

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

Stephan Bosch

Sauberer Strom aus der Wüste

**Der Ausbau von konzentrierenden solarthermischen Systemen
zur Sicherung der Energie- und Wasserversorgung in der
EUMENA-Region**

Stephan Bosch

Sauberer Strom aus der Wüste
Der Ausbau von konzentrierenden solarthermischen
Systemen zur Sicherung der Energie- und Wasserversorgung
in der EUMENA-Region

Augsburg 2010

ISBN 3-923273-78-9

ISSN 1862-8680

Copyright: Institut für Geographie, Universität Augsburg 2010

Alle Rechte vorbehalten

Umschlaggestaltung: Dipl.-Des. Hartmuth Basan
Textverarbeitung: Dipl.-Geogr. Stephan Bosch
Druck: Digitaldrucke Bayerlein GmbH Neusäß

Vorwort der Herausgeber

Erneuerbare Energien und ihre zweifellos enormen Auswirkungen auf die Raumstrukturen sind erst seit kurzem in den Focus geographischer Forschungs- und Lehraktivitäten gerückt. Dies geschah allerdings mit einer Geschwindigkeit und Intensität, wie dies in der Vergangenheit selten bei geographischen Themen zu beobachten war. Allenfalls die neuen geographischen Informationstechnologien erscheinen da als Vergleichsmaßstab geeignet, haben sie doch in kurzer Zeit das Fach (und einige weitere dazu) in so starker Weise beeinflusst, dass Berufsfelder sich stark gewandelt haben sowie neue sich entwickeln konnten.

So überrascht es denn auch nicht, dass die Geographischen Informationssysteme (GIS) auch in Bezug auf die Erneuerbaren Energien sowohl hinsichtlich der Planung von Standorten und den Auswirkungen auf die Räume wie auch mit Blick auf die Netzwerkstrukturen und dabei die notwendige Weiterentwicklung bzw. den Ausbau stark im Vordergrund stehen. Eine besondere Komplexität besitzt das Thema darüber hinaus durch die gerade bei Wind- und Solarenergie notwendige Planung von Speichersystemen für die Energie, sei es zentral an bestimmten Standorten oder unter Umständen dezentral etwa über die Nutzung verteilter Speichermöglichkeiten, wie sie künftig über die Akkus von Hybrid- bzw. Elektrofahrzeugen zur Verfügung stehen könnten.

Eine ganze Reihe von Lehr- und Forschungsaktivitäten am Lehrstuhl für Humangeographie und Geoinformatik wurden und werden diesen Themenbereichen gewidmet. Zu nennen sind dabei insbesondere mehrere Hauptseminare sowie Projektseminare, in denen eine Reihe von Teilthemen intensiv ausgelotet und diskutiert worden sind. Darüber hinaus liegen mittlerweile bereits etliche Diplom- sowie Zulassungsarbeiten für diesen Themenbereich vor. Eine systematische Zusammenfassung der vielen Materialien erscheint geboten. Einen ersten Schritt in diese Richtung stellt nun das von Herrn Bosch und Studierenden aus Projektseminaren vorgelegte Heft dar, das vielen weiteren nicht nur anregenden Diskussionsstoff sondern auch Motivation zu weiteren Beschäftigung mit diesem Themenbereich bieten möge.

Gerd Peyke

Im März 2010

Vorwort des Verfassers

Seit nunmehr drei Semestern führt die zunehmende Bedeutung der Erneuerbaren Energien auch im Lehrangebot des Lehrstuhls für Humangeographie und Geoinformatik an der Universität Augsburg ihre Berücksichtigung. Nicht zuletzt wird damit der Tatsache Rechnung getragen, dass sich mit dem Ausbau eines in starkem Maße raumwirksamen Energiesystems ein interessantes und an Perspektiven reiches Arbeits- und Forschungsfeld für Geographen eröffnet. Gerade durch den Einsatz von Geographischen Informationssystemen (GIS) ist es möglich, den Ausbau von Erneuerbaren Energien unterstützend zu begleiten, Fehlentwicklungen zu vermeiden und neue Perspektiven in der Standort- und Raumplanung aufzuzeigen.

Die Projektseminare der vergangenen Semester beschäftigten sich mit Themen wie der statistischen Reichweite von fossilen Energieträgern, der Ökobilanz von Biokraftstoffen, der Sicherung nachhaltiger Mobilität auf Basis von Erneuerbaren Energien, der Entwicklung des Ausbaus regenerativer Technologien innerhalb der Europäischen Union und GIS-gestützter Standortanalysen zur Windenergie in Deutschland.

Die vorliegende Arbeit fasst die zentralen Ergebnisse des Projektseminars Erneuerbare Energien aus dem Wintersemester 2009/ 2010 zusammen. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt dabei auf dem im Jahr 2009 ins Leben gerufenen Projekt Desertec. Hierbei handelt es sich um ein ambitioniertes Vorhaben, das nicht nur die Perspektive eines auf Erneuerbaren Energien basierenden globalen Gesellschaftssystems eröffnet sondern Möglichkeiten aufzeigt, Bedrohungen wie dem Klimawandel, der Verringerung von Energiereserven, einer Verknappung der Ressource Wasser und Problemen bei der Nahrungsmittelproduktion ernsthaft zu begegnen und dadurch Konflikten vorzubeugen.

An dieser Stelle gilt der Dank den engagierten Studenten, deren Beiträge diese Veröffentlichung ermöglicht haben:

Natascha Koller, Nikolas Ludwig, Robin Stoffers, Christopher Meyer, Katrin Walter, Robert Giemsa, Dominik Armer, Florian Bertl, Veysel Bozkurt, Otto Buchmüller, Michael Fichtl, Jürgen Grahhammer, Simone Hummel, Hubert Hegele, Arndt Jambrech, Matthias Eberle, Sebastian Hirschmiller, Petra Hutner, Carina John, Thomas Knöpfle, Maria Konrad, Roland Lang, Florian Lorych, Rainhard Maier, Dennis Schmidt, Clara Seipp, Werner Stieger, Mathias Strziga

Stephan Bosch

Im März 2010

Inhaltsverzeichnis

<i>Vorwort der Herausgeber</i>	I
<i>Vorwort des Verfassers</i>	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Vom Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung	1
2 Erneuerbare Energien – Stand der Forschung	3
Literatur.....	14
3 Energiewirtschaftliche Perspektive Nordafrikas	18
3.1 Effekte durch Desertec auf Nordafrika und deutsche Unternehmen	18
3.1.1 Investitionen bis 2050 und Möglichkeiten der Finanzierung	18
3.1.2 Deutsche Unternehmen entlang der CSP-Wertschöpfungskette	18
3.1.3 Beschäftigungsvolumen durch den Ausbau von CSP-Kraftwerken	22
3.2 Fossile Energieträger, Stromproduktion und –verbrauch in Nordafrika	22
3.2.1 Algerien.....	22
3.2.2 Tunesien	22
3.2.3 Marokko	23
3.2.4 Ägypten.....	24
3.2.5 Libyen	24
3.3 Wirtschaftliche Situation in Nordafrika.....	24
3.3.1 Algerien.....	24
3.3.2 Tunesien	24
3.3.3 Libyen	25
3.3.4 Marokko	26
3.3.5 Ägypten.....	26
Literatur.....	27
4 Technologische Perspektive	28
4.1 Funktionsweise von CSP-Technologien.....	28
4.1.1 Parabolrinnenkraftwerke	28
4.1.2 Fresnel-Kollektoranlagen.....	30
4.1.3 Solarturm	32
4.1.4 Dish-Stirling-Anlagen	35
4.2 Vergleichende Darstellung von CSP-Technologien.....	35

4.3	Energiespeicherung	36
4.3.1	Wärmespeicher.....	36
4.3.2	Stromspeicher.....	37
4.4	Aufbau eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes (HGÜ).....	37
4.5	Ausgereifte Technologien.....	37
4.6	Aufwind-, Luftwirbel- und Abwindkraftwerk.....	38
	Literatur.....	40
5	Ressource Wasser.....	42
5.1	Süßwasservorkommen in der MENA-Region.....	42
5.2	Süßwasserbedarf und Defizite	43
5.3	Wasserverteilungskonflikte.....	44
5.3.1	Nutzung des Nilraums.....	44
5.3.2	Konfliktherd Jordan.....	45
5.3.3	Das GAP-Projekt in der Türkei.....	47
5.4	Meerwasserentsalzungsanlagen.....	48
5.4.1	Funktionsweise	48
5.4.2	Potenziale	50
5.5	Völkerrechtliche Grundlagen der Wasserverteilung	52
5.6	Konzept des virtuellen Wassers	52
5.7	Vermeidung von Konflikten	53
5.8	Steigerung der Nahrungsmittelproduktion	53
	Literatur.....	57
6	Politische Perspektive.....	60
6.1	Chancen einer Energiewende	60
6.1.1	Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen.....	60
6.1.2	Forderungen an die Politik.....	60
6.1.3	Weichenstellungen in Afrika.....	61
6.2	Politische Instabilität in den Produzentenländern.....	61
6.2.1	Ressource Wasser	62
6.2.2	Nahrungsmittelversorgung.....	62
6.2.3	Energiearmut	62
6.2.4	Krisen und Konflikte.....	63
6.3	CO ₂ -Minderungsziele der Politik.....	63
6.4	Emissionshandel als Instrument.....	66
6.5	Politische Stimmen zu Desertec in Deutschland	67
	Literatur.....	68
7	Nachhaltigkeit und Nächstenliebe.....	70

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Notwendige Flächen für den Bau von solarthermischen Kraftwerken zur Stromversorgung	2
Abb. 2: Geplante und genehmigte Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee	4
Abb. 3: Maximal installierte Leistung der Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee.....	5
Abb. 4: Repowering der Windkraft in Niedersachsen	6
Abb. 5: Standorte mit optimaler Silomaisversorgung für Biogasanlagen 2007	11
Abb. 6: Räumliche Verteilung von Porenspeichern mit Angabe des nutzbaren Arbeitsgases in der BRD.....	12
Abb. 7: Entwicklung der CSP-Investitionskosten bei verschiedenen Szenarien in €/kW	19
Abb. 8: Deutscher Anteil an den einzelnen Komponenten.....	20
Abb. 9: Kumulierte Umsatzanteile deutscher Unternehmen 2010-2050 in Mrd. €	21
Abb. 10: Stromverbrauch und Energieträger Nordafrikas	23
Abb. 11: Fossile Energieträger und Anteil der Wirtschaftssektoren am BIP	25
Abb. 12: Parabolrinnenkollektoren.....	29
Abb. 13: Parabolrinnenkraftwerk.....	30
Abb. 14: Fresnelkollektoren	31
Abb. 15: Solarturmkraftwerk in Sevilla	32
Abb. 16: Funktionsweise der Solarturm-Technik	33
Abb. 17: Dish-Stirling-Anlage.....	34
Abb. 18: CSP-Kraftwerke weltweit, sortiert nach Ländern (2009).....	35
Abb. 19: Leistungsparameter der einzelnen CSP-Technologien	36
Abb. 20: Das Aufwindkraftwerk.....	38
Abb. 21: Pro Einwohner verfügbare Trinkwasserressourcen in den MENA-Ländern (2000)	43
Abb. 22: Prognostizierte Süßwassernachfrage und –defizite in den MENA-Ländern	44
Abb. 23: Standort für „Gaza Solar Power & Water Project“	46
Abb. 24: Überreste der im 12. Jh. erbauten Brücke über den Tigris in Hasankeyf	47
Abb. 25: Schematische Darstellung einer Umkehrosmose-Anlage.....	49
Abb. 26: Schematische Darstellung einer Multi Effect Distillation Anlage	49
Abb. 27: Kombination solarthermischer Kraftwerke mit Meerwasserentsalzungsanlagen	50
Abb. 28: Wasserbedarf und Frischwassererzeugung in der MENA-Region.....	51
Abb. 29: Landwirtschaftliche Nutzflächen unter Fresnel-Anlagen.....	53
Abb. 30: Wachstumsprognose der Bevölkerung bis 2050	55
Abb. 31: Konflikte in der MENA-Region im Zeitraum 1999-2009.....	63
Abb. 32: Mögliche jährliche CO ₂ -Einsparung durch solarthermische Kraftwerke bis zum Jahr 2050	64
Abb. 33: Mögliche kumulierte CO ₂ -Einsparung durch solarthermische Kraftwerke bis zum Jahre 2050	65

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Bill.	Billion
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMW	Bundesministerium für Wirtschaft
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMZ	Bundesministerium für Technische Zusammenarbeit und Entwicklung
BPB	Bundeszentrale für Politische Bildung
ca.	circa
CDM	Clean Development Mechanism
CSP	Concentrating Solar Power
ct	Euro-Cent
d. h.	das heißt
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
DII	Desertec Industrial Initiative
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EJ	Exajoule
ESTELA	European Solar Thermal Electricity Association
et al.	et alia (lateinisch = und andere)

EU	Europäische Union
f./ ff.	und die folgende/ folgenden
FM	Frischmasse
FuE	Forschung und Entwicklung
g	Gramm
GAP	Güneydo u Andolu Projesi
GIS	Geographisches Informationssystem
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
IEA	Internationale Energieagentur
IFO	Institute for Economic Research (Institut für Wirtschaftsforschung)
ISET	Institut für Solare Energieversorgungstechnik
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
JI	Joint Implementation
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LNF	landwirtschaftliche Nutzfläche
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MED	Multiple Effect Distillation
MENA	Middle East and North Africa
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde

MSF	Multi-Stage Flash Desalination
MW	Megawatt
MW _{el.}	Megawatt elektrisch
NH	Nachhaltigkeitsszenario
PEV	Primärenergieverbrauch
PJ	Petajoule
RCREE	Regionales Zentrum für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz
REF	Referenzszenario
RO	Reverse Osmosis Membrane Desalination
StrEG	Stromeinspeisungsgesetz
t	Tonne
TREC	Trans-Mediterranean Renewable Energy Corporation
TWh	Terrawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations
v. a.	vor allem
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDIK	Verband der internationalen Kraftfahrzeughersteller
vgl.	vergleiche
WBGU	Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
z. B.	zum Beispiel

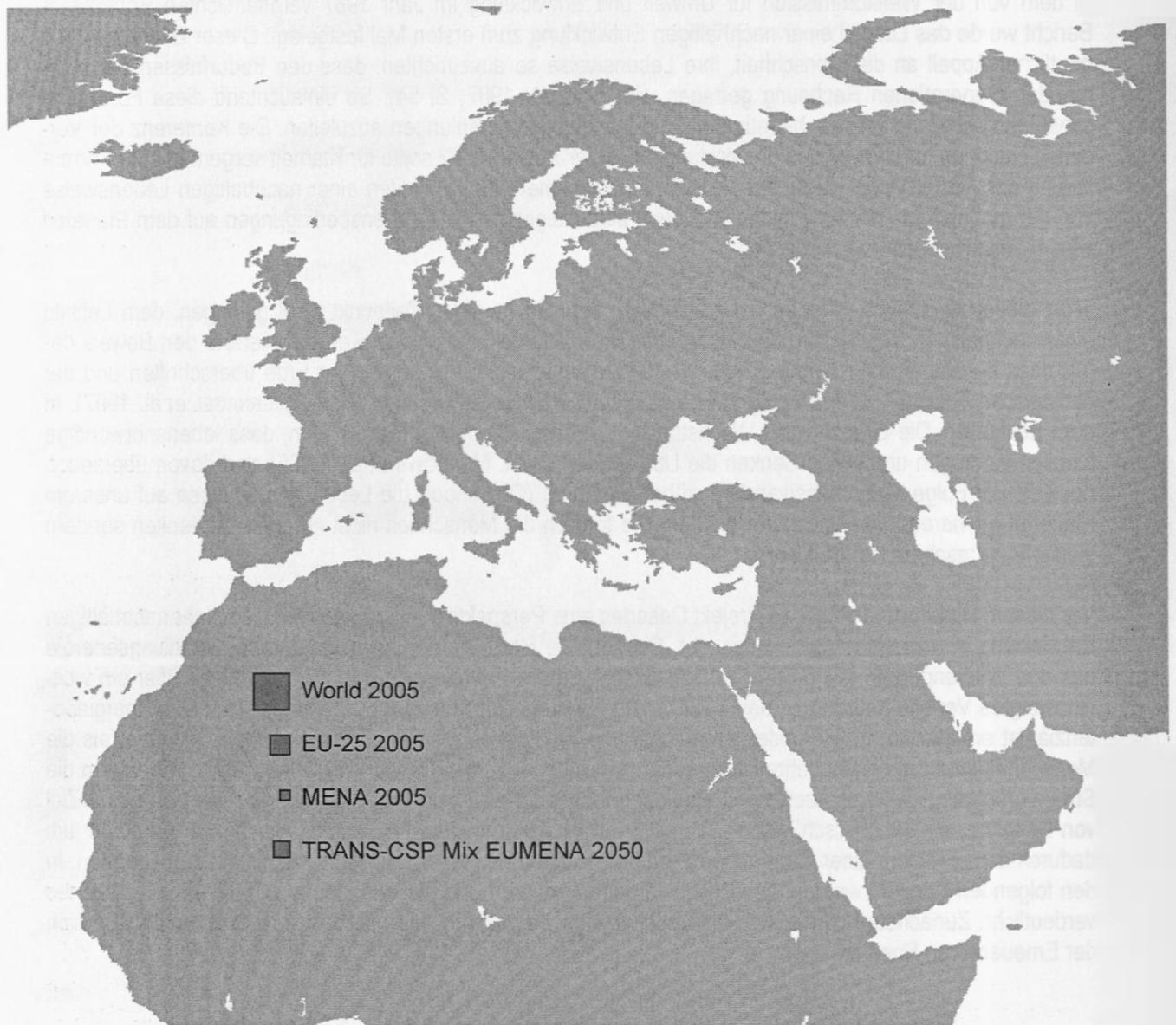
1 Vom Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung

In dem von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung im Jahr 1987 veröffentlichten Brundtland-Bericht wurde das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung zum ersten Mal festgelegt. Dieser Bericht war ein deutlicher Appell an die Menschheit, ihre Lebensweise so auszurichten, dass den Bedürfnissen der kommenden Generationen Rechnung getragen wird (vgl. UN 1987, S. 54). So einleuchtend diese Forderung schien, so schwierig war es, hieraus konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 sollte für Klarheit sorgen. Mit der Formulierung der AGENDA 21 wurde der Versuch unternommen, Möglichkeiten einer nachhaltigen Lebensweise von der globalen bis hin zur regionalen Ebene aufzuzeigen und die Lebensbedingungen auf dem Planeten wieder zu verbessern (vgl. UN 1992).

Trotz dieser Bemühungen ist es der Menschheit bis zum heutigen Zeitpunkt nicht gelungen, dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung zu entsprechen. Im Gegenteil: Mathis Wackernagel lieferte den Beweis dafür, dass die Menschheit bereits Ende der 1970er Jahre die Tragfähigkeit der Erde überschritten und der ökologische Fußabdruck sich stetig auf heute etwa 1,3 Erden erhöht hat (vgl. WACKERNAGEL et al. 1997). In dem Bestseller „Die Grenzen des Wachstums“ wird ebenfalls darauf hingewiesen, dass lebensnotwendige Quellen versiegen und vielen Senken die Überlastung droht. MEADOWS et al. (2006) sind davon überzeugt, dass sich in Folge einer massiven Grenzüberschreitung (Overshoot) die Lebensbedingungen auf unserem Planeten gravierend verschlechtern werden. Sie fordern die Menschheit nicht nur zum Umdenken sondern vielmehr zu raschem Handeln auf.

Vor diesem Hintergrund zeigt das Projekt Desertec eine Perspektive auf, die dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung in höchstem Maße entspricht. Die zentrale Herausforderung besteht darin, Strahlungsenergie aus den Wüstengürteln der Erde in wirtschaftlich nutzbare Energie umzuwandeln und diese über ein weitverzweigtes Verteilernetz bis zu den 3.000 km entfernten Verbrauchern zu transportieren. Das Energiepotenzial ist erstaunlich: In 6 Stunden empfangen die Wüstengebiete der Erde mehr Sonnenenergie, als die Menschheit innerhalb eines Jahres verbraucht. Abbildung 1 zeigt die Flächen, die notwendig wären, um die Stromversorgung der entsprechenden Regionen langfristig sicherzustellen. Darüber hinaus ist es das Ziel von Desertec, mittels überschüssiger Energie (Abwärme) Meerwasserentsalzungsanlagen anzutreiben, um dadurch dem Problem einer zu geringen Produktion von Trinkwasser und Nahrungsmitteln zu begegnen. In den folgenden Kapiteln werden diese Aspekte genau erläutert und die Chancen bzw. Risiken von Desertec verdeutlicht. Zunächst erfolgt jedoch eine ausführliche Darstellung des Standes der Forschung im Bereich der Erneuerbaren Energien.

ABB. 1: NOTWENDIGE FLÄCHEN FÜR DEN BAU VON SOLARTHERMISCHEN KRAFTWERKEN ZUR STROMVERSORGUNG



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH DESERTEC FOUNDATION.

2 Erneuerbare Energien – Stand der Forschung

Die Statistiken der Internationalen Energieagentur (IEA) verdeutlichen die Dominanz nicht-erneuerbarer Energien. Diese hatten im Jahr 2004 einen Anteil von 86,9 % am Welt-Primärenergieverbrauch (vgl. IEA 2007). Bezüglich des zukünftigen Primärenergieverbrauchs (PEV) kann weltweit von einer stetigen Steigerung ausgegangen werden. Innerhalb der Europäischen Union geht die EU-Kommission, bei Weiterführung der aktuellen Politik (Szenario EU baseline) und einem hohen Wirtschaftswachstum (Szenario EU high growth), ebenfalls von einer starken Zunahme des PEV aus. Für das Jahr 2030 rechnet man mit einem PEV von maximal 88 EJ/ a. Dies würde einer Steigerung von 27,5 % gegenüber dem Jahr 2000 entsprechen. Wird der Energiesektor im Zuge eines forcierten Ausbaus von Erneuerbaren Energien, einer Ausweitung des Emissionshandels sowie einer Effizienzsteigerung und Besteuerung des Energieverbrauchs neu strukturiert (Szenario EU extended policy), rechnet man ab 2010 mit einer Stabilisierung des PEV auf 68 EJ/ a (vgl. EU-KOMMISSION 2004). Jedoch prognostiziert die IEA, auch bei strengen Eingriffen der Politik im Energiesektor, eine langfristige Steigerung des PEV (vgl. IEA 2004). Hingegen rechnet das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) mit einer Verringerung des Energieverbrauchs für Deutschland bis 2030 um 12 % je Einwohner. Gleichzeitig wird ein Anstieg des Anteils von Erneuerbaren Energien am PEV von 8,1 % erwartet (Bezugsjahr 2002) (vgl. BMWA 2005). Des Weiteren geht man vor dem Hintergrund einer Verdopplung der Energieproduktivität zwischen 1990 und 2020 sowie eines verstärkten Ausbaus von Erneuerbaren Energien davon aus, dass ab dem Jahr 2020 die Erzeugung von Strom größtenteils regenerativ erfolgen wird (vgl. SCHLESINGER et al. 2007).

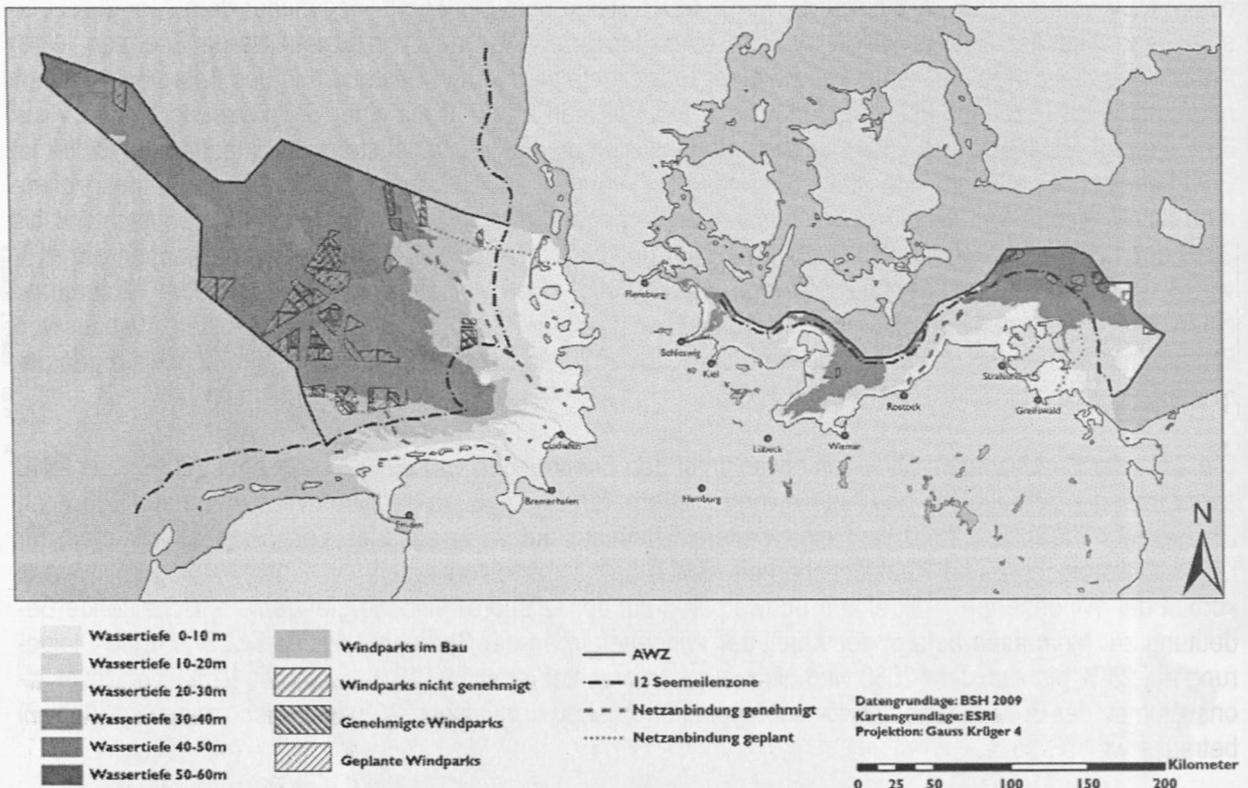
Die Ziele der Bundesregierung liegen etwas unter den Erwartungen von SCHLESINGER et al. (2007). Bis 2010 strebt man die Verdopplung des Anteils von Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung auf 12,5 % an (Bezugsjahr 2000). Bis 2020 wird eine weitere Erhöhung auf 20 % erwartet. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hält sogar einen Anteil von 25 % für möglich. Hierbei kommt der Windenergie – mit einem Schwerpunkt auf der Offshore-Windenergie – eine entscheidende Bedeutung zu. Momentan beträgt der Anteil der Windenergie an der Stromproduktion etwa 5 %. Eine Steigerung auf 25 % bis zum Jahr 2030 wird als realistisch erachtet (offshore: 15 %, onshore: 10 %). Das Investitionsvolumen der Bundesregierung für den geplanten Ausbau der Offshore-Windenergienutzung (vgl. Abb. 2) beträgt etwa 50 Mrd. €.

Neben der Förderung von Offshore-Windparks und deren Netzanbindung (vgl. Abb. 3) fließen die Gelder v. a. in die maritime Installations-, Service- und Dienstleistungsbranche. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Hafeninfrastuktur den neuen Gegebenheiten anzupassen. Abgesehen von der finanziellen Unterstützung versucht die Bundesregierung den Ausbau, bspw. durch Änderungen von gesetzlichen Rahmenbedingungen, zu erleichtern und damit zu forcieren. Neben dem am 17.12.2006 in Kraft getretenen *Infrastrukturplanungsbeschleunigungsgesetz* liegt das Augenmerk im Besonderen auf der Ausdehnung des Vergütungszeitraumes bzw. einer Verzögerung der Degression. Ziel ist es, die Wirtschaftlichkeit und damit die Attraktivität der Offshore-Windenergie zu erhöhen (vgl. BMU 2007b). Die Energieerzeugung mittels Onshore-Windkraftanlagen hat bereits einen bedeutenden Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland erreicht, so dass sie mehr und mehr die Planungen und den Betrieb der Stromnetze und des Kraftwerkseinsatzes beeinflusst. Der zukünftige Ausbau wird vor allem durch das sog. Repowering gestützt werden (vgl. Abb. 4), das bedeutet, dass alte, leistungsschwache Windkraftanlagen durch eine geringere Anzahl von leistungsstarken Anlagen ersetzt werden. Nicht zuletzt verbirgt sich dahinter auch die Strategie, die Flächennutzungskonkurrenz zu verringern. Die Herausforderung im Onshore-Bereich besteht in einer Verbesserung der Netzintegration bzw. in einer Aufrechterhaltung der Systemsicherheit (vgl. BMU 2008b).

Die Bundesregierung hat auch ihre klimapolitischen Ziele klar festgelegt: Bis zum Jahr 2020 sollen die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber 1990 um 40 % gesenkt werden. Gleichzeitig gilt es, die Energieproduktivität um 3 % pro Jahr zu steigern. Darüber hinaus ist es das Ziel, den Anteil der Biokraftstoffe in dem Maße zu erhöhen, dass bis 2020 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 7 % gegenüber dem Einsatz fossiler Kraftstoffe möglich ist. Zur Steigerung der Energieeffizienz will man den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Stromerzeugung bis 2020 auf 25 % verdoppeln. Bis 2050 soll sich der Anteil von Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 50 % erhöhen (vgl. BMU 2009). Davon verspricht

man sich die Schaffung vieler neuer Arbeitsplätze am Standort Deutschland. Die Beschäftigungseffekte resultieren dabei einerseits aus der im Aus- und Inland wirksamen Nachfrage nach Investitionen in Anlagen zur Nutzung von Erneuerbaren Energien, andererseits durch den Betrieb der im Inland installierten Anlagen (vgl. BMU 2006).

ABB. 2: GEPLANTE UND GENEHMIGTE OFFSHORE-WINDPARKS IN DER NORD- UND OSTSEE

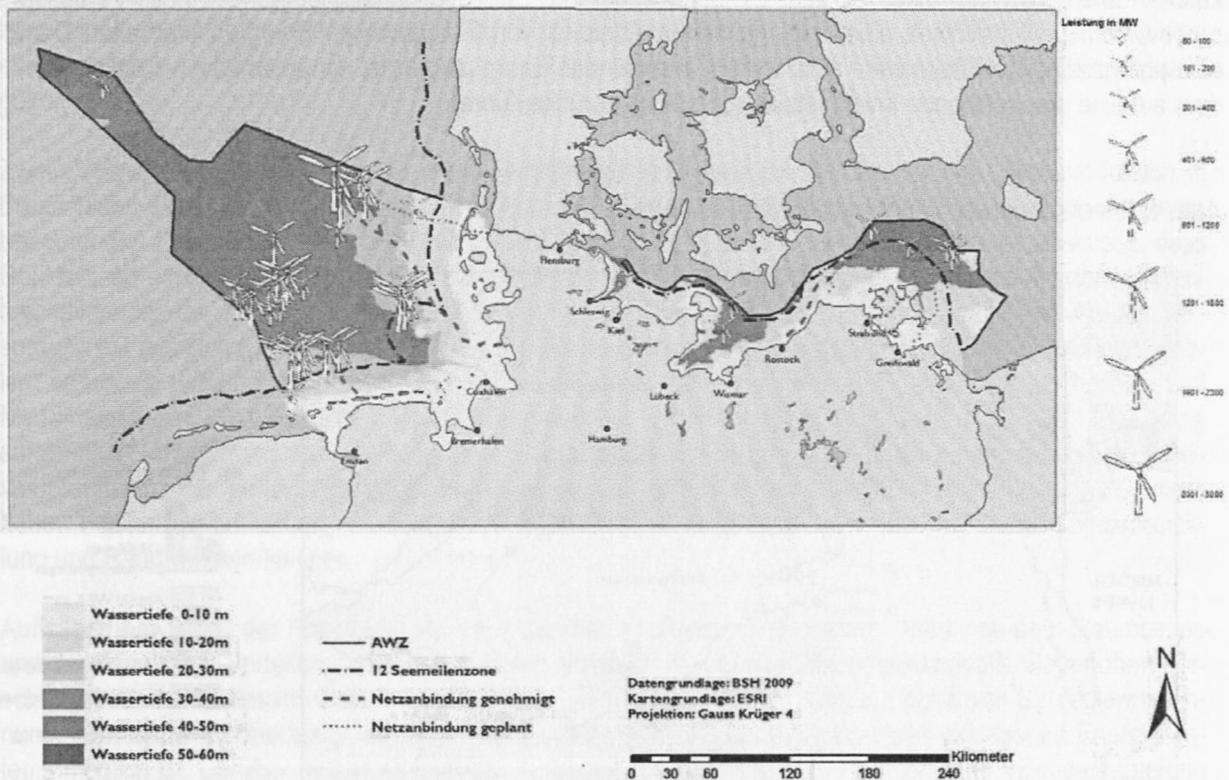


QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Klar ist, dass sich Deutschland an der Schwelle zu einer beispiellosen Energiewende befindet! Mit der Verabschiedung des Stromeinspeisungsgesetzes (StrEG) 1990 und der Ablösung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2000 wurde den Erneuerbaren Energien die Verantwortung übertragen, die endlichen, umweltbelastenden und räumlich ungleich verteilten fossilen Energieträger sukzessive zu ersetzen. Die Etablierung des neuen Energiesystems verläuft jedoch schleppend. Das gibt Kritikern die Möglichkeit, ihre Zweifel an einem regenerativen Energiesystem zu belegen und Unentschlossenheit im Ausbau zu nähren. So warnt die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) im Einklang mit den dominierenden Energiekonzernen RWE, Eon, Vattenfall und EnBW davor, dass selbst bei Ausschöpfung von Stromeffizienzpotenzialen, Ausweitung von Kraft-Wärme-Kopplung und Erreichen der Ziele der Bundesregierung zum Ausbau von Erneuerbaren Energien ab 2012 eine Lücke bei der Deckung der Stromhöchstlast droht (vgl. DENA 2008). Bis zum Jahr 2020 sei mit einer Erhöhung der Differenz zwischen Jahreshöchstlast und gesicherter Kraftwerksleistung auf mind. 11.700 bzw. max. 15.800 MW zu rechnen.

Angesichts der in Deutschland vorhandenen regenerativen Energiepotenziale sind die Befürchtungen der Deutschen Energie-Agentur nicht nachvollziehbar. Bis zum Jahr 2020 soll allein der Stromertrag aus der Offshore-Windenergie zwischen 85 und 100 TWh pro Jahr betragen. Daneben geht EUPD RESEARCH (2008) davon aus, dass sich auf Deutschlands Dachflächen ein Solarstrompotenzial von 120 TWh erschließen lässt. Nicht zuletzt ist im Bereich der bisher nur spärlich praktizierten geothermischen Stromerzeugung mit einem jährlichen technischen Angebotspotenzial von 300 TWh zu rechnen.

ABB. 3: MAXIMAL INSTALLIERTE LEISTUNG DER OFFSHORE-WINDPARKS IN NORD- UND OSTSEE



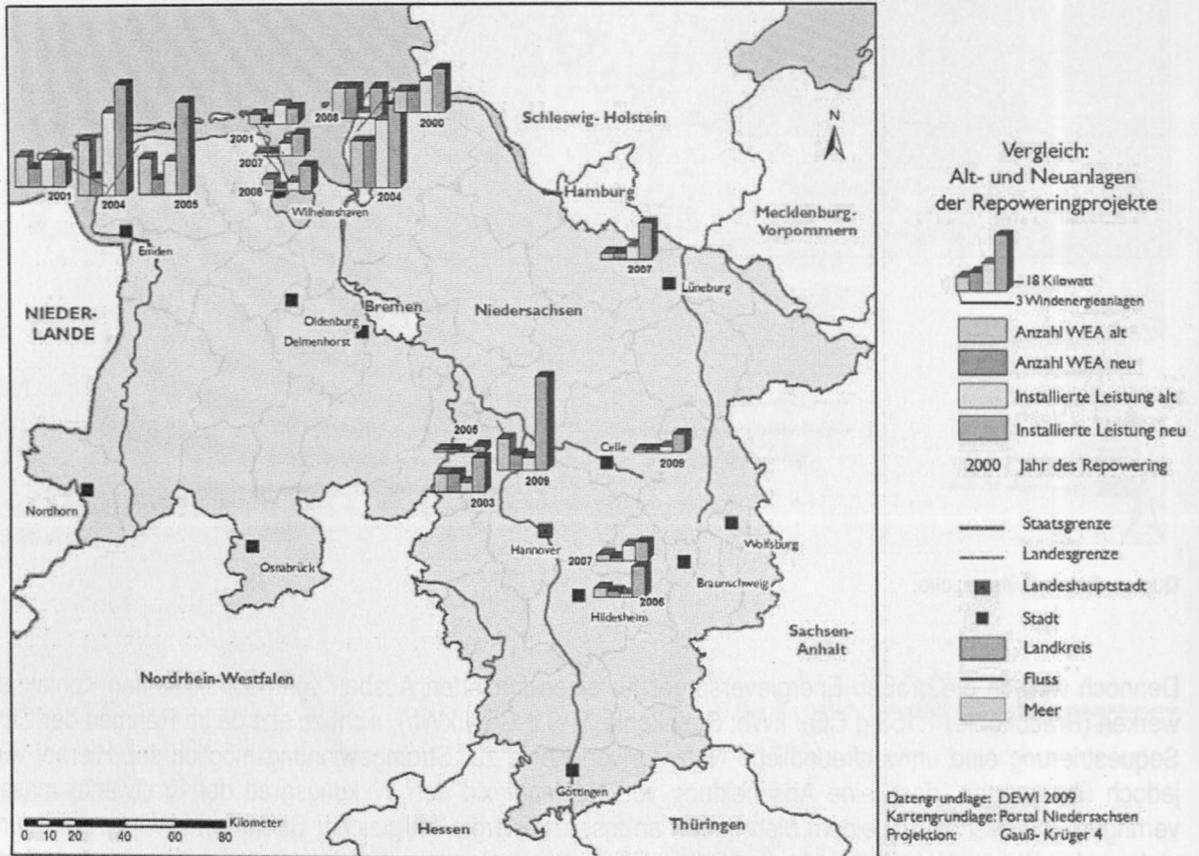
QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Dennoch werben die großen Energieversorger für einen forcierten Ausbau von hocheffizienten Kohlekraftwerken (Braunkohle: 1.153 g CO₂/ kWh; Steinkohle: 949 g CO₂/ kWh), nicht zuletzt da im Rahmen der CO₂-Sequestrierung eine umweltfreundliche Nutzung von Kohle zur Stromgewinnung möglich sei. Hierbei wird jedoch übergangen, dass eine Abscheidung von Kohlendioxid den Wirkungsgrad der Kraftwerke massiv verringert und deshalb mit einem Mehrbedarf an fossiler Energie bei gleicher Strom- und Wärmeerzeugung einhergeht. Die im Kraftwerkssektor erzielten Effizienzverbesserungen der letzten Jahre werden dadurch aufgezehrt und die Reichweiten bei der Brennstoffversorgung verkürzt (vgl. UBA 2006). Des Weiteren ist nicht geklärt, in welcher Weise das Abfallprodukt entsorgt (Transport, Lagerung) bzw. kommerziell genutzt werden könnte (vgl. WBGU 2003). In einem weiteren Schritt fordert die dena eine Verlängerung der Laufzeiten von Atomkraftwerken. Im Hinblick auf CO₂-Emissionen von lediglich 32 g/ kWh betont sie dabei die Klimaverträglichkeit dieser Form der Stromgewinnung. Bezieht man jedoch die bei der Anreicherung von Uran und der Entsorgung des Atommülls entstehenden Kohlendioxidemissionen mit ein, so erhöhen sich diese auf 61 g/ kWh. Damit liegt die Kernkraft über den durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Biogas-Blockheizkraftwerken (-409 g CO₂/ kWh), Wind- (23 g CO₂/ kWh) und Wasserkraftanlagen (40 g/ kWh).

