

Studienprojekt



Solarthermische Kraftwerke für den Mittelmeerraum

Zusammenfassung

Im Auftrag des

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
(BMU)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Technische Thermodynamik
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

Stuttgart, den 22. März 2005



The Federal Ministry
for the Environment,
Nature Conservation
and Nuclear Safety



Projektleiter:

*Dr. Franz Trieb
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Technische Thermodynamik
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung
Pfaffenwaldring 38-40
D-70569 Stuttgart
Tel.: ++49-711 / 6862-423
Fax: ++49-711 / 6862-783
Email: franz.trieb@dlr.de
<http://www.dlr.de/tt/med-csp>*

MED-CSP Team

German Aerospace Center (DLR)

Dr. Franz Trieb, Dr. Christoph Schillings, Stefan Kronshage, Dr. Uwe Klann,
Dr. Peter Viebahn, Nadine May, Regina Wilde, Christian Paul, Stuttgart, Germany



National Energy Research Center (NERC)

Eng. Malek Kabariti, Amman, Jordan



Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST)

Prof. Dr. Abdelaziz Bennouna, Rabat, Morocco



Nokraschy Engineering GmbH (NE)

Dr. Ing. Hani El Nokraschy, Holm, Germany



New and Renewable Energy Authority (NREA)

Ms. Laila Georgy Yussef, Cairo, Egypt



New Energy Algeria (NEAL)

Tewfik Hasni, Alger, Algeria



Internationales Forschungszentrum für Erneuerbare Energien e.V. (IFEED)

Dr. Nasir El Bassam, Braunschweig, Germany



Hamburg Institute of International Economics (HWWA)

Honorat Satoguina, Hamburg, Germany



Der **MED-CSP Studienbericht** beinhaltet folgende Arbeitspakete:

WP0: Introduction and Summary

WP1: Sustainability Goals in Europe and MENA

WP2: Renewable Energy Technologies

WP3: Renewable Energy Resources

WP4: Demand Side Analysis

WP5: Scenario for Energy and Water Security

WP6: Socio-Economic Impacts of the MED-CSP Scenario

WP7: Environmental Impacts of the MED-CSP Scenario

WP8: Policy Instruments

WP9: Bibliography

WP10: Annex 1 - 11

*Man darf nie aufhören sich die Welt vorzustellen
wie sie am vernünftigsten wäre*

Friedrich Dürrenmatt

Einleitung

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU) empfiehlt in seiner Studie “Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit” auf der Basis der Untersuchungen des International Panel for Climate Change (IPCC) die weltweiten CO₂-Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts um etwa 30 % zu reduzieren um die Konzentration in der Atmosphäre auf 450 ppm zu stabilisieren. Demnach könnten Entwicklungs- und Schwellenländer ihre Emissionen um etwa 30 % erhöhen, um ihrem ökonomischen Wachstum gerecht zu werden, während die heutigen Industrieländer ihre Emissionen um etwa 80 % senken müssten. Da eine gerechte Verteilung ein weiteres Nachhaltigkeitskriterium ist, dürften die globalen pro-Kopf Emissionen dann bei etwa 1 – 1,5 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr liegen. Ökologische Nachhaltigkeit muss jedoch auch Hand in Hand mit ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit gehen, die besonders in Entwicklungsländern den Erhalt bzw. Aufbau von Wohlstand, Entwicklung und den Aufbau neuer Geschäftsfelder erfordern. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Stromsektor, der neben dem Verkehr große Anteile an den Treibhausgasemissionen hat. Ein weiteres Problemfeld ist der zunehmende Bedarf an technisch aufbereitetem Trinkwasser, das einen wachsenden Energieeinsatz bei der Wasserversorgung erfordert.

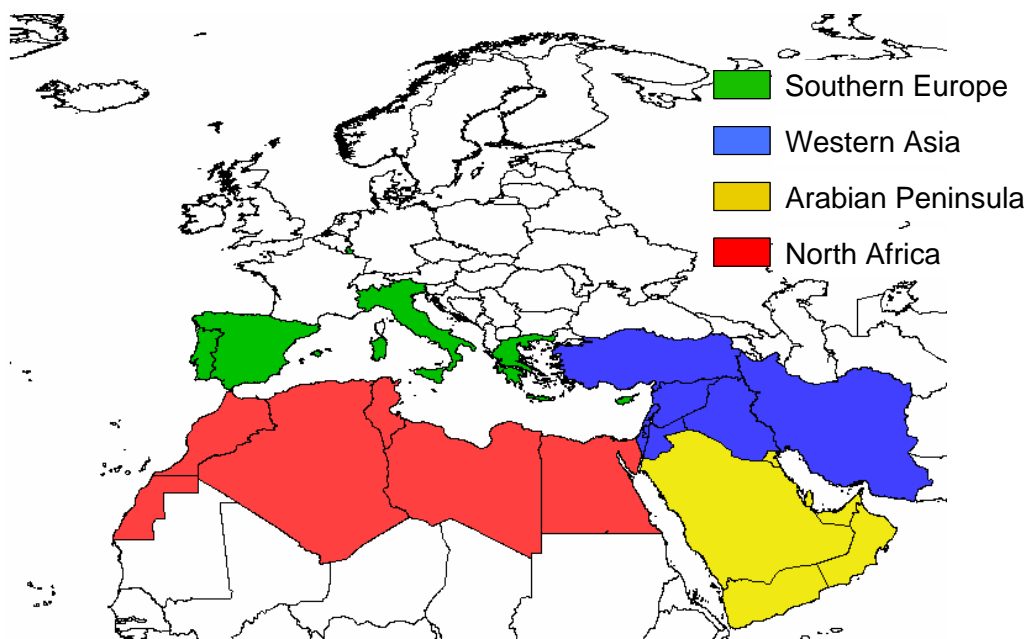


Abbildung 1: Länder, die in der MED-CSP Studie untersucht wurden

Vor diesem Hintergrund empfiehlt der WBGU, Modellprojekte in großem Maßstab zur Einführung Erneuerbarer Energien als strategischen Hebel für eine globale Energiewende einzusetzen. Insbesondere soll eine strategische Energiepartnerschaft zwischen der EU und Nordafrika eingegangen werden, um Potenziale der Sonnenenergienutzung für beide Seiten Gewinn bringend in die europäische Stromversorgung einzubinden: der Süden verfügt aufgrund seines unermesslichen solaren Potenzials über ein kostbares Exportgut, der Norden kann dagegen mit seinem Know How die Nutzung dieses Potenzials unterstützen und gleichzeitig seiner Verantwortung für eine nachhaltige Energienutzung sowie Erfüllen nationaler und internationaler Ziele nachkommen, wie z.B. dem Johannesburg-Beschluss, den Anteil der Erneuerbaren Energien weltweit deutlich und dringend zu erhöhen.

Für den Ausbau der Erneuerbaren Energien sind von Seiten der Politik geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen. Nur in diesem Fall werden Energieversorgungsunternehmen und Investoren, die aufgrund der hohen Investitionen unverzichtbar sind, diese Projekte im Bereich der Erneuerbaren Energien unterstützen, wie z.B. die Einspeisegesetze in Deutschland und Spanien zeigen. Um angemessene Markteinführungsinstrumente und -strategien in den südeuropäischen Ländern und in den Ländern Nordafrikas zu etablieren, sind überzeugende Informationen über die nutzbaren Technologien, Potentiale und Bedarfsstrukturen in diesen Ländern erforderlich. Weiterhin ist zu prüfen, ob der Ausbau erneuerbarer Energien in diesen Ländern zu untragbaren Belastungen der Volkswirtschaft führen würde.

Die Studie gibt dazu belastbare Hintergrundinformationen für Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft, um auf dieser Basis geeignete Strategien und Instrumente für die sichere Versorgung mit Strom und Wasser im Mittelmeerraum entwickeln zu können.

