



# 2050

## Desert Power

### **Argumente für Wüstenstrom**

Zusammenfassung des Berichts „Desert Power 2050 –  
Perspectives on a Sustainable Power System  
for EUMENA“



**Dii**

Renewable energy  
bridging continents

Disclaimer: Die folgenden allgemeinen Geschäftsbedingungen gelten für jegliche Weitergabe von Informationen durch die Dii GmbH und ihrer Tochtergesellschaften (verbundene Unternehmen im Sinne der §§ 15 ff. Aktiengesetz; „Tochtergesellschaften“). Jegliche Informationen werden Ihnen in unserem alleinigen Ermessen zur Verfügung gestellt. Wir bzw. unsere Geschäftsführer, Mitarbeiter, Berater und/oder sonstige Vertreter („Vertreter“) geben hinsichtlich der Richtigkeit, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der zur Verfügung gestellten Informationen keine Zusicherung oder Gewährleistung. Die Offenlegung der Informationen stellt weder eine vertragliche Beziehung zwischen Ihnen und uns, noch eine uns für Sie und/oder Dritte obliegende Sorgfaltspflicht dar, denen die Informationen weitergegeben werden oder in deren Hände sie gelangen. Wir übernehmen keinerlei Verpflichtung, Ihnen Updates und/oder weitere Erläuterungen zu den Ihnen überlassenen Informationen zur Verfügung stellen zu müssen. Des Weiteren übernehmen wir keine Verpflichtung, etwaige Ungenauigkeiten in den Ihnen zur Verfügung gestellten Informationen zu korrigieren. Wir haben bzw. in unserem Namen sind alle Informationen für unsere Zwecke zusammengetragen oder aufbereitet worden, ohne dabei die möglichen Interessen von Ihnen oder Dritter zu berücksichtigen. Jegliche Verwendung der Informationen durch Sie erfolgt ausschließlich auf eigene Gefahr. Soweit gesetzlich zulässig, haften wir in Verbindung mit den Informationen in keinsten Art und Weise und aus irgendwelchen rechtlichen Gründen. Eine derartige Haftung wird hiermit ausgeschlossen und aufgegeben. Sie werden dafür sorgen, dass Ihre Tochtergesellschaften sowie Ihre und deren Vertreter keine Ansprüche, Klagen oder Verfahren gegen uns oder einen unserer Vertreter hinsichtlich eines hier enthaltenen, ausgelassenen oder auf sonstige Weise betroffenen Gegenstandes in diesen Informationen stellen, erheben oder beantragen. Ihre etwaigen Ansprüche wegen Betrugs oder Vorsatz sowie Ansprüche wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit sind durch die vorhergehende Bestimmung nicht betroffen. Sie erklären sich damit einverstanden, dass Sie alle Informationen streng vertraulich behandeln. Sie dürfen die Informationen ohne unsere vorherige schriftliche Zustimmung bis auf Ihre Tochtergesellschaft und Ihre sowie deren Berater nicht weitergeben, unter der Voraussetzung, dass eine Weitergabe nur zulässig ist, wenn der Empfänger im Voraus schriftlich (per Fax und E-Mail) zugunsten der Dii bestätigt, diese allgemeinen Geschäftsbedingungen zu akzeptieren und sich daran zu binden. Änderungen dieser allgemeinen Geschäftsbedingungen müssen schriftlich erfolgen. Dies gilt auch für eine Vereinbarung, die die vorgenannte Bestimmung ändert, dass alle Änderungen schriftlich erfolgen müssen. Diese allgemeinen Geschäftsbedingungen unterliegen dem Recht der Bundesrepublik Deutschland unter Ausschluss des internationalen Privatrechts. Der Gerichtsstand ist München.

## IMPRESSUM

Veröffentlicht von:

Dii GmbH

Kaiserstr. 14

80801 München, Deutschland

Telefon: +49. 89. 340 77 05-00

Fax: +49. 89. 340 77 05-11

E-Mail: [info@dii-eumena.com](mailto:info@dii-eumena.com) [dp2050@dii-eumena.com](mailto:dp2050@dii-eumena.com)

[www.dii-eumena.com](http://www.dii-eumena.com)

Erste Auflage

Juni 2012

Design:

[www.wirk-raum.de](http://www.wirk-raum.de)

Druck:

Stober GmbH, Eggenstein



# 2050

## Desert Power

- » MENA und Europa benötigen eine **sichere, bezahlbare und saubere Stromversorgung**
- » **Angebot von und Nachfrage nach erneuerbaren Energien** im Süden und Norden **ergänzen sich** zu allen Jahreszeiten
- » Die **Versorgungssicherheit** in der gesamten Region wird durch **positive Wechselwirkungen und technische Komplementarität** verbessert
- » **Beide Regionen sind ideale Partner** und können diesen grundlegenden Wandel gemeinsam bewältigen
- » **Alle Länder profitieren** vom Zugang zu günstigen erneuerbaren Energien, von neu entstehenden Industriezweigen und von verringerten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten
- » Nur durch **schnelles gemeinsames Handeln** als EUMENA kann dieses enorme Potenzial bis 2050 umgesetzt werden