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) selbst bei Normalbetrieb von einer Gefährdung der Gesundheit im näheren Umkreis von Atomkraftwerken ausgeht (vgl. BfS 2007). Eine epidemiologische Studie (KiKK-Studie) belegte, dass sich in der näheren Umgebung von Atomkraftwerken das Risiko an Leukämie zu erkranken signifikant erhöht. Ein weiteres Problem stellt die Endlagerung der radioaktiven Brennelemente der Kernreaktoren dar. Bis zum heutigen Zeitpunkt steht noch kein Endlager zur Verfügung! Betrachtet man die radioaktive Halbwertszeit von Plutonium (24.110 a), so wird das diametrale Verhältnis der Kernkraft zum Prinzip der Nachhaltigkeit deutlich. Ginge man auf die Forderungen der dena ein, so wäre dies ein fataler Rückschritt im Hinblick auf das im EEG verankerte Ziel einer im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung (vgl. BMU 2005). Jedoch weist die dena-Studie berechtigterweise darauf hin, dass das Erreichen der Ausbauziele der

Bundesregierung im Bereich der regenerativen Technologien keinesfalls als gesichert angesehen werden kann. Problematisch allerdings ist, dass die dena weder ihre Zweifel stichhaltig begründet, noch Verbesserungsvorschläge hinsichtlich eines zielorientierten Ausbaus von Erneuerbaren Energien erarbeitet. Denn eine potenzielle Stromlücke wäre nicht auf ein mangelndes Energiepotenzial von alternativen Quellen, sondern auf eine unzureichende Inwertsetzung derselben zurückzuführen.

ABB. 4: REPOWERING DER WINDKRAFT IN NIEDERSACHSEN



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Um weiteren Fehlentwicklungen vorzubeugen, ist ein Strategiewechsel erforderlich. Es müssen Konzepte entwickelt werden, welche die Blockade in der Ausbastrategie von Erneuerbaren Energien lösen, neue Wege der Potenzialerschließung aufzeigen und das Vertrauen in die regenerative Energieerzeugung stärken (vgl. BOSCH/ PEYKE 2010). Zahlreiche Forschungsprojekte haben hierzu bereits einen wichtigen Beitrag geleistet. Das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) der Universität Kassel bspw. hat in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Solarworld AG, Enercon GmbH und Schmack Biogas AG einen ersten Schritt in diese Richtung getan. Mit Hilfe des sog. regenerativen Kombikraftwerkes wurden erstmals die Mauern der Isolation zwischen den einzelnen Erneuerbaren Energietechnologien aufgebrochen und die Vorteile verschiedener Formen von Erneuerbaren Energien kombiniert. Das Pilotprojekt beweist, dass mittels eines regenerativen Energiemixes durchaus ein herkömmliches Großkraftwerk ersetzt werden kann. Es wurde aufgezeigt, dass eine Vernetzung von Solar-, Wind- und Biomasseanlagen zu jedem Zeitpunkt, unabhängig von den Witterungsverhältnissen, ausreichend Strom bereitstellen kann. Dabei werden die witterungsabhängigen regenerativen Technologien Solar- und Windenergie von der grundlastfähigen Biogas-technologie gestützt. Produziert das regenerative Kombikraftwerk zu viel Strom, so wird dieser mittels eines Pumpspeicherkraftwerkes gespeichert und bei einer erhöhten Stromnachfrage wieder ins Netz eingespeist (vgl. ISET 2008). Ein besonderes Merkmal des regenerativen Kombikraftwerkes ist die zentrale Steuerung

der dezentralen Anlagen. Ein entscheidender Nachteil besteht darin, dass man sich von Beginn an auf Solar-, Wind- und Bioenergie festgelegt hat. Man muss jedoch davon ausgehen, dass sich die Zusammensetzung eines zukünftigen Energiemixes nicht von vornherein bestimmen lässt, da schon die Veränderung einer einzelnen Variablen (z. B. Wirkungsgrad, Materialbedarf) einen vollkommen neuen Entwicklungsimpuls geben kann.

Zweifelsohne wird die Windenergie einen entscheidenden Anteil an der zukünftigen Stromproduktion in Deutschland einnehmen. Jedoch ist keineswegs sicher, ob sich die Photovoltaik diesbezüglich zu einem bedeutenden Pfeiler in der Energiebereitstellung entwickeln wird. Zwar kann nicht geleugnet werden, dass Deutschland – nicht zuletzt dank einer hohen gesellschaftspolitischen Akzeptanz – zu den attraktivsten Photovoltaikmärkte der Welt zählt (IFO 2008). Jedoch sind laut KREWITT et al. (2005) die Engpässe bei der Versorgung mit ausreichend Silizium ein großes Hemmnis bei der Etablierung der Photovoltaik. Das Hauptproblem sehen sie jedoch in den hohen Kosten für die Beschaffung der Ausgangsmaterialien, die Zellen- und Modulherstellung, Wechselrichter, Montage und Vertrieb. Eine bedeutende Kostenreduktion könne über eine sukzessive Verringerung des Materialbedarfs erfolgen. Die Dünnschichttechnologie bietet hierzu eine vielversprechende Perspektive. Problematisch ist, dass ihr vergleichsweise geringer Wirkungsgrad mit einem hohen Flächenbedarf einhergeht. KREWITT et al. stellen damit einen Bezug zwischen Technologieentwicklung und Raumwirksamkeit her.

Auffallend am Stand der Forschung ist, dass gerade bei einem so zentralen Thema wie dem Raumbezug und der räumlichen Verteilung von Erneuerbaren Energien eine große Wissenslücke klafft. Dem hohen Forschungsbedarf auf diesem Gebiet tragen BOSCH/ PEYKE (2008/2009) mittels innovativer Strategien Rechnung. Man ist davon überzeugt, dass der Aufbau eines von Erneuerbaren Energien getragenen Energiesystems möglich ist. Darüber hinaus ist man der Auffassung, dass jenseits der Vorgaben der Bundesregierung eine Beschleunigung der Energiewende realistisch ist. Grundlage dieser Annahmen sind die enormen Energiepotenziale von Erneuerbaren Energien in Deutschland (vgl. BMU 2004). Allein das technische Standortpotenzial der bis dato kaum praktizierten geothermischen Stromerzeugung wird auf 300.000 TWh geschätzt (vgl. JUNG et al. 2002). Geht man von einem Erschließungszeitraum von 1.000 a aus, so ergibt sich daraus ein jährliches technisches Angebotspotenzial von 300 TWh (vgl. PASCHEN et al. 2003). Dies entspricht in etwa der Hälfte des Bruttostrombedarfs in Deutschland im Jahr 2007. Das BMU (2004) geht davon aus, dass selbst vor dem Hintergrund massiver Auflagen durch den Naturschutz, die Energiepotenziale aus Erneuerbaren Energien groß sind.

Mit dem im Jahr 2000 in Kraft getretenen EEG besitzt die Politik ein mächtiges Instrument, mit dessen Hilfe die Entwicklung von Erneuerbaren Energien entscheidend beeinflusst werden kann. Die Novellierungen in den Jahren 2004 und 2009 sollten Fehlentwicklungen korrigieren und neue Impulse beim Ausbau (z. B. NawaRo-Bonus) setzen. Von großem Interesse sind die möglichen Auswirkungen von Änderungen beim EEG auf die Standortpotenziale von Erneuerbaren Energien. Hierbei kann auf die Arbeit von REICHMUTH et al. (2006) aufgebaut werden, die ebenfalls für eine kontinuierliche Erfolgskontrolle der Förderung von Erneuerbaren Energien wirbt. Die Studie analysiert, welche Lenkungswirkung für EE-Anlagen von der Vergütungsstruktur seit der Novellierung 2004 ausgeht. Darüber hinaus wird ermittelt, ob die Vergütungssätze für die einzelnen Anlagenarten angemessen sind oder eine Über- bzw. Unterförderung stattfindet. REICHMUTH et al. fanden bspw. heraus, dass eine Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von 1 MW_{el} trotz NawaRo-Bonus und EEG-Mindestvergütung nur in Ausnahmefällen kostendeckend betrieben werden kann. Die Auskopplung der bei der Stromproduktion anfallenden Wärme kann zu verringerten Stromgestehungskosten führen. Die Zusatzvergütung für die Wärmeauskopplung (KWK-Bonus) und die höhere EEG-Vergütung reichen jedoch oftmals nicht aus, die hohen Stromgestehungskosten aufzufangen. Nicht selten scheitert die Inanspruchnahme des KWK-Bonus auch an der Verfügbarkeit von externen Wärmekonsumenten. Um die Biogasanlage rentabel betreiben zu können, sei eine Absenkung der Substrat- bzw. Investitionskosten um 10 % notwendig. Entscheidende Impulse erhofft man sich auch von einer Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades.

Ein Defizit an der Studie ist, dass lediglich geprüft wird, inwieweit das EEG eine rentable Finanzierung der einzelnen EE-Anlagen ermöglicht und welche Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ggf. zu

ergreifen sind. Sie gibt jedoch keine Auskunft darüber, inwieweit es überhaupt erstrebenswert ist, mittels der Lenkungswirkung des EEG für eine bessere Förderung von bestimmten regenerativen Technologien einzutreten. Es muss die Frage gestellt werden, ob es nicht verwerflich ist, Fördergelder in Technologien zu investieren, die langfristig keinen bedeutenden Beitrag zur Energieversorgung Deutschlands leisten werden.

SENSFUSS/ RAGWITZ (2009) verweisen ebenfalls auf die Problematik einer Über- bzw. Unterförderung von Erneuerbaren Energien. Da der Marktwert des EEG-Stroms generell unterhalb des Fördersatzes der EEG-Vergütung liegt, muss vor dem Hintergrund eines marktorientierten Fördersystems eine Zusatzprämie gezahlt werden. Wird diese Prämie an einen Marktpreisindikator gekoppelt, so kann der volatilen Entwicklung des Marktpreisniveaus entsprochen und eine Über- bzw. Unterförderung vermieden werden. Als möglicher Indikator kommt dabei der Phelix Day Base in Frage. Dieser ergibt sich aus dem Mittelwert der stündlichen Marktpreise eines Tages.

Neben dem Einfluss des EEG auf die Entwicklung von Erneuerbaren Energien stellt sich die Frage, inwieweit die Energieerzeugung aus regenerativen Technologien Einfluss auf die Finanzwelt hat. Das BMU (2007a) veröffentlichte hierzu eine interessante Studie. Dabei wurden die Auswirkungen der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien auf die Börsenpreise im deutschen Stromhandel genauer untersucht. Besondere Aufmerksamkeit kommt hierbei der Einsatzreihenfolge von Kraftwerken an der Leipziger Strombörse zu (Merit Order). Angefangen bei jenen Kraftwerken, die den billigsten Strom liefern, wird aufsteigend die Stromnachfrage gedeckt. Das teuerste Kraftwerk, das zur Deckung der Stromnachfrage noch benötigt wird, legt den Strompreis fest. Treten nun Kraftwerke, die den Strom relativ billig produzieren können, in den Strommarkt ein, so werden die teuer produzierenden Kraftwerke verdrängt (Merit-Order-Effekt). Zwar ist die Stromproduktion mittels Erneuerbarer Energien relativ teuer, jedoch haben sie Vorrang bei der Stromspeisung. Das bedeutet, dass lediglich die teuersten konventionellen Kraftwerke außen vor gelassen werden. Da die Stromversorger bereits einen Monat im Voraus den aus regenerativen Energien erzeugten Strom kaufen müssen, wird weniger Strom aus anderen Quellen zur Deckung der Nachfrage bezogen. Daraus folgt, dass die Stromerzeugung aus den Erneuerbaren quasi zu einer Reduzierung der Nachfrage nach Strom führt. Das bedeutet, dass der Strompreis zu Lasten der Kraftwerksbetreiber und evtl. zum Nutzen der Verbraucher sinkt.

NEUBARTH et al. (2006) verdeutlichen, dass sich an Tagen mit hoher Windenergieeinspeisung der durchschnittliche Strompreis auf dem Spotmarkt verringert. Die genaue Abschätzung des Wertes des Merit-Order-Effektes gestaltet sich schwierig, da sich die Stromerzeugung und Stromnachfrage stündlich ändern. Die agentenbasierte Strommarktsimulationsplattform PowerACE ermöglicht jedoch eine exakte Simulation von Marktpreisen an der Strombörse. Grundlegend hierfür ist die Simulation des Verhaltens von Energieversorgern, Erzeugern regenerativen Stroms, Endkunden, Netzbetreibern und der Regierung. Das PowerACE-Modell geht von verschiedenen Regelenergiemärkten, einem Markt für CO₂-Emissionsrechte und einer Strombörse aus. Die Simulation verdeutlichte, dass die Höhe des Merit-Order-Effektes nicht nur von der installierten Kapazität der regenerativen Stromerzeugung abhängt, sondern auch an die Brennstoff- und CO₂-preise gebunden ist. Weitergehende Forschungsvorhaben müssen an die Ergebnisse der Studie anknüpfen, indem sie die analysierten Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich des Merit-Order-Effektes in ihrer räumlichen Relevanz darzustellen versuchen.

Das Raumverhalten von Erneuerbare Energien wird jedoch auch von technologischen Entwicklungen bestimmt. Speziell im Verkehrssektor bestehen viele technologische Optionen zur Sicherung der zukünftigen Mobilität, die jeweils eine spezifische Nutzung der Ressource Raum zur Folge haben. Der Anbau von Energiepflanzen zur Produktion von Biokraftstoffen stellt eine mögliche Alternative zu den fossilen Kraftstoffen dar, jedoch geht ihre Gewinnung oftmals mit einer schlechten Ökobilanz einher (vgl. SRU 2007). Dem verstärkten Ausbau der Biokraftstoffproduktion werden auch seitens des BMU (2004) große Bedenken entgegengebracht. Dagegen werden dem Elektroautomobil mittelfristig gute Chancen eingeräumt, sich zu einem bedeutenden Pfeiler im Verkehrssektor zu entwickeln. Die Ergebnisse der Studie „Die Zukunft des Elektroautomobils bis 2050“ am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe (vgl. WIETSCHEL/ DALLINGER 2008) sind von großer Bedeutung, da eine mögliche Diffusion der Technologie Elekt-

romotor zu gravierenden Veränderung in der Energiebereitstellung führen würde. Zentral bei der Studie von WIETSCHEL/ DALLINGER ist die Entwicklung von Szenarien, die mögliche Entwicklungspfade hinsichtlich der Flottenstruktur in der Automobilbranche aufzeigen und Auswirkungen auf den Energiebedarf quantifizieren. Das Dominanz-Marktszenario geht bis zum Jahr 2050 von einer vollständigen Substitution des konventionellen Fuhrparks (45 Mio. Automobile) durch Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge aus. Der hierzu benötigte Energiebedarf beläuft sich auf etwa 70-90 TWh pro Jahr. Wird die Energie dabei nicht mehr aus fossilen Energieträgern sondern ausschließlich von Erneuerbaren Energien bezogen, ließen sich die CO₂-Emissionen von etwa 200 auf 10 g pro gefahrenen Kilometer reduzieren (vgl. VDA/ VDIK 2009). In einem zweiten Szenario, dem sog. Pluralismus-Szenario, ist die Elektromobilität nur eine unter vielen Lösungen. Diverse Kraftstoff- und Antriebsoptionen werden zu einer stark fragmentalen Marktstruktur führen. Langfristig rechnet man jedoch auch in diesem Szenario mit einer Konsolidierung.

Inwieweit fossile Energieträger bei der zukünftigen Kraftstoffbereitstellung noch eine Rolle spielen werden, hängt auch von der Reichweite der einzelnen Energieträger ab. REMPEL (2008) gewährt mit seinem Artikel „Globale Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energierohstoffe“ einen hervorragenden Einblick in die räumliche, quantitative und zeitliche Verfügbarkeit fossiler und nuklearer Energieträger und die daran gekoppelten Energiepreise. Innerhalb der nächsten 20 Jahre werde das Fördermaximum (Peak oil) überschritten und die Hälfte des Gesamtpotenzials am weltweiten Erdöl (depletion mid-point) aufgebraucht sein. REMPEL betont, dass nicht-erneuerbaren Energieträgern (v. a. Kohle) noch lange Zeit eine zentrale Bedeutung bei der Energieversorgung zukommen wird. Mittelfristig rechnet er jedoch mit einem starken Anstieg der Energiepreise. Erhöht sich der Ölpreis um 1 \$/ b, so wird die deutsche Rechnung für Öl und Gas mit etwa 1 Mrd. € belastet (vgl. BMWi/ BMU 2006). Mögliche Preisentwicklungen bei fossilen Energieträgern werden im World Energy Outlook (vgl. IEA 2008) dargestellt. Das UBA (2007) geht davon aus, dass steigende Preise von fossilen Energieträgern sich positiv auf die Inwertsetzung von Nah- und Fernwärmepotenzialen auswirken werden. Es besteht also ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Variable Energiepreis (z. B. Ölpreis) und dem Ausbau von Erneuerbaren Energien bzw. Kraft-Wärme-Kopplung. Des Weiteren wird betont, dass Gebäudesanierungen und der zu erwartende Rückgang der Bevölkerung in Deutschland in einer Abnahme der Wärmedichte münden werden, an die sich die Fernwärmeversorgung anpassen muss.

SCHILLINGS et al. (2007) greifen die Problematik einer fehlenden Inwertsetzung von Wärme aus Erneuerbaren Energien auf und werben für die Ausweitung einer netzgebundenen Versorgung über Nahwärmenetze. Sie berufen sich dabei auf die Ergebnisse des BMU-Szenarios NaturschutzPlus II, das bis zum Jahr 2050 mit einem Anteil Erneuerbarer Energieträger an der gesamten Wärmebereitstellung (v. a. Biomasse, solare Kollektoranlagen und Geothermie) von bis zu 76,4 % rechnet. Mit Hilfe von satellitengestützten Landnutzungsdaten und einem GIS ermöglicht die Studie eine gemeindegrenze Verortung von Nahwärmepotenzialen. Ziel dabei ist es, Regionen zu identifizieren, die optimale Bedingungen zur Ausweitung von Nahwärmenetzen bieten. Entscheidende Regionalisierungskriterien sind dabei die Wärmedichte (Siedlungsdichte und -form etc.), demographische Entwicklung, Investitionskosten und Netzverluste. In etwa 3.300 Gemeinden Deutschlands bestehen hervorragende Bedingungen zum Aufbau von Nahwärmenetzen. Das größte Nahwärmepotenzial (ca. 48 %) bieten die südlichen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg. Grund hierfür ist die im Vergleich zum Rest des Landes dichtere Bebauung der Siedlungsflächen, die günstigeren demographischen Prognosen und die höhere Solarstrahlung. Entscheidend für eine effiziente Ausschöpfung von Nahwärmepotenzialen ist jedoch, dass Wärmenutzungskonzepte zukünftig in der Vergütungsstruktur Berücksichtigung finden.

Ein weiteres GIS-gestütztes Projekt wird aktuell am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT durchgeführt. Dabei geht es um die Möglichkeiten der Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz (www.biogaseinspeisung.de). Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes ist die Identifizierung von hemmenden Faktoren bei der Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung und Verteilung von Biomethan über das Erdgasnetz. Darüber hinaus bietet das Forschungsprojekt Lösungsansätze zur Optimierung der einzelnen Prozessabläufe und zeigt Ansätze zu einer besseren Vernetzung der Teilschritte auf. Dabei kommt dem Aufbau eines GIS zur Verwaltung und Verarbei-

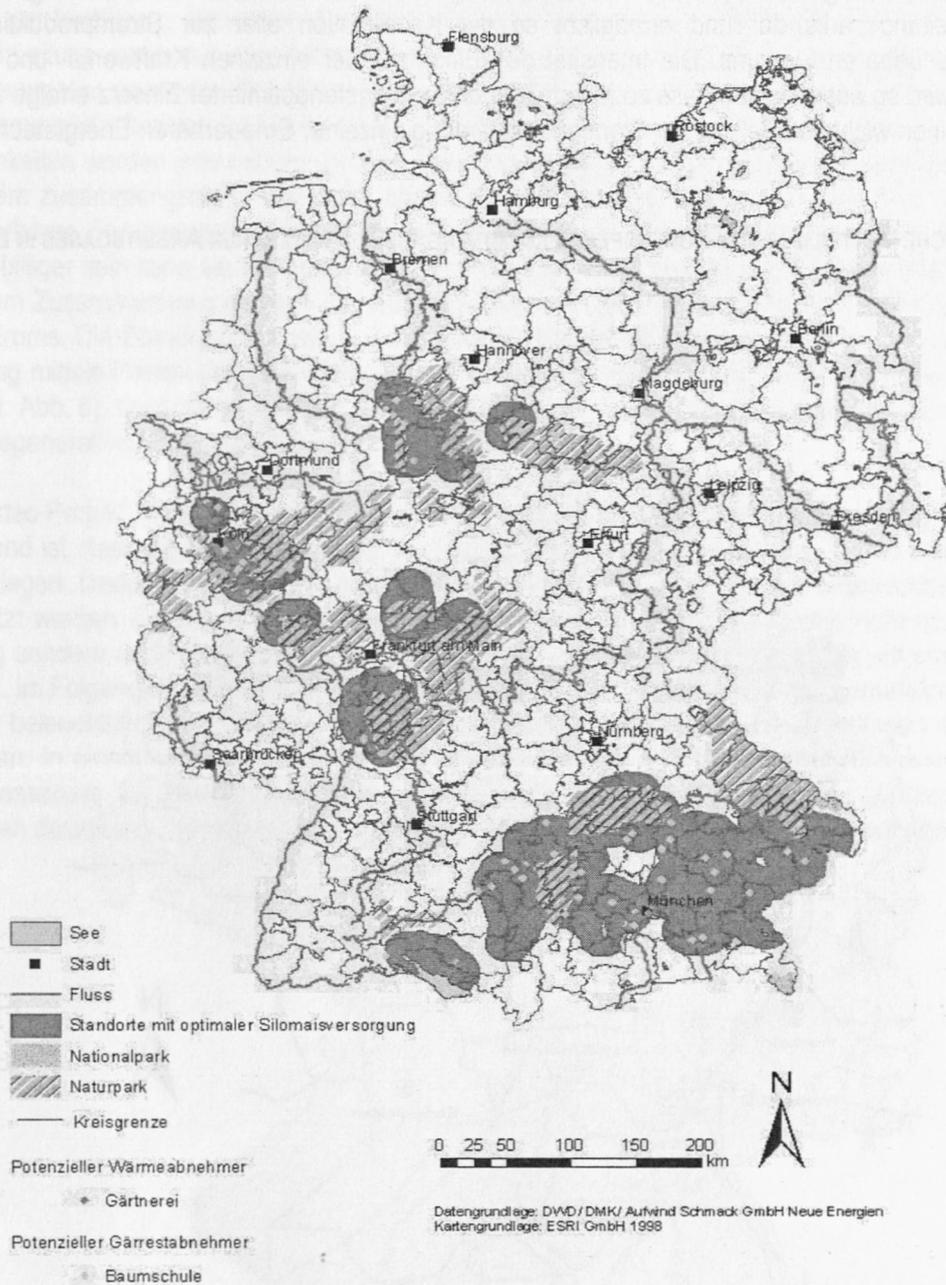
tung der umfangreichen, raumbezogenen Daten (Straßenverkehrsnetz, Flächennutzung, Gasnetz, raumplanerische und naturschutzbezogene Daten etc.) eine zentrale Bedeutung zu.

Herausragend an dem Projekt des Fraunhofer Instituts ist die Beleuchtung des *gesamten* Biomassenutzungspfades. Optimierungspotenziale werden vom Anbau der Energiepflanzen über den Transport, Lagerung, Konditionierung, Konversion bis hin zur Einspeisung des Biomethans ermittelt. Problematisch ist, dass der räumliche Fokus des Verbundprojektes nicht auf der gesamten Bundesrepublik Deutschland liegt. Es erfolgte lediglich eine Auswahl von zwei Modellregionen (Niederrhein und Altmark).

Zur zeitlich dynamischen Quantifizierung von Bioenergiepotenzialen in der deutschen Land-, Forst- und Abfallwirtschaft bis 2030 entwickelten FRITSCHÉ et al. (2004) – im Rahmen eines Verbundforschungsprojektes unter der Schirmherrschaft des Öko-Institutes e. V. Darmstadt – das Modell HEKTOR. Das vom BMU geförderte Projekt liefert eine sektorübergreifende, ökologische und ökonomische Parameter berücksichtigende Bewertung der für die einzelnen Nutzungsrouten zur Verfügung stehenden Technologien. Ausgehend von einer Agrarwende und nachhaltigen Nutzungskonzepten werden mögliche Entwicklungspfade in der Verfügbarkeit von Biomasse aufgezeigt. Zusätzlich werden – unter den Bedingungen einer effizienten und ökologisch verträglichen Biomassenutzung – Handlungsempfehlungen für die Politik erarbeitet. Ein wesentlicher Fortschritt der Arbeit von FRITSCHÉ et al. (2004) besteht in der Ablösung statischer Potenzialermittlungen durch dynamische Berechnungen von Stoffströmen über die Zeit. Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Biomassenutzung hervorragend mit den Interessen von Umwelt- und Naturschutz zu vereinbaren ist; nicht zuletzt ergeben sich bedeutende Synergieeffekte. Anlass zur Kritik geben laut FRITSCHÉ et al. die fehlenden Förderinstrumente zum notwendigen Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen. Die Fortschreibung der Ökosteuern auf Erdgas und Erdöl würde zumindest eine indirekte Förderung der Nah- und Fernwärme über die Entwicklung der Preise bedeuten. Die Autoren empfehlen eine Forcierung der Umwandlung von Biomasse zu flüssigen Kraftstoffen (biomass-to-liquid = BtL) und werben für ein europaweites Programm zur Unterstützung dieses Verfahrens. Darüber hinaus sehen sie Potenziale bei der Mitverbrennung von Biomasse in bestehenden Kohle-Heizkraftwerken, da diese – von dem EEG nicht geförderte – Variante nun indirekt über den Emissionshandel Unterstützung erfährt und eine Einsparung von CO₂ ermöglicht. Im Gegensatz zu Strom aus Biogas wird die zukünftige Bedeutung der Stromproduktion mittels Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus (Chinaschilf) als äußerst gering eingeschätzt. Deshalb wird ein zusätzliches Anreizprogramm zur Förderung von Energiepflanzen gefordert, das spezielle Anliegen des Naturschutzes miteinbezieht.

SIMON (2007) baut mit ihrer Arbeit auf den Erkenntnissen der Stoffstromanalyse von FRITSCHÉ et al. (2004) auf, jedoch liegt der Fokus allein auf Bioenergiepotenzialen in der Landwirtschaft. In einem ersten Schritt wird dabei der Flächenbedarf für die Produktion tierischer und pflanzlicher Nahrungsmittel zu bestimmten Stützzeitpunkten berechnet und zusammen mit den Flächenansprüchen von Naturschutz, Siedlungs- und Verkehrsentwicklung von der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche (LNF) subtrahiert. Die Energiebereitstellung mittels Energiepflanzen erfolgt in dieser Variante ausschließlich auf den verbleibenden Flächen. Neben der Anbaubiomasse ermittelt HEKTOR zusätzlich das Energiepotenzial aus der Bereitstellung landwirtschaftlicher Reststoffe wie Erntereste und Exkremmente. Unter Berücksichtigung variierender Rahmenbedingungen werden mögliche Entwicklungspfade für den Zeitraum bis 2030 aufgezeigt: Das Referenzszenario (REF) berechnet dabei die Entwicklung des Bioenergiepotenzials unter dem Blickwinkel der Fortsetzung aktueller Trends in der Agrarpolitik. Die Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen schlägt sich im Nachhaltigkeitsszenario (NH) nieder. Im letzten Schritt werden Auswirkungen einer verstärkten Förderung sowie einer erhöhten Wirtschaftlichkeit von Energiebiomasse auf die Energie- und Nahrungsmittelproduktion ermittelt. Eine wesentliche Erkenntnis der Arbeit von SIMON ist, dass sich die Variationen in den Szenario-Annahmen in erster Linie auf die Anbaubiomasse und nicht auf die Reststoffpotenziale auswirken. Vor dem Hintergrund variierender politischer Ausbaustrategien schwanken die landwirtschaftlichen Biomassepotenziale in Deutschland bis 2030 zwischen 665 und 770 PJ/a (16 %). Die Autorin betont, dass die energetische Nutzung von Biomasse nur sinnvoll ist, wenn das Nachhaltigkeitsprinzip in der Lebensmittelversorgung unangetastet bleibt.

ABB. 5: STANDORTE MIT OPTIMALER SILOMAISVERSORGUNG FÜR BIOGASANLAGEN 2007



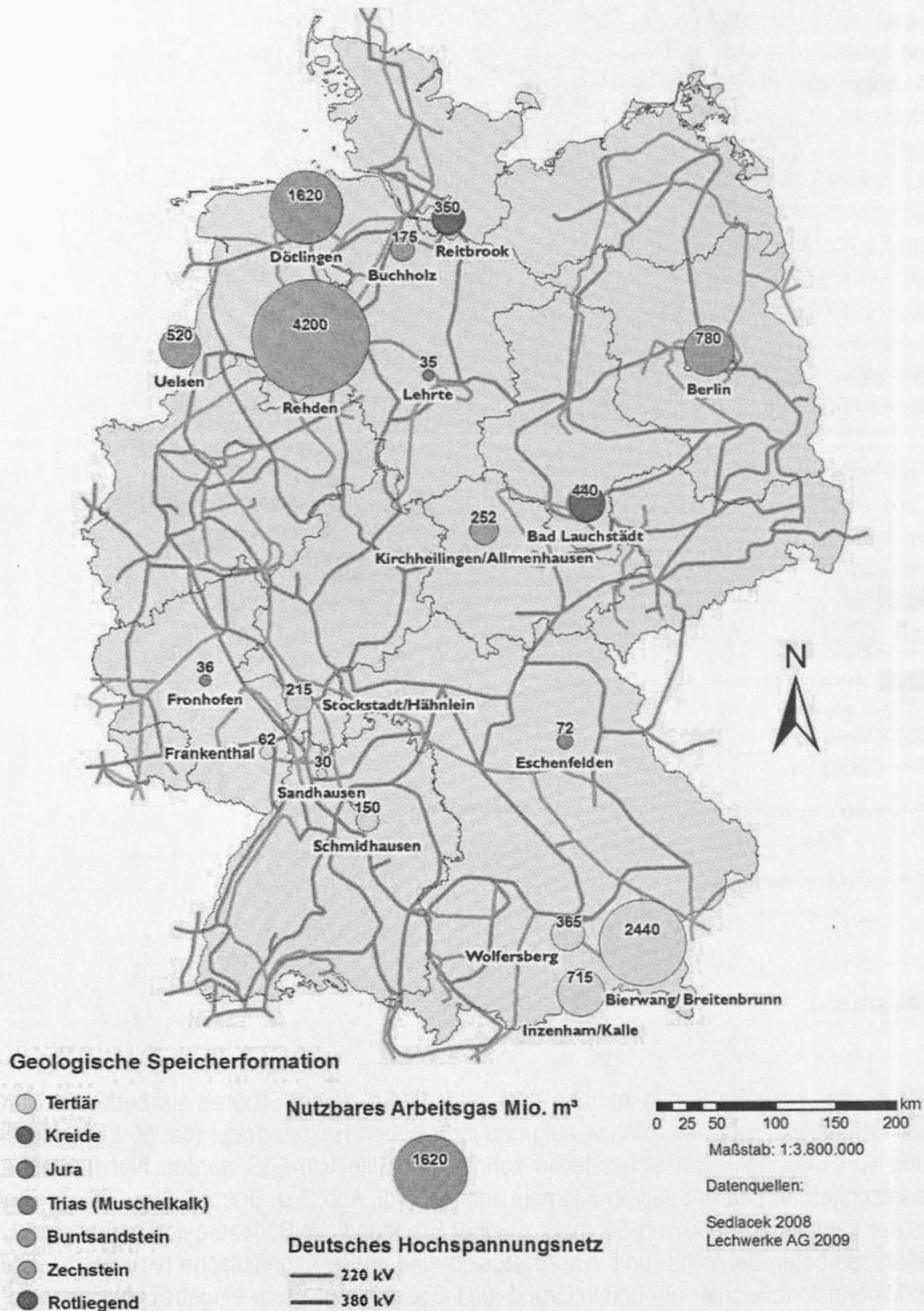
QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Mit der Einführung des NawaRo-Bonus im Jahr 2004 stieg die Feldfrucht Silomais zur bedeutendsten Energiepflanze auf, nicht zuletzt da diese Pflanze aufgrund ihrer hohen Hektarerträge (ca. 50 t FM/ ha) die Substratversorgung von Biogasanlagen sicherstellen konnte. Mit Hilfe von GIS wurden hierzu Standorte mit guten Voraussetzungen für den Anbau von Silomais ermittelt (vgl. Abb. 5 u. BOSCH/ PEYKE 2008). Problematisch ist, dass der verstärkte Anbau von Silomais zu einer Erhöhung der Bodenerosion geführt hat. Die großen Reihenabstände boten der Wind- und Wassererosion eine große Angriffsfläche (vgl. BOSCH 2008). Dadurch wurden Mineralstoffe leichter ab- und in Grund- und Oberflächenwasser eingetragen (Eutrophierung).

Abschließend gilt es noch eine besondere Studie zu würdigen. Zur nachhaltigen Stromproduktion und -versorgung für Europa und seine nähere Umgebung arbeitete CZISCH (2005) kostenoptimierte Variationen

des Einsatzes von Erneuerbaren Energien aus. Dabei kommt der Erstellung von Szenarien mittels der Kraftwerkseinsatzplanung eine entscheidende Bedeutung zu. Sie stellt einen Pool an verfügbaren Kraftwerks- und Leitungsparks dar und ermöglicht so die Koordination aller zur Stromproduktion und -speicherung verfügbaren Systeme. Die Intensität des Einsatzes der einzelnen Kraftwerks- und Leitungskomponenten wird so ausgerichtet, dass zu jedem Zeitpunkt ein kostenoptimierter Einsatz erfolgt. Zusätzlich liefert CZISCH einen wichtigen Beitrag zur Standortbestimmung einzelner Erneuerbaren Energietechnologien.

ABB. 6: RÄUMLICHE VERTEILUNG VON PORENSPEICHERN MIT ANGABE DES NUTZBAREN ARBEITSGASES IN DER BRD



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Die entscheidende Leistung der Arbeit besteht darin, dass der Fokus nicht auf einem generellen Ausbau von Erneuerbaren Energien, sondern auf einer anteilmäßig adäquaten, kostenoptimierten Kombination der einzelnen, zur Verfügung stehenden Technologien liegt. Dies bedeutet, dass aus dem Fundus an Kraftwerks- und Leitungsparks nur jene Technologien herausgegriffen und gefördert werden, die eine umfassende Optimierung des gesamten Energiesystems versprechen. CZISCH spricht in diesem Zusammenhang von Auswahlplanung (Kraftwerks- und Leitungsauswahlplanung). Aus einer unbegrenzten Menge an Kombinationsmöglichkeiten werden jene mit der größten Durchsetzungskraft ausgewählt und für ein optimales Versorgungssystem zusammengestellt. Der Autor kommt zu dem Schluss, dass der Aufbau einer ausschließlich auf Erneuerbaren Energien basierenden Stromversorgung aus ökonomischer Sicht nicht nur tragfähig, sondern auch billiger sein kann als die Energieproduktion mittels neuer fossiler und nuklearer Kraftwerke. Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch die Identifizierung von Standortpotenzialen zur Speicherung des Regenerativstroms. Die Standortpotenziale in Deutschland eröffnen hierbei verschiedene Optionen. Neben der Speicherung mittels Pump- und Druckluftspeicherkraftwerken bieten Porenspeicher ein großes Speicherpotenzial (vgl. Abb. 6). Dadurch lassen sich eine grundlastfähige Energieversorgung und damit der Übergang zu einem regenerativen Energiesystem sicherstellen.

Das Desertec-Projekt stellt eine neue Dimension beim Aufbau eines regenerativen Energiesystems dar. Entscheidend ist, dass die Energie nicht mehr von Flächen bezogen wird, die einer hohen Nutzungskonkurrenz unterliegen. Dadurch können Interessenkonflikte ausgeschlossen und bisher unbrauchbare Flächen in Wert gesetzt werden. Darüber hinaus wird mit Desertec ein Konzept entwickelt, das nicht nur die Energieversorgung sondern auch die Wasser- und Nahrungsmittelversorgung transkontinental auf eine nachhaltige Basis stellt. Im Folgenden wird die energiewirtschaftliche Ausgangssituation, v. a. der nordafrikanischen Staaten, näher beleuchtet. Daran schließt sich eine Analyse der technologischen Grundlagen des Desertec-Projektes an. In einem weiteren Schritt wird aufgezeigt, inwieweit die eingesetzten Technologien auch zu einer Verbesserung der Wasserversorgung führen können. Abschließend werden die politischen Rahmenbedingungen dargestellt, die notwendig sind, um ein Projekt dieser Größenordnung zu realisieren.

Literatur

- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2009): Erneuerbare Energien 2020 – Potenzialatlas Deutschland. Berlin.
- BOSCH S. (2008): Kulturlandschaften und Erneuerbare Energien – Auswirkungen auf Natur und Landschaft: Ökonomische Bedeutung und ökologische Probleme der Biogasgewinnung. In: VEREIN RIESER KULTURTAGE e. V. [Hrsg.]: Rieser Kulturtage – Eine Landschaft stellt sich vor. Dokumentation Band XVII, S. 125-128.
- BOSCH S., PEYKE G. (2008): Energiepflanzenbau und konkurrierende Flächennutzungen – neue Strukturen in der Landwirtschaft und ihre Optimierung mittels GIS. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: Angewandte Geoinformatik 2008 – Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg, S. 450-455.
- BOSCH S., PEYKE G. (2009): Energiewende durch GIS. In: GIS.BUSINESS – Zeitschrift für Geoinformation H. 8, S. 44-46.
- BOSCH S., PEYKE G. (2010): Raum und Erneuerbare Energien – Anforderungen eines regenerativen Energiesystems an die Standortplanung. In: Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie. H. 34, S. 11-19.
- BRÜCHER W. (1997): Mehr Energie – Plädoyer für ein vernachlässigtes Objekt der Geographie. In: Geographische Rundschau 49 H. 6, S. 330-335.
- BRÜCHER W. (2008): Erneuerbare Energien in der globalen Versorgung aus historisch-geographischer Perspektive. In: Geographische Rundschau 1, S. 4-12.
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (BFS) [Hrsg.] (2007): Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KIKK-Studie). Salzgitter.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) [Hrsg.] (2004). Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2005): Leitfaden für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz für die Neuerrichtung und Modernisierung von Wasserkraftanlagen. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) [Hrsg.] (2006): Wirkung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt unter besonderer Berücksichtigung des Außenhandels. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) [Hrsg.] (2007a): Analyse des Preiseffektes der Stromerzeugung auf die Börsenpreise im deutschen Stromhandel. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007b): Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2008a): „Leitstudie 2008“ – Weiterentwicklung der Ausbastrategie Erneuerbarer Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2008b): Verbesserte Netzintegration von Windenergieanlagen im EEG 2009. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2009): Neues Denken – Neue Energie – Roadmap Energiepolitik 2020. Berlin.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (BMWA) [Hrsg.] (2005): EWI/ Prognos – Studie. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi), BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2006): Energieversorgung für Deutschland – Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006. Berlin.
- CZISCH G. (2005): Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung - Kostenoptimierte Variationen zur Versorgung Europas und seiner Nachbarn mit Strom aus erneuerbaren Energien. Kassel.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GmbH (DENA) (2008): Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020 (mit Ausblick auf 2030). Berlin.
- EU-KOMMISSION (2004): European energy and transport – Scenarios on key drivers. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport. Brüssel.
- EUPD RESEARCH (2008): The German Photovoltaic Market 2007/ 2008 – From Sales to Strategic Marketing. Bonn.
- FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT-, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT: Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz: Aufbau und Anwendung eines Geoinformationssystems zur Analyse regionaler Biogaspotenziale und zur Standortfindung für die Biogaseinspeisung. <http://www.biogaseinspeisung.de>, Stand: 17.03.2009.
- FRAUNHOFER INSTITUT SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG (ISI) (2005): Zusammenfassende Analyse zu Effektivität und ökonomischer Effizienz von Instrumenten zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich – Zwischenergebnisse aus dem UFO-plan Forschungsvorhaben. Karlsruhe.
- FRITSCH U. R., DEHOUST G., JENSEIT W., HÜNEKE K., RAUSCH L., SCHÜLER D., WIEGMANN K., HEINZ A., HIEBEL M., ISING M., KABASCI S., UNGER C., THRÄN D., FRÖHLICH N., SCHOLWIN F., REINHARDT G., GÄRTNER S., PATYK A., BAUR F., BEMMANN U., GROß B., HEIB M., ZIEGLER C., FLAKE M., SCHMEHL M., SIMON S.-M. (2004). Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Öko-Institut e.V. - Institut für angewandte Ökologie, Freiburg, Darmstadt, Berlin.
- INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIEVERSORGUNGSTECHNIK (ISET) (2008): Das regenerative Kombikraftwerk. Kassel.
- INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (ifo) (2008): Standortgutachten Photovoltaik in Deutschland. München.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2004): World Energy Outlook 2004. Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2007): Renewables in Global Energy Supply. An IEA Fact Sheet. Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2008): World Energy Outlook 2008. Paris.
- JUNG R., RÖHLING S., OCHMANN N., ROGGE D., SCHELLSCHMIDT R., SCHULZ R., THIELMANN T. (2002): Abschätzung des technischen Potenzials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. Gutachten für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. In: PASCHEN H., OERTEL D., GRÜNWALD R. (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Arbeitsbericht Nr. 84 Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag.
- KALTSCHMITT M., STREICHER W., WIESE A. [Hrsg.] (2006): Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin.