Wichtigste Ergebnisse der MED-CSP Studie

Der Fokus der MED-CSP Studie liegt auf den Angebots- und Bedarfspotentialen für Strom und Wasser und deren Ausbau bis 2050 in den in Abbildung 1 dargestellten Ländern in Südeuropa (Portugal, Spanien, Italien, Griechenland, Zypern, Malta), Nordafrika (Marokko, Algerien, Tunesien, Libyen, Ägypten), Westliches Asien (Türkei, Iran, Iraq, Jordanien, Israel, Libanon, Syrien) und der Arabischen Halbinsel (Saudi Arabien, Jemen, Oman, Vereinigte Arabische Emirate, Kuwait, Qatar, Bahrain).

Die Ergebnisse der MED-CSP Studie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit im Energiesektor kann nur mit erneuerbaren Energien erreicht werden. Die derzeitig vorhandenen Strukturen und Maßnahmen sind nicht ausreichend, um dieses Ziel zu erreichen.
- Ein ausgewogener Mix erneuerbarer Energietechnologien kann konventionelle Stromerzeugung im Grund-, Mittel- und Spitzenlastbereich ersetzen. Damit können neue Geschäftschancen eröffnet und die globale Verfügbarkeit fossiler Energieträger umweltkompatibel auch für kommende Generationen gesichert werden.
- In der EU-MENA Region sind erneuerbare Energiequellen im Überfluss vorhanden und können dem wachsenden Energiebedarf dieser Länder standhalten. Die Ressourcen sind so groß, dass langfristig auch ein Export erneuerbarer Energie nach Mitteleuropa in Frage kommt.
- Erneuerbare Energien sind die kostengünstigste Option, um eine nachhaltige Versorgungssicherheit für Strom und Wasser in der EU-MENA Region zu erreichen.
- Erneuerbare Energien sind der Schlüssel für nachhaltige Entwicklung und Wohlstand in MENA, weil sie die ökologischen und ökonomischen Voraussetzungen dafür in Einklang bringen.
- Erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung sind die Säulen einer nachhaltigen Energieversorgung. Sie brauchen zeitlich begrenzte staatliche Anschubinvestitionen, aber keine langfristigen Subventionen wie fossile und nukleare Energien.
- Angemessene Instrumente zur beschleunigten Markteinführung erneuerbarer Energien müssen unverzüglich in den EU-MENA Ländern etabliert werden.

Kapitel 1 gibt eine Übersicht der derzeitigen Anstrengungen in EU und MENA zum Erreichen der Klimaschutz- und Entwicklungsziele. Es zeigt, dass die derzeitigen Maßnahmen nicht ausreichen, um die Treibhausgasemissionen im Elektrizitätssektor auf ein umweltverträgliches Maß zu reduzieren (Abbildung 2).

Nachhaltigkeit muss jedoch nicht nur im Bereich des Klimaschutzes, sondern auch im wirtschaftlichen, technologischen und sozialen Bereich erreicht werden, und die angestrebten Lösungen müssen bezahlbar sein. Der Nachhaltigkeitshorizont liegt bei mindestens 50-100 Jahren, und Strategien müssen so ausgerichtet sein, dass sie diesem Horizont entsprechen. Strategien, die einen Weg zu kurzfristigeren Zielen anstreben, können durchaus in die falsche Richtung weisen, da notwendige Maßnahmen zum Erreichen der eigentlichen, langfristigen Ziele verschleppt oder ignoriert werden.

Das vom WBGU vorgeschlagene Nachhaltigkeitsziel, die pro Kopf Emissionen von Kohlendioxid bis 2050 auf etwa 1 Tonne pro Jahr zu senken ist eine große Herausforderung, da alle EU Staaten heute weit über diesem Niveau liegen, und die meisten MENA Staaten bereits heute dieses Niveau erreicht haben, aber noch am Anfang ihrer wirtschaftlichen Entwicklung stehen und deshalb mit steigenden pro Kopf Emissionen zu rechnen ist. Der faire und bezahlbare Zugang zu Energie und Wasser für eine schnell wachsende Bevölkerung ist ein weiteres Nachhaltigkeitsziel in MENA.

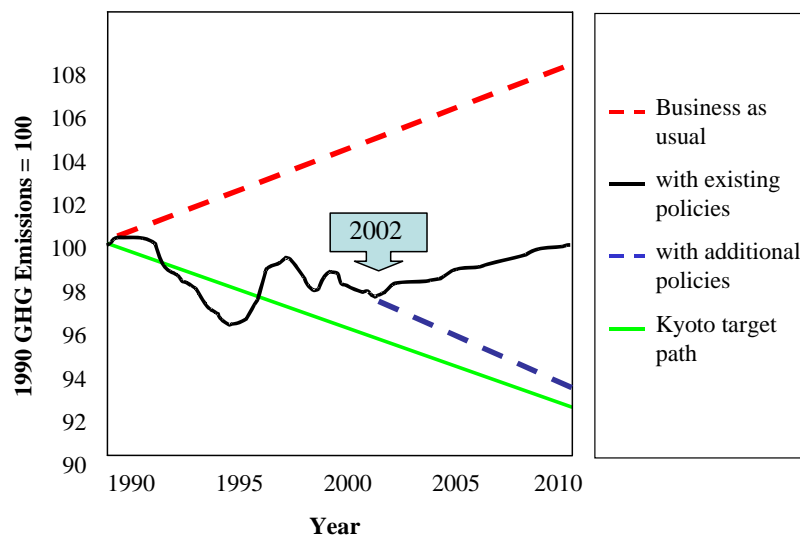


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen in EU-15 bis 2002 und Ausblick bis 2010

Die heute – vor allem in der EU – eingesetzten Instrumente zur Markteinführung erneuerbarer Energien reichen von den Kyotoinstrumenten (ET, CDM, JI) über Quotenmodelle bis hin zu den Einspeisegesetzen für erneuerbare Elektrizität in Deutschland und Spanien. Gleichzeitig erfolgt eine weitgehende Liberalisierung des Strommarktes. Trotz der globalen Vorreiterrolle Europas in Sachen Klimaschutz sind auch diese Instrumente noch nicht ausreichend, um die langfristigen Ziele zu erreichen (Pfad „Existing Policies“ in Abbildung 2. Selbst mit Hilfe von zusätzlichen Maßnahmen („Additional Policies“) die erst noch eingeführt werden müssen und bisher noch nicht definiert sind, kann es erst langfristig gelingen, den Kyoto-Zielpfad wieder zu erreichen. Der Beitrag beschreibt in Kapitel 8 solche möglichen zusätzlichen Maßnahmen.

In den Ländern Nordafrikas und des Mittleren Ostens hat Klimaschutz nur eine untergeordnete Bedeutung, und nur wenige Länder haben das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Hier steht die

wirtschaftliche Entwicklung im Vordergrund, die oft im Widerspruch zu den Umweltbelangen gesehen wird. Eine erfolgreiche Strategie muss beide Ziele – Umweltschutz und wirtschaftliche Entwicklung – vereinen, um durchsetzbar zu sein. Intensive internationale Kooperation und Zusammenarbeit ist eine weitere Voraussetzung für eine erfolgreiche Nachhaltigkeitsstrategie. Die zu lösenden globalen Probleme überfordern in der Regel die Handlungsfähigkeit nationaler Regierungen. Trotzdem sind diese für den unverzüglichen Anstoß einer solchen internationalen Kooperation verantwortlich.

Kapitel 2 gibt eine Übersicht über die technischen Möglichkeiten erneuerbarer Energieerzeugung und Anwendung im Stromsektor und für die Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere auch zur Entsalzung von Meerwasser.