# DANKSAGUNG

**Autoren:** Florian Zickfeld, Aglaia Wieland (Dii)

**Co-Autoren:** Julian Blohmke, Matthew Sohm, Ahmad Yousef (Dii)

**Mitwirkende:** Frank Buttinger, Angelika Denk, Patrik Erroi, Philipp Godron, Jürgen Neubarth, Alexander Rietz, Fabian Wigand (Dii)  
Shareholder und assoziierte Partner von Dii sowie zahlreiche externe Fachleute haben in allen Phasen wertvolle Beiträge zur Entstehung dieses Berichts geleistet.

**Wissenschaftliche Autoren:** Martin Pudlik, Mario Ragwitz, Frank Sensfuß (Fraunhofer ISI)

Die **Dii GmbH** wurde im Oktober 2009 als privatwirtschaftliches Joint Venture gegründet. Heute hat Dii 21 Shareholder und 35 assoziierte Partnerunternehmen aus 16 Ländern in Europa sowie dem Nahen Osten und Nordafrika (MENA). Gemeinsam mit einer Vielzahl von Stakeholdern arbeitet Dii daran, einen Markt für erneuerbare Energien im industriellen Maßstab in MENA zu schaffen. Dazu entwickelt Dii einen langfristigen Perspektivplan, dessen Erkenntnisse in individuelle Umsetzungsstrategien und regulatorische Rahmenbedingungen für einzelne Länder einfließen, was wiederum die Grundlage für konkrete Referenzprojekte bildet.

Das **Fraunhofer ISI** analysiert seit seiner Gründung 1972 Entstehung und Auswirkungen von Innovationen und hat die deutsche und internationale Innovationslandschaft maßgeblich mitgeprägt. Die Expertise des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung liegt in der breiten wissenschaftlichen Kompetenz sowie einem interdisziplinären und systemischen Forschungsansatz, die es in sieben Kompetenzzentren mit insgesamt 22 Abteilungen bündelt. Das Institut versteht sich als unabhängige Forschungseinrichtung, die ihren Auftraggebern aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft und Handlungsempfehlungen und Perspektiven für wichtige Entscheidungen zur Verfügung stellt.

**Veröffentlicht im Juni 2012 von**

Dii GmbH  
Kaiserstr. 14  
80801 München  
Deutschland

**Weitere Informationen unter:**

[www.dii-eumena.com](http://www.dii-eumena.com)  
[dp2050@dii-eumena.com](mailto:dp2050@dii-eumena.com)

# ARGUMENTE FÜR WÜSTENSTROM

Zu den wichtigsten Herausforderungen, denen sich Nordafrika, der Nahe Osten und Europa stellen müssen, gehört die gesicherte Versorgung mit erschwinglichem und sauberem Strom.

Wie können der Nahe Osten und Nordafrika für ihre wachsenden Volkswirtschaften eine zuverlässige und erschwingliche Stromversorgung gewährleisten? Wie kann die EU ihre ehrgeizigen Klimaziele auf nachhaltige und gleichzeitig wirtschaftliche Art erreichen?

**Desert Power 2050** untersucht die Herausforderungen bei der Stromversorgung, denen sich sowohl Europa als auch der Nahe Osten und Nordafrika (MENA) in Zukunft stellen werden müssen. Um diese Herausforderungen zu meistern, muss die im Moment noch vorherrschende Sichtweise zweier voneinander getrennter Regionen überwunden werden. Europa und die MENA-Region sind nicht nur Nachbarn, die durch eine lange gemeinsame Geschichte, Handel und kulturellen Austausch miteinander verbunden sind; in der Welt der erneuerbaren Energien sollte EUMENA als eine einzige Region betrachtet werden.

Ein EUMENA-Verbund bei der Stromversorgung würde es Europa ermöglichen, bis zu 20 % seines Bedarfs aus der MENA-Region zu importieren und so das Ziel einer 95 % CO<sub>2</sub>-Einsparung im Strombereich wirksamer und ökonomischer zu erreichen. Auf diese Weise spart Europa pro Jahr 33 Milliarden Euro, oder 30 Euro pro Megawattstunde, die aus der MENA-Region importiert wird. Gleichzeitig können die MENA-Staaten ihren Strombedarf zuverlässig aus der in der Region im Überfluss vorhandenen