- KREWITT W., NITSCH J., NAST M. (2005): Energiewirtschaftliche Perspektiven der Fotovoltaik. Stuttgart.
- MEADOWS D., RANDERS J., MEADOWS D. (2006): Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel. 3. Aufl., Vermont.
- NEUBARTH J., WOLL O., WEBER C., GERECHT M. (2006): Beeinflussung der Spotmarktpreise durch Windstromerzeugung. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 56 (7), S. 42-45.
- PASCHEN H., OERTEL D., GRÜNWARD R. (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Arbeitsbericht Nr. 84 Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag.
- REICHMUTH M., BOHNENSCHÄFER W., DANIEL J., FRÖHLICH N., LINDNER K., MÜLLER M., WEBER A., WITT J., SEEFELDT F., KIRCHNER A., MICHELSEN C. (2006): Auswirkungen der Änderungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes hinsichtlich des Gesamtvolumens der Förderung, der Belastung der Stromverbraucher sowie der Lenkungswirkung der Fördersätze für die einzelnen Energiearten. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig.
- REMPEL H. (2008): Globale Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energierohstoffe. In: Geographische Rundschau H. 1, S. 22-31.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Berlin.
- SCHILLINGS C., NAST M., FISCHEDICK M., VENJAKOB J. (2007): Nutzung von Satellitendaten für die Regionalisierung des regenerativen Nahwärmepotenzials in Deutschland. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 57, 10, S. 84-88.
- SCHLESINGER M., HOFER P., RITS V., LINDENBERGER D., WISSEN R., BARTELS M. (2007): Energieszenarien für den Energiegipfel 2007. Prognos AG, EWI Energiewirtschaftliches Institut, Basel, Köln.
- SEDLACEK R. (2008): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. In: Erdöl Erdgas Kohle H. 11, S. 453-465.
- SENSFUSS F., RAGWITZ M. (2009): Entwicklung eines Fördersystems für die Vermarktung von erneuerbarer Stromerzeugung. Karlsruhe.
- SIMON S.-M. (2007): Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn. Weihenstephan.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2007): Verfahren zur CO₂-Abscheidung und –speicherung. Dessau-Roßlau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2007): Potenziale von Nah- und Fernwärmenetzen für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020. Dessau-Roßlau.
- UNITED NATIONS (UN) (1987): Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future. Genf.
- VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), VERBAND DER INTERNATIONALEN KRAFTFAHRZEUGHERSTELLER (VDIK) (2009): Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen aller neuen Personenkraftwagenmodelle, die in Deutschland angeboten werden – Ausgabe 2009, 1. Quartal. Frankfurt a. Main.
- VEREINTE NATIONEN (UN) (1992): AGENDA 21 – Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. Rio de Janeiro.
- WACKERNAGEL M. et al. (1999): Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy. Proceedings of the Academy of Science 99 (14), 9266-9271, Washington D. D..

WIETSCHEL M., DALLINGER D. (2008): Quo Vadis Elektromobilität? In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 12, S. 8-15.

WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) [Hrsg.] (2003): Sequestrierung von CO₂ – Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen. WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“. Berlin.

3 Energiewirtschaftliche Perspektive Nordafrikas

Die im Oktober 2009 gegründete Desertec Industrial Initiative (DII) besteht aus zwölf Unternehmen, die aus verschiedenen Bereichen der Wirtschaft stammen. Aufgabe der DII wird in den kommenden drei Jahren die Ausarbeitung eines Fahrplanes zur Umsetzung des Projektes Desertec sein. Die Führung der GmbH liegt in der Hand des Rückversicherers Munich RE. Aus der Technologiesparte sind unter anderem die Unternehmen ABB, Abengoa Solar, Solar Millennium und Siemens vertreten. Auch die Energieunternehmen RWE und Eon zählen zu den Gründungsmitgliedern. Für den Planungsbereich der Finanzierung sind die Deutsche Bank und die HSH Nordbank zuständig. In Zukunft sollen weitere internationale Unternehmen aus verschiedenen Bereichen in die Gesellschaft eingegliedert werden.

Die Träger des Projektes Desertec erwarten wirtschaftliche Impulse für die Staaten Nordafrikas. Neue Arbeitsplätze für Facharbeiter und eine positive Wirtschaftsentwicklung sind erklärte Ziele von Desertec. Neben dem Export von Strom nach Europa wird außerdem gefordert, den Energiesektor der produzierenden Länder konsequent auf Erneuerbare Energien umzustellen. Die bisherige Abhängigkeit dieser Staaten von den konventionellen Energiequellen Erdgas, Kohle und Öl zur Stromproduktion soll im Zuge des Ausbaus Erneuerbarer Energien verringert werden. Zunächst bedarf es hierzu einer Bestandsaufnahme der aktuellen energiewirtschaftlichen Situation ausgewählter Staaten in Nordafrika. Daneben werden auch potentielle Effekte auf Wertschöpfungsketten in deutschen Unternehmen und den nordafrikanischen Staaten analysiert.

3.1 Effekte durch Desertec auf Nordafrika und deutsche Unternehmen

3.1.1 Investitionen bis 2050 und Möglichkeiten der Finanzierung

Zu den größten Schwierigkeiten der Realisierung des Projektes zählt neben den politischen Hürden die Finanzierung des Großprojektes. Ersten Berichten zufolge, soll die Investitionssumme bis zum Jahr 2050 400 Mrd. € betragen. Die DII hat für die nächsten drei Jahre einen Etat in Höhe von 1,8 Mio. €, der durch die zwölf Unternehmen bereitgestellt wird. Mit der Deutschen Bank und der HSH Nordbank sind zwei Bankenhäuser beteiligt, die jahrelange Erfahrung mit Projekten dieser Größenordnung haben. Um die große Summe von 400 Mrd. € aufbringen zu können, muss der gesamte Kapitalmarkt angezapft und diverse Finanzierungsmöglichkeiten ausgeschöpft werden. Privatwirtschaft, Staatsfonds und neue Einlagen, die durch Kapital aus den Industrieländern gefüllt werden, müssen gleichermaßen integriert werden. Etwa 350 Mrd. € werden in den Bau von solarthermischen Kraftwerken fließen. Jedoch ist es schwer abzusehen, wie sich die Herstellungskosten der einzelnen Komponenten und die Rohstoffpreise entwickeln werden. Die Baukosten werden sich mit jedem neuen Kraftwerk verringern, da die Produktionstechniken und die notwendige Technologie effizienter ausgebaut werden. Heute kostet ein 50-MW-Kraftwerk mit einer Speicherkapazität von 7,5 h, wie bspw. Andasol III, ca. 300 Mio. € (vgl. VALLENTIN 2009, S. 51). Weitere 50 Mrd. € werden für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) veranschlagt. Die Leitungen, die Nordafrika und Europa an den engsten Stellen des Mittelmeeres verbinden werden, sollen bis 2050 schrittweise ausgebaut werden und langfristig ca. 15 % des europäischen Strombedarfs decken.

Insgesamt ist die Finanzierung ein heikles Thema, über das die Unternehmen derzeit nur wenige Informationen herausgeben. Die Gefahr, dass Investoren durch nicht kalkulierbare Kostenentwicklungen und fehlende Absicherungen abgeschreckt werden, ist beträchtlich. Hinzu kommt, dass Erneuerbare Energien derzeit noch kostspielig im Aufbau sind. Dadurch wird das Projekt ohne staatliche Anschubinvestitionen nicht realisierbar sein. Bis 2012 werden die bestehenden Studien aktualisiert und präzisere Kostenvoranschläge erwartet, die anschließend mit Bankenpools verhandelt werden können.

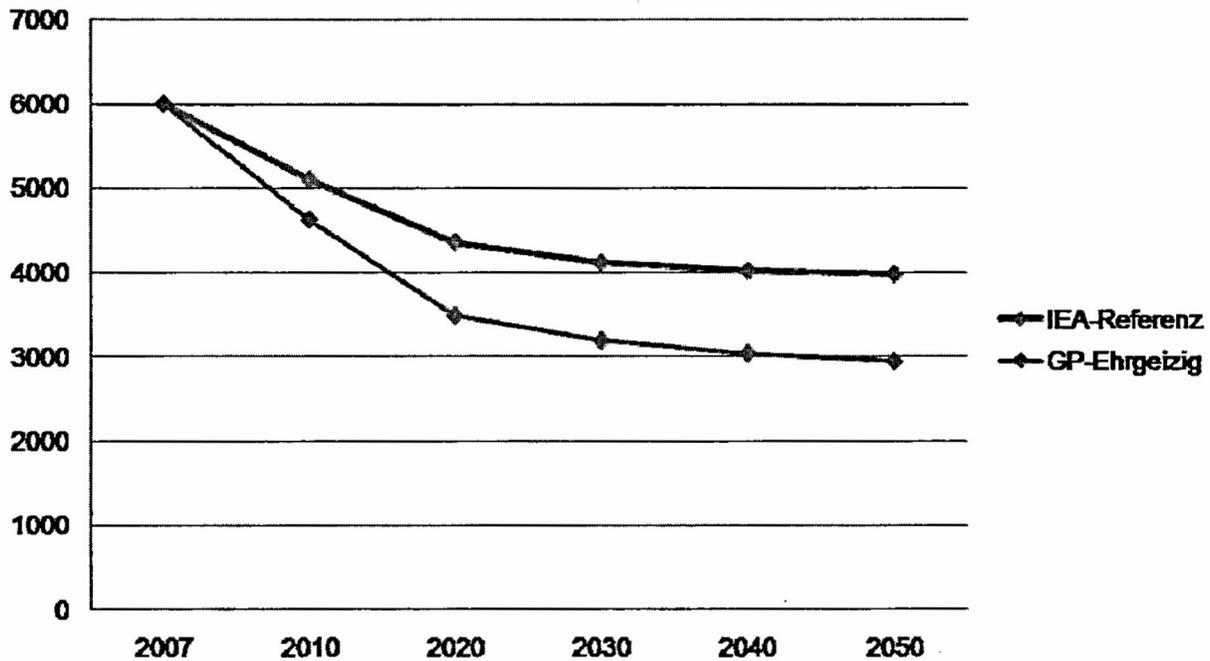
3.1.2 Deutsche Unternehmen entlang der CSP-Wertschöpfungskette

Deutsche Unternehmen sind im Bereich der CSP-Technologien sowie in der Projektentwicklung führend. Einen besonderen Stellenwert in Deutschland hat die enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen wie dem DLR bzw. dem Solarinstitut Jülich und der Industrie. Im Bereich des Engineerings sind die Unternehmen Schlaich Bergermann Partner, Fichtner Solar und CSP Services führend. Letzteres ist eine Ausgliederung des DLR, das die Vermarktung von Know-how vorantreibt. Die Prüfung von Prototypen, die Optimierung des thermischen Outputs und die Verbesserung der Spiegelfertigung zählen zu den Kernkompetenzen. Schlaich Bergermann Partner ist ein etabliertes Unternehmen mit 30-jähriger Erfahrung. Es ist

u. a. an der Entwicklung und Planung von Parabolrinnenanlagen in Spanien, Ägypten und den USA beteiligt. Das Unternehmen Fichtner Solar ist vor allem in der Planung tätig. Es pflegt ein globales Netzwerk von Wissenschaftlern und Industrievertretern, das entscheidend zum Erfolg beiträgt. Zurzeit werden in Ägypten ein 150-MW- und in Marokko ein bis zu 250-MW-Kraftwerk geplant (vgl. VALLENTIN 2009, S. 23f.).

Im Bereich der Komponentenzulieferer gibt es eine Vielzahl von Unternehmen, die sich fest im internationalen Markt etabliert haben. Die Schott Solar AG liefert zum Einen Photovoltaikmodule und zum Anderen Receiver-Technologie für Parabolrinnenkraftwerke, die z. B. in Andasol I eingesetzt werden. Nachdem 2008 an verschiedenen Standorten Produktionsanlagen eröffnet wurden, stieg die Produktion auf 400 MW an und soll im nächsten Jahr sogar die 1-GW-Marke erreichen.

ABB. 7: ENTWICKLUNG DER CSP-INVESTITIONSKOSTEN BEI VERSCHIEDENEN SZENARIEN IN €/kW



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH VALLENTIN/ VIEBAHN 2009.

Für die Stromerzeugung mittels CSP-Kraftwerken wurde von der Siemenssparte „Siemens Energy“ eine spezielle Dampfturbine entwickelt. Das Geschäftsfeld „Renewable Energy“ erwirtschaftete 2008 einen Umsatz von 2,1 Mrd. € und ist damit ein wichtiges Segment im Konzern. Die entwickelte Turbine kann in Kraftwerken mit einer Leistung von bis zu 175 MW eingesetzt werden und ist aufgrund der schnellen Anlaufzeit weltweit gefragt. Ein negativer Aspekt sind die geringen Produktionskapazitäten, die zu jahrelangen Wartezeiten führen können. Die Renewable Energy Division ist eine von 15 Sparten des Siemens-Konzerns. Bis dato werden etwa 90 % des Umsatzes durch den Bereich Windenergie erwirtschaftet. Das Unternehmen hat jedoch mit der Übernahme des mittelständischen, israelischen Unternehmens Solel (ehemals Luz) den Anspruch erhoben, in Zukunft auch den Markt für solarthermische Kraftwerke zu dominieren. Solel hat große Erfahrungen in der Ausstattung von solarthermischen Kraftwerken mit Receivern sowie beim Engineering von Solarfeldern. Bereits in den 1980er Jahren war das Unternehmen an der Errichtung der ersten Sonnenkraftwerke (360 MW) in der kalifornischen Mojawewüste beteiligt. Darüber hinaus stattete es auch die Kraftwerke Nevada Solar One und Andasol I mit Receivern aus. In einem weiteren Schritt hat Siemens auch einen Anteil von 28 % am italienischen Hersteller von Receivern Archimede erworben. Im Gegensatz zu Solel verwendet dieses Unternehmen keine Thermoöle (max. 400 °C) als Wärmeträgerflüssigkeit, vielmehr setzt man auf geschmolzene Salze, die bis zu 550 °C erhitzt werden können und damit eine höhere Effizienz aufweisen. Siemens ist nun in der Lage, 75 % eines Solarkraftwerkes aus eigener Hand zu liefern, denn Wärmetauscher, Dampfkraftwerk, Generator und Turbine entstammen der eigenen Produktion. Das

große Engagement von Siemens ist leicht zu erklären: Der Leiter der Division Renewable Energy René Umlauf geht davon aus, dass solarthermische Kraftwerke bis 2020 über 20 Mrd. € umsetzen werden. Speziell mit dem Desertec-Projekt ist die Hoffnung verbunden, den Schritt zum Weltmarktführer zu vollziehen (vgl. MAY 2009).

In anderen Bereichen haben sich deutsche Unternehmen bereits in der Weltspitze etabliert. Das Unternehmen Bertrams Heatec, eine Tochterfirma von Linde, zählt weltweit zu den führenden Produzenten von Salzschnmelzen. Das flüssige Salz wird zur Wärmeweiterleitung und Wärmespeicherung in solarthermischen Kraftwerken wie Andasol eingesetzt (vgl. VALLENTIN 2009, S. 24ff.).

Die Realisierung von CSP-Kraftwerken wird hauptsächlich durch zwei deutsche Unternehmen bestimmt, die jedoch eng zusammenarbeiten. Die MAN Solar Millennium GmbH, eine Tochtergesellschaft der MAN Ferrostaal, beteiligt sich an der Projektentwicklung, dem Projektmanagement und dem Betrieb von Parabolrinnenkraftwerken. Langjährige Erfahrung, Vertretungen in 60 Ländern und enge Kooperationen mit Komponentenzulieferern zeugen vom weltweiten Einfluss. Als Referenzen sind die Andasol-Kraftwerke in Spanien zu nennen. Die Solar Millennium AG besteht zu 50% aus den Anteilen der MAN Solar Millennium GmbH. Sie umfasst alle wichtigen Bereiche wie Engineering, Finanzierung, Bau und Betrieb. Das Unternehmen besitzt in den USA weitläufige Landflächen, die eine Erzeugungskapazität von 5.000 MW aufweisen. Im Moment kalkuliert man mit Projekten im Bereich von bis zu 500 MW. Zahlreiche Projekte in China, Abu Dhabi, Spanien und Israel befinden sich in der Ausschreibungs- oder Planungsphase (vgl. VALLENTIN 2009, S. 31).

ABB. 8: DEUTSCHER ANTEIL AN DEN EINZELNEN KOMPONENTEN

Kostenkomponente	Deutscher Anteil an Kostenkomponente in %
Kollektorfeld	60
Heat Transfer Fluid (HTF-System)	41
Thermischer Speicher	1
Konventioneller Kraftwerksteil	80
Personal, Engineering, Commissioning	55
Baumaßnahmen	0

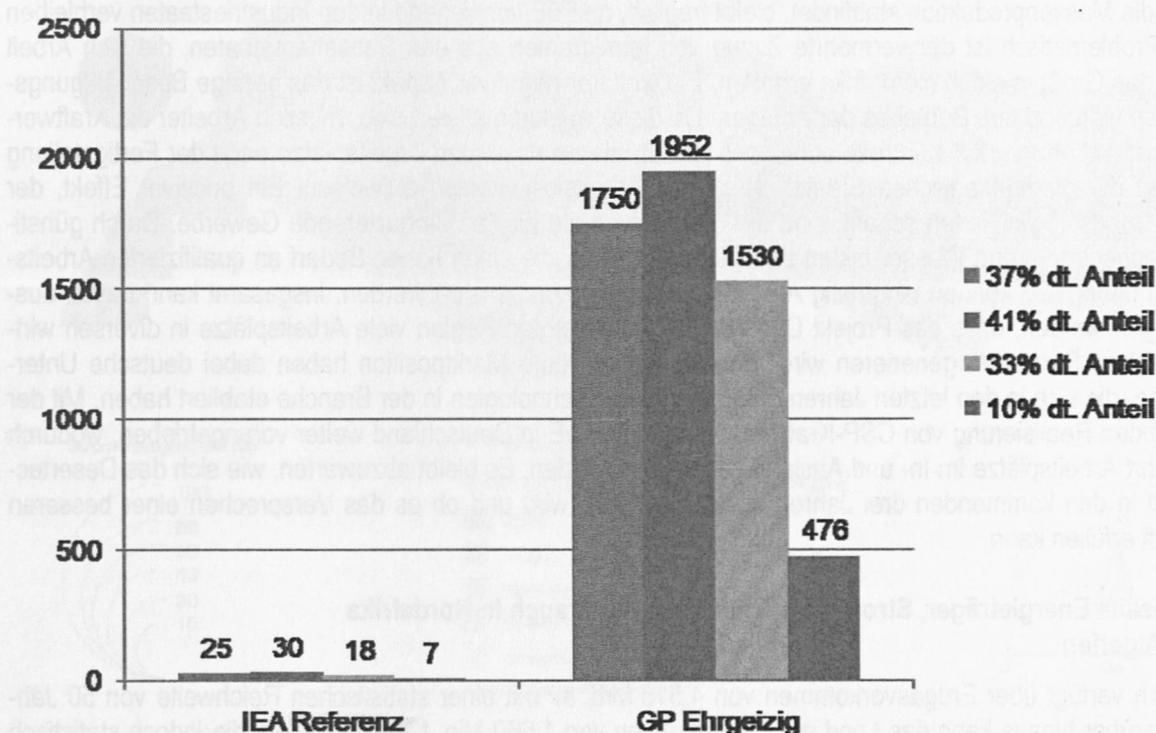
QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH VALLENTIN/ VIEBAHN 2009.

Um die zukünftige Wertschöpfung deutscher Unternehmen an einem großflächigen Ausbau von CSP-Kraftwerken abzuschätzen zu können, müssen verschiedene Entwicklungsfaktoren betrachtet werden. Den Szenarien, welche vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH veröffentlicht wurden, werden Einflüsse der Politik, der Produktionskapazitäten und im bestmöglichen Fall die Realisierung von Desertec zugrunde gelegt. Das „ehrgeizige GP-Szenario“ geht davon aus, dass der Markt für die CSP-Technologien optimal wachsen wird. Zentral dabei ist der Grundsatz, dass alle politischen Entscheidungen zum Ausbau der Erneuerbaren Energien umgesetzt werden und eine erweiterte Netzinfrastruktur, die Sonnenstrom in die Industrieländer liefert, etabliert wird. Das Szenario beruht auf dem von Greenpeace veröffentlichtem „Global Concentrating Solar Power Outlook 2009“. Das konservative Szenario (IEA-Referenzszenario) beruht auf Prognosen der Internationalen Energie Agentur. Es beachtet lediglich die existierenden politischen Bestrebungen zur Förderung von Erneuerbaren Energien. Durch die beschränkten Maßnahmen wird der Ausbau von CSP-Kraftwerken bis zum Jahre 2050 nur minimal vorangetrieben. Die gesamte Kapazität wird ca. 18 GW weltweit betragen, damit können etwa 0,2 % des globalen Stromverbrauchs gedeckt werden. Im Gegensatz dazu wird der Zubau im ehrgeizigen GP-Szenario massiv ausgeweitet. Im Jahr 2050 wird eine Kapazität von 1.524 GW dann 18-26 % des Strombedarfes decken (vgl. VALLENTIN 2009, S. 49).

An einem Referenzkraftwerk wie Andasol III, das 300 Mio. € kostet, lässt sich die Wertschöpfung deutscher Unternehmen veranschaulichen. Das Solarfeld und das System zur Wärmeleitung machen mit 36-42 % den größten Teil der Investitionskosten aus. Für die Wärmespeicherung fallen ca. 10 % der Baukosten an. Das

eigentliche Kraftwerk zur Stromerzeugung macht lediglich einen Anteil von 5-8 % aus. Die restlichen Kosten von 15-20 % entfallen auf Bau und Management. Heute sind die Kosten für ein 50-MW-Kraftwerk sehr hoch und ohne staatliche Unterstützung sind Projekte kaum zu realisieren. Deshalb wird in den Szenarien die sog. Lernkurve berücksichtigt. Dabei handelt es sich um eine Senkung der Kosten, die aus einem Zuwachs der installierten Leistung resultiert. Eine Lernrate von 15 % bedeutet, dass bei einer Verdopplung der installierten Leistung die Kosten um 15 % sinken. Am Beispiel von Andasol III werden heute ca. 6.000 €/ kW veranschlagt. Wird der folgenden Lernkurve der unterschiedlich ausgeprägte Zubau der zwei angesprochenen Szenarien zugrunde gelegt, kommt es 2050 zu einer Kostendifferenz von 1.000 €/ kW. Vor allem durch den anfänglich massiven Ausbau von Kraftwerken und der bis dato geringen Kapazität, kommt es zu einer rapiden Kostensenkung. Im ehrgeizigen Szenario liegt der Preis 2050 bei knapp 3.000 €/ kW und entspricht damit der Hälfte der heutigen Baukosten (vgl. VALLENTIN 2009, S. 53ff.).

ABB. 9: KUMULIERTE UMSATZANTEILE DEUTSCHER UNTERNEHMEN 2010-2050 IN MRD. €



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH VALLENTIN / VIEBAHN 2009.

Die Beteiligung deutscher Unternehmen an der Realisierung eines CSP-Kraftwerkes beläuft sich auf ca. 33 %. Das bedeutet, dass ein Drittel des generierten Umsatzes durch deutsche Konzerne erwirtschaftet wird. Abb. 8 zeigt die einzelnen Komponentenanteile. Es ist ersichtlich, dass die deutschen Kernkompetenzen vor allem im Bereich des Kollektorfeldes (z. B. Schott Solar) und des konventionellen Kraftwerkbaus (z. B. Siemens) liegen. Die größten Konkurrenten stammen aus Spanien und den USA. Durch die Ausweitung des Engagements deutscher Unternehmen lässt sich der Anteil der Wertschöpfung auf 41 % steigern. Bei einer anhaltend ungünstigen Marktsituation kann der deutsche Anteil auf bis zu 10 % absinken. In Abb. 9 sind die Wertschöpfungsanteile in den einzelnen Szenarien abgebildet. Dabei handelt es sich um die kumulierten Umsatzanteile zwischen 2010 und 2050. Während im IEA-Referenz-Szenario das Potential für deutsche Unternehmen nur zwischen 7 und 30 Mrd. € liegt, erreicht es im ehrgeizigen Szenario die gigantische Summe von 476-1.952 Mrd. €. Die IEA hat in einer Fortschreibung der Investitionen im Energiesektor festgestellt, dass ca. 182 Bill. € bis 2050 weltweit nötig sind, um den globalen Energieverbrauch decken zu können.

nen. Jedoch wird erwartet, dass durch die aktuelle Finanzkrise die Investitionen in der Energiebranche stagnieren oder abnehmen werden (vgl. VALLENTIN 2009, S. 64).

3.1.3 Beschäftigungsvolumen durch den Ausbau von CSP-Kraftwerken

Der zukünftige Ausbau der CSP-Technologien weltweit wird weitreichende und positive Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt haben. Nicht nur der Bau und Betrieb vor Ort generieren Arbeitsplätze sondern auch die Entwicklung, Produktion und Planung in Industrieländern wie Deutschland. 2008 arbeiteten nach Angaben des BMU 274.400 Menschen im Bereich der Erneuerbaren Energien. In der CSP-Branche sind derzeit nur etwa 5.000 Menschen beschäftigt. Im ehrgeizigen Szenario könnte die Zahl bis 2050, je nach Wertschöpfungsanteil, auf bis zu 238.600 ansteigen (vgl. VALLENTIN 2009, S. 66). Laut den Studien des DLR können durch Desertec bis 2050 ca. 2 Mio. Arbeitsplätze in der gesamten EUMENA-Region geschaffen werden (vgl. TRIEB 2005, S. 14). Die Arbeitsplätze entstehen vor allem in der Produktion, dem Aufbau der Kollektoranlagen und der notwendigen Infrastruktur. Die Massenproduktion der Einheitskomponenten kann im Fall von Desertec in der Nähe der Anlagen-Standorte erfolgen. So können Kosten für den Transport eingespart werden. Zudem können billige einheimische Arbeitskräfte angeworben werden. Ob ein Know-how-Transfer durch die Massenproduktion stattfindet, bleibt fraglich, da FuE vorwiegend in den Industriestaaten verbleiben wird. Problematisch ist der vermehrte Zuzug von Immigranten aus den Subsaharastaaten, die sich Arbeit durch das Großprojekt in Nordafrika erhoffen. Ein weiterer negativer Aspekt ist das geringe Beschäftigungsvolumen während des Betriebes der Anlagen. Da diese vollautomatisiert sind, müssen Arbeiter die Kraftwerke nur zur Wartung und Kontrolle aufsuchen. Durch die wegfallenden Arbeitsplätze nach der Fertigstellung könnten die nordafrikanischen Staaten steigende Arbeitslosenzahlen aufweisen. Ein positiver Effekt, der neue Arbeitsmöglichkeiten schafft, sind die Standortvorteile für das produzierende Gewerbe. Durch günstigen Sonnenstrom und Wasser bilden sich Industriecluster, die einen hohen Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften haben. So können langfristig Arbeitsplatzverluste kompensiert werden. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass das Projekt Desertec in der gesamten Region viele Arbeitsplätze in diversen wirtschaftlichen Bereichen generieren wird. Eine besonders gute Marktposition haben dabei deutsche Unternehmen, die sich in den letzten Jahren durch moderne Technologien in der Branche etabliert haben. Mit der verstärkten Realisierung von CSP-Kraftwerken wird die FuE in Deutschland weiter vorangetrieben, wodurch vermehrt Arbeitsplätze im In- und Ausland geschaffen werden. Es bleibt abzuwarten, wie sich das Desertec-Projekt in den kommenden drei Jahren weiterentwickeln wird und ob es das Versprechen einer besseren Zukunft erfüllen kann.

3.2 Fossile Energieträger, Stromproduktion und –verbrauch in Nordafrika

3.2.1 Algerien

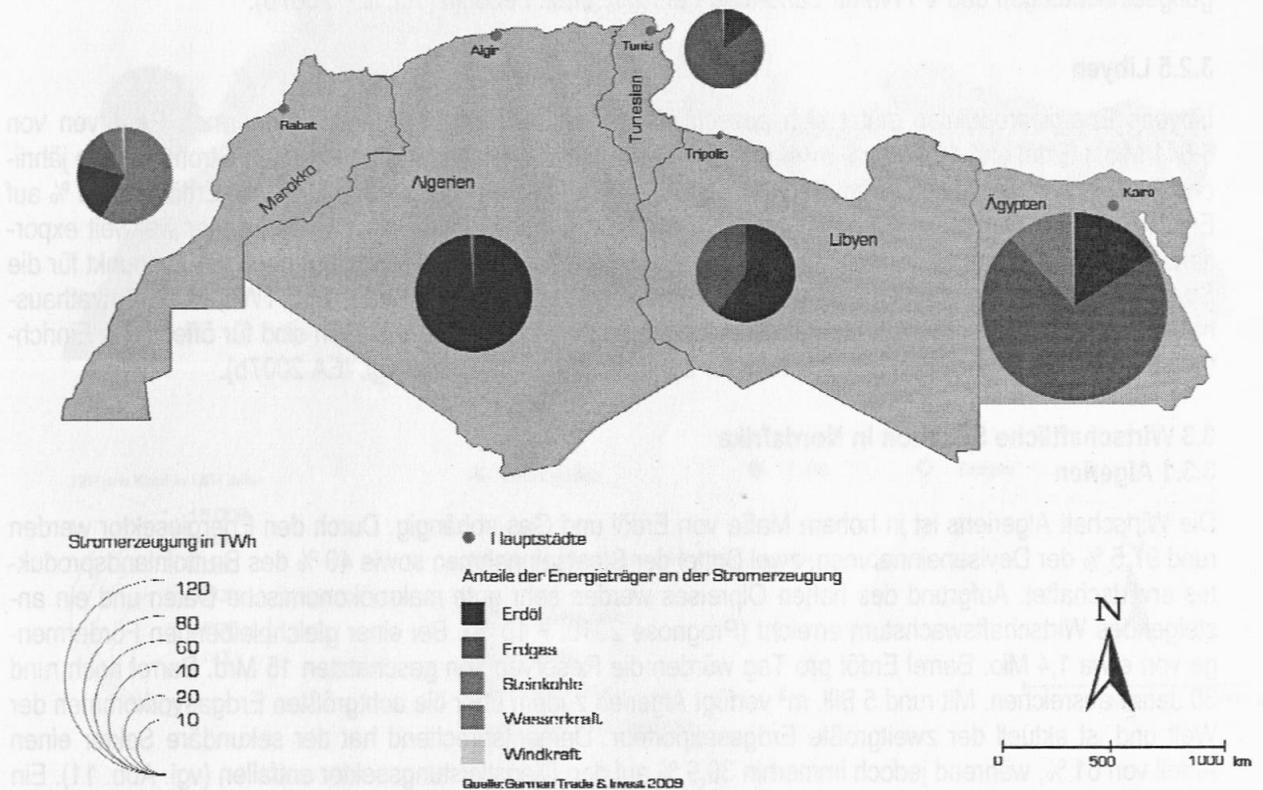
Algerien verfügt über Erdgasvorkommen von 4.515 Mrd. m³ mit einer statistischen Reichweite von 50 Jahren. Darüber hinaus kann das Land auf Erdölreserven von 1.660 Mio. t zurückgreifen, die jedoch statistisch in 19 Jahren erschöpft sind. Die Stromproduktion Algeriens beträgt jährlich 35,2 TWh. Die großen Öl- und Erdgasvorkommen sind im Rahmen der Stromproduktion entscheidend: Mit 35 TWh werden 99 % der produzierten Energie aus den konventionellen Quellen Erdgas und Erdöl erzeugt (vgl. Abb. 10). Die Erneuerbaren Energien haben lediglich einen geringen Anteil an der Gesamtstromproduktion. Etwa 0,2 TWh werden aus Wasserkraft gewonnen. Der Strombedarf beträgt im Gegensatz dazu 26,5 TWh pro Jahr. Die Stromverbraucher lassen sich in Industrie, Haushalt und Verkehr unterscheiden. Den größten Anteil nehmen in Algerien die Haushalte ein, die jährlich 16,6 TWh Strom verbrauchen. Die Industrie hat einen Bedarf von 9 TWh und der Verkehr von 0,5 TWh. Der Energieverbrauch im Verkehr bezieht sich jedoch auf Benzin, das aus der konventionellen Energiequelle Erdöl gewonnen wird. Der produzierte Energieüberschuss wird von Algerien in Form von Öl und Gas exportiert (vgl. IEA 2007b).

3.2.2 Tunesien

Tunesien besitzt begrenzte Reserven an konventionellen Energiequellen. Bei der Erdölproduktion spielt das Land im globalen Vergleich mit 82 Mio. t Reserven nur eine untergeordnete Rolle. Die Erdgasreserven von 65 Mrd. m³ hingegen haben eine hohe Bedeutung für die nationale Stromproduktion. Der Staat Tunesien hat eine jährliche Stromproduktion von 14,1 TWh (vgl. Abb. 10). Der Energiemix verdeutlicht, dass die konventi-

onellen Energiequellen Erdöl und Erdgas ein klares Übergewicht besitzen: Sie haben einen Anteil von 99 % an der Bruttostromproduktion des Landes. Aus Erdgas werden 12 TWh und aus Erdöl 2 TWh Strom erzeugt. Ein Prozent der Gesamtproduktion entfällt auf Erneuerbare Energien. 92 GWh können pro Jahr aus Wasserkraft und 38 GWh aus Windkraft erzeugt werden. Der Stromverbrauch Tunesiens liegt knapp unter der Produktion: 13 TWh Strom werden pro Jahr benötigt. Der größte Verbraucher ist mit 6,3 TWh die Industrie, gefolgt von 2,5 TWh jährlich für die Haushalte. Darüber hinaus entfallen 2,6 TWh auf öffentliche Einrichtungen und 0,8 TWh auf die Landwirtschaft (vgl. IEA 2007b).

ABB. 10: STROMVERBRAUCH UND ENERGIETRÄGER NORDAFRIKAS



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

3.2.3 Marokko

Marokkos konventionelle Reserven beschränken sich auf lediglich 14 Mio. t Kohle, 30 Mio. t Erdöl und 5 Mrd. m³ Erdgas. Die Stromproduktion Marokkos beträgt 23,2 TWh pro Jahr (vgl. Abb. 10). Sie stützt sich fast ausschließlich auf konventionelle Energiequellen. 92 % des erzeugten Stroms stammen aus Öl, Gas oder Kohle. Mit 13,5 TWh wird der größte Anteil aus Steinkohle erzeugt. Erdöl liefert 5 TWh und Erdgas 3 TWh des Bruttostroms. Die Erneuerbaren Energien Wasser- und Windkraft erzeugen nur 8 % an der Gesamtstromproduktion. Wasserkraft nimmt dabei einen Anteil von 90 % an den Erneuerbaren Energien ein: Jährlich werden 1,6 TWh mit Hilfe von Wasser- und Pumpspeicherkraftwerken erzeugt. Der Strombedarf liegt mit 19,2 TWh deutlich unter der Gesamtproduktion, was einen Stromexport ermöglicht. Die Industrie mit jährlich 8,0 TWh und die Privathaushalte mit 6,1 TWh haben den größten Anteil am Gesamtstrombedarf. Die restlichen 5,1 TWh verteilen sich gleichmäßig auf öffentliche Versorgungseinrichtungen sowie die Land- und Forstwirtschaft (vgl. IEA 2007b).

3.2.4 Ägypten

Der Staat Ägypten verfügt über umfangreiche konventionelle Energieressourcen von 540 Mio. t Erdöl und 2.048 Mrd. m³ Erdgas. Das Land hat eine Stromgesamtproduktion von jährlich 115,4 TWh (vgl. Abb. 10). Die Erneuerbaren Energien haben dabei einen Anteil von 12 % an der Gesamtproduktion. Den größten Anteil haben jedoch die konventionellen Energiequellen Öl und Gas. Aus Erdöl werden pro Jahr 18,6 TWh Strom erzeugt, aus Erdgas mit 83,2 TWh etwa 72 % der gesamten Produktion. Zu den bedeutendsten Erneuerbaren Energien zählen auch in Ägypten Wasser- und Windenergie. Windkraftanlagen besitzen jedoch bis dato einen geringen Anteil von 0,5 % an der Gesamtstromproduktion. Mit Wasser- und Pumpspeicherkraftwerken können jährlich 12,9 TWh Strom erzeugt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass für die Pumpleistung in den Speicherkraftwerken zuvor Strom aus konventionellen Energien notwendig ist, bevor diese selbst Energie erzeugen können. Der Stromverbrauch beziffert sich auf 98,4 TWh pro Jahr. Auf Industrie und private Haushalte entfällt jeweils ein Drittel des Gesamtverbrauches. Weitere 11 TWh werden für öffentliche Versorgungseinrichtungen und 4 TWh für Land- und Forstwirtschaft benötigt (vgl. IEA 2007b).

3.2.5 Libyen

Libyens Energieproduktion stützt sich ausschließlich auf Erdöl und Erdgas. Die enormen Reserven von 5.641 Mio. t Erdöl und 1.495 Mrd. m³ haben daher einen wesentlichen Einfluss auf den Strommix. Die jährliche Bruttostromproduktion beträgt 24 TWh (vgl. Abb. 10). Davon entfallen rund 60 % auf Erdöl und 40 % auf Erdgas. Libyens Ölreserven sind mit 44 Mrd. Barrel die größten Afrikas und werden daher weltweit exportiert. Aufgrund der umfangreichen Ölreserven sind Erneuerbare Energien bis zum heutigen Zeitpunkt für die Stromproduktion nicht attraktiv. Der jährliche Stromverbrauch Libyens beträgt 21,5 TWh, wobei Privathaushalte mit 8 TWh den größten Anteil am Gesamtverbrauch haben. Weitere 6 TWh sind für öffentliche Einrichtungen, 3,3 TWh für Industrie und 2,5 TWh für Landwirtschaft notwendig (vgl. IEA 2007b).

