

2 Smarte Erzeugung von elektrischer Energie – Ressourcen und Potenziale

2.1 Neue Trends und Anforderungen an die elektrische Energieerzeugung

Für die Elektroenergieerzeugung werden Primärenergieträger (PET) benötigt. Primärenergie ist eine Energieform, die in der Natur verfügbar ist und die noch nicht vom Menschen in eine andere Energieform umgewandelt wurde.

In 2015 erreichte die Weltelektroenergieerzeugung ein Volumen von etwa 23.864 TWh [2-1]. Bis 2040 wird ein Anstieg auf 42.500 TWh erwartet [2-2].

Traditionell wird Elektroenergie zumeist in Wärmekraftwerken erzeugt, wo die Ausdehnung von Heißdampf in Turbinen zum Antrieb elektromechanischer Generatoren genutzt wird. Die Wärme wird in der Regel durch Verbrennung fossiler Brennstoffe oder durch Kernspaltung gewonnen. Die zweite traditionelle Form der Elektroenergieerzeugung nutzt die Wasserkraft für den Antrieb der Generatoren, und drittens sichert in Gasturbinen die Ausdehnung von Verbrennungsgasen den mechanischen Antrieb.

Neuerdings werden auch erneuerbare Energieträger (EET) wie biologische Brennstoffe, geothermische Energie oder konzentrierte Sonnenenergie für Elektroenergieerzeugung mittels Wärme eingesetzt.

Weiterhin hat die Direktumwandlung von kinetischer Energie der EET Wind, Fließwasser und Wellen in Elektroenergie in den letzten Jahren einen starken Aufschwung genommen.

Zunehmend werden auch chemische Prozesse genutzt, um Elektroenergie in Photovoltaikanlagen (PV) und Brennstoffzellen zu erzeugen bzw. in Batterien zu speichern.

Die verschiedenen Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie sind in Bild 2.1 aufgezeigt.

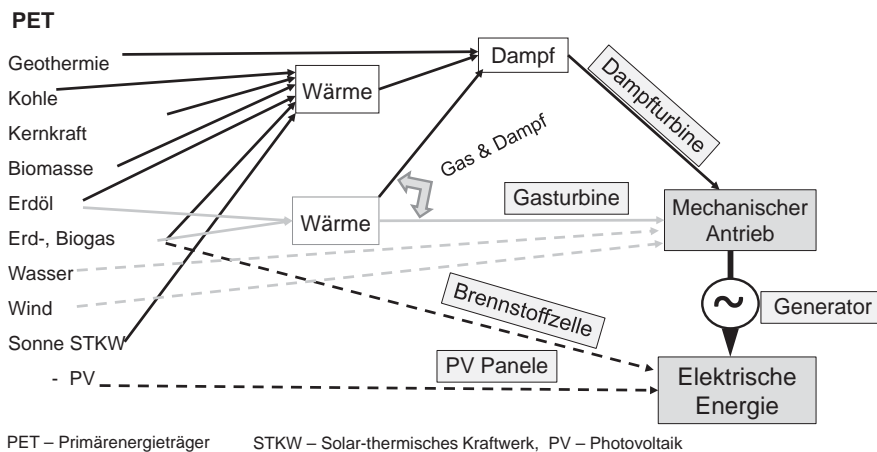


Bild 2.1 Verfahren der Elektroenergieerzeugung

2015 lagen die weltweiten Anteile der verschiedenen PET bei der Elektroenergieerzeugung bei [2-1]:

- 66,4 % fossile PET (40,7 % Kohle, 21,6 % Erdgas, 4,1 % Erdöl),
- 23 % EET (16,2 % Wasserkraft, 6,8 % andere EET),
- 10,6 % Kernkraft.

Der hohe Anteil fossiler PET-Verbrennung produziert Kohlenstoffdioxidmengen (CO₂), die nicht mehr von Pflanzen absorbiert werden können. Der Überschuss von CO₂ in der Atmosphäre trägt zur Erderwärmung und den damit verbundenen extremen Wetterkatastrophen (Überschwemmungen, Wirbelstürme, Hitzewellen, Trockenheit) bei.

Die Reduzierung der CO₂-Emissionen und Erhöhung der Wirkungsgrade der Energieumwandlung sowie -anwendung (Energieeffizienz) sind daher ein Ziel der Weltgemeinschaft, das von vielen Regierungen unterstützt wird (siehe auch Abschnitt 1.2). Daten zu den CO₂-Emissionen und zu den Wirkungsgraden der Elektroenergieerzeugung sind in Tabelle 2.1 angeführt.

Tabelle 2.1 CO₂-Emissionen und elektrische Wirkungsgrade fossiler PET und EET

PES	CO ₂ -Äquivalent, kg / MWh	Elektrischer Wirkungsgrad, %
Braunkohle*	980 – 1.200	35 – 40
Steinkohle*	890 – 950	37 – 43
Gas*	400 – 550	37 – 60
Photovoltaik**	~ 30***	12 – 20
Wind**	~ 20***	~ 44
Bio-Brennstoffe**	~ 0,2	37 – 60

* [2-3], ** [2-4], *** Unter Berücksichtigung der Emissionen in Verbindung mit der Fertigung

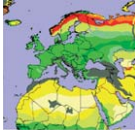
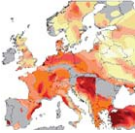
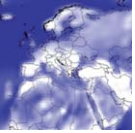

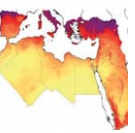
Tabelle 2.1 demonstriert, dass die erneuerbaren Energieträger ein enormes Potenzial haben, die weltweiten CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Eine Verbesserung der Wirkungsgrade der Energieumwandlung kann auf drei Wegen erreicht werden:

- Technologieverbesserungen,
- Kombination Gas und Dampf (GuD), indem bei Gasturbinen zusätzlich die Abwärme für Dampferzeugung genutzt wird,
- Kraft-Wärmekopplung, d. h. weitergehende Nutzung der bei der Elektroenergieerzeugung generierten Wärme.

Die Potenziale und die Effizienz der EET sind in einer Reihe von Studien untersucht. Tabelle 2.2 präsentiert Daten aus einer Desertec-Studie [2-5].

Tabelle 2.2 Potenziale und Effizienz von EET [2-5]

EET-Typ	Biologisch	Geothermie	Wind	Wasser	Solar
Vorzugsregionen in Europa und MENA (Mittlerer bzw. Naher Osten & Nordafrika)	grün 	rot 	weiß 	blau 	gelb 
Wirtschaftliches Potenzial, TWh/a	890	750	1.700	1.090	50.000
Energieeffizienz, GWh/km ² /a	1	1	50	50	250

Die Desertec-Vision wurde von der Desertec-Stiftung (Desertec Foundation) verfolgt, der Organisationen aus dem Mittelmeerraum und Europa angehörten. Seit 2015 wird diese Vision aufgrund der instabilen Lage in Nordafrika nicht weiter verfolgt. Der Hauptantrieb der Desertec-Aktivitäten war die Tatsache, dass der heutige Elektroenergieverbrauch in der Welt durch solarthermische Kraftwerke auf einer Wüstenfläche von 300 x 300 km² abgedeckt werden könnte. In diesem Zusammenhang hatte die Desertec-Stiftung einen „Plan der Erneuerbaren-Energie-Vorkommen“ entwickelt, der eine mögliche Infrastruktur für die nachhaltige Elektroenergieversorgung in Europa, im Nahen und Mittleren Osten sowie in Nordafrika skizziert (Bild 2.2).

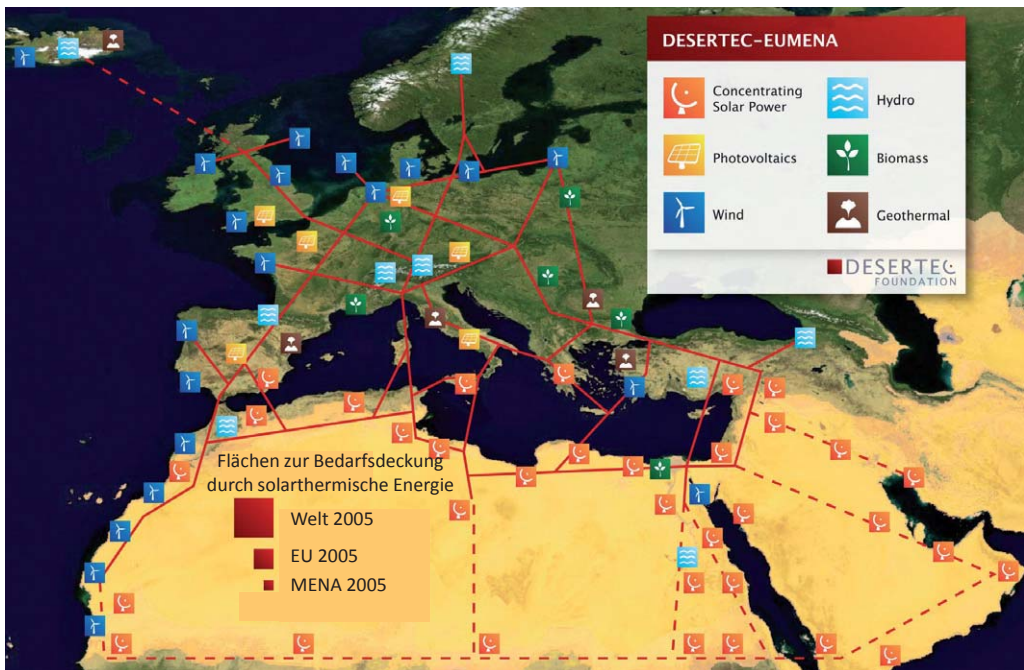


Bild 2.2 Netzwerk erneuerbarer Energieträger zur Deckung des Bedarfs an Elektroenergie (Quelle: Desertec Foundation [2-6])

In diesem Bild sind die Flächen aufgezeigt, die erforderlich sind, um den Bedarf an Elektroenergie (2005) der Welt, Europas und der MENA-Region (Middle East/Nahost und Nordafrika) zu decken. Die erforderliche Fläche für den Weltbedarf bedeckt nur 0,23 % der weltweiten Wüstenlandschaften.

Die Realisierung dieser Vision könnte einen enormen Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Wohlstand in Europa und MENA haben. Beispielsweise kann die gewonnene Elektroenergie auch für die Meerwasserentsalzung genutzt werden und so zur Lösung des Wassermangelproblems in Nordafrika beitragen.

In diesem Zusammenhang bestand das Hauptziel der Stiftung darin, ein Netzwerk von Organisationen aus den genannten Regionen zu bilden und im Dialog das Interesse an Investitionen für entsprechende Großprojekte zu erzeugen.

Der Desertec-Plan war in den Jahren 2000 bis 2015 eine ambitionierte Vision, die aufgrund der instabilen politischen Lage in Nordafrika derzeit nicht weiterverfolgt werden kann. Aber diese Vision zeigt doch deutlich auf, wie der Energiebedarf der Menschheit in der Zukunft auch ohne die umweltschädliche Verbrennung von fossilen Ressourcen aus der Natur, die in Millionen Jahren aufgebaut wurden, gesichert werden kann.

Die meisten Länder der Welt sind heute dabei den Anteil der erneuerbaren Energien bei der Energieanwendung zu steigern, um eine nachhaltige Energieversorgung zu sichern und die Erderwärmung zu begrenzen (siehe auch Kapitel 1 und 9).

2.2 Wetterabhängig schwankende Elektroenergieerzeugung aus Wind und Sonne

2.2.1 Windenergieanlagen

Generell sind Windenergieanlagen nach unterschiedlichen Designkonzepten ausgelegt hinsichtlich ihres Aufbaus, des Generatortyps und seiner Netzanschlussschaltung sowie der Steuerung und Regelung.

Die meisten Windenergieanlagen sind heute mit drei Rotorblättern ausgerüstet, die jeweils um 120° versetzt sind.

Seit dem Ende der 1990er-Jahre haben die Windenergieanlagen massive Technologiesprünge absolviert, wie es in Bild 2.3 dargestellt ist.

Die maximale Leistung derzeit verfügbarer Windenergieanlagen (Stand 2017) liegt bei 7,5 MW [2-7] für Onshore-Anlagen und 9,5 MW [2-8] für Offshore-Anlagen. Vestas V164 bietet die aktuell (2017) leistungsstärkste Offshore-Windenergieanlage mit einem Rotordurchmesser von 164 Metern, einer Turmhöhe von 140 m und einer Nennleistung bis 9,5 MW [2-8]. Aufnahmen von der Errichtung einer modernen Windenergieanlage mit 6,5 MW Nennleistung sind in Bild 2.4 gezeigt. Hier sind der Transport eines Rotorblatts mit 60 m Länge, der Blick auf die Rotoranschlussmechanik und die Anlage insgesamt dargestellt. Die Höhe dieser Anlage erreicht 200 m.

Die ersten modernen Windenergieanlagen wurden für den Betrieb mit einer konstanten Drehzahl unabhängig von der Windstärke ausgelegt. Die Generatoren waren direkt an das elektrische Netz angekoppelt. Bei diesen Konzepten sind Asynchrongeneratoren verwendet und mit Kondensatorbänken ausgerüstet, um den Blindleistungsbedarf zu kompensieren.