Obwohl der Fokus der Studie auf der solarthermischen Stromerzeugung liegt, werden auch andere erneuerbare Energien wie Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Geothermie und die Nutzung von Biomasse beschrieben, die im Grunde ebenfalls konzentrierte Sonnenenergie darstellen (mit Ausnahme der Geothermie, bei der es sich um Wärme aus dem nuklearen Zerfall im Erdinneren handelt). Biomasse stammt in unserem Szenario aus organischen kommunalen und landwirtschaftlichen Abfällen oder aus nachwachsenden Rohstoffen, insbesondere Holz. Wegen der starken Konkurrenz mit Wasser und Flächen für Nahrung in der MENA Region wurden Energiepflanzen als Option ausgeschlossen. Erneuerbare Energietechnologien müssen im Kontext und im Zusammenspiel mit allen anderen verfügbaren Energiequellen gesehen werden.

Die verschiedenen Quellen unterscheiden sich unter anderem in ihrem Leistungskredit, das heißt in ihrem Beitrag zur gesicherten Leistung eines Kraftwerksparks (Tabelle 1). Elektrizität muss entsprechend der aktuellen Nachfrage zur Verfügung gestellt werden. Fluktuierende Quellen wie Laufwasserkraft, Windkraft und Photovoltaik können zwar elektrische Energie, aber nur relativ geringe Beiträge zur gesicherten Leistung liefern. Sie müssen deshalb durch besser regelbare Quellen wie Biomasse, Geothermie, Speicherwasserkraft und solarthermische Kraftwerke ergänzt werden, die jederzeit Leistung auf Nachfrage liefern und sowohl Spitzen-, Mittellast- und Grundlaststrom bereitstellen können.

In einem nachhaltigen Stromversorgungssystem werden fossile Energien nur noch für den Zweck eingesetzt, für den sie ideal geeignet sind, nämlich zur Deckung von Lastspitzen. Durch diese Reduktion auf ihre Kernfunktion wird ihr Verbrauch auf ein umweltkompatibles Maß reduziert und ihre Verfügbarkeit auf Jahrhunderte verlängert. Die teure und energieintensive Sequestrierung von Kohlendioxid aus den Rauchgasen wird dabei überflüssig.

Der Großteil der Grundlast- und Mittellastversorgung stammt aus regenerativen Quellen, die – einen ausgewogenen Mix aus fluktuierenden und gut regelbaren Quellen vorausgesetzt – diese Funktionen ohne weiteres erfüllen können, zusammen sogar eine bessere Anpassung an die zeitlichen Schwankungen der elektrischen Last aufweisen als konventionelle Kraftwerke.

Solarthermische Kraftwerke mit ihrer guten thermischen Speicherfähigkeit und Hybridisierbarkeit mit Brennstoffen stellen dabei ein ideales Bindeglied zwischen den fossilen und erneuerbaren Energieträgern und ein Schlüsselement der Netzstabilisierung dar.

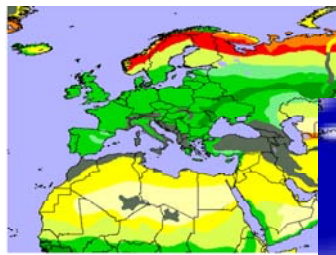
Große nukleare Kraftwerke, die aufgrund ihrer hohen Investitionen und physikalischen Eigenschaften nicht für den Spitzenlastbetrieb einsetzbar sind, würden in einem solchen System sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr benötigt (Abbildung 8).

	Leistungsklasse	Leistungskredit	Kapazitätsfaktor	Ressource	Anwendungen	Bemerkung
Windkraft	1 kW – 5 MW	0 – 30 %	15 – 50 %	kinetische Energie des Windes	Strom	fluktuierend, angebotsbestimmt
Photovoltaik	1 W – 5 MW	0 %	15 – 25 %	direkte und diffuse Strahlung auf eine entsprechend dem Breitengrad geneigte Fläche	Strom	fluktuierend, angebotsbestimmt
Biomasse	1 kW – 25 MW	50 - 90 %	40 – 60 %	Biogas aus biologischen Abfällen, feste Biomasse aus Holz und Agrarprodukten	Strom und Wärme	saisonale Schwankungen, gut speicherbar, bedarfsbestimmt
Geothermie (Hot Dry Rock)	25 – 50 MW	90 %	40 – 90 %	Wärme aus Gesteinen in mehreren 1000 Metern Tiefe	Strom und Wärme	keine Schwankungen, bedarfsbestimmt
Wasserkraft	1 kW – 1000 MW	50 - 90 %	10 – 90 %	kinetische Energie und Druck aus Laufwasser und Speicherseen	Strom	saisonale Schwankungen, gut speicherbar, auch als Pumpspeicher für andere Quellen
Aufwindkraftwerk	100 – 200 MW	10 bis 70 % je nach Speicher	20 - 70 %	Direkte und diffuse Strahlung auf eine horizontale Fläche	Strom	saisonale Schwankungen, gut speicherbar, Grundlast
Solarthermische Kraftwerke	10 kW – 200 MW	0 bis 90 % je nach Speicher und Hybridisierung	20 - 90 %	Direkte Strahlung auf eine der Sonne nachgeführte Fläche	Strom und Wärme	solare Schwankungen durch Speicher und Hybridbetrieb ausgleichbar, bedarfsbestimmt
Gasturbine	0.5 – 100 MW	90 %	10 – 90 %	Erdgas, Heizöl	Strom und Wärme	bedarfsbestimmt
Dampfkraftwerk	5 – 500 MW	90 %	40 – 90 %	Kohle, Braunkohle, Erdgas, Heizöl	Strom und Wärme	bedarfsbestimmt
Atomkraftwerk	um 1000 MW	90 %	90 %	Uran	Strom und Wärme	Grundlast

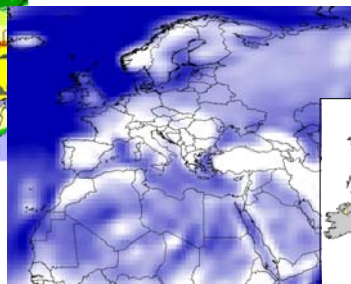
Tabelle 1: Eigenschaften derzeitiger Stromerzeugungstechnologien

Kapitel 3 analysiert die Angebotspotenziale erneuerbarer Energien für jedes einzelne Land in EU-MENA. Die Ergiebigkeit aller Ressourcen wurde in geographischen Karten visualisiert und die technischen und ökonomischen Gesamtpotenziale erneuerbarer Elektrizität individuell für jedes Land quantifiziert (Abbildung 3 und Abbildung 4). Die Ergiebigkeit der erneuerbaren Quellen wurde durch spezielle Ertragsindikatoren dargestellt (z.B. Direkt-Normal-Strahlung, Windgeschwindigkeit, typische Vollaststunden pro Jahr u. a.).