3.3 Wirtschaftliche Situation in Nordafrika

3.3.1 Algerien

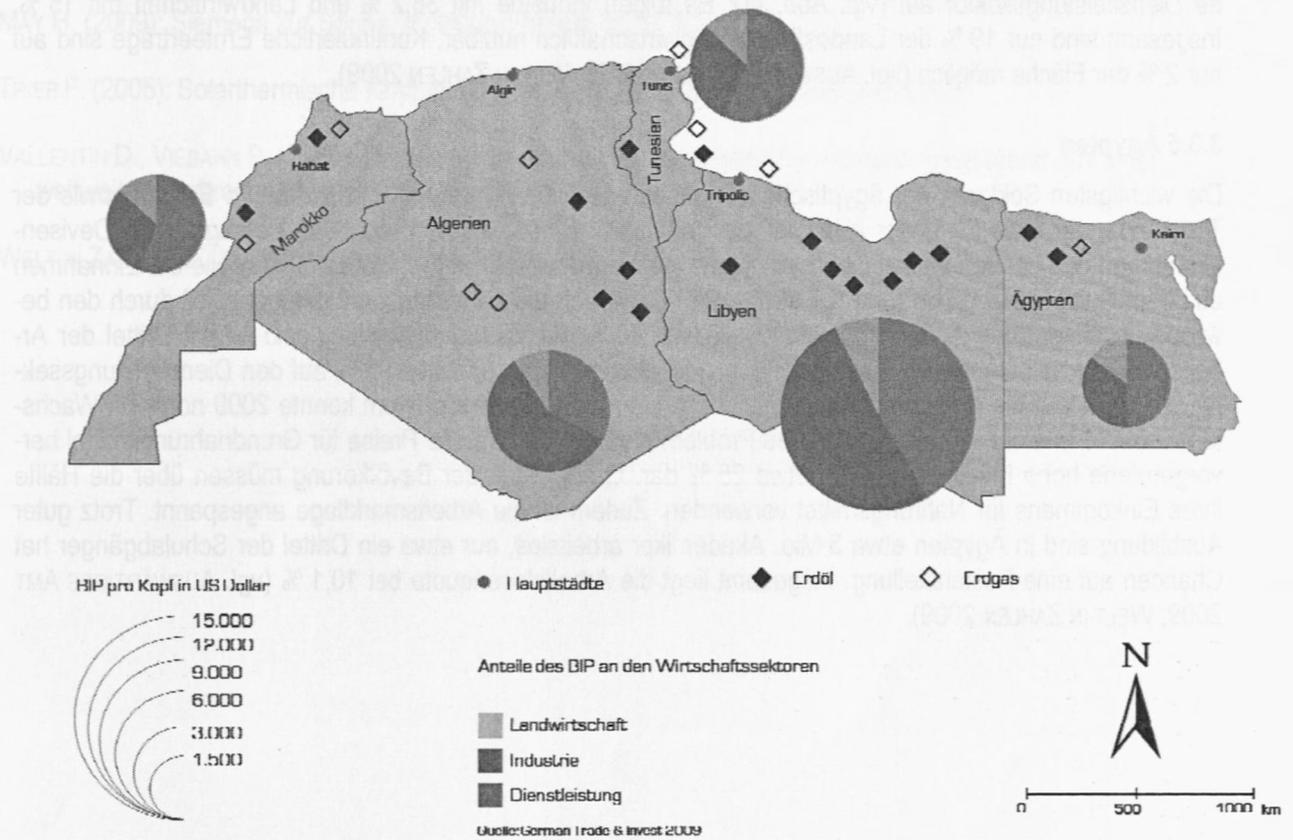
Die Wirtschaft Algeriens ist in hohem Maße von Erdöl und Gas abhängig. Durch den Energiesektor werden rund 97,5 % der Deviseneinnahmen, zwei Drittel der Staatseinnahmen sowie 40 % des Bruttoinlandsproduktes erwirtschaftet. Aufgrund des hohen Ölpreises werden sehr gute makroökonomische Daten und ein ansteigendes Wirtschaftswachstum erreicht (Prognose 2010: + 10 %). Bei einer gleichbleibenden Fördermenge von etwa 1,4 Mio. Barrel Erdöl pro Tag würden die Reserven von geschätzten 15 Mrd. Barrel noch rund 30 Jahre ausreichen. Mit rund 5 Bill. m³ verfügt Algerien zudem über die achtgrößten Erdgasvorkommen der Welt und ist aktuell der zweitgrößte Erdgasexporteur. Dementsprechend hat der sekundäre Sektor einen Anteil von 61 %, während jedoch immerhin 30,9 % auf den Dienstleistungssektor entfallen (vgl. Abb. 11). Ein großes Problem stellt jedoch die hohe Arbeitslosigkeit, speziell unter der jungen Bevölkerung, dar. So sind etwa 25 % der unter 20-jährigen arbeitslos, in den Städten sogar über 30 %. Die reale Arbeitslosenquote dürfte nach Schätzungen weit über dem offiziellen Wert von 11,3 % liegen. Großen Anteil daran hat die starke Fokussierung auf den Energiesektor, der zwar hohe Einnahmen garantiert, jedoch kaum Arbeitsplätze schafft. Ein wichtiges wirtschaftspolitisches Ziel stellt daher die Generierung von Wachstum und Beschäftigung in anderen Wirtschaftssektoren dar. Die Perspektive von Algeriens Wirtschaft ist trotz des Rückgangs des Ölpreises und den damit verbundenen geringeren Fördermengen als positiv zu bewerten (vgl. AUSWÄRTIGES AMT 2009; WELT IN ZAHLEN 2009).

3.3.2 Tunesien

Trotz der internationalen Wirtschaftskrise setzt sich das Wirtschaftswachstum in Tunesien, wenn auch etwas abgeschwächt, fort: wurden 2007 noch 6,3 % und 2008 4,6 % Wachstum erreicht, so waren es 2009 immerhin noch 3 %. Im Vergleich zu den anderen nordafrikanischen Staaten nimmt Tunesien eine führende Rolle ein, denn nach Libyen wird hier das höchste BIP pro Kopf erwirtschaftet (vgl. Abb. 11). Zudem konnte der Anteil der in Armut lebenden Menschen auf unter 7 % gesenkt werden. Inzwischen verfügen 80 % der Einwohner über Wohneigentum. Dieses stellt einen bedeutenden Faktor hinsichtlich der wirtschaftlichen und sozialen Stabilität des Landes dar. Tunesien verfügt nur über relativ geringe Rohstoffreserven. 2009 lag die

Förderung bei rund 8,5 Mio. t Öläquivalent und 2,4 Mio. m³ Erdgas. Einen höheren Stellenwert nehmen die Produktion von Phosphatdüngern (weltweit zweitgrößter Exporteur) und Olivenöl (weltweit drittgrößter Exporteur) sowie der Tourismus ein. Die wichtigsten Exportgüter, von denen 80 % von der EU importiert werden, sind Textilien, elektromechanische Güter, Düngemittel und landwirtschaftliche Produkte (vgl. AUSWÄRTIGES AMT 2009; WELT IN ZAHLEN 2009).

ABB. 11: FOSSILE ENERGIETRÄGER UND ANTEIL DER WIRTSCHAFTSSEKTOREN AM BIP



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

3.3.3 Libyen

In der libyschen Wirtschaft spielt der Export von Öl und Gas mit über 90 % der volkswirtschaftlichen Einnahmen die wichtigste Rolle. Dies geht jedoch mit einer sehr hohen Abhängigkeit von den Weltmarktpreisen für Erdöl und Erdgas einher. Die Wirtschaft Libyens wird auf dem Weg hin zu einer Marktwirtschaft stetig liberalisiert und kann Wachstumsraten von etwa 4 % pro Jahr verzeichnen. Dennoch ist die Staatswirtschaft weiterhin dominierend und lässt weite Teile der Bevölkerung nicht am Aufschwung teilhaben. So liegt die Arbeitslosenquote bei rund 30 %. Das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf von rund 13.000 US-\$ entspricht nahezu einem Drittel des BIP der meisten EU-Staaten. Bei den Wirtschaftszweigen dominiert, nicht zuletzt aufgrund der starken Energiebranche, der Industriesektor mit 81,7 % (vgl. Abb. 11). Auf den tertiären Sektor entfallen nur 16,2 % und auf die Landwirtschaft lediglich 2,1 %. Jedoch lassen sich in Libyen auch nur etwa 1 % der Landesfläche kultivieren (vgl. AUSWÄRTIGES AMT 2009; WELT IN ZAHLEN 2009).

3.3.4 Marokko

Das Entwicklungsland Marokko hat mit einer hohen Arbeitslosen- und Analphabetenquote von rund 10 % bzw. 43 % sowie einem großen Handelsbilanzdefizit zu kämpfen. Während vor allem Phosphorprodukte, Kleidung und elektronische Bauteile exportiert werden, müssen große Mengen an teurem Rohöl und Benzin sowie Kraftfahrzeuge, chemische Produkte und 71 % der Nahrungsmittel importiert werden. Jedoch kann das Defizit durch die steigenden Tourismuseinnahmen und Überweisungen von Auslandsmarokkanern ausgeglichen werden. Bis 2008 hat sich die außenwirtschaftliche Position, mit einem Anstieg der Importe um 27,7 %, weiter verschlechtert. Den größten Anteil daran hat mit rund 50 % der Import von Energie und Nahrungsmitteln. Im Vergleich mit anderen nordafrikanischen Staaten fällt vor allem der mit 46,8 % dominierende Dienstleistungssektor auf (vgl. Abb. 11). Es folgen Industrie mit 38,2 % und Landwirtschaft mit 15 %. Insgesamt sind nur 19 % der Landesfläche landwirtschaftlich nutzbar. Kontinuierliche Ernteerträge sind auf nur 2 % der Fläche möglich (vgl. AUSWÄRTIGES AMT 2009; WELT IN ZAHLEN 2009).

3.3.5 Ägypten

Die wichtigsten Sektoren der ägyptischen Wirtschaft sind die Förderung von Erdöl und Erdgas sowie der Tourismus, der etwa 20 % der Arbeitsplätze bereitstellt. Einen weiteren wichtigen Beitrag für die Deviseneinnahmen des Landes stellen Überweisungen aus dem Ausland (rund 5 % des BIP) sowie die Einnahmen aus dem Suez-Kanal (2008 rund 5,4 Mrd. US-\$) dar. Auch die Landwirtschaft spielt speziell durch den bewässerungsintensiven Anbau von Baumwolle, mit 16 % der Wirtschaftsleistung und einem Drittel der Arbeitsplätze, eine bedeutende Rolle (vgl. Abb. 11). Des Weiteren entfallen 50 % auf den Dienstleistungssektor und 34 % auf die Industrie. Trotz abgeschwächtem Wirtschaftswachstum konnte 2009 noch ein Wachstum von 4 % erreicht werden. Ein großes Problem stellt die durch hohe Preise für Grundnahrungsmittel hervorgerufene hohe Inflationsrate von etwa 25 % dar. Große Teile der Bevölkerung müssen über die Hälfte ihres Einkommens für Nahrungsmittel verwenden. Zudem ist die Arbeitsmarktlage angespannt. Trotz guter Ausbildung sind in Ägypten etwa 3 Mio. Akademiker arbeitslos, nur etwa ein Drittel der Schulabgänger hat Chancen auf eine Festanstellung. Insgesamt liegt die Arbeitslosenquote bei 10,1 % (vgl. AUSWÄRTIGES AMT 2009; WELT IN ZAHLEN 2009).

Literatur

AUSWÄRTIGES AMT (2009): <http://www.auswaertigesamt.de>, (16.01.2010).

GERMAN TRADE & INVEST (2009): <http://www.gtai.de>, (14.01.2010).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2007a): Key World Energy Statistics. Paris.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2007b): Electricity/ Heat by Country/ Region.
<http://www.iea.org/stats/prodresult.asp?PRODUCT=Electricity/Heat>, (03.01.2010).

MAY H. (2009): Siemens zur Sonne. In: Neue Energie 11, S. 90-92.

TRIEB F. (2005): Solarthermische Kraftwerke für den Mittelmeerraum. Oberpfaffenhofen.

VALLENTIN D., VIEBAHN P. (2009): Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP-Technologien. Wuppertal.

WELT IN ZAHLEN (2009): <http://www.welt-in-zahlen.de>, (15.01.2010).

4 Technologische Perspektive

Um die Strahlungsenergie aus den Wüstengürteln in wirtschaftlich nutzbare Energie umzuwandeln, bedient man sich der solarthermischen Wärmenutzung. Bei dieser Technologie wird grundsätzlich zwischen nicht strahlungskonzentrierenden und strahlungskonzentrierenden Flüssigkeits- bzw. Luftkollektoren unterschieden. Am häufigsten werden die nicht strahlungskonzentrierenden Kollektoren verwendet (z. B. Absorbermatte). Das Desertec-Projekt setzt jedoch ausschließlich auf strahlungskonzentrierende Kollektorsysteme, sog. Concentrating Solar Power Plants (CSP). Dabei wird der direkte Anteil der solaren Strahlung von einer Spiegelfläche reflektiert und auf eine Absorberfläche konzentriert. Das Maß für die Konzentration der solaren Strahlung ist durch das Verhältnis von optisch aktiver Kollektorfläche zur bestrahlten Absorberfläche definiert. Die höchsten Konzentrationswerte werden bei zweiachsig nachgeführten Systemen erreicht, die niedrigsten bei feststehenden Kollektoren.

Theoretisch ist eine Absorbertemperatur von max. 5.785 °C (Oberflächentemperatur der Sonne) möglich, jedoch liegen die tatsächlich erreichbaren Temperaturen weit unter diesem Wert. Mit Rotations-Paraboloid-Spiegeln können bspw. 1.600 °C erreicht werden. Als Wärmeträgermedium fungieren im unteren Temperaturbereich in erster Linie Flüssigkeiten, mit steigender Temperatur bedient man sich gasförmiger Arbeitsmedien (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006, S. 147ff.). Im Folgenden werden die CSP-Technologien genau erläutert.

4.1 Funktionsweise von CSP-Technologien

Bereits in den 1970er Jahren beschäftigten sich Wissenschaftler mit der Idee, die Sonnenenergie Nordafrikas für die Energieversorgung Europas zu nutzen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt und testet seit den 1980er Jahren auf der Plataforma Solar, in der Nähe der spanischen Stadt Almeria, solarthermische Technologien und verbessert diese kontinuierlich. Der ernsthafte Gedanke, solarthermische Kraftwerke im Mittelmeerraum und Nordafrika zu errichten, folgte jedoch erst in den 1990er Jahren. Mehrere Studien des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung sowie des DLR, Interatom/Siemens und dem Ingenieurbüro Schlaich, Bergermann und Partner wiesen auf das große Potential der Energiegewinnung durch die Sonnenenergie hin.

Bei den Plänen der Desertec Foundation spielen Hochtemperatursysteme eine zentrale Rolle. Es handelt sich hierbei um Kraftwerke, die die Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln. Das Projekt Desertec plant die Errichtung verschiedener solarthermischer Kraftwerkstypen, wobei das Hauptaugenmerk auf Parabolrinnenkraftwerken liegt. Des Weiteren sollen Fresnel-Kollektoranlagen sowie Solarturmkraftwerke und Dish-Stirling-Anlagen errichtet werden. Die genannten Kraftwerkstypen fasst man unter dem Begriff CSP-Technologien zusammen. Allgemein lässt sich über CSP-Anlagen sagen, dass sie die Sonnenenergie mittels verschiedener Spiegel und Linsen bündeln und dadurch eine hohe Energiedichte und Effizienz ermöglichen.

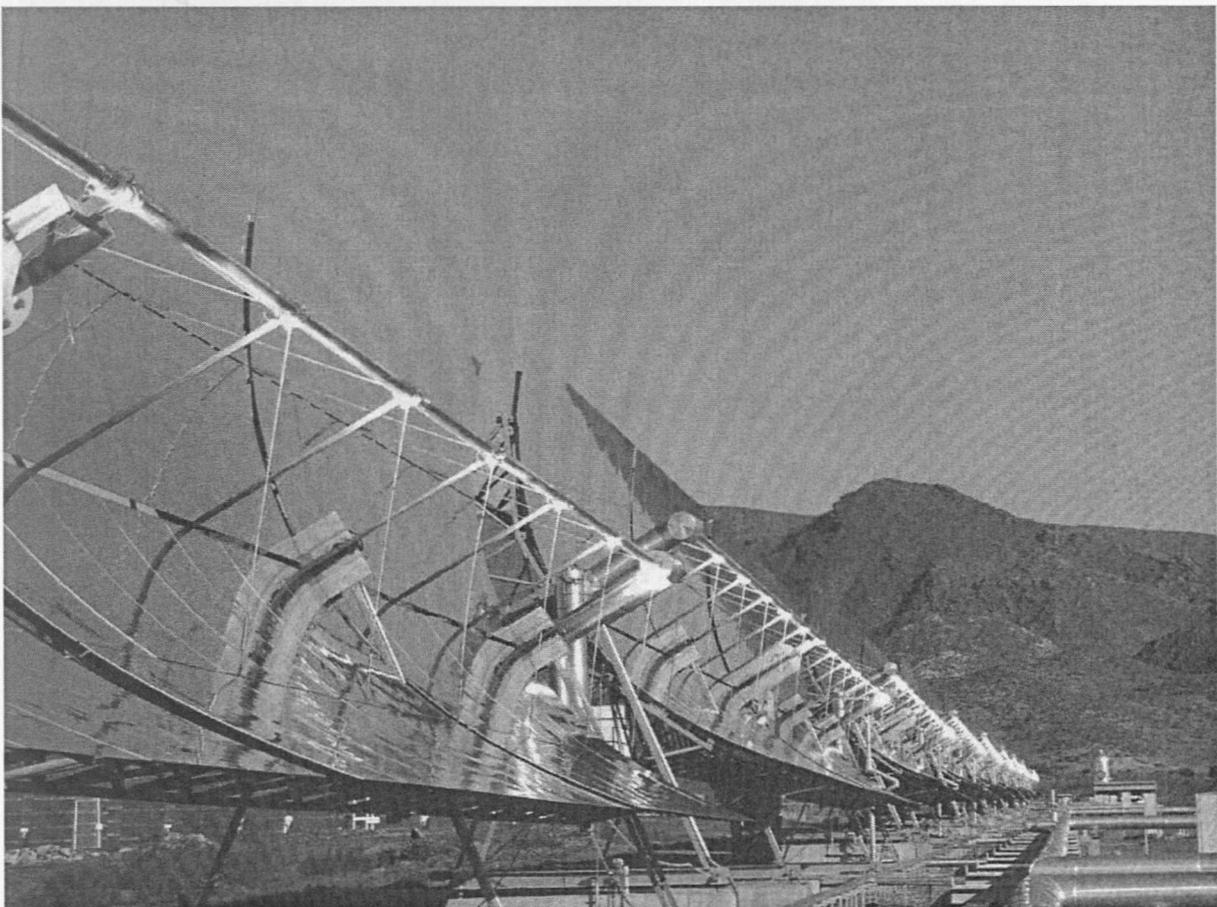
Das Projekt Desertec sieht die Errichtung eines Gleichstromnetzes zwischen Europa und Nordafrika vor. Im Folgenden werden die oben genannten solarthermischen Kraftwerkstypen und die Eigenschaften eines Gleichstromnetzes genauer erläutert sowie die potentiellen Möglichkeiten zur Speicherung des gewonnenen Stroms aufgezeigt.

4.1.1 Parabolrinnenkraftwerke

Das Parabolrinnenkraftwerk und die Fresnel-Kollektoranlage zählen zu den die Solarstrahlung konzentrierenden Systemen und linienkonzentrierenden Anlagen (vgl. QUASCHNING 2009 S.130ff.). Die ersten Parabolrinnenkraftwerke entstanden im Jahre 1906 in den USA. Aufgrund technischer Schwierigkeiten, Materialproblemen und den darauf folgenden Weltkriegen wurde die Entwicklung der Anlagen erst im Jahre 1978 wieder aufgenommen. 1984 wurde in der Mojave-Wüste das erste solarthermische Parabolrinnenkraftwerk, mit einer Leistung von 14 MW, errichtet. Mit dem Bau des Parabolrinnenkraftwerks Andasol I in Spanien, das Ende 2008 ans Netz ging, wurde der Grundstein für den europäischen Ausbau solarthermischer Kraftwerke gelegt. Mit einer Kollektorfläche von 510.000 m² können etwa 179 GWh Strom pro Jahr erzeugt werden und damit bis zu 200.000 Menschen mit elektrischer Energie versorgt werden. Das Kraftwerk erreicht einen Wirkungsgrad zwischen 10 und 15 % (vgl. KHAMMAS 2009; WELT DER PHYSIK 2010).

Um eine möglichst hohe Konzentration des Sonnenlichts zu gewährleisten, ist senkrecht einfallende Strahlung notwendig. Die direkte Einstrahlung ist in den nördlichen Breiten relativ gering, weshalb die solarthermischen Kraftwerke vor allem in den subtropischen Breiten zum Einsatz kommen. Interessant sind vor allem Standorte mit einer jährlichen Direktstrahlung von mehr als 1.800 kW/m^2 . Die Strahlung trifft auf die konkav gekrümmten, bis zu 100m langen Parabolrinnen, die über einen Sonnensensor einachsiger der Sonne nachgeführt werden (vgl. Abb. 12). Eine maximale Leistung kann durch eine Nord-Süd-Ausrichtung der Kollektoren, mit Energiespitzen im Sommer und geringeren Erträgen im Winter, erreicht werden. Eine Ost-West-Ausrichtung liefert zwar eine geringere, jedoch über das Jahr konstante Leistung. Die einfallende Strahlung wird von den Kollektoren (Weißglasspiegel) reflektiert und im Brennpunkt auf ein strahlungsselektiv beschichtetes Absorberrohr gebündelt. Dadurch wird eine möglichst hohe Absorption und geringe Energieabstrahlung erreicht. Im Absorberrohr wird ein Trägermedium (z. B. Thermoöle, Äthylenglykol, Propylenglykol) auf Temperaturen zwischen 375 und 400 °C erhitzt. Anschließend wird es in einen Wärmetauscher geleitet, in welchem Wasser verdampft wird. Die übertragene Wärme ist dabei abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen beiden Medien, der Oberfläche des Wärmeüberträgers und der Strömungsgeschwindigkeit auf beiden Seiten des Wärmeüberträgers. In einem weiteren Schritt treibt der Dampf eine Turbine an. Ein angeschlossener Generator erzeugt schließlich schadstofffreien Strom (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006 S. 631ff.; QUASCHNING 2009 S. 130ff.). Abb. 13 verdeutlicht den Aufbau eines Parabolrinnenkraftwerks.

ABB. 12: PARABOLRINNENKOLLEKTOREN

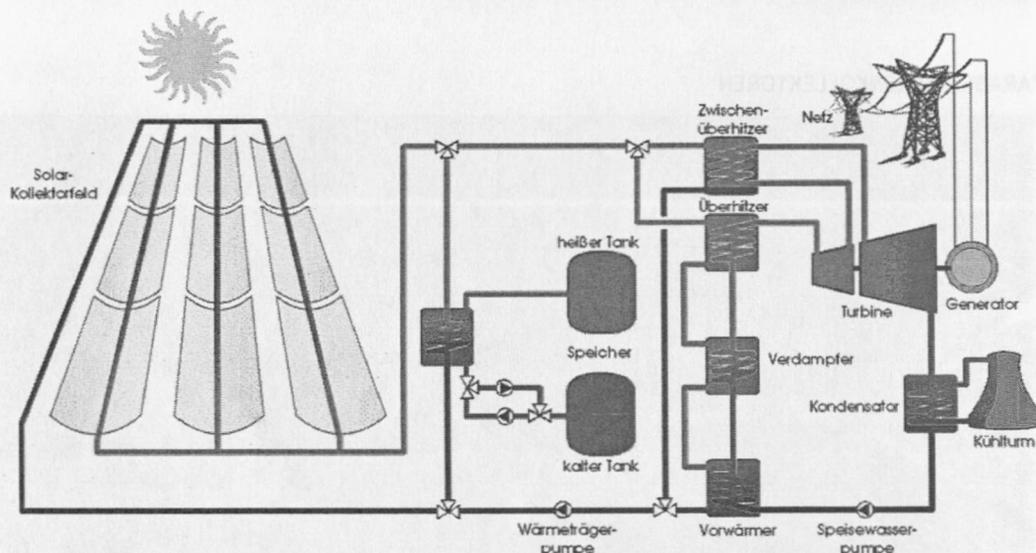


QUELLE: QUASCHNING 2009.

Problematisch ist der hohe Wasserverbrauch, denn ein Parabolrinnenkraftwerk benötigt pro MWh bis zu 5.000 l Wasser. Etwa 98% davon werden ausschließlich zur Kühlung des Dampfes verwendet (vgl. LESSNER 2010a). Den begrenzenden Faktor in den Anlagen stellt momentan das Wärmeträgermedium dar, da es nur auf eine Temperatur von 400 °C erhitzt werden kann. FuE arbeiten jedoch an der Erhöhung der Maximal-

temperatur. Das Wärmeträgermedium muss bestimmte Eigenschaften aufweisen: Wichtig sind eine niedrige Viskosität (d. h. gute Fließ- und Strömungseigenschaften), eine hohe spezifische Wärmekapazität, keine Begünstigung von Korrosion im Leitungssystem, keine Brennbarkeit sowie kein Gefrieren oder Sieden im Betriebstemperaturbereich. Darüber hinaus müssen die verwendeten Arbeitsmedien biologisch abbaubar und für die Gesundheit unbedenklich sein (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006, S. 160f.). Als Alternative zu den herkömmlichen Wärmeträgerflüssigkeiten ist eine Direktverdampfung von Wasser vorgesehen. Dadurch können Temperaturen von bis zu 500 °C erreicht werden. Dies rührt daher, dass man auf den Zwischenwärmeträger Thermoöl verzichtet und unmittelbar auf das Medium Wasser übergeht. Während jedoch bei Thermoölen Drücke von lediglich 20 bar erreicht werden, so kommt es bei der Direktverdampfung zu Dampfdrücken von bis zu 100 bar. Aus diesem Grund müssen bei diesem Verfahren die Rohre und Absorber dickwandiger ausgestaltet werden (vgl. LESSNER 2010b). Die Anlagen besitzen eine Amortisationszeit von 7-8 Jahren. Jedoch kann im Laufe ihrer Betriebszeit die 20-fache Energiemenge erzeugt werden, die zur Herstellung, Installation und im Betrieb notwendig ist. Der Erntefaktor einer Solarthermie-Anlage liegt bei etwa 5-24, während er in einem Kernkraftwerk bei nur 0,3-0,35 liegt (vgl. QUASCHNING 2009 S. 130ff.).

ABB. 13: PARABOLRINNENKRAFTWERK



QUELLE: DER SOLARSERVER 2010.

4.1.2 Fresnel-Kollektoranlagen

Die Fresnel-Kollektoranlagen stellen den zweiten, linienkonzentrierenden Kraftwerkstyp dar. Seit März 2009 ist das erste kommerziell betriebene Kraftwerk in Spanien, mit einer Leistung von 1,4 MW basierend auf der Fresnel-Technologie von Biotec Novasol, in Betrieb. Das zentrale Element sind die parallel angeordneten, flachen Spiegel. Diese konzentrieren ebenfalls das einfallende Sonnenlicht auf ein horizontales, mehrere Meter über den Spiegeln angebrachtes Absorberrohr. Hinzu kommt ein Sekundär-Reflektor über dem Absorberrohr, der die zusätzlich einfallende Strahlung auf die Brennlinie lenkt. Im Unterschied zur Parabolrinnen-Technologie wird Wasser auf bis zu 500 °C erhitzt und dabei direkt im Rohr verdampft. Der Wasserdampf treibt wiederum Turbinen zur Stromerzeugung an. Die Kollektoren, mit Größen von bis zu 24m Breite und 1.000m Länge, erzeugen Dampf für eine Stromleistung von etwa 5 MW (vgl. NOVATEC BIOSOL AG 2009; QUASCHNING 2009 S. 130ff.)

Die Fresnel-Kollektoranlagen sind durch ihren einfachen Aufbau (vgl. Abb. 14) besser für die Massenfertigung geeignet als die Parabolrinnenkraftwerke und auch preisgünstiger. Darüber hinaus zeichnet sich die Fresnel-Technologie durch einen geringeren Flächenverbrauch aus (vgl. Abb. 19). Einen weiteren Vorteil gegenüber den Parabolrinnenkraftwerken stellt die Möglichkeit dar, die Fläche unterhalb der Kollektoren

landwirtschaftlich zu nutzen. Durch den Schattenwurf der Anlage wird eine zu starke Verdunstung verhindert. Im Rahmen des Desertec-Projektes könnte vor allem der Anbau von Kulturpflanzen für die Menschen in den nordafrikanischen Gebieten eine große Rolle spielen. Des Weiteren kann durch die Direktverdampfung des Wassers im Kollektorrohr auf einen Wärmetauscher verzichtet werden. Außerdem entfallen Druckverluste in den etwa 10-mal längeren Absorberrohren, da weniger Verbindungsschläuche und Kugelgelenke zur Strömunglenkung installiert werden müssen. Die Stromgestehungskosten sind letztendlich bei den Fresnel-Kollektoranlagen um etwa 8-17 % niedriger und kompensieren damit ihren geringeren Wirkungsgrad (vgl. FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME 2004; KHAMMAS 2009; QUASCHNING 2009, S. 130ff.).

Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern besteht bei regenerativen Energiequellen die Problematik, eine 24-stündige Energieversorgung zu garantieren (Grundlastfähigkeit). Die Stromgewinnung ist an Tageszeiten und Witterungsverhältnisse gebunden. Um eine konstante Energieerzeugung zu gewährleisten, wird tagsüber überschüssige Energie als Abend- und Nachtreserve bspw. in flüssigem Salz gespeichert. Bei Andasol I ergibt sich aus dieser Zwischenspeicherung eine Einspeisung von 3.600 h Strom pro Jahr, zusätzlich zu den 2.000 Stunden nutzbaren Sonnenstunden im Jahr (vgl. QUASCHNING 2009, S. 130ff.; WELT DER PHYSIK 2010).

ABB. 14: FRESNELKOLLEKTOREN



QUELLE: DLR 2010.

Trotz der beschriebenen und aussagekräftigen Vorteile der Fresnel-Kollektoranlagen, sind für das Desertec-Projekt überwiegend Parabolrinnenkraftwerke vorgesehen. Der höhere Wirkungsgrad und die bis heute schon weitaus ausgereifere Technologie sind dafür die entscheidenden Faktoren (vgl. FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME 2004). Die Stromgestehungskosten bei Parabolrinnenkraftwerken liegen derzeit bei 20 ct/ kWh und sind damit um die Hälfte niedriger als bei den Photovoltaikanlagen. Kern- und Kohlekraftwerke liegen mit derzeit 4 ct/ kWh noch deutlich darunter. In den kommenden 15-20 Jahren werden die Kosten für den Strom aus Parabolrinnenkraftwerken im Zuge technologischer Weiterentwicklungen sinken, während

bei herkömmlichen Energieträgern die Kosten durch den Ressourcenrückgang steigen werden. Im Moment ist der aus Solarenergie gewonnene Strom noch mit höheren Kosten verbunden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in etwa 25-50 Jahren Solarstrom konkurrenzfähig zu fossilen Energieträgern sein wird (vgl. FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME 2004; QUASCHNING 2009 S. 130ff.; WELT DER PHYSIK 2010).

4.1.3 Solarturm

Eine weitere Möglichkeit der Stromerzeugung durch Solarthermie stellen Turmkraftwerke dar. Im Gegensatz zu Parabolrinnenkraftwerken und Fresnel-Kollektoranlagen findet hierbei keine Konzentration von Solarstrahlung mit Linienkonzentration sondern mit Punktkonzentration statt. Bei einem solarthermischen Turmkraftwerk reflektieren mehrere hundert, zweiachsig der Sonne nachgeführte Spiegel, sog. Heliostaten, die direkte Solarstrahlung auf einen Strahlungsempfänger (Receiver). Dieser befindet sich auf einem Turm in 50 bis 150 m Höhe. Die Heliostaten, die durch computergesteuerte Systeme exakt ausgerichtet werden, sind in einem Solarfeld angeordnet. Im Strahlungsempfänger können Temperaturen von bis zu 2.000° C erreicht werden. Hier kommt es zu einer Umwandlung der Strahlungsenergie in Wärme, welche an ein Wärmetransportfluid, z. B. flüssiges Salz oder Wasser/Wasserdampf, übertragen wird (vgl. QUASCHNING 2009, S. 153). Die Wärme wird für den Antrieb einer Turbine und somit für die Erzeugung von Strom durch einen Generator über einen konventionellen Dampfprozess verwendet.

ABB. 15: SOLARTURMKRAFTWERK IN SEVILLA

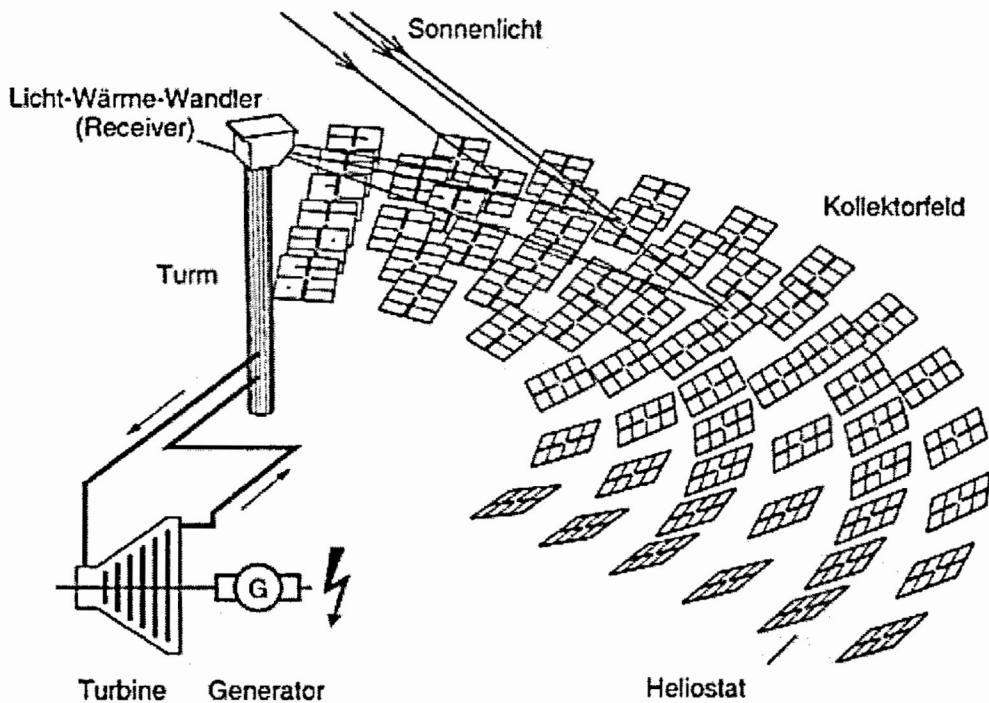


QUELLE: GEO.DE 2009.

Das Turmkraftwerk, das eine 1.000-fache Konzentration ermöglicht, besitzt einen entscheidenden Vorteil gegenüber Parabolrinnenkraftwerken (lediglich 80-fache Konzentration). Die höheren Endtemperaturen beim Solarturm ermöglichen den Einsatz gasförmiger Wärmeträgermedien, d. h. die konzentrierte Sonnenwärme

kann direkt in einen Gasturbinenprozess münden und so mittels hocheffizienter, kombinierter Gas- und Dampfkraftwerke Strom produzieren. Im Temperaturbereich zwischen 1.400 und 700 °C wird die solar erzeugte Wärme mittels einer Gasturbine abgearbeitet. Übrig bleibt ein 600 °C heißes Abgas, mit dessen Hilfe in einem Abhitzekegel Dampf zur weiteren Stromgewinnung erzeugt wird. Das bedeutet, dass mit Hilfe von Kombikraftwerken (combined cycle) die Nutzung der gesamten Temperaturdifferenz von 1.400 bis 100 °C möglich ist (vgl. LESSNER 2010b).

ABB. 16: FUNKTIONSWEISE DER SOLARTURM-TECHNIK

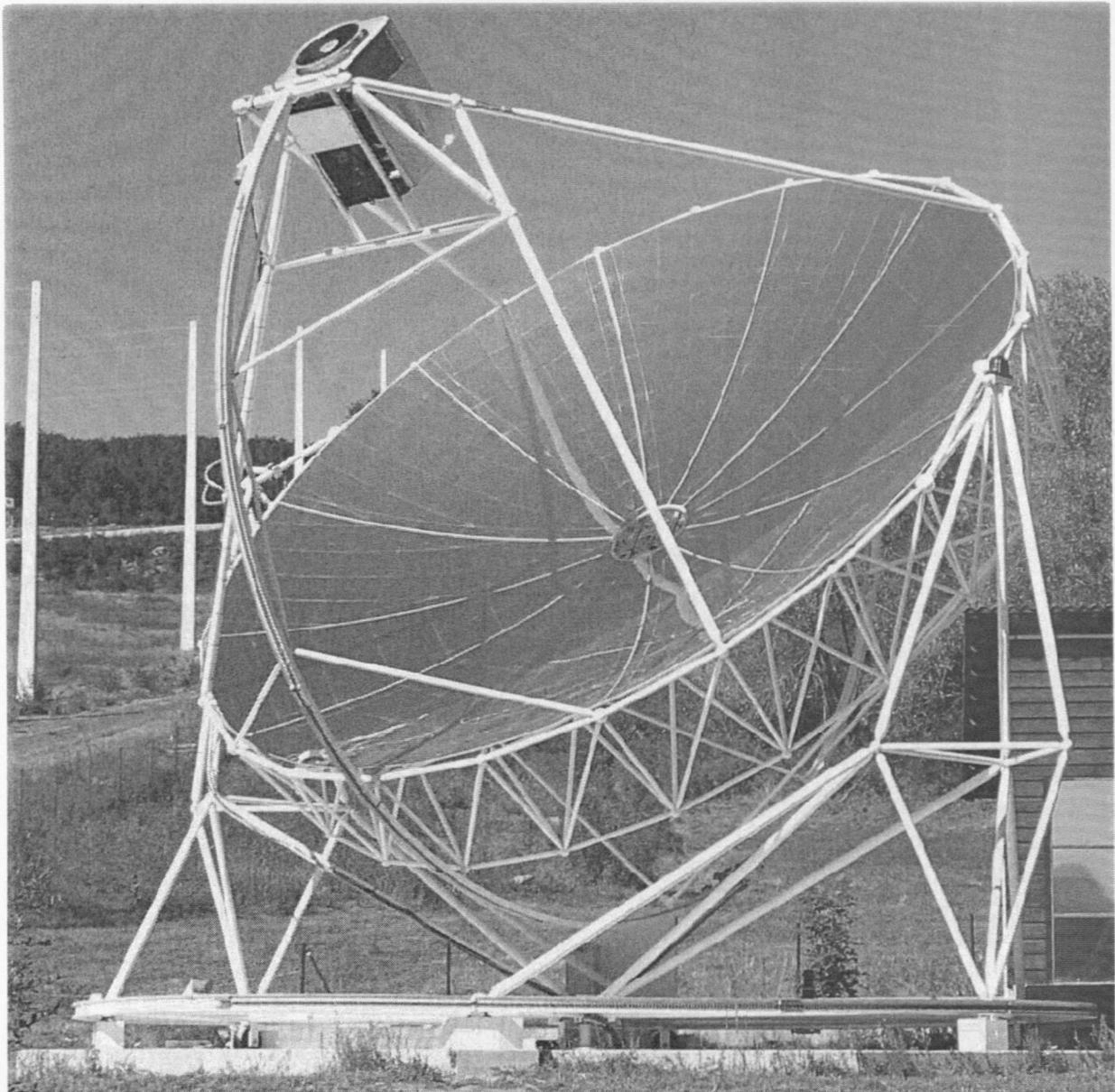


QUELLE: DIALOG INTERNATIONAL 2009.

