dena
Deutsche Energie-Agentur

renewables
Made in Germany

# renewables – Made in Germany

## Zuverlässige Lösungen für die Zukunft

www.renewables-made-in-germany.com

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Herausgeber**
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Regenerative Energien
Chausseestr. 128 a, 10115 Berlin

Tel. +49 (0) 30 726165-600
Fax +49 (0) 30 726165-699
E-Mail: renewables@dena.de
Internet: www.dena.de

**Datum**
Oktober 2015

**Druck**
Silber Druck oHG
Am Waldstrauch 1, 34266 Niestetal, Deutschland

**Konzept und Realisation**
design@in-fluenz.de
Lavesstraße 20/21, 30159 Hannover, Deutschland

**Titelbild**
iStock.com/JFsPic

Alle Rechte sind vorbehalten.

Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena. Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Die dena übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet die dena nicht, sofern ihr nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

**Offizielle Website**
www.renewables-made-in-germany.com

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

**Einleitung** . . . . . 5

**Erneuerbare Energien**

Erneuerbare Energien im Energiesystem. . . . . 10

Erneuerbare-Energien-Technologien – Lösungen für eine nachhaltige Zukunft . . . . . 12

Erneuerbare-Energien-Technologien – Treiber der Energiesicherheit . . . . . 13

Erneuerbare-Energien-Technologien – im Kontext der Energiewende in Deutschland . . . . . 14

Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Anlagen . . . . . 16

**Windenergie**

Entwicklung der Windenergie . . . . . 18

Technologien zur Nutzung von Windenergie . . . . . 19

**Photovoltaik**

Solarenergie: Photovoltaik . . . . . 21

Anwendungsbereiche. . . . . 22

Zukunftstrends . . . . . 23

**Solarthermie**

Solarthermie – Technologien . . . . . 24

Anwendungsfelder solare Wärme . . . . . 25

Anwendungsfelder solare Kühlung . . . . . 26

Solarthermische Kraftwerke . . . . . 27

**Bioenergie**

Bioenergie – Mobilität, Wärme- und Stromerzeugung . . . . . 28

Feste Biomasse: Technologien und Anwendungen . . . . . 29

Strom und Wärme aus Biogas . . . . . 30

**Wasserkraft**
Nutzung der Wasserkraft . . . . . 31

Strom aus Kleinwasserkraft und Meeresenergie . . . . . 32

**Geothermie**
Tiefengeothermie . . . . . 33

Oberflächennahe Geothermie zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden . . . . . 34

**Off-grid-Anwendungen**
Netzferne Nutzung erneuerbarer Energien . . . . . 35

Technologien für Energie- und Wasserversorgung . . . . . 36

Anwendungsfelder . . . . . 37

**Erneuerbare Energien im Haus**
Stromversorgung von Häusern mit Hilfe von erneuerbaren Energien . . . . . 38

Wärmeerzeugung und Kühlung im Erneuerbare-Energien-Haus . . . . . 39

# Einleitung

In steigendem Maße benötigen öffentliche Dienstleistungen, Gewerbe, Industrie und Privathaushalte weltweit verlässliche, bezahlbare und umweltfreundlich produzierte Energie zur Deckung der Nachfrage nach Strom, Wärme, Kühlung und Mobilität. Erneuerbare Energien können einen wesentlichen Beitrag zur Deckung dieses Bedarfs leisten.

Anders als fossile Energieträger beruhen erneuerbare Energien teilweise auf unerschöpflichen Ressourcen. Verschiedene Technologien stehen weltweit zur Verfügung, um die natürlichen Potenziale zu nutzen. Im Verbund mit Speicher- und Netztechnik können erneuerbare Energien gespeichert bzw. über große Strecken vom Ort der Erzeugung zu den Verbrauchszentren übertragen und verteilt und somit bedarfsoptimiert genutzt werden.

Erneuerbare-Energien-Technologien, Produkte und Dienstleistungen „made in Germany“ genießen dabei international eine ausgezeichnete Reputation. Sie stehen für Qualität, Zuverlässigkeit, Langlebigkeit, Effizienz und Sicherheit.

Die in der vorliegenden Broschüre vorgestellten Technologien geben Ihnen einen Einblick in Umsetzungsmöglichkeiten für Ihre regenerative Energieversorgung. Der Import deutscher Produkte und Dienstleistungen kann über verschiedene Programme der deutschen Bundesregierung gefördert werden, die im Abschnitt Finanzierung kurz abgebildet sind. Im Folgenden werden zunächst die einzelnen Formen erneuerbarer Energien vorgestellt, Anwendungsmöglichkeiten betrachtet sowie deren Zusammenspiel im gesamten Energiesystem erläutert.

## Formen von erneuerbaren Energien

**Windenergie** wird in vielen Regionen der Erde schon seit Jahrhunderten genutzt und hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem wichtigen Standbein einer nachhaltigen Energieversorgung entwickelt. Die Mehrzahl der weltweit errichteten Windenergieanlagen ist zurzeit auf dem Festland (onshore) installiert mit Anschluss an ein öffentliches Stromnetz. In der Regel werden mehrere Anlagen zu einem Windpark zusammengefasst, diese speisen den erzeugten Strom in das Verteilnetz ein. Alleinstehende Anlagen eignen sich hingegen z.B. für eine dezentrale Stromversorgung in Gebieten fernab vom öffentlichen Stromnetz und können in ein Mininetz einer Ortschaft einspeisen.

Aufgrund der konstanten Windverhältnisse und der höheren durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten wird verstärkt speziell in Europa und Ostasien am Einsatz von Anlagen auf dem Meer (offshore) gearbeitet. Der Ertrag ist bis zu 40 Prozent höher als an Land. Bis 2030 sollen durch die Offshore-Wind-

juwi

Solarwatt AG

energie in Deutschland bis zu 15 Prozent des Strombedarfs gedeckt werden. Der Global Wind Energy Council (GWEC) prognostiziert bis 2020 eine weltweite mögliche Stromversorgung von bis zu 12 Prozent durch Windenergie. In Ländern mit begrenztem Flächenangebot, wie z.B. Deutschland, besteht ein hohes Potenzial an Repowering von Onshore-Anlagen – alte leistungsschwächere Anlagen werden durch neue, stärkere Anlagen ersetzt und dementsprechend kann die gleiche Anzahl an Anlagen eine höhere Leistung erreichen.

Die **Sonne** liefert in einer Stunde mehr Energie auf die Erde als weltweit pro Jahr verbraucht wird. Diese Energie lässt sich vielfältig nutzen. Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) wandeln Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom um. PV-Anlagen bieten die Möglichkeit, Strom unabhängig von vorhandenen Stromnetzen, z.B. durch Solar Home Systems (SHS), zu erzeugen und nutzen zu können. Photovoltaik kann aber auch zum Aufbau von netzfernen Inselsystemen genutzt werden. Solche Mininetze können einzelne Gebäude bis hin zu mehreren Ortschaften mit Strom versorgen. Speichertechnologien (z.B. Batterien) werden in die Mininetze integriert, um Strom auch zu Zeiten unzureichender Sonneneinstrahlung zu gewährleisten. Der Einsatz von Hybridsystemen – eine Kombination aus verschiedenen erneuerbaren Energien (PV mit bspw. Wind- oder Wasserkraftanlagen) oder auch aus Stromgeneratoren auf Diesel- bzw. Biokraftstoffbasis – ist eine komfortable Lösung zur netzfernen Stromversorgung kleiner Ortschaften oder Industrieanlagen, z.B. im Bergbau. PV-Anlagen können eine kontinuierliche Wasserversorgung zu Trinkwasserzwecken oder auch zur Bewässerung gewährleisten. Darüber hinaus kann mittels dieser Technologie Wasser desinfiziert bzw. entsalzt werden. PV-Anlagen können optimal auf Dächern oder an Fassaden architektonisch in das Gebäude integriert werden. Großanlagen mit Leistungen von mehreren Megawatt werden i.d.R. als Freiflächenanlagen gebaut.
Die technische Nutzung der **solaren Wärme** (Solarthermie) ist eine bereits über Jahrzehnte getestete und entwickelte Energienutzung. Solarthermische Installationen können auch in Gebieten mit geringerer Sonneneinstrahlung zur Anwendung kommen. Sie eignen sich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Mit einer Solaranlage macht sich der Anwender unabhängiger von fossilen Brennstoffen und Energiepreissteigerungen. Kleine Solaranlagen sind heute vielerorts Standard im Programm der Heizungsindustrie und des Fachhandwerks. Großes Potenzial liegt in der Speicherung von Solarwärme im Sommer für den Winter und der Verteilung von heißem Wasser über Nahwärmenetze. Große solarthermische Anlagen können auch zur Unterstützung von Fernwärmenetzen dienen. Die vielversprechende solarthermische Anwendung der solaren Kühlung ist hingegen besonders interessant in Ländern mit einem hohen Bedarf an Klimatisierung.

**Solarthermische Kraftwerke** (Concentrated Solar Power – CSP) sind insbesondere für den Sonnengürtel der Erde geeignet, da hier das Aufkommen der für den Betrieb von CSP-Anlagen

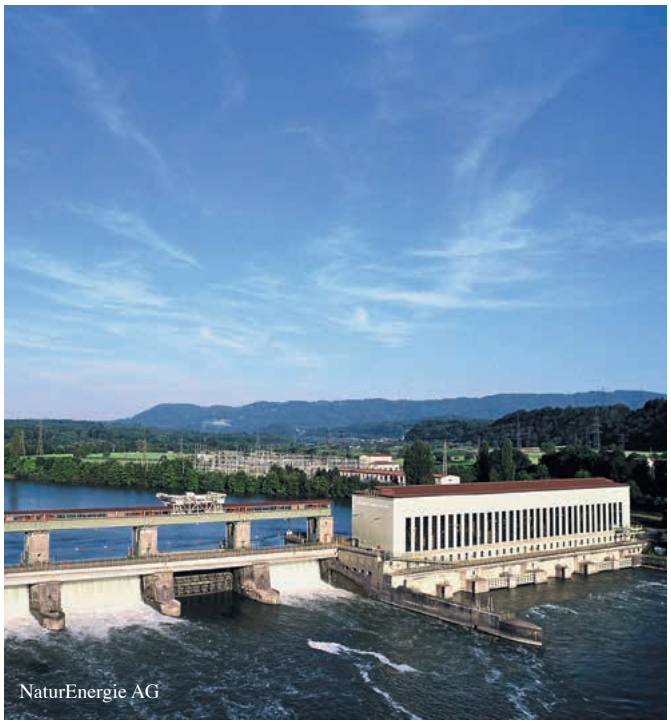
Novatec Solar GmbH

EnviTec Biogas AG

notwendigen solaren Direktstrahlung am höchsten ist. Der Sonnengürtel erstreckt sich ungefähr zwischen dem 40. nördlichen und dem 40. südlichen Breitengrad; also zum Beispiel zwischen Südspanien und Südafrika. Weltweit kann derzeit ein Zubau an solarthermischen Anlagen zur Stromerzeugung beobachtet werden. Zurzeit sind 2,5 GW an solarthermischen Kraftwerken in Betrieb und etwa 1,5 GW im Bau. Mit einem Leistungsbereich ab rund 5 MW sind solarthermische Kraftwerke vielseitig einsetzbar, von der Versorgung einzelner Ortschaften bis hin zur Versorgung netzferner Verbrauchszentren. Durch die Verwendung von Speichertechnologien genügen die Kraftwerke einem Grundlastbetrieb. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) wird sich die weltweit installierte Leistung solarthermischer Kraftwerke voraussichtlich von 4 auf 12 GW bis 2020 verdreifachen.

Die **Bioenergie** ist ein wichtiger und vielseitig einsetzbarer erneuerbarer Energieträger. Bioenergie wird in fester oder flüssiger Form oder gasförmig zur Strom- und Wärmeerzeugung und zur Herstellung von Biokraftstoffen genutzt. Ein großer Vorteil der Bioenergie ist ihre Speicherbarkeit. Traditionell wird feste Biomasse über die Verbrennung von Holz zum Heizen und Kochen genutzt. In industriellen Anwendungen wird Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Bei der Biomassenutzung zur Wohnraumbeheizung werden verstärkt Holzpellets verwendet. Ihr Raumbedarf ist nur unwesentlich größer als der von Heizöl. Darüber hinaus kann Biomasse in einem thermochemischen Prozess vergast werden. Das dabei entstehende brennbare Produktgas kommt hauptsächlich in effizienten KWK-Anlagen zum Einsatz. Diese können auch sehr gut fernab von Stromnetzen installiert werden und kleine KWK-Anlagen sind insbesondere für den Einsatz im Gebäude konzipiert. Biogas lässt sich aus verschiedenen Ressourcen gewinnen: aus den organischen Bestandteilen von Mülldeponien (Deponiegas), aus kommunalen Abwässern (Klärgas), aus organischen Abfällen von Industrie, Haushalten und Gewerbe sowie aus Reststoffen und Energiepflanzen aus der Landwirtschaft. Der bei der Biogaserzeugung entstehende Gärrest kann als hochwertiger Dünger landwirtschaftlich verwertet oder aber als Nebenprodukt zur Erhöhung der Wertschöpfung veräußert werden. Einen wachsenden Stellenwert nimmt die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität ein. Das so gewonnene Biomethan kann in bestehende Erdgasnetze eingespeist werden. Zudem kommt Biogas als Transporttreibstoff zum Einsatz.

**Wasserkraft** gehört zu den vom Menschen am längsten genutzten erneuerbaren Energieformen und wurde schon in vorindustrieller Zeit zum Antrieb von Mühlen sowie Säge-, Papier- und Hammerwerken verwendet. Heute wird mit Wasserkraft fast ausschließlich elektrischer Strom erzeugt. Weltweit werden gegenwärtig rund 16 Prozent der erzeugten Elektrizität aus Wasserkraft gewonnen. Speziell die Kleinwasserkraft gilt als nachhaltige Nutzungsform, da sie besser in bestehende Ökosysteme integriert werden kann als Großanlagen. Schätzungen gehen davon aus, dass bisher nur etwa ein Viertel des wirtschaftlichen Potenzials ausgeschöpft wird. Großes Potenzial


NaturEnergie AG

H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH

liegt in der Modernisierung bestehender Anlagen. Bei der Nutzung von Wasserkraft sind vor allem der Natur- und Gewässerschutz zu berücksichtigen (z.B. durch Anlage von Fischtreppen).

Die **Geothermie** ist eine erneuerbare Energieform, die trotz saisonaler Klima- oder Wetterschwankungen stets konstant verfügbar ist. Attraktiv ist die Verwendung der Erdwärme zur Stromerzeugung. Besonders in Regionen mit geologisch günstigen Voraussetzungen (z.B. Regionen mit vulkanischer Aktivität, Temperatur > 200 °C) bildet Erdwärme eine solide Basis für umweltfreundliche und kostengünstige Energiegewinnung und kann einen wichtigen Beitrag zu Grundlastversorgung leisten. Bei der Wärmeerzeugung ist das Grundprinzip der sogenannten Tiefen-Geothermie einfach: Um die Wärme aus dem Untergrund zu gewinnen, braucht man eine Flüssigkeit für den Wärmetransport. Entweder ist dieses Transportmittel in Form von Dampf oder heißem Wasser bereits im Untergrund vorhanden – dann wird es an die Oberfläche befördert, ausgekühlt und normalerweise wieder in den Untergrund eingeleitet, oder die Flüssigkeit muss erst in die Tiefe gepumpt und erhitzt wieder nach oben befördert werden. Die gewonnene Wärme lässt sich in Nah- und Fernwärmenetze einspeisen oder unmittelbar zur Beheizung von Gebäuden oder anderer Wärmeverbraucher einsetzen. Bei der oberflächennahen Geothermie wird die im Erdboden gespeicherte Wärme bis in Tiefen von rund 150 m mit Hilfe von Wärmepumpen nutzbar gemacht. Als Wärmequellen für Wärmepumpen kommen sowohl der Untergrund, Wasserkörper als auch die Umgebungsluft in Frage. Die oberflächennahe Geothermie wird vor allem zur Beheizung und zur Kühlung von Gebäuden verwendet.

## Anwendungsmöglichkeiten

Wie gezeigt wurde, können erneuerbare Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Daneben bestehen ebenso Anwendungsfelder im Mobilitätsbereich. Während im Stromsektor Wind und Sonne je nach Wetterlage eine variable Energieproduktion mit sich bringen, sind Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie nahezu konstant verfügbar bzw. speicher- und regelbar, wobei die Wasserkraft stark abhängig von den Niederschlagsmengen ist und hier Schwankungen entstehen können. Im Zusammenspiel aller Technologien wird so eine dauerhaft verlässliche und nachfragegerechte Energieversorgung möglich.

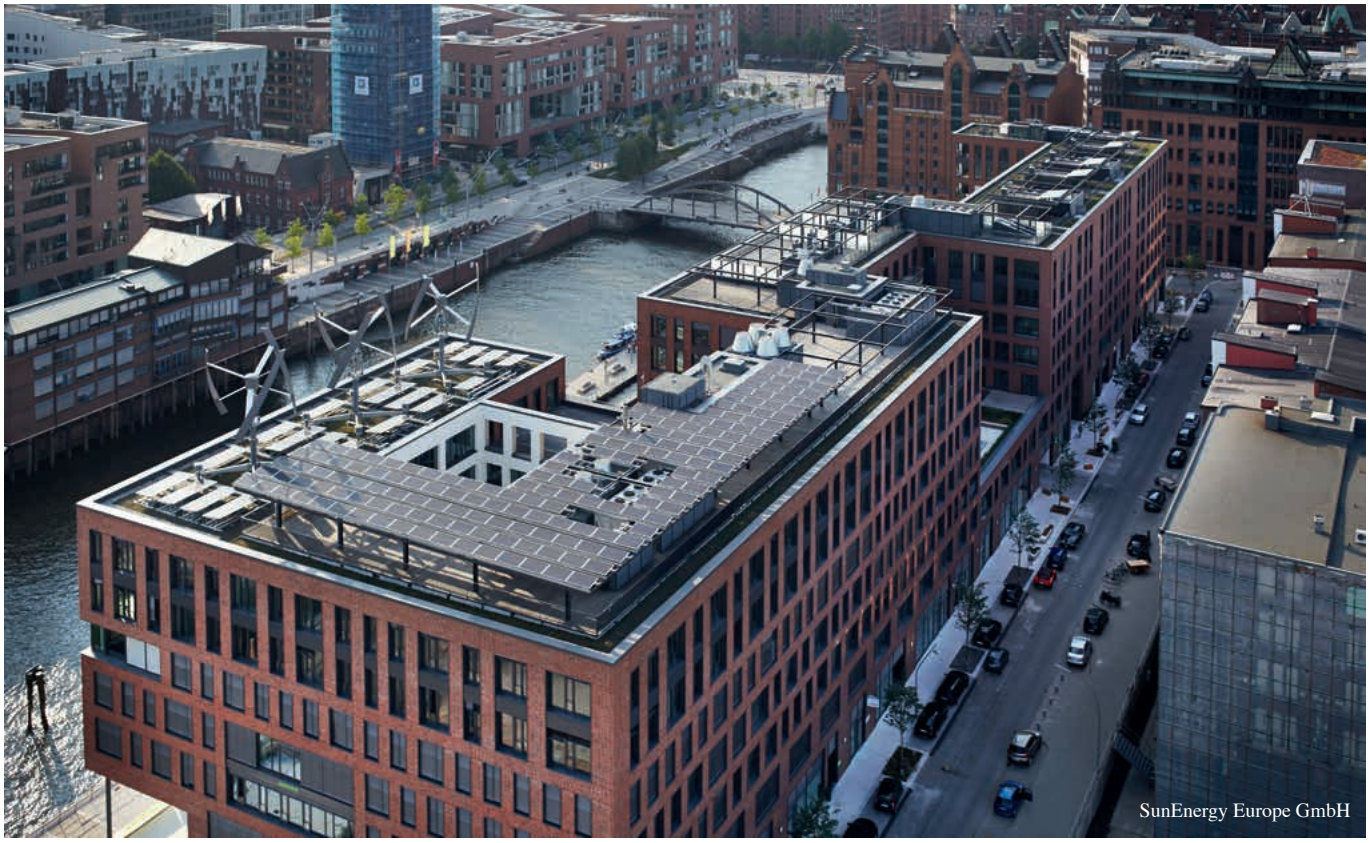
Aufgrund des enormen Leistungsbereichs von wenigen Watt bis zu Hunderten von Megawatt können erneuerbare Energien zudem an jegliche Art von Energieversorgung angepasst werden. In enger Verzahnung mit modernen Energietechniken können sie einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit, auch in einer modernen Industriegesellschaft, leisten.