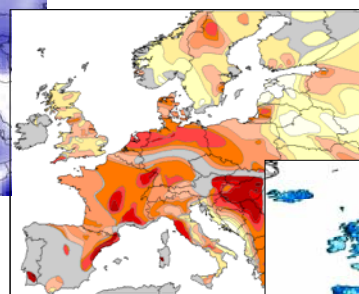
Biomasse



Windenergie



Geothermie



Wasserkraft

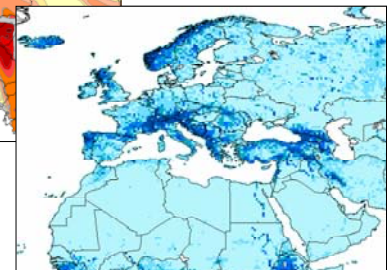


Abbildung 3: Ertragskarten der verschiedenen erneuerbaren Energiequellen in EU-MENA (Erklärung des Farbcodes im Hauptbericht)

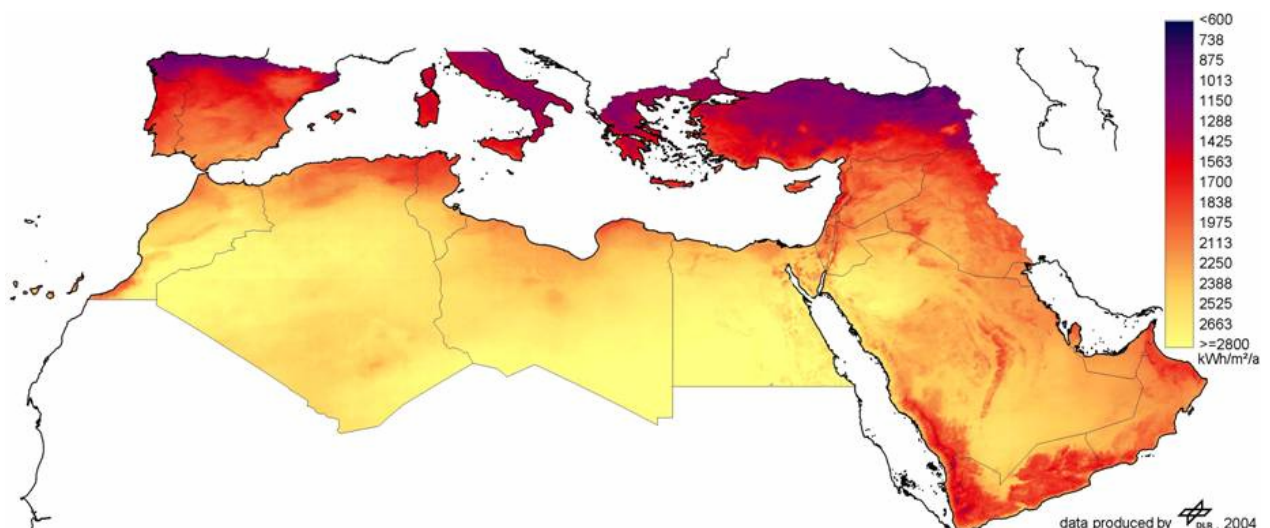


Abbildung 4: Jahressumme der direkten solaren Einstrahlung auf nachgeführte, konzentrierende Kollektorflächen (Direkt-Normal-Strahlung) in der südlichen EU-MENA Region in kWh/m²/a. Die eingestrahelte solare Primärenergie entspricht der Heizenergie von 1-2 Barrel Rohöl pro Quadratmeter und Jahr.

Die erneuerbaren Energiequellen in den in der Studie analysierten Ländern können dem wachsenden Energiebedarf dieser Länder ohne weiteres standhalten. Wind-, Geothermie-, Biomasse- und Wasserkraftpotenziale liegen in der Größenordnung von je 400 TWh/a. Diese Ressourcen sind mehr oder weniger regional konzentriert und nicht überall verfügbar, können jedoch über das Stromnetz verteilt werden. Die bei Weitem größte verfügbare Ressource ist die Solarstrahlung, mit einem Gesamtpotenzial, das den Weltstromverbrauch um mehrere Größenordnungen übersteigt (Abbildung 4).

Diese Ressource kann sowohl in Photovoltaikanlagen als auch in solarthermischen Kraftwerken genutzt werden. Auf diese Weise kann sowohl der urbane Bedarf der wachsenden Großstädte als auch der Bedarf einer zunehmend elektrifizierten Landbevölkerung kostengünstig und umweltfreundlich gedeckt werden.

Kapitel 4 quantifiziert die Bedarfspotenziale für jedes einzelne Land der untersuchten Region. Die treibenden Kräfte eines wachsenden Energieverbrauchs, das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, wurden länderspezifisch erfasst und als sozio-ökonomische Leitplanken in einem Szenario bis 2050 beschrieben. Sie führen zu einem bedeutenden Zuwachs des Strom- und Wasserbedarfs der Region. Die MENA Länder werden demnach im Jahr 2050 einen Stromverbrauch haben, der dem des heutigen Europa entspricht (etwa 3500 TWh/a). Trotz in einigen Ländern entsprechend den Szenarien der Vereinten Nationen angenommener rückläufiger Bevölkerungszahlen und voraussichtlicher Effizienzsteigerungen wird der Stromverbrauch der gesamten Region von heute knapp 1500 TWh/a bis 2050 in etwa auf 4100 TWh/a ansteigen (Abbildung 5). Dies ist eine eher konservative Schätzung, da sich der Stromverbrauch dieser Länder in den letzten 20 Jahren beinahe verdreifacht hat. Es wurden verschiedene Szenarien mit unterschiedlichem Wirtschaftswachstum untersucht, wobei sich zeigte, dass ein geringeres Wirtschaftswachstum infolge geringerer Umsetzbarkeit von Effizienzmaßnahmen sogar zu noch höheren Stromverbräuchen führen kann.

Der Wasserbedarf der untersuchten MENA-Länder wird von heute 300 Milliarden Kubikmeter pro Jahr auf über 500 Mrd. m³/a im Jahr 2050 ansteigen. Die meisten Länder weisen im Agrarsektor stagnierenden oder sogar rückläufigen Wasserverbrauch auf, während der kommunale und industrielle Wasserbedarf stark ansteigt. In vielen MENA Ländern und regional auch in einigen südeuropäischen Ländern werden die natürlichen Süßwasserressourcen schon heute über ein nachhaltiges Maß hinaus ausgebeutet, mit infolgedessen sinkendem Grundwasserspiegel.

Diese nur temporär mögliche Überlastung der natürlichen Ressourcen muss in Zukunft trotz eines ansteigenden Trinkwasserbedarfs zurückgefahren und anschließend nachhaltig vermieden werden. Dies wird neben einem verbesserten Wassermanagement effiziente und umweltkompatible Technologien zur Meerwasserentsalzung auf der Basis nachhaltig und kostengünstig verfügbarer Energiequellen erfordern.

Fossile und nukleare Brennstoffe können diese Kriterien nicht nachhaltig erfüllen. Im Gegenteil, schon heute müssen sie infolge ihrer hohen Kosten subventioniert werden, und gelten als Auslöser ernsthafter internationaler Konflikte und einer gefährlichen Veränderung des Weltklimas. Zudem werden diese Ressourcen zwingend immer knapper und teurer. Selbst in den ölfördernden Ländern der OPEC zeichnet sich ein zunehmender Konflikt zwischen Export und Eigenverwendung der fossilen Brennstoffressourcen ab. Als Basis für eine nachhaltige Versorgung der wachsenden Bevölkerung MENA's mit Strom und Wasser kommen sie deshalb nicht in Frage, wohl aber als Teilelement einer solchen Strategie.