Da aufgrund schwankender solarer Einstrahlung die Konstanz des Dampfparameters und Dampfmassenstroms nicht gewährleistet ist, besteht die Möglichkeit, mittels eines in das System integrierten Wärmespeichers, diese Schwankungen auszugleichen. Ebenso kann dies durch eine Zufeuerung mit fossilen Energieträgern, wie z. B. Erdgas geschehen (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006). Aufgrund der hohen Temperaturen, die bei dieser Technologie erzielt werden können, verfügen solarthermische Turmkraftwerke über vergleichsweise hohe Wirkungsgrade von bis zu 35 %, jedoch liegen die Jahresmittelwerte bei den bisherigen Testanlagen bei ca. 15 %. Der Wirkungsgrad hängt zum Großteil vom verwendeten Wärmetransportfluid, der Technik bzw. den Materialien im Receiver ab (vgl. HENNICKE 2008, S. 41). Hierbei sind mehrere Typen zu unterscheiden. Bei offenen volumetrischen Receivern wird Umgebungsluft mit Hilfe eines Gebläses durch den Receiver gesaugt. Hierbei besteht der Receiver meist aus einem Drahtgeflecht, keramischen Schaum oder metallischen bzw. keramischen Wabenstrukturen. Durch die Solarstrahlung wird der Receiver erhitzt und gibt Wärme an die angesaugte Umgebungsluft ab. Die auf 650 °C bis 850 °C erwärmte Luft gelangt in einen Abhitzekegel. Dieser verdampft Wasser und treibt einen Dampfturbinenkreislauf an. Anschließend verlässt die Luft den Abhitzekegel mit etwa 200 °C und wird über Luftkanäle dem Receiver wieder zugeführt (vgl. QUASCHNING 2009, S. 154). Bei geschlossenen, druckbeaufschlagten Luftreceivern wird die Luft bei einem Druck von ca. 15 bar auf Temperaturen bis 1.100 °C erhitzt. Bei dieser Technologie trennt eine lichtdurchlässige Quarzglas-Kuppel den Absorber von der Umgebung. Die erhitzte Luft wird direkt in die Brennkammer einer Gasturbine eingespeist. Hierbei entfällt im Vergleich zum Dampfturbinenprozess der Wärmeüberträger. Durch die Abwärme der Gasturbine wird wie bereits oben erwähnt ein nachgeschalteter Dampfturbinenprozess betrieben. Mit Hilfe des kombinierten Gasturbinen- und Dampfturbinenprozesses

können Wirkungsgrade bei der Umwandlung von Wärme in elektrische Energie von bis zu 50 % erzielt werden, statt bisher 35-40 % bei reinem Dampfturbinenprozess. Somit sind Gesamtwirkungsgrade bei der Umwandlung von Solarstrahlung in Elektrizität von über 20 % möglich. Bei Salzreceivern werden Salzschnmelzen aus Natrium- und Kaliumnitrat (NaNO_3 , KNO_3) verwendet. Diese können aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität im Gegensatz zu Luft als Wärmespeichermedium eingesetzt werden. Somit entfallen die Wärmeüberträger zwischen Wärmeträger- und -speichermedium. Während der regulären Phase des Betriebs liegt der Wärmeträger in der flüssigen Phase vor. Zuletzt wird die solare Wärme über einen Salz-Wasser/ Dampf-Wärmetauscher in den Dampfprozess eingekoppelt. Einen Nachteil der Salzreceiver stellt die Flüssighaltung des Salzes in Betriebspausen dar, da die salzbefüllten Anlagenteile beheizt werden müssen (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006, S. 614). Im Jahr 2006 wurde das erste kommerzielle Solarturmkraftwerk in der Nähe von Sevilla in Spanien mit einer Leistung von 11 MW in Betrieb genommen (vgl. Abb. 15). Errichtet wurde die Anlage von dem Unternehmen Abengoa Solar. Bereits im Jahr 2008 folgte dort ein weiteres Kraftwerk mit einer Leistung von 20 MW. In Jülich wurde das erste Demonstrationskraftwerk errichtet, das die Technologie des offenen volumetrischen Receivers nutzt (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006, S. 620).

ABB. 17: DISH-STIRLING-ANLAGE



QUELLE: INTERSOL 2009.

4.1.4 Dish-Stirling-Anlagen

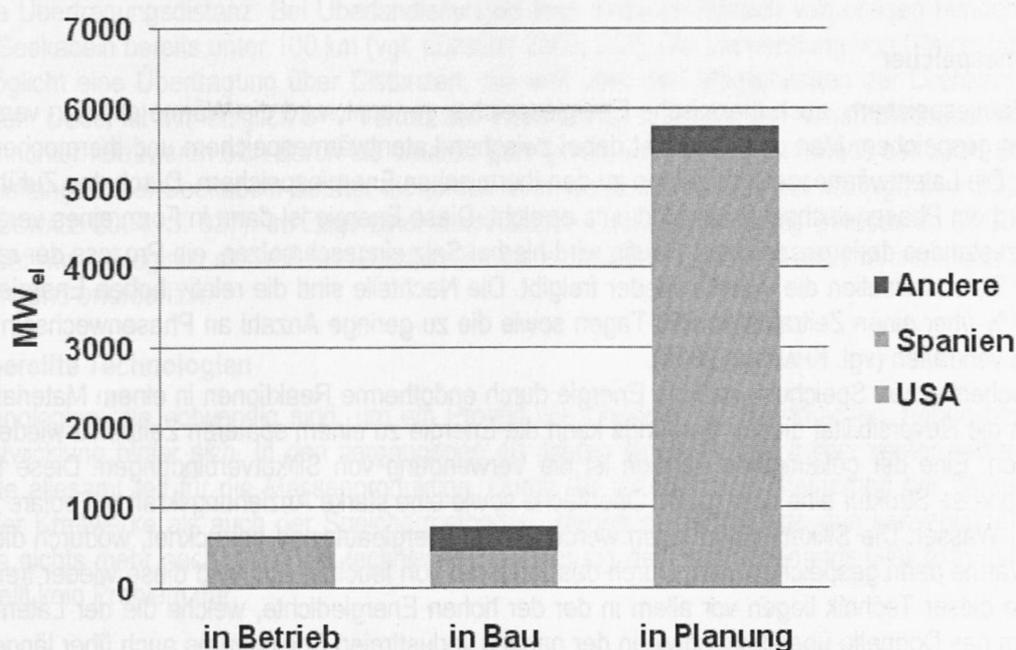
Die Technologie der Dish-Stirling-Anlagen verwendet ebenso wie das Solarturmkraftwerk die Technik der Punktkonzentration der Solarstrahlung. Dish-Stirling-Anlagen setzen sich im Wesentlichen aus einem parabolisch gekrümmten Konzentrator (Dish), einem Receiver und einer Wärmekraftmaschine (Stirlingmotor bzw. Gasturbine) mit angeschlossenen Generator zusammen (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006, S. 621). Der Konzentrator wird zweiachsig der Sonne nachgeführt und konzentriert somit die reflektierte direkte Strahlung in einem Brennpunkt, in welchem sich der Receiver befindet. Der Konzentrator der Dish-Stirling-Anlage ist im Gegensatz zu den Parabolrinnenkollektoren zweidimensional gekrümmt und erreicht Konzentrationsfaktoren im 1.000 bis 10.000-fachen Bereich.

Im Receiver findet die Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme statt, die einer Stirlingmaschine oder Gasturbine zugeführt wird. An dieser Stelle wird die Wärme in mechanische Energie umgewandelt. An die Welle der Stirlingmaschine bzw. der Gasturbine ist ein Generator gekoppelt, der elektrische Energie erzeugt (vgl. KHAMMAS 2009). Aufgrund der hohen Arbeitstemperaturen und des Stirlingprozesses können Wirkungsgrade bis zu 30 % erreicht werden. Dish-Stirling-Anlagen eignen sich in besonderem Maße im Bereich dezentraler Anwendungen in der Leistungsklasse von 10 bis 50 kW. Durch Zusammenschaltung mehrerer Anlagen zu einem kleinen Kraftwerkspark kann die Energieversorgung ländlicher Siedlungen z. B. in Nordafrika sichergestellt werden. Mit Hilfe additiver Befeuerung durch Bio- oder Erdgas kann eine Dish-Stirling-Anlage rund um die Uhr betrieben werden (vgl. HENNICKE 2008, S. 53).

4.2 Vergleichende Darstellung von CSP-Technologien

Die Sonne als eine natürliche, ergiebige und unbegrenzte Energiequelle macht die Solartechnologie zu einer sicheren Möglichkeit der Stromversorgung. Die CSP-Anlagen haben Kapazitäten von mehreren Kilowatt bis zu einigen hundert Megawatt. In den letzten Jahren haben CSP-Technologien stetig an Bedeutung gewonnen. Momentan ist etwa eine Gesamtkapazität von 604 MW_{el.} in Betrieb, von denen der größte Anteil mit 509 MW_{el.} Parabolrinnenkraftwerke sind. Solarturmanlagen machen einen Anteil von 32,5 MW_{el.} und Fresnelkollektoranlagen von 1,4 MW_{el.} aus. Der Großteil der Leistung (etwa 70 %) ist in den USA und in Spanien (30 %) installiert. In Planung sind etwa 5.780 MW_{el.} (vgl. Abb. 18). Von den derzeit 761 MW_{el.} in Bau befindlichen und angekündigten Anlagen ist nahezu die Hälfte in Spanien und 82 MW_{el.} in den USA vorgesehen.

ABB. 18: CSP-KRAFTWERKE WELTWEIT, SORTIERT NACH LÄNDERN (2009)



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH VALLENTIN/ VIEHBAHN 2009, S. 21.

Neben den Fresnelkollektoranlagen und der Dish-Stirling-Technologie stellen Parabolrinnen aufgrund ihrer hohen Marktreife mit 63 % den größten Anteil der zurzeit geplanten Bauvorhaben dar. Fresnel-Anlagen haben einen sehr geringen Flächenverbrauch (vgl. Abb. 19). Trotzdem ist die Technologie weniger ausgereift als Parabolrinnenkraftwerke. Die Entwicklungen der CSP-Technologien konzentrieren sich hauptsächlich auf die USA und Spanien. Im Rahmen des Desertec-Projekts sind vor allem Parabolrinnenkraftwerke vorgesehen. In der MENA-Region hat jedoch bereits der Bau von sog. *Integrated Solar Combined Cycle Systems* (ISCCS) in Algerien, Ägypten und Marokko begonnen. Dabei wird zusätzlich in einem weiteren Kreislauf Dampf mittels Solarstrahlung erzeugt. Weitere CSP-Projekte sind in Jordanien, Libyen, Tunesien und den Vereinigten Arabischen Emiraten geplant (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009; DLR/ BMU 2005, S. 18ff.; VALLENTIN/ VIEHBAHN 2009, S. 41ff.).

ABB. 19: LEISTUNGSPARAMETER DER EINZELNEN CSP-TECHNOLOGIEN

	Kapazität (MW)	Konzentration	max. Wirkungsgrad	jährlicher Wirkungsgrad	Flächenverbrauch (m ² /MWh/y)
Parabol	10-200	70-80	21% (d)	10-15% (d), 17-18% (p)	6-8
Fresnel	10-200	25-100	20% (p)	9-11%(p)	4-6
Solarturm	10-150	300-1000	20% (d), 35% (p)	8-10%(d), 15-25%(p)	8-12
Dish-Stirling	0,01-0,4	1000-3000	29% (d)	16-18% (d), 18-23% (p)	8-12

(d) = demonstrated (p) = projected

QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH DLR/ BMU 2005, S. 42.

4.3 Energiespeicherung

Das Problem all dieser Technologien ist, dass sie ohne entsprechende Modifizierungen nur Strom produzieren können, solange die Sonne scheint (intermittierend). Dieser Problematik kann durch die Speicherung der überschüssigen Energie tagsüber entgegengewirkt werden. Zu diesem Zweck wird die Energie teilweise in andere, leichter zu speichernde Energieformen umgewandelt. Bei diesen Konvertierungen treten stets Verluste auf.

4.3.1 Wärmespeicher

Bei den Wärmespeichern, auch thermische Energiespeicher genannt, wird die Wärme direkt in verschiedenen Medien gespeichert. Man unterscheidet dabei zwischen Latentwärmespeichern und thermochemischen Speichern. Die Latentwärmespeicher zählen zu den thermischen Energiespeichern. Durch das Zuführen von Energie wird ein Phasenwechsel eines Mediums erreicht. Diese Energie ist dann in Form eines veränderten Aggregatzustandes darin gespeichert. Häufig wird hierbei Salz eingeschmolzen, ein Prozess der reversibel ist und bei Rekristallisation die Wärme wieder freigibt. Die Nachteile sind die relativ hohen Energieverluste von ca. 50 % über einen Zeitraum von 90 Tagen sowie die zu geringe Anzahl an Phasenwechseln, die die Materialien verkraften (vgl. KHAMMAS 2009).

Bei thermochemischen Speichern wird die Energie durch endotherme Reaktionen in einem Material gebunden. Durch die Reversibilität dieses Vorgangs kann die Energie zu einem späteren Zeitpunkt wieder freigesetzt werden. Eine der geläufigsten Formen ist die Verwendung von Silikatverbindungen. Diese besitzen durch ihre poröse Struktur eine sehr große Oberfläche sowie eine starke Anziehungskraft auf polare Moleküle wie z. B. Wasser. Die Silikatverbindungen werden unter Energieaufwand getrocknet, wodurch die aufgewendete Wärme darin gespeichert wird. Durch das Zuführen von feuchter Luft wird diese wieder freigesetzt. Die Vorteile dieser Technik liegen vor allem in der hohen Energiedichte, welche die der Latentwärmespeicher um das Doppelte übersteigt sowie in der nahezu verlustfreien Speicherung auch über längere Zeiträume hinweg (vgl. KHAMMAS 2009).

4.3.2 Stromspeicher

Eine andere Möglichkeit der Energiespeicherung ist die Wandlung der thermischen Energie in elektrischen Strom. Dieser wird dann in eine andere, leichter zu speichernde Energieform umgewandelt. Das bekannteste Beispiel ist hierbei das Pumpspeicherkraftwerk. Hier wird elektrische in potentielle Energie umgewandelt. Die Funktionsweise ist denkbar einfach: In Zeiten eines Überangebots von Strom wird Wasser aus einem See in ein höher gelegenes Speicherbecken gepumpt. Zu Spitzenlastzeiten wird das Wasser durch Fallrohre zu den Turbinen geleitet und Strom erzeugt. Wie bei fast jeder Speichermethode, treten auch hier nicht zu vernachlässigende Arbeitsverluste von bis zu 25 % auf. Ein weiteres Problem stellt die Reliefgebundenheit dar. Der Vorteil ist allerdings, dass große Mengen an Energie gespeichert werden können und auf Abruf Spitzenlaststrom produziert werden kann (vgl. STROM-ONLINE 2009).

Das Druckluftspeicherkraftwerk arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip wie das Pumpspeicherkraftwerk. Hier wird der elektrische Strom in mechanische Energie, nämlich in Druck umgewandelt. Mit Hilfe von Kompressoren wird in Schwachlastzeiten Luft in unterirdischen Kavernen wie z. B. in Salzstöcken verdichtet. Die komprimierte Luft wird bei Bedarf durch Gasturbinen geleitet und so der Strom wieder gewonnen. Unterschieden wird zwischen der diabaten und adiabaten Methode. Entscheidend dabei ist, dass die Luft beim Kompressionsvorgang Wärme an ihre Umgebung abgibt. Bei der diabaten Methode ging diese Wärme verloren, so dass beim anschließenden Expansionsvorgang die Luft mittels fossiler Energie wieder erwärmt werden musste, um eine Vereisung der Turbinen zu verhindern. Bei den adiabaten Druckluftspeicherkraftwerken wird die bei der Kompression der Luft abgegebene Wärme gespeichert und später wiederum zu ihrer Erwärmung verwendet. Dank dieser Technik erhöht sich der Wirkungsgrad um ca. 20 %. Der Vorteil hierbei ist, ähnlich dem Pumpspeicherkraftwerk, dass die Energie nach einer sehr kurzen Vorlaufzeit zur Verfügung steht. Nachteile sind dagegen ein relativ geringer Wirkungsgrad von lediglich 50 % bei diabaten und 70 % bei adiabaten Kraftwerken sowie die geringe Anzahl an potentiellen Standorten, da diese an das Vorhandensein unterirdischer Kavernen gebunden sind (vgl. DENA 2009).

4.4 Aufbau eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes (HGÜ)

In Anbetracht der großen Distanzen zwischen den Standorten der Energieproduktion in Nordafrika und den Abnehmern in Europa wird allerdings auch die Stromübertragung neu konzipiert werden müssen. Das heutige deutsche Stromnetz ist bereits 50 Jahre alt und arbeitet fast ausschließlich mit Drehstromübertragung. Diese Technik hat gewisse Vorteile: So sind hierbei z. B. keine teuren Stromrichterstationen notwendig. Die größten Nachteile jedoch sind die hohen Übertragungsverluste bei großen Distanzen sowie die generell begrenzte Übertragungsdistanz. Bei Überlandleitungen liegt diese im Bereich von einigen hundert Kilometern, bei Seekabeln bereits unter 100 km (vgl. LÜBBERT 2009, S.2). Die Verwendung von Gleichstrom hingegen ermöglicht eine Übertragung über Distanzen, die weit über den Möglichkeiten der Drehstromübertragung liegen. Dabei ist mit lediglich 3 % Verlust auf 1.000 km zu rechnen. Die hohen Investitionskosten für die Gleichrichter relativieren sich durch die deutlich geringeren Verluste schon bereits bei 500-1.000 km für Überlandleitungen, bei Seekabeln beträgt die „break-even-distance“ lediglich 40 km (vgl. MAY 2005, S. 38; OEDING/ OSWALD 2004, S. 837). Im Zuge einer nachhaltigen Energieversorgung Europas ist es aus diesem Grund nicht nur ökologisch sinnvoll ein Gleichstromnetz aufzubauen, sondern auch wirtschaftlich und technisch zwingend erforderlich.

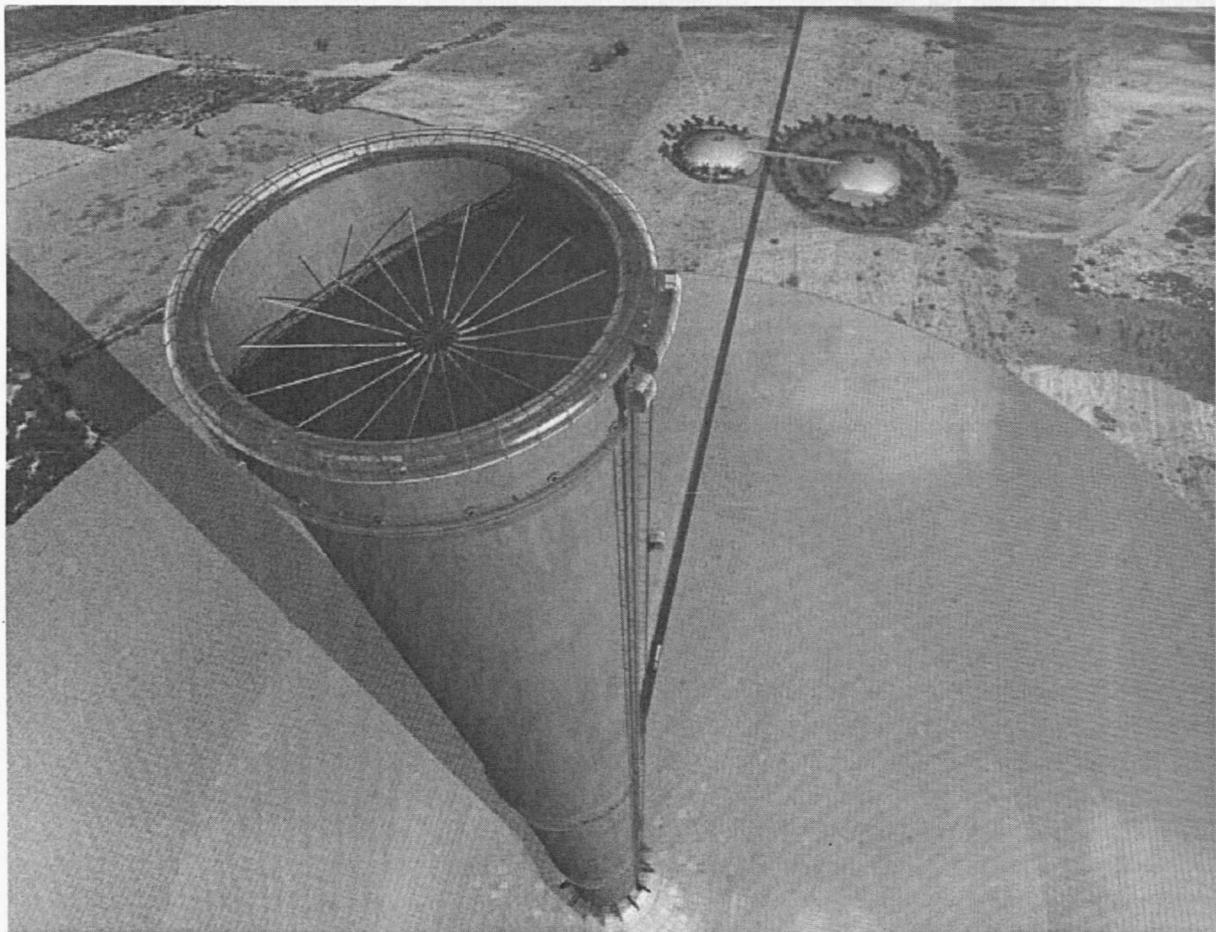
4.5 Ausgereifte Technologien

Die Technologien, die notwendig sind, um ein Projekt wie Desertec zu verwirklichen, haben bereits eine lange Entwicklung hinter sich. In den vergangenen 40 Jahren wurden diese immer weiter verbessert und sind heute allesamt reif für die Massenproduktion. Durch die fortwährende Steigerung der Wirkungsgrade sowohl der Kraftwerke als auch der Speichermethoden, stehen sie heutzutage den konventionellen Kraftwerken in nichts mehr nach. Auch die technische Realisierung der Hochspannungs-Gleichstrom-Leitungen (HGÜ) stellt kein Problem dar.

4.6 Aufwind-, Luftwirbel- und Abwindkraftwerk

Im Zuge der Umsetzung des Projektes Desertec können jenseits der CSP-Technologien weitere Kraftwerkstypen eingesetzt werden. Die sonnenreichen Regionen Nordafrikas sind hervorragend geeignet für Kraftwerke, die sich thermische Unterschiede zu Nutze machen. Von großem Interesse ist hierbei das sog. Aufwindkraftwerk (vgl. Abb. 20). Dieser solarthermische Kraftwerkstyp nutzt die Tatsache, dass erwärmte Luft aufsteigt. Das Aufwindkraftwerk verfügt über einen Kollektor aus Glas oder Plastik. Unter diesem wird die Luft, ähnlich wie in einem Treibhaus, von der Sonne erwärmt. Diese Kollektorfläche erhöht sich zur Mitte hin leicht. Dort befindet sich ein Turm, in dem die Luft wie in einem Schornstein aufsteigt. Am Fuße des Turmes sind Turbinen angebracht, welche vom entstandenen Luftstrom angetrieben werden und elektrische Energie erzeugen. Mit der Größe des Kollektors und der Höhe des Turmes steigt sein Wirkungsgrad (vgl. MÜLLER 2008).

ABB. 20: DAS AUFWINDKRAFTWERK



QUELLE: BRAAKE/ GROBE PARTNERSCHAFT 2009.

Rentabel ist diese Form der Energiegewinnung erst in großem Maßstab, also ab Turmhöhen von etwa 1.000 m und einer Leistung von 250 MW. Dass die Technologie nur einen relativ geringen Wirkungsgrad erreicht und sich der Bau nur in Wüstenregionen oder in der Nähe des Äquators lohnen würde, erschwert die kommerzielle Nutzung zusätzlich. Allerdings bieten Aufwindkraftwerke auch viele Vorteile. Man benötigt für diesen Technologiepfad lediglich einfachste Baumaterialien, wie z. B. Beton. Die Fläche unter dem Kollektor kann darüber hinaus landwirtschaftlich genutzt werden. Im Betrieb ist nur wenig Personal und Wartung nötig, zudem ist die Funktionsweise in der 9-jährigen Testphase eines Demonstrationskraftwerkes in Spanien (Manzanares) bereits bestätigt worden. Außerdem lässt sich über das Anbringen von Wärmespeichern

(z. B. mit Wasser) sogar nachts Strom erzeugen. Dadurch wird die Grundlastfähigkeit der Anlage gewährleistet (vgl. FORSCHUNGSVERBUND SONNENENERGIE 2003, S. 85ff.).

Gleich dem Aufwindkraftwerk nutzt auch das Luftwirbelkraftwerk die Energie von aufsteigenden Luftmassen. Allerdings wird bei dieser Variante, unter Zugabe von Wasserdampf und durch das Umlenken der Luft im Turm, ein Luftwirbel erzeugt. Auf diese Weise wird eine weit höhere Effizienz gewährleistet und die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerkes ist schon ab einer Turmhöhe von etwa 100 m garantiert. Luftwirbelkraftwerke können überall dort eingesetzt werden, wo viel Abwärme zur Verfügung steht. Demnach ist eine Konstruktion mit einer Kollektorfläche wie beim Aufwindkraftwerk denkbar. Es lässt sich jedoch auch in bereits vorhandene Kühltürme integrieren. Deren Wirkungsgrad könnte so um bis zu 25 % gesteigert werden. Die Baukosten eines derartigen Projektes sind vergleichsweise gering, ebenso wie Wartung und Unterhalt. Befürchtungen, dass der Wirbel aus dem Turm ausbrechen und verheerende Schäden anrichten könnte, sind nicht gerechtfertigt: Da der Luftwirbel von einer Wärmequelle am Fuße des Turmes genährt wird, würde er sich beim Ausbrechen ohne Energiezufuhr sofort auflösen (vgl. MICHAUD 2009, S. 1ff.).

Das Abwindkraftwerk hingegen macht sich absteigende Luftmassen zu Nutze. Durch das Verdampfen von Wasser wird warme Luft in einer Höhe von etwa 1.000 m abgekühlt und in einem Turm zum Absinken gebracht. Hierbei entstehen sehr hohe Windgeschwindigkeiten, deren Energie wiederum durch Turbinen am Fuße des Turmes in elektrischen Strom umgesetzt wird. Da diese Technik nur im Bereich der Wendekreise rentabel ist und große Mengen an Wasser erfordert, müsste man auf zuvor entsalztes Meerwasser zurückgreifen. Zudem ist etwa ein Drittel der erzeugten Energie notwendig, um das Wasser auf den Turm hinauf zu pumpen. Dennoch ist die Technik effizient, da sie grundlastfähig ist und mit einer Energieausbeute von 45% mit atomaren oder fossilen Kraftwerken vergleichbar ist (vgl. ZASLAVSKY 2009).

Literatur

- DER SOLARSERVER (2010): Das Internetportal zur Sonnenenergie.
http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0207.html, (25.01.2010).
- DESERTEC FOUNDATION (2009): <http://www.desertec.org/>, (13.12.2009).
- DESERTEC FOUNDATION (2009): Clean Power from Deserts, White Book 4th Edition.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (dena) (2009): <http://www.thema-energie.de/energie-im-ueberblick/technik/speicher-netze.html>, (13.12.2009).
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2009): <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/hochspannungs-gleichstrom-uebertragung.pdf>, (13.12.2009).
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (2010): <http://www.dlr.de/>, (13.12.2009).
- DIALOG INTERNATIONAL (2009): http://www.solarenergie-fuer-afrika.org/solar/cms/upload/bilder/schule/beitraege/facharbeit_elias/kraftwerk_turm.jpg, (10.01.2010).
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR), THE FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY (2005): Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region. Oberpfaffenhofen.
- FOCUS ONLINE (2009): http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/zukunftsenergie-kampf-an-vielen-fronten_aid_373378.html, (13.12.2009).
- FORSCHUNGSVERBUND SONNENENERGIE [Hrsg.] (2003): Themen 2002 – Solare Kraftwerke. Berlin.
- FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME (2004): Technologievergleich Parabolrinnen- und Fresnel-Technologie im Vergleich.
http://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projectsAP2_2_Technologievergleich.pdf, (13.12.2009).
- HENNICKE P., FISCHEDICK M. (2007): Erneuerbare Energien. Bonn.
- INTERSOL (2009): <http://intersol.se/attachments/Image/Dish-stirling-at-odeillo.jpg>, (07.01.2010).
- KALTSCHMITT M., STREICHER W., WIESE A. [Hrsg.] (2006): Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin.
- KHAMMAS A. A. W. (2007-2009): Buch der Synergie. <http://www.buch-der-synergie.de/index.html>, (13.12.2009).
- LESSNER A. (2010a): CSP vor neuem Schub. In: Erneuerbare Energien, H. 2, S. 52-53.
- LESSNER A. (2010b): CSP ist bereits heute konkurrenzfähig. In: Erneuerbare Energien, H. 2, S. 54-59.
- MAY N. (2005): Ökobilanz eines Solarstromtransfers von Nordafrika nach Europa. Braunschweig.
- MICHAUD L. (2009): The Atmospheric Vortex Engine. Sarnia, Ontario, Kanada.
- MÜLLER U. (2008): Wüsten-Türme. In: Neue Energie, H. 12, S. 98-101.
- NOVATEC BIOSOL AG (2009): <http://www.novatec-biosol.com/>, (13.12.2009).

OEDING D., OSWALD B. (2004): Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Aufl., Berlin.

QUASCHNING V. (2009): Regenerative Energiesysteme. München.

SOLARTURM JÜLICH (2009): http://solarturm-juelich.de/files/images/STJ_Animation.jpg, (07.01.2010).

STROM-ONLINE (2009): http://www.strom-online.ch/pumpspeicherwerk_infos.html, (13.12.2009).

VALLENTIN D., VIEHBAHN P. (2009): Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP (Concentrated Solar Power) -Technologien, Wuppertal.

WELT DER PHYSIK (2010): Technik der solarthermischen Kraftwerke.
<http://www.weltderphysik.de/de/6560.php>, (13.01.2010).

ZASLAVSKY D. (2009): Energy Towers. http://physicaplus.org.il/zope/home/en/1124811264/1137833043_en, (18.12.2009).

5 Ressource Wasser

Der Großteil der Erdoberfläche besteht aus Wasser. Auf den ersten Blick scheint es daher im Überfluss vorhanden zu sein. Doch davon entfallen 97,5 % auf Meer- und Brackwasser und nur die übrigen 2,5 % auf Süßwasser. Subtrahiert man davon das in Schnee und Gletschern gebundene Wasser, dann sind lediglich 0,003 % des gesamten Wasservorkommens für den Menschen tatsächlich nutzbar (vgl. WILHELM 1997, S. 11). Hinzu kommt, dass diese geringe Menge ungleich auf der Welt verteilt ist. Etwa ein Drittel der Weltbevölkerung lebt in Ländern, in denen die Trinkwasserversorgung maßgeblich gefährdet ist (vgl. MEADOWS et al. 2006, S. 36). Dies betrifft insbesondere die Entwicklungsländer. Doch auch die Industrieländer werden in Zukunft an Grenzen stoßen, wenn das grundlegende Lebensmittel nicht effizienter genutzt wird.

Studien von MEADOWS et al. (2006, S. 67f.) verdeutlichen, dass bei steigendem Wasserverbrauch und zunehmender Verschmutzung die Grenze der insgesamt verfügbaren Wassermenge schon bald erreicht sein könnte. Die physische Obergrenze des Wasserverbrauches liegt bei rund $40.700 \text{ km}^3/\text{a}$. Allein davon fließen bereits $29.000 \text{ km}^3/\text{a}$ ungenutzt in die Weltmeere. Daraus folgt, dass jährlich etwa 11.700 km^3 verbleiben. Problematisch ist, dass 2.100 km^3 in Regionen abfließen, die für den Menschen nur schwer zugänglich sind. Demgegenüber konnte die Errichtung von Staudämmen die verwertbare Wassermenge pro Jahr um 3.500 km^3 erhöhen. Insgesamt ergibt sich dadurch eine verfügbare Menge von 13.100 km^3 . Der gesamte Wasserverbrauch der Menschheit (verschmutzt + verbraucht) beträgt derzeit 6.780 km^3 . Damit ist bereits mehr als die Hälfte des jährlich zur Verfügung stehenden Wassers aufgebraucht (6.320 km^3 verbleiben). Es ist offensichtlich, dass der Mangel an der Ressource Wasser noch ein Verteilungsproblem darstellt. Jedoch stellt sich die Frage, wie schnell die physische Obergrenze bei exponentiellem Bevölkerungswachstum erreicht sein wird. Dies verdeutlicht eindrucksvoll, dass Konzepte erforderlich sind, die neue Strategien in der Optimierung der Wasserversorgung aufzeigen. Das Desertec-Projekt liefert hierzu Möglichkeiten, mit Hilfe von CSP-Technologien die Wasserversorgung, insbesondere in den MENA-Ländern, sicherzustellen.

5.1 Süßwasservorkommen in der MENA-Region

Im Rahmen der AQUA-CSP Studie des DLR „Concentrating Solar Power for Seawater Desalination“ aus dem Jahre 2007, wurden die Einsatzmöglichkeiten solarthermischer Technologien im Bereich der Meerwasserentsalzungsanlagen ermittelt. Die Studie liefert daher eine nachhaltige Lösung für das wachsende Problem der Wasserversorgung und beschreibt gleichzeitig eine Alternative zu einer ausgewogenen, sicheren und kostengünstigen Versorgungsstruktur für die nachfolgenden Generationen (vgl. DLR 2007, S. 2).

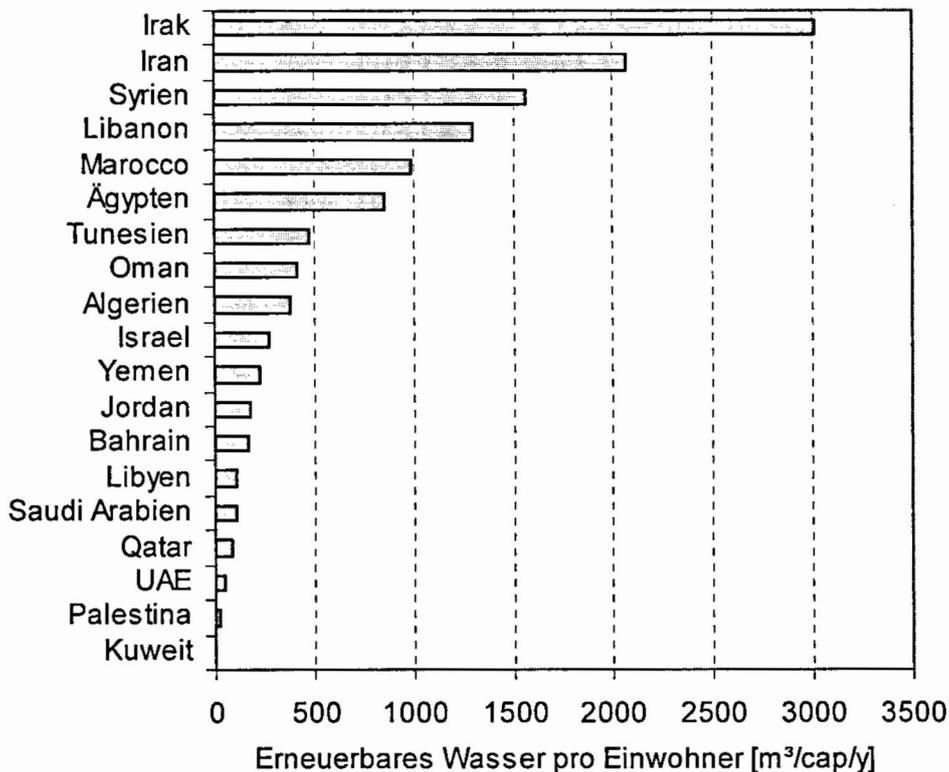
Aufgrund der klimatischen Gegebenheiten sind die natürlichen Trinkwasserressourcen in den MENA-Ländern stark begrenzt. Niederschlagswerte von über 300 mm pro Jahr findet man ausschließlich in Ländern, die am Mittelmeer liegen, wie zum Beispiel in den Maghreb-Ländern (Marokko, Algerien, Tunesien) sowie in den Maschrek-Ländern (Syrien, Libanon, Israel) und in den Gebirgsregionen Jemen und Iran (vgl. DLR 2007, S. 55). Nur vier (Irak, Iran, Syrien, Libanon) der insgesamt 18 Länder liegen oberhalb der Schwelle von 1.000 m^3 pro Kopf und Jahr, die als Grenze zur Wasserarmut gilt (vgl. Abb. 21). Alle anderen Länder sind in noch stärkerem Maße von der Wasserknappheit betroffen. Bei der prognostizierten Verdoppelung der Bevölkerung bis zum Jahr 2050 wird deutlich, dass diese Länder vor einer ernstzunehmenden Krise bezüglich der Wasserversorgung stehen. Hinzu kommt, dass es nur wenige perennierende Flüsse und Seen gibt. Dazu gehören Euphrat und Tigris in Syrien und dem Irak sowie der Nil und der Nassersee in Ägypten. Abgesehen davon gibt es noch einige kleinere Flüsse in der Maghreb-Region. Die wichtigste Rolle spielt jedoch der Nil, da er insbesondere Ägypten mit Trinkwasser versorgt (vgl. DLR 2007, S. 55).

Zusätzlich befinden sich relativ große Grundwasservorkommen unterhalb der Sahara. Dennoch handelt es sich hierbei um überwiegend fossile Grundwasservorkommen, die nur geringfügig durch erneuerbare Quellen gespeist und genutzt werden können. Allerdings werden diese bereits zu stark beansprucht, was wiederum drastische Umweltauswirkungen zur Folge hat, wie zum Beispiel das Absinken des Grundwasserspiegels und das Versiegen zahlreicher Oasen (vgl. DLR 2007, S. 71).

5.2 Süßwasserbedarf und Defizite

Bisher wurde versucht, der Wasserproblematik durch den Bau von Staudämmen zu begegnen. Dadurch konnte die verwertbare Abflussmenge pro Jahr gesteigert werden (vgl. MEADOWS et al. 2006, S. 69). Nicht selten führte dies allerdings zu weitreichenden Konflikten wie bspw. Sedimentation, extreme Verdunstung, Umsiedlungen aber auch zu Wasserverteilungskonflikten. Deshalb sind zusätzliche Maßnahmen zur Wiederaufbereitung, zur Effizienzsteigerung bei der Verteilung, zur Bewässerung sowie neue Methoden wie die Meerwasserentsalzung unumgänglich, um eine nachhaltige Wasserversorgung zu gewährleisten (vgl. DLR 2007, S. 71). Das DLR ermittelte zunächst die Süßwassernachfrage bis zum Jahre 2050. Unter der Annahme zunehmender Wassersparmaßnahmen wurde der Trinkwasserbedarf als Funktion der wachsenden Bevölkerung und der Wirtschaft errechnet. Hierbei wurden unterschiedliche Bereiche betrachtet. Dazu zählen die landwirtschaftliche Bewässerung sowie die industrielle und die kommunale Nutzung. Demnach ist die Landwirtschaft im Jahre 2000 für 88 %, die Industrie für 4 % und die kommunale Nutzung für 8 % des Gesamtwasserverbrauchs in den MENA-Ländern verantwortlich (vgl. DLR 2007, S. 80). Der landwirtschaftliche Verbrauch könnte dabei bis 2050 durch die wachsenden Anteile der Industrie und der Kommunen auf 65 % zurückgehen. Gleichzeitig steigt jedoch der allgemeine Wasserbedarf in den Ländern des Nahen Ostens und Nordafrikas bis 2050 von 270 auf 460 Mrd. m³ pro Jahr an (vgl. Abb. 22).