Nicht in jedem Land ist jede erneuerbare Energiequelle derzeit auf wirtschaftliche Weise nutzbar. Die besten Potenziale für die Nutzung der Solarenergie befinden sich z.B. im sogenannten Sonnengürtel der Erde. Das technische Potenzial für die Wind-

energie ist wiederum von der mittleren Windgeschwindigkeit abhängig. Diese ist über den Landmassen der Kontinente i.d.R. deutlich geringer als über den Ozeanen. In praktisch jedem Land sind allerdings attraktive Standorte für die Nutzung verschiedenster erneuerbarer Energien vorhanden.

Die Wahl der geeigneten Technologie(n) hängt von den Gegebenheiten vor Ort sowie den jeweiligen Anforderungen an die Art und den Umfang der Energiebereitstellung ab. Dazu zählen unter anderem:

| Gegebenheiten vor Ort | Nutzer-Anforderungen |
|---|---|
| Natürliche Potenziale<br>(z.B. solare Einstrahlung, Windgeschwindigkeit, Biomassevorkommen) | Energieform(en):<br>Strom, Wärme/Kühlung, Mobilität |
| Politisches Förderregime<br>(z.B. Nutzung von staatlichen Investitionszuschüssen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Projekten) | Spitzenbedarf |
| Infrastruktur<br>(z.B. Netzanbindung) | Leistung/Jahresleistung |
| Finanzielle Mittel für die Anfangsinvestition<br>(Eigen- oder Fremdkapital) | Fluktuation des Energiebedarfs im Tages-/Jahresverlauf |


SunEnergy Europe GmbH

# Erneuerbare Energien im Energiesystem

Der Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung in den Bereichen Strom und Wärme verringert den Ausstoß des Klimagases $CO_2$ wie auch die Abhängigkeit der Energieerzeugung von Rohstoffimporten. Für die Integration hoher Anteile fluktuierender Strommengen aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen sind deutliche Veränderungen entlang der Wertschöpfungskette für die Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und den Verbrauch von Strom notwendig.

Handlungsfelder, in denen eine Vielzahl innovativer Stromspeicher- und Netztechniken in Deutschland zum Einsatz kommen bzw. erprobt werden sind:

- **Modernisierung der Transport- und Verteilnetze**, um dezentral erzeugten Strom in der Fläche aufzunehmen und von den Erzeugungsschwerpunkten in die Lastzentren zu transportieren;
- **Netzverträgliches und netzdienliches Verhalten dezentraler Energieanlagen für die Gewährleistung** eines stabilen und sicheren Netzbetriebs;
- **Entwicklung, Einsatz und Optimierung von Speichersystemen,** um Schwankungen der residualen Last auszugleichen, Regelenergie und weitere Systemdienstleistungen bereitzustellen, Blackouts zu vermeiden, gesicherte Leistung vorzuhalten sowie die längerfristig zu erwartenden zeitweise deutlichen Überschüsse aus erneuerbaren Energien aufzunehmen und längere Flauten auszugleichen.

EnviTec Biogas AG

Im Bereich der Übertragungsnetze besteht in Europa das Ziel, Übertragungskapazitäten deutlich zu verstärken und entfernte Gebiete miteinander zu vernetzen. Hierdurch sollen Potenziale für erneuerbare Energien sowie Speicherkapazitäten weiträumig erschlossen werden. Neben dem Netzausbau durch neue Leitungen bzw. neue Leitungstechnologien, besteht im Übertragungsnetz die Möglichkeit, die Auslastung mittels Blindleistungsmanagement besser auf die vorhandenen Übertragungskapazitäten zu verteilen. Dies geschieht im Übertragungsnetz durch moderne Leistungselektronik wie beispielsweise Flexible AC Transmission Systems (FACTS).

Auf **Verteilnetzebene** kann durch den Einsatz von regelbaren Ortsnetz-Transformatorstationen, Spannungsreglern und einer gezielten Weitbereichsregelung der Blindleistungseinspeisung von dezentralen Energieanlagen der Netzausbaubedarf bei hoher installierter Erzeugungsleistung (bspw. aus PV-Anlagen) reduziert werden.

Mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung erhöht sich auch die Bedeutung von Flexibilitäten, die durch Speicherkapazitäten und Lastmanagement bereitgestellt werden können. Wichtige Aufgaben von Speichern sind der zeitliche Ausgleich von Erzeugungs- und Nachfrageschwankungen, die Bereitstellung von Systemdienstleistungen als Ersatz für die immer weniger häufig zum Einsatz kommenden konventionellen Kraftwerke sowie perspektivisch die Aufnahme von Erzeugungsüberschüssen aus erneuerbaren Energien und die Überbrückung von Flauten der regenerativen Erzeugung. Es können verschiedene Speichertechnologien unterschieden werden (siehe Abbildung links).

## Möglichkeiten zur Speicherung elektrischer Energie

**Pumpspeicherwerke** sind derzeit mit einem Wirkungsgrad von bis zu 80 Prozent die einzig großtechnisch verfügbare und auf absehbare Zeit wirtschaftlichste Stromspeicheroption für den Stunden- und Tagesausgleich (siehe dazu auch das Kapitel Wasserkraft).

**Druckluftspeicherwerke** nutzen überschüssige Energie, beispielsweise aus volatilen, erneuerbaren Energiequellen, zur Verdichtung von Luft, welche in unterirdischen Hohlräumen gespeichert wird. Bei Strombedarf wird mit der Druckluft in einer Gasturbine Strom produziert.

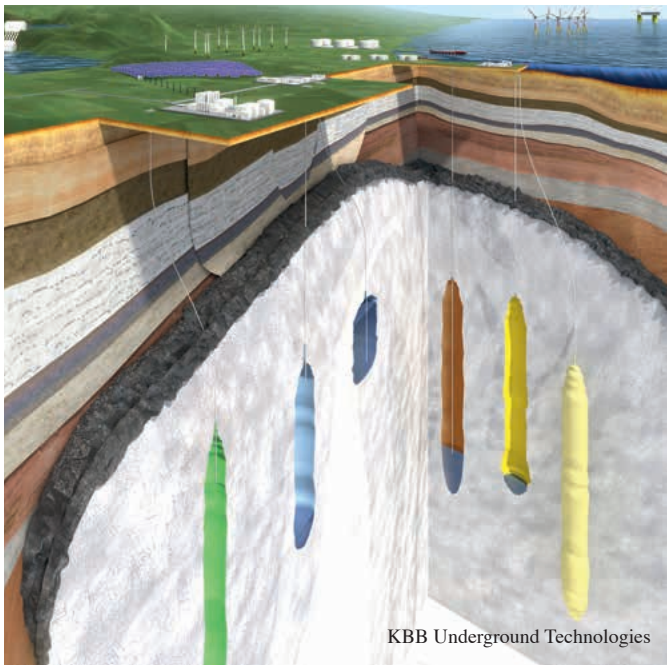
Bereits seit einigen Jahrzehnten nutzt man konventionelle Batteriesysteme für die Energieversorgung. Mit dem wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien haben sich zwei neue Anwendungsfelder für **elektrochemische Speicher** erschlossen: sogenannte „Hausspeicher“, die den selbst erzeugten Sonnenstrom bevorraten und bei Bedarf die eigene Versorgung absichern. Immer mehr an Bedeutung gewinnen Großbatterien im Multi-Megawatt-Bereich. Sie stellen Systemdienstleistungen wie etwa Frequenz- und Spannungshaltung oder Schwarzstartfähigkeit innerhalb weniger Millisekunden bereit und sichern so Netzstabilität und Versorgungssicherheit.

Die Idee von **Power to Gas** ist, erneuerbaren Strom in Wasserstoff bzw. Methan umzuwandeln. Das Gas kann in der Gasinfrastruktur transportiert, gespeichert und anschließend in den verschiedenen Anwendungsbereichen (Mobilität, Industrie, Wärmeversorgung und Stromerzeugung) genutzt werden. Power to Gas ist somit eine systemübergreifende Lösung zur Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem. Darüber hinaus kann Power to Gas als Stromspeicher dazu beitragen, Schwankungen in der Stromerzeugung auszugleichen.

Über **Lastmanagement** können daneben Erzeugungsschwankungen ausgeglichen werden. Im industriellen Bereich können mit Hilfe vorhandener Mess- und Steuerungstechnik in Verbindung mit Prozess- und Automatisierungstechnik verschiebbare Lasten mit vergleichsweise geringem Aufwand nutzbar gemacht werden, um auf die Angebotssituation im Strommarkt zu reagieren. In privaten Haushalten kann dies durch den Einsatz intelligenter Zähler (Smart Meter) in Verbindung mit Gebäudeautomatisierungstechnik und steuerbaren Geräten erreicht werden.

In Deutschland werden aktuell in verschiedensten Forschungs- und Modellprojekten die Einsatzmöglichkeiten moderner Informations- und Kommunikationstechnologie für eine intelligente Steuerung der Stromnetze erprobt. In diesem dynamischen Umfeld werden deutsche Unternehmen auch weiterhin Innovationstreiber in der Speicher- und Netztechnik sein und kosteneffiziente Lösungen für eine regenerative Energieversorgung entwickeln.

### Kavernen zur Gasspeicherung

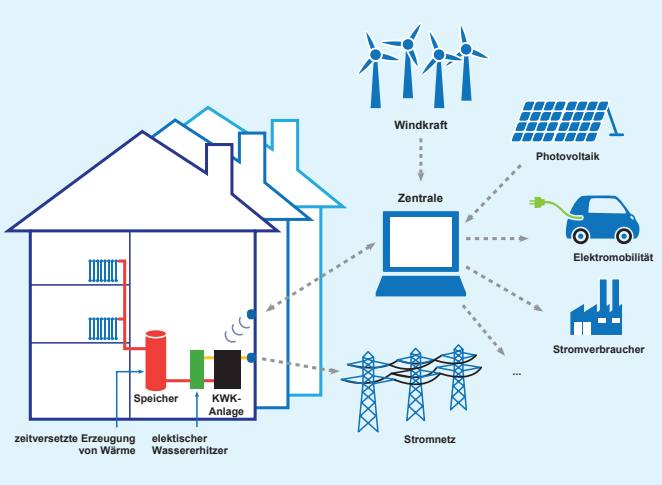


KBB Underground Technologies

### Netzintegration über virtuelle Kraftwerke

Ein virtuelles Kraftwerk ist ein Zusammenschluss von dezentralen Stromerzeugern der erneuerbaren Energien – etwa von Biogas-, KWK-, Windkraft-, Solar- und Wasserkraftanlagen – zum Zwecke der gemeinsamen Stromvermarktung und zur Übernahme von Netzverantwortung, zum Beispiel zur Bereitstellung von Regelenergie. Über eine zentrale Leitwarte werden alle im virtuellen Kraftwerk vernetzten und regelbaren Anlagen angesprochen.

### Virtuelles Kraftwerk




## Möglichkeiten zur Speicherung von Wärme

**Sensible Wärmespeicher** sind ein weit verbreiteter Speichertyp. Bei diesen Wärmespeichern erfolgt die Energieaufnahme und -abgabe durch Temperaturänderung des Speichermediums. Sie können weiter in Wärmespeicher mit festen Speichermedien (z. B. Beton, Erdreich) und flüssigen Speichermedien (z. B. Wasser) unterteilt werden.

Bei **Latentwärmespeichern** findet eine Phasenumwandlung des Speichermediums statt. Aus volumen- und drucktechnischen Gründen wird meist die Umwandlung zwischen fest und flüssig angewandt, wobei prinzipiell auch die Umwandlung flüssig-gasförmig möglich ist. Vorteilhaft bei dieser Speichertechnik ist das praktisch konstante Temperaturniveau bei Ladung, Speicherung und Entladung.

**Thermochemische Speicher** dienen der Speicherung von thermischer Energie mittels reversibler chemischer Prozesse. Dies bietet den Vorteil, dass die Speicher eine viel höhere Energiedichte gegenüber sensiblen und latenten Wärmespeichern erlauben und auch bei langer Speicherdauer keine thermischen Verluste auftreten.

# Erneuerbare-Energien-Technologien – Lösungen für eine nachhaltige Zukunft

**Vorteile: Über das Ziel einer verlässlichen und effizienten Energieversorgung hinaus unterstützt der Einsatz erneuerbarer Energien eine Vielzahl an Ansprüchen**

| | |
|---|---|
| **Lokale Verfügbarkeit** | ▪ Heimische Ressourcen, die überall auf der Welt in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden sind. |
| **Nachhaltige Energiebereitstellung** | ▪ Nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich (solare Einstrahlung, Windenergie, Wasserkraft, Geothermie) bzw. regenerieren sich (Bioenergie) und sind speicherbar. |
| **Sicherheit** | ▪ Relativ gefahrenfreie Herstellung, Betrieb und Entsorgung bzw. Rückführung in den Wertstoffkreislauf über ein Recycling. |
| **Preisstabilität** | ▪ Förderung der Unabhängigkeit von den volatilen Märkten für fossile Energien, langfristig stabile Energiekosten. |
| **Wirtschaftlichkeit** | ▪ Wirtschaftliche Nutzung ohne Förderung schon heute je nach Standort möglich, wenn die Anfangsinvestitionen durch die relativ niedrigen Folgekosten kompensiert (Lebenszyklusanalyse) werden können.<br>▪ In entlegenen Gebieten oft die preisgünstigste Möglichkeit der Energiebereitstellung. |
| **Umweltschutz** | ▪ Schonung der natürlichen Ressourcen durch Einsparung fossiler Rohstoffe, wenig invasive Eingriffe in die natürliche Landschaft (umweltverträglicher Flächenverbrauch) und wenige anthropogene Emissionen in die Umgebungsluft (Versauerung und Eutrophierung). |
| **Klimaschutz** | ▪ Weitgehend emissionsfrei, somit Unterstützung internationaler Klimaschutzziele. |
| **Schutz der menschlichen Gesundheit** | ▪ Schonung der menschlichen Gesundheit durch geringe schädliche Emissionen (Lärm sowie Schadstoffe in Luft, Wasser und Böden). |
| **Lokale Wertschöpfung** | ▪ Schaffung von Arbeitsplätzen in nachhaltigen Wachstumsbranchen.<br>▪ Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung ländlicher Regionen über eine dezentrale Erzeugung und Vertrieb.<br>▪ Unterstützung einer positiven Wirtschaftsentwicklung durch technische Innovationen. |
| **Unabhängigkeit vom Netzanschluss** | ▪ Dauerhaft verlässliche Energieversorgung fernab vom öffentlichen Stromnetz (in Kombination mit Energiespeichern). |

## Kosten der Energieversorgung

Die derzeitigen Marktpreise für fossile Energieträger und für Kernenergie stellen nur einen Bruchteil der tatsächlichen Kosten dar, welche die Gesellschaft zu tragen hat. Wenn die externen Kosten für Umweltschäden und politische Konflikte berechnet würden, wären erneuerbare Energien wettbewerbsfähig oder, in vielen Fällen, sogar günstiger als konventionelle Energien. Die durch die Nutzung fossiler Treibstoffe verursachten wirtschaftlichen Schäden, besonders die Schäden aufgrund des Klimawandels und der Luftverschmutzung, werden zu einem zunehmend wichtigen ökonomischen Faktor, der immer größeren Einfluss auf wirtschaftspolitische Entscheidungen nimmt. So beeinflussen die Kosten der $CO_2$-Emissionen aufgrund des im Zusammenhang mit dem Kyoto-Protokoll eingeführten Emissionshandels den Investitionsfluss schon heute, zum Beispiel beim Bau von neuen Kraftwerken. Doch auch neue Risikomaßstäbe für Unternehmen, bezogen auf den Klimawandel, spielen eine Rolle. Hinzu kommt, dass Schadstoffe, die durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen entstehen, die Hauptursache für Smog und sauren Regen sind. Nach einer von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebenen Studie betragen die wirtschaftlichen Kosten und Folgekosten für die Bevölkerung in Deutschland durch die Verwendung von Öl und Kohle zur Stromerzeugung zwischen 0,05 und 0,08 Euro/kWh beziehungsweise 0,03 und 0,06 Euro/kWh. Erneuerbare Energien bieten die Möglichkeit, den weltweiten Energiebedarf auf klimafreundliche und nachhaltige Weise zu decken.

**Soziale Kosten der fossilen Energieerzeugung**

# Erneuerbare-Energien-Technologien – Treiber der Energiesicherheit

juwi

## Die Herausforderung: Die Nachfrage steigt, die Reserven nehmen ab

Die weltweite Nachfrage nach fossilen Brennstoffen steigt derzeit enorm an. Dies ist besonders auf das starke Wirtschaftswachstum in Teilen Asiens zurückzuführen. Währenddessen nehmen die Reserven ab, und die verbleibenden Vorkommen bleiben auf einige Regionen beschränkt. Die Folge sind politische Konflikte und eine wachsende Zahl militärischer Konfrontationen, was ein hohes ökonomisches Risiko für alle Völker und ihre Entwicklung bedeutet, da sie von diesen immer teurer werdenden Rohstoffen in hohem Maße abhängig sind.

## Knappe fossile und nukleare Ressourcen

Obwohl in der Wissenschaft viel darüber diskutiert wird und es schwierig abzusehen ist, wann genau der Höhepunkt der Welterdölproduktion überschritten sein wird, besteht kein Zweifel daran, dass dies in der nahen Zukunft geschieht. Gemäß den ökonomischen Grundprinzipien, in Verbindung mit der steigenden Nachfrage, besonders in aufstrebenden Ländern wie China, Indien oder Brasilien, wird Öl sich wesentlich und beständig verteuern. Finanzielle Spekulationen, militärische Konflikte, wie zum Beispiel im Nahen Osten und Naturkatastrophen, wie etwa jene, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehen, werden die Unbeständigkeit des Ölpreises weiter verschlimmern.

Die fossilen Brennstoffe werden nicht nur knapper, die noch vorhandenen Reserven bleiben auch auf einige Regionen beschränkt. So befinden sich 74 Prozent der weltweiten Ölvorkommen und 71 Prozent aller Gasreserven im Mittleren Osten und in der Region um das Kaspische Meer.

## Steigende Importabhängigkeit

Auf Grund der regionalen Verteilung von Ressourcen, sind zahlreiche Staaten auf den Import von Energieträgern angewiesen. Zum Beispiel Deutschland war zu über 60 Prozent in 2013 von Energieimporten abhängig. Für die Europäische Union (EU-28) liegt der Wert bei 53 Prozent. Die Energieabhängigkeit variiert stark zwischen Ländern der EU und auch weltweit. Dies geht mit hohen Kapitaltransfers, hoher Abhängigkeit sowie mit politischen und regionalen Unsicherheiten einher. Der wichtigste Lieferant von Rohöl und Erdgas für die Europäische Union sind Russland (37 Prozent der Rohölimporte und 38 Prozent der Erdgasimporte) und Norwegen (mit 10 Prozent bzw. 35 Prozent).

**EU-28 Energieimportabhängigkeit in 2013**
**Anteil Nettoimporte am Primärenegieverbrauch, in %**

| EU-Mitgliedsstaat | Energie-Abhängigkeit* |
|---|---|
| EU-28 | 53 |
| Malta (EU-Max) | 104 |
| Italien | 77 |
| Spanien | 71 |
| Deutschland | 63 |
| Österreich | 62 |
| Frankreich | 48 |
| Großbrittanien | 46 |
| Bulgarien | 38 |
| Polen | 26 |
| Rumänien | 19 |
| Dänemark | 12 |
| Estland (EU-Min) | 12 |

*Importe geteilt durch Bruttoenenergieverbrauch. Der Bruttoverbrauch ist angegeben in Mio. Tonnen Öläquivalent. Quelle: Europe's Energy Portal

## Lokale Wertschöpfung erneuerbarer Energien

Energie aus Wind, Sonne, der Erde und Biomasse steht auf der ganzen Welt vor Ort zur Verfügung und kann einen entscheidenden Beitrag zur Energiesicherheit und der Vermeidung von Konflikten leisten. Zudem bieten Erneuerbare-Energien-Technologien 1,6 Milliarden Menschen ohne Zugang zu einer modernen Stromversorgung und den energiehungrigen Schwellenländern die Möglichkeit einer nachhaltigen und dezentralen Energieversorgung mit lokaler Wertschöpfung – ohne die Notwendigkeit teurer Stromnetze und die Abhängigkeit von Importen. Hier ist die Nutzung autarker Systeme (dezentrale Systeme zur Stromversorgung) besonders sinnvoll.

Um eine zuverlässige und erschwingliche Stromversorgung sicherzustellen, können hybride Systeme verschiedene Energiequellen in Kombination nutzen. Zum Beispiel arbeiten Energiequellen wie Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft und Verbrennungsmotoren sehr effizient im Verbund.

