert an eingestrahelter Energie im Laufe eines Jahres ergibt sich bei einem Neigungswinkel des Kollektors gleich dem geographischen Breitengrad; (in Südtirol also zwischen 46° und 47°). Den Maximalwert im Winter erhält man mit einer Kollektorneigung gleich dem Breitengrad plus 15°, den Maximalwert im Sommer mit einer Kollektorneigung gleich dem Breitengrad minus 15° (in Südtirol also jeweils etwa 60° bzw. 30°). Außer der

Neigung zur Horizontalen ist auch die Ausrichtung der Kollektoren nach der Himmelsrichtung sehr wichtig. Der Idealfall ist eine genaue Südausrichtung. Die Leistungsverringerung ist gering, solange die Ausrichtung nicht mehr als 15° von Süden abweicht. Die Abweichung von der Südausrichtung sollte jedoch nicht mehr als 30° betragen.



Wirkungsgrad - Temperaturdifferenz für Flachkollektoren mit einem oder zwei Glasabdeckungen mit oder ohne selektive Beschichtung des Absorbers

Sonnenenergie zur Heizungsunterstützung

Bei entsprechend großer Auslegung der Kollektorfläche kann das erzeugte Warmwasser neben der Brauchwassererzeugung auch zur Unterstützung der Raumheizung verwendet werden. Das Funktionsprinzip der Anlage bleibt dasselbe wie bei der Brauchwassererwärmung. Auch hier besteht das System aus einer Kollektorfläche, die die Sonnenenergie "einfängt", aus einer Umlaufpumpe, welche über einen Temperatursensor betätigt wird, und aus einem Warmwasser - Pufferspeicher von welchem aus dann das erwärmte Wasser seiner Bestimmung zugeführt wird. Allerdings sind für ein gutes Funktionieren der Anlage einige Auslegungskriterien zu berücksichtigen. Da die Anlage in den Übergangszeiten und im Winter zur Heizungsunterstützung dienen soll, also in Jahresperioden, in denen die Sonneneinstrahlung geringer ist als im Sommer, muß die Kollektorfläche entsprechend groß ausgelegt werden. Außerdem sind in diesen Perioden die Außentemperaturen niedrig, weshalb die Sonnenkollektoren möglichst gut gegen Wärmeverluste geschützt sein müssen. Weiters wird ein größerer Wärmespeicher benötigt, um eine möglichst kontinuierliche Heizungsunterstützung im Winter gewährleisten zu können und um in den Übergangszeiten auch als Ersatz- Heizkessel dienen zu können.

Für ein gutes Funktionieren der Anlage ist ein Heizungssystem von Vorteil, das mit einer niedrigen Wassertemperatur auskommt, denn eine durchschnittlich niedrige Wassertemperatur trägt dazu bei, in den Kollektoren auch bei niedrigen Außenlufttemperaturen gute Wirkungsgrade zu erzielen. Weiters verringern sich dadurch die Verluste im Wärmespeicher und im Transport des Warmwassers von den Kollektoren zum Speicher und vom Speicher zu den zu beheizenden Räumen. Besonders gut funktionieren mit einer niedrigen Wassertemperatur Flächenheizsysteme wie Bodenheizungen oder auch Wand oder Deckenheizungen. Jedoch auch großflächige Heizkörper, sogenannte Niedrigtemperaturheizkörper leisten gute Dienste. Bei richtiger Auslegung kann das System also im Winter zum Vorwärmen des Wassers dienen, das dann im traditionellen Heizkessel mit weniger Energie auf die notwendige Heizwassertemperatur aufgeheizt wird. In den Übergangszeiten kann das System je nach Auslegung den Heizkessel für gewisse Perioden ersetzen. Voraussetzung für eine erschwingliche Realisierung und ein gutes Funktionieren der Anlage ist allerdings, daß die zu beheizenden Räume und das Gebäude als Ganzes gut wärmegeämmt sind und somit keinen allzugroßen Heizenergiebedarf haben, daß es sich also um ein sogenanntes „Niedrigenergiehaus“ handelt. Anlagen, die zur Raumheizungsunterstützung im Winter ausgelegt sind,

liefern allerdings im Sommer viel mehr Wärmeenergie, als für die Warmwasserbereitung notwendig ist. Man muß also eine Verwendung dieser Überschußenergie vorsehen. Dies kann zum Beispiel die Beheizung eines Schwimmbades sein. Sollte diese Möglichkeit nicht bestehen, so muß eine Kühlung der Kollektoren z. B. durch Bewässerungswasser o.ä. vorgesehen werden.

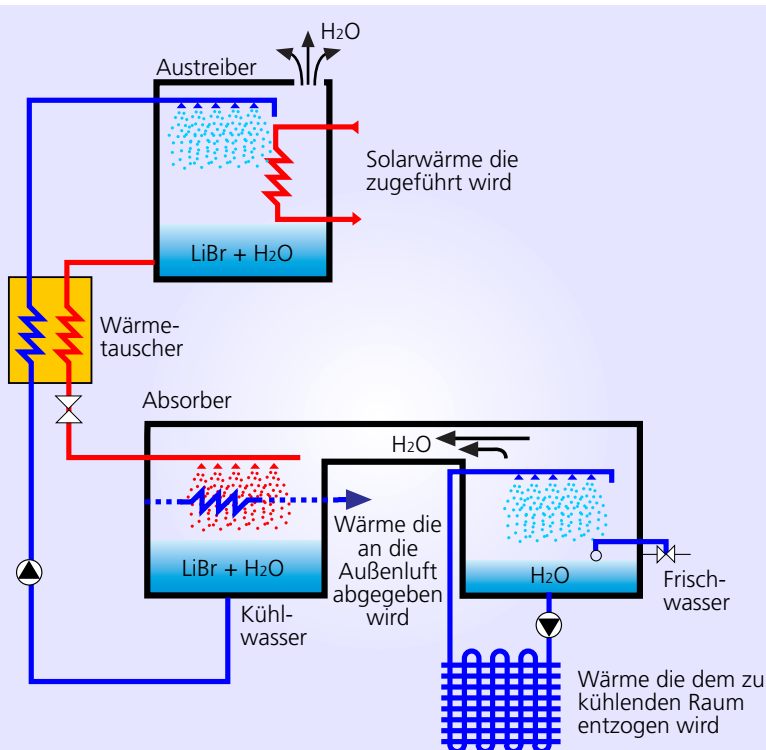
Sonnenenergie zur Sommerkühlung

Die Raumkühlung in den Sommermonaten ist für viele Sektoren im Gewerbe und in der Industrie seit langem schon von großer Wichtigkeit und erlangt auch für Bürogebäude und Privatwohnungen immer größere Bedeutung. Die Idee, die Sonnenenergie dafür zu verwenden, bietet sich natürlich an, da gerade in den Perioden und in den Tagesstunden mit der stärksten Sonneneinstrahlung auch der größte Energiebedarf für die Kühlung besteht.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Methoden, mit welchen man die Sonnenenergie zur Raumkühlung nutzen kann. Zum einen kann man durch die Sonnenenergie elektrischen Strom erzeugen, mit dem dann normale Kühlaggregate betrieben werden. Die Methoden zur Erzeugung von elektrischem Strom durch

Sonnenenergie werden in einem eigenen Absatz beschrieben. Zum anderen kann man aber auch die Sonnenwärme direkt zur Kälteerzeugung verwenden. Nach dem selben Prinzip arbeiten z. B. Kühlschränke, die durch Gasbefeuerung betrieben werden. Man verwendet dazu sogenannte Absorptionskältemaschinen. Die Arbeitsweise ist, von außen gesehen, dieselbe wie jene der herkömmlichen Kühlaggregate. Die Aggregate entziehen einem Raum Wärme (in diesem Fall dem zu kühlenden Raum) und geben diese an die Außenluft ab. Allerdings ist die Energie zum Betreiben der Maschine in diesem Fall nicht elektrischer Strom sondern Wärmeenergie. Diese Wärmeenergie kann in einem Solarkollektor herkömmlicher Art erzeugt werden.

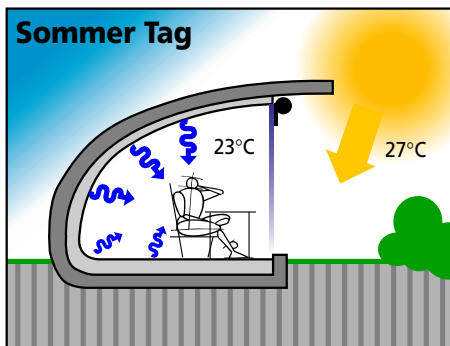
Vereinfachtes Funktionsschema einer Absorptionskältemaschine



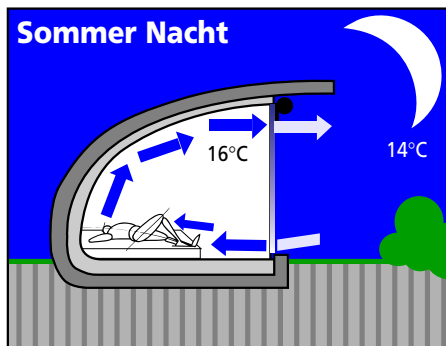
Passive Solarenergienutzung im Bauwesen

Bioklimatische Architektur

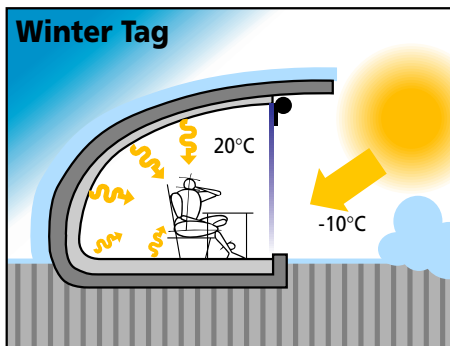
Neben der Nutzung der Sonnenenergie durch "aktive" Systeme, also durch Systeme die einen eigenen, mehr oder weniger komplizierten Mechanismus benötigen, besteht auch die Möglichkeit der "passiven" Nutzung der Sonnenenergie durch eine bestimmte Anordnung baulicher und architektonischer Komponenten. Man spricht in diesem Fall auch von "natürlicher Klimatisierung". Natürliche Klimafaktoren wie Sonneneinstrahlung und nächtliche Abstrahlung, Winddruck und Sog werden durch gezielte Anordnung von lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen, speichernden und isolierenden, winddichten und winddurchlässigen, wärmeleitenden



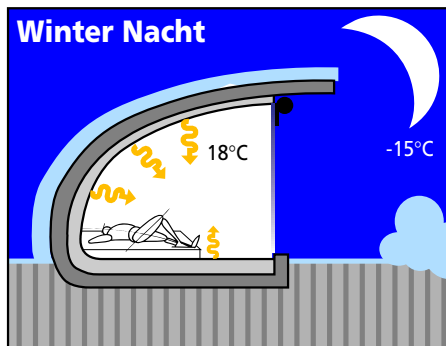
Temperatursenkung durch gekühlte Baumasse



Nächtliche Kühlung der Baumasse



Aufheizung der Baumasse durch Treibhauseffekt



Strahlungsheizung mit gespeicherter Sonnenwärme

Prinzip der passiven Sonnenenergienutzung in den verschiedenen Jahreszeiten

und nichtleitenden Baukomponenten und Baustoffen genutzt, um das gewünschte Raumklima zu erzielen.

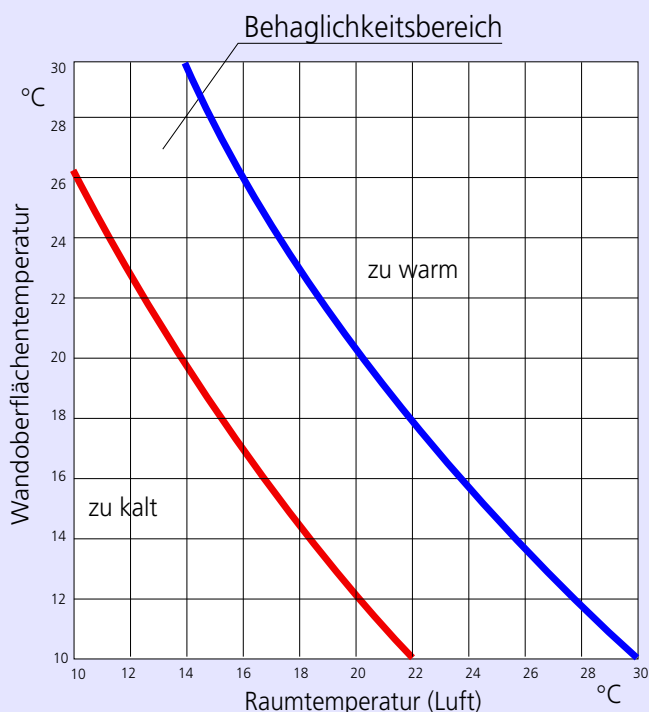
Einer der wichtigsten Faktoren ist die Standortwahl (wenn möglich) und die Ausrichtung des Gebäudes und der baulichen Komponenten nach den Himmelsrichtungen. Das Gebäude sollte nach Süden hin große Fensterflächen haben, um vor allem im Winter, wenn die Sonne niedrig am Himmel steht, das Sonnenlicht in die Räume einfallen zu lassen und diese dadurch zu erwärmen. Um eine Überhitzung der Räume im Sommer zu vermeiden, sollten diese Fensterflächen jedoch vor dem Sonnenlichteinfall im Sommer, wenn die Sonne hoch am Himmel steht, geschützt sein. Dies kann z. B. durch ein großzügiges Vordach, durch einen Balkon oder durch eigene Sonnenblenden erfolgen. Auch sollten die Hauptwohnräume wie Wohnzimmer, Küche, Arbeitszimmer nach Süden ausgerichtet sein. Die Nordseite des Gebäudes sollte hingegen möglichst kleine Fensterflächen aufweisen, die für den Lichteinfall und die Belüftung benötigt werden.

Die passive Raumheizung nutzt den sogenannten „Treibhauseffekt“ aus. Energiereiche, kurzwellige Sonnenstrahlung dringt durch eine transparente Fassade (Fensterfläche) fast ungeschwächt in einen Raum ein. Beim Auftreffen auf Oberflächen und Gegenstände wandelt sich die Sonnenstrahlung in Wärme um.

Die Oberflächen und Gegenstände des Raumes erwärmen sich und senden nun ihrerseits langwellige Wärmestrahlung aus, für welche das Glas allerdings weitgehend undurchlässig ist. Es dringt also wesentlich mehr Strahlungsenergie in den Raum ein als Strahlungsenergie den Raum verläßt und dieser erwärmt sich. Der Erwärmungseffekt ist natürlich um so intensiver, je besser die sonnenabgewinkelten Oberflächen des Raumes oder des Gebäudes gegen Wärmeverlust geschützt sind. Es braucht allerdings eine richtige Dimensionierung, um eine Überhitzung des Raumes zu vermeiden.

Denselben Effekt kann man z. B. bei einem Auto beobachten, das in der Sonne geparkt wurde. Auch bei relativ geringen Außenlufttemperaturen kann es hier zu einer sehr starken Aufheizung des Innenraumes kommen. Wenn einige der Rauminnenflächen (vor allem die direkt von der Sonnenstrahlung getroffenen) aus dichten, wärmespeichernden Baustoffen bestehen,

**Behaglichkeitsbereich, in
Abhängigkeit von
Wandoberflächentemperatur
und Raumtemperatur**



erhöht sich die Raumtemperatur während der Einstrahlung nur wenig, und die gespeicherte Wärme wird bei fehlender Einstrahlung in den Raum durch Konvektion und langwellige Strahlung abgegeben. Da die Wärmeabgabe vorwiegend durch Oberflächenstrahlung von Wänden und Boden erfolgt, stellt sich ein angenehmes Raumklima trotz einer relativ geringen Lufttemperatur ein.

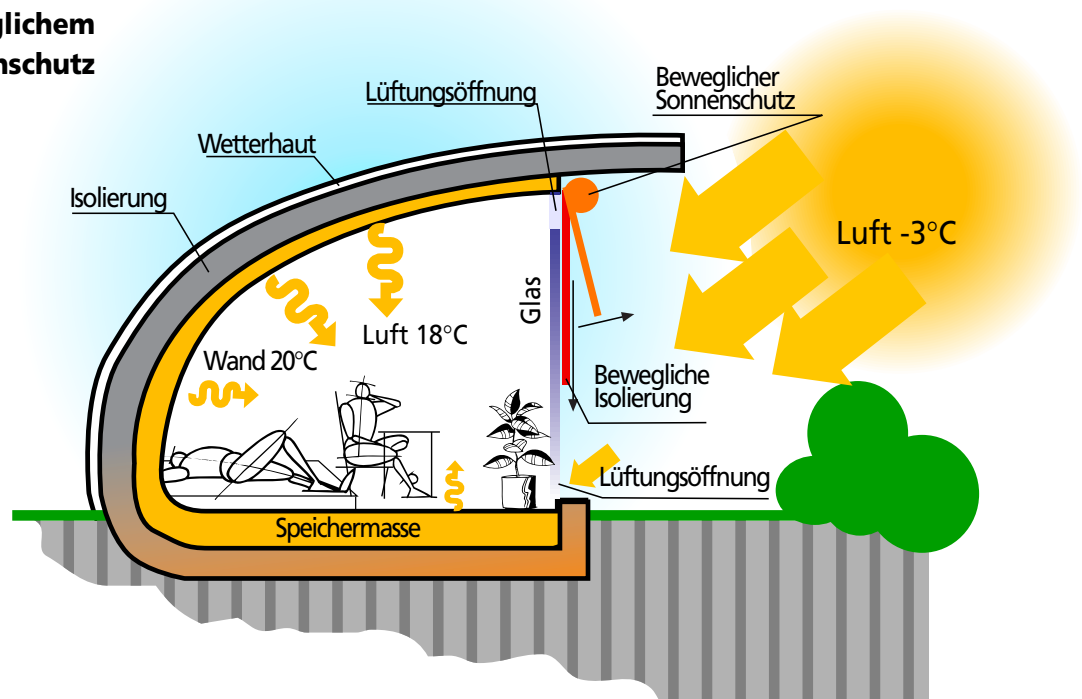
Ein einfaches System zur passiven Nutzung der Sonnenenergie besteht somit aus großen, nach Süden ausgerichteten Fensterflächen und Raumumschließungsmauern aus speicherfähiger Baumasse, die nach außen hin wärmedämmend sind. Die nächtlichen Abstrahlungsverluste durch die großen Süd - Fensterflächen werden durch bewegliche Abdeckungen (Rolläden, Jalousien, bewegliche Wärmedämmungen) verringert. Um auch im Sommer ein behagliches Raumklima zu gewährleisten ist auch ein eventuell ebenfalls beweglicher Sonnenschutz notwendig, der die Aussicht nicht behindern und die Sonnenbestrahlung der Fensterflächen im Sommer verhindern sollte, um den in dieser Zeit nicht erwünschten Treibhauseffekt zu vermeiden. Wird direkt hinter der nach Süden ausgerichteten Verglasung eine Speicherwand angeordnet, so bezeichnet man dieses System als „Trombe - Wand“. Die massive Wand ist zugleich Kollektor und Speicher. Durch eine dunkle Färbung der Außenseite der Speicherwand wird deren Absorptionsfähigkeit gesteigert. Die am Tag von der Speicherwand aufgenommene Energie wird mit einer starken Dämpfung der Schwankungsspitzen der Sonnenstrahlung an den Innenraum abgegeben.

Zusätzlich wird die sich zwischen Glas und Speicherwand erwärmende Luft durch regulierbare Öffnungen oben in den Innenraum geführt, wobei durch die untere Öffnung kühlere Luft aus dem Innenraum in den Zwischenraum zwischen Glas und Wand nachströmt. Auch hier läßt sich der Wirkungsgrad durch eine bewegliche Wärmedämmung der Glasfläche wesentlich verbessern. Ein Nachteil dieser Lösung ist, daß durch das Umluftsystem eine beträchtliche Luftbewegung entsteht. Dieser Nachteil entsteht nicht, wenn die Umluft in einem geschlossenen System innerhalb der Wände und Decken geführt wird, die dann wiederum die Wärme vorwiegend durch Strahlung an den Raum abgeben.

Wird der Raum zwischen südlicher Glasfläche und dahinterliegender Kollektor - Speicherwand so weit vergrößert, daß er nutzbar wird, so entsteht ein angebautes Gewächshaus oder ein Wintergarten. Das System funktioniert als Ganzes ähnlich wie die Trombe - Wand. Das Gewächshaus kann zur Pflanzenzucht, zur Erzeugung von Obst und Gemüse oder einfach als gemütliche, immergrüne Ergänzung des Wohnbereiches genutzt werden.

Eine relativ neue Entwicklung ist die sogenannte Transparente Wärmedämmung (TWD): Die Fassadenelemente der TWD vereinen in sich die Funktion der

Vereinfachte Darstellung eines Raumes mit Fensterfläche, Speichermasse, beweglichem Sonnenschutz



herkömmlichen Dämmung und des Solarkollektors. Das einfallende Sonnenlicht, auch die diffuse Strahlung, trifft nach Durchdringen der transparenten Schicht auf die Gebäudeaußenwand. Diese ist dunkel gefärbt, erwärmt sich und speichert die Wärme. Da die Wärmeverluste nach Außen durch die TWD gering sind, wird der überwiegende Teil durch Wärmeleitung in das Innere des Gebäudes transportiert. Das Prinzip der TWD ist so wirksam, daß eine Überhitzung im Sommer durch ein Jalousiensystem verhindert werden muß. Die TWD ist eine relativ neue Technik mit vielen Einsatz- und Gestaltungsmöglichkeiten. Einer großen Verbreitung stehen, wie auch bei anderen Technologien, die noch hohen Kosten entgegen. Grundsätzlich sollten für eine wirksame passive Nutzung der Sonnenenergie gewisse konstruktive Maßnahmen zur allgemeinen Verringerung des Heizungsenergiebedarfs getroffen werden. Einige wichtige Merkmale der sogenannten Niedrigenergiehäuser sollen hier deshalb kurz erwähnt werden.

Ein sehr wichtiger Punkt ist die Optimierung des Volumen - Oberflächenverhältnisses. Um die Abkühlung des Gebäudeinneren im Winter und auch um die Erwärmung im Sommer möglichst klein zu halten, ist es wichtig, eine möglichst kompakte Bauform zu wählen. Die wärmeaustauschende Oberfläche sollte bei einem bestimmten Gebäudeinhalt möglichst klein sein. Die günstigsten Gebäudeformen

sind aus dieser Sicht die Halbkugel, der Zylinder und der Würfel. Es ist außerdem sehr wichtig, daß beheizte Gebäudeteile von unbeheizten durch Wärmedämmung getrennt sind; dies gilt vor allem auch für die tragenden Teile des Gebäudes. Damit in engem Zusammenhang steht die Vermeidung von sogenannten Wärmebrücken. Die Gebäudeaußenhülle durchdringenden Bauteile aus Metall oder aus Stahlbeton, so zum Beispiel nach außen durchgehende Stahlträger oder durchgehende Balkone sollten durchwegs vermieden werden, da sie wie Kühlrippen auf das Gebäude wirken.

Nachstehend einige wichtige konstruktive Elemente der passiven Systeme:

Gebäudeaußenhülle:

sie sollte gegen Wärmeverluste möglichst gut und lückenlos gedämmt sein, sollte aber speziell im Winter die Sonnenenergie möglichst ungehindert in das Gebäude eindringen lassen. Deshalb: gut gedämmte Wände mit sehr wenig Fensterfläche auf der Nordseite - relativ wenig Fensterfläche auf Ost- und Westseite, große Fensterflächen in Wärmeschutzverglasung und Sommerstrahlungsschutz auf der Südseite.

Innenwände:

sie sollten große Speicherkapazität besitzen. Dichte, die Wärme gut speichernde Baustoffe sind zu bevorzugen.

Vorbauten:

verglaste, nicht beheizte Vorbauten mit Südausrichtung als Wintergärten oder Gewächshäuser tragen im Winter zur Gebäudeheizung bei und wirken das ganze Jahr als Wärmepufferzone. Für den Sommer ist ein Sonnenschutz vorzusehen.

Dach:

es soll gut wärmedämmt sein, falls der Dachboden als Wohnraum dient. Sonst ist es vorteilhafter, die letzte Geschoßdecke gut wärmezudämmen und den Dachboden als eine Wärmepufferzone zu verwenden.

Bepflanzung:

eine Bepflanzung vor der Südfassade mit Laubbäumen dient im Sommer als natürlicher Sonnenschutz und läßt im Winter die Sonnenstrahlung durchdringen und erzeugt im Sommer wie auch im Winter eine Wärmepufferzone.

Stromerzeugung mit Sonnenenergie

Mit fortschreitender Industrialisierung einer Gesellschaft beobachtet man, neben dem allgemeinen Anstieg des Energieverbrauchs, auch eine zunehmende Verlagerung des Energieverbrauches in Richtung elektrische Energie. Aber nicht nur für Industriestaaten ist der elektrische Strom eine fast ideale Form der Energie. Es handelt sich um eine Energieform, die auf relativ einfache Weise in jede andere Energieform umgewandelt werden kann. Der Einsatz von elektrischem Strom bewirkt in der Regel keine Schadstoffemissionen, ist sehr oft mit keiner oder geringer Geräuschentwicklung verbunden und die dazu notwendigen Geräte haben zum Teil hervorragende Eigenschaften. (Man denke nur an Elektromotoren und vergleiche sie mit Verbrennungsmotoren oder man vergleiche elektrisches Licht mit anderen Möglichkeiten künstlicher Beleuchtung). Die Erzeugung des elektrischen Stromes ist aber heute bei weitem nicht so "sauber" und umweltverträglich. Sie erfolgt teilweise in Wasserkraftwerken, die eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie darstellen über die noch gesprochen werden wird. Elektrischer Strom wird jedoch größtenteils in thermischen Kraftwerken mit fossilen oder nuklearen Brennstoffen erzeugt.

Würde es nun gelingen, in großem Stil aus Sonnenenergie, der einzigen vollkommen "sauberen" Primärenergie, elektrischen Strom, die ganz einfach ideale "Sekundärenergie" (zum Endverbrauch bestimmte Energie) zu gewinnen, dann wäre das sicher das energietechnische "Ei des Kolumbus". Im folgenden werden die technischen Möglichkeiten der direkten Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom etwas näher beleuchtet.

Photovoltaik

Unter Photovoltaik versteht man die direkte Erzeugung von elektrischem Strom aus der Strahlungsenergie der Sonne mit Hilfe von Solarzellen, die aus Halbleitermaterialien bestehen. Diese Materialien besitzen die erstaunliche Eigenschaft, beim Auftreffen von elektromagnetischen Wellen (wie z. B. Sonnenlicht) sofort eine gewisse elektrische Spannung zwischen der bestrahlten und der unbestrahlten Oberfläche, z. B. eines dünnen Blättchens, zu erzeugen. Wenn man nun den Stromkreislauf über einen Verbraucher (z. B. eine kleine Glühbirne) schließt, dann kann man diese kontinuierlich erzeugte elektrische Energie nutzen. Dabei kann man mit diesen Solarzellen nicht nur direkte Sonnenbestrahlung umwandeln. Auch das diffuse Licht, das bei bewölktem Himmel herrscht, kann zum Teil in elektrischen Strom umgewandelt werden.

Arten von "Solarzellen", Anwendungen

Wie bereits erwähnt, bestehen Solarzellen zur direkten Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom aus sogenannten Halbleitermaterialien. Wie der Name schon sagt, liegen diese Materialien mit ihren elektrischen und physikalischen Eigenschaften zwischen den Leitern, wie z. B. den Metallen und den Nichtleitern, wie z. B. Holz, die meisten Kunststoffe, Keramik. Es gibt verschiedene Halbleitermaterialien mit verschiedenen zum Teil erstaunlichen Eigenschaften; so leiten einige von ihnen den elektrischen Strom nur in eine Richtung, andere sind Nichtleiter und werden bei Bestrahlung mit Licht zu Leitern. Mit diesen Eigenschaften wurden diese Materialien zu einem äußerst wichtigen Bestandteil der Mikroprozessortechnologie und der Elektronik im allgemeinen.

Für die Solarzellen werden die Halbleitermaterialien bereits seit einiger Zeit eingesetzt (z. B. erfolgt die Stromversorgung der Satelliten und Weltraumstationen durch Solarzellen) und diese Anwendung wird sicherlich in Zukunft eine noch sehr viel stärkere Verbreitung erfahren.

Die Funktion der Solarzellen kann wie folgt beschrieben werden.

Aus einem Halbleitermaterial wie z. B. sehr reinem Silizium werden dünne Blättchen geschnitten, die dann auf den beiden Oberflächen mit zwei verschiedenen Elementen "verunreinigt" werden. Diese Elemente dringen in das Silizium ein und beeinflussen dessen Eigenschaften. An den beiden Oberflächen des Blättchens werden Gitter aus einer Folie eines guten Leiters (Kupfer, Aluminium) befestigt. Im Normalzustand, also ohne Sonnenbestrahlung, besteht keine elektrische Spannung zwischen diesen beiden Gittern. Fällt nun Sonnenlicht auf eine der beiden Oberflächen, so treffen einige dieser elektromagnetischen Wellen auf Elektronen des Siliziums auf und vergrößern dessen Energie. Dieses Elektron kann sich dadurch von der Bindung an "seinen" Atomkern lösen und wandert durch das Kristallgitter des Siliziums. Durch die beiden Schichten, die durch die "Verunreinigungen" entstehen, gelingt es, einen Teil dieser freigewordenen Elektronen an den Metallgittern auf den beiden Oberflächen "einzufangen", und diese Elektronen stehen dann als elektrischer Strom zur Verfügung.

Damit die Solarzellen einen guten Wirkungsgrad erreichen, ist es sehr wichtig, daß das Ausgangsmaterial äußerst rein ist. Da diese Materialien in der Natur immer mehr oder weniger verunreinigt vorkommen, ist die Reinigung des Materials sehr aufwendig und teuer. Diese notwendige Reinheit des Materials ist einer der Hauptgründe dafür, daß Solarzellen immer noch relativ teuer sind.

Es werden heute mehrere Materialien für Solarzellen verwendet, die mehr oder weniger erprobt sind und die sich in den Herstellungskosten und in den erreichbaren Wirkungsgraden unterscheiden. Das am längsten für diesen Zweck erprobte

Material ist Silizium, das auch durch die sehr vielseitige Verwendung in der Elektronik sehr verbreitet, in seinen Eigenschaften ziemlich erprobt und auch einigermaßen erschwinglich ist. In monokristalliner Form ist dieser Werkstoff relativ teuer, erreicht aber auch relativ gute Wirkungsgrade. In "polykristalliner" Form sind die Kosten, aber auch der Wirkungsgrad um einiges geringer. Ein anderes Material, das in letzter Zeit für diese Anwendung erprobt und auch bereits verwendet wurde, ist Galliumarsenid. Hinter diesem exotischen Namen verbirgt sich ein Halbleitermaterial, das bei Versuchen bereits Wirkungsgrade von fast 30 % erreicht hat. Dieses Material hat eine sehr starke Absorptionsfähigkeit für Sonnenlicht; deshalb kann die Solarzelle aus einer nur sehr dünnen Schicht bestehen. Dadurch bietet sich mit diesem und auch mit anderen Materialien die Möglichkeit, nur sehr dünne Schichten des teureren aktiven Materials auf billige Trägermaterialien aufzubringen, wodurch die Kosten stark reduziert werden können. Andere Materialien, die sich zur Zeit in der Erprobungsphase befinden sind Cadmium- Selen- Verbindungen, Kupfersulfid- Cadmiumsulfid- Verbindungen und andere Halbleitermaterialien.

Halbleitermaterial	Wirkungsgrad
Silizium, monokristallin	12 - 20%
Silizium, polykristallin	4 - 6%
Galliumarsenid	25 - 30%
Kupfersulfid - Cadmiumsulfid	5 - 9%

Das Sonnenlicht ist, wie bereits gesagt, ein Gemisch elektromagnetischer Wellen verschiedener Wellenlänge. Nun hat jedes der genannten Materialien die Eigenschaft, ganz bestimmte Wellenlängen des Sonnenlichtes in elektrischen Strom umzuwandeln. Wenn man mehrere sehr dünne Schichten verschiedener Materialien übereinanderlegen würde, so würde in jeder Schicht nur jener Teil des Sonnenlichtes aufgehalten, welcher in dieser Schicht in elektrischen Strom umgewandelt wird. Der Rest würde, da es sich um äußerst dünne Einzelschichten handelt, zum Großteil die betreffende Schicht durchdringen und auf die nächste Schicht auftreffen in der wiederum ein Teil der Strahlungsenergie in elektrischen Strom umgewandelt wird. Es ist, bis heute nur rechnerisch, gelungen nachzuweisen, daß man auf diese Weise Solarzellen herstellen könnte, die Wirkungsgrade von über 70% erreichen würden und somit einen Großteil der auftreffenden Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln würden. Allerdings bedarf es sicherlich noch einiger Entwicklungsarbeit um diese Technologie in die Praxis umzusetzen und sie auch wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen. Die Technik der Solarzelle wird sicherlich in Zukunft eine starke Entwicklung und Verbreitung erfahren, denn sie wandelt Sonnenenergie, die

einzigste (für menschliche Begriffe) unerschöpfbare Energiequelle, in elektrischen Strom um, eine Energieform, die für beinahe alle Zwecke verwendet werden kann. Diese Umwandlung geschieht außerdem ohne bewegliche Teile und ist geräusch- und emissionsfrei. Die heute noch erheblichen Kosten können nur durch intensive Massenproduktion der Solarzellen verringert werden.

Die Wasserstofftechnik

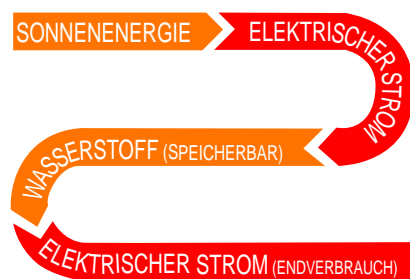
Die direkte Produktion von elektrischem Strom aus Sonnenenergie ist ein beinahe idealer Weg einen Teil des Energiebedarfes zu decken. Es besteht nur ein gravierender Nachteil bei diesem System. Man kann damit elektrischen Strom produzieren in jenen Zeiträumen, in denen die Sonne scheint oder zumindest bei Tageslicht, und die Energieausbeute ist umso größer, je stärker die Sonneneinstrahlung ist. Dieser Verlauf der zur Verfügung stehenden Energie stimmt allerdings nicht mit dem Verlauf der benötigten Energie überein. So braucht man elektrischen Strom vor allem oder zumindest auch nachts und im Winter. Es stellt sich also das Problem diese erzeugte Energie zu speichern. Nun läßt sich aber elektrische Energie mit den herkömmlichen Methoden nur sehr schlecht speichern. Bei relativ geringen gespeicherten Energiemengen sind die dazu notwendigen Geräte wie z. B. Batterien groß, teuer und umständlich. Bei relativ kleinen benötigten Mengen an elektrischer Energie wie z. B. in einer Taschenlampe oder in einem Auto, das den elektrischen Strom nur für Beleuchtung, Motorstart usw. (nicht zum Antrieb) benötigt, tun Batterien sicherlich gute Dienste.

Es ist allerdings kaum denkbar, größere Mengen von elektrischer Energie mit Hilfe von Batterien zu speichern, da in diesem Fall die Batterien die gesamte Anlage stark verteuern würden und über längere Zeiträume auch große Speicherverluste auftreten würden. Es besteht somit das Problem, die elektrische Energie in eine andere Energieform umzuwandeln, die sich besser speichern läßt.

Die sogenannte Wasserstofftechnologie bietet eine vielversprechende und zukunftssträchtige Möglichkeit, die aus Sonnenenergie gewonnene elektrische Energie zu speichern.

Man kann nämlich mit Hilfe des elektrischen Stromes das Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen. Dieser chemisch-physikalische Vorgang nennt sich Elektrolyse. Der so gewonnene Wasserstoff ist ein sehr gut brennbares Gas, das bei seiner Verbrennung, d. h. bei der chemischen Reaktion mit Sauerstoff, Energie freisetzt, welche wiederum dazu verwendet werden kann, elektrischen Strom zu erzeugen. Als "Abgas" entsteht bei dieser Verbrennung lediglich Wasserdampf. Der so gewonnene Wasserstoff kann allerdings nicht nur örtlich

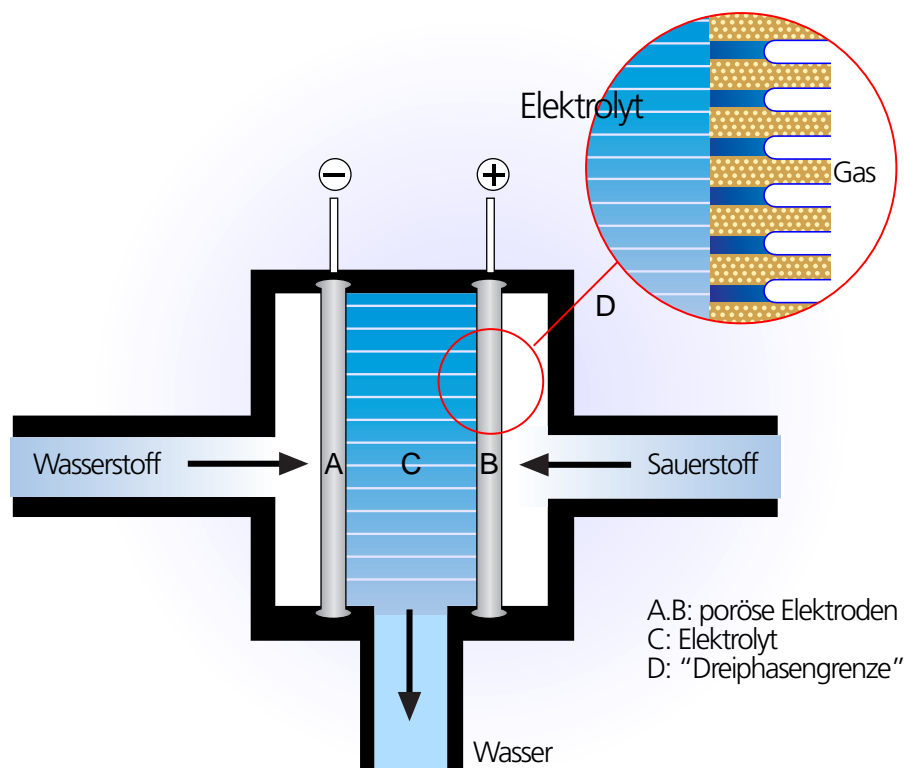
dazu verwendet werden, elektrischen Strom zu erzeugen er kann z. B. auch als Treibstoff für Autos, Lastwagen, Schiffen usw. dienen. Bereits seit einiger Zeit laufen erfolgreiche Versuche, Wasserstoff als Autotreibstoff einzusetzen und die entsprechende Technologie hat mittlerweile einen sehr hohen Standard erreicht. Dabei sind es nicht herkömmliche Verbrennungsmotoren, die am erfolgversprechendsten arbeiten, sondern der Wasserstoff wird in sogenannten Brennstoffzellen wiederum zu elektrischem Strom umgewandelt, der dann einen Elektromotor für den Antrieb speist. Diese Brennstoffzellen sind es auch, welche die Energieumwandlungskette in sehr vielversprechender Art und Weise schließen:



In diesen Brennstoffzellen wird die gespeicherte (chemische) Energie des Wasserstoffes direkt, ohne "Umweg" über die Verbrennung (Wärmeenergie) in elektrischen Strom umgewandelt. Deshalb erreicht diese Umwandlung auch sehr gute Wirkungsgrade

(Wirkungsgrade von 70 % wurden schon in der Praxis erreicht, im Gegensatz zu dem Wirkungsgrad von maximal 45 % - 50 % der heute in den besten traditionellen thermischen Kraftwerken erreicht wird).

Außerdem besitzen diese Brennstoffzellen keine beweglichen Teile, weshalb sie praktisch geräuschlos arbeiten und sehr wenig Verschleiß aufweisen. Problematisch ist diese Technologie insofern daß Wasserstoff als Gas sehr leicht brennbar ist und auch explosiv sein kann. Bei der Lagerung des Wasserstoffes müssen deshalb viele Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Auch Methoden wie jene, den Wasserstoff zur Lagerung in einer anderen Substanz chemisch zu binden, werden erprobt und scheinen vor allem in den Anwendungen im Verkehr (Autos usw.) vielversprechend, da hier ein besonders großer Sicherheitsstandard gewährleistet werden muß. Es gibt bei dieser Technologie noch einige Schwierigkeiten bei der Umwandlung und vor allem der Speicherung des Wasserstoffes, und sicher muß in der nächsten Zukunft noch viel an Entwicklungsarbeit geleistet werden. Sie hat aber den Vorteil, nicht an irgendwelche örtliche Gegebenheiten gebunden und in ihrem Gesamten sehr umweltschonend zu sein, da der Kreislauf frei von Emissionen und beinahe geräuschlos abläuft. Außerdem kann die einmal ausgereifte Technologie ohne großen Wartungsaufwand und ohne großen Bedarf an spezialisierten Fachkräften funktionieren, weshalb sie auch in den zum Teil sehr sonnenreichen Entwicklungsländern funktionieren könnte, für die der Wasserstoff auch eine Einnahmequelle darstellen könnte.



Schematische Darstellung einer Brennstoffzelle

Solarthermische Kraftwerke

Für die Nutzung der Sonnenenergie in Wärmekraftwerken wird die Strahlungsenergie der Sonne gesammelt, in Wärmeenergie umgewandelt und auf ein Arbeitsmedium übertragen. Mit diesem Medium können entweder direkt oder über einen Wärmetauscher Wärmekraftmaschinen angetrieben werden. Die heute bei thermischen Kraftwerken üblichen Temperaturen von 530 bis 580 °C können mit konzentrierenden Kollektoren erreicht werden.

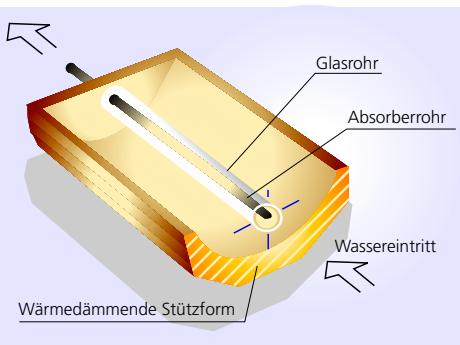
Wärmekreisläufe, die mit niedrig siedenden Flüssigkeiten (Frigen, Propan etc.) arbeiten, ermöglichen unter Inkaufnahme eines geringeren Wirkungsgrades niedrigere Arbeitstemperaturen. Derartige Systeme können daher auf konzentrierende Komponenten verzichten.

Um aber bessere Wirkungsgrade zu erreichen sind höhere Temperaturen notwendig als sie durch das einfache "Einfangen" der Sonnenenergie erzielt werden können. Man muß also die Strahlungsenergie der Sonne konzentrieren. Dies kann prinzipiell entweder mit Linsen oder mit Spiegeln erfolgen.

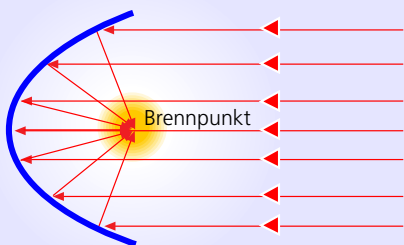
Parabolrinnenkraftwerk

Bei den sogenannten Parabolrinnenkraftwerken wird die Sonnenstrahlung mit Hilfe eines gekrümmten Spiegels auf ein Rohr, das sich im Zentrum, im sogenannten Brennpunkt der Spiegelkrümmung befindet, konzentriert. Der Name dieser Vorrichtung kommt von der Krümmungskurve des Spiegels, einer Parabel, die die Eigenschaft hat, parallel auftreffende Strahlen in genau einem Punkt zu vereinen. Anlagen dieser Art gibt es in kleinen Ausmaßen zur Erzeugung von Warmwasser auch in unseren Breiten. Diese Anlagen benützen, im Gegensatz zu den bereits erwähnten Kollektoren zur Warmwassererzeugung und zu den Solarzellen, ausschließlich direkte Sonnenstrahlung. Aus diesem Grund muß ihre Ausrichtung ständig dem Lauf der Sonne angepaßt werden. Dazu sind komplizierte und teure Stellmechanismen erforderlich, die auch einen relativ großen Wartungsaufwand haben.

Wenn die Spiegelfläche exakt ausgerichtet ist, werden die auftreffenden Sonnenstrahlen auf ein Rohr gebündelt, in dem das Wärmeträgermedium fließt, das sich erhitzt, verdampft und dann im dampfförmigen Zustand in die Wärmekraftmaschine eintritt. In der Regel handelt es sich dabei um eine Dampfturbine, in welcher die thermische Energie des Dampfes zunächst in mechanische Energie umgewandelt wird die dann wiederum einen Generator antreibt, der elektrischen Strom erzeugt. Parabolrinnenkraftwerke werden in der Regel in kleinen bis mittelgroßen Dimensionen ausgeführt. Für große Kraftwerke eignet sich besser die Bauweise als Turmkraftwerk, die im nächsten Kapitel besprochen wird.



Vereinfachte Darstellung eines Parabolrinnenabsorbers



Parabel mit parallel eintreffenden Strahlen welche in einem Punkt gebündelt werden

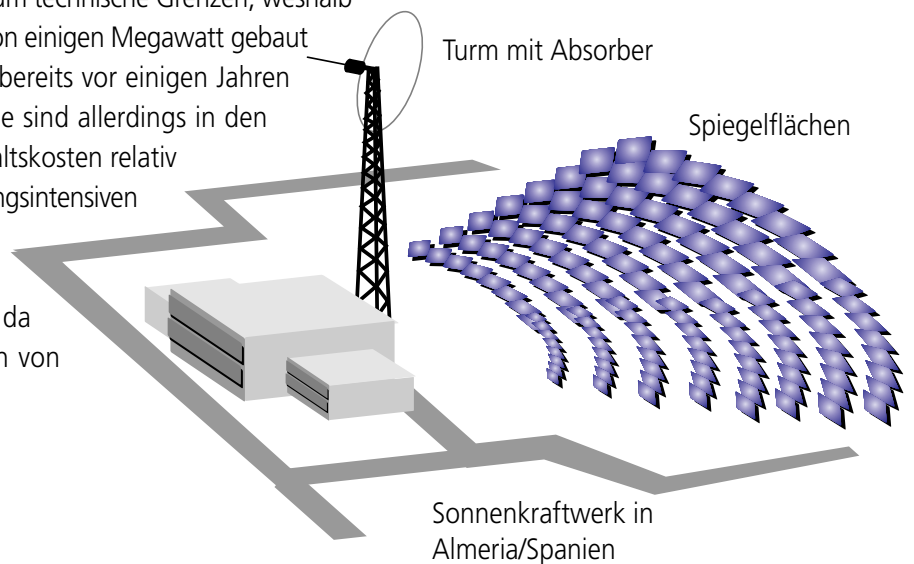
Turmkraftwerk

Diese Kraftwerke arbeiten nach denselben Prinzipien wie das Parabolrinnenkraftwerk. Auch hier wird die Sonnenstrahlung mit Hilfe von Spiegeln konzentriert. Die auf einer mehr oder weniger horizontalen Fläche angeordneten Spiegel konzentrieren die Sonnenstrahlung auf einen Absorber, der sich auf einem Turm befindet. In diesem Absorber wird ein Arbeitsmedium erhitzt und verdampft, das dann den selben Zyklus wie in einem normalen thermischen Kraftwerk durchläuft. Es wird in einer Turbine entspannt, welche somit die thermische Energie des Dampfes in mechanische Energie umwandelt. Diese wird dann wiederum durch einen Generator in elektrische Energie konvertiert. Auch diese Kraftwerke konvertieren die direkte Sonnenstrahlung und benötigen deshalb einen Stellmechanismus für die

Reflektorflächen. In diesem Fall ist es jedoch nicht eine zusammenhängende Spiegelfläche, die die Sonnenstrahlen sammelt, sondern es sind viele Einzelspiegel, die die Strahlung auf dieselbe Reflektorfläche konzentrieren.

Für die gesamte Reflektorfläche gibt es also kaum technische Grenzen, weshalb diese Kraftwerke auch für Gesamtleistungen von einigen Megawatt gebaut werden können. Anlagen dieser Art wurden bereits vor einigen Jahren in Italien und in anderen Staaten realisiert. Sie sind allerdings in den Anschaffungskosten und auch in den Unterhaltskosten relativ teuer, da sie ebenfalls einen teuren und wartungsintensiven Stellmechanismus für die Spiegelflächen benötigen. Diese Anlagen arbeiten allerdings in der Regel mit einem guten Wirkungsgrad, da man im Absorber relativ leicht Temperaturen von 500 °C und darüber erreicht.

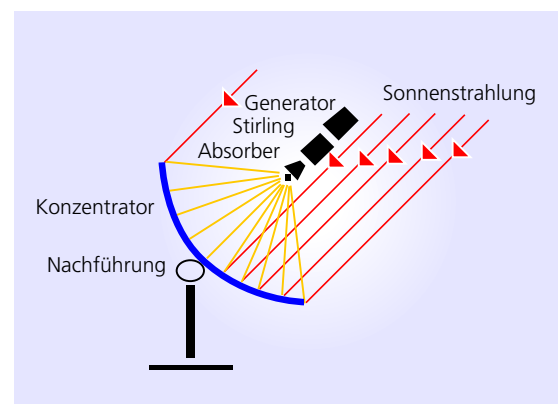
Schematische Darstellung eines Trumkraftwerkes



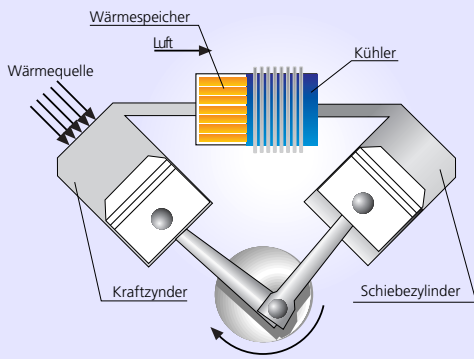
Stirling Anlagen

Dish - Stirling Anlagen: Für die zukünftige dezentrale, solare Stromerzeugung in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung ist das Dish - Stirling System eine der aussichtsreichsten Technologien. Das Dish - Stirling - System besteht aus drei Komponenten: Konzentrator, Absorber und Stirlingmotor. Ein zweiachsig parabolisch gekrümmter Konzentrator bündelt die einfallende Sonnenstrahlung auf einen im Brennpunkt angeordneten Wärmetauscher (Absorber), der gleichzeitig der Erhitzerkopf der Stirlingmaschine ist. Die Wärme wird im Stirlingmotor in mechanische und im direkt am Motor angebrachten Generator in elektrische Energie umgewandelt. Der Leistungsbereich dieser Anlagen liegt zwischen 10 KW und 10 MW, mit Stromgestehungskosten, die vergleichbar mit dezentralen Dieselanlagen gleicher Leistung sind.

Der Stirlingmotor wurde bereits im Jahre 1816 von einem schottischen Pfarrer zum Patent angemeldet. Er besteht aus zwei Zylindern, von denen einer von außen erhitzt und einer von außen gekühlt wird. Es findet also keine Verbrennung oder Explosion im Inneren der Zylinder statt wie bei einem normalen Verbrennungsmotor (Otto - oder Dieselmotor). Die von außen zugeführte Wärme kann deshalb von jeder beliebigen Wärmequelle (mit ausreichend hoher Temperatur) stammen. Um den Wirkungsgrad des Motors zu erhöhen, wird er mit einem Wärmespeicher und mit einem eigenen Kühler ausgestattet. Die beiden Kolben sind über Pleuelstangen auf derselben Kurbelwelle befestigt. Zunächst dehnt sich das Gas



Prinzipieller Aufbau eines Dish/Stirling Systems



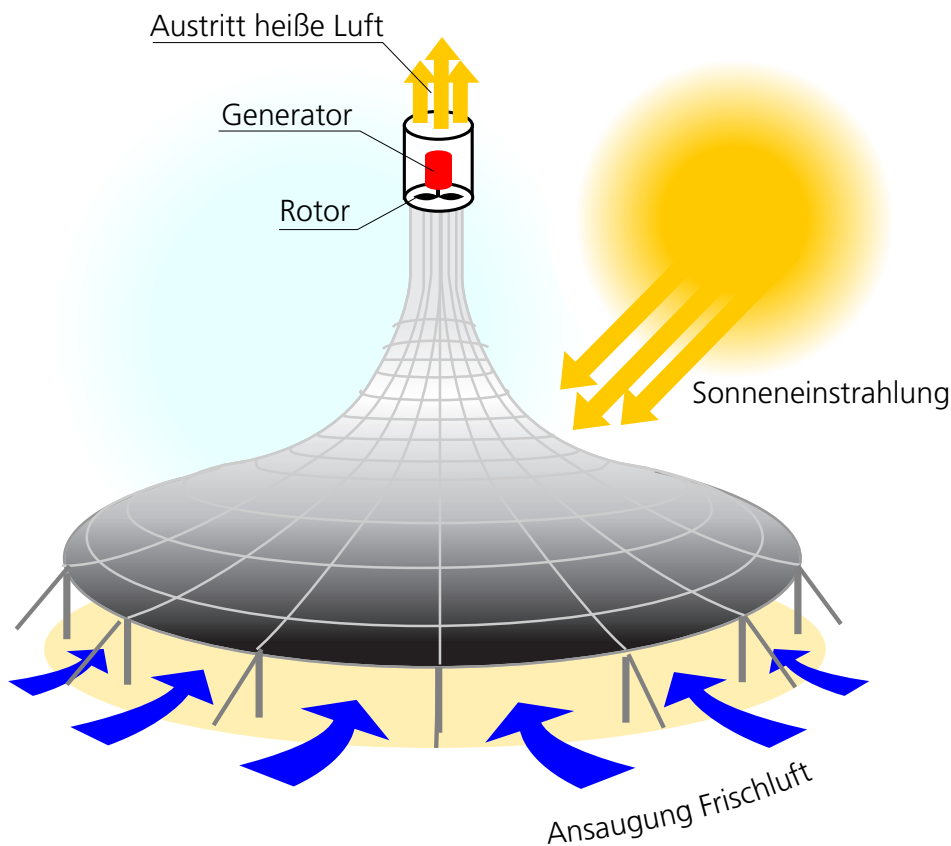
Schema eines Stirlingmotors

- z. B. Helium oder Luft im heißen Zylinder aufgrund der Hitze aus und schiebt dessen Kolben nach unten, so daß sich die Kurbelwelle dreht. Auf seinem Rückweg drückt der Kolben das heiße Gas in den kalten Zylinder, wobei das Gas im Verbindungsrohr Wärme an den darin platzierten Regenerator abgibt und sich abkühlt. Der Kolben im kalten Zylinder geht nach unten und macht dem Gas Platz. Wenn er dann wieder nach oben geht, preßt er das Gas zusammen und in den heißen Zylinder zurück. Dabei nimmt das Gas die zuvor an den Generator abgegebene Wärme wieder auf. Insgesamt liefert die Verdrängung aus dem heißen Zylinder mehr Energie als das Zurückpressen aus dem kalten benötigt, und somit steht an der Kurbelwelle Nutzarbeit zur Verfügung.

Aufwindkraftwerke

Aufwindkraftwerke nutzen den sogenannten Treibhauseffekt, um mit Hilfe der Sonnenstrahlung elektrische Energie zu erzeugen. Dazu wird eine große, in der Regel kreisrunde Fläche mit einer transparenten, also für das Sonnenlicht durchlässigen Abdeckung versehen. So wird etwa ein Stück karges Land, zum Beispiel in einer Wüste, mit einer durchsichtigen Plastikfolie in einem Abstand von einigen Metern vom Grund bespannt. Diese Abdeckung steigt gegen die Mitte des Kreises hin an. Im Zentrum der kreisrunden Fläche befindet sich ein senkrechter, zylinderförmiger Turm, in dem ein Windrad horizontal montiert ist. Die Sonnenstrahlung tritt nun durch die transparente Abdeckung durch und trifft auf den Grund auf, der sich erwärmt. Dieser erwärmte Grund strahlt nun seinerseits Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) ab. Die transparente Abdeckung ist allerdings für Infrarotstrahlung undurchlässig, weshalb diese reflektiert wird. Dadurch erwärmt sich der Grund und mit ihm die Luft, die sich im Raum zwischen Boden und Abdeckung befindet. Die so erwärmte Luft dehnt sich aus, wird leichter als die Luft außerhalb der Abdeckung und will aufsteigen. Da jedoch die Abdeckung nach Innen hin ansteigt, ist der einzige Weg für die Luft jener durch den senkrechten Turm, der sich in der Mitte befindet. Durch das Aufsteigen der Luft gegen die Mitte hin entsteht an den Außenseiten ein Sog, welcher nicht erwärmte Luft von außen ansaugt. Es entsteht also ein kontinuierlicher Luftstrom, ein "Aufwind", der durch den Turm nach oben austritt. Dieser Luftstrom setzt nun das Windrad in Bewegung, das sich im Turm befindet. Dieses wandelt die Energie der Luft in Bewegungsenergie des Rotors und schließlich durch einen Generator in elektrischen Strom um.

Wie bereits bei den Solarkollektoren zur Warmwassererzeugung erwähnt, wird auch hier der Treibhauseffekt genutzt. Da viele für das sichtbare Sonnenlicht durchsichtige Materialien für die (langwellige) Infrarotstrahlung undurchsichtig sind, kann die Sonnenenergie zwar ein-, aber nicht mehr austreten und wird so unter dieser Abdeckung "gefangen". Dadurch erwärmen sich die darunterliegenden Materialien. Bei den Solarkollektoren war das sich erwärmende Medium Wasser, in diesem Fall ist es Luft. Diese Kraftwerke haben den Vorteil, daß auch relativ große Flächen ohne allzugroßen Aufwand abgedeckt werden können und daß außer dem Rotor und dem Generator kaum teure und wartungsintensive Apparaturen zum Einsatz kommen.



**Schematische
Darstellung eines
Aufwindkraftwerkes**

Die solare Zukunft

4. Indirekte Solarenergienutzung

Wasserkraft

Die Wasserkraft war eine der ersten Energieformen nach dem Feuer, die vom Menschen bewußt genutzt wurde. Vom mittelalterlichen Wasserrad zur modernen Hochleistungsturbine ändern sich zwar die Technologien, die Materialien und die Zweckbestimmung, das Prinzip bleibt aber dasselbe; der Mensch nutzt die Energie des von den Bergen zu Tale stürzenden Wassers für seine Bedürfnisse. Allerdings ist auch bei der Wasserkraft der "Motor", der den Kreislauf des Wassers aufrechterhält, die Strahlungsenergie der Sonne.

Kreislauf des Wassers und Nutzung in Kraftwerken

Die Energie der Sonnenstrahlung bewirkt das Verdunsten des Wassers an der Oberfläche der Ozeane. Die so entstehende Feuchtigkeit steigt in die Luft auf und bewegt sich von den Meeren zu den Gebirgen hin. Auf diesem Weg kühlt sich die feuchte Luft ab und muß deshalb einen Teil der gebundenen Feuchtigkeit abgeben. Diese fällt als Regen über Gebirge und Ebenen herab. Das Wasser sucht sich dann in Bächen und Flüssen wieder den Weg zum Meer. So ist die Nutzung der Wasserkraft nichts anderes als eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie. Die Nutzung der Energie des Wassers, das diesen Zyklus durchläuft, würde potentiell eine sehr große Menge an Energie zur Verfügung stellen. Um die Wasserkraft jedoch mit einem vertretbaren technischen Aufwand nutzen zu können, ist man auf das Gebirge angewiesen. Dort kann man Stauseen, Druckleitungen und Auffangbecken errichten. Die Nutzung der Sonnenenergie in Form von Wasserkraft hat einen entscheidenden Vorteil gegenüber der direkten Nutzung der Sonnenenergie. Das Wasser läßt sich nämlich in großen Becken speichern und kann zum Antrieb der Turbinen verwendet werden, genau dann, wenn der elektrische Strom gebraucht wird. Egal ob bei Regen, nachts oder im Winter. Deshalb ist die Wasserkraft eine fast ideale Form der Nutzung der Sonnenenergie.

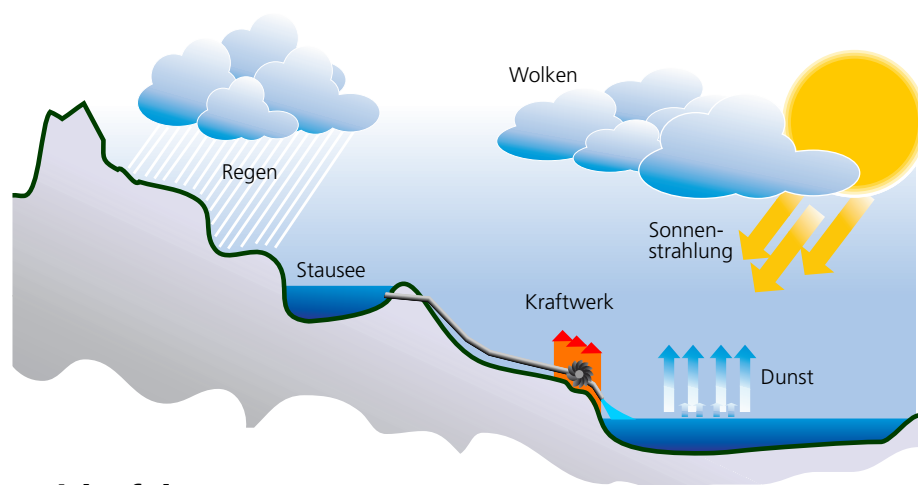
Zur Nutzung der Wasserkraft gibt es einige, sehr unterschiedliche Turbinenarten. Das einfache Wasserrad nutzt direkt die Lageenergie und die Bewegungsenergie des Wassers. Seit geraumer Zeit wird die so gewonnene Energie zum Antrieb von Mühlen, Schmiedehämmern u.a.m. verwendet. Die Turbinenarten, die heute in modernen Kraftwerken zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, unterscheiden sich vor allem dadurch, daß sie verschiedene Wassermengen mit

verschiedenen Druckunterschieden verarbeiten. Wenn man relativ kleine Wassermengen mit einem großen Höhenunterschied (und also Druckunterschied) zur Verfügung hat, verwendet man die sogenannte Pelton-turbine. Ihre Laufradschaufeln, die einem doppelten Löffel ähnlich sehen, werden durch einen Wasserstrahl in Bewegung gesetzt. Das Laufrad treibt dann einen Generator an, der elektrischen Strom erzeugt. Je nach Bedarf an elektrischer Energie wird mehr oder weniger Wasser auf das Laufrad geleitet.

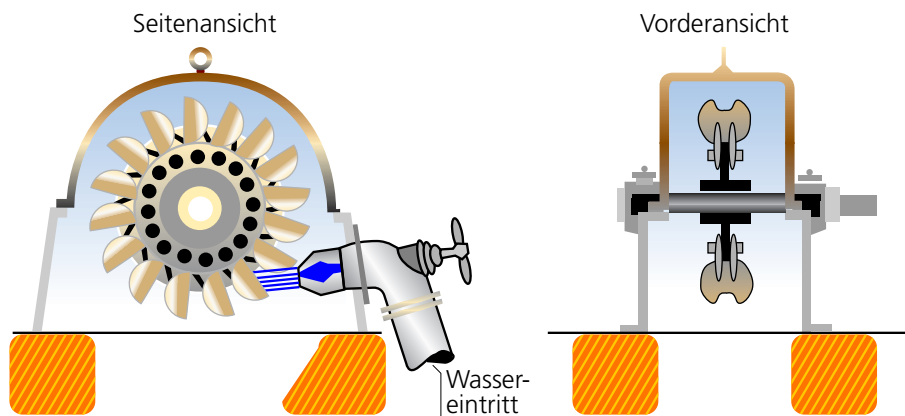
Wenn man größere Wassermengen mit nicht allzugroßem Druckunterschied zur Verfügung hat, verwendet man die sogenannte Francis-turbine. In dieser Turbine wird die Druckenergie des Wassers direkt ausgenützt.

Wenn man sehr große Wassermengen mit einem relativ kleinen Höhenunterschied (und also Druckunterschied) zur Verfügung hat, verwendet man die sogenannte Kaplan-turbine, die in etwa mit einem "Windrad", das sich im Wasserstrom bewegt, verglichen werden kann. Man kann mit dieser Turbine auch Höhenunterschiede von wenigen Metern, zum Beispiel in einem Fluß, ausnützen.

Wie erwähnt ist die Wasserkraft ein wirklich idealer Energielieferant. Viele Möglichkeiten der Nutzung der Wasserkraft sind allerdings auf der Welt schon ausgeschöpft. Auch muß man bei der Realisierung von Wasserkraftanlagen auf die Umweltverträglichkeit der Gesamtanlage achten, da oftmals fruchtbarer Kulturgrund durch die Stauseen verlorenght und auch weil der Einfluß auf das lokale Klima und auf den Ablauf natürlicher Vorgänge bei Großprojekten erheblich sein kann.



Kreislauf des Wassers



Skizze einer Pelton-turbine

Biomasse

Pflanzen bilden mit Hilfe der Energie der Sonne organische Substanzen. Dieser Prozeß der "Photosynthese" hat, aus rein energetischer Sicht betrachtet, zwar nur einen sehr kleinen Wirkungsgrad von etwa 3 %. Der so entstandene Energieträger hat aber den Vorteil, in absehbaren Zeiträumen erneuerbar zu sein.

In wenigen Fällen ist die Produktion von pflanzlicher Substanz ausschließlich zur Energiegewinnung sinnvoll und rentabel. Es gibt aber äußerst viele Beispiele, wo diese Substanzen als Restprodukte von anderen Anwendungen anfallen und zur Energieerzeugung verwendet werden können. Dies können Holzabfallprodukte sein, aber auch Stroh und Rückstände pflanzlicher Öle. Genau genommen müßte man auch Erdöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle zur Biomasse zählen, da auch diese aus pflanzlicher Substanz entstanden sind. Allerdings sind die Zeiträume von Millionen Jahren, die diese Produkte benötigten um sich aus pflanzlicher Substanz zu bilden, für den modernen Zeitbegriff durchaus als "Ewigkeiten" zu betrachten. Deshalb kann man diese Stoffe mit Berechtigung als nicht regenerierbar bezeichnen.

Kreislauf der Biomasse

In den Pflanzen findet unter Mitwirkung von Sonnenenergie, Wasser und Kohlendioxid eine natürliche Form der Energieumwandlung statt. Dabei nehmen die Pflanzen Kohlendioxid und Wasser (und andere Substanzen) auf, speichern die eingefangene Sonnenenergie in chemischer Form und geben dabei Sauerstoff an die Umgebung ab. Diese gespeicherte Energie kann dann zum Beispiel im menschlichen Körper wieder genutzt werden, indem man die pflanzliche Substanz als Nahrung zu sich nimmt. Für diese Umwandlung benötigt der Körper Sauerstoff,

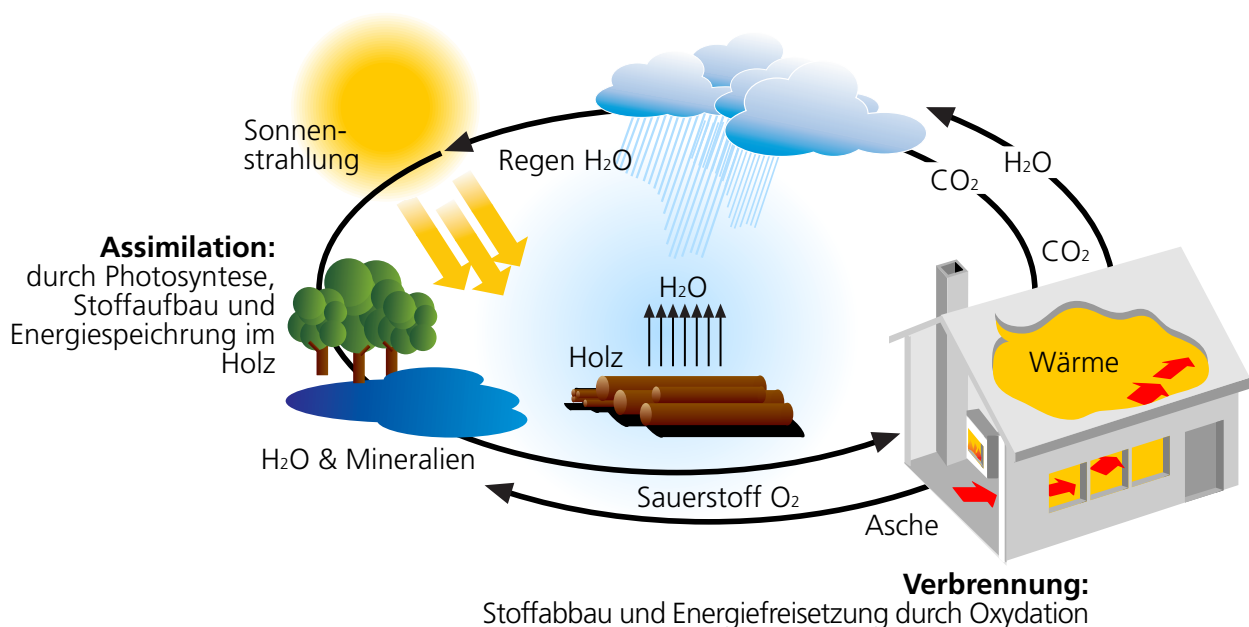
den man einatmet, und gibt beim Ausatmen Kohlendioxid an die Umgebung ab. Die so gewonnene Energie wird zur Bewegung der Muskeln, zur Hirntätigkeit usw. verwendet.

Eine andere Art die in der Biomasse gespeicherte Energie wieder freizusetzen und damit den Kreislauf wiederum zu schließen, ist die Verbrennung. Bei der Verbrennung von Holz oder Stroh wird der Umgebung Sauerstoff entzogen und Energie in Form von Wärme abgegeben. Bei diesem Prozeß entsteht ebenfalls Kohlendioxid (und andere Substanzen).

Eine weitere, in der Natur sehr verbreitete Art, diesen Kreislauf zu schließen, ist der Fäulnisprozeß. Die dabei freiwerdende Energie (in Form von Wärme und in Form von zum Teil brennbaren Gasen) wird allerdings in der Natur nur selten genutzt. Eine Möglichkeit, auch diesen Prozeß für energetische Zwecke zu nutzen, ist z. B. die Erzeugung von Biogas.

Ein sehr wesentlicher Punkt bei der Nutzung der Biomasse ist jener, daß es sich dabei auch für menschliche Zeitbegriffe um einen geschlossenen Kreislauf handelt. Das heißt, daß bei der Verwendung von Biomasse "unter dem Strich" keine Produktion z. B. von CO₂ (Kohlendioxid) stattfindet. Dieses Gas, das eigentlich für den Menschen vollkommen unschädlich ist (wir atmen es ja auch selbst aus) liefert jedoch in den letzten Jahren immer mehr Diskussionsstoff, da es einer der Hauptverursacher des atmosphärischen Treibhauseffektes und somit der zunehmenden Aufheizung der Erdoberfläche ist.

Kreislauf der Biomasse



Nutzung von Holz und Stroh

Eine der in der Menschheitsgeschichte wohl am längsten bekannte Nutzung der Biomasse ist, abgesehen von der Nahrungsaufnahme, das Verbrennen von Holz und Stroh zur Erzeugung von Wärme. Dabei wird die Energie, die die Pflanze während des Wachstums von der Sonne aufgenommen und gespeichert hat, in Form von Wärmeenergie frei. Wie schon am Anfang dieses Kapitels erwähnt, ist die Produktion von Holz und Stroh ausschließlich zur Energiegewinnung in der Regel nicht sehr vorteilhaft. Diese beiden Produkte stehen jedoch in großem Umfang als Abfallprodukte anderer Anwendungen zur Verfügung. So fällt Stroh in großen Mengen bei der Produktion von Getreide an. Auch bei der Verwendung von Holz als Bauholz und für die Tischlerei fallen große Mengen an Abfällen an. Diese können dann in speziellen Heizkesseln zur Beheizung von Einzelgebäuden oder zum Betrieb von Fernheizungsnetzen verwendet werden. Diese Verwendung bietet sich vor allem in Gebieten an, in denen große Mengen an Holzprodukten verarbeitet werden und wo die Holzabfälle oft eigens entsorgt werden müssen. Dies ist z. B. häufig in unseren Bergtälern der Fall.

Für die Beheizung von kleinen Gebäuden wie Ein- und Zweifamilienhäusern bietet sich dabei eher ein Kessel an, der mit Stückholz befeuert wird. Für große Gebäude und zum Betrieb von Fernheizungsanlagen eignet sich eher eine Befeuerung mit Holzhackschnitzel da diese weitgehend automatisiert werden kann. Stroh kann entweder lose oder in gepreßter Form verfeuert werden und eignet sich als Brennstoff auch eher für große Feuerungsanlagen.

Biogas

Durch mikrobiologische Umwandlung organischer Abfallstoffe unter Luftabschluß entsteht ein Gasgemisch, das je nach Art des organischen Materials mehr oder weniger Anteile an brennbaren Gasen enthält. Dieses Gas besteht in den meisten Fällen zu zwei Dritteln aus Methan und zu einem Drittel aus Kohlendioxid. Da alle organischen Stoffe die in ihnen enthaltene Energie während des Wachstums von der Sonne beziehen, handelt es sich auch hier indirekt um Sonnenenergie. Biogas kann aus Mülldeponien, Kläranlagen und landwirtschaftlichen Betrieben gewonnen werden. Man erhält etwa 120 bis 150 m³ Gas pro Tonne Müll. Dabei enthält Deponiegas 35 - 60 % Methan. Allerdings ist es bei offenen Mülldeponien oft schwierig, dieses Gas aufzufangen. Wenn man beim Anlegen einer Mülldeponie die "rekultiviert", also mit Erde bedeckt und wieder bepflanzt wird, eine Gasdrainage

vorsieht, ist die Nutzung des Deponiegases zur Erzeugung von Strom oder zum Betreiben eines Fernheizwerkes durchaus machbar. Bei Kläranlagen ist es in der Regel mit vertretbarem technischen Aufwand möglich, den Klärschlamm in sogenannten Faultürmen zu vergären. Das so entstehende Biogas wird in der Regel auch dazu verwendet, den Energiebedarf der Kläranlage selbst zu decken. Auch für landwirtschaftliche Betriebe, die eine gewisse Mindestgröße überschreiten, ist es in den meisten Fällen sinnvoll, das bei der Gärung der Gülle entstehende Gas zu nützen für die Heizung von Wirtschafts- und Wohngebäuden, zur Warmwassererzeugung und oft auch zur Beheizung anliegender Nachbarhäuser. Wenn die Planung solcher Anlagen korrekt ausgeführt wird, können sich die entsprechenden Investitionen schon in einigen Jahren amortisieren. Durch die Nutzung von Biogas ergeben sich zwei große Vorteile. Zum einen erhält man ein Gas, dessen Energiegehalt man für Heizung und zur Erzeugung von elektrischem Strom verwenden kann. Zum anderen verhindert man das Entweichen der Gase in die Atmosphäre, wo diese in gewichtiger Weise für den atmosphärischen Treibhauseffekt mitverantwortlich sind.

Windenergie

Auch die Nutzung der Windenergie ist eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie. Sie wird ebenfalls seit geraumer Zeit vom Menschen eingesetzt. Windräder werden seit Jahrtausenden verwendet, um Getreidemühlen, Wasserhebevorrichtungen und ähnliches anzutreiben.

Durch die Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Luft, dehnt sich dadurch aus und steigt auf. Es entsteht ein Sog, durch den von einem anderen Gebiet, in dem die Luftherwärmung nicht so stark ist, weil z. B. Wolken einen Teil der Sonnenstrahlung abschirmen oder weil die Erdoberfläche in dieser Zone einen größeren Anteil der eintreffenden Sonnenstrahlung absorbiert, Luft "angesaugt" wird. Diese Luftbewegungen sind dann an der Erdoberfläche als Wind zu spüren. Windkraftwerke nutzen die Bewegungsenergie ("kinetische Energie") des Windes zur Erzeugung von Antriebsleistung aus, die heute in der Regel durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Heute werden auch Propeller und Rotoren größerer Abmessungen gebaut, die nach dem Tragflügelprinzip funktionieren. Durch die von einem Propeller überstrichene Kreisfläche strömt die Luft und wird an den Tragflügeln abgebremst. Der Propeller treibt über Welle und Getriebe einen Generator an. Propeller können einen größeren Teil der kinetischen Energie der Luftströmung nutzbar machen als Windmühlenflügel.

Arten von Windkraftwerken

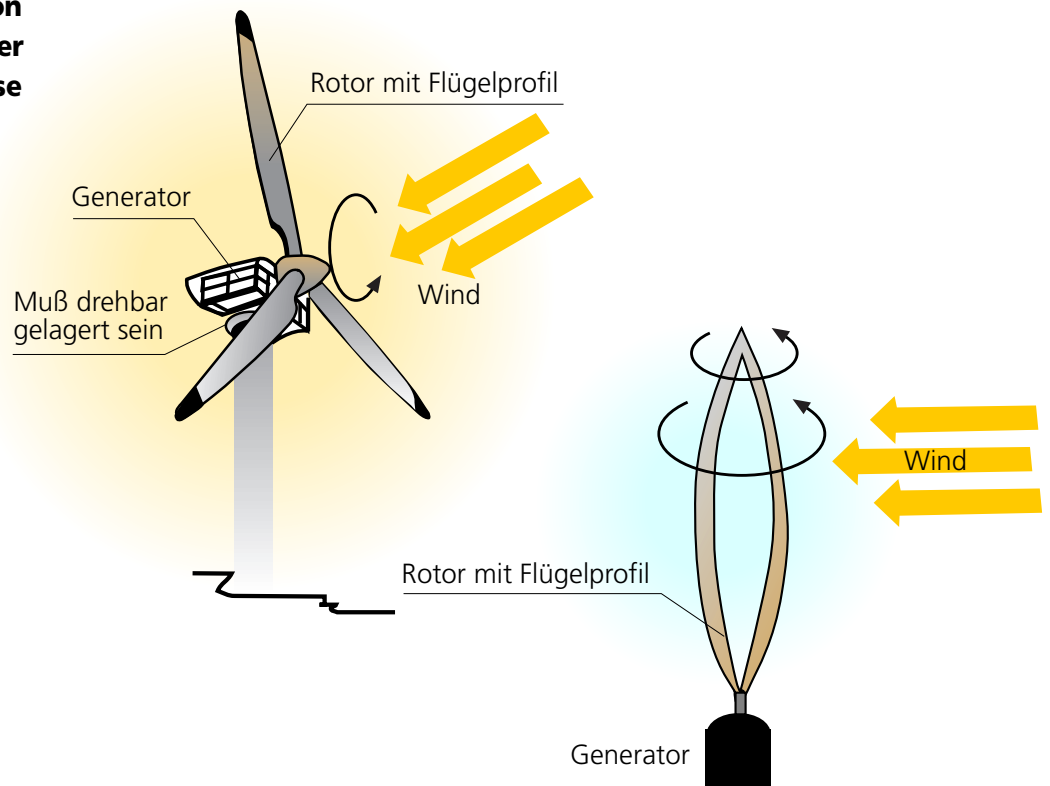
Windkraftwerke können als kleinere Anlagen (bis 100 kW) entlegene Gebiete dezentral mit Energie versorgen, aber auch mit einer Leistung von mehreren 100 kW bis in den Megawattbereich Strom in Versorgungsnetze einspeisen. Für den sinnvollen Einsatz von Windkraftwerken sollte die mittlere Windgeschwindigkeit 10 m über dem Boden 5 m/s (=18 km/h) überschreiten.

Es gibt grundsätzlich zwei Kategorien von Windkonvertern. Solche mit horizontaler Drehachse, zu denen auch die historischen Windräder zählen, und solche mit vertikaler Achse.

Bei den modernen Windkraftwerken mit horizontaler Achse gibt es die verschiedensten Bauweisen mit fünf, drei, zwei oder sogar nur einem Rotorblatt. Sie unterscheiden sich im Ausnutzungsgrad der Windenergie aber natürlich auch in der Komplexität der Bauweise und damit in den Kosten. Die Rotorblätter moderner Windkraftwerke sind immer in einem Flügelprofil ausgeführt, das eine bessere Ausnutzung der Windenergie ermöglicht. Ein Vorteil der horizontalen Bauweise ist die erhebliche Erfahrung, die der Mensch in der Herstellung solcher Rotoren auch durch den Propellerbau zum Antrieb von Flugzeugen gesammelt hat. Außerdem kann man durch das Verstellen der Neigung der Rotorblätter verschiedene Windgeschwindigkeiten optimal ausnützen. Schließlich kann man die Anlage vor Beschädigung bei Stürmen schützen, indem die Rotorblätter vollkommen aus dem Wind gedreht werden. Ein Nachteil dieser Bauweise besteht darin, daß man den Rotor immer in die Windrichtung drehen muß und daß deshalb der gesamte obere Teil der Konstruktion drehbar sein muß. Auch bei den Windkraftwerken mit vertikaler Achse gibt es verschiedene Bauweisen. Der wohl bekannteste ist der sogenannte Darrieus - Rotor. Auch die Rotorblätter dieser Anlagen sind in der Regel in einem Flügelprofil ausgeführt. Die Bauweise mit vertikaler Drehachse hat den Vorteil, daß ihre Leistung unabhängig von der Windrichtung ist und daß somit der Rotor nicht in Windrichtung gestellt werden muß. Andererseits muß man jedoch in der Regel wesentliche Änderungen der Drehfrequenz mit Änderung der Windgeschwindigkeit in Kauf nehmen und es gibt auch, je nach Bauweise, gewisse Probleme bei der Sturmsicherung der Anlage. Es gibt sehr viele Gebiete in denen der Wind oft und mit relativ konstanter Geschwindigkeit bläst.

Viele Ebenen, Zonen in Küstennähe und auch Zonen auf der Meeresoberfläche in Ufernähe beinhalten ein großes Potential an Energie, das heute noch zu einem guten Teil ungenützt ist und in naher Zukunft sicher sehr viel stärker ausgeschöpft werden muß.

Schematische Darstellung von Windkraftanlagen mit horizontaler und mit vertikaler Drehachse



Möglichkeiten und Grenzen in unseren Breiten

Um die Windenergie in technischer und ökonomischer Hinsicht sinnvoll nutzen zu können, sind zwei Faktoren von Wichtigkeit. Nämlich daß die Windgeschwindigkeit über einem gewissen (bereits erwähnten) Mindestwert liegt und daß der Wind möglichst konstant weht. In Südtirol, wie in den meisten gebirgigen Gegenden wehen zwar manchmal sehr heftige Stürme, das Windaufkommen ist aber sehr unregelmäßig. Für die Errichtung großer Windkraftanlagen mit Einspeisung des erzeugten elektrischen Stromes ins öffentliche Netz sind unsere Täler wie andere gebirgige Gegenden daher kaum geeignet.

Trotzdem können kleinere Windanlagen etwa zur Versorgung entlegener Höfe oder Schutzhütten oder zur Unterstützung von Wasser - Pumpspeicherwerken besonders in höheren, oft windreichen, Gebirgsgegenden durchaus sinnvoll und auch rentabel sein.

Die solare Zukunft

5. Möglichkeiten und Grenzen der Solarenergie

Die Sonnenenergie ist die einzige für menschliche Zeitbegriffe unerschöpfliche Energiequelle der Erde. Alle anderen Energiequellen, mit Ausnahme vielleicht der Kernfusion, gehen in absehbaren Zeitabschnitten zur Neige. Die auf die Erde in Form von Sonnenlicht gestrahlte Energie beträgt ein Vielfaches der verbrauchten Energie. Es besteht somit auf der Erde jetzt und auch in Zukunft kein eigentlicher Energiemangel. Das Problem ist nur, daß das gewaltige Energieangebot in Form von Sonnenenergie nur schwer in großem Stil für die menschlichen Energiebedürfnisse anwendbar ist.

Sonnenenergie - unbegrenzte aber "verdünnte" Energie

Die Gründe weshalb es schwierig ist, und sicherlich auch in Zukunft schwierig bleiben wird, die Sonne zu dem Energielieferanten der Menschheit werden zu lassen sind im wesentlichen zwei.

Zum einen trifft die Sonnenenergie zwar in gewaltigen Mengen auf die Erde auf, aber diese sehr große Menge ist eben auf die ganze Erdoberfläche verteilt. Das heißt, die Sonnenenergie ist eine sehr verdünnte Energie.

Zum anderen ist die Sonnenstrahlung zwar außerhalb der Erdatmosphäre ziemlich konstant. An der Erdoberfläche jedoch schwankt die Intensität der Sonnenstrahlung. Da steht das Sonnenlicht an einer gewissen Stelle der Erde im Jahresdurchschnitt nur die Hälfte der Zeit zur Verfügung, aufgrund des Wechsels von Tag und Nacht. Weiters schwankt die Intensität der Sonnenstrahlung im Jahresverlauf sehr stark aufgrund des Wechsels von Sommer und Winter. Schließlich ist die Intensität der Sonnenstrahlung, die auf der Erdoberfläche ankommt noch stark abhängig vom Wetter, d. h. von der Wolkendecke. All das führt dazu, daß das Energieangebot der Sonne auf der Erde sehr schwankend ist. Sie bietet sich also in gewissen Tages- und Jahreszeiten an, ist aber nicht beliebig verfügbar. Die bereits erwähnte Verdünnung der Sonnenenergie führt dazu, daß man große Flächen benötigt um auch nur einen Teil des Energieverbrauches zu decken. Diese großen Flächen stehen gerade dort, wo am meisten Energie verbraucht wird, in der Regel nicht zur Verfügung. Man kann sich vorstellen, mit Hilfe der Sonnenenergie dort Energie zu produzieren, wo diese Flächen zur Verfügung stehen, zum Beispiel in den großen Wüsten, und diese dann in die Ballungszentren zu transportieren, wo am meisten Energie gebraucht wird. Es ergeben sich dadurch jedoch erhebliche Probleme und Verluste durch Speicherung und Transport der Energie. Um auf lange Sicht durch die Sonnenenergie zumindest einen wichtigen Teil des Energiebedarfes decken zu können, muß deshalb sicherlich die dezentrale Energieproduktion, die durch die Sonne möglich ist, mit einem möglichst dezentralen Energieverbrauch in Verbindung

gebracht werden. Das heißt, die großen industriellen Ballungszentren, die momentan die größten Energieverbraucher sind, müssen immer mehr kleineren und verteilteren Wohn- und Gewerbezentren weichen.

Speicherung von Sonnenenergie

Das zweite Problem der Sonnenenergie ist, neben deren "Verdünnung", die schwankende Verfügbarkeit und Intensität der Sonnenstrahlung. Da der Energieverbrauch der Menschheit in nur sehr geringem Maße dem Energieangebot der Sonne angepaßt werden kann, erlangt die Speicherung der Sonnenenergie wesentliche Bedeutung. Erst wenn das Problem der Speicherung in großem Stil gelöst ist, kann die Sonnenenergie von einer "komplementären" d. h. ergänzenden, Energiequelle zu einer wirklichen "alternativen", d. h. ersetzenden Energiequelle werden. Die Speicherung über kurze und mittlere Zeitspannen in Form von Warmwasser kann heute schon mit gut wärmegeprägten Speicherkesseln in zufriedenstellendem Maße praktiziert werden. Die größten Probleme ergeben sich allerdings, wenn man mit der Sonnenenergie einen erheblichen Teil des Strombedarfes und des Energiebedarfs zur Fortbewegung (Treibstoffe für Autos, Schiffe und Flugzeuge) decken will. Die bereits angesprochene Wasserstofftechnologie ist hier sicherlich die vielversprechendste Lösung, indem man mit Solarzellen aus Sonnenstrahlung elektrischen Strom produziert und diesen dann über die Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff verwendet. Wasserstoff hat nämlich den Vorteil, einerseits mit guten Wirkungsgraden in elektrischen Strom umgewandelt werden zu können, andererseits ist er ein beinahe idealer Treibstoff, da bei dessen Verbrennung als Abgas nur Wasserdampf entsteht. Eine weitere Möglichkeit ist jene, den elektrischen Strom, der durch die Solarzellen erzeugt wird, dazu zu verwenden, Wasser von einem niedriggelegenen Stausee in einen höher gelegenen zu pumpen. Dieses Wasser kann dann in einem normalen Wasserkraftwerk verwendet werden um wiederum Strom zu erzeugen, allerdings genau zu dem Zeitpunkt, zu dem dieser gebraucht wird. In diesem Fall wird also die elektrische Energie in Form von Lageenergie (des Wassers) gespeichert. Eine andere Möglichkeit ist jene, den elektrischen Strom dazu zu verwenden, Luft in einen großen Behälter zu pumpen, der z. B. auch eine dichte Felshöhle sein kann. Diese Luft in komprimiertem Zustand kann dann beim Austreten aus dem Behälter eine Art Windrad antreiben, das wiederum elektrischen Strom erzeugt, genau in dem Moment, in dem er gebraucht wird. In diesem Fall wird die Energie in Form von Druckenergie (der Luft) gespeichert. Die genannten Möglichkeiten der Speicherung der Sonnenenergie haben allerdings alle den Nachteil, irgendwie an örtliche Gegebenheiten gebunden zu sein. Außerdem läßt sich die derartig gespeicherte Energie nicht transportieren.

Aktueller Stand und Zukunftsaussichten

Die Ergänzung und die Ersetzung herkömmlicher Energieträger wie Heizöl, Gas, Kohle wird immer notwendiger. Die Sonnenenergie leistet hier schon einen gewissen Beitrag, der aber in nächster Zukunft sicher anwachsen wird. Der Stand der Technik ist dazu in einigen Gebieten bereits ziemlich ausgereift. Für die Erzeugung von Warmwasser in den Sommermonaten und in den Übergangsperioden gibt es heute eine Vielzahl von technischen Lösungen und es gibt eigentlich keinen vertretbaren Grund dafür, daß immer noch warmes Brauchwasser in den Sommermonaten von großen Heizkesseln erzeugt wird, die in diesen Zeiten mit schlechten Wirkungsgraden arbeiten. Auch die Berücksichtigung der passiven Sonnenenergienutzung im Bauwesen hat mittlerweile in den entsprechenden Berufsgruppen viele Befürworter. Zahlreiche auch in Südtirol errichtete und renovierte Bauten zeugen davon, daß diese Kriterien durchaus auch mit einer orts- und traditionsgebundenen Bauweise vereinbar sind. Die Photovoltaik hat heute schon für Verbraucher weitab vom öffentlichen Stromnetz und für besondere Anwendungen Wichtigkeit erlangt. Hier müssen jedoch in nächster Zukunft neue technische Entwicklungen vor allem zu einer Kostenreduzierung der Solarzellen führen.

Die Energie des Wassers wird schon seit geraumer Zeit auf der ganzen Welt genutzt. Trotzdem besteht in vielen Gebieten noch ein erhebliches Potential vor allem für Anlagen mittlerer und kleiner Dimension, das noch ausgeschöpft werden kann. Die Windenergie hat auch in Großprojekten gezeigt, daß sie durchaus ein ernstzunehmender Energielieferant ist, vor allem weil sie auch in den kalten Jahresmonaten zur Verfügung steht. Speziell die Großanlagen in Küstennähe und auch auf dem Meer in Ufernähe, auf Gerüsten, die im Meeresboden verankert werden, bieten noch viele nicht ausgeschöpfte Möglichkeiten. Auch die Nutzung der Biomasse bietet viele Möglichkeiten, den Transport von Erdöl und Erdgas um den halben Globus zu reduzieren und in vielen Regionen die eigenen Ressourcen zu verwenden, anstatt auf Rohstoffe und Preisdiktate anderer Länder vollkommen angewiesen zu sein.

Langfristig ist sicherlich die Photovoltaik jene Technologie, die geeignet ist, einen ansehnlichen Teil des Weltenergieverbrauches zu decken. Es müssen dazu bestimmt noch viele technische und wirtschaftliche Hürden überwunden werden. Eine entsprechende Entwicklung muß sicherlich schrittweise vor sich gehen. Sie hat im Grunde schon begonnen und muß mit großem Einsatz vorangetrieben werden. Auch hier gilt wie bei allen Dingen: "Wer große Projekte im Sinn hat, der sollte sehr genau alle Details bedenken".