ABB. 21: PRO EINWOHNER VERFÜGBARE TRINKWASSERRESSOURCEN IN DEN MENA-LÄNDERN (2000)

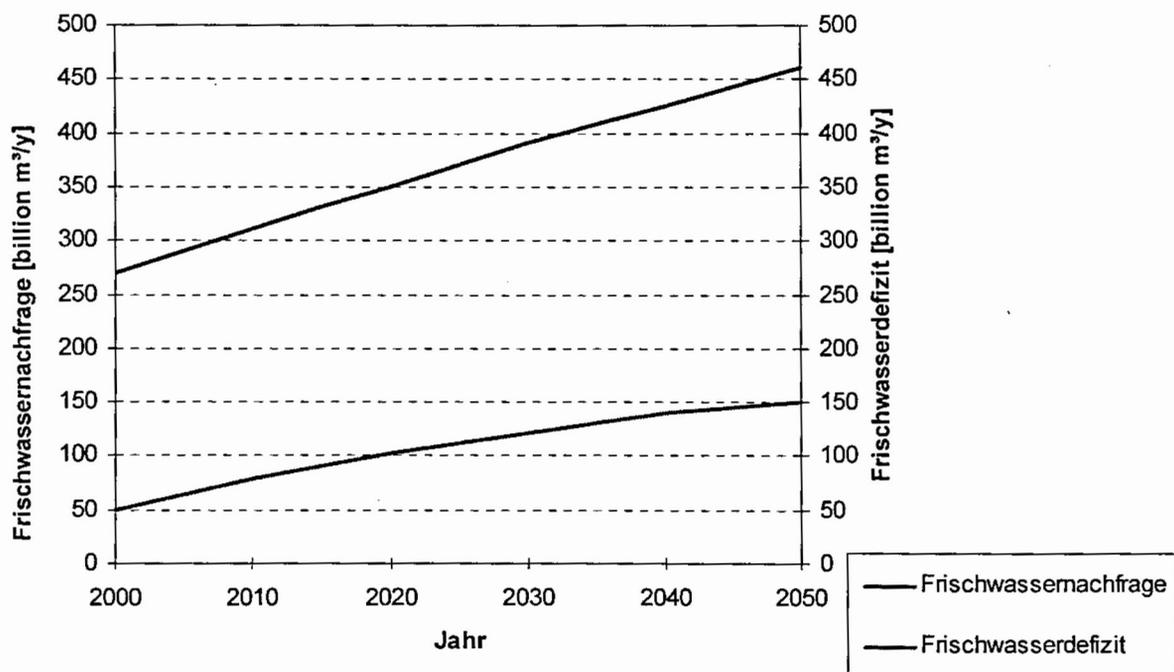


QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH DLR 2007.

Neben den Prognosen zum Trinkwasserbedarf wurden auch die Wasserdefizite der Region untersucht. Diese Mängel versucht man heute teilweise durch die Übernutzung der fossilen Grundwasserressourcen und durch einen geringen Anteil an Meerwasserentsalzung auszugleichen. Dennoch würde das heutige Defizit von 50 Mrd. m³ pro Jahr in diesem Fall im Jahr 2050 auf bis zu 150 Mrd. m³ ansteigen (vgl. Abb. 22). Dies entspricht einer Wassermenge mit dem zweifachen Volumen des Nils – und das, obwohl schon umfangreiche Effizienzsteigerungen in der Wasserversorgung angenommen wurden (vgl. DLR 2007, S. 84).

Darüber hinaus wurden der Wasserbedarf und das Wasserdefizit ohne jegliche Maßnahmen zur Effizienzsteigerung untersucht. Das Ergebnis von 570 Mrd. m³ Wasser pro Jahr bei einem Defizit von 235 Mrd. m³ pro Jahr verdeutlicht den Ernst der Lage (vgl. DLR 2007, S. 80). Des Weiteren wurden auch Wasserbedarf und Wassermangel unter extremen Anstrengungen zur Effizienzsteigerung berechnet. Der Bedarf konnte dabei zwar auf 390 Mrd. m³ im Jahre 2050 herabgesetzt werden, jedoch blieb selbst unter diesen Bedingungen noch ein Defizit von 100 Mrd. m³ übrig (vgl. DLR 2007, S. 87). Die Studie verdeutlicht zum Einen, dass eine wesentlich effizientere Nutzung der Wasserressourcen in den MENA-Ländern große Bedeutung hat. Zum Anderen zeigt sie, dass Sparmaßnahmen allein eine nachhaltige Versorgung nicht garantieren können. Ohne das rechtzeitige Ergreifen zusätzlicher Maßnahmen, wie bspw. den Ausbau von Meerwasserentsalzungsanlagen, würde es mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Kollaps kommen (vgl. DLR 2007, S. 87). Doch Meerwasserentsalzungsanlagen sind nur dann sinnvoll, wenn nicht fossile sondern erneuerbare Energieformen genutzt werden. In diesem Fall liefert die Nutzung der Solarkraft eine nachhaltige Lösung für die Region.

ABB. 22: PROGNOSTIZIERTE SÜßWASSERNACHFRAGE UND -DEFIZITE IN DEN MENA-LÄNDERN



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

5.3 Wasserverteilungskonflikte

Aus den erheblichen Disparitäten um die Verteilung von Wasser resultieren Konflikte, die oftmals auch über staatliche Grenzen hinausreichen. Ein hohes Konfliktpotential liegt insbesondere bei Staudammprojekten, die häufig Auslöser derartiger Auseinandersetzungen sind.

5.3.1 Nutzung des Nilraums

Insgesamt leben in den zehn Ländern, die das Wasser des Nils nutzen, über 140 Mio. Menschen (vgl. FRÖHLICH 2006). Als der frühere Präsident Ägyptens Anwar el Sadat in den 1970er Jahren erklärte, dass „das Einzige, wofür Ägypten noch einmal Krieg führen würde, [...] Wasser“ (KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 3) sei, wurde die Brisanz der Wasserversorgung im Nilbecken deutlich (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 2f.). Mehr als 90 % seines gesamten Wassers bezieht Ägypten aus dem Nil und beansprucht dementsprechend den größten Teil des Nilwassers, dessen Quellen in Äthiopien und im Sudan entspringen. Das Nilwasser entstammt zu 86 % aus dem Blauen Nil in der Hochebene Äthiopiens, wobei dieses Land nur einen geringen

Anteil des Wassers für sich nutzen kann (vgl. FRÖHLICH 2006). Lediglich 3 % der Niederschläge in Äthiopien können für die Wasserversorgung und die Landwirtschaft verwendet werden, der Großteil speist den Nil und wird deshalb in Ägypten genutzt (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2002, S. 27). Um den im Land herrschenden Hungersnöten und der Trockenheit ein Ende zu setzen, plante die äthiopische Staatsführung bereits in den 1970er Jahren den Bau von Staudämmen am Oberlauf des Nils. Ägypten reagierte schon in der Planungsphase auf die äthiopischen Bemühungen und drohte mit Bombardements gegen die geplanten Einrichtungen, um seine Wasserversorgung nicht zu gefährden. Auch der Sudan bekam die militärische, politische und wirtschaftliche Stärke Ägyptens über zahlreiche Drohungen bis in die 1990er Jahre hinein zu spüren (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 3).

Mit der Bildung der Nile Basin Initiative im Jahre 1999, wurde ein entscheidender Schritt in Richtung einer gerechten Verteilung des Nilwassers innerhalb der Anrainerstaaten vollzogen. Der erste Meilenstein der Initiative war der im November 2009 fertiggestellte Tekeze-Staudamm am Blauen Nil in Äthiopien. Das Projekt bringt Wasser für Äthiopien und im Gegenzug erhält Ägypten einen Teil des Stroms aus dem 300 MW Wasserkraftwerk (vgl. DEHMER 2009). Dieses Beispiel zeigt deutlich, wie sehr die Wasserversorgung und -verteilung der MENA-Länder von einer bi- bzw. multilateralen Kooperation abhängt.

5.3.2 Konflikttherd Jordan

Einen weiteren Konflikttherd stellt der Jordan dar. Der Fluss entspringt in den syrischen Golanhöhen, die seit dem Sechs-Tage-Krieg zwischen Israel und Syrien im Jahre 1967 von Israel besetzt und annektiert sind. Auslöser des Wasserkonflikts war der Bau eines Damms auf syrischer Seite am Fluss Yarmuk, einem Zufluss des Jordans. Der Jordan wird durch die Flüsse Dan, Hazbani und Banyas gespeist, die in den Golanhöhen und im Libanon entspringen. Sie befinden sich noch immer unter israelischer Kontrolle.

Der National Water Carrier, ein Fernleitungskanal, leitet rund 90 % des Jordanwassers aus dem oberhalb liegenden See Genezareth in das südliche Landesinnere. Dieses Wasser wird unter anderem für wichtige Bewässerungsgebiete verwendet. Im Jahre 1994 haben Israel und Jordanien ein Abkommen über die Verteilung des Jordanwassers getroffen. Die Palästinenser wurden in diesem Abkommen völlig außer Acht gelassen und erhielten dementsprechend keinen Anteil am Wasser. Die Wasserversorgung des Gaza-Streifens ist ausschließlich vom West-Aquifer, welcher in Richtung des Mittelmeers entwässert sowie weiteren wasserführenden Schichten unterhalb des Gaza-Streifens abhängig. Problematisch hierbei ist, dass das Meerwasser nach dem Abpumpen des fossilen Grundwassers den Boden versalzt und nachhaltig die Bodenqualität herabsetzt (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 43f.).

Mehr als eine Million Palästinenser leben im Gaza-Streifen. Hinsichtlich des Wasserverbrauchs kristallisieren sich erhebliche Diskrepanzen heraus. Die Palästinenser haben pro Kopf und Tag nur etwa 70 l Wasser zur Verfügung. Im Vergleich dazu verbrauchen die israelischen Siedler pro Kopf und Tag etwa 550 l Wasser. Einige Experten beurteilen die Wasserknappheit in palästinensischen Gebieten als nicht natürlich, sondern als einen politisch gewollten Zustand (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 7f.). Insgesamt werden dem Jordan etwa 90 % seines Wassers für die Bewässerung von Feldern und für die Trinkwasserversorgung entnommen, sodass nur noch ein geringer Anteil des Wassers im Toten Meer ankommt. Jährlich sinkt der Wasserpegel um etwa einen Meter. Laut der Umweltschutzorganisation Friends of the Earth hat das Tote Meer in den letzten 30 Jahren mehr als 25 m an Wassertiefe verloren. Von einstmals 80 km Länge sind nur noch 50 km übrig (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 5).

Der Libanon ist ebenso wie Israel auf das Wasser des Jordanzuflusses Hazbani angewiesen. Im Jahr 2002 drohte Israel mit der Bombardierung libanesischer Baustellen am Fluss. Dort sollte eine Pumpstation entstehen, um durch eine Wasserleitung mit 10 cm Durchmesser zwei Dörfer im Südlibanon mit Trink- und Bewässerungswasser zu versorgen. Aufgrund des internationalen Druckes, speziell seitens der Europäischen Union, wurde das Projekt trotz militärischer Drohungen realisiert (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 5). Dennoch stellt die Ressource Wasser in der Jordanregion mitunter ein großes Konfliktpotential dar. Der kurzfristige Bau einer an ein solarthermisches Kraftwerk gekoppelten Meerwasserentsalzungsanlage auf ägyptischem Boden würde die Trinkwasserversorgung für den Gaza-Streifen verbessern und so den dort

lebenden Menschen helfen. Gleichzeitig würden durch dieses Pilotprojekt die Potenziale des Desertec-Projekts für die Länder der MENA-Region aufgezeigt (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009, S. 11).

Das "Gaza Solar Power & Water Project" sieht vor, mit Hilfe von Sonnenkraftwerken auf der ägyptischen Sinai-Halbinsel Strom zu erzeugen. Mittels davon betriebener Meerwasserentsalzungsanlagen ist vorgesehen, sauberes Trinkwasser für ca. drei Millionen Menschen im Gazastreifen zu produzieren (vgl. DLR 2007). Ein ca. 40 km langer Küstenstreifen der ägyptischen Sinai-Region, zwischen der Grenze zum Gazastreifen und der Stadt El'Arish, hat sich durch seine geographischen Eigenschaften bereits als besonders geeignet für solarthermische Kraftwerke erwiesen (vgl. Abb. 23). Insbesondere durch die Beteiligung Israels an dem Projekt ist dessen friedenspolitische Bedeutung hervorzuheben. Das „Gaza Solar Power & Water Project“ könnte auch den Weg für die Ansiedlung zukunftssträchtiger Solarenergie-Industrie ebnen, was durch das Angebot einer attraktiven Zukunftsperspektive für junge Leute und Arbeitslose unweigerlich zu einer Entspannung der innenpolitischen Lage führen wird. Sollte das Projekt erfolgreich verlaufen, könnte es auch auf Nachbarländer wie den Jemen, Jordanien, Syrien und die Länder der Arabischen Halbinsel ausgedehnt werden, um die Wasserversorgung der dort gelegenen Großstädte zu sichern. Insbesondere den Vereinigten Arabischen Emiraten und deren größten Städten Dubai und Abu Dhabi bietet das Projekt interessante Alternativen für die Zukunft, um an sauberes Trinkwasser zu gelangen.

ABB. 23: STANDORT FÜR „GAZA SOLAR POWER & WATER PROJECT“



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG.

Desertec bietet Chancen zur Verbesserung der Wasserproblematik im Jordanbecken. Wichtig ist, dass auch die solarthermischen Kraftwerke Wasser benötigen – zum Einen als Kühlwasser, zum Anderen für den Wasserdampf, der die Turbinen antreibt. Kraftwerke, die in Küstennähe betrieben werden, haben den Vorteil, mit einem Teil der produzierten Energie Meerwasser zu entsalzen und so neben dem benötigten Kühlwasser auch Trinkwasser zur Verfügung stellen zu können (vgl. ADOLPHS 2009). Daneben besteht auch die Möglichkeit, Solarthermie-Kraftwerke mit einer Luftkühlung zu betreiben. Diese verursachen zwar im Bau etwa 10 % mehr Kosten bei 5 % weniger Leistung, benötigen jedoch auch 90 % weniger Wasser als die wassergekühlten Kraftwerke (vgl. ADOLPHS 2009).

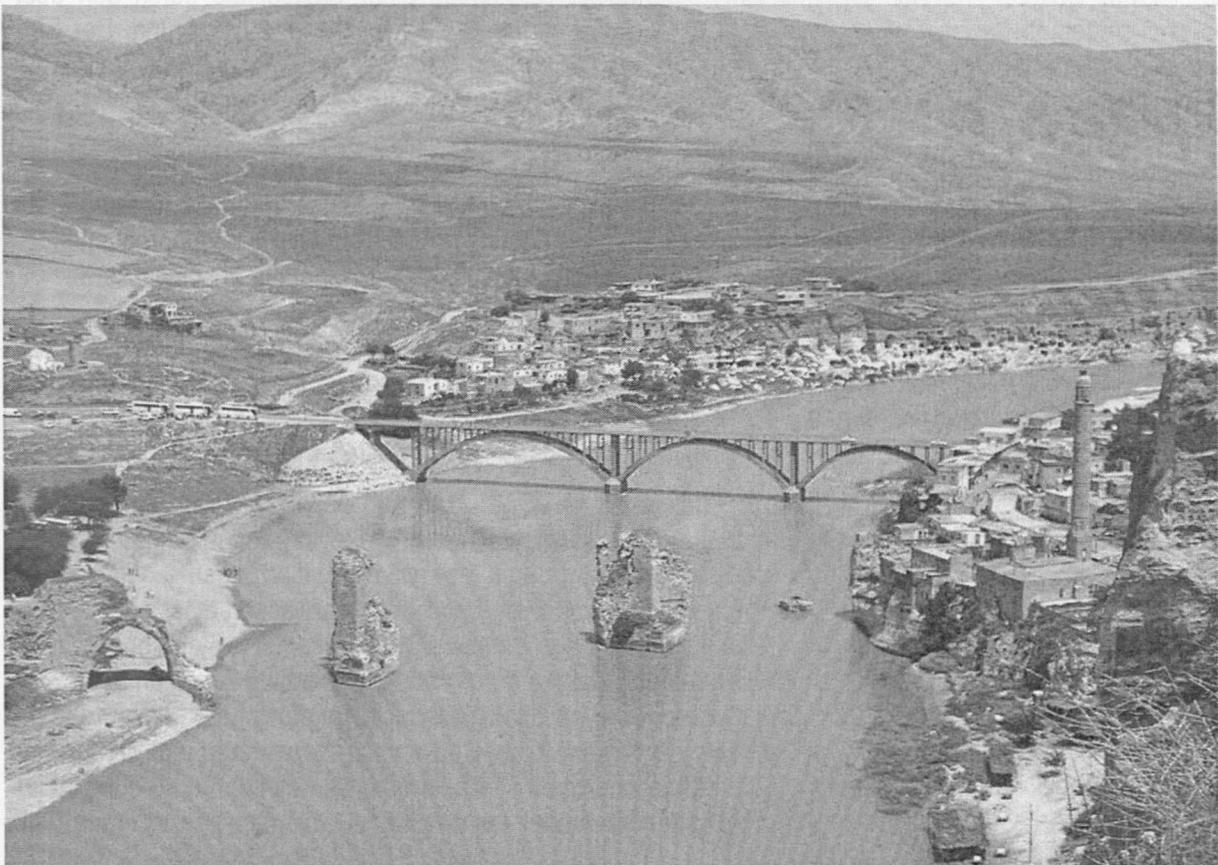
Des Weiteren könnten, laut einer Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) aus dem Jahr 2007, Meerwasserentsalzungsanlagen auf Grund ihres hohen Energiebedarfs in Nordafrika und dem Mittleren Osten mit Hilfe von Solarthermie-Kraftwerken ermöglicht werden. Damit werden emissionsreiche (Kohle) oder riskante (Kernenergie) Kraftwerke vermieden. So könnten natürliche Trinkwasserressourcen geschont und ein Beitrag zur politischen Stabilität in Israel geleistet werden (vgl. TRIEB 2007). Zudem

würden nicht nur im Jordanbecken sondern auch in vielen anderen Regionen die wirtschaftliche Entwicklung, eine solide Stromversorgung und Arbeitsplätze gefördert werden (vgl. KNIES 2009).

5.3.3 Das GAP-Projekt in der Türkei

Die Quellen der Flüsse Euphrat und Tigris liegen beide in der türkischen Region Südostanatolien und durchfließen die Unterlieger Syrien und den Irak. Im Rahmen des Südostanatolien-Projektes (GAP: Güneydoğu Anadolu Projesi) plant die türkische Regierung insgesamt 1,7 Mio. ha landwirtschaftliche Fläche zu bewässern (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 43). In diesem Zusammenhang sollen an Euphrat und Tigris 22 Staudämme entstehen, von denen bereits die Hälfte in Betrieb ist. Neben den 22 Staudämmen sowie 25 Bewässerungsflächen sind auch 19 Elektrizitätswerke geplant, die einen erheblichen Anteil zur Gesamtenergieversorgung der Türkei beitragen (vgl. STRUCK 2003, S. 20).

ABB. 24: ÜBERRESTE DER IM 12. JH. ERBAUTEN BRÜCKE ÜBER DEN TIGRIS IN HASANKEYF



QUELLE: ZINDA MAGAZINE 2009.

Das Problem besteht darin, dass die Türkei nach Fertigstellung des Großprojektes willkürlich über die Abflussmenge bestimmen kann. Der Irak muss damit rechnen, nur noch ein Drittel des ihm jetzt zur Verfügung stehenden Euphratwassers nutzen zu können (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 43). Die Türkei versucht zudem die Unterlieger des Euphrat und Tigris „zu einer politisch konformen Haltung in der Kurdenfrage zu zwingen“ (MÜLLER-MAHN 2006, S. 43). Fördernd wirkt hierbei noch die Besetzung des Iraks durch amerikanische Truppen (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 43). Auch ist die Türkei nicht zuletzt durch seine Mitgliedschaft in der NATO, den beiden Staaten militärisch überlegen (vgl. KÜRSCHNER-PELKMANN 2003, S. 3), denn bei einem Angriff auf die Türkei müssten ihr die Bündnispartner zur Seite stehen (vgl. STRUCK 2003, S. 18). Bereits 1973 kam es beinahe zu einem Krieg, als Syrien begann, den Stausee des Assad-Damms zu füllen. Der Irak hatte seine Soldaten in der Grenzregion zu Syrien bereits mobilisiert. Nur durch internationale Bemühungen

seitens der Sowjetunion und einiger arabischer Länder konnte eine kriegerische Auseinandersetzung verhindert werden. Auch während des Baus der ersten türkischen Euphrat-Staudämme Keban (1974) und Karakaya (1986) kam es zu Demonstrationen und Kriegsdrohungen seitens Syriens, die aber ebenfalls durch internationale Bemühungen im Keim erstickt werden konnten (vgl. STRUCK 2003, S. 18ff.).

Zuletzt löste der Baubeginn zweier großer Staudämme im Jahre 1995 bei den Unterliegern von Euphrat und Tigris sowie auch in der internationalen Gemeinschaft großen Protest aus. Die Bundesrepublik Deutschland, Großbritannien und die Schweiz reagierten 2008 auf den Bau des Birecik-Damms am Euphrat und des Ilisu-Damms am Tigris mit der „*Verweigerung der staatlichen Hermes-Kreditabsicherung für die beteiligten Bau-firmen.*“ (STRUCK 2003, S. 20). Auch österreichische Kreditbürgen schlossen sich den genannten Ländern, deren Baufirmen das Projekt realisieren sollten, an (u. a. Züblin). Die Gründe für den Kreditstopp lagen in der Verletzung von Umweltschutzaufgaben sowie in Bestimmungen zum Erhalt von Kulturgütern, aber auch in der problematischen Umsiedlung und Enteignung von 10.000 Menschen (unabhängige Experten gehen von bis zu 78.000 Menschen aus). Besonders die kulturell und archäologisch wertvolle Stadt Hasankeyf in der Provinz Batman (vgl. Abb. 24), mit jahrhundertealten Überresten einer Brücke, die durch den über 300km² großen Stausee überflutet werden soll, sorgt für internationale Proteste und Empörung. Der Bürgermeister der Stadt begrüßte den Stopp der Bürgschaften und forderte, die Ortschaft zur UNESCO-Weltkulturerbestätte zu erklären (vgl. SPIEGEL ONLINE 2009).

Unterdessen ließ die türkische Staatsführung verlauten, an den GAP-Plänen festzuhalten und betonte zugleich, den Staudamm notfalls auch ohne die Kreditbürgschaften aus Westeuropa zu bauen. Sie plant einen zeitnahen Baubeginn (vgl. SPIEGEL ONLINE 2009). Eine Lösungsmöglichkeit für die angesprochenen Konflikte ergibt sich wiederum aus dem Desertec-Projekt; denn nicht zuletzt gewinnt die Frischwassergewinnung über Meerwasserentsalzungsanlagen besonders in den Ländern an Bedeutung, die sich bisher nur durch die Errichtung von Staudämmen gegen die Wasserknappheit zu wehren wussten.

5.4 Meerwasserentsalzungsanlagen

5.4.1 Funktionsweise

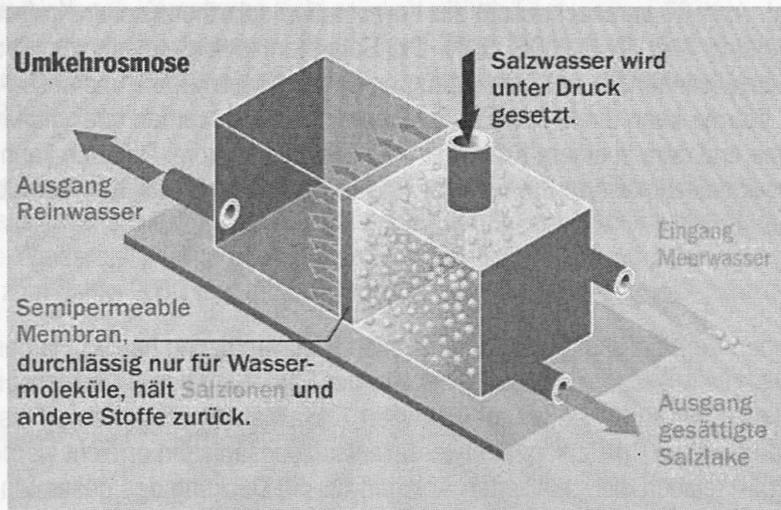
Die Verknappung der Ressource Wasser und das damit hervorgerufene Konfliktpotential führt zu der Überlegung, welche Möglichkeiten für eine Versorgungssicherheit in der MENA-Region zur Verfügung stehen. Die bedeutendsten Optionen stellen die Wassergewinnung durch Meerwasserentsalzungsanlagen und die Nutzung der Grundwasserreserven dar. Problematisch dabei ist, dass die Meerwasserentsalzung kosten- und energieintensiv ist, sodass lediglich reichere Staaten sich entsprechende Anlagen leisten können. Darüber hinaus belasten sie das Meer mit Emissionen und werden durch nicht-regenerative Energien betrieben. Des Weiteren ist die Anzapfung von Grundwasserreserven ökologisch nicht tragfähig. Aus diesem Grund müssen Alternativen entwickelt werden, die eine nachhaltige Wassergewinnung garantieren (vgl. DLR 2006, S. 1). Neu entwickelte Entsalzungs- und Solarkrafttechnologien sollen für eine nachhaltige Versorgung in der MENA-Region nutzbar gemacht werden. Hierfür kommen aber nur bestimmte Anlagentypen in Frage (vgl. DLR 2006, S. 3).

Die Mehrstufen-Entspannungsverdampfung (engl. Multi-Stage Flash Desalination, kurz: MSF) ist eine Technik, mit der man durch mehrfache Erhitzung und Verdampfung in den verschiedenen Stufen reines Wasser durch Kondensation gewinnen kann (vgl. BRENDEL 2003, S. 4). Diese Technologie zählt zu den meist genutzten Anlagentypen. Die MSF-Anlagen besitzen jedoch einen verhältnismäßig geringen Wirkungsgrad und benötigen für die Frischwasserproduktion viel Energie (vgl. BRENDEL 2003, S. 5). Aus diesem Grund konzentriert man sich auf alternative Techniken. Eine dieser weiteren Technologien ist die Umkehrosmose (engl. reverse osmosis membrane desalination, kurz: RO) (vgl. Abb. 25), die durch mechanische Kraft reines Wasser erzeugt (vgl. ODENWALD 2009).

Das Meerwasser wird in eine Kammer geleitet, die an einer Seite mit einer semipermeablen Membran ausgestattet ist. Diese Membran lässt nur die Wassermoleküle durch. Die größeren Salzmoleküle und andere Bestandteile werden durch die Poren zurückgehalten. Durch die Ausübung von Druck auf die Kammer ge-

langen ausschließlich die Wassermoleküle durch die Membran. Anschließend wird es in einer weiteren Kammer gesammelt und abgezogen (vgl. ODENWALD 2009).

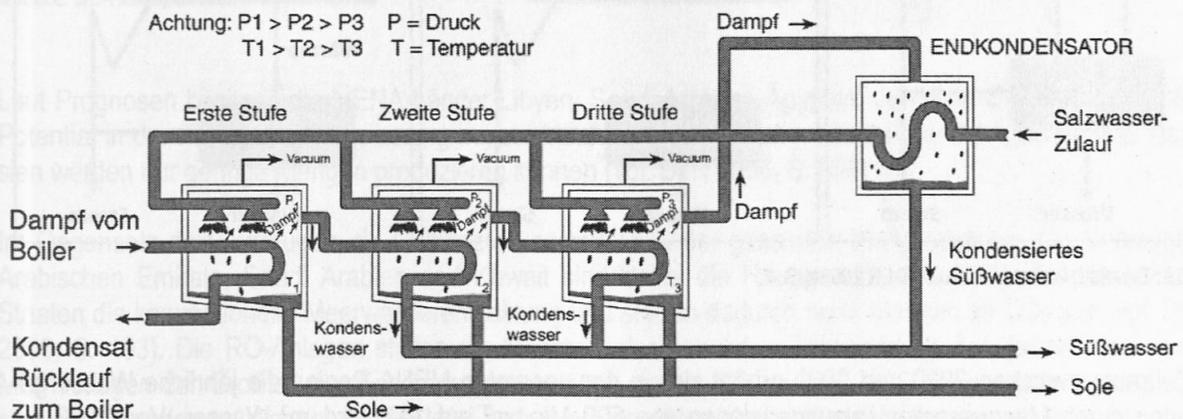
ABB. 25: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER UMKEHROSMOSE-ANLAGE



QUELLE: ODENWALD 2009.

Die zweite Technologie ist die Multiple Effect Distillation (MED) (vgl. MÜLLER-HOLST 2009, S. 10). Die MED-Anlage ähnelt in ihrer Funktionsweise der MSF-Anlage (vgl. Abb. 26). Die MED-Anlage besteht ebenfalls aus mehreren Kammern, wobei das Wasser in jeder folgenden Kammer einem niedrigeren Druck ausgesetzt ist (vgl. MÜLLER-HOLST 2009, S. 10). Durch das Rohr in der ersten Kammer wird erhitztes Wasser geleitet. Dieses wird mit Meerwasser besprüht. Der Wasserdampf wird durch ein Rohr zur nächsten Kammer geleitet und erneut mit Meerwasser besprüht. Der Dampf in der Leitung kondensiert und wird abgeführt. Anschließend wird der neu entstandene Dampf (außerhalb des Rohrs) zur nächsten Kammer geleitet. Durch den geringeren Druck wird auch bei niedrigen Temperaturen keine zusätzliche Energie zur Erhitzung benötigt. Dieser Vorgang wird bis zu 16 Mal wiederholt, bis der Dampf schließlich im Endkondensator durch kühles Meerwasser (das Wasser, das in das System eingespeist wird) kondensiert (vgl. MÜLLER-HOLST 2009, S. 11).

ABB. 26: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER MULTI EFFECT DISTILLATION ANLAGE



QUELLE: MÜLLER-HOLST 2009, S. 10.

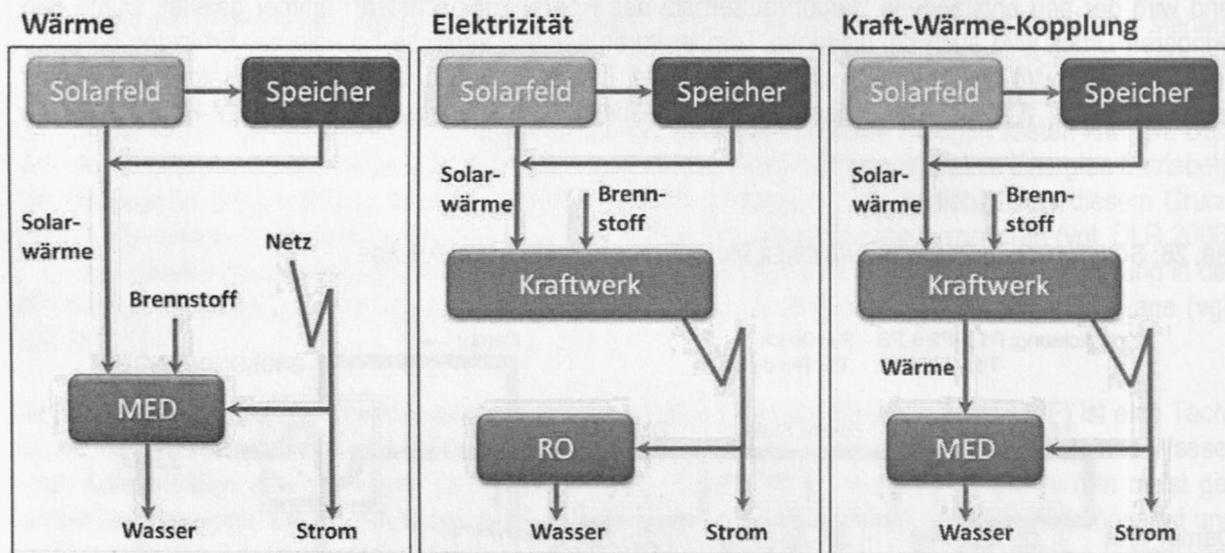
Diese Anlagen haben einen höheren Wirkungsgrad als die MSF-Anlagen und werden vermehrt zum Zwecke der Meerwasserentsalzung verwendet. Sie beanspruchen durchschnittlich nur 5 % der für den Betrieb von MSF-Anlagen benötigten Energie. Die erforderliche Energie kann bei den oben genannten Anlagentypen (MED und RO) aus regenerativen Energiequellen gewonnen werden. Aus diesem Grund werden eher kleinere dezentrale Anlagen gebaut, da hierdurch die Versorgungssicherheit der Meerwasserentsalzungsanlagen gewährleistet wird. Abb. 27 veranschaulicht die Kombination solarthermischer Kraftwerke mit Anlagen zur Frischwassergewinnung. (vgl. DLR 2006, S. 3). Die Solarthermie wird sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Wärmeerzeugung verwendet. Mit dem erzeugten Strom können Umkehrosmose-Anlagen betrieben werden. Die erzeugte Wärme kann direkt in MED-Anlagen eingespeist werden oder man nutzt eine Kombination aus der Abwärme und dem in einem Kraftwerk erzeugten Solarstrom. Dadurch kann eine nachhaltige Wassergewinnung gewährleistet werden, da weniger fossile Energieträger für den Betrieb verwendet werden (vgl. DLR 2006a, S. 4).

5.4.2 Potenziale

Aufgrund der klimatischen Verhältnisse und der ineffizienten Wassernutzung herrscht in den MENA-Ländern nicht nur Süßwasserknappheit, sondern auch das Problem der Förderung des Grundwassers.

Studien wie die „Concentrating Solar Power for Seawater Desalination“ zeigen auf, dass die Lösung des Problems nicht allein durch den Einsatz von Meerwasserentsalzungsanlagen erreicht werden kann. Im Zeitraum bis zum Jahre 2020 reichen die installierten Anlagen für die Deckung des gesamten Bedarfs, obwohl der Ausbau schnell voranschreitet, nicht aus (vgl. DLR 2006, S. 100). Die Mittelmeerstaaten, welche die RO-Technologie bevorzugen, werden bis zum Jahre 2015 die Tagesproduktion von 3,5 Mio. m³ auf 12 Mio. m³ Frischwasser erweitern. Die Golf-Staaten, die wiederum die MED-Technologie vorziehen, werden im gleichen Zeitraum die Tagesproduktion von 15 Mio. m³ auf 27 Mio. m³ Wasser steigern (vgl. DLR 2006, S. 101). Erst ab dem Jahre 2020 werden die Kapazitäten durch den Ausbau der Meerwasserentsalzungsanlagen vergrößert (vgl. DLR 2006, S. 104).

ABB. 27: KOMBINATION SOLARTHERMISCHER KRAFTWERKE MIT MEERWASSERENTSALZUNGSANLAGEN



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH DLR 2006b, S. 4.

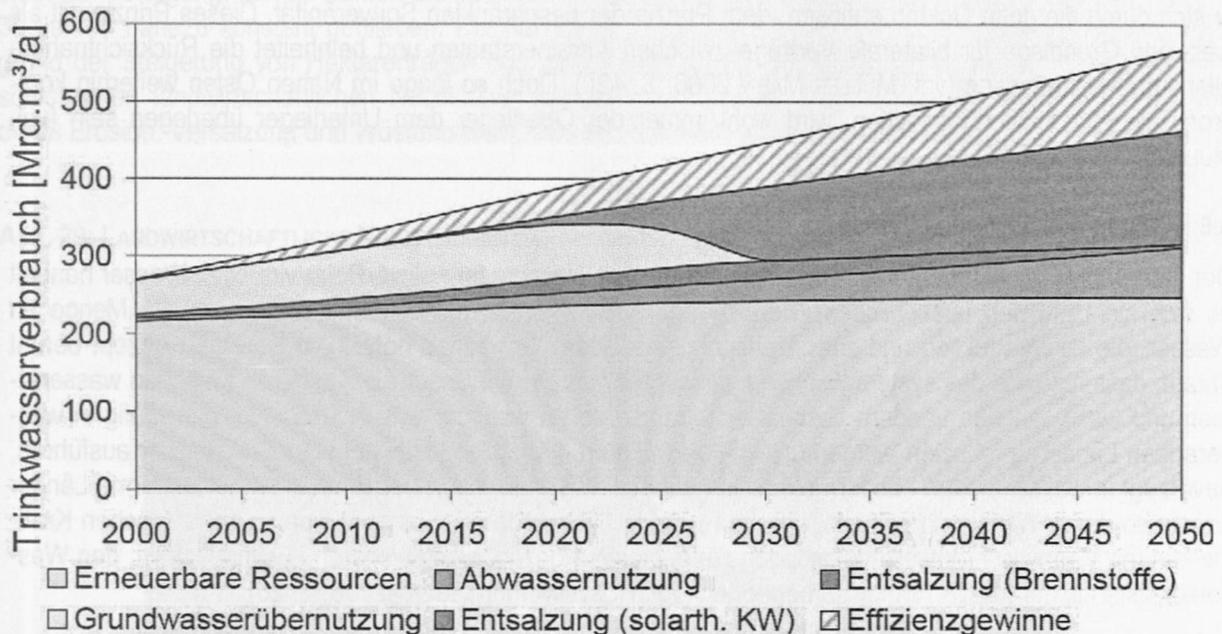
Im Zeitraum zwischen 2020 und 2029 erhöht sich in der gesamten MENA-Region die jährliche Wassergewinnung durch Meerwasserentsalzungsanlagen von 500 Mio. m³ auf 10,4 Mrd. m³ Wasser. Von 2030 bis 2039 können 95,5 Mrd. m³ Frischwasser produziert werden. In der nächsten Dekade kann eine Wassermenge von 120,9 Mrd. m³ erreicht werden. Ab dem Jahre 2050 ist eine Frischwassererzeugung von 145,8 Mrd. m³ möglich (vgl. DLR 2006, S. 106).

Erst durch den Bau einer ausreichenden Anzahl von Meerwasserentsalzungsanlagen und durch bereitgestellte Finanzmittel kann so eine erhebliche Wassermenge produziert werden (vgl. DLR 2006, S. 104). Bis zu diesem Zeitpunkt müssen verschiedene Optionen, wie bspw. die konventionelle Meerwasserentsalzung (Betrieb mit fossilen Energieträgern), die Nutzung von Grundwasserreserven und aufbereitetes bzw. geklärtes Abwasser, genutzt werden. Die Erschließung von natürlichen Wasservorkommen ist unumgänglich, da ohne diese eine ausreichende Versorgung nicht möglich ist (vgl. DLR 2006, S. 106).

Die intensive Erzeugung von Frischwasser, die ab dem Jahre 2020 eintritt, darf aber nicht als alleinige Lösung angesehen werden. Effizienzsteigerungen in Technologie und Wassernutzung müssen angestrebt werden (vgl. DLR 2006, S. 104).

Abb. 28 zeigt einerseits auf, dass durch Effizienzsteigerungen immense Wassermengen eingespart werden können. Andererseits veranschaulicht sie den Fortschritt der Meerwasserentsalzung durch solarthermische Kraftwerke und die Wiederaufbereitung des Abwassers sowie den Rückgang der konventionellen Meerwasserentsalzung bis zum Jahre 2050 und die Übernutzung des Grundwassers bis zum Jahre 2030 (vgl. DLR 2006, S. 104).

ABB. 28: WASSERBEDARF UND FRISCHWASSERERZEUGUNG IN DER MENA-REGION



QUELLE: DLR 2006, S. 105.

Laut Prognosen besitzen die MENA-Länder Libyen, Saudi-Arabien, Ägypten, Jemen und Syrien das größte Potential in der Frischwassergewinnung mittels Meerwasserentsalzung. Länder wie der Libanon und Tunesien werden nur geringe Mengen produzieren können (vgl. DLR 2006, S. 106).