# Erneuerbare-Energien-Technologien – im Kontext der Energiewende in Deutschland

## Landesweiter Ausbau der erneuerbaren Energien: Wie geht Deutschland mit den Herausforderungen um?

Beim Thema „Energiewende“ – vor allem dem flächendeckenden Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Integration ins Energiesystem – blicken Wirtschaft, Politik und Verbraucher weltweit auf Deutschland. Mit ihrem energiepolitischen Kurs möchte die deutsche Bundesregierung das Land zu einer der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt umbauen. Gleichzeitig sollen die Energiepreise wettbewerbsfähig, das Wohlstandsniveau hoch und die Versorgungssicherheit gewährleistet bleiben. Dies stellt die fünftgrößte Industrienation der Welt vor große Herausforderungen. Weltweit können Länder von den Erfahrungen Deutschlands profitieren.

Deutscher Bundestag/Lichblick/Achim Melde

Aufgrund frühzeitiger politischer Förderung nehmen die erneuerbaren Energien in Deutschland heute mit 12,3 Prozent des Endenergieverbrauchs und 23,4 Prozent der Bruttostromerzeugung eine tragende Säule im gesamtwirtschaftlichen Energiesystem ein. Ein weiterer Ausbau wird seitens der deutschen Bundesregierung verfolgt. Allein im Strombereich soll der Anteil der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2025 auf 40–45 Prozent und bis zum Jahr 2035 auf 55–60 Prozent ausgebaut werden.

## Ausbau nach Plan: Wachstumspfad der erneuerbaren Energien bis 2013

Der Anstieg der Nutzung von erneuerbaren Energien in Deutschland beruht im Wesentlichen auf dem seit dem 1. April 2000 für den Strombereich geltenden Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Ziel des EEG ist es, den erneuerbaren Energien durch feste Vergütungen sowie durch die garantierte Abnahme und die vorrangige Einspeisung des Stroms den Markteintritt zu ermöglichen. Zum Jahresende 2013 speisten deutschlandweit über 1,5 Millionen EEG-geförderte Anlagen insgesamt über 150.000 GWh Strom in das deutsche Stromnetz ein.

Auch im Wärmesektor sind das deutsche Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) und das aufgestockte Marktanreizprogramm (MAP) die wesentlichen Ausgangspunkte für eine Verdopplung der Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energien bis auf 14 Prozent in 2020. Das EEWärmeG sieht im Neubaubereich für Bauherren vor, dass sie erneuerbare Energien für die Bereitstellung von Wärme anteilig einsetzen, bestimmte Ersatzmaßnahmen wie beispielsweise zusätzliche Dämmmaßnahmen durchführen oder Kraft-Wärme-Kopplung bzw. Fernwärme nutzen. Das MAP fördert Technologien im Wärmemarkt hauptsächlich für den Gebäudebestand – beispielsweise Solarthermie-Anlagen, Holzpellet-Heizungen und effiziente Wärmepumpen. Die Förderung auf Bundesebene wird durch zahlreiche Maßnahmen in verschiedenen Bundesländern und Kommunen noch ergänzt. Biokraftstoffe werden in Deutschland im Rahmen des Biokraftstoffquotengesetzes (BiokraftQuG) gefördert. Auf Grundlage des BiokraftQuG werden Beimischungen zu fossilen Kraftstoffen seit 2007 über die Biokraftstoffquote gefördert.

Das 2009 verabschiedete Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) soll den weiteren Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes beschleunigen, um die Übertragung auch hoher fluktuierender Anteile erneuerbarer Energien im Netz von den oft dezentralen Erzeugungsstandorten hin zu den stromintensiven Verbrauchszentren zu gewährleisten.

## Energiepolitische Herausforderungen ab 2014

Der massive Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Photovoltaik und Windenergie, stellt die Politik und Energiewirtschaft heute vor die Herausforderung, mit intelligenten Lösungen die oft jahreszeiten- oder wetterabhängig erzeugten erneuerbaren Energien in das Energiesystem zu integrieren, die Infrastruktur durch den Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze zu erweitern, die Koordination mit den europäischen Nachbarn zu verbessern und die Kosten der Energiewende gerecht zu verteilen.

Mit der EEG-Reform in 2014 sollen die anspruchsvollen Ausbauziele spezifischer gesteuert sowie die Kosten für den weiteren Ausbau gesenkt und besser verteilt werden. Über eine Pflicht zur Direktvermarktung sollen die erneuerbaren Energien stärker an den Markt herangeführt werden. Daneben ist es Ziel der Bundesregierung, dass die stromintensive Industrie in Deutschland weiterhin wettbewerbsfähig bleibt und nicht unter steigenden Strompreisen leidet. Wertschöpfung und Arbeits-

plätze sollen gesichert bleiben – eine Herausforderung, die die Bundesregierung im intensiven Austausch mit der Industrie zu bewältigen versucht. Bei der Umlage der Kosten der Energiewende sind die Belange einer Vielzahl an Stakeholdern zu berücksichtigen, z.B. Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber, Energiezulieferindustrie und Investoren sowie eine Vielzahl an Energieverbrauchern einschließlich der privaten Endverbraucher. So sind beispielsweise die energieintensiven Industrien mit rund 830.000 Beschäftigten Basis für Erfolg oder Misserfolg einer Vielzahl weiterer Branchen. Auch stellt die Erneuerbare-Energien-Branche mit mittlerweile rund 371.000 Beschäftigten selbst einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor dar. Über die sogenannte „Besondere Ausgleichsregelung“ im Erneuerbare-Energien-Gesetz schuf die Politik daher für stromintensive Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie Betreiber von Schienenbahnen die Möglichkeit, sich auf Antrag von der sogenannten EEG-Umlage befreien zu lassen.

## Langfristige Perspektiven

Mit der Energiewende hat sich Deutschland auf einen Weg begeben, der international Beachtung findet. Im Jahr 2050 soll Deutschland über ein Energiesystem verfügen, das klimafreundlich, sicher und wirtschaftlich ist. Das grundlegend neue, nachhaltige Energiesystem, das nahezu ohne $CO_2$-Emissionen auskommt, wird einen signifikanten Beitrag zum internationalen Klimaschutz leisten – und das ganz ohne die mit der Nutzung der Kernenergie verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt.

Darüber hinaus plant die Bundesregierung mit der Energiewende eine nachhaltige Stärkung der deutschen Volkswirtschaft. Dank des in Deutschland bewährten Einsatzes innovativer, effizienter Technologien, Maschinen und Produkte „made in Germany“ verfügt die heimische Industrie bereits heute über eine starke Wettbewerbsposition. Ein Gelingen der Energiewende wird diese Basis weiter stärken.

Solarpromotion GmbH

# Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Anlagen

Thorben Wengert/pixelio.de

Die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ist mit Anfangsinvestitionen verbunden, für die es verschiedene Finanzierungsformen gibt. Die Wahl des passenden Finanzierungsmixes hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem vom Anlagentyp, der Projekt- bzw. Anlagengröße sowie ggf. von den Förderbedingungen am Investitionsstandort. Typischerweise kommen Mischfinanzierungen aus Fremdkapital, Eigenkapital und öffentlichen Fördermitteln zum Einsatz.

Ein vorhersehbarer Cash Flow, aus dem die Verbindlichkeiten des jeweiligen Projekts bedient werden, kann beispielsweise aus staatlich garantierten Einspeisevergütungen oder den Erlösen einer gewonnenen Ausschreibung gesichert werden. Finanzielle Unterstützung kann ebenfalls über Investitionskostenzuschüsse durch Förderinstitutionen oder Kommunen, Steuererleichterungen oder die Vermarktung sogenannter Grünstromzertifikate erzielt werden. Wird am Standort keine öffentliche Förderung angeboten, können zur Refinanzierung des Kredits die finanziellen Einsparungen beim Energieeinkauf (Eigenverbrauch) bzw. die Erlöse aus der Direktvermarktung der erzeugten regenerativen Energie genutzt werden.

## Großprojekte

Großprojekte wie die Errichtung und der Betrieb eines Windparks werden häufig im Rahmen einer sogenannten Projektfinanzierung abgewickelt. Hierfür schließen sich verschiedene Akteure (Betreiberkonsortien, Hersteller, Zulieferer, etc.) zu einer Zweckgesellschaft zusammen und gründen eine eigene Firma, das sogenannte Special-Purpose-Vehicle (SPV). Die Akteure bringen einen Anteil an Eigenkapital in das SPV ein; im Anschluss an eine due diligence (Kredit- und Geschäftsüberprüfung) erfolgt eine Fremdkapitalbereitstellung über Banken.

Die Anteilseigner einer Erneuerbare-Energien-Projektgesellschaft erwarten eine gute Rendite von ihrer Investition. Mit diesem Ziel investieren z.B. Private-Equity-Gesellschaften wie Pensions- und Umweltfonds in Wind- und Solarparks weltweit. Projekte von strategischen Investoren werden zu einem großen Teil aus den Bilanzsummen der jeweiligen Akteure vorfinanziert. Energieversorger, Hersteller von Windturbinen und Photovoltaikmodulen, aber beispielsweise auch Lebensmittelketten, sind wichtige Akteure in diesem Segment. In Deutschland recht verbreitet sind auch sogenannte Bürgerparks, in denen sich private Investoren zusammenschließen, um ein Projekt umzusetzen.

### Kreditaufnahme

Bei der Finanzierung von Großprojekten im Erneuerbare-Energien-Sektor ist eine Kreditvergabe direkt an das spezifische Projekt und somit an die zu erwartende jährliche Rendite gekoppelt. Zahlreiche nationale und internationale Bankhäuser bieten Dienstleistungen in diesem Bereich an. Aufgrund der aufwendigen und kostspieligen Vorarbeit lohnt sich eine Projektfinanzierung vor allem für Projekte ab einem Investitionsvolumen von ca. zehn Millionen Euro.

### Exportfinanzierung

Im Rahmen einer sogenannten Exportfinanzierung gewähren Hausbanken dem Käufer einer Ware (Besteller) einen mehrjährigen Kredit, wobei der Exporteur unmittelbar nach ordnungsgemäßer Lieferung und Leistung seinen Kaufpreis aus dem Bestellerkredit ausgezahlt bekommt. Üblicherweise ist die Voraussetzung für die Kreditgewährung eine Deckung durch die deutsche staatliche Exportkreditversicherung Euler Hermes Deutschland AG (sogennante Hermesdeckung). Diese deckt rund 85 Prozent des wirtschaftlichen und 95 Prozent des politischen Risikos. Weitere Informationen zur Hermesdeckung finden Sie im Abschnitt „Vorteile beim Import deutscher Waren und Dienstleistungen“.

### Investitionsförderung

In Deutschland und weltweit spielt die staatliche KfW Bankengruppe eine zentrale Rolle bei der Bereitstellung von Kreditfazilitäten für Investitionen in Erneuerbare-Energien-Projekte. Im Jahr 2014 wurden im Rahmen der finanziellen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern 3,3 Mrd. Euro (64 % ihrer Mittel, also 4,7 Mrd. EUR, stellte sie für Klimaschutzfinanzierungen zur Verfügung) für erneuerbare Energien vergeben. Die KfW Entwicklungsbank zählt zu den weltweit größten Finanziers für erneuerbare Energien in Entwicklungsländern. Andere wichtige Geldgeber bei der Umsetzung von Projekten außerhalb der OECD sind beispielsweise die nationalen Entwicklungsagenturen, die Global Environment Facility (GEF), die Weltbank und die regionalen Entwicklungsbanken. Neben den herkömmlichen Finanzierungsinstrumenten stellen bi- und multilaterale Geber zudem Kredite in Form des sogenannten „onlending“ bereit. Bei

dieser Art wird ein Kredit einer internationalen Organisation an lokale Banken in den jeweiligen förderberechtigten Ländern vergeben. Die lokalen Banken können diese Kredite dann unter bestimmten Bedingungen weiterverleihen. Somit kann der Importeur Unterstützung zu oft guten Konditionen (z.B. längere Laufzeiten) erhalten.

**CDM-/JI-Finanzierung**
Die flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls stellen eine weitere Möglichkeit der Finanzierung von großen Erneuerbare-Energien-Projekten dar. Im Rahmen des CDM-Mechanismus finanzieren z.B. deutsche Unternehmen Projekte in Entwicklungs- und Schwellenländern. Das ausländische Zielland erhält Investitionen und meist auch durch den Technologietransfer eine bessere Ausgangsbasis. Im Austausch erhalten die deutschen Unternehmen Emissionsrechte, die sie zur Einhaltung ihrer Emissionsreduktionsverpflichtung im Europäischen Emissionshandelssystem nutzen können.

## Einzelne Anlagen, kleinere Projekte

Einzelne Anlagen oder kleinere Projekte werden oft einzelunternehmerisch realisiert. Die Finanzierung erfolgt über eine Mischung aus Eigen- und Fremdkapital oder ein Anlagen-Leasing. Einnahmen aus dem Vertrieb der erzeugten Energie (z.B. Strom- oder Wärmebereitstellung oder die durch effiziente Anlagen erzielten finanziellen Einsparungen (geringere Energiebereitstellungskosten) können zur Refinanzierung eines Kredits verwendet werden.

**Kreditaufnahme**
Lokale Banken bieten Möglichkeiten der Kreditaufnahme auch für Privatpersonen und Unternehmer. Die Konditionen können stark variieren. Erfahrungswerte der Banken im Bereich der erneuerbaren Energien spielen eine bedeutende Rolle hinsichtlich der korrekten Risikobewertung.

**Investitionsförderung**
Je nach Land bzw. Standort können ggf. öffentliche Fördermittel wie zinsvergünstigte Kredite, Investitionskostenzuschüsse oder Steuererleichterungen eine Investition erleichtern. Hier können ebenfalls Mittel bi- und multilateraler Geber über das oben vorgestellte „onlending“ zum Einsatz kommen (siehe „Großprojekte/ Investitionsförderung“).

**Leasing**
Eine Alternative zum Anlagenkauf ist das Leasing, welches eine Mischform zwischen Kauf und Miete von Investitionsgütern darstellt. Im Vergleich zum Kauf hat Leasing den Vorteil, dass das Leasing bilanzneutral erfolgt und das Eigenkapital eines Unternehmers schont – dadurch bleibt der Unternehmer liquide. Leasing bietet Planungssicherheit und Kostentransparenz. Einnahmen können über den Verkauf der erzeugten Energie generiert werden.

## Vorteile beim Import deutscher Waren und Dienstleistungen

Importeure deutscher Waren und Dienstleistungen aus dem Bereich der erneuerbaren Energien erfahren mittelbare Unterstützung in Form verschiedener Programme der deutschen Bundesregierung. Sie erachtet Exporte von Erneuerbaren-Energien-Technologien als besonders förderungswürdig, da mit diesen Geschäften auch die globale nachhaltige Entwicklung gefördert wird. In Form von staatlichen Exportgarantien und Investitionsgarantien stellt sie entsprechende Deckungen bereit. Diese können auch kombiniert beantragt werden.

**Exportkreditgarantien der Bundesregierung**
Mit der staatlichen Exportkreditversicherung – auch Hermesdeckung genannt – werden die mit Auslandsgeschäften verbundenen Risiken des Forderungsausfalls deutscher Unternehmen beim Export von Waren und Dienstleistungen abgesichert. Die Kreditlaufzeit bei Projekten im Bereich der erneuerbaren Energien beträgt in der Regel 18 Jahre. Einschließlich der örtlich entstehenden Kosten (z.B. Infrastrukturaufwendungen bei der Platzierung von Windkraftanlagen an entlegenen Standorten) sind Anteile bis zu 30 Prozent des Gesamtauftragswerts deckungsfähig. Mit der Option, die Rückzahlungen an das deutsche Unternehmen in der eigenen Landeswährung statt in der Euro-Währung zu tätigen, vermeiden Besteller das mit der Abwertung der eigenen Währung verbundene Risiko, die Forderungen des deutschen Importeurs nicht begleichen zu können.

**Investitionsgarantien**
Importeure deutscher Waren und Dienstleistungen profitieren zudem von der Rückenstärkung deutscher Unternehmen durch Investitionsgarantien der deutschen Bundesregierung. Mit diesem Instrument bietet die Bundesregierung deutschen Unternehmen, die Direktinvestitionen im Ausland tätigen, eine Absicherung gegen politische Risiken. Mit inbegriffen sind Beteiligungen, beteiligungsähnliche Darlehen, Kapitalausstattungen von Niederlassungen und andere vermögenswerte Rechte. Bei Erneuerbare-Energien-Projekten können auch Zusagen staatlicher oder staatlich kontrollierter Stellen wie beispielsweise die Errichtung von Infrastruktur oder die Zusicherung von Abnahmepreisen in die Investitionsgarantie eingeschlossen werden. Es sind Garantien von bis zu 20 Jahren möglich.

# Entwicklung der Windenergie

In vielen Teilen der Erde wurden traditionelle Windmühlen benutzt, um Korn zu mahlen oder Wasser aus dem Boden zu pumpen. Seit Jahrhunderten gehören sie zur Landschaft. Moderne Windkraftanlagen sind Kraftwerke, die Strom zum Teil zu wettbewerbsfähigen Preisen erzeugen. Wegen ihrer modernen Technologie und ihres sowohl ökonomischen als auch ökologischen Nutzens ist Windenergie die am schnellsten wachsende und, auf mittlere Sicht, die wichtigste Quelle für regenerativen Strom überhaupt. Die gesamten installierten Kapazitäten lagen Ende 2014 weltweit bei ca. 370 GW. Die größten Märkte liegen in China (114,7 GW), USA (65,8 GW) und Deutschland (40,4 GW).

SOWITEC group GmbH

### Funktionsprinzip

Bei der Entwicklung moderner Windturbinen vertrauten Ingenieure auf die Erfahrungen aus dem Flugzeugbau, um die Auftriebskraft des Windes nutzen zu können. Heutzutage kommt der dreiflügelige, waagerechte Rotor (dänisches Konzept) am häufigsten zum Einsatz. Er hat sich als mechanisch zuverlässig, optisch ansprechend und geräuscharm erwiesen und wurde entwickelt, um bei Windgeschwindigkeiten von 12 bis 16 m/s eine optimale Generatorleistung zu liefern – doch auch bei niedrigeren Geschwindigkeiten arbeitet er effektiv. Bei zu starkem Wind wird die Leistung reduziert, um zu gewährleisten, dass eine konstante Strommenge ins Netz eingespeist wird. Die Verbindung von Windkraftanlagen mithilfe moderner Steuer- und Regelungstechnik ermöglicht einen „weichen“, langsamen Übergang, um Fluktuationen im Stromnetz zu vermeiden.
Moderne Windenergieanlagen zur netzgekoppelten Stromerzeugung sind hochtechnisierte Anlagen, die im Wesentlichen aus 50 bis 150 m hohen Turmbauten, der Gondel mit den maschinellen Einrichtungen und dem Rotor mit horizontaler Achse und drei Rotorblättern bestehen.

### Die Vorteile der Windenergie

- Windenergie liefert sauberen und klimafreund-lichen Strom zu zum Teil wettbewerbsfähigen Preisen.
- Windkraftanlagen schaffen Arbeitsplätze und nützen wirtschaftlich schwachen Regionen. Gemeinden erzielen Einnahmen durch Steuern und Verpachtungen durch Landnutzung.
- Windkraftanlagen decken ein großes Anwendungsspektrum ab, von einigen kW bis hin zu mehreren MW.
- Netzunabhängige 10-kW-Turbinen versorgen landwirtschaftliche Betriebe und kleine Dörfer, während Offshore-Windparks mit einer installierten Leistung von mehreren Hundert Megawatt Strom ins Netz von Industrieregionen einspeisen.
- Windkraftanlagen bilden die ideale Basis für einen Energiemix mit anderen Erneuerbare-Energien-Anlagen, sei es für das öffentliche Stromnetz, für Hybridanlagen oder für ein Mininetz.

## Output von Windenergieanlagen

Die Stromerzeugung von Windenergieanlagen variiert abhängig von den herrschenden Windgeschwindigkeiten, der Höhe der Anlage und der Größe der Rotorblätter. Mit steigenden Windgeschwindigkeiten steigt die Stromerzeugung überproportional, so kann eine 10-Prozent-Steigerung der Windgeschwindigkeiten den Output um 1/3 erhöhen. In Deutschland erzeugt eine 1,5-MW-Anlage an Land durchschnittlich 2,5–5 Millionen kWh Strom im Jahr. Durch hohe Türme können die Rotoren stärkeren Windgeschwindigkeiten ausgesetzt werden, daneben steigt auch mit steigender Rotorfläche die Ausbeute von Windenergie und deren Umwandlung in Strom. Bei starkem Wind wird die Erzeugung angepasst, sodass ein konstantes Level an Strom eingespeist wird. Eine Abschaltung der Anlagen erfolgt bei drohenden Netzüberlastungen oder zu starkem Wind, der die Rotoren zu beschädigen droht.

## Windenergie „Made in Germany”

Deutschland nutzt seine Vorreiterrolle und Erfahrung, um moderne Ideen für Anwendungen und Lösungen zu bieten, die sich international bewährt haben. Deutsche Unternehmen gehören zu den führenden Anbietern im Windbereich. Das Angebot reicht von der Forschung und der Produktion unterschiedlichster Komponenten und Komplettsysteme über die Projektentwicklung bis hin zu Wartung und Betriebsführung von Windparks. Windkraft-Produkte und -Dienstleistungen „made in Germany“ genießen weltweit einen ausgezeichneten Ruf aufgrund ihrer Verlässlichkeit und ihres hohen technologischen Entwicklungsstands.

# Technologien zur Nutzung von Windenergie

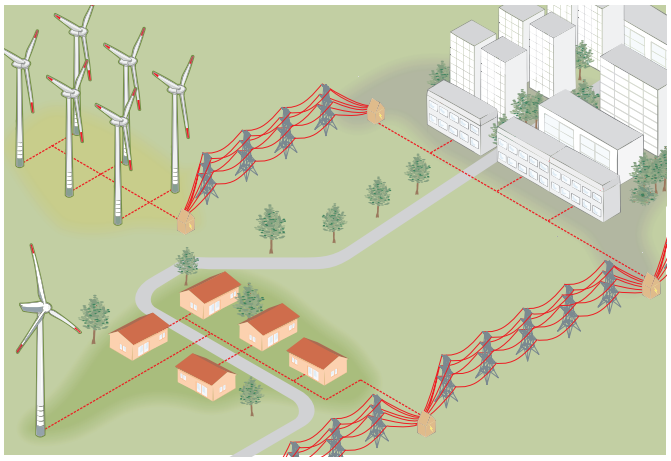
Allgemein wird in der Windenergiebranche zwischen den Bereichen Onshore, Offshore und Kleinwind unterschieden. Nachfolgend werden die gängisten Definitionen aufgeführt:

## Onshore-Windenergie

Onshore-Windenergieanlagen werden heutzutage oft an Küsten oder in Küstennähe errichtet. Um hohe Erträge zu erzielen, wurden Turbinen mit hohen Türmen und großen überstrichenen Rotorflächen entwickelt. Zudem eignen sich Standorte auf Berggipfeln oder Hochebenen besonders gut zur Gewinnung von Windenergie. Es gibt ein breites Spektrum von Windkraftanlagen für alle Arten von Anwendungen. Zur effizienten Umwandlung von Windenergie in Elektrizität wurden zwei Technologien weiterentwickelt:

- zum einen das klassische Antriebskonzept mit variabler Drehzahl, Getriebe und schnelllaufendem Generator und
- zum anderen die getriebelose Anlage.

### Anwendungsfelder



### Vorteile Onshore-Windenergie

- Es entstehen niedrigere Investitionskosten als im Fall von Offshore-Anlagen, die auf z.T. hoher See gegründet, verkabelt, installiert, betrieben und gewartet werden müssen.
- Außerdem geschieht die dezentrale Stromproduktion näher an Verbrauchszentren – ein Umstand, der weniger Aufwand für Netzausbau und -betrieb erfordert.

## Netzgekoppelte Windkraftanlagen

Windkraftanlagen werden entweder in Gruppen, in sogenannten Windparks, oder einzeln aufgestellt. Einzelne Einheiten speisen den Strom normalerweise direkt ins vorhandene Netz ein. Bei der Aufstellung von Windparks überwiegen vor allem die hohen Kosten für den Stromnetzanschluss (Leitungen zum Überlandnetz, Regeleinheiten und Transformatorstationen).

## Einzelanlagen – netzfern

Einzelanlagen werden hauptsächlich in Gebieten genutzt, in denen das Stromnetz zu weit entfernt oder eine Anbindung zu kostspielig ist.

## Repowering

Beim Repowering werden Windenergieanlagen der sogenannten ersten Generationen durch moderne Turbinen ersetzt. Auf diese Weise können auch in klassischen Windmärkten wie Deutschland Kapazitäten ausgebaut werden, ohne dass neue Flächen beansprucht werden müssen. In neuen Windmärkten ist der Bedarf an Repowering derzeit zwar noch gering, jedoch besteht auch hier ein hohes Potenzial für die Zukunft. Gleichzeitig hat sich ein Markt für gebrauchte Turbinen entwickelt, die in individuellen Stand-Alone-Lösungen Anwendung finden.

## Kleinwind

Es gibt bis zum heutigen Tag keine eindeutige Definition für Kleinwindanlagen. Die gängigsten Definitionen umfassen:

- Nach IEC-NORM 61400-2:2006 haben Kleinwindanlagen eine maximale Rotorfläche von 200 m², was einer Nennleistung von etwa 50 kW entspricht, bei einer elektrischen Spannung unterhalb von 1.000 V AC oder 1.500 V DC.
- Kleinwindenergieanlagen (KWEA) werden gemäß des Bundesverbands Windenergie (BWE) unterschieden in:
  – Mikrowindanlagen (bis 5 kW Nennleistung),
  – Miniwindanlagen (von 5 kW bis 30 kW),
  – Mittelwindanlagen (von 30 bis 100 kW).
- Der Turm ist in der Regel nicht höher als 20 Meter, die durchschnittliche Leistung liegt zwischen 5 und 10 kW.

### Vorteile von Kleinwind in netzfernen Regionen

Neben der Eigenversorgung mit Strom können Kleinwindanlagen Diesel einsparen, der für die Stromerzeugung alternativ in Generatoren genutzt wird. Insbesondere in Kombination mit anderen Erneuerbare-Energien-Technologien wie der Photovoltaik sind die Anlagen gut geeignet für die elektrische Grundversorgung in netzfernen Regionen.

### Entwicklung

KWEA entwickeln sich mehr und mehr zu einer Alternative für die selbstständige und autarke Stromproduktion. Insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern mit einer geringen Elektrifizierungsrate werden hier große Potenziale gesehen. So können KWEA als Stand-Alone-Systeme Strom liefern oder gut in bestehende Inselnetze bzw. Hybridsysteme integriert werden.

## Offshore: Gigantische Dimensionen

- Die Nabenhöhe einer 5-MW-Offshore-Windenergieanlage liegt derzeit bei etwa 90 Metern über dem Meeresspiegel,
- der Rotordurchmesser beträgt ca. 125 Meter, die Rotorblätter überstreichen eine Fläche von etwa 1,5 Fußballfeldern,
- die Gondel ist so groß wie ein Einfamilienhaus und bis zu 400 Tonnen schwer, eine Offshore-Windenergieanlage mit einem Gesamtgewicht von bis zu 1.000 Tonnen wiegt so viel wie 250 Elefanten.

### Vorteile Offshore

- Offshore-Windparks schaffen neue Möglichkeiten für weitere Arbeitsplätze, insbesondere für spezialisierte Dienstleistungen z.B. mit Fokus auf die bestehenden Anforderungen auf hoher See. Wirtschaftlich schwache Küstenregionen können davon profitieren.
- Windparks mit mehreren hundert Megawatt installierter Kapazität liefern konstant Strom und können Kraftwerke ersetzen und Systemdienstleistungen wie z.B. Frequenzhaltung leisten.
- Geringe Nutzungskonkurrenz bezüglich der Wasserflächen, da wenig alternative Anwendungsmöglichkeiten existieren.

## Ausblick

Der Global Wind Energy Council (GWEC) schätzt, dass bis 2020 12 Prozent (2030 15–17,5 Prozent) des globalen Energiebedarfs durch die Windenergie abgedeckt werden könnten. Die Hälfte der weltweiten Gesamtinstallationen wird voraussichtlich in aufstrebenden Märkten wie Brasilien, China, Indien, Mexiko, Marokko, Südafrika oder der Türkei installiert werden. Zudem zeichnet sich ab, dass nationale und multilaterale Entwicklungsbanken zunehmend Investitionen im Bereich Windenergie in diese Schwellenländer lenken.

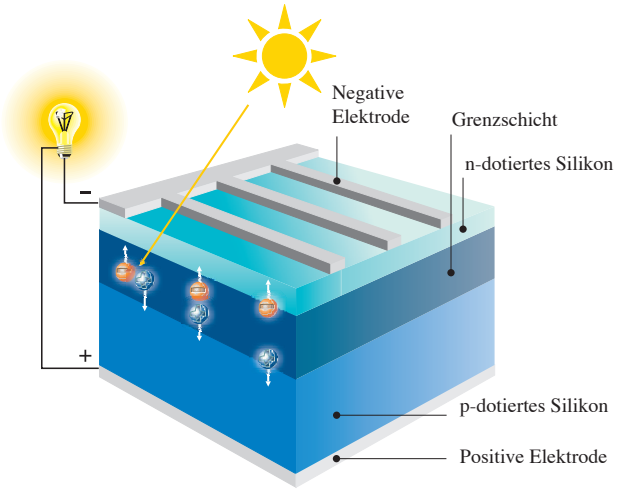
**Onshore:** Insbesondere auf dem Gebiet der Onshore-Windkraft ist es darüber hinaus wichtig, die Akzeptanz von Windparks innerhalb der Bevölkerung zu verbessern. Hilfe leisten können hierbei Beteiligungsmodelle wie Bürgerwindparks. Diese kommen in einigen Ländern, wie z.B. in Deutschland und Dänemark, bereits zur Anwendung.

**Offshore:** Die Prognosen für den Offshore-Bereich sind positiv und sehen für die Jahre 2015 speziell in der EU ein starkes Wachstum vor. Grund dafür ist der EU-weit geplante Ausbau der Offshore-Projekte, welcher voraussichtlich eine neu installierte Leistung von 1,9 GW in 2014 bzw. von 12 GW in 2015 erreichen wird. Vor der deutschen Küste wurden bereits zahlreiche Fundamente aufgestellt, die auf ihren weiteren Ausbau im Rahmen der sich aktuell im Bau befindlichen Windparks warten. Die größten Wachstumspotenziale im Offshore-Bereich weisen in Europa neben Deutschland UK und Belgien auf, aber auch in den Niederlanden und Dänemark ist Bewegung in den Markt gekommen. Frankreich hat sich ein Ausbauziel von 6 GW gesetzt.

**Kleinwind:** KWEA entwickeln sich mehr und mehr zu einer Alternative für die selbstständige und autarke Stromproduktion. Insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern mit einer geringen Elektrifizierungsrate werden hier große Potenziale gesehen. So können KWEA als Stand-Alone-Systeme Strom liefern oder gut in bestehende Inselnetze bzw. Hybridsysteme integriert werden. Gemäß Forecast der World Wind Energy Association (WWEA) könnte die installierte Kapazität bis zum Jahr 2020 eine kumulierte installierte Kapazität von ca. 5 GW erreichen.

# Solarenergie: Photovoltaik

Die Sonnenenergie birgt ein enormes Potenzial, das durch verschiedene Technologien genutzt werden kann. Ein Beispiel hierfür stellt die Photovoltaik (PV) dar. Aufgrund der globalen Verfügbarkeit von Sonnenenergie gilt die PV als attraktive Lösung, Strom sowohl netzgekoppelt als auch netzfern zu erzeugen.

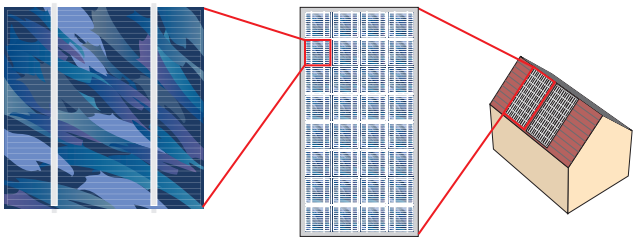



## Funktionsweise

- PV-Zellen bestehen aus einem oder mehreren Halbleitermaterialien und ermöglichen die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie.
- Durch Einbringen von chemischen Elementen entstehen zwei Schichten, eine p-leitende Schicht mit einem positiven und eine n-leitende Schicht mit einem negativen Ladungsträgerüberschuss. Durch dieses Ungleichgewicht bildet sich an der Grenzschicht ein inneres elektrisches Feld, das bei Lichteinfall eine Ladungstrennung hervorruft. Die dadurch freigesetzten Ladungsträger können über Metallkontakte abgeführt werden und als Gleichstrom (DC) direkt durch ein elektrisches Gerät verbraucht oder über einen zwischengeschalteten Wechselrichter als Wechselstrom (AC) ins Netz eingespeist werden.
- Für höhere Kapazitäten werden PV-Zellen zu Modulen zusammengeschaltet.
- Neben Silizium finden weitere Elemente wie z.B. Kupfer, Gallium oder Kadmium in der PV Anwendung. Allgemein unterscheidet man zwischen Dickschicht-Technologie (monokristalline und polykristalline Siliziumzellen) und Dünnschicht-Technologie (bspw. amorphes Silizium).

## Vorteile der photovoltaischen Stromerzeugung

- Geräuscharme, emissionsfreie Stromerzeugung.
- Großes Anwendungsspektrum, von Kleinstanwendungen, wie zum Beispiel solarbetriebenen Taschenrechnern, bis hin zur Stromerzeugung in Eigenheimen und großen Fabriken mit einer Leistung von mehreren Megawatt.
- Keine beweglichen Teile – die Anlagen erfreuen sich einer langen Einsatzdauer.
- Hohe Umweltverträglichkeit – die Verwendung und Entsorgung von Silizium birgt keine Gefahr für die Umwelt in sich.
- Die Herstellung von PV-Zellen erfolgt derzeit vor allem aus Silizium, dass das zweithäufigste Element auf der Erde ist und somit kostengünstig in der Gewinnung.



Solarzelle – Solarmodul – Solar-Generator

## Photovoltaik-Anlagen

Je nach Anwendung werden die Module als komplett installierte Anlagen mit Wechselrichtern, Ladereglern, Batterien und weiteren Geräten konfiguriert und verkabelt. Photovoltaik-Anlagen können als autarke oder als netzgekoppelte Anlagen konzipiert sein. In autarken Anlagen entspricht die Energieausbeute den Energieerfordernissen. Falls notwendig, wird die Energie in Akkumulatoren gespeichert oder durch eine zusätzliche Energiequelle (Hybridsystem) ergänzt. In netzgekoppelten Anlagen fungiert das öffentliche Stromnetz als Energiespeichermedium.

## Stromumwandlung

- Wechselrichter wandeln den erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom um, welcher dann in die Stromnetze eingespeist werden kann.
- Die Umwandlung erfolgt mithilfe eines Wechselrichters, der auch für den optimalen Betriebsmodus in Abhängigkeit der Sonnenstrahlung sorgt, und Überwachungs- bzw. Schutzvorrichtungen umfasst.
- Zusätzlich kommt dem Wechselrichter in der Netzintegration von Strom aus erneuerbaren Energien eine besondere Bedeutung zu. So wird der Wechselrichter stark in das intelligente Stromnetz integriert, um eine optimale Stromerzeugung und Last in den Netzen zu ermöglichen.

# Anwendungsbereiche

PV-Systeme können sowohl netzgekoppelt als auch im Off-grid-Bereich eingesetzt werden oder in Kombination mit weiteren Technologien als Hybridsysteme ganze Ortschaften mit Strom versorgen. Off-grid-Anlagen eignen sich hervorragend zur Stromversorgung von netzfernen Gebieten oder in Regionen, in denen die Versorgungssicherheit gering ist. Auch hier liegt der Vorteil in der beliebigen Skalierbarkeit des PV-Generators: Von einzelnen Watt, zur Versorgung von heimischen Elektrogeräten, bis hin zu mehreren hundert $kW_p$ oder sogar $MW_p$.

### Hausanwendungen

Typische Anlagenform ist die Aufdachanlage. Neue Anwendungsfelder finden sich in der gebäudeintegrierten Photovoltaik, so z. B. in der Integration von PV in Dach, Fassade oder Fenster. Soll eine Anlage zum Beispiel den jährlichen Eigenverbrauch einer vierköpfigen Familie in Deutschland decken, braucht ein Durchschnittshaushalt eine PV-Anlage mit einer Spitzenleistung von 3,5 bis 4 kW. Je nach eingesetzter PV-Technologie entspricht dies einer Solarfläche von etwa 35 bis 40 $m^2$ oder mehr. Eine Eigenverbrauchsoptimierung kann durch intelligente Systemtechnik erreicht werden. Mit einer **Netzanbindung** kann der Überschuss an Strom direkt an den Netzbetreiber vertrieben werden. Im Vergleich zu einer netzunabhängigen Installation sind die Anlagenkosten niedriger, da im Allgemeinen keine Energiespeicherung erforderlich ist, das verbessert zudem die Systemeffizienz. Daneben kann die Stromerzeugung mit PV und Speicherlösungen auch **netzfern** erfolgen. Mobile Ladestationen oder Lampensysteme sind weitere Anwendungsbereiche für den Privatgebrauch.

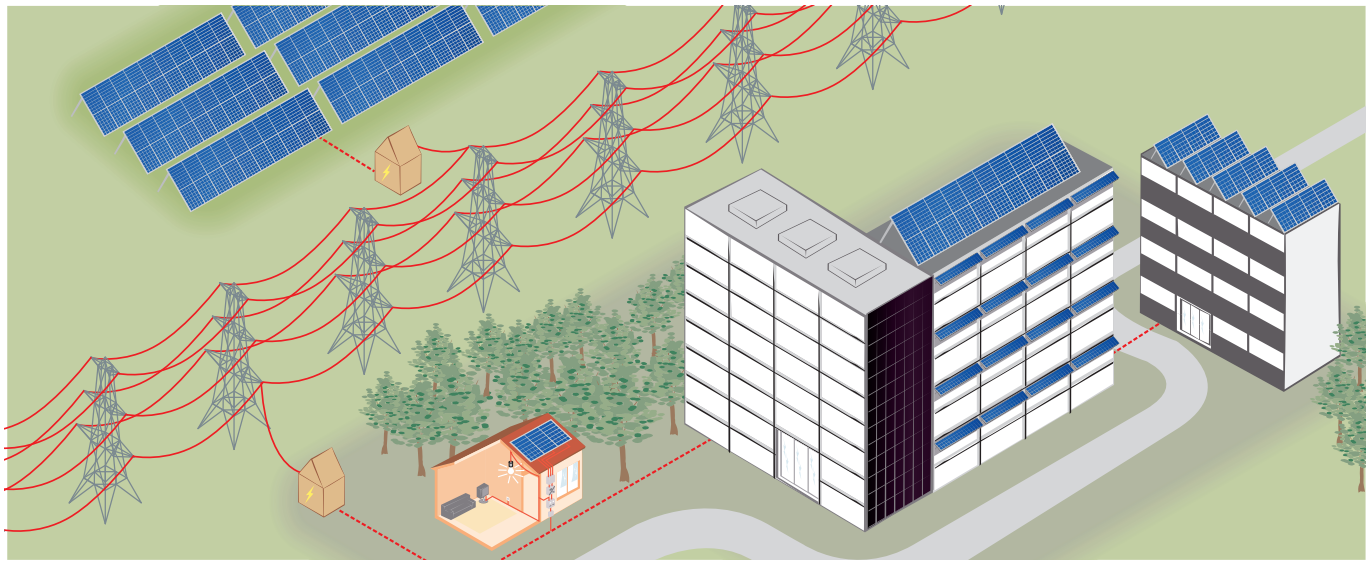
### Industrie und Gewerbe

Zum Einsatz kommen zumeist die auch im privaten Bereich eingesetzten Aufdachanlagen, die die Möglichkeit bieten, Dächer von Industriehallen und Gebäudekomplexen zur Stromerzeugung mit PV-Anlagen für die Versorgung von Produktionsstätten und Gewerbebetrieben zu nutzen. Diese kann **off-grid** oder **netzgebunden** erfolgen. Einen Spezialfall stellen Hybridsysteme dar. Diese kombinieren PV-Anlagen mit anderen Erneuerbare-Energien-Technologien und/oder mit Dieselgeneratoren. So können Dieselkosten gesenkt und die Verbrauchsstruktur diversifiziert werden.

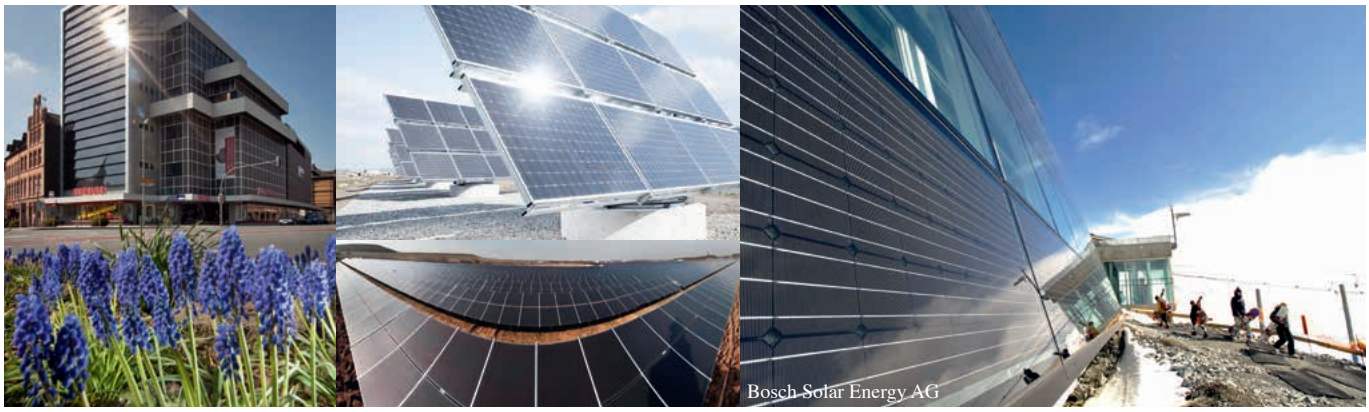
SMA Technologie AG

### Netzgebundene Großanlagen

In der Regel sind Großanlagen als Freiflächenanlagen oder als große Aufdachanlagen konzipiert. Solche Anlagen können Kommunen und Regionen elektrifizieren und Inselsysteme (Mini-Grids) mit Strom versorgen. In **Mini-grids** speisen zumeist mehrere PV-Anlagen in ein Inselnetz ein und versorgen so mehrere Häuser oder gar ganze Ortschaften mit Strom. Hier werden oft Hybridlösungen eingesetzt. Zur Optimierung der Stromerzeugung können die Module der Sonne nachgeführt werden.



# Zukunftstrends




## Entwicklung neuer Technologien

Deutsche Unternehmen sind in der Entwicklung und Erforschung von neuen PV-Technologien weltweit führend. Voraussetzung für eine positive Marktentwicklung in der Zukunft ist die weitere Kostensenkung, z.B. durch Steigerung des Wirkungsgrads und Senkung des Materialeinsatzes sowie die verstärkte Nutzung auf weiteren Anwendungsfeldern. Folgende PV-Technologien, dürften daher in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen:

### Konzentrator-Photovoltaik (CPV)

Durch das Verwenden von Spiegel- und Linsensystemen wird eine hohe Lichtintensität auf eine PV-Zelle konzentriert. Dadurch können Wirkungsgrade von aktuell bis zu 43,6 Prozent erzielt werden. Diese Technologie bietet ein hohes Potenzial zur Senkung der Produktionskosten und bedeutet somit für die Zukunft eine kostengünstige Energieversorgung.

### Organische Photovoltaik (OPV)

Organische PV-Zellen bestehen aus Kohlenwasserstoffverbindungen, welche ähnlich wie amorphes Silizium auf Substratmaterial aufgetragen werden. Der Vorteil solcher PV-Zellen ist, dass die Leistung im Gegensatz zu anorganischen PV-Zellen bei geringerer Einstrahlung und höheren Temperaturen nicht abnimmt. Somit ist ein höherer Solarstromertrag möglich und zudem bestehen durch Farbigkeit und Flexibilität des Materials mehr Anwendungsmöglichkeiten.

## Netzintegration

Mit dem kontinuierlichen Ausbau der Photovoltaik rückt die Netzintegration in den Fokus. Insbesondere in ländlichen Gebieten, werden größere Mengen an Solarstrom erzeugt und in das Stromnetz eingespeist. Jedoch wird im Gegenzug in den ländlichen Regionen vergleichsweise weniger Strom nachgefragt. Mit dem Ausbau der Photovoltaik geht der Ausbau und die Weiterentwicklung des Stromnetzes und der Speichermöglichkeiten von PV-Strom einher. Die deutsche Photovoltaik-Industrie entwickelt moderne Wechselrichter, welche die Kapazität der Stromnetze steigern können und damit die Kosten für einen Netzausbau geringer halten.

## Verantwortung der Hersteller und Recycling

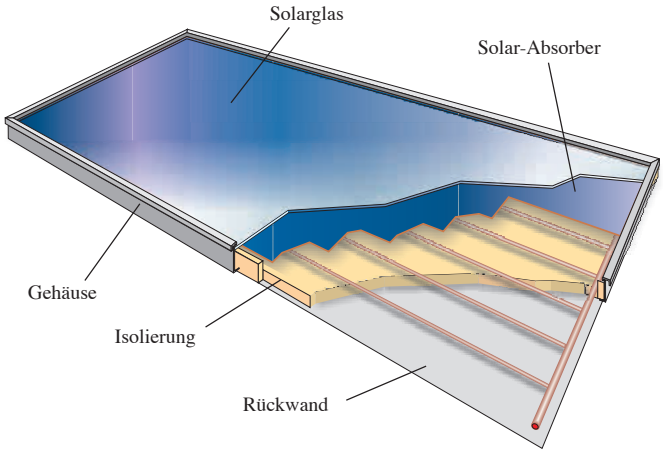
PV-Module enthalten Materialien wie Glas, Aluminium und zahlreiche Halbleiterprodukte, die in neuen Anlagen oder alternativ wiederverwendet werden können. Wenn im Zuge der Lebenserwartung in den kommenden 10 bis 15 Jahren Module vom Netz genommen werden, sind insbesondere Unternehmen in der Verantwortung, nachhaltige Lösungen für die Entsorgung anzubieten. Für Dünnschicht- und kristalline Module existieren bereits industrielle Recyclingprozesse. Unternehmen der europäischen Photovoltaik-Industrie haben das Recyclingsystem „PV CYCLE“ in 2007 entwickelt.

## Ausblick

Laut der European Photovoltaic Industry Association (EPIA) ist es zu erwarten, dass sich die größten Wachstumsmärkte von Europa in andere Regionen der Erde verlagern. Vor allem China und Indien verfügen über ein großes Potenzial für neue PV-Anlagen, daher wird dort für die kommenden Jahre ein starkes Wachstum des PV-Markts prognostiziert. Auch in Südost-Asien, Lateinamerika und in der MENA-Region wird ein Ausbau der PV-Anlagen erwartet.
In vielen Ländern der Welt gibt es kein oder ein nur unzureichendes Stromnetz. In den betreffenden Regionen wurden bislang Dieselgeneratoren zur Stromerzeugung eingesetzt. Zukünftig werden PV-Diesel-Hybrid-Anlagen hierzu eine umweltbewusste Alternative bieten. Schätzungen von Greenpeace zufolge, soll der globale Marktanteil an Off-grid-Systemen in Entwicklungsländern in den kommenden Jahren stark wachsen und somit bis 2030 die netzferne Stromversorgung von rund zwei Milliarden Menschen sicherstellen. Das erste kommerzielle PV-Diesel-Hybridsystem nahm Ende 2012 in Südafrika den Betrieb auf.

# Solarthermie – Technologien

Die Wärmeerzeugung mit Sonnenenergie ist eine seit Jahrzehnten erprobte Technologie. Solarthermie kann zur Brauchwassererwärmung, zur Raumheizung und auch zum Kühlen genutzt werden.




### Funktionsweise und unterschiedliche Typen von Solarkollektoren

**Unverglaste Absorber.** Bei dieser einfachsten Form von Solarkollektoren handelt es sich um schwarze Kunststoffmatten, die typischerweise zur Erwärmung von Wasser in Schwimmbädern und somit zu deren Betriebskostensenkung genutzt werden. Sie sind kostengünstiger als fossil gefeuerte Heizkessel und erreichen Temperaturen von 30–40 °C.
Fast 90 Prozent der in Deutschland eingesetzten Kollektoren sind **Flachkollektoren.** Der aus Metall bestehende Solarabsorber ist in einen Kasten eingebaut, der die Wärmeverluste durch Wärmedämmung und eine Glasscheibe reduziert. Flachkollektoren arbeiten üblicherweise im Temperaturbereich von 60–90 °C.
**Luftkollektoren.** Hier handelt es sich um eine besondere Bauart der Flachkollektoren. Luft wird erwärmt und meist direkt, ohne Zwischenspeicherung, zur Beheizung von Gebäuden eingesetzt. Die erwärmte Luft kann auch zur Trocknung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen genutzt werden. Der Einsatz von Luft-Wasser-Wärmetauschern ermöglicht auch die Erwärmung von Wasser, z.B. zur Trinkwassererwärmung.
**Vakuumröhrenkollektoren.** Noch höhere Temperaturen und Wirkungsgrade werden mit Vakuumröhrenkollektoren erreicht, bei denen die Wärmeverluste durch einen hohen Unterdruck in den Glasröhren stärker reduziert werden. Mehrere Vakuumröhren bilden einen Kollektor. Durch die drehbare Lagerung der einzelnen Röhren kann das im Glaskolben befindliche flache Absorberblech optimal zur Sonne gedreht werden. Aus diesem Grunde sind Vakuumröhrenkollektoren auch fast horizontal auf Flachdächern einsetzbar. Die einzelne Röhre bildet ein in sich geschlossenes System, welches die Wärme über einen frostsicheren Wärmekreislauf an das zu erwärmende Wasser überträgt.

### Vorteile

- Reduzierung des Verbrauchs fossiler Energieträger, beträchtliche Einsparungen bei Heizungsrechnungen und bessere Heizkostenplanung
- Weniger Abhängigkeit von Energieimporten
- Beitrag zu Senkung der $CO_2$-Emissionen
- Bewährte und verlässliche Technologie

## Solarthermiesysteme

### Pumpengetriebene Zirkulationsanlage

- Die gewonnene Wärmeenergie wird über ein Wärmeüber-tragungsmedium an den Energiespeicher geleitet.
- Die Zirkulation des Übertragungsmediums erfolgt durch eine Pumpe. Daher kann der Energiespeicher im Keller untergebracht werden, was die Integration der Solaranlage und des konventionellen Wärmeerzeugers erleichtert.
- Die Steuereinheit überwacht und regelt die Anlage, sodass immer genug Wärmeenergie zur Verfügung steht.

KBB Kollektorbau GmbH

### Thermosyphonanlage (Konvektion)

- Die Anlagen werden idealerweise in frostfreien Bereichen installiert und die Konstruktion ist anspruchslos und funktioniert ohne elektrische Energie für Pumpen und Regler.
- Erhitzte Flüssigkeiten weisen eine geringere Dichte als kalte Flüssigkeiten auf, und die Schwerkraft ermöglicht dem Wärmeträgermedium, zwischen dem Kollektor und dem darüber befindlichen Speicher zu zirkulieren.

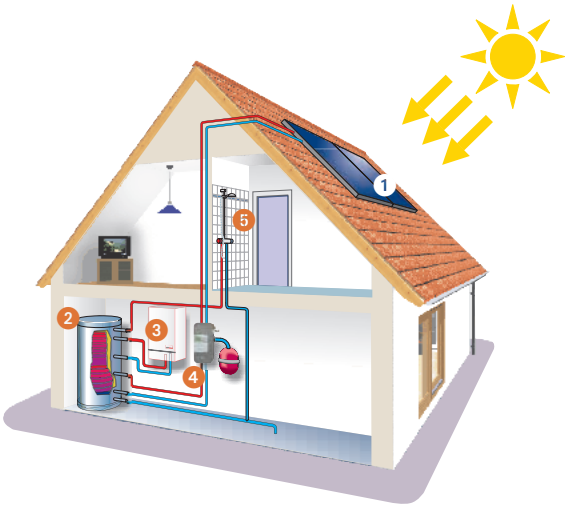
## Ausblick

Die Solarwärmetechnik wurde lange Zeit in ihrer Bedeutung unterschätzt. Bei steigenden Energiepreisen und der Entwicklung innovativer Solarheizungen ist künftig ein verstärkter Ausbau zu erwarten. Der Einsatz von Solarwärme in Mehrfamilienhäusern, in Krankenhäusern, Wohnheimen, Hotels und im industriellen Bereich wird zunehmend relevanter.

# Anwendungsfelder solare Wärme

## Warmwassererzeugung für Einfamilienhäuser (EFH)

Hier kommt die Solarthermie weltweit am häufigsten zum Einsatz. In Europa werden diese Anlagen dafür entwickelt, im Sommer 100 Prozent und über das Jahr gerechnet 50 bis 70 Prozent des Warmwasserbedarfs zu decken. Sie bestehen aus einer 3 bis 6 m² großen Kollektorfläche und einem Kessel mit 200 bis 400 Litern Fassungsvermögen zur Speicherung des erhitzten Wassers, das in einem 4-Personen-Haushalt benötigt wird.




Solarwärmeanlagen zur Trinkwassererwärmung im EFH:
1) Kollektor, 2) Solarspeicher, 3) Heizkessel, 4) Steuereinheit, 5) Warmwasserverbraucher (zum Beispiel Dusche)

## Anlagen zur Trinkwassererwärmung

Anlagen zur Trinkwassererwärmung werden typischerweise so geplant, dass sie im Sommerhalbjahr das Brauchwasser vollständig erhitzen. Im Winterhalbjahr erfolgt die Warmwasserbereitung hauptsächlich durch einen Wärmeerzeuger (Heizkessel, zumeist betrieben mit Gas, Öl, Holz oder Wärmepumpe), welcher an sonnigen Tagen von der Solarwärmeanlage unterstützt wird. Über das gesamte Jahr werden somit rund 60 Prozent des Wärmebedarfs zur Brauchwassererwärmung von der Solarwärmeanlage bereitgestellt. Die dafür erforderliche Kollektorfläche hängt dabei von den jeweiligen Wetterverhältnissen des Landes ab.

## Kombianlagen

Die Solarkollektorfläche der Kombianlagen ist größer. Diese Anlagen tragen im Frühjahr und im Herbst zusätzlich zur Beheizung des Gebäudes bei. Auch hier hängt die benötigte Kollektorfläche von den Wetterverhältnissen im Land und vom Bedarf des Verbrauchers ab. Typischerweise beträgt der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf des Gebäudes 20–30 Prozent; je nachdem, wie gut das Haus gedämmt und damit wie hoch der Heizwärmebedarf ist. Es gibt jedoch auch spezielle Solarhäuser, die über 50 Prozent und bis zu 100 Prozent des Gesamtwärmebedarfs mit Solarwärme decken.

## Bereitstellung und Speicherung

Um solare Wärme im größeren Maßstab nutzen zu können, müssen Nah- bzw. Fernwärmenetze aufgebaut und an entsprechend große Wärmespeicher angeschlossen werden. Gigantische Speichervolumina sind notwendig, wenn die Solarwärme über ein Fernwärmenetz genutzt wird, sodass ganze Wohnbezirke mit Wärme versorgt werden können und die im Sommer gespeicherte Wärme auch in der kälteren Jahreszeit zur Verfügung steht. Beispielsweise kann die Wärme in unterirdischen wasserführenden Schichten (Aquiferen) gespeichert werden.

## Bereitstellung von Prozesswärme für industrielle Anwendungen

Das Potenzial für solarthermische Systeme im Bereich der Prozesswärme ist enorm: Rund 30 Prozent des industriellen Wärmebedarfs liegt in einem Temperaturbereich unter 100 °C. Solarwärme kann dabei entweder auf Versorgungsebene (industrielles Heißwasser- oder Dampfnetz) oder auf Prozessebene eingespeist werden.

Die für hohe Temperaturen benötigte Systemtechnik ist heute noch relativ teuer; demgegenüber kann die Versorgung mit Prozesswärme im Temperaturbereich von 20–100 °C relativ schnell und vergleichsweise kostengünstig ausgebaut werden. Zukünftig sollen Temperaturen bis 250 °C erreichbar sein.

**Projektbeispiel:** In Eichstätt in Deutschland versorgt eine von etwa 100 Pilotanlagen weltweit eine Brauerei mit solarthermisch erwärmten Wasser. Um die Wirtschaftlichkeit der Prozesse der Brauerei zu erhöhen, wurden die Produktionsprozesse der Sonnenscheinintensität angepasst. Die Anlage operiert mit Vakuumröhrenkollektoren auf einer Kollektorfläche von 900 m² sowie mit zwei 60 m³ großen Solarspeichern.

## Ausblick

Die Solarwärmetechnik wurde lange Zeit in ihrer Bedeutung unterschätzt. Bei steigenden Energiepreisen und der Entwicklung innovativer Solarheizungen ist künftig ein verstärkter Ausbau zu erwarten. Der Einsatz von Solarwärme in Mehrfamilienhäusern, in Krankenhäusern, Wohnheimen, Hotels und im industriellen Bereich wird zunehmend relevanter.

# Anwendungsfelder solare Kühlung

Wagner & Co Solartechnik GmbH

## Solare Klimatisierung

Solarthermie kann einen wichtigen Beitrag zur Klimatisierung leisten. Die in einem Kollektor gewonnene Energie wird zum Betrieb einer Klimaanlage genutzt. Der Vorteil dieser Technologie ist, dass der Bedarf an Kühlung dann am größten ist, wenn die Sonne am stärksten scheint, wodurch weder Wärme noch Kälte über längere Zeit gespeichert werden müssen. Neben der unmittelbaren Einsparung fossiler Brennstoffe lassen sich so auch die Stromspitzenbelastungen im Sommer reduzieren. Der zunehmende Wunsch nach einem höheren Lebensstandard, verbunden mit dem Trend hin zu Gebäuden mit großen Glasfassaden, wird wahrscheinlich auch den Bedarf an umweltgerechter Luftklimatisierung steigern. Diese Systeme stellen eine zuverlässige Alternative besonders in wärmeren Ländern dar, in denen die Netze durch den Strombedarf elektrisch betriebener Kühlgeräte in Spitzenzeiten an ihre Belastungsgrenzen stoßen.

## Genutzte Systeme bei der solaren Kühlung

In geschlossenen Systemen wird mithilfe der Sonnenenergie ein Absorptionskühlprozess in Gang gesetzt. Dabei hat die eingeschlossene Flüssigkeit keinen Kontakt zur Außenluft. Im Gegensatz hierzu steht bei offenen Systemen das Wasser als Kühlmittel in direktem Kontakt mit der zu kühlenden Außenluft. Offene Systeme nutzen normalerweise eine Kombination aus sorptiver Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung, die bei Belüftungsanlagen für das Aufbereiten der Luft verwendet wird. Die auf Sorption basierende Klimatisierung ist eine ausgereifte Technik. Bei der sogenannten Trockenmittelmethode wird der Wasserdampf aus der einströmenden Luft mithilfe eines Trocknungsmittels entfernt, zum Beispiel mittels eines Kieselerdegels, das auf einem porösen rotierenden Zylinder aufgetragen wird und die Feuchtigkeit absorbiert. Während der Drehung wird ein Teil des Zylinders laufend von einem sonnenerwärmten Luftstrom erhitzt, so dass die Feuchtigkeit an die Umgebung abgegeben wird. In offenen Systemen dienen sowohl die befeuchtete Abluft als auch die Versorgungsluft als Kühlmittel. Die Versorgungsluft wird direkt durch ein Wärmerückgewinnungsverfahren in den Raum geblasen. Im Bereich des ersten Rotors erwärmt sich die einströmende Luft während des Trocknens leicht. Wenn sie am zweiten Rotor vorbeiströmt, kühlt sie wieder auf Umgebungstemperatur ab. Die weitere Abkühlung auf das erwünschte Niveau entsteht durch Verdunsten des Wassers in der einströmenden Luft.

## Ausblick

Speziell in Ländern mit hohem Kühlungsbedarf ist die solargestützte Kühlung eine zukunftsweisende Technologie, um langfristig den Stromverbrauch und die Kosten für Klimatisierung zu senken. Hier stellt die über Solarkollektoren eingefangene Wärme die Antriebsenergie für die Kältemaschinen dar. Da die Technik der solaren Kühlung jedoch noch relativ neu ist, liegen die Installationskosten gegenwärtig noch über denen für konventionelle Kühlungssysteme. Gründe für die höheren Kosten sind die Komplexität der Technik und der niedrige Industrialisierungsgrad. Unternehmen und Forschungseinrichtungen arbeiten an der Weiterentwicklung dieser Technologie, um sie kompakter, günstiger und für kleinere Leistungen einsatzbereit zu machen.

Schüco AG

Wagner & Co Solartechnik GmbH

KBB Kollektorbau GmbH

# Solarthermische Kraftwerke

## Die Technologie im Überblick

Mit Kraftwerken auf Basis von Hochtemperatur-Solarthermie (Concentrated Solar Power, CSP) wird die Energie der Sonne in großtechnischen Anlagen zur Stromerzeugung genutzt. Die Sonnenstrahlung wird optisch konzentriert, womit sehr hohe Temperaturen für den Kraftwerksprozess ermöglicht werden. Diese Hochtemperaturwärme kann auch zwischengespeichert werden, womit Stromerzeugung nach Bedarf ermöglicht wird, ein wichtiger Vorteil dieser Technologie.

Zum wirtschaftlichen Betrieb brauchen solarthermische Kraftwerke einen hohen Anteil direkter Sonnenstrahlung, daher liegt ihr typisches Einsatzgebiet in sehr sonnenreichen Gebieten, wie z.B. in Südeuropa, Nordafrika oder im Südwesten der USA. Im Zuge der aktuellen Marktentwicklung werden viele Parabolrinnenkraftwerke, aber in steigendem Maß auch Solarturmkraftwerke, geplant und gebaut; weiterhin sind einige Anlagen mit Fresnel-Technologie in Betrieb oder im Bau. Weltweit befanden sich 2013 ca. 60 solarthermische Kraftwerke am Netz. Das entspricht einer Kapazität von ca. 3.200 MW. Weitere 40 Kraftwerke mit einer geplanten Leistung von insgesamt rund 6.000 MW befinden sich in unterschiedlichen Stadien von Konstruktion oder konkreter Projektentwicklung. Deutsche Unternehmen zählen in Forschung und Entwicklung der CSP-Technologien weltweit zur Spitzengruppe.

Novatec Solar GmbH

**Parabolrinnenkraftwerke** enthalten mehrere parallele Reihen von Kollektoren, die aus gewölbten Spiegeln bestehen und das Sonnenlicht auf ein in der Brennlinie verlaufendes Absorberrohr bündeln, wobei Temperaturen von etwa 400 °C entstehen. Als Medium zur Wärmeübertragung zirkuliert zumeist Thermoöl, das die Wärmeenergie einem Wärmetauscher zuführt, wo Wasserdampf mit einer Temperatur von rund 390 °C erzeugt wird. Mit diesem wird anschließend, wie in einem konventionellen Kraftwerk, eine Dampfturbine mit Generator angetrieben.
In **Fresnel-Kollektoren** konzentrieren lange, nur leicht gekrümmte Flachspiegel die Solarstrahlung auf ein feststehendes Absorberrohr, wo Wasser direkt erhitzt und verdampft wird. Der hieraus resultierende Dampf kann zur Stromerzeugung verwendet oder in industriellen Prozessen auf direktem Weg zur Kühlung oder Entsalzung eingesetzt werden. Das Grundkonzept dieser Kollektoren ist einfacher als das der Parabolrinnenspiegel, was zu einem etwas geringeren jährlichen Wirkungsgrad aber auch niedrigeren Investitionskosten für das Solarfeld führt.

FLABEG Holding GmbH

In **Solarturmkraftwerken** wird die Sonnenstrahlung von Hunderten sich automatisch positionierender Spiegel auf einen zentralen Absorber und Wärmetauscher konzentriert. Die Temperaturen erreichen mit bis zu 1.000 °C deutlich höhere Werte als bei Parabolrinnenkollektoren. Diese höheren Temperaturen haben einen besseren Wirkungsgrad zur Folge, besonders bei Verwendung von Gasturbinen, was in niedrigeren Stromkosten resultiert. Bei **Dish-Stirling-Anlagen** konzentriert ein paraboloidförmiger Spiegel (Schüssel = engl. Dish) die Sonnenstrahlung auf den Wärmeempfänger eines nachgeschalteten Stirlingmotors, der die thermische Energie direkt in mechanische Arbeit bzw. Strom umwandelt. Es werden Wirkungsgrade von mehr als 30 Prozent erzielt. Prototypanlagen gibt es beispielsweise auf der Plataforma Solar in Almería/Spanien. Diese Anlagen eignen sich insbesondere als Stand-Alone-Systeme. Auch hier bietet sich die Möglichkeit, mehrere einzelne Anlagen zu einer „Farm“ zusammenzuschalten und so einen Bedarf zwischen zehn Kilowatt (kW) und mehreren Megawatt (MW) zu decken.

## Ausblick

Die internationale Energieagentur IEA geht davon aus, dass sich die installierte Leistung durch den Zubau von solarthermischen Kraftwerken bis 2018 verdreifachen und von derzeit 3,2 GW auf dann knapp 10 GW ansteigen wird. Diese positive weltweite Entwicklung des Ausbaus solarthermischer Kraftwerke entsteht durch die Ausdehnung von Projekten auf zahlreiche Länder und geht einher mit deutlichen Kostenreduktionen bei den Stromgestehungskosten neu initiierter Kraftwerksprojekte. Innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre dürften an guten Standorten solarthermische Anlagen mit Strom aus Mittellastkraftwerken konkurrenzfähig sein, in Abhängigkeit von der Entwicklung der Gesamtkosten (Einkauf und $CO_2$-Vermeidungskosten) fossiler Brennstoffe.

# Bioenergie – Mobilität, Wärme- und Stromerzeugung

**Fest**
- Holz, Holzabfälle
- Halmgut
- Energiepflanzen (Holz und Halmgut)

**Gasförmig**
- Biogas
- Klärgas
- Deponiegas

**Flüssig**
- Pflanzenöl
- Biodiesel
- Bioethanol
- Synthetische Biotreibstoffe

Mithilfe der Photosynthese bilden Pflanzen Biomasse und speichern auf diese Weise Energie. Biomasse kann der Erzeugung von Kraftstoff, Wärme und Energie dienen. Zur Biomasse gehören Holz, organischer Abfall, Dünger und andere Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs.

## Marktüberblick

Weltweit hat die Nutzung von fester Biomasse eine herausragende Bedeutung in der Energieversorgung, insbesondere Entwicklungsländer setzen größtenteils auf Bioenergie zur Wärmebereitstellung und zum Kochen. Im Jahr 2010 war Bioenergie die am weitesten verbreitete erneuerbare Energie mit einem Anteil von 9,5 Prozent am Weltprimärenergieverbrauch.

## Klassifikation der Bioenergie

Bioenergie lässt sich aus verschiedenen Quellen gewinnen. Diese unterscheiden sich in der Verfügbarkeit, den Verbrennungseigenschaften und den Nutzungsmöglichkeiten. Aus Biomasse können feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe hergestellt werden.

### Feste Biomasse

- Zur festen Biomasse zählen alle trockenen oder getrockneten Stück- und Schüttgüter aus Pflanzen und Pflanzenteilen. Sie kann zum Beispiel in Form von Holzpellets oder Hackschnitzeln gelagert werden. Dadurch ist eine kontinuierliche und bedarfsorientierte Strom- und Wärmeerzeugung möglich.
- Der Anteil der festen Biomasse (inkl. Abfälle) an der weltweiten Primärenergieversorgung betrug in 2012 rund 9,7 Prozent.
- Der Anteil der festen Biomasse (inkl. Holzkohle) an der globalen Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien betrug 68,9 Prozent im Jahr 2012.

### Biogas

- Biogas, das durch Vergärung von Biomasse entsteht, wird weltweit auf vielfältige Weise zur Energieversorgung eingesetzt: mittels Verbrennung in Blockheizkraftwerken zur Stromerzeugung unter Nutzung der Abwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK), als Biomethan über die Einspesung ins Erdgasnetz nach entsprechender Aufbereitung des Biogases, als Treibstoff in Erdgasfahrzeugen oder auch direkt zum Kochen.
- Die Hälfte der europäischen Gesamtenergiegewinnung stammt aus Biogas aus deutscher Produktion.
- Rund 56,7 Prozent der Anlagen in Europa erzeugen Biogas aus landwirtschaftlichen Reststoffen, während Mülldeponien 31,3 Prozent und Kläranlagen zwölf Prozent des EU-weiten Biogases produzieren.

### Flüssige Biokraftstoffe

- Biokraftstoffe werden aus fester Biomasse gewonnen und haben eine mit klassischen Kraftstoffen vergleichbare Qualität.
- Die beiden dominierenden Biokraftstoffe sind Biodiesel und Bioethanol, die 80 bzw. 20 Prozent des Biokraftstoffmarkts vertreten.

### Vorteile der Bioenergie

Bioenergie ist nahezu $CO_2$-neutral. Sie setzt nur die Menge an Kohlendioxid frei, welche die Pflanzen zuvor während des Wachstums aufgenommen haben. Für die $CO_2$-Bilanz spielt es keine Rolle, ob das Holz im Wald verfault oder zur Energieerzeugung eingesetzt wird! Daneben ist Bioenergie:
- speicherbar und auf flexible Weise verfügbar,
- durch die Flexibilität und durchgängige Verfügbarkeit fähig Fluktuationen aus Solar- und Windenergie auszugleichen,
- praktisch in jedem Land verfügbar.
- Die Verwendung von Biomasse hilft, Probleme bei der Abfallbeseitigung zu verringern, während sie gleichzeitig wichtige Energie liefert.
- Agrarregionen profitieren von der Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen in der Land- und Forstwirtschaft sowie im gesamten Entstehungsprozess.
- Der Anbau von Energiepflanzen eröffnet neue Geschäftsfelder für Landwirte.
- Die Nutzung von Bioenergie dezentralisiert die Energieerzeugung und schafft einen Material- und Energiekreislauf.

# Feste Biomasse: Technologien und Anwendungen

## Wärme- und Stromerzeugung aus fester Biomasse

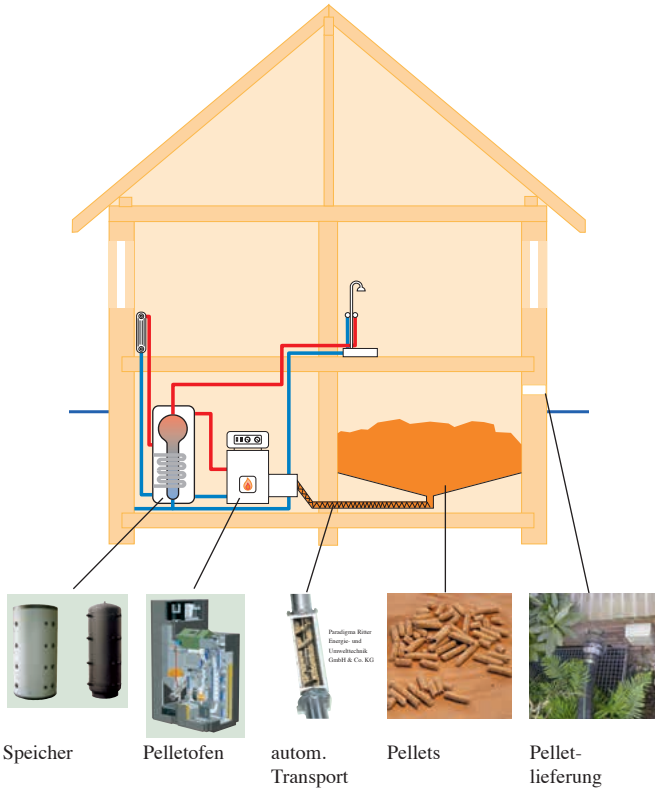
Die energetische Nutzung fester Biomasse hat weltweit die längste Tradition und ist nach wie vor unter allen Technologien der erneuerbaren Energien am weitesten verbreitet. Aufgrund der kontinuierlichen Verfügbarkeit von fester Biomasse kann neben der Wärmeerzeugung z.B. bei der Stromerzeugung aus Biomasse die fluktuierend einspeisende Wind- und Sonnenkraft ausgeglichen werden. Zur festen Biomasse zählen alle trockenen oder getrockneten Stück- und Schüttgüter aus Pflanzen und Pflanzenteilen.

## Technologien und Anwendungen

Bei der **Verbrennung fester Biomasse in modernen Heizanlagen** wird die in der Biomasse gebundene Energie sehr effizient genutzt. Der dominierende Energieträger ist Holz in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln und Pellets. Für seine Verbrennung wurden manuell, teil- oder vollautomatisch beschickte Öfen und Kessel mit elektronisch geregelten Feuerungssystemen entwickelt, die zu einem schadstoffarmen Verbrennungsprozess bei besonders hohen Wirkungsgraden – bis zu 90 Prozent oder mehr – beitragen.

Feste Biomasse wird auch zur Erzeugung von **Strom in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)** verwendet. Dabei wird die bei der Stromerzeugung entstehende Abwärme genutzt und zum Beispiel als Heizwärme in Nah- und Fernwärmenetze eingespeist oder Industrieprozessen in Form von Dampf oder Wärme zur Verfügung gestellt. Aus der Abwärme lässt sich bei Bedarf auch Kälte für industrielle Zwecke, für Kühlhäuser oder für die Klimatisierung von Gebäuden gewinnen.

Neben der Verbrennung eignet sich feste Biomasse auch zur Vergasung. Je nach Beschaffenheit des Brennmaterials und der Kapazität der Anlage eignen sich Festbett-, Wirbelschicht- und Flugstromvergaser. Das entstandene Holzgas kann anschließend in Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen mit hohen elektrischen Wirkungsgraden zur Stromproduktion verwendet werden. Dabei lässt sich der Gesamtwirkungsgrad durch Nutzung der Abwärme über KWK bedeutend erhöhen.




## Ausblick

Steigende Energiepreise führen dazu, dass die Nutzung von Biomasse als Energieträger von immer mehr Privatpersonen, Kommunen und Unternehmen zur Wärme- und Energieversorgung in Erwägung gezogen wird. Das rasante Wachstum des weltweiten Biomassehandels ermöglicht es, dass viele europäische Regionen die energetische Nutzung von fester Biomasse auch in Zukunft weiter ausbauen können. Da auch die Preise für Energieholz in der Vergangenheit angestiegen sind und die Anforderungen an die Emissionen in vielen Regionen verschärft wurden, werden effiziente und emissionsarme Verbrennungstechnologien in Europa weiter an Bedeutung gewinnen.
In Europa wird der Ausbau der energetischen Nutzung von fester Biomasse zudem auf politischer Ebene kontinuierlich vorangetrieben, denn er ist ein wichtiger Baustein zur Erreichung der europäischen energiepolitischen Ziele bis 2020.

# Strom und Wärme aus Biogas

Biogas, das durch Vergärung von Biomasse entsteht, wird weltweit auf vielfältige Weise zur Energieversorgung eingesetzt: mittels Verbrennung in Blockheizkraftwerken zur Stromerzeugung unter Nutzung der Abwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK), als Biomethan über die Einspeisung ins Erdgasnetz nach entsprechender Aufbereitung des Biogases, als Treibstoff in Erdgasfahrzeugen oder auch direkt zum Kochen.

## Erzeugung von Biogas

Biogas lässt sich aus den folgenden Ressourcen gewinnen:

- organische Bestandteile von Mülldeponien (Deponiegas),
- kommunales Abwasser (Klärgas),
- organische Abfälle von Industrie, Haushalten und Gewerbe,
- Reststoffe und Energiepflanzen der Landwirtschaft.

Am Prozess der **Vergärung** der organischen Substanz unter Ausschluss von Luft sind verschiedene anaerobe Bakterien beteiligt, deren Zusammensetzung von den organischen Ausgangsstoffen und den spezifischen Prozessbedingungen wie Temperatur und pH-Wert abhängt. Die mikrobiologischen Prozesse bei der Vergärung sind ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Produktivität der Biogasanlage.

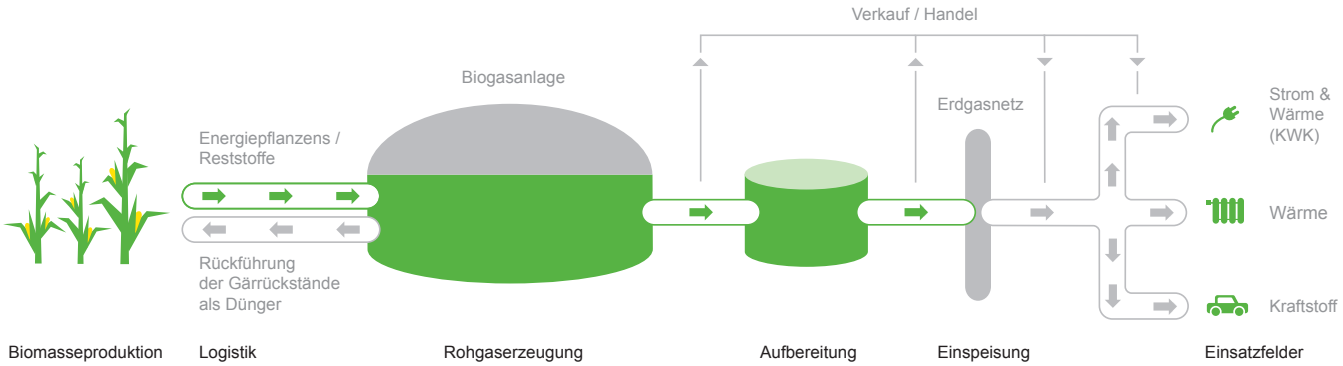
Landwirtschaftliche Biogasanlagen setzen als Gärsubstrat in der Regel Gülle und Energiepflanzen ein. Durch die energetische Nutzung der Gülle in Biogasanlagen werden die klimaschädlichen Methanemissionen aus offenen Güllebehältern weitgehend vermieden. Zur Erhöhung des Gasertrags kommen nachwachsende Rohstoffe, wie z.B. Mais, Getreideganzpflanzen und viele andere Energiepflanzen wie Sonnenblumen, Sudangras, Zuckerrüben, Ölrettich oder Zuckerhirse, zum Einsatz. Gewerbliche Anlagen verarbeiten darüber hinaus auch Abwässer sowie Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion, wie Speisereste und Fettabscheider. Neben dem Biogas entsteht als Gärrückstand ein Gemisch aus Wasser, mineralischen Bestandteilen und nicht abgebauter organischer Substanz. Dieser Gärrest kann zur Schließung des Nährstoffkreislaufs beim Energiepflanzenanbau als hochwertiger Dünger landwirtschaftlich verwertet werden.

## Erzeugung von Strom und Wärme (KWK)

Über die stationäre Verwendung des Biogases in Blockheizkraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärme (KWK) werden sehr hohe Wirkungsgrade erzielt. Der produzierte Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist oder zur autarken Energieversorgung von Industrie- und Gewerbegebieten oder netzfernen ländlichen Siedlungen genutzt werden. Um auch die Abwärme zu nutzen, bietet sich der Einsatz nachgeschalteter Aggregate zur zusätzlichen Stromerzeugung, aber auch die Verwendung zum Heizen, Trocknen oder für den Betrieb von Kältemaschinen an.

## Einspeisung ins Erdgasnetz

Eine attraktive Option ist die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz. Nach vorheriger Aufbereitung auf Erdgasqualität – Biomethan, Methananteil von bis zu 98 Prozent – kann Biogas an Orten mit hohem Wärmebedarf eingesetzt werden und erzielt bei gleichzeitiger Stromproduktion (KWK) ein Höchstmaß an Effizienz. Das Erdgasnetz kann zudem als Langzeitspeicher für erneuerbare Energie eine zentrale Rolle bei der bedarfsgerechten Stromeinspeisung spielen und damit helfen, saisonale Schwankungen der Stromeinspeisung aus Solar- und Windkraftanlagen zu überbrücken.



# Nutzung der Wasserkraft

## Wasserkraft – aktuelle Fakten

Sie ist heute die am weitesten verbreitete erneuerbare Energiequelle zur Stromerzeugung weltweit. Wasserkraft trug mit einer installierten Leistung von 1,31 TW ca. 16 Prozent an der weltweiten Stromerzeugung im Jahr 2014 bei. Im Jahr 2020 wird sich aufgrund des steigenden Bedarfs vorraussichtlich der Anteil der Wasserkraft an der weltweiten Stromerzeugung insgesamt nicht mehr wesentlich vergrößern können – absolut jedoch ca. 4.500 TWh erreichen.

### Vorteile der Wasserkraft

- speicherbar und auf flexible Weise verfügbar,
- grundlastfähig und netzstabilisierend: Durch die Flexibilität und durchgängige Verfügbarkeit ist Wasserkraft fähig, Fluktuationen aus Solar- und Windenergie auszugleichen,
- Energieimporte zu verringern,
- nicht entwickelte und an das Stromnetz angeschlossene Regionen zu fördern,
- dezentral Energie bereitzustellen.

## Technologien und Anwendungen

Aktuell finden im Schwerpunkt drei Technologien Anwendung zur Erzeugung von Strom aus Wasserkraft:

### Laufwasserkraftwerke / Flusskraftwerke

- sind weltweit am meisten verbreitet,
- nutzen die Strömungsenergie eines Flusses und dienen in der Regel zur Deckung der Grundlast,
- Leistung wird größtenteils vom Gefälle und der Wassermenge bestimmt,
- können bei geringem Energiebedarf auch Wasser aufstauen, um es bei höherem Strombedarf als Reserve zu nutzen.

### Speicherkraftwerke

- stauen das Wasser in einem natürlichen oder künstlichen See und leiten es über Rohre in das tiefer gelegene Kraftwerk,
- arbeiten unabhängig vom natürlichen Wasserzufluss,
- eignen sich vor allem zum Ausgleich von Schwankungen in der regionalen und überregionalen Stromerzeugung sowie beim Verbrauch.

### Pumpspeicherkraftwerke

- Pumpspeicherkraftwerke arbeiten mit zwei Wasserspeichern, die einen möglichst großen Höhenunterschied aufweisen (Ober- und Unterbecken), im Oberbecken steht das Wasser für die Stromerzeugung in Spitzenlastzeiten zur Verfügung.
- In Schwachlastzeiten (z.B. nachts oder in Zeiten erhöhten Aufkommens von Sonnen- und Windstrom) im Netz wird das Wasser vom unteren in das obere Becken gepumpt.
- Der Antrieb des Generators erfolgt mit Peltonturbinen.

### Turbinen für Wasserkraft

Der verwendete Turbinentyp hängt von der Durchflussmenge und der Fallhöhe (dem Druck) des Wassers ab.
Die **Francis-Turbine** ist eine der ältesten konventionellen Turbinentypen, der überwiegend im Bereich der Kleinwasserkraftwerke eingesetzt wird. Sie eignet sich für geringe Fallhöhen und mittlere Durchflussmengen.
**Wasserkraftschnecken** arbeiten nach dem Prinzip der Archimedischen Schraube. Sie werden insbesondere für geringe Fallhöhen und niedrige Leistungen genutzt.
**Kaplan- und Rohrturbinen** sind die gängigen Turbinenarten für große Laufwasserkraftwerke mit kleinen Fallhöhen von 6 bis 15 Metern und hohen Volumenströmen. Sie eignen sich bei schwankenden Wassermengen.
Die sogenannte **Pelton-Turbine**, eine Freistrahlturbine, wird bei großen Fallhöhen von 100 m bis 1.000 m und/oder kleinen Wassermengen eingesetzt.
**Durchströmturbinen** werden bei geringen Fallhöhen und Wassermengen eingesetzt. Sie besitzen in der Regel eine geringe Leistung.

### Umweltrechtliche Anforderungen

Der Bau von Wasserkraftwerken ist mit Eingriffen in die Landschaft verbunden. Bei der Planung eines Wasserkraftwerks müssen deshalb wasser-, natur- und landschaftsschutzrechtliche Bestimmungen berücksichtigt werden. Die ökologische Durchgängigkeit für Fische und andere Wasserorganismen wird durch aufwendige Fischausstiegs- und -abstiegsanlagen gewährleistet. Kleinwasserkraftwerke gelten als weniger belastend für die Umwelt als große Anlagen. Neben dem Neubau von Anlagen werden vor allem der Ersatz, die Modernisierung und Reaktivierung von vorhandenen Anlagen ausgeführt.

# Strom aus Kleinwasserkraft und Meeresenergie

## Kleinwasserkraft

Kleinwasserkraft bezeichnet die Nutzung der hydraulischen Energie durch dezentrale, kleine Wasserkraftwerke, die in der Regel mit relativ geringen Eingriffen in die Natur verbunden sind. Die meisten Anlagen stehen an kleinen Flüssen und verfügen über keinen Speichersee sondern über Wasserbecken unterschiedlicher Größe und Bauart. Es gibt jedoch keinen internationalen Konsens über die Definition von Kleinwasserkraft. Die mittlerweile eingebürgerte Einteilung für Kleinwasserkraftanlagen lautet wie folgt:

- Mikro: 1 – 100 kW
- Mini: 100 – 1.000 kW
- Klein: 1.000 – 10.000 kW

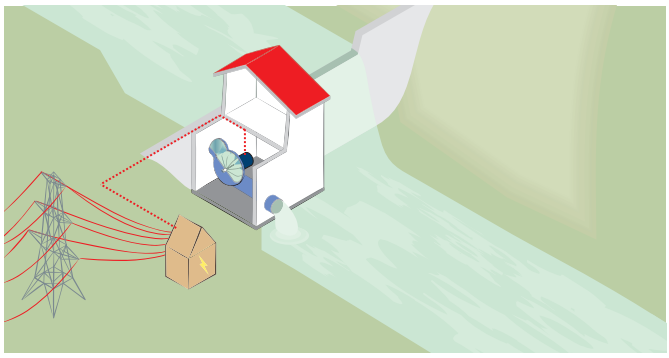
## Turbinen für Kleinwasserkraftanlagen

Die **Francis-Turbine** wird hauptsächlich in diesem Bereich eingesetzt und besitzt ein schneckenförmiges Gehäuse. Sie wird für geringe Fallhöhen und mittlere Flussgeschwindigkeiten eingesetzt. Bei ihr ist lediglich der Verteiler einstellbar. Das Wasser strömt aus radialer Richtung auf das Laufrad und verlässt es entlang der Drehachse.

Weitere Turbinen für Kleinwasserkraft:

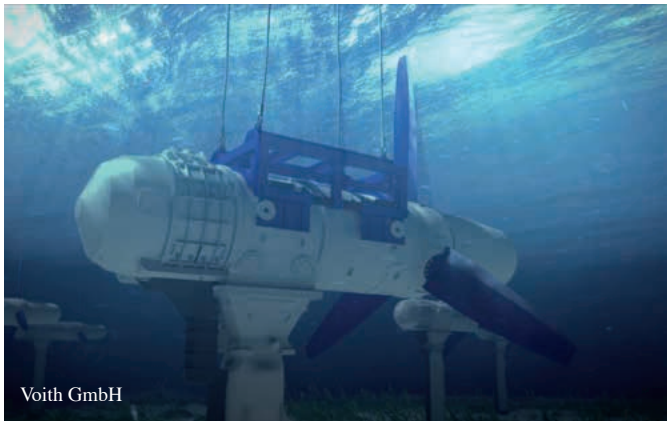
- **Durchströmturbinen** werden bei geringen Fallhöhen und niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten genutzt.
- **Peltonturbinen** eignen sich für große Fallhöhen und niedrige Strömungsgeschwindigkeiten.
- **Schraubenturbinen** eignen sich für geringe Fallhöhen und kleine Leistungen.

**Mikro-Laufwasserkraftwerk**



## Kraftwerkstypen zur Nutzung der Meeresenergie

Die kinetische Energie von Wellen, Tidenhub und Strömung kann ebenfalls zur Erzeugung von Strom genutzt werden. Ein Vorteil der Nutzung von Meeresenergie ist die gleichmäßige Energiebereitstellung und die damit verbundene ausgleichende Wirkung auf den Erneuerbare-Energien-Mix. Während Tidenhubkraftwerke bereits technisch ausgereift sind, befinden sich andere Technologien noch in der Entwicklungsphase, wie z.B. die sogenannten Wellenkraftwerke.



Voith GmbH

### Nutzung der Gezeiten- und Meeresenergie

Strom aus der natürlichen Strömung der Ozeane zu erzeugen, steht noch am Anfang, könnte aber in der Zukunft einen bedeutenden Beitrag zur Energieversorgung weltweit leisten. Ein Vorteil ist die Grundlastfähigkeit des erzeugten Stroms, da sich die Gezeiten der Meere gut vorhersagen lassen. In Ländern wie Kanada, USA, Russland, Australien oder Großbritannien, die an Ozeane mit hoher Strömung und/oder großem Tidenhub angrenzen, besteht bedeutendes Potenzial zur Nutzung der Gezeiten- und Meeresenergie für die regenerative Stromerzeugung. Die bereits heute 3 GW umfassende Projektpipeline weltweit ist erst der Anfang der zu erwartenden Marktentwicklung. Zu den Herausforderungen zählen neben weiteren Kostenreduktionen die Anbindung der Anlagen an das Stromnetz, große mechanische Beanspruchung, Korrosion sowie die Wartung der Anlagen.

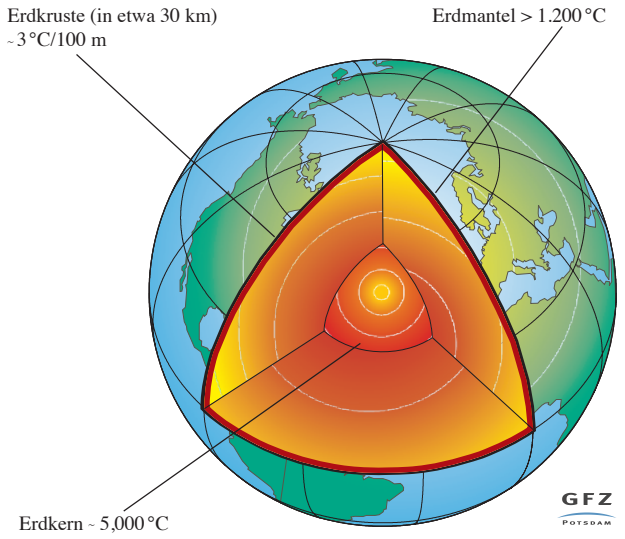
## Ausblick

In der weltweiten Stromversorgung wird Wasserkraft auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Noch in vielen Ländern der Erde bestehen signifikante Potenziale zum Ausbau von Kraftwerkskapazitäten. In gesättigten Regionen wie Europa und Nordamerika liegt der Fokus auf der Modernisierung, Reaktivierung oder Erweiterung bestehender Anlagen. Die Optimierung und Modernisierung bestehender Anlagen unter Berücksichtigung ökologischer Kriterien bringt auch größere Projekte in Einklang mit der Umwelt. Tendenziell geht die globale Entwicklung hin zu grenzüberschreitenden Projekten in der Stromerzeugung durch Wasserkraft. Länder führen ihre Energieressourcen zusammen, wie z.B. im Central America´s Electrical Interconnection System (SIEPAC) oder Afrikas Power Pools. Durch neue, sehr lange Übertragungsleitungen können entfernte Gebiete den Strom aus Wasserkraft nun ebenfalls nutzen. Am Madeira River in Brasilien entsteht z.B. momentan die längste Übertragungsleitung der Erde.

# Tiefengeothermie

Erdwärme ist rund um die Uhr und unabhängig von Jahreszeiten, Wetter oder Klimabedingungen verfügbar. Weltweit wird bereits in vielen Ländern Erdwärme zur Stromerzeugung eingesetzt oder in Wärmenetzen direkt genutzt. Besonders in Regionen mit geologisch günstigen Voraussetzungen (zum Beispiel Regionen mit vulkanischer Aktivität, Temperatur > 200 °C) bildet Erdwärme eine solide Basis für umweltfreundliche und kostengünstige Energiegewinnung.

Die in der Erdkruste verfügbare Erdwärme stammt hauptsächlich aus der Restwärme aus der Zeit der Erdentstehung und aus radioaktiven Zerfallsprozessen. Darüber hinaus speichern die obersten Schichten (bis 2 m Tiefe) Wärme teilweise auch aus der Sonneneinstrahlung.




GFZ (Deutsches GeoForschungsZentrum)

## Tiefengeothermie

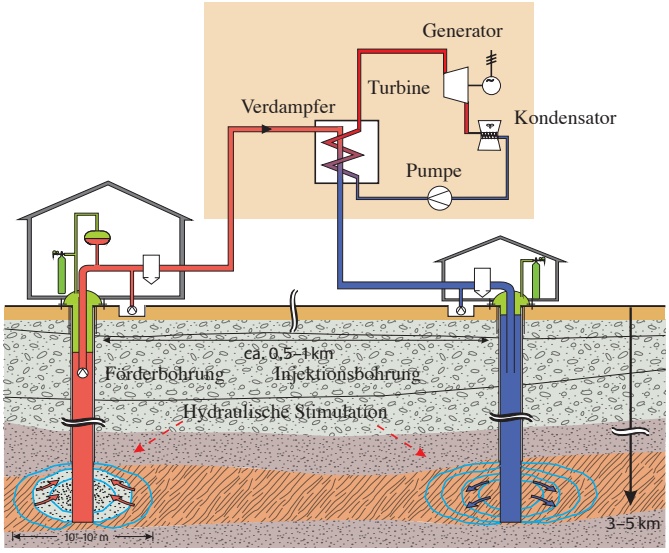
Mithilfe der Tiefengeothermie kann sowohl Strom in Kraftwerken erzeugt, als auch Wärme in größeren Wärmenetzen für die Industrieproduktion oder Beheizung von Gebäuden genutzt werden.

In der Tiefengeothermie unterscheidet man zwischen hydrothermaler Geothermie, HDR-Systemen und tiefen Erdwärmesonden. Für die hydrothermale Geothermie werden Heißwasser führende Schichten in großen Tiefen direkt genutzt. Hydrothermale Geothermie ist je nach Temperatur für die Wärme- oder Stromerzeugung einsetzbar.

In Ländern wie Deutschland, Italien, Indonesien, Mexiko, USA ist die Nutzung von Erdwärme bereits seit vielen Jahren Teil des Energiekonzepts. In Deutschland liegt bei der technischen Entwicklung neben der effizienten Nutzung von Hochtemperaturvorkommen auch ein Schwerpunkt auf Technologien zur Nutzung von Niedertemperaturvorkommen im Bereich von etwa 120–200 °C.

Beim sogenannten **HDR-Verfahren** (Hot-Dry-Rock) wird Erdwärme in tiefen Gesteinsschichten (zwischen 3.000 bis 7.000 m) genutzt, in denen keine oder nicht ausreichend natürliche Wasservorkommen angetroffen werden. Hierfür wird mithilfe von Tiefbohrungen Wasser durch ein kontrolliert geschaffenes System von Rissen und Klüften zirkuliert. Das heiße Wasser wird über eine Entnahmebohrung an die Oberfläche gefördert und treibt als Dampf eine Turbine zur Stromerzeugung an oder wird in das Wärmenetz eingespeist. Um auch niedrigere Temperaturniveaus nutzen zu können, bieten deutsche Unternehmen verschiedene Lösungen an. Der Kalina Cycle und der Organic Rankine Cycle (ORC) sind zur Nutzung niedriger Temperaturniveaus von 120–200 °C in der Stromerzeugung gut geeignet. Die nachgeschaltete Nutzung solcher Anlagen kann die Erträge von Hochenthalpie-Lagerstätten deutlich erhöhen.

### Prinzip geothermischer Stromerzeugung (ORC)




GFZ (Deutsches GeoForschungsZentrum)

# Oberflächennahe Geothermie zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden

Die oberflächennahe Geothermie eignet sich optimal sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen von Gebäuden. Hier wird Energie genutzt, die aus den obersten Erdschichten bis max. 400 m Tiefe gewonnen wird. Verschiedene Systeme wie Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Energiepfähle oder andere erdberührende Betonbauteile ermöglichen die Nutzung der in den ersten 100 bis 150 m der Erdoberfläche herrschenden Durchschnittstemperaturen von 7 bis 12 °C. Im Heizfall erhöhen Wärmepumpen dieses niedrige Temperaturniveau auf die im Gebäude benötigten Temperaturen. Dabei wird dem Boden in einem Kreisprozess Wärme entzogen. Die im Untergrund vorhandenen konstanten Temperaturen können aber auch unter Umgehung der Wärmepumpe eingesetzt werden, um das Gebäude direkt zu kühlen. Reicht die Kühlleistung des Untergrunds nicht aus, kann ein Betrieb der Wärmepumpe in umgekehrter Richtung die fehlende Kühlleistung bereitstellen.

**Erdwärmekollektoren** werden in 80 bis 160 cm Tiefe horizontal verlegt und unterliegen den an der Oberfläche vorherrschenden Witterungseinflüssen. Um die im Boden gespeicherte Wärme aufnehmen zu können, werden die Kollektoren von einem Wärmeträgermedium durchflossen. Auch mit Umgebungsluft lassen sich Wärmepumpen betreiben. Luft ist kostengünstig und überall verfügbar. Der Nachteil ist jedoch, dass die Umgebungsluft dann am kältesten ist, wenn der Bedarf an Wärme, nämlich im Winter, am größten ist, was die Ausbeute der Wärmepumpe senkt. Der sogenannte Temperaturlift von Wärmepumpen für Erdsonden kann im Laufe des Jahres bei gleichzeitig geringer Energiezufuhr relativ konstant gehalten werden. Die aufgenommene Energie stammt in erster Linie aus der Umgebung, deren durchschnittliche Temperatur von der jährlichen Sonneneinstrahlung bestimmt wird.

Bosch Thermotechnik GmbH

**Erdwärmesonden** sind in Mittel- und Nordeuropa weit verbreitete Anlagentypen. Zur Nutzung oberflächennaher Geothermie werden sie in 50 bis 400 m Tiefe eingesetzt. Ihr Flächenbedarf ist gering und sie nutzen ein konstantes Temperaturniveau. Es handelt sich um Kunststoffrohre, die zu Kreisläufen zusammengeschlossen und mit dem Kühl- und Heizsystem des Gebäudes verbunden sind. In ihnen zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, die die Wärme aus dem umgebenden Erdreich aufnimmt und an die Wärmepumpe weiterleitet.

Bei **Energiepfählen** werden tiefreichende Betonpfähle, Schlitzwände oder andere im Untergrund verbaute, statisch notwendige Betonbauteile mit Kunststoffrohren belegt, die mit Wasser als Leitmedium die Erdwärme bzw. Erdkälte ausnutzen. Das kalte Wasser erwärmt sich in den Betonpfählen durch die Erdwärme. Das warme Wasser heizt unter Zwischenschaltung einer Wärmepumpe das Gebäude. Im Sommer kann dieses System, wie oben beschrieben, zur sanften Kühlung verwendet werden.

## Ausblick

Geothermie wird derzeit immer häufiger in politische Diskussionen über die zukünftige Energieversorgung einbezogen. Vor dem Hintergrund steigender Kosten fossiler Brennstoffe, der langfristig gesicherten Verfügbarkeit der Geothermie und ihren flexiblen Nutzungsmöglichkeiten für Heizung, Kühlung und Stromerzeugung werden weltweit immer mehr Anlagen installiert. Im Bereich der Wärmebereitstellung wird ein jährlicher Zuwachs der installierten Kapazität von 20 bis 30 Prozent erwartet.

Bosch Thermotechnik GmbH

# Netzferne Nutzung erneuerbarer Energien

Der Zugang zu Energie ist Grundlage für wirtschaftliche und soziale Entwicklung. Energie ist Voraussetzung dafür, dass Unternehmen produzieren und Arbeitsplätze entstehen können. Sie wird benötigt, um Nahrungsmittel anzubauen, Nahrung zuzubereiten, Wohnungen und Schulen zu heizen, Krankenhäuser zu betreiben und um sauberes Trinkwasser bereitzustellen. Energie ermöglicht zudem weltweite Kommunikation und Mobilität.

### Von Energiearmut betroffene Regionen

In 2013 hatte fast ein Fünftel der Weltbevölkerung – mehr als 1,3 Mrd. Menschen – keinen Zugang zu Elektrizität. Sogar fast zwei Fünftel der Menschen auf dieser Erde – rund 2,7 Mrd. Personen – verfügen nicht einmal über saubere Kochgelegenheiten. Energiearmut betrifft vorwiegend Subsahara-Afrika und die Entwicklungsländer Asiens. 84 Prozent der Betroffenen leben in ländlichen Gegenden ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz. Für die betroffenen Haushalte hat das unmittelbare Auswirkungen auf das tägliche Leben: Beispielsweise können in diesen Haushalten elektrische Leuchten oder TV-Geräte nicht oder nur unregelmäßig betrieben, Mobiltelefone nicht geladen und Medikamente nicht zuverlässig gekühlt werden.

## Anwendungsfelder

Elektrizität aus erneuerbaren Energien kann eine vom Stromnetz und dem Import fossiler Energieträger unabhängige Energieversorgung ermöglichen. Solar-, Wind, Wasser- und Bioenergie alleine oder in Kombination (Hybridsysteme) erlauben eine netzunabhängig Stromnutzung für beispielweise Beleuchtung, Radio, Fernsehen, Kühlgeräte, Telefone, Datenübertragung, Schulen, Krankenhäuser, Wasserpumpen und Inselsysteme für Dörfer und ganze ländliche Regionen.

## Technologieauswahl

Der Einsatz erneuerbarer Energien in netzfernen Regionen ist in vielen Fällen wirtschaftlich, wobei die Systeme auch in ein bestehendes oder neu entstehendes Stromnetz integriert werden können. Die Auswahl der zu verwendenden Technologien richtet sich nach dem aktuell und zukünftig entstehenden Bedarf an Energie, den verfügbaren Ressourcen und natürlich den Kosten für Installation und Betrieb.

| Anwendungsbereiche | Stromversorgung | Wärmeversorgung/Kühlung |
|---|---|---|
| **Privathaushalte** | Mobiltelefone, Beleuchtung, Computer, Nähmaschinen, Radios, TV-Geräte | Warmwasserbereitung, Raumheizung, Kochen, Gebäudeklimatisierung |
| **Landwirtschaft** | Wasserpumpen, Getreidemühlen, Meerwasserentsalzung | Trocknung landwirtschaftlicher Erzeugnisse |
| **Gewerbe und Dienstleistungen** | Maschinen, Computer, wissenschaftliche Messstationen | Prozesswärme, Gebäudeklimatisierung |
| **Öffentliche und soziale Einrichtungen** | Beleuchtung, Kühlschränke, medizinische Geräte | Gebäudeklimatisierung |
| **Infrastruktur** | Telefon- und Mobilfunknetze, Mini-grids, Straßen- und Straßenschilderbeleuchtung, Bordnetze von Schiffen | pflanzliche Treibstoffe |
| **Industrie** | Elektrifizierung und Sicherungssysteme im städtischen und ländlichen Raum, für instabile Stromnetze | industrielle Prozesswärme |

# Technologien für Energie- und Wasserversorgung

## Photovoltaik

Photovoltaik-Anlagen erzeugen Strom direkt aus Sonnenlicht und können in nahezu allen Teilen der Erde eingesetzt werden. Die Anlagen sind in verschiedenen Größenklassen verfügbar von kleinen mobilen PV-Lampen und Wasserpumpen über Inselsysteme für kleine Häuser bis zu Großanlagen für Unternehmen, Krankenhäuser und Industrie. Größere Inselsysteme ermöglichen die Stromversorgung von verschiedenen Gebäuden, Siedlungen oder Dörfern. In den meisten netzfernen Inselsystemen wird die Elektrizität in Batterien gespeichert und kann nach Bedarf abgerufen werden. Im Falle von größeren Systemen bieten Generatoren die Grundlast und Batterien können beispielsweise Dieselgeneratoren entlasten und deren Verbrauch reduzieren.

Phocos AG

## Windenergie

Kleine bis mittlere Windenergieanlagen (mit einem Rotordurchmesser von bis zu 20 m und einer Leistung von ca. 100 kW) bieten eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten in netzfernen Regionen. Die Stromerzeugung ist direkt abhängig von den herrschenden Windverhältnissen. Im Idealfall werden die Windgeschwindigkeiten über ein Jahr hinweg gemessen, um verlässliche Prognosen für den zukünftigen Ertrag und die Auswahl für die optimale Anlagenkonfiguration zu ermöglichen.

## Wasserkraft

Neue, klein dimensionierte Pico- und Mikro-Wasserkraftwerke liefern Elektrizität aus fließenden Gewässern. Abhängig von der verwendeten Technologie werden hohe oder geringere Sturzhöhen bzw. Fließgeschwindigkeiten benötigt. Pico-Systeme haben in der Regel eine Leistung von 5 kW und werden häufig zum Laden von Batterien genutzt. Der erzeugte Strom von Pico- und Mikrosystemen wird i.d.R. direkt genutzt und kann Elektrizität in vielen Fällen kostengünstiger bereitstellen als Windenergie und Photovoltaik.

GIZ/Michael Netzhammer

## Solarthermie

Solarthermieanlagen nutzen die Wärme der Sonne für die Wärmeerzeugung. Warmwasser kann für Hotels, Krankenhäuser oder für industrielle Prozesse bereitgestellt werden. Solarkollektoren nehmen die Wärme auf und speichern diese in isolierten Tanks, sodass Warmwasser auch zu späteren Zeiten nachgefragt werden kann. Für Solarthermieanlagen stehen mit unverglasten Kunststoffabsorbern, Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren verschiedene Technologien zur Verfügung. Teilweise werden auch Parabolspiegel als Solarkocher eingesetzt. Solarthermie kann den Bedarf an Wärme in Haushalten von 60 bis zu 80 Prozent decken. Solarkraftwerke können ebenso Strom in bestehende Inselsysteme einspeisen.

## Bioenergie

Bioenergie lässt sich aus verschiedenen Quellen gewinnen. Diese unterscheiden sich in der Verfügbarkeit, den Verbrennungseigenschaften und den Nutzungsmöglichkeiten. Aus Bioenergie können feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe hergestellt werden. Aus Fermentation entstandenes Biogas lässt sich aus verschiedenen Ressourcen gewinnen: aus organischen Bestandteilen von Mülldeponien (Deponiegas), aus kommunalem Abwasser (Klärgas), aus organischen Abfällen von Industrie, Haushalten und Gewerbe sowie aus Reststoffen und Energiepflanzen aus der Landwirtschaft. Eingesetzt wird das Biogas z.B. in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Erzeugung von Strom und Wärme mit hohen Wirkungsgraden. Der produzierte Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist oder für netzunabhängige Anwendungen genutzt werden.

**Vorteile erneuerbarer Energien für Off-grid-Lösungen:**

- Ausgereifte Technik
- Einfache Installation
- Einfache Bedienung
- Minimale Wartung
- Einfache Integration von Mobile-Payment-Systemen möglich
- Beliebige Skalierbarkeit
- Ergänzung bestehender Systeme
- Einsparung von Ressourcen

# Anwendungsfelder

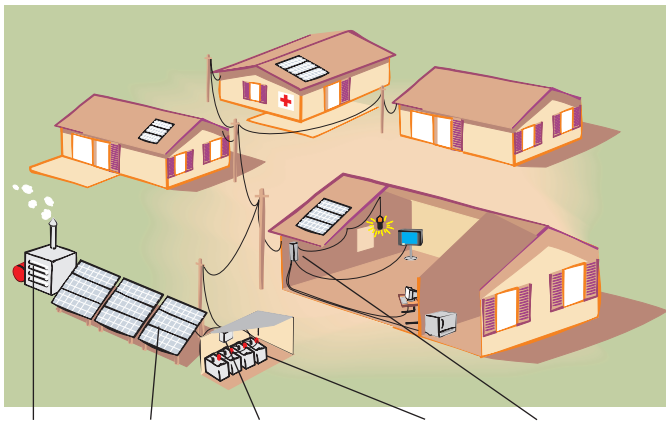
**Versorgung mit Wasser in ländlichen Gebieten.** PV-gestützte Anlagen können sowohl Trinkwasser für Menschen als auch Wasser zur Bewässerung und Wasser für Nutzvieh bereitstellen. Solarsysteme sind ebenso geeignet, um Wasser zu desinfizieren und zu entsalzen. Solarwasserpumpen treiben unmittelbar Kreisel- oder Membranpumpen an. Hybridsysteme können fortlaufend Strom erzeugen, um Grundwasser an die Oberfläche zu befördern oder falls erforderlich in Speicher zu pumpen.

**Hybridsysteme für die Stromversorgung in ländlichen Gebieten** können nachhaltig Strom bereitstellen. Hier werden sich ergänzende Erneuerbare-Energien-Technologien wie zum Beispiel Windenergie, Wasserkraft und Verbrennungsmotoren mit Photovoltaik kombiniert. Kombinationen mit Batteriesystemen sind ebenso verfügbar, so kann die am Tag erzeugte Energie in der Nacht genutzt werden.

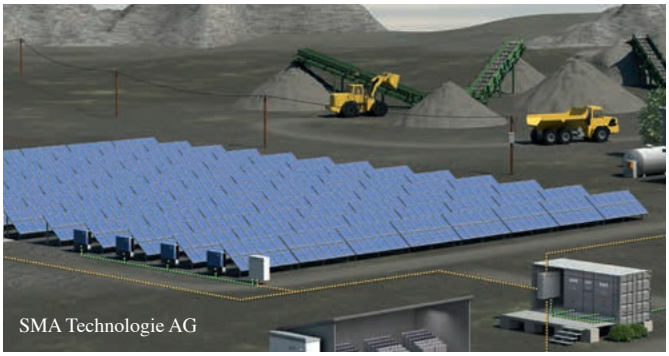
**Im Rahmen der Wärmeerzeugung** können erneuerbare Energien Lösungen z.B. über solarthermische Anlagen bieten, die Warmwasser für Haushalte, Hotels und Krankenhäuser bereitstellen. Ebenso ist über Solarthermie Wohnraumheizung wie auch die Erzeugung von Wärme für industrielle Prozesse umsetzbar. Im Bereich Nahrungsmittelaufbereitung kann Biogas zum Kochen eingesetzt werden.

**Inselsysteme für Haushalte** bieten Strom für Licht, Radio, Fernseher, Kühlgeräte, Mobiltelefone, Ventilatoren, Computer und weitere Haushaltsgeräte. Inselsysteme wurden entwickelt, um Haushalte in ländlichen Regionen ohne Anbindung an Elektrizitätsnetz mit Strom zu versorgen. Ein System besteht aus einem Solarmodul oder bspw. einer Kleinwindanlage, einem Akkumulator und einem Laderegler, um Geräte, die mit Gleichstrom betrieben werden, mit Elektrizität zu versorgen. Leistung und Speicherkapazität der Inselsysteme werden den individuellen Erfordernissen angepasst. Die Vorteile sind: leichte Installation, ausgereifte Technik, einfacher Betrieb, wenig Wartung, Plug-and-Play-Systeme für eine sichere Installation und die Möglichkeit der Nutzung von integrierten Prepayment-Systemen.

Phocos AG




**Hybridsysteme für die industrielle Stromversorgung** sind ähnlich zu den Systemen für den ländlichen Raum konzipiert und stellen autonome netzferne Systeme dar. Hybridsysteme sind autarke elektrische Systeme, die mehr als eine Energiequelle integrieren. Sie werden zur Versorgung abgelegener Stromverbraucher eingesetzt, können höhere Energienachfragen bedienen und zuverlässig Strom zur Verfügung stellen. Die Verbindung aller Stromerzeuger und Verbraucher im Gleichstrombetrieb ermöglicht die flexible, modulare Konstruktion oder Erweiterung eines Systems mit standardisierten Komponenten. Geläufige Konfigurationen bestehen aus Photovoltaik und Dieselgenerator (PV/Diesel) oder Windkraft und Dieselgenerator (Wind/Diesel). Optional wird hier konventioneller Dieselkraftstoff durch Biodiesel ersetzt. Ebenfalls ist die Integration einer Wasserkraftanlage in das System möglich. Bei entsprechend hohem Energiebedarf sind insbesondere größere Hybridsysteme mit konventionellem Dieselgenerator wirtschaftlich interessant: Sie können zu niedrigeren Kosten betrieben werden als Stationen, die allein mit Diesel betrieben werden. Als mobile Varianten von Hybridsystemen bieten sich sogenannte „Energiecontainer“ bzw. „Powercontainer“ an. Hier sind Windkraftanlage, Solarmodule, Batterie und Dieselgenerator in bzw. an einem herkömmlichen Frachtcontainer untergebracht. Das Hybridsystem ist damit auch an wechselnden Einsatzorten schnell einsatzbereit.


SMA Technologie AG

# Stromversorgung von Häusern mithilfe von erneuerbaren Energien

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien und alternativer Konzepte der Energieerzeugung ist insbesondere in Häusern bedeutend, wird hier doch ein Großteil der Endenergie eines Landes für die Erzeugung von Strom und Wärme verbraucht. Deutsche Produkte und Dienstleistungen gehören im Bereich der erneuerbaren Energien und effizienten Haustechnik zu den weltweit führenden. Vollautomatische Pelletheizungen, solarthermische Anlagen zur Wärmeerzeugung oder Klimatisierung, Wärmepumpen, die oberflächennahe geothermische Energie zum Heizen nutzen, sowie Photovoltaikmodule zum Erzeugen von Strom aus Sonnenlicht können im Haus sinnvoll verknüpft werden, um den Jahresenergieverbrauch für Heizung, Lüftung und Klimatisierung im Haus stark zu senken.

### Vorteile

- angemessenerer ökologischer Fußabdruck durch effiziente und klimaschonende Nutzung der Energieträger im Haus,
- Minderung der $CO_2$-Emissionen,
- geringere Betriebskosten für Strom und Wärme möglich,
- sinkende Abhängigkeit vom Stromnetz und den Energiekosten.

## Stromerzeugung mit Photovoltaik-Systemen

Photovoltaik (PV) gehört mittlerweile zur umweltschonenden und effizienten Energieversorgung vieler Gebäude. Deutsche PV-Forschung und -Industrie arbeiten an der Weiterentwicklung von Zellstrukturen und Produktionsabläufen, um die Anwendung zu optimieren und Kosten weiter zu senken. In vielen Ländern sind die Erzeugungskosten von Solarstrom gleichauf mit dem Verbrauchspreis konventionellen Stroms für Privathaushalte („Netzparität“).

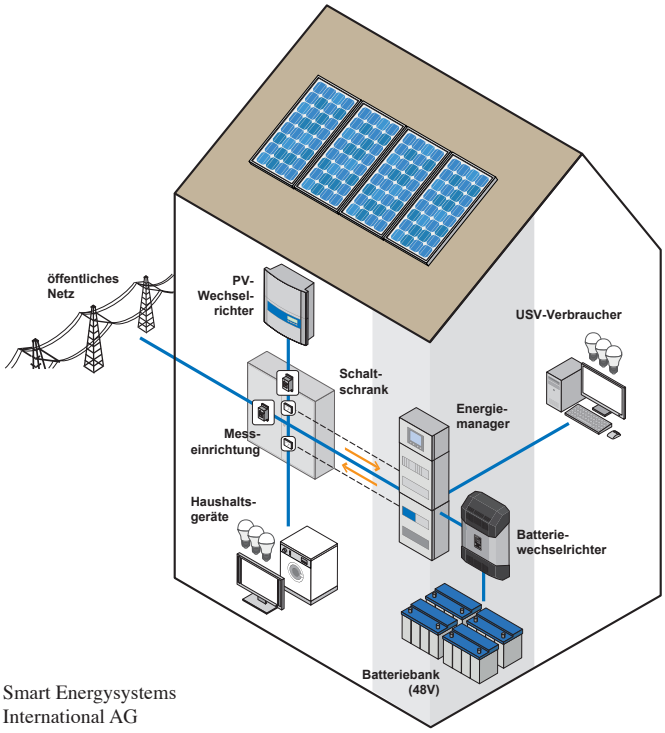
### Anwendungsfelder und weiterer Nutzen

- Biegsame, hauchdünne PV-Module können bei fortschreitender Entwicklung an Fenstern, großflächigen Häuserfassaden, Dächern oder Handy-Ladegeräten eingesetzt werden (sogenannte organische Solarzellen, die auf der Technologie organischer LED (OLED) basieren).
- Gebäudeintegrierte PV-Systeme bieten die Möglichkeit einer optisch besseren und unauffälligeren Einbindung in ein Haus und können zusätzliche Funktionen wie Sonnenschutz oder auch Dämmschutz bieten.

Derzeit wird ein Großteil des im Haushaltsbereich erzeugten PV-Stroms ins Netz eingespeist. Wird die PV-Anlage jedoch mit einem intelligenten Energiemanagementsystem und einem Speicher versehen, kann der selbsterzeugte Strom noch besser für den Eigenverbrauch genutzt werden.

## Stromerzeugung mit Kleinwind

Kleinwindkraftanlagen bieten ebenso die Möglichkeit zur Stromerzeugung. So beispielsweise auf gewerblichen oder landwirtschaftlichen Gebäuden und auch auf oder in der Nähe von Mehr- und Einfamilienhäusern.




Smart Energysystems International AG

## Strom- und Wärmeerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)

Die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme ist über **KWK-Anlagen** möglich. In den Anlagen treibt ein Motor einen Generator zur Stromerzeugung an, die dabei entstehende Abwärme wird zur Raumbeheizung und Warmwasserbereitung genutzt. Erfolgt die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in einer kompakten, dezentralen Anlage und nicht in einem großen Heizkraftwerk, dann spricht man von Blockheizkraftwerken (BHKW). **Mikro-BHKW** sind für den Einsatz im Haus geeignet. Sie decken das unterste Leistungssegment von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ab (0,8-10 $kW_{el}$). Teilweise werden Sie auch als „stromerzeugende Heizung“ bezeichnet. Sie dienen der Versorgung von kleineren Einzelobjekten, d.h. sie sind vor allem für den Einsatz in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie im Kleingewerbe geeignet. Die Anlagen sind hinsichtlich ihrer Leistung so ausgelegt, dass sie den durchschnittlichen Grundlastbedarf an Strom und Wärme eines Einfamilienhauses decken können.

# Wärmeerzeugung und Kühlung im Erneuerbare-Energien-Haus

Viessmann Werke GmbH & Co. KG

Viessmann Werke GmbH & Co. KG

KBB Kollektorbau GmbH

Wagner & Co Solartechnik GmbH

Unabhängig davon, ob Sie ein Haus oder eine Wohnung besitzen oder mieten, es entstehen für Sie finanzielle Kosten und Belastungen für die Wärmebereitstellung und Kühlung. Von 1995 bis 2012 sind die Preise für Wärmebereitstellung in Deutschland im Durchschnitt um 161 Prozent gestiegen. Die Nutzung von Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energien:

- Verringert die finanzielle Belastung und schont das Klima.
- Vermeidet die Verbrennung fossiler Energieträger und verringert damit die Emissionen von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid ($CO_2$).
- Bietet mehr Unabhängigkeit von steigenden Wärmepreisen.

## Solarthermie für Wärme und Kühlung

Die Solarkollektoren einer Solarthermieanlage absorbieren Sonnenstrahlung und wandeln sie in Wärme um. Solarwärme wird in der Regel zur Erwärmung von Wasser zum Duschen und Waschen oder zur Unterstützung der Raumheizung eingesetzt. Zu den Innovationen auf dem Gebiet der Solarenergie gehören Solaranlagen, die sowohl Wärme als auch Kälte aus Sonnenlicht erzeugen. Moderne Kältesysteme wandeln die Wärme des Sonnenlichtes direkt in Klimakühlung um. Der Vorteil der solaren Kälteerzeugung ist, dass weit weniger Strom verbraucht wird, als bei den herkömmlichen Klimaanlagen. Das ist vor allem für südliche Länder interessant, weil hier in heißen Sommermonaten bis zu 80 Prozent des benötigten Stroms in die Gebäudekühlung fließt. Grundlage dieser Technik sind parabolförmige Kollektoren, die das Licht bündeln. Das System funktioniert nach demselben Prinzip wie ein Kühlschrank. Die Wärme die im Kollektor gesammelt wird, wird als Energie genutzt, um kältere Luft zu erzeugen. Ein Vorteil ist, dass die Nachfrage nach Kälte zur gleichen Zeit steigt, wenn die Sonne scheint und die Temperaturen hoch sind.

## Geothermie für Wärme und Kühlung

Wärmepumpen können über das Erdreich oder die Außenluft als Wärmequellen für das Heizsystem genutzt werden. Eine Wärmepumpe entnimmt einer äußeren Wärmequelle, z.B. dem Erdreich, Grundwasser oder der Außenluft, Wärme auf niedrigem Temperaturniveau und gibt sie an das Heizsystem ab. Wärmepumpen können nach dem umgekehrten Prinzip im Sommer auch zur Kühlung genutzt werden.

## Solarthermie und Wärmepumpen im Verbund

Durch ein intelligentes Energie-Management-System können hierbei Synergieeffekte geschaffen werden, die das ganzjährige Heizen bzw. Kühlen von Gebäuden ermöglichen und somit in Zukunft maßgeblich zur Erhöhung des Anteils an der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien beitragen. Beispiele für Technologie-Kombinationen existieren unter anderem in Verbindung mit oberflächennaher Geothermie oder durch Nutzung der Erde als Wärme- bzw. Kältespeicher.

## Biomasse zum Heizen

Wärme kann auch aus Holzpellets, Holzhackschnitzeln, Scheitholz oder Biogas gewonnen werden. Der Einsatz von Holzpellets hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Holzpellets (gepresste Holzspäne) sind sehr gut zum Heizen geeignet und damit eine Alternative zu fossilen Brennstoffen. Je nach Brennstoff und Verwendungszweck gibt es unterschiedliche Öfen, die für die Wärmeversorgung Holz nutzen. Vorwiegend werden drei verschiedene Systeme von Pelletheizungen genutzt, die sich hauptsächlich in ihrer Leistungsfähigkeit unterscheiden:

- Einzel-Pelletöfen (von 2 bis 10 kW)
- große Pellet-Zentralheizungen (Heizleistung bis zu 70 kW)
- Kombikessel, die sich sowohl mit Holzpellets als auch Stückholz befeuern lassen

Feste Biomasse wird auch zur Erzeugung von Strom in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) verwendet. Dabei wird die bei der Stromerzeugung entstehende Abwärme zum Beispiel als Heizwärme genutzt.

## Ausblick

Angesichts der steigenden Anforderung an die elektrische und thermische Versorgung von Gebäuden wird der Automatisierungs- und Steuerungsgrad zunehmen. Die Mess- und Regelungstechnik und die Gebäude-IT werden zu komplexen Systemen zusammenwachsen. Die Nutzung der Speicherfähigkeiten (Wärme und Kälte) von Gebäuden, die Optimierung der Gebäudehülle (Dämmung und Wärme-/Kälteschutz), die Einbindung weiterer Speicher (Wärme, Kälte, Elektrizität inkl. der Elektromobilität) und die Nutzung von Kombiprozessen (Kraft-Wärme-Kopplung) wird an Bedeutung gewinnen.