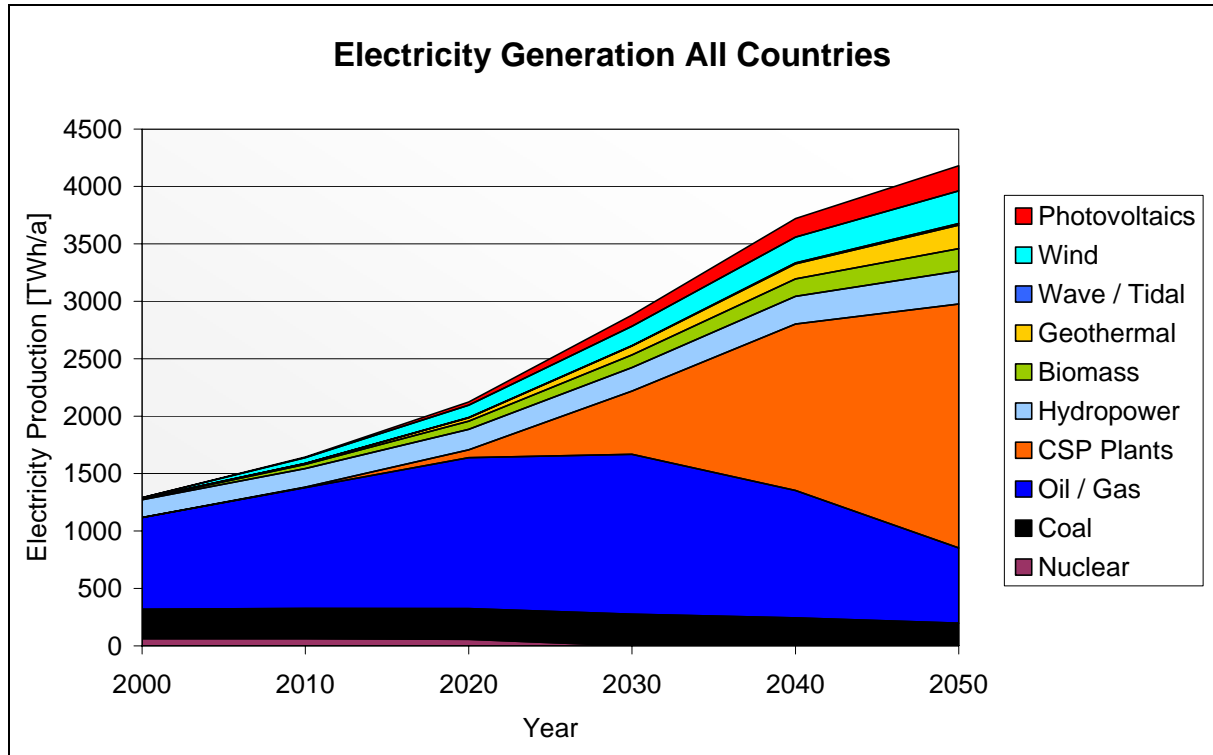


Abbildung 5: Jährliche Stromerzeugung aller untersuchten Länder im MED-CSP Szenario bis 2050

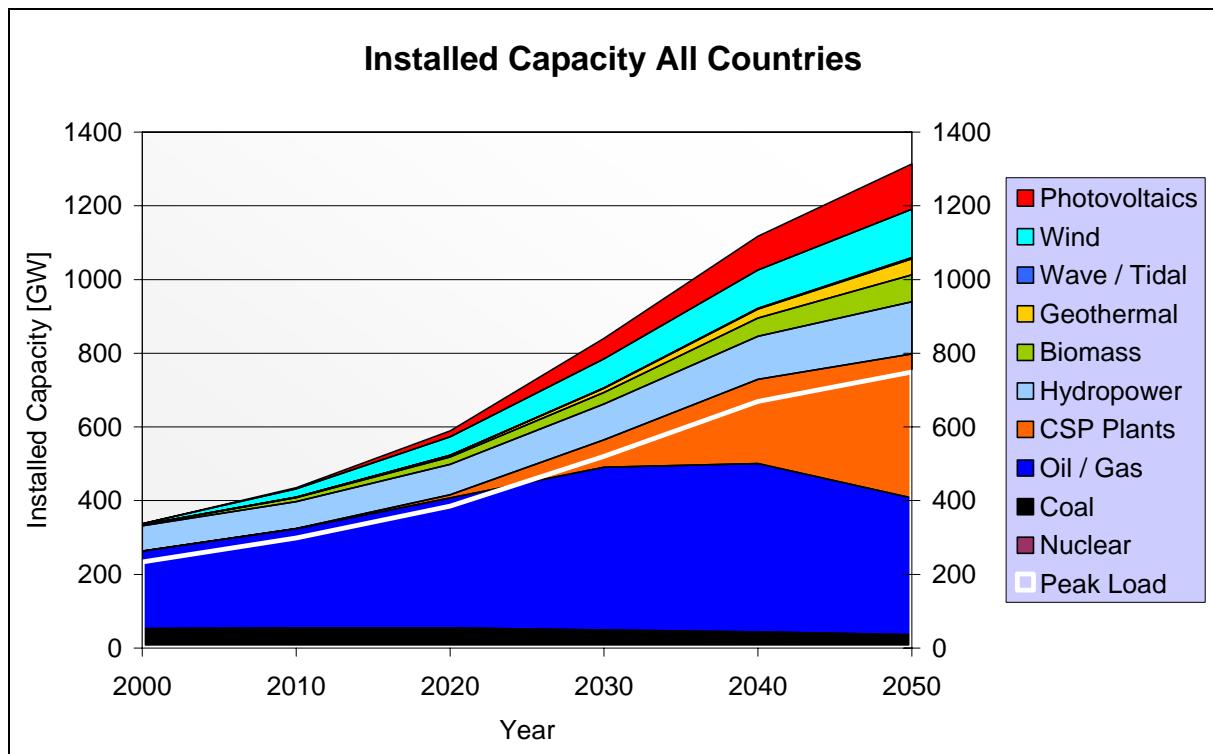


Abbildung 6: Installierte Kraftwerksleistung und Spitzenlast im MED-CSP Szenario bis 2050. Die installierte Leistung des Kraftwerksparks ist so ausgelegt, dass zu jeder Zeit eine gesicherte Leistung mit zusätzlich 25 % Reservekapazität bzgl. der Spitzenlast zur Verfügung gestellt werden kann.

Kapitel 5 quantifiziert den möglichen Ausbau erneuerbarer Energiequellen zur Stromerzeugung in den untersuchten Ländern bis zum Jahr 2050 (Abbildung 5). Jedes Land weist dabei einen eigenen Mix erneuerbarer und fossiler Energiequellen auf, um eine nachhaltige Versorgung zu erreichen (Abbildung 8). So hat jedes Land eigene Bedarfs- und Versorgungsstrukturen, die auf unterschiedliche Weise in Einklang gebracht werden müssen. Das MED-CSP Szenario zeigt einen Weg auf, um dies in ökonomisch, ökologisch und sozial verträglicher Weise zu erreichen. Dabei wurde keine Kostenoptimierung im mathematischen Sinne durchgeführt, die aufgrund der notwendigen Extrapolationen bis 2050 äußerst fragwürdig wäre. Stattdessen wurden Leitplanken definiert, die einen plausiblen, widerspruchsfreien Parameterbereich definieren, innerhalb dessen sich der Energiemix mit der Zeit verändert, ohne die Leitplanken zu überschreiten. Das Ergebnis ist keine Prognose und auch kein Optimum, sondern ein möglicher, konsistenter Weg in die Zukunft, dessen Realisierung aktive, zielgerichtete Maßnahmen erfordert. Das Szenario wird sich nicht zwingend „von selbst“ einstellen.

Die folgenden Größen wurden als Leitplanken berücksichtigt, um die Potenziale erneuerbarer Energiequellen in den einzelnen Ländern einzugrenzen:

- erneuerbare Energieressourcen (Wind, Wasserkraft, Sonne, Erdwärme, Biomasse)
- maximale Wachstumsraten der Produktionskapazitäten erneuerbarer Energietechnologien
- jährlicher Strombedarf und Wasserbedarf auf der Basis der treibenden Kräfte von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum
- Entwicklung von Spitzenlast und notwendiger Leistungsreserven
- Erneuerungsbedarf von Kraftwerkskapazitäten
- Strompreise im Vergleich zu konkurrierenden Technologien
- Finanzierungsmöglichkeiten
- Politikinstrumente und ökonomische Rahmenbedingungen
- Netzinfrastruktur und Anbindungskosten.

Diese Parameter wurden nicht als Konstanten, sondern in ihrem dynamischen Übergang zu einem nachhaltigen Energieversorgungssystem betrachtet.

Erneuerbare Energien brauchen staatliche Anschubinvestitionen, um sich in Nischenmärkten etablieren zu können, werden aber infolge von Lern- und Skaleneffekten schon innerhalb weniger Jahre zur kostengünstigsten Primärenergiequelle für die Stromversorgung werden (Abbildung 9). Nach 2025 wird Strom aus erneuerbaren Quellen deutlich kostengünstiger sein als Strom aus fossilen Energiequellen, selbst wenn die durch deren Umweltbelastungen entstehenden externen Kosten nicht hinzugerechnet werden. Erneuerbare Energien sind der einzige Weg, um Energiekosten langfristig auf einem niedrigen Niveau zu stabilisieren.

Die meisten MENA Länder weisen heute ein relativ hohes Wirtschaftswachstum auf, das bis zur Mitte des Jahrhunderts zu einem wirtschaftlichen Angleich an die europäischen Länder führen wird. Die bisherigen Strategien zur Energie- und Wasserversorgung werden jedoch schon innerhalb weniger Jahre zu einer ernststen Verknappung und Verteuerung der natürlichen Ressourcen führen. Infolge wird die wirtschaftliche Entwicklung dieser Länder mit zunehmenden Konflikten und Subventionen belastet werden. Dazu kommen die Auswirkungen der

Klimaveränderungen, die diese Länder besonders schwer treffen werden, in Form von Erosion, Verlust von fruchtbarem Land und Überschwemmungen. Als Folge des Wassermangels werden Nahrungsimporte zunehmen, aber es ist unklar, wie dies finanziert werden soll.

Ein Umstieg zu erneuerbaren Energien wird hingegen zu bezahlbarer und sicherer Energie und Wasser führen. Dies wird keine lang anhaltenden Subventionen wie im Fall fossiler und nuklearer Brennstoffe erfordern, sondern lediglich eine anfängliche staatliche Investition im Rahmen einer konzertierten Aktion der EU-MENA Länder, um erneuerbare Energien auf dem Markt zu etablieren und ihnen das durchlaufen ihrer Lernkurven zu ermöglichen.

Das absehbare Wachstum des Stromverbrauchs in den MENA-Ländern bis zur Mitte des Jahrhunderts ist nur mit Hilfe erneuerbarer Energien überhaupt möglich, wie der Vergleich von Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigt. Der Stromverbrauch vieler Länder wie Ägypten und der Türkei wird den der heutigen EU Länder wie z.B. Italien weit übertreffen. Auch ölfördernde Länder wie der Iran, Iraq, Saudi Arabien und andere folgen diesem Trend, mit einem zunehmenden Konflikt zwischen Eigenverbrauch und Export der wertvollen Ressource.

Ein bedeutender Rückgang des Verbrauchs fossiler Ressourcen zeichnet sich nur in Europa ab, der Verbrauch in den meisten MENA Ländern wird eher zunehmen oder bestenfalls stagnieren, und das trotz eines intensiven Ausbaus erneuerbarer Quellen. In Europa wird dies mit Hilfe von Biomasse, Windenergie und Wasserkraft und mit kleineren Anteilen anderer erneuerbarer Quellen erreicht. Die größte Energieressource in MENA sind die konzentrierenden solarthermischen Kraftwerke, die in den meisten Ländern den Großteil der Versorgung übernehmen werden, nicht zuletzt auch wegen ihrer guten Regelbarkeit zur Netzstabilisierung. Windenergie ist besonders in Marokko, Ägypten und Oman vorhanden, Geothermieressourcen in der Türkei, Iran, Saudi Arabien und Yemen. Größere Wasserkraft- und Biomasseanteile sind auf Ägypten, Iran, Iraq und die Türkei beschränkt. Photovoltaik wird sich erfolgreich im dezentralen Einsatz etablieren, zunächst vor allem in netzfernen Gebieten. Im netzgekoppelten Einsatz wird die Photovoltaik etwa ab 2030–2040 konkurrenzfähig gegenüber anderen Quellen. Der Kostenvorsprung von CSP gegenüber PV, die relativ geringen Anteile potenzieller netzunabhängiger PV-Nutzer und der rasche Bedarfszuwachs an gesicherter elektrischer Leistung führen in der MENA Region zu deutlich höheren Anteilen der CSP-Technologien.

Kapitel 6 beschreibt die sozio-ökonomischen Auswirkungen des in der Studie entwickelten Szenarios. Der wichtigste sozio-ökonomische Vorteil des in dem Szenario beschriebenen Ausbaus erneuerbarer Energien ist eine Stabilisierung der Stromgestehungskosten auf niedrigem Niveau und ein verminderter Subventionsbedarf im Stromsektor. In vielen Ländern wird die Abhängigkeit von Energieimporten reduziert und es werden neue Geschäftschancen für die industrielle Entwicklung geschaffen. In der gesamten EU-MENA Region könnten etwa 2 Millionen direkte und indirekte Arbeitsplätze im erneuerbaren Energiebereich entstehen.

Oft wird den erneuerbaren Energien wegen ihrer anfänglich höheren Kosten ein Widerspruch zwischen ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeitszielen unterstellt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Erneuerbare Energien brauchen zwar heute zeitlich begrenzte staatliche Investitionen, um im Markt etabliert zu werden, können aber infolge ihrer rapiden Kostensenkung schon innerhalb eines Jahrzehnts zur kostengünstigsten Versorgungsoption werden.

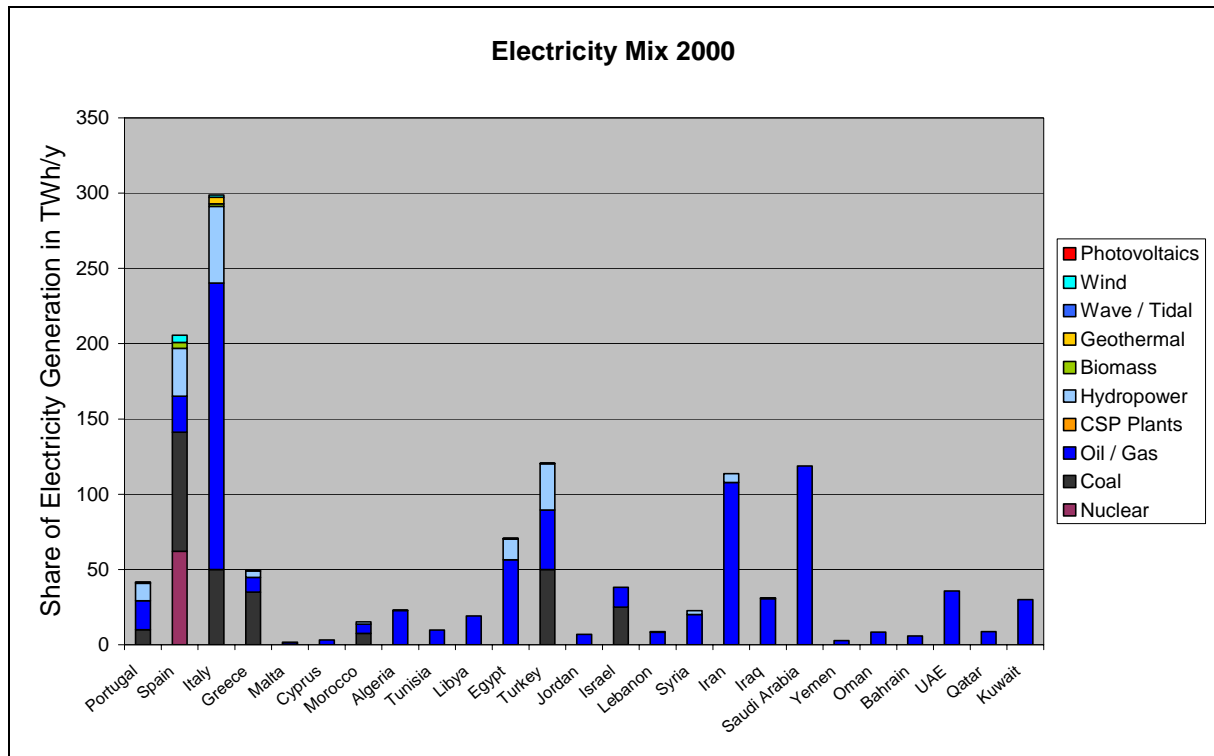


Abbildung 7: Stromverbrauch und Anteile der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien in den untersuchten Ländern im Jahr 2000

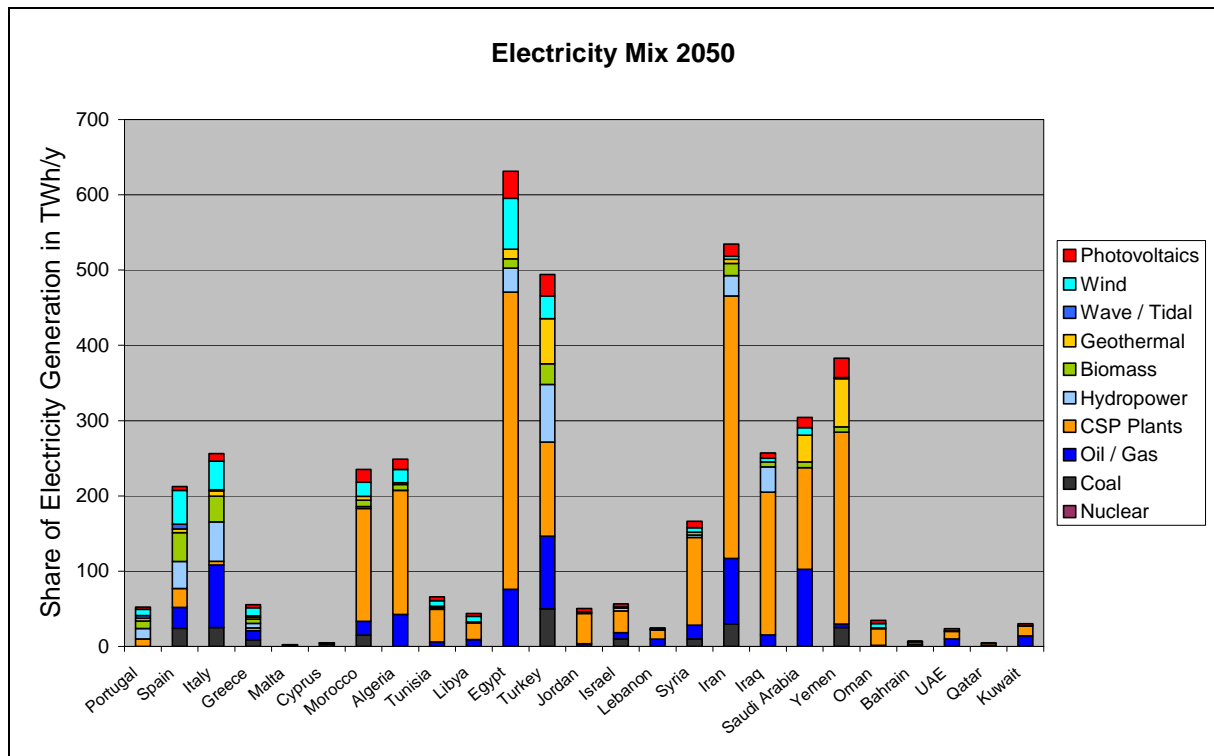


Abbildung 8: Stromverbrauch und Anteile der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien in den untersuchten Ländern im Jahr 2050 im Rahmen des MED-CSP Szenarios.

In einem „Business-as-Usual“ Szenario würden die Treibhausgasemissionen im Stromsektor der MENA Länder auf Werte ansteigen, die den heutigen in Europa ähnlich sind, mit verheerenden Folgen für das Weltklima. Eine Sequestrierung von Treibhausgasen wäre unerlässlich, würde aber die aufstrebenden Volkswirtschaften in MENA zusätzlich zu den ohnehin steigenden Energiekosten ökonomisch stark belasten. Im Gegensatz dazu weisen erneuerbare Energien kontinuierlich fallende Kosten auf, die lediglich vom jeweiligen technischen Stand und Know-How, aber nicht von knappen Ressourcen abhängen (Abbildung 9). Hohes Wirtschaftswachstum führt in diesem Fall sogar zu einer verbesserten Umsetzbarkeit von Effizienzmaßnahmen als eine stagnierende Wirtschaft.

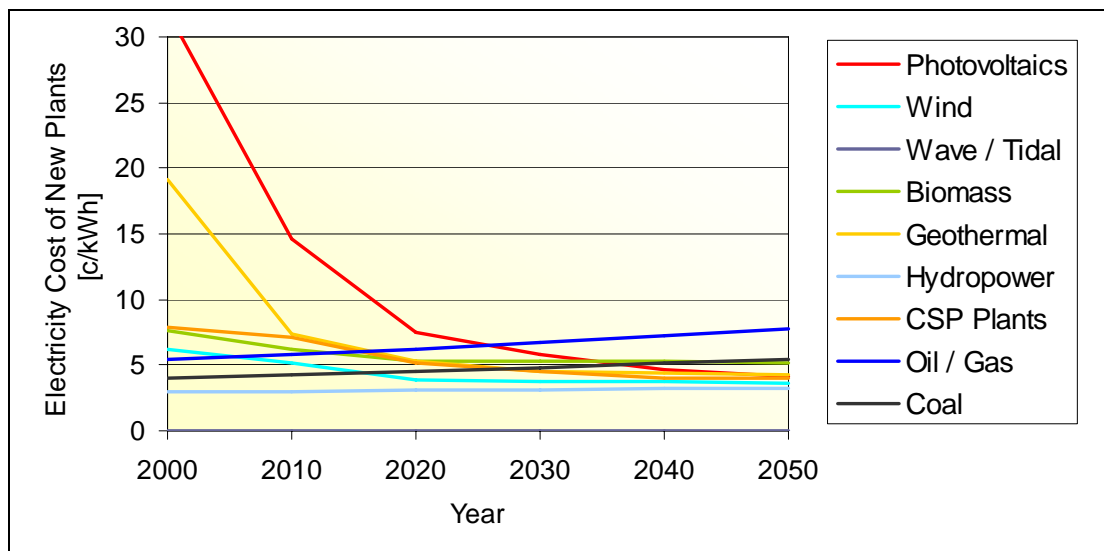


Abbildung 9: Beispiel für die Entwicklung der Stromgestehungskosten neuer Kraftwerke im MED-CSP Szenario (Diskontrate 5 % real, anfängl. Brennstoffpreis 25 \$/barrel Öl bzw. 49 \$/Tonne Kohle, Steigerungsrate 1 %/a. Fallbeispiel Ägypten).

Viele MENA-Länder werden von einer Senkung ihrer Energiesubventionen profitieren, die bereits heute ihre Volkswirtschaften ernsthaft beeinträchtigen. Dies betrifft vor allem jene Länder, die über keine eigenen fossilen Energieressourcen verfügen und diese auf dem Weltmarkt erwerben müssen, wie z.B. Jordanien und Marokko.

Aber auch die Öl und Gas exportierenden Länder haben Vorteile, da sie ihre wertvollen Exportprodukte nicht zunehmend für den eigenen Bedarf verbrennen müssen, sondern zu steigenden Preisen auf dem Weltmarkt verkaufen können. Zusätzlich könnten sie in Zukunft sogar dazu übergehen, Solarstrom zu exportieren. Eine starke Industrie im Bereich erneuerbarer Energien wird hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen und die bisherige Auswanderung qualifizierter Fachkräfte mindern.

Die Situation der Wasserversorgung in MENA ist sehr kritisch. Mancherorts sinkt der Grundwasserspiegel um bis zu 6 Meter pro Jahr. Millionenstädte wie z.B. die Hauptstadt Sana'a des Jemen könnten bereits in 10 Jahren plötzlich ohne Wasserversorgung dastehen, wenn ihre Grundwasserreserven vollständig erschöpft sind. Eine nachhaltige Lösung wird neben einem besseren Wassermanagement nur in der verstärkten Entsalzung von Meerwasser gesehen. Auf der Basis fossiler oder nuklearer Energieträger wäre dies jedoch weder bezahlbar noch sozial- und umweltverträglich, eine nachhaltig sichere Versorgung wäre auf dieser Basis

nicht gewährleistet. Auch hier können nur erneuerbare Energien die notwendige kostengünstige und umweltverträgliche Grundlage für eine nachhaltige Versorgung schaffen und das große soziale Konfliktpotential der Wasserknappheit in MENA reduzieren.

Kapitel 7 fasst die wichtigsten Umweltauswirkungen des Szenarios zusammen. Die Treibhausgasemissionen der betrachteten Länder werden bis 2050 trotz des wachsenden Stromverbrauchs und bei geringeren Stromkosten als mit fossilen Energiequellen um etwa 40 % gesenkt (Abbildung 10). Eine weitverbreitete Fehleinschätzung geht von einem erhöhten Landschaftsverbrauch erneuerbarer Energien, vor allem der Solartechnik aus. In Wirklichkeit ist der Landschaftsverbrauch der Solaranlagen geringer als der der meisten anderen Stromerzeugungstechnologien. Zwar haben fossil und nuklear befeuerte Kraftwerke nur einen geringen Flächenbedarf, aber zu ihrem Betrieb sind weitere große Infrastrukturmaßnahmen erforderlich, wie z.B. Tage- und Untertagebau, Transportwege, Entsorgungseinrichtungen u.a., die unter Umständen für sehr lange Zeit große Flächen belegen und damit letztlich zu einem deutlich größeren Flächenverbrauch führen als Sonnenkollektoren.

Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass z.B. Windparks durchaus noch für andere Zwecke wie z.B. Landwirtschaft und Weiden dienen können, dass Photovoltaik meistens in Dachflächen und Gebäudefassaden integriert wird oder dass der unter großen konzentrierenden Solarkollektorfeldern entstehende Halbschatten insbesondere zusammen mit der kombinierten Wasserentsalzung zur Gewinnung zusätzlicher landwirtschaftlicher Flächen in den Wüstenregionen genutzt werden könnte, für Landwirtschaft, Hühnerfarmen, Gewächshäuser usw.

Während des Betriebs weisen erneuerbare Energietechnologien keine Emissionen auf. Die meisten Emissionen entstehen bei der Herstellung der Anlagen, was durch die heute im Wesentlichen auf fossilen Energieträgern basierende Energieversorgung bei der Produktion bedingt ist. Mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien nehmen jedoch auch diese Emissionen im Laufe der Zeit ab, so dass langfristig eine sehr saubere Stromerzeugung möglich ist.

Die Emissionen fossiler Energiesysteme liegen ein bis zwei Größenordnungen höher als die erneuerbarer Energien. CO₂-Sequestrierung würde zusätzlich Energie verbrauchen und zu noch höheren Emissionen führen, die dann zusätzlich sequestriert werden müssten, mit infolge erhöhten Kosten und verminderter Effizienz der Stromerzeugung.

Der wachsende Stromverbrauch der untersuchten Länder würde bei einem gleichbleibenden Energiemix mit Treibhausgasemissionen von heute 770 Millionen Tonnen zu 2000 Millionen Tonnen im Jahr 2050 führen, mit verheerenden Folgen für das Weltklima, von denen die ariden Zonen der MENA Region besonders hart betroffen wären. Das MED-CSP Szenario führt dagegen zu einer Verringerung der Emissionen auf 475 Millionen Tonnen pro Jahr in 2050, in Übereinstimmung mit den vom WBGU gesetzten Zielen (Abbildung 10).

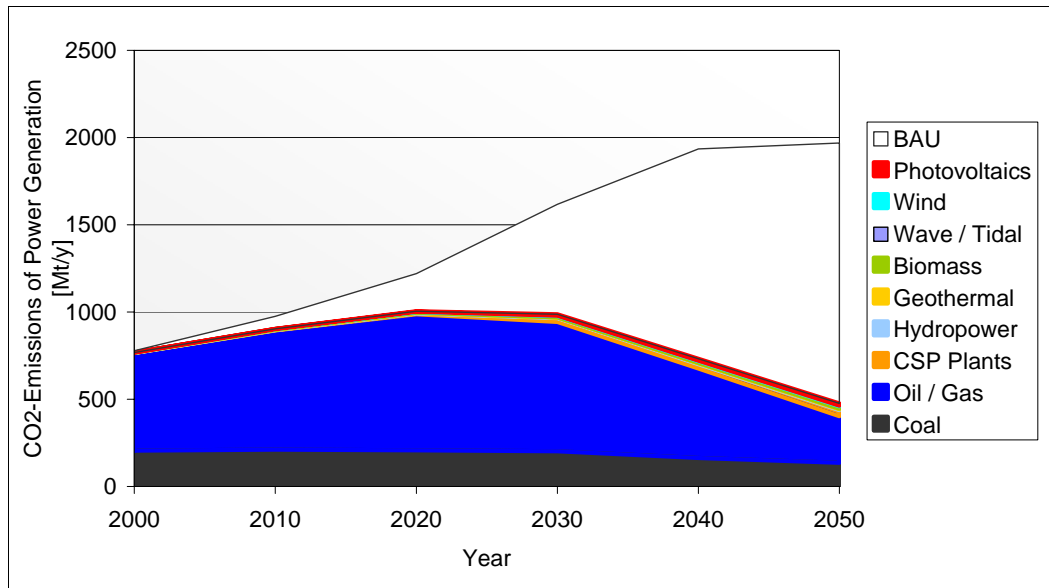


Abbildung 10: CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in Millionen Tonnen pro Jahr für alle Länder im MED-CSP Szenario und Emissionen in einem Business as Usual Szenario (BAU)

Kapitel 8 beschreibt Politikinstrumente und Finanzierungsmöglichkeiten für die Markteinführung erneuerbarer Energien, die von den Kyoto-Instrumenten über Steuererleichterungen bis hin zu Stromeinspeisegesetzen und Investitionszuschüssen reichen.

Eine international abgestimmte Strategie zum Ausbau erneuerbarer Energien ist unverzichtbar für die MENA Region. Der Ausbau sollte im Rahmen internationaler Vereinbarungen abgesichert sein, um die Motivation der einzelnen Länder zu verbessern und privaten Investoren die nötige langfristige Sicherheit gegenüber nationalen politischen Veränderungen zu geben. Angesichts unterschiedlicher Regulierungen im Stromsektor sind unterschiedliche, an die jeweilige Situation einzelner Länder angepasste Maßnahmen angemessen. Die Instrumente in den Ländern sollten spezifisch an Einzeltechnologien oder Technologiebündel orientiert sein.

Eine abgestimmte Erweiterung der Stromnetze und ein verbesserter Netzzugang sind ebenfalls unverzichtbar. Staatliche finanzielle Unterstützung sollte komplementär zu anderen Instrumenten sein und projektbezogen angewendet werden. Da internationale Vereinbarungen für die breite Markteinführung erneuerbarer Energien notwendig sind, liegt es nahe, eine spezielle internationale Institution zu gründen oder die Zuständigkeiten einer existierenden Institution so zu verändern, dass sie finanzielle Flüsse zwischen den Ländern ermöglichen und spezielle Anschubfinanzierungen anbieten kann.

Bei der Projektplanung sollte darauf geachtet werden, dass die wahren Opportunitätskosten fossiler Brennstoffe auf der Basis von Weltmarktpreisen berechnet werden, insbesondere auch in den Ländern, in denen diese Brennstoffe subventioniert werden, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen, wenn erneuerbare und fossile Energiequellen als Alternativen zur Stromerzeugung untersucht werden.