Im Gegensatz dazu erzeugen die Golfstaaten zurzeit 45 % der gesamten Weltproduktion. Die Vereinigten Arabischen Emirate, Saudi Arabien und Kuwait sind dabei die Hauptproduzenten. Jedoch nutzen diese Staaten die konventionelle Meerwasserentsalzung und stoßen dadurch hohe Mengen an CO₂ aus (vgl. DLR 2006, S. 193). Die RO-Anlagen stellen die Mehrzahl der genutzten Technologien dar, jedoch wird durch MSF-Anlagen der Großteil des Frischwassers erzeugt, da die Anlagen mit MSF-Technologie meist größer sind als die anderen Anlagen. Alle MENA-Länder verfügen über Meerwasserentsalzungsanlagen und nutzen alle bisher besprochenen, konventionellen Technologien (vgl. DLR 2006, S. 196). Durch stetige Effizienz-

steigerungen kann ein Strom- und Wasserpreis von weniger als 4 ct/ kWh und weniger als 40 ct/ m³ Wasser erreicht werden (vgl. DLR 2006, S. 2).

5.5 Völkerrechtliche Grundlagen der Wasserverteilung

Das Völkerrecht kennt vier verschiedene Doktrinen zur Ordnung grenzüberschreitender Ressourcen zwischen Anrainerstaaten. Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts erforderte das knapper werdende Gut Wasser bilaterale Verträge zur Verteilung. Doch die einzelnen Länder vertreten aufgrund ihrer spezifischen Lage am Flusslauf unterschiedliche Doktrinen und Interessen, wodurch der Abschluss von Verträgen erschwert wird (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 42).

Die erste Doktrin wurde vom Osmanischen Reich, das bis 1919 bestand, vertreten. Diese beinhaltet das Prinzip der rechtlichen Gemeinschaft. Das heißt, dass die Wasserressourcen als Gemeineigentum angesehen wurden. Heutzutage stehen die klassischen Oberlieger eines Flusslaufes, wie die Türkei und Israel, für das Prinzip der absoluten Souveränität. Sie sind der Überzeugung, dass man auf seinem eigenen Staatsgebiet das alleinige Nutzungsrecht von Gewässern hat. Es ist nachvollziehbar, dass die Unterlieger wie Ägypten, Syrien, Irak, Jordanien und die Palästinenser für das Prinzip der absoluten Integrität eintreten. Dies beinhaltet das Recht auf uneingeschränkten Zugang zum Flusswasser. Diese beiden Prinzipien stehen jedoch im Gegensatz zueinander, so dass die Bereitschaft zum Kompromiss wesentlich ist. Der Konflikt könnte sich durch die dritte Doktrin auflösen, dem Prinzip der beschränkten Souveränität. Dieses Prinzip gilt als weltweite Grundlage für bilaterale Verträge zwischen Anrainerstaaten und beinhaltet die Rücksichtnahme aller Anrainerinteressen (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 42f.). Doch so lange im Nahen Osten weiterhin kompromisslose Ansichten herrschen, wird wohl immer der Oberlieger dem Unterlieger überlegen sein (vgl. MÜLLER-MAHN 2006, S. 42).

5.6 Konzept des virtuellen Wassers

Der Geograph J. A. Allen hat das Konzept des virtuellen Wassers formuliert. Beim virtuellen Wasser handelt es sich nicht um den tatsächlichen Wassergehalt eines Produktes, sondern um die gesamte Menge an Wasser, die zur Produktion und zum Transport eines jeden Produktes notwendig ist. Das Konzept beruht darauf, dass mit Hilfe des systematischen Handels mit virtuellem Wasser ein Ausgleich zwischen wasserarmen und wasserreichen Ländern geschaffen wird. So sollen wasserintensive Produkte, die häufig in wasserarmen Ländern produziert werden und mit dem Export dieser Produkte viel virtuelles Wasser ausführen, bevorzugt in wasserreichen Ländern produziert werden. Mit dem Import der Produkte in wasserarme Länder könnte so deren Wassermangel ausgeglichen werden. Neben der Kombination von solarthermischen Kraftwerken mit Meerwasserentsalzungsanlagen bietet dieses Konzept einen weiteren Lösungsansatz, den Wasserkonflikten in der MENA Region zu begegnen (vgl. HORLEMANN/ NEUBERT 2006, S. 26).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein effizientes Wassermanagement sowohl in der Industrie, in der Landwirtschaft als auch im privaten Bereich aufzubauen. Dies spielt jedoch nicht nur in den wasserarmen Ländern wie der MENA-Region, sondern auch in den wasserbegünstigten Ländern eine entscheidende Rolle. So könnten mit Hilfe einer effektiven Wassernutzung die landwirtschaftlichen Erträge weltweit um ein Fünftel gesteigert werden. Methoden wie bspw. die Verminderung der Verdunstung durch verbesserte Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Mulchen, die Tröpfchenbewässerung sowie das „Ernten von Regenwasser“ durch das Auffangen und Speichern von Regenwasser für die Trockenzeit, sind dabei zu nennen (vgl. NPO 2009). Im Hinblick auf die Industrie stellen die Wiederverwendung und das Recycling von bereits gebrauchtem Wasser ebenfalls eine wirksame Strategie des Wassermanagements dar. So kann bei Produktionsschritten, die kein Frischwasser benötigen, das Wasser eines vorangegangenen Prozesses als Brauchwasser dienen und damit der Wasserverbrauch stark gesenkt werden. (vgl. SIEMENS 2009, S. 11). Darüber hinaus muss im privaten Wasserverbrauch ein größeres Bewusstsein und ein Umdenken hinsichtlich eines nachhaltigen Umgangs mit der Ressource Wasser erzeugt werden.

5.7 Vermeidung von Konflikten

Die MENA-Region besitzt aufgrund ihrer klimatischen Verhältnisse hinsichtlich der Verfügbarkeit der Ressource Wasser eine schlechte Ausgangslage. Natürliche Wasserknappheit und Konflikte um Wasserverteilung zählen zu den größten Problemen.

Der israelische Journalist und Autor Avraham Tamir brachte bereits 1988 die Thematik von Konflikten und Kriegen um das kostbare Gut Wasser auf den Punkt und erklärte:

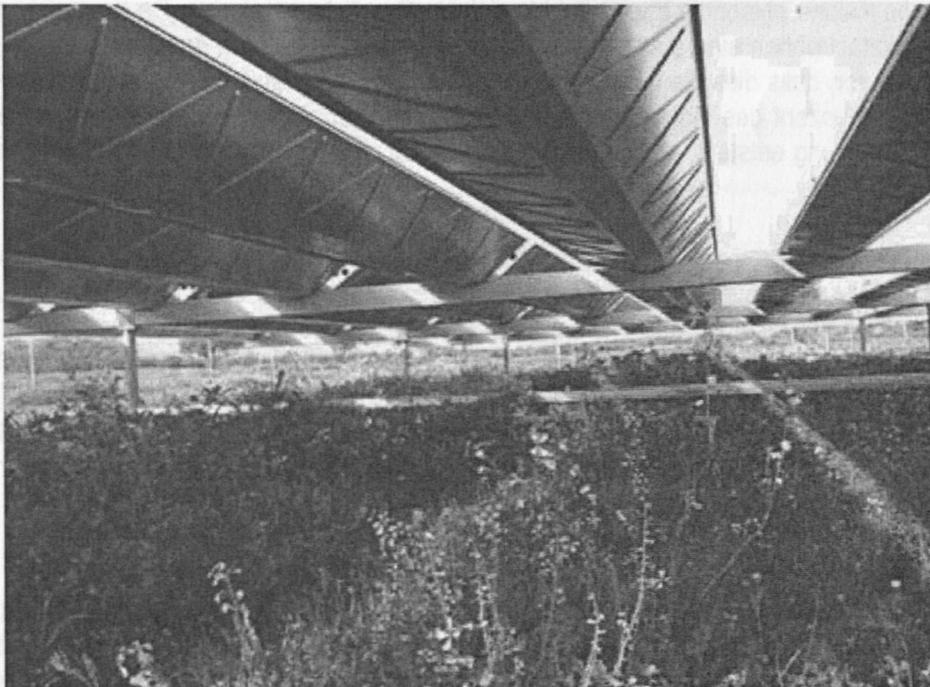
„Why go to war over water? For the price of a weeks fighting, you could build five desalination plants. No loss of life, no internal pressure, and a reliable supply you don't have to defend in hostile territory.“ (FRÖHLICH 2006)

Dieses Zitat zeigt deutlich die Notwendigkeit zwischenstaatlicher Kooperationen auf. Nur dadurch können die wachsenden Disparitäten um das Vorhandensein und um die Verteilung der Ressource Wasser gelöst werden. Das Desertec-Projekt eröffnet in diesem Zusammenhang eine Vielzahl von Lösungsansätzen.

5.8 Steigerung der Nahrungsmittelproduktion

Nach Schätzungen stehen auf der Erde etwa 4 Mrd. ha an potenziell nutzbaren, landwirtschaftlichen Flächen zur Verfügung. Davon werden bis dato jedoch nur 1,5 Mrd. ha genutzt. Diese Fläche ist in den letzten 30 Jahren nahezu konstant geblieben. Die Nahrungsmittelproduktion erhöhte sich fast ausschließlich aufgrund der Steigerung von Hektarerträgen und nicht durch die Erschließung neuer Flächen. Die bisher erschlossenen landwirtschaftlichen Nutzflächen werden jedoch nicht permanent genutzt und gehen damit durch Erosion, Versalzung und Wüstenbildung verloren (vgl. MEADOWS et al. 2006, S. 60).

ABB. 29: LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZFLÄCHEN UNTER FRESNEL-ANLAGEN



QUELLE: NOVATEC BIOSOL AG.

Desertec könnte durch die Meerwasserentsalzung das benötigte Wasser liefern, welches zur Bewässerung von Ackerflächen in trockenen Gebieten der Erde benötigt wird. Somit können auch neue Flächen landwirtschaftlich nutzbar gemacht werden. Das Projekt sieht des Weiteren vor, eine sehr große Fläche in der Wüs-

te mit solarthermischen Kraftwerken zu bebauen. Dadurch entstehen, wie in Abb. 29 zu sehen ist, mitten in der Wüste neue Schattenflächen, die die Verdunstung von Wasser verringern und somit bewässert werden könnten. Es ist möglich, in diesen Bereichen wassersparende und trockenresistente Pflanzen anzubauen.

Die Bevölkerung wächst exponentiell, wohingegen die kultivierten Flächen in etwa konstant geblieben sind. Das bedeutet, dass die Anbaufläche von 0,6 ha pro Kopf im Jahre 1950 auf 0,25 ha im Jahre 2000 zurückging (vgl. MEADOWS et al. 2006, S. 62). Des Weiteren geht durch die Bebauung und Versiegelung von kultivierbaren Flächen in den gemäßigten Breiten ein erhebliches Potential in der Nahrungsmittelproduktion verloren. Der hohe Flächenverbrauch schränkt die Möglichkeiten der Landwirtschaft ein. Dies gilt auch für Standorte, an denen Strom, Wärme und Kraftstoffe aus regenerativen Energieträgern hergestellt werden. Insbesondere durch den Bau von Photovoltaikanlagen geht ein enormes Flächenpotential verloren. Auch die Errichtung von großen Biogasanlagen, die eine Leistung von 2 MW übersteigen, verstärkt den Verbrauch von landwirtschaftlich nutzbaren Flächen (vgl. DAS INFORMATIONSSYSTEM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT 2009). Desertec kann diesem entgegenwirken, indem die heimische Stromproduktion zu einem gewissen Teil in die Wüste verlagert wird. Die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen stünden den Bauern weiterhin zur Verfügung. Die aus diesen Flächen produzierten Nahrungsmittel könnten wiederum in Länder exportiert werden, in denen Landwirtschaft klimatisch bedingt nur eingeschränkt möglich ist und die Einwohner an Hunger leiden. Die Landwirtschaft steht diesem Vorhaben der Regenerativen Energien ausgesprochen offen gegenüber. Es bedarf lediglich einer frühzeitigen Einbindung der Landwirtschaft bei der Flächennutzungsplanung (vgl. DAS INFORMATIONSSYSTEM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT 2009).

Als einen weiteren Grund für das Fortbestehen von Hunger muss die Tatsache erwähnt werden, dass eine enorm große Getreidemenge an Tiere zur Fleischproduktion verfüttert wird. Von 1970 bis zum jetzigen Zeitpunkt hat sich die Fleischproduktion verdoppelt (vgl. HERREN 2009, S. 11). Die dafür aufgebrachte Menge könnte durchaus verwendet werden, um hungernde Menschen zu ernähren. So ist es möglich, durch eine rein pflanzliche Ernährung siebenmal so viele Menschen zu ernähren, als mit einer rein tierischen Ernährung. Eine tierische Kalorie entspricht etwa zwei bis sieben pflanzlichen Kalorien. Da Ereignisse wie Kriege, Dürren oder Naturkatastrophen eine starke Medienpräsenz haben, herrscht in der breiten Masse der Bevölkerung die Meinung vor, dass dies die Ursachen für den Hunger sind. Tatsächlich machen diese Ereignisse jedoch nur ca. zehn Prozent des Hungerphänomens aus. Der chronische Hunger, der in erster Linie aus einer ungleichen Verteilung entsteht, ist hingegen nach wie vor das Hauptproblem und könnte mit Desertec bekämpft werden.

Einen weiteren Ansatz zur Ertragssteigerung eines Bodens stellt das Konzept der Firma Geohumus dar. Das körnige Produkt, das mit den anderen Bodenbestandteilen vermischt wird, besitzt die 30-fache Quellfähigkeit seines Volumens und ermöglicht es, das Wasser im Boden zu speichern und pflanzenverfügbar zu machen (vgl. BENTLAGE 2009). Der Hersteller wirbt damit, dass dieses Granulat harmlos und unbedenklich sowie nach 3-5 Jahren biologisch abgebaut ist. Wenn dieser Superabsorber in dem Desertec-Projekt Verwendung finden würde, z. B. unter Fresnel-Anlagen, so könnten auch die sandigen Böden der MENA-Länder kultiviert werden. Somit würden die schattigen Bereiche unter diesen Anlagen weitere Anbauflächen darstellen, die zur Nahrungsmittelproduktion verwendet werden können.

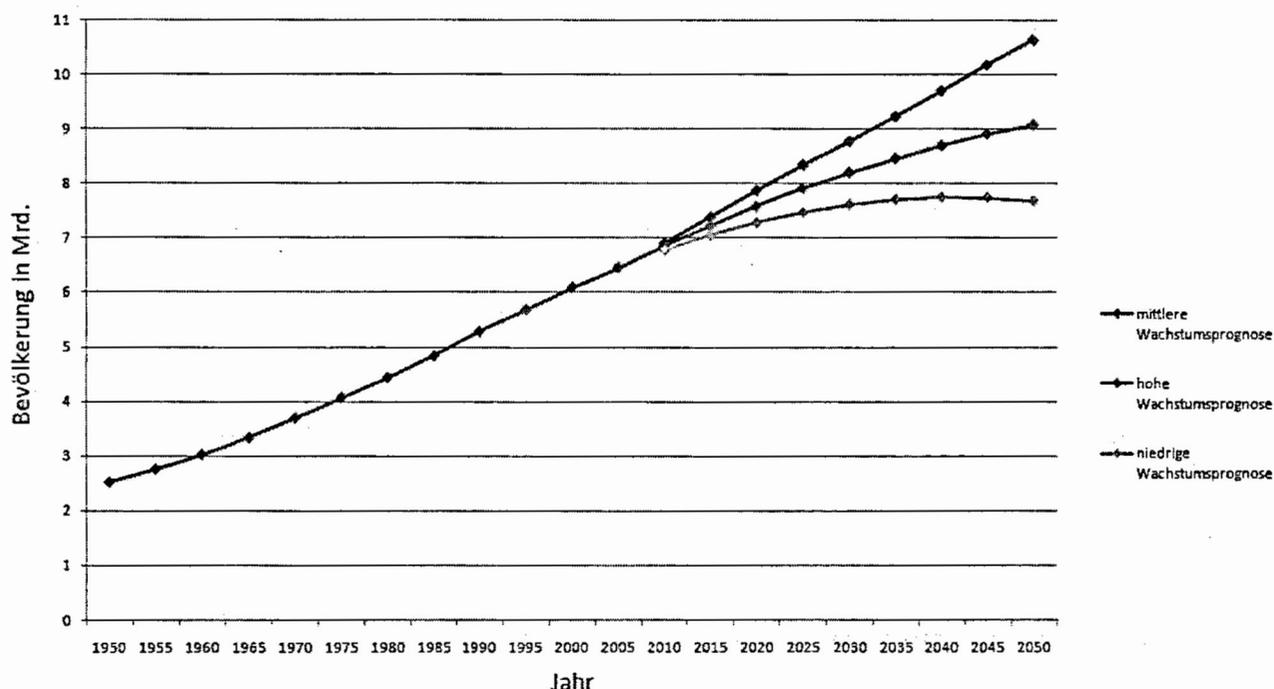
Desertec könnte durch die neu entstehenden Anbauflächen den Problemen Raubbau oder der Zerstörung von empfindlichen Ökosystemen entgegenwirken. Rund 10 Mio. ha Land gehen jährlich durch Erosion verloren und weitere 10 Mio. ha werden durch Versalzung zerstört, was meist aus einer unsachgemäßen Bewässerungsweise resultiert. Durch die oben genannten Meerwasserentsalzungsanlagen des Projektes könnte eine ausreichende und effiziente Wasserversorgung garantiert werden. Jährlich gehen ca. 1,3 % an landwirtschaftlicher Anbaufläche verloren. Zusätzlich erwartet man, dass die Prozesse der Desertifikation, Versteppung und Versiegelung die Verknappung von Flächen für die Nahrungsmittelproduktion vorantreiben werden. Man geht davon aus, dass zuerst die qualitativ hochwertigeren Böden für landwirtschaftliche Nutzung verwendet werden und dann nur noch Flächen mit einer geringeren Qualität. Anstatt auf landwirtschaftlichen Flächen Nahrungsmittel anzubauen, werden vielfach Energiepflanzen wie bspw. Raps angebaut; das verstärkt zusätzlich die Flächennutzungskonkurrenz für den Anbau von Nahrungsmitteln. Dadurch entsteht

ein Interessenkonflikt zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und dem Anbau von Futterpflanzen. Auch hier würden die neu entstehenden Flächen des Desertec-Projektes einen Lösungsansatz darstellen.

Die Landwirtschaft hat vor allem wegen der Bewässerung enorme Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel. Man rechnet damit, dass für die Produktion von einem Kilogramm Getreide 1.000 l Wasser benötigt werden. So hat sich die landwirtschaftlich bewässerte Fläche von 1950 bis 1990 verdreifacht, was sich in einem Anteil von 70 % am Süßwasserverbrauch widerspiegelt (vgl. HERREN 2009, S. 12). Dieser Effekt hat eine rapide Absenkung des Grundwasserspiegels zur Folge, hauptsächlich in den Wüstengebieten. Hier stellt das Desertec-Projekt eine Lösung zur Gewinnung von Trinkwasser dar. Mit Hilfe des billig produzierten Stromes ist es möglich, kostengünstig Meerwasser zu entsalzen und für die Landwirtschaft bereitzustellen.

Klimawandel, Bevölkerungswachstum weit über die Grenzen der derzeitigen Tragfähigkeit der Erde hinaus, das weltweite Streben nach Wohlstandswachstum und der damit verbundene Anstieg des Energie- und Wasserbedarfes sind die Kernprobleme, mit denen sich die Menschheit konfrontiert sieht. Vor allem das in Abb. 30 dargestellte weltweite Bevölkerungswachstum führt besonders in Entwicklungsländern zu großen Problemen. Die Wachstumsprognosen zeigen auf, dass in den kommenden Jahren u. a. der Nahrungsmittelbedarf ebenfalls rasant zunehmen wird. Dieses Problem erfordert Maßnahmen, die zur Verbesserung der Nahrungsmittelsituation beitragen.

ABB. 30: WACHSTUMSPROGNOSE DER BEVÖLKERUNG BIS 2050



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH BPB 2009.

In den betroffenen Gebieten entstehen Hungersnöte, die nur durch Unterstützung der Industrienationen und Projekte wie Desertec eingedämmt werden können. Die im Jahre 2000 weltweit zur Verfügung stehenden Getreideernten würden zur Versorgung von 8 Mrd. Menschen am Existenzminimum ausreichen. Das Problem ist die ungleiche Verteilung. Bei gleichmäßiger Verteilung, ohne Einbußen durch Schädlinge sowie durch Verzehr, bevor das Getreide verdirbt, könnten alle Menschen versorgt werden (vgl. MEADOWS et al. 2006, S. 57f.). Doch mit steigender Weltbevölkerung nimmt auch der Bedarf an Nahrungsmitteln zu. Nach Schätzungen der Weltbank wird er sich bereits bis 2030 verdoppeln und auch die Preise für Nahrungsmittel werden langfristig stark ansteigen – auch wenn sie sich derzeit wieder erholen. Zusammen mit den katastrophalen Auswirkungen des Klimawandels treffen auch diese Entwicklungen die ärmsten Bevölkerungsteile am härtesten. Entwicklungsländer sollten nach Rat von Experten mehr in die Landwirtschaft investieren, vor

allem in kleinere Betriebe, von denen bereits heute etwa 1,5 Milliarden Menschen zehren. Des Weiteren könnten anpassungsfähige Getreidesorten dazu beitragen, den Einsatz von Düngemitteln zu verringern. Der Aufbau von technischer und sozialer Infrastruktur ist der Schlüssel dafür, *„damit die Weltbevölkerung bis 2050 nicht auf eine humanitäre Katastrophe zusteuert“* (KRONZ 2009, S. 6). Da die Weltbevölkerung stärker zunimmt als die Getreideproduktion, muss entweder mehr Getreide produziert oder das vorhandene Getreide gleichmäßig verteilt werden.

Afrika ist ein vom primären Sektor geprägter Kontinent. Im Widerspruch dazu steht die Tatsache, dass sich mehr als die Hälfte der afrikanischen Länder nicht selbst ernähren können. Etwa 54 % der Länder importieren heute mehr landwirtschaftliche Produkte als sie exportieren. Etwa ein Fünftel des Bedarfes, allein an den Grundnahrungsmitteln Weizen, Mais und anderem Getreide, deckten die afrikanischen Staaten mit Importen (vgl. SCHLIEPHAKE 2001). Bezogen auf die essentiellsten Wirtschaftsgüter und Grundnahrungsmittel, ist eine zunehmende Abhängigkeit des afrikanischen Kontinents von anderen Nationen zu beobachten. Die Folge ist nicht nur eine ernährungspolitische sondern auch eine konzeptionelle Gebundenheit an die Industriestaaten. Bereits in der nachkolonialen Zeit strebten die Maghreb-Staaten Marokko, Libyen, Algerien, Tunesien und Mauretanien nach einem Maßnahmenkonzept einer reformierten landwirtschaftlichen Entwicklung. Enthalten war neben der Einführung von besseren Vermarktungsstrukturen und Umstellung der Produktion auf Grundnahrungsmittel auch das Ziel der Vergrößerung und Intensivierung der Anbauflächen durch Bewässerung. In Marokko entstanden zwischen 1960 und 1985 ca. 30 Staudämme, die eine Million Hektar Ackerland bewässern sollten. Auch Mauretanien intensivierte seine Bemühungen im Reisanbau. Die libysche Regierung hingegen startete 1983 das Projekt des „Großen Künstlichen Flusses“, der fossiles Grundwasser aus der Sahara in die Ballungsgebiete liefert und bis zu seiner Fertigstellung 2010 etwa 27 Mrd. US-\$ kosten wird (vgl. SCHLIEPHAKE 2001).

Trotz dieser kostenintensiven Maßnahmen stellte sich der gewünschte Erfolg nicht ein. Die Produktion von Nahrungsmitteln zur Ernährung der wachsenden Bevölkerung reichte bei Weitem nicht aus. An dieser Stelle setzt das Desertec-Projekt an. Durch Bewässerung mit Hilfe von Meerwasserentsalzungsanlagen und solarthermischen Kraftwerken besteht die Möglichkeit, zumindest den Bedarf an Grundnahrungsmitteln in der Maghreb-Region zu decken. Eine gesunde agrarische Entwicklung erfordert des Weiteren einen infrastrukturellen Ausbau, wie bspw. die Einrichtung und den Ausbau lokaler und regionaler Märkte. In Anbetracht der steigenden Nahrungsmittelpreise sollte es nicht das Ziel der Nahrungsmittelproduktion in der Maghreb-Region sein, lediglich den nationalen Bedarf zu decken. Vielmehr gilt es, mit Hilfe von Überschüsse den Export anzukurbeln. Dadurch würden sich den betreffenden Staaten lukrative Einnahmequellen erschließen und gleichzeitig die globale Nahrungsmittelkrise entschärfen. Das Desertec-Projekt wäre somit der Anstoß zu einer grundlegenden Wirtschaftsreform in den nordafrikanischen Staaten und damit einhergehend auch der Motor eines agrarbasierten Wachstums. Grundlegende Voraussetzung ist jedoch eine *„...klare[n] und sozial gerechte[n] Bodenrechtsregelung. [...] Überdies ist die Bereitstellung landwirtschaftlicher Beratungs- und Finanzdienstleistungen notwendig, um die Voraussetzungen für Produktivitätssteigerung und Kapitalakkumulation zu schaffen“* (OTZEN 2001).

Die heutige Weltbevölkerung von etwa 6,7 Mrd. Menschen wäre mit der global produzierten Getreidemenge leicht zu ernähren, jedoch sterben derzeit weltweit 9 Mio. Menschen pro Jahr (!) an den Folgen des Hungers. Das sind ca. 25.000 Hungeropfer pro Tag. Die landwirtschaftliche Produktion muss auch wegen des prognostizierten Bevölkerungswachstums deutlich gesteigert werden. Aufgrund einer ungleichen Verteilung von Nahrungsmitteln, der Vernichtung von Ernten durch Schädlinge, der Futtermittelproduktion und der Verderblichkeit von Getreide, gibt es auf der Erde Gebiete mit Nahrungsmittelknappheit. Doch dies ist beim aktuellen Weltbevölkerungsstand noch nicht auf die physischen Grenzen der Erde zurückzuführen, sondern darauf, dass vielerorts ineffiziente Verfahren im Nahrungsmittelanbau und der Ernte verwendet werden (vgl. MEADOWS et al. 2006).

Literatur

- ADOLPHS J., STRATE G., FÜLLER A. (o. J.) : Aktueller Begriff. Desertec- Solarstrom aus der Wüste. <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/desertec.pdf>, (19.12.2009).
- BENTLAGE W. (2009): Wasser ist der wichtigste Rohstoff der Menschheit. <http://www.geohumus.com/>, (15.12.2009).
- BRENDEL T. (2003): Solare Meerwasserentsalzungsanlagen mit mehrstufiger Verdunstung – Betriebsversuche, dynamische Simulation und Optimierung. http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?idn=970761201&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=970761201.pdf, (22.09.2009).
- BROT FÜR DIE WELT (2009): Wasser im Nahen Osten. http://www.menschen-recht-wasser.de/wasserkrise/21_210_DEU_HTML.php, (20.11.2009).
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (BPB) [Hrsg.] (2009): <http://www1.bpb.de/>, (15.12.2009).
- DAS INFORMATIONSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT [Hrsg.] (2009): Für Regenerative Energien mit Vernunft und Augenmaß. http://www.proplanta.de/AgrarNachrichten/agrar_news_themen.php?SITEID=1140008702&Fu1=1259305106&Fu1Ba=1140008702&LKE2A=NO, (15.12.2009).
- DEHMER D. (2009): Ein Fluss für zehn Länder. <http://www.tagesspiegel.de/zeitung/Fragen-des-Tages;art693,2859169>, (03.12.2009).
- DESERTEC FOUNDATION [Hrsg.] (2009): Red Paper – Das Desertec Konzept im Überblick. http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/DESERTEC_RedPaper_2nd_de.pdf, (13.01.2010).
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (2006a): Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. <http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/aqua-csp/AQUA-CSP-Full-Report-Final.pdf>, (11.10.2009).
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (2006b): Solarthermische Kraftwerke für die Meerwasserentsalzung. http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/aqua-csp/AQUA-CSP-Zusammenfassung_Deutsch-01.pdf, (11.10.2009).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2003): Review of World Water Resources by Country. <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4473E/Y4473E00.HTM>, (16.11.2009).
- FRÖHLICH C. (2006): Zur Rolle der Ressource Wasser in Konflikten. <http://www.bpb.de/publikationen/AQYK1U.html>, (02.12.2009).
- HERREN H.-R. (2009): Die Ernährungskrise – Ursachen und Empfehlungen. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, H. 25, S. 6-7.
- HORLEMANN L., NEUBERT S. (2006): Virtueller Wasserhandel zur Überwindung der Wasserkrise. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, H. 25, S. 26-31.
- KNIES D. (2009): Red Paper. Das Desertec Projekt im Überblick. http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/media/DESERTEC_RedPaper_2nd_de.pdf, (19.12.2009).
- KREUTZMANN H. (2004): Staudammprojekte in der Entwicklungspraxis: Kontroversen und Konsensfindung. In: Geographische Rundschau, H. 56, 4-9.

- KRONZ M. (2009): Brot für neun Milliarden. <http://www.krium.de/upload/Newsletter/Februar09.pdf>, (15.12.2009).
- KÜRSCHNER-PELKMANN F. (2002): Wasser – Gottes Gabe, keine Ware. Wasserwirtschaft in Zeiten der Globalisierung. http://www.ekir.de/ekir/dokumente/Wasser-Gottes_Gabe_wmh_Nr47.pdf, (03.12.2009).
- KÜRSCHNER-PELKMANN F. (2003): Wasser im Nahen Osten. http://www.menschen-recht-wasser.de/downloads/2_5_2_wasser-nahost.pdf, (20.11.2009).
- LOSSE B., REES J., KAMP M., SPROTHEN V., WETTACH S. (2009): Nahrungsmittelkrise – Der globale Albtraum. <http://www.wiwo.de/politik-weltwirtschaft/nahrungsmittelkrise-der-globale-albtraum-274277/>, (15.12.2009).
- MEADOWS D., RANDERS J., MEADOWS D. (2006): Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel. 3. Aufl., Vermont.
- MILLER J.E. (2003): Review of water Resources and Desalination Technologies. http://www.sandia.gov/water/docs/MillerSAND2003_0800.pdf, (16.11.2009).
- MÜLLER-HOLST H. (2002): Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck – Verfahrensoptimierung und Anwendungen. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=966328248&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=966328248.pdf, (01.12.09).
- MÜLLER-MAHN D. (2006): Wasserkonflikte im Nahen Osten – eine Machtfrage. In: Geographische Rundschau, H. 58, S. 40-48.
- MUTSCHMANN J., STIMMELMAYR F. (2007): Taschenbuch der Wasserversorgung, 14. vollst. überarb. Aufl., Wiesbaden.
- ODENWALD M. (2009): http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/neue_technologien/tid-14654/wasserversorgung-salzabtrennung-unter-druck_aid_410598.html, (02.12.2009).
- NIEMANN S., GRAEFE O. (2006): Wasserversorgung in Afrika. In: Geographische Rundschau, H. 58, S. 30-38.
- NOVATEC BIOSOL AG (2009): <http://www.novatec-biosol.com/>, (15.12.2009).
- NPO (2009): <http://www.g-o.de/wissen-aktuell-10636-2009-10-12.html>, (14.01.2010).
- OTZEN U. (2001): Afrika braucht nachholende Agrarentwicklung. Bäuerliche Landwirtschaft kann armutsmindernde wirtschaftliche Dynamik schaffen. <http://www.inwent.org/E+Z/zeitschr/ez901-5.htm>, (16.12.2009).
- SCHLIEPHAKE K. (2006): Von der Kornkammer zum Industrieraum. http://www1.bpb.de/themen/O1J886,2,0,Von_der_Kornkammer_zum_Industrieraum.html-art2, (17.12.2009).
- SPIEGEL-ONLINE (2009): Europa boykottiert türkischen Großstaudamm. <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,634825,00.html>, (08.12.2009).
- STRUCK E. (2003): Die Türkei und das Wasser. In: Geographische Rundschau, H. 55, S. 18-25.
- TRIEB F. (2007): Solarthermische Kraftwerke für die Meerwasserentsalzung. http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/AQUA-CSP_Zusammenfassung.pdf, (19.12.2009).

UNESCO (2003): Water for People – Water for Life.

http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/table_contents/index.shtml, (23.11.2009).

UNESCO, FOSTER S., LOUCKS D.-P. [Hrsg.] (2006): Non-Renewable Groundwater Resources – A guidebook on socially-sustainable management for water policy makers, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001469/146997E.pdf>, (16.11.2009).

WILHELM F. (1997): Hydrogeographie, 3. verbesserte Aufl., Braunschweig.

WTO (2009): International Trade Statistics.

http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2009_e/its2009_e.pdf, (15.12.2009).

ZINDA MAGAZINE (2009): <http://www.zindamagazine.com/html/archives/2006/08.07.06/pix/Hasankeyf.jpg>, (08.12.2009).

6 Politische Perspektive

Bei der erfolgreichen Etablierung eines groß angelegten Energieprojektes wie dem Desertec-Projekt spielt die Politik eine sehr große Rolle. Zum Einen muss die Politik dafür Sorge tragen, dass der Strom aus Sonnenenergie, welcher im Rahmen des Desertec-Projektes vor allem in den Ländern Nordafrikas und des Nahen Ostens produziert wird, zuverlässig bei den Konsumenten ankommt. Die politisch instabile Lage in vielen der potentiellen Produzentenländer ist hierbei ein mögliches Hindernis. Es ist entscheidend, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten sowie die Anlagen vor terroristischen Anschlägen zu bewahren. Zum Anderen muss von Seiten der Politik darauf geachtet werden, dass Nordafrika im Rahmen des Desertec-Projektes mit Hilfe der ausländischen Investitionen seine Exportabhängigkeit verringern und sich ein eigenständiger Wirtschaftszweig entwickeln kann. Zudem schafft die Politik durch konkrete Minderungsziele beim CO₂-Ausstoß sowie durch den Emissionshandel Anreize für Firmen, sich für die Gewinnung von sauberem Strom einzusetzen und die traditionellen Energiegewinnungsarten dadurch schrittweise zu substituieren.

6.1 Chancen einer Energiewende

6.1.1 Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen

Die Energiewende, weg von den fossilen und nuklearen Energieträgern hin zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft, ist durch das Projekt Desertec näher gerückt. Dabei schaffen die politischen Entscheidungsträger durch die Verteilung von Investitionen und der damit einhergehenden Finanzierung von Innovationen und Technologien die notwendigen Rahmenbedingungen. Um bei dem Großprojekt Desertec die Rollen der Produzentenländer in Nordafrika und den europäischen Abnehmerländern annähernd gleich zu gewichten, werden von allen Seiten klare politische Vorgaben und Rahmenbedingungen gefordert. Multinational agierende Unternehmen, private und öffentliche Financiers sowie staatliche Exportkreditagenturen sind auf klare Linien angewiesen, die eine rentable Energiewirtschaft und Markttransparenz gewährleisten (vgl. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG 2007).

Deutsche Afrikapolitik wird als primär wertorientiert definiert, d. h. die wirtschaftliche und soziale Entwicklung stehen im Mittelpunkt. Träger der Entwicklungspolitik sind neben dem Auswärtigen Amt und dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) unter anderem auch die deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (vgl. BPB 2009a). Zum Einen soll Afrika durch das deutsche Engagement als Partner in der Gestaltung globaler Ordnung wie auch in der Klima- und Umweltpolitik gewonnen werden. Zum Anderen kristallisiert sich die politische Stabilisierung Afrikas heraus. Dies ist nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Energiesicherheit Deutschlands von Interesse, bei der Nordafrika eine tragende Rolle zukommen wird (vgl. BPB 2009a).

Die rot-grüne Koalition unter der Leitung von Ex-Bundeskanzler Gerhard Schröder stellte in ihrer Legislaturperiode mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) die Weichen für eine energiepolitische Wende Deutschlands. Dieser Kurs wird weiterhin verfolgt und Impulse für Innovationen im Bereich Erneuerbare Energien gegeben (vgl. Fücks 2008). In Zusammenarbeit mit der EU-Kommission unterstützt Deutschland das regionale Zentrum für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (RCREEE) in Kairo sowie den Ausbau von Erneuerbaren Energien durch Teilnahme an den MENAREC-Ministerkonferenzen. Auf europäischer Ebene greift in Bezug auf das Desertec-Projekt die Erneuerbare-Energien-Richtlinie mit dem Ziel, den Anteil von Erneuerbaren Energien bis 2020 auf 20 % des gesamten Stromverbrauchs der EU zu erhöhen. Durch Anrechnung von importiertem Solarstrom auf den Verbrauch ist ein wichtiger Anreiz zur Abnahme des Wüstenstroms geschaffen worden (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009). Darüber hinaus wurde die Exportinitiative Erneuerbare Energien eingerichtet, um den Produzentenländern Investitionsinformationen bereitzustellen (vgl. DEUTSCHER BUNDESTAG 2009, S. 3).

6.1.2 Forderungen an die Politik

Das Ziel der Erarbeitung wirksamer politischer Rahmenbedingungen für das Desertec-Projekt ist die Schaffung von Investitionsanreizen für potentielle Betreiber und Investoren sowie die Garantie von Planungssicherheit und Markttransparenz in den Produzentenländern (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009).

Politische Förderinstrumente für die schnelle Umsetzung des Desertec-Projektes sind staatliche Investitionsförderungen oder -programme sowie spezielle Darlehen, die Anreize für Privatinvestoren in den Abnehmerländern schaffen können (vgl. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG 2007). Von Seiten der Regierung ist ein Abbau der Subventionen für fossile und nukleare Energie notwendig, um Anreize für Investitionen in endliche fossile bzw. unsichere nukleare Energiesektoren zu verringern. Laut Greenpeace beträgt allein der Forschungsetat für Kernfusionsenergie jährlich 130 Mio. €, während der Etat für Solarthermie nur 8 Mio. € beinhaltet (vgl. GREENPEACE 2009, S. 6). Eine Umschichtung dieser Finanzströme zu Gunsten EE-Sektors kann erhebliche Förderungen und Innovationen ermöglichen. Subventionen finden auch vielfach indirekt statt: durch Exportkreditversicherungen sichern große Versicherungsunternehmen wie die Hermes-Kreditversicherung gezielt Exporte ab, ebenso wie Banken mit gezielten Krediten den fossilen Markt unterstützen (vgl. HEINRICH BÖLL STIFTUNG 2007). Hier ist eine Gleichstellung der Kreditvergaben bzw. Versicherungen notwendig, um die Wettbewerbsfähigkeit der Erneuerbaren Energien zu garantieren. Zusätzlich müssen den fossilen Energien die Kosten für Klimafolgen angerechnet werden (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009).

Entscheidend ist jedoch die Etablierung eines innereuropäischen sowie transmediterranen Strommarktes, um einen gerechten Stromhandel in der MENA-Region zu gewährleisten (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009). Hierzu gehören stabile und langfristige Einspeisevergütungen, die einen festen Ertrag auf die erzeugte Kilowattstunde garantieren. Laut Greenpeace ist insgesamt ein Tarif von 24-27 ct/ kWh bei einer Laufzeit von 20-25 Jahren für die Finanzierung des Projekts realistisch (vgl. GREENPEACE 2009). Wichtig ist aber auch die Festlegung eines Zeitraums, nach dem der Tarif wieder gesenkt wird. Eine weitere Forderung besteht in festen Abnahmeverträgen von europäischer und afrikanischer Seite: Langfristige Stromabnahmen verringern einerseits das Investitionsrisiko und garantieren andererseits die Abnahme des Desertec-Stroms und damit die Rentabilität des Projektes.

6.1.3 Weichenstellungen in Afrika

Von europäischer Seite soll ein gezielter Technologietransfer nach Nordafrika erfolgen sowie Aufklärungskampagnen vor Ort geleistet werden (vgl. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG 2007). An dieser Stelle besteht bspw. eine Zusammenarbeit zwischen dem schleswig-holsteinischen Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR) und Marokko, die zur Förderung eines gesetzlichen Rahmens für Erneuerbare Energien beitragen soll (vgl. DEUTSCHER BUNDESTAG 2009, S. 3).

Zudem müssen Ressourcenausbeutung und Gewinnmargen transparent gestaltet werden, um sowohl Verantwortung im Energiesektor zu übernehmen als auch die politische Lage im Land zu stabilisieren (vgl. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG 2007). Mit der grundlastfähigen Stromversorgung mittels Wüstenstrom werden vor allem zahlungskräftige urbane Räume versorgt werden. Die Gefahr besteht in einer Umschichtung der Entwicklungshilfe von Kleinprojekten für die ländliche Bevölkerung hin zu Großprojekten wie Desertec (vgl. EULER 2009, S. 13). Der politische Anspruch liegt also in einer Doppelstrategie Afrikas für die umfassende Stromversorgung: Einerseits die Forcierung für die Versorgung urbaner Räume, andererseits die Unterstützung kleiner Projekte im ländlichen Raum. Eine weitere wichtige Forderung an die Produzentenländer in Nordafrika ist die Gewährleistung der politischen Stabilität der MENA-Region. Kritiker befürchten, dass es im Zuge von politischen Unruhen zur Übernahme und Abschaltung von solarthermischen Anlagen kommen könnte und sehen hierin die Achillesferse der auf Wüstenstrom gestützten Energieversorgung Europas. Staatliche Bürgschaften für Investitionen in politisch instabile Regionen könnten eine finanzielle Absicherung darstellen (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009).

6.2 Politische Instabilität in den Produzentenländern

Eines der Hauptrisiken besteht in der politischen Instabilität der MENA-Region. Wie schaffen es Bündnisse, Länder und Staatsoberhäupter, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten? Etlche Konflikte und Krisen spielen sich in den Bereichen der Wasser- und Nahrungsmittelversorgung ab.

6.2.1 Ressource Wasser

Länder, die zu wenig Wasser haben, können die dort lebende Bevölkerung nur unzureichend ernähren und versorgen. Der Wasserstress-Index gibt Auskunft über das Verhältnis zwischen dem Wasserbedarf und der Verfügbarkeit von sich erneuerndem Süßwasser. In der MENA-Region, aber auch im Süden Europas wird deutlich, dass diese Regionen unter Wasserstress leiden. Im Jahr 2000 herrschte in den Ländern Marokko, Algerien, Tunesien, Libyen, Ägypten und der Arabischen Halbinsel Wassermangel. Dies bedeutet, dass in diesen Gebieten eine Person im Jahr nicht mehr als 1.000 m³ Süßwasser zur Verfügung hat. Szenarien für das Jahr 2025 prognostizieren, dass sich die Wasserknappheit auf den Süden Europas ausweiten wird (vgl. SMAKHTIN et al. 2004).

Sollte beispielsweise die Weltbevölkerung von momentan ca. 6,8 Mrd. Menschen auf 8,5 Mrd. Menschen bis 2025 anwachsen, stünde ohne Verbesserungen der Wasserversorgung ein Drittel weniger Süßwasser zur Verfügung. Durch das Desertec-Projekt besteht die Möglichkeit die Wassersituation in der MENA-Region zu entspannen. Durch den gewonnenen Strom und die Abwärme können Meerwasserentsalzungsanlagen betrieben werden. Mit dem Verkauf des Solarstroms – wichtig hierbei sind langfristig festgelegte Einspeisungstarife – können neue Meerwasserentsalzungsanlagen gebaut werden (vgl. GRESH et al. 2006, S. 14ff.). So können durch solare Meerwasserentsalzung Klein- und Großanlagen in der MENA-Region zu einer Verringerung des Wasserstress beitragen.

6.2.2 Nahrungsmittelversorgung

Während zwischen 1997 und 2005 die globale Getreideproduktion nur um 6,3 % stieg, wuchs die Weltbevölkerung um 10,5 % an (vgl. FAO 2008). Desertec kann hier einen Beitrag zur Verbesserung der Situation leisten. Mit dem Bau des Solarstromnetzes kann Europa mit Strom versorgt werden. Flächenintensive Projekte wie der Anbau von Energiepflanzen und der großflächige Ausbau von Photovoltaikfreiflächen können so in der BRD zurückgefahren werden. Dies gilt exemplarisch für die ganze Welt. Durch die Verringerung einer flächenintensiven Energieproduktion kann die Nahrungs- und Futtermittelproduktion ausgeweitet werden. So kann bspw. Getreide durch einen fairen Welthandel in Gebiete gebracht werden, die unter Nahrungsmittelpreissen leiden. Hierzu muss allerdings dieser faire Handel gewährleistet sein. Abkommen müssen hierfür getroffen werden, die zum Beispiel einen Austausch von Strom gegen Getreide vorsehen. So wird in jedem spezifischen Raum das Gut, das die meisten Erträge erwirtschaftet, gewonnen. Jedes Produkt kann durch Handel in einen Raum, der defizitäre Strukturen aufgrund natürlicher Voraussetzungen etc. aufweist, gebracht werden. Mit dem Entsalzen von Meerwasser, für das die Energie aus den CSP-Technologien verwendet wird, können Felder bewässert und Nahrungsmittel angebaut werden. Neben der Bewässerung durch das aufbereitete Wasser kann der Kollektorschatten genutzt werden, um die potentielle Verdunstung der Pflanzen zu verringern. Dadurch wird weniger Wasser zur Pflanzenbewässerung benötigt. Die Bevölkerung der MENA-Region ist dann nicht mehr an die Weltmarktpreise gebunden, sodass die Möglichkeit einer endogenen Entwicklung besteht (vgl. GRESH et al. 2009, S. 18).

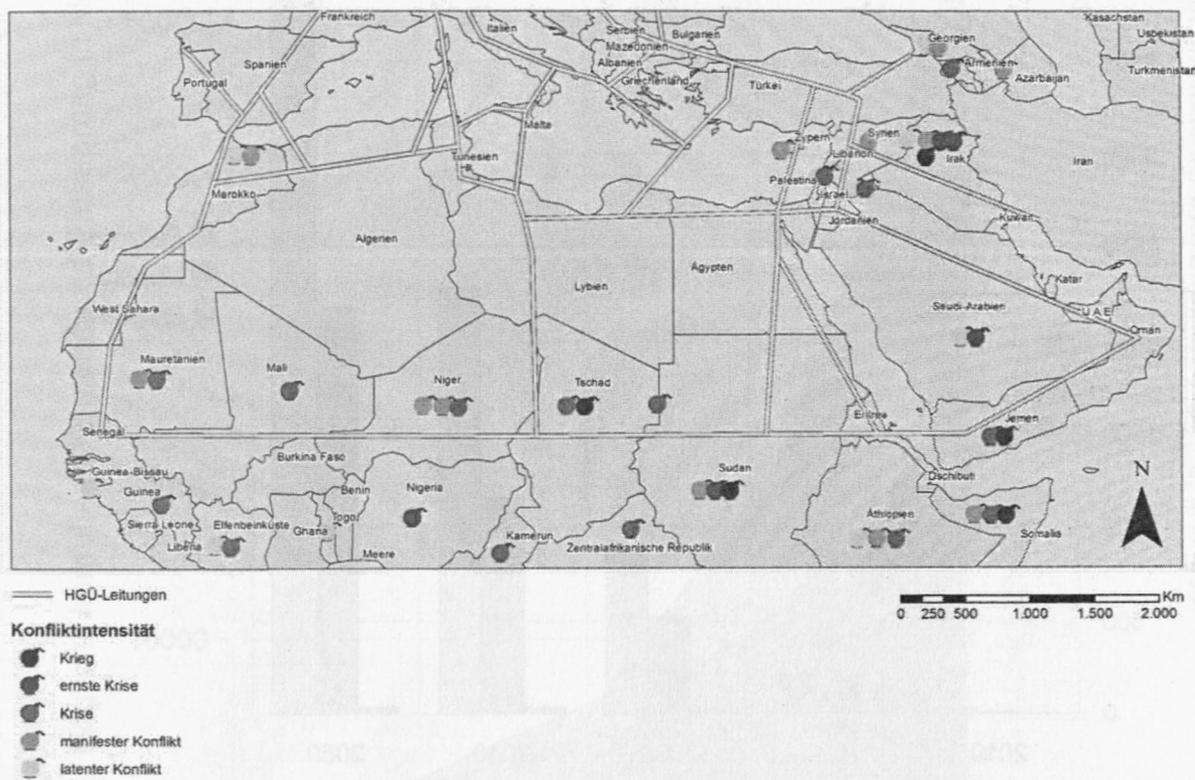
6.2.3 Energiearmut

Mit zunehmender Bevölkerungsentwicklung wird auch mehr Energie benötigt. Um den Gedanken der Nachhaltigkeit in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht im Energiesektor aufzugreifen, geht die Tendenz zu Erneuerbaren Energien. Um den Strombedarf im Grund-, Mittel- und Spitzenlastbereich durch Erneuerbare Energien zu decken, bedarf es einer Energiesicherheit. Da Europa einen hohen Energiebedarf zu decken hat, wird dieser Bedarf auf mehrere Energiesektoren verteilt, um einem Abhängigkeitsverhältnis vorzubeugen. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, setzt man auf einen Energiemix. Die Verteilung des Solarstroms kann aufgrund der Nutzung mehrerer kleinerer Leitungen als sicher betrachtet werden. Als infrastrukturelle Voraussetzung zum Stromtransport dient der Bau eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes (HGÜ). Dies garantiert zum Einen eine sichere Übertragung mit geringen Verlusten von ca. 3-4 % pro 1.000 km. Zum Anderen wird nicht nur *eine* Leitung gelegt sondern vielmehr das Risiko auf mehrere Leitungen verteilt. Es wird mit ca. 20 Leitungen mit je 5 GW und einem Kostenvoranschlag von 45 Mrd. € gerechnet (vgl. GRESH et al. 2009, S. 99).

6.2.4 Krisen und Konflikte

Im Jahr 2008 gab es in Marokko, Ägypten und im Jemen Nahrungsmittelkrisen (vgl. FAO 2008). Dies ist wie bereits erwähnt ein Grund für die politische Instabilität der MENA-Region. Um Investoren für ein 400 Mrd. € Projekt zu gewinnen, muss Planungs- und Rechtssicherheit gewährleistet werden. Diese ist aber momentan nicht gegeben. Wasser- und Nahrungsmittelknappheit schrecken Investoren ab. Darüber hinaus fanden seit 2001 allein in der Maghreb-Region (Marokko, Algerien, Tunesien) 21 terroristische Anschläge statt, die der al-Qaida zugeschrieben werden (vgl. GRESH et al. 2009, S.174ff.). Jene Staaten werden autoritär regiert. Diese Tatsache einhergehend mit einer Perspektivlosigkeit der Jugend führt zu einer Zunahme des militanten Islamismus, organisierter Kriminalität, Arbeitslosigkeit und Migration (vgl. CARIM 2009). Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, fanden im Zeitraum von 1999-2009 etwa 25 gewaltsame Konflikte in Nordafrika statt. Diese entzündeten sich an Themen wie Ressourcen, System, Ideologie, regionale Vorherrschaft, Autonomie und Macht.

ABB. 31: KONFLIKTE IN DER MENA-REGION IM ZEITRAUM 1999-2009



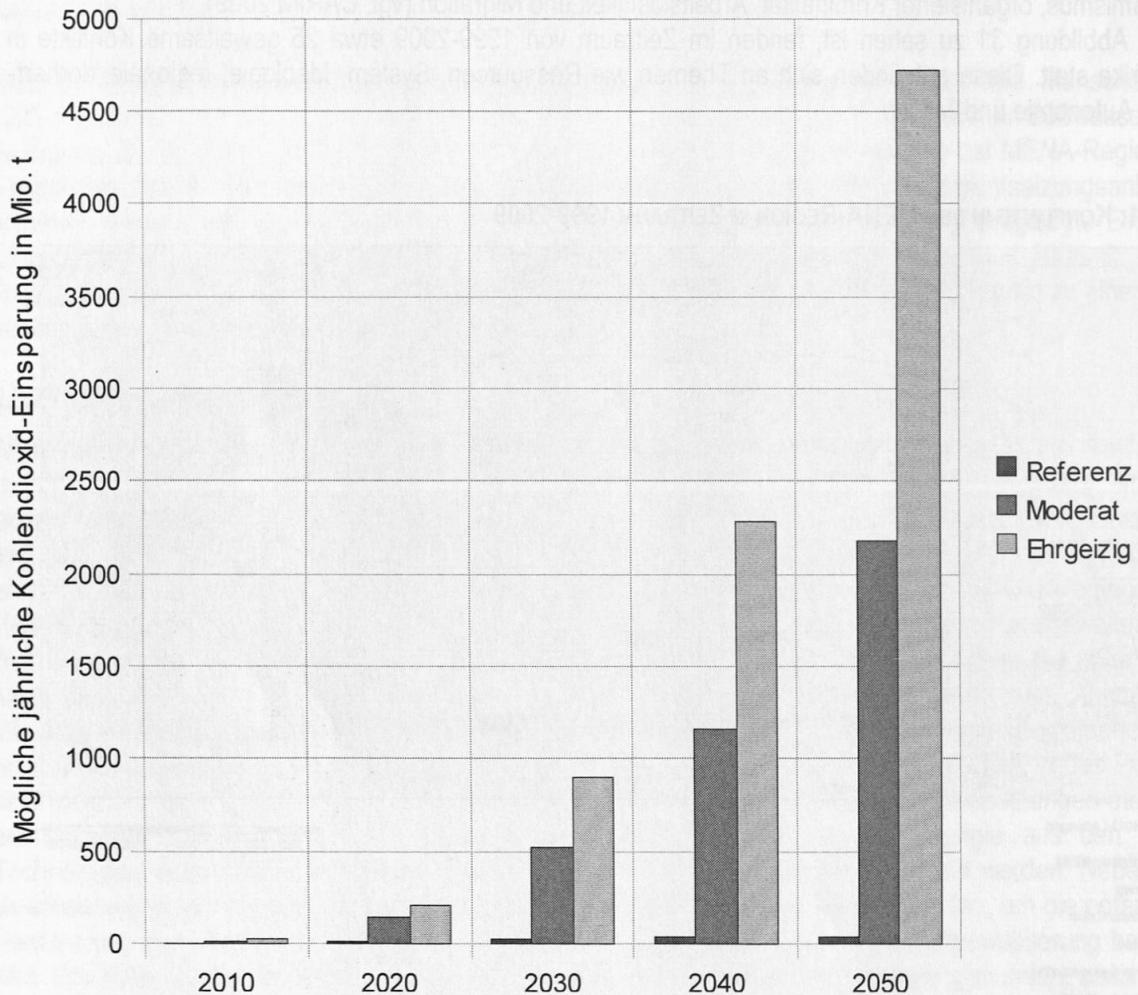
QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH HIIK 2009.

6.3 CO₂-Minderungsziele der Politik

Die Gewinnung einer großen Menge an Strom durch den breiten Einsatz von Erneuerbaren Energien spielt eine wichtige Rolle dabei, den Eintrag von CO₂ in die Atmosphäre zu vermindern und somit die Klimaziele der EU zu erreichen. Die EU-Kommission verabschiedete Anfang des Jahre 2008 unter der Formel 20-20-20 ein Gesetzespaket, um die Vorhaben zum Klimaschutz umsetzen zu können. Dieses Klimapakete sieht vor, den Energieverbrauch und die Emissionen an Treibhausgasen langfristig zu reduzieren sowie die Bedeutung Erneuerbarer Energien zu erhöhen. Bereits im März 2007 fassten die 27 Mitgliedsstaaten der EU den Beschluss, sowohl den Energieverbrauch als auch den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen bis zum Jahre 2020 EU-weit zu senken, und zwar um jeweils 20 % im Vergleich zu den Werten des Jahres 1990. Zudem soll der Anteil von Erneuerbaren Energien an der Stromproduktion im Raum der EU bis zum

Jahre 2020 auf 20 % ansteigen. Wäre es im Rahmen des Weltklimagipfels in Kopenhagen, der von Anfang bis Mitte Dezember 2009 in Kopenhagen stattfand, gelungen, ein internationales Klimaschutzabkommen zu verabschieden, so hätte sich die EU bereit erklärt, ihre Reduktionsziele noch einmal um 10 % anzuheben (vgl. BPB 2009b).

ABB. 32: MÖGLICHE JÄHRLICHE CO₂-EINSPARUNG DURCH SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE BIS ZUM JAHR 2050

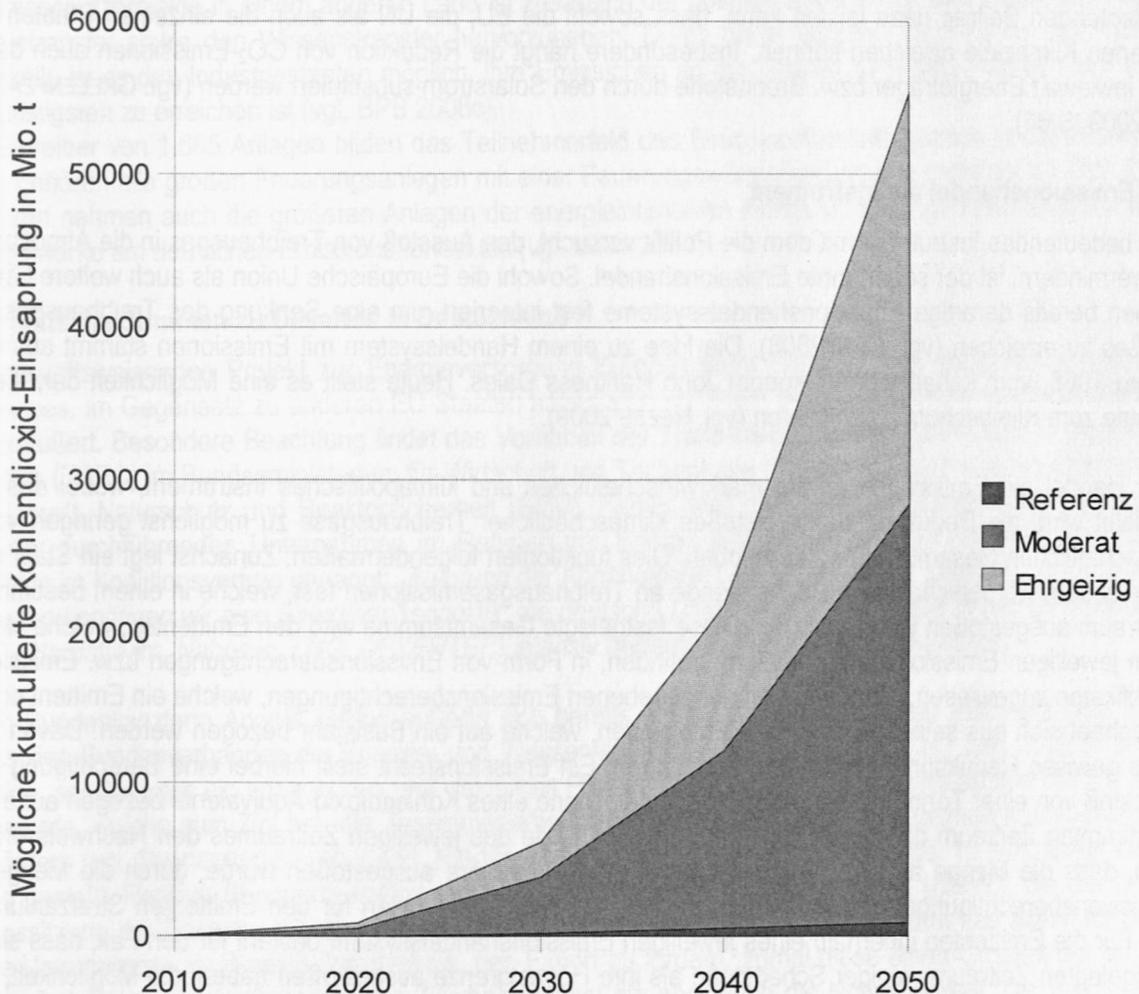


QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH GREENPEACE ET AL. 2009.

Beim Versuch, die Vorgaben der EU und auch die weltweiten Klimaziele, die in Kopenhagen besprochen wurden, zu erreichen, kann der Wüstenstrom aus dem Desertec-Projekt eine wichtige Rolle spielen. Um die Einsparungsmöglichkeiten an CO₂ veranschaulichen zu können, entstanden aus der Zusammenarbeit zwischen der European Solar Thermal Electricity Association (ESTELA), Solar Paces sowie Greenpeace International drei Szenarien. Hier wurden jeweils verschiedene Annahmen zu Grunde gelegt, wie sich verschiedene Marktbedingungen auf die weitere Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken auswirken können und wie sich folglich die Industrie weiterhin entwickeln wird. Dabei wurde je nach Grad der Umsetzung der geplanten Klimaschutzmaßnahmen zwischen einem Referenzszenario, einem moderaten Szenario sowie einem ehrgeizigen Szenario unterschieden. Es wurden sowohl Aussagen zur Energieeffizienz sowie zu konkreten Kohlendioxideinsparungen durch den Einsatz von Wüstenstrom getroffen. Diese variiert von Szenario zu Szenario sehr stark. Interessant sind die Annahmen der verschiedenen Szenarien bezüglich der regionalen Aufteilung der Solarstromkapazität. Im Referenzszenario wird angenommen, dass Europa wei-

terhin den Weltmarkt dominieren wird, mit 49 % im Jahre 2030. Danach folgen Nordamerika (24 %) und Afrika (9 %). Im moderaten Szenario ist der europäische Anteil an der Solarstromkapazität mit 7 % im Jahre 2030 wesentlich kleiner. Hier besitzen Nordamerika (31 %), der Nahe Osten (19 %) sowie China (16 %) große Kapazitäten. Im „ehrgeizigen“ Szenario wird von einem noch stärkeren Wachstum in Nordamerika ausgegangen, sodass hier der Anteil im Jahre 2030 bei 31 % liegt. Dahinter rangieren der Nahe Osten (16 %), China (13 %) und Europa (12 %), auch Afrika ist mit 9 % vertreten.

ABB. 33: MÖGLICHE KUMULIERTE CO₂-EINSPARUNG DURCH SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE BIS ZUM JAHRE 2050



QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG, NACH GREENPEACE ET AL. 2009.

Die Verminderung des CO₂-Ausstoßes gilt als größter Nutzen, welchen die Solarenergie für die Umwelt leisten kann. Die Solarenergie weist eine exzellente Energiebilanz auf. Die mögliche jährliche Reduktion an CO₂-Gasen in den verschiedenen Szenarien bis zum Jahre 2050 ist in Abb. 32 dargestellt. Abbildung 33 zeigt die kumulierte Einsparung an CO₂, die bis zum Jahre 2050 in Abhängigkeit von den Szenarien erreicht werden könnte. Dabei wird deutlich, dass es einen großen Unterschied macht, ob die geplanten Maßnahmen eine starke Anwendung wie im ehrgeizigen Szenario finden oder ob diese, wie es beim moderaten Szenario der Fall ist, nur bedingt umgesetzt werden.

Beim „ehrgeizigen“ Szenario können demnach im Jahre 2020 etwa 213 Mio. t Kohlendioxid eingespart werden. Diese Summe würde bis zum Jahre 2050 auf 4,7 Mrd. t CO₂ ansteigen. Innerhalb des gesamten Zeitraumes dieses Szenarios könnten durch den Einsatz von solarthermischen Kraftwerken 55,2 Mrd. t an Kohlendioxid eingespart werden, die sonst durch fossile Energieträger ausgestoßen würden. Im Vergleich dazu liegt die kumulierte Summe an CO₂-Einsparungen im Referenzszenario bis zum Jahre 2050 bei gerade einmal 901 Mio. t. Im moderaten Modell könnte bis 2050 eine kumulierte Einsparung in Höhe von 28,3 Mrd. t CO₂ erreicht werden, mit einer Menge von 28,3 Mrd. t CO₂-Einsparung im Jahre 2050 (vgl. GREENPEACE et al. 2009).

Diese großen Einsparungsmöglichkeiten in den verschiedenen Szenarien zeigen auf, dass der Strom aus Solarenergie, also auch der Wüstenstrom, bei hohem Engagement in der Umsetzung der Solarpläne einen bedeutenden Beitrag dazu leisten kann, dass sowohl die EU, die UN als auch die einzelnen Staaten ihre eigenen Klimaziele erreichen können. Insbesondere hängt die Reduktion von CO₂-Emissionen auch davon ab, inwieweit Energieträger bzw. Brennstoffe durch den Solarstrom substituiert werden (vgl. GREENPEACE et al. 2009, S.61).

6.4 Emissionshandel als Instrument

Ein bedeutendes Instrument mit dem die Politik versucht, den Ausstoß von Treibhausgas in die Atmosphäre zu vermindern, ist der sogenannte Emissionshandel. Sowohl die Europäische Union als auch weitere Länder haben bereits derartige Emissionshandelssysteme fest integriert, um eine Senkung des Treibhausgasausstoßes zu erreichen (vgl. BPB 2008). Die Idee zu einem Handelssystem mit Emissionen stammt aus dem Jahre 1968, vom kanadischen Ökonom John Harkness Dales. Heute stellt es eine Möglichkeit dar, die Industrie zum Klimaschutz zu animieren (vgl. REESE 2009).

Der Handel mit Emissionen ist ein marktwirtschaftliches und klimapolitisches Instrument, wobei das Ziel verfolgt wird, die Reduktion des Ausstoßes klimaschädlicher Treibhausgase zu möglichst geringen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten zu erreichen. Dies funktioniert folgendermaßen: Zunächst legt ein Staat oder eine andere Körperschaft eine Höchstmenge an Treibhausgasemissionen fest, welche in einem bestimmten Zeitraum ausgestoßen werden dürfen. Diese festgelegte Gesamtsumme wird den Emittenten, welche sich in dem jeweiligen Emissionshandelssystem befinden, in Form von Emissionsberechtigungen bzw. Emissionszertifikaten zugewiesen. Die Menge an ausgegebenen Emissionsberechtigungen, welche ein Emittent erhält, errechnet sich aus seinen historischen Emissionen, welche auf ein Basisjahr bezogen werden. Davon wird eine gewisse Reduktionsverpflichtung abgezogen. Ein Emissionsrecht stellt hierbei eine Berechtigung zum Ausstoß von einer Tonne Kohlendioxid bzw. einer Tonne eines Kohlendioxid-Äquivalents bezogen auf einen bestimmten Zeitraum dar. Jeder Emittent muss am Ende des jeweiligen Zeitraumes den Nachweis erbringen, dass die Menge an CO₂, die durch ihn in die Atmosphäre ausgestoßen wurde, durch die Menge an Emissionsberechtigungen, die er besitzt, gedeckt ist. Andernfalls fallen für den Emittenten Strafzahlungen an. Für die Emittenten innerhalb eines jeweiligen Emissionshandelssystem besteht für den Fall, dass sie im festgelegten Zeitraum weniger Schadstoffe als ihre Höchstgrenze ausgestoßen haben, die Möglichkeit, ihre nicht benötigten Emissionsberechtigungen an andere Firmen zu verkaufen. Diese dürfen dann wiederum mehr Schadstoffe ausstoßen als sie durch ihre Emissionszertifikate ursprünglich decken konnten (vgl. BPB 2008).

Der Handel mit Emissionszertifikaten ist somit ein Instrument, um der Nutzung der Atmosphäre, welche ein öffentliches Gut darstellt, einen Preis zuzuweisen. Daraus entsteht ein Mittel, um den Kostennachteil, den saubere Technologien gegenüber den traditionellen Energieformen mit ihren z. T. hohem Schadstoffausstoß noch besitzen, ausgleichen zu können. Der Handel mit Emissionsberechtigungen trat bereits im Jahre 2005 in der Europäischen Union in Kraft. Die Minderungsziele, die die einzelnen Staaten und Staatengemeinschaften in ihren Abkommen festlegen, können mit Hilfe dieser Emissionshandelssysteme in zählbare Währungen übersetzt werden. Es lässt sich feststellen, dass die Verknappung fossiler Ressourcen durch die Implementierung dieser Emissionshandelssysteme bereits im Vorhinein geschieht, indem der Verbrauch eingeschränkt wird. Die Emissionszertifikate stellen ein knappes Gut dar, um das sich ein Markt bildet. Un-

Unternehmen, die mehr fossile Ressourcen verbrauchen möchten, also mehr Schadstoffe ausstoßen, müssen durch den Einsatz finanzieller Mittel zu mehr Zertifikaten gelangen. Unternehmen, die durch den Einsatz sauberer Technologien ihren Schadstoffausstoß begrenzen, können durch den Verkauf ihrer Emissionszertifikate zusätzliche Finanzmittel erwerben (vgl. BAUCHMÜLLER 2009, S.8).

Der Emissionshandel stellt auf internationaler Ebene eines von drei flexiblen Instrumenten innerhalb des Kyoto-Protokolls dar. Die anderen beiden sind zum Einen die Joint Implementation (JI), zum Anderen der Clean Development Mechanism (CDM) (vgl. BPB 2008). JI ist die Bezeichnung für Klimaschutzprojekte, welche von einem Industrieland in einem anderen Industrieland durchgeführt werden. Unter dem Begriff Clean Development Mechanism (CDM) sind Klimaschutzprojekte zu rechnen, welche ein Industrieland in einem Entwicklungsland durchführt bzw. investiert. Neben den eingesparten Emissionen durch Investitionen in Klimaschutzprojekte in einem anderen Land ist zusätzlich der positive Effekt durch den möglichen Technologietransfer sowie den Wissenstransfer hervorzuheben. Durch diese flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls ist es den Industriestaaten möglich, ihre Emissionen an den Stellen zu senken, wo dies am kostengünstigsten zu erreichen ist (vgl. BPB 2008c).

Die Betreiber von 1.665 Anlagen bilden das Teilnehmerfeld des Emissionshandelssystems in Deutschland. Dazu gehören alle großen Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 20 MW. Des Weiteren nehmen auch die größeren Anlagen der energieintensiven Industrie, wie zum Beispiel Stahl- und Zementwerke am deutschen Emissionshandel teil (vgl. BMU 2009).

6.5 Politische Stimmen zu Desertec in Deutschland

Als zukunftsweisendes Projekt zur Energieversorgung Europas steht Desertec im Fokus des politischen Interesses. Im Gegensatz zu anderen EU-Staaten haben sich vor allem deutsche Politiker positiv zu Desertec geäußert. Besondere Beachtung findet das Vorhaben der Trans-Mediterranean Renewable Energy Corporation (TREC) im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Ferner wird die Förderung Erneuerbarer Energien und der durchführenden Unternehmen im Rahmen der Energieaußenpolitik als Ziel der schwarz-gelben Koalition im Koalitionsvertrag genannt: *„Aufgrund der Abhängigkeit Deutschlands von Energie- und Rohstoffimporten benötigen wir eine Energieaußenpolitik, die deutsche Unternehmen und große Infrastrukturprojekte (z. B.: Nordstream, Nabucco, LNG, DESERTEC) intensiv begleitet.“* (BUNDESREGIERUNG 2009)

Auch Bundeskanzlerin Angela Merkel äußerte sich bereits positiv zu Desertec. Einer Rede auf dem Kongress des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) am 24. Juni 2009 in Berlin zufolge, sei Desertec ein spannendes und visionäres Projekt, das gut in die Mittelmeerstrategie der EU passen würde, welche zum Ziel hat, die Zusammenarbeit zwischen der EU und den Mittelmeeranrainern zu fördern (vgl. BUNDESREGIERUNG 2009). Hierfür werden alleine bis zum Jahr 2011 ca. 13 Mrd. € zur Verfügung gestellt. Positive Resonanz kommt auch von Staatssekretärin Dagmar Wöhrl (BMWi), die der Gründungssitzung der Desertec-Initiative am 13.07.2009 beisaß. Beachtliche Chancen sieht das BMWi für deutsche Unternehmen im Bereich Solartechnik, den Export zu fördern, zumal diese einen Großteil der an Desertec beteiligten Unternehmen stellen. Hierbei erwähnt sie aber auch die Notwendigkeit, die Bedürfnisse der afrikanischen Staaten bei der Energieversorgung, insbesondere im Hinblick auf die *„politische Stabilität [...] und der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Stromversorgung aus diesen Anlagen“* (BMWi 2009) zu berücksichtigen.

Bereits 2007 erkannte der parlamentarische Staatssekretär Michael Müller (BMU), im Rahmen der Europäischen Konferenz "Integrating Environment, Development and Conflict Prevention", die Möglichkeit für Entwicklungsländer, durch den Export von überschüssiger Energie die eigene Wirtschaft zu fördern. Insbesondere wird auch das "Gaza Solar Power & Water Project" und seine friedenspolitische Bedeutung in dieser Rede erwähnt.

Literatur

- BAUCHMÜLLER M. (2009): Das größte Rad der Welt. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 281, S. 5.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2009): Kurzinfo Emissionshandelssystem. <http://www.bmu.de/emissionshandel/kurzinfo/doc/4016.php>, (14.12.2009).
- BUNDESREGIERUNG DEUTSCHLAND (2009): Wachstum. Bildung. Zusammenhalt. Der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP. http://www.bundesregierung.de/nn_774/Content/DE/_Anlagen/2009/10/koalitionsvertrag,property=publicationFile.pdf, (18.01.2010).
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (BPB) (2009b): Klimaziele EU. http://www1.bpb.de/themen/3HTMB3,0,0,EU_stellt_Klimaziele_vor.html, (07.12.2009).
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (BPB) (2009c): Gemeinsam Emissionen senken. http://www.bpb.de/themen/QR0TIY,0,0,Gemeinsam_Emissionen_senken.html, (14.12.2009).
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (BPB) (2008): Emissionshandel. http://www.bpb.de/themen/EX975S,0,0,Der_Emissionshandel.html, (07.12.2009).
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (BPB) (2009a): Afrika in der internationalen Politik. http://www1.bpb.de/publikationen/6787QX,0,Afrika_in_der_internationalen_Politik.html, (08.12.2009).
- CONSORTIUM OF APPLIED RESEARCH AND INTERNATIONAL MIGRATION (CARIM) (2009): <http://www.carim.org/index.php?callContent=1>, (14.12.2009).
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2009): Antwort der Bundesregierung. <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/16/121/1612163.pdf>, (08.12.2009).
- DESERTEC FOUNDATION (2009): Red Paper. http://www.desertec.org/downloads/summary_de.pdf, (08.12.2009).
- EULER T. (2009): Desertec oder Solar Home Systems – Heilsbringer für Afrika. http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA_3_2009_Euler.pdf, (08.12.2009).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2003): Review of World Water Resources by Country. <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr23e.pdf>, (15.12.2009).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2008): The State of Food and Agriculture. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100e/i0100e.pdf>, (15.12.2009).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2009): The State of Insecurity in the World. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i0876e/i0876e.pdf>, (15.12.2009).
- GREENPEACE (2009): Wüstenstrom – von der Vision zur Wirklichkeit. http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/fs_090527_wuestenstrom_endv.pdf, (08.12.2009).
- GREENPEACE, SOLAR PACES, ESTELA [Hrsg.] (2009): Sauberer Strom aus der Wüste – Ausblick 2009. http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Studie_Sauberer_Wuestenstrom.pdf, (08.12.2009).
- GRESH A., BARTZ D., REKACEWICZ P. [Hrsg.] (2006): Atlas der Globalisierung. Berlin.

- GRESH A., BARTZ D., REKACEWICZ P. [Hrsg.] (2009): Atlas der Globalisierung. Berlin.
- HEIDELBERG INSTITUT FÜR INTERNATIONALE KONFLIKTFORSCHUNG (HIIK) (2009): Konfliktbarometer. http://www.hiik.de/de/konfliktbarometer/pdf/ConflictBarometer_2009.pdf, (05.02.2010)
- HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG [Hrsg.] (2007): Haben und Nichthaben. Verantwortungsvolle Ressourcenpolitik im 21. Jahrhundert. http://www.boell.de/downloads/internationalepolitik/Positionspaper_BarbaraU_und_Lili.pdf, (08.12.2009).
- HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (2008): Energiewende 2020. <http://www.boell.de/stiftung/struktur/struktur-2314.html>, (08.12.2009).
- MEADOWS D., RANDERS J., MEADOWS D. (2006): Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel. 3. Aufl., Vermont.
- REESE J. (2009): Klimaschutz muss lukrativ sein. <http://www.sueddeutsche.de/politik/300/496614/text/>, (08.12.2009).
- RICHTER C., TESKE S., SHORT R. (2008): Sauberer Strom aus der Wüste. Amsterdam.
- SMAKHITIN V., REVENGA C., DÖLL P. (2004): Putting the water requirements of freshwater ecosystems into the global picture of water resources assessment. Comprehensive Assessment Research Report 2, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

7 Nachhaltigkeit und Nächstenliebe

In dem 30-Jahre-Update des Bestsellers „Die Grenzen des Wachstums“ wird anhand der Geschichte des Ozonloches aufgezeigt, dass die Menschheit die Fähigkeit besitzt, Grenzüberschreitungen globalen Ausmaßes zu erkennen, Lösungskonzepte zu entwickeln und in die Tat umzusetzen. Eine Energiewende verlangt jedoch einen ungleich längeren Atem, da die Wirtschaftskraft der Industrieländer in hohem Maße auf fossiler Energie basiert. Mit Desertec wurde ein Projekt ins Leben gerufen, dessen Ziel es ist, dem Prinzip der Nachhaltigkeit in höchstem Maße zu entsprechen. Die Zeit drängt, denn der ökologische Fußabdruck der Menschheit vergrößert sich rasant. Speziell die Gewinnung von fossilen Energieträgern hat mittlerweile ein Niveau erreicht, das aufgrund ihrer Endlichkeit sowie die im Zuge ihrer Nutzung entstehenden katastrophalen Auswirkungen auf das Weltklima nicht mehr aufrecht erhalten werden darf. Aus diesem Grund ist die Ausrichtung unserer Wirtschaft auf Erneuerbare Energien elementar, andernfalls besteht die Gefahr, dass sich die Lebensbedingungen auf unserem Planeten auf lange Sicht hin gravierend verschlechtern werden. Um dies zu vermeiden, müssen das vorhandene Know-how und die zur Verfügung stehenden Technologien optimal genutzt werden. Die Geographie steht hierbei in der Pflicht, mit Hilfe von GIS die räumlichen Voraussetzungen für die Integration eines regenerativen Energiesystems in ein engmaschiges Netz aus vielfältigen Flächennutzungsansprüchen genau zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und Standortkonzepte umzusetzen. Zum Aufbau einer auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit beruhenden Gesellschaft bedarf es jedoch mehr, als einer rein wissenschaftlichen Auseinandersetzung:

„In der industriellen Zivilisation ist es verpönt, über Nächstenliebe zu sprechen, sieht man einmal von dem ganz trivialen romantischen Sinn des Wortes Liebe ab. Wenn jemand an die Fähigkeit der Menschen appelliert, brüderliche oder schwesterliche Liebe zu praktizieren, die Menschheit als Ganzes, die Natur oder den Planeten, der uns versorgt, zu lieben, dann wird er wohl eher ausgelacht als ernst genommen. Der Hauptunterschied zwischen Optimisten und Pessimisten ist ihr Standpunkt in der Debatte, ob Menschen dazu fähig sind, auf der Basis der Nächstenliebe zusammenzuarbeiten. In einer Gesellschaft, die systematisch Individualismus, Konkurrenzfähigkeit und kurzfristige Interessen fördert, bilden Pessimisten die Mehrheit. Individualismus und kurzsichtiges Denken stellen unserer Ansicht nach die größten Probleme des gegenwärtigen Gesellschaftssystems dar und sind gleichzeitig die Hauptursache dafür, dass die Gesellschaft nicht nachhaltig ist. Da ist es eine bessere Alternative, wenn Liebe und Mitgefühl als kollektive Lösung institutionalisiert werden. Eine Kultur, die nicht an diese besseren menschlichen Qualitäten glaubt, sie erörtert und fördert, beschränkt auf tragische Weise selbst ihre Optionen.“ (MEADOWS et al. 2006, S. 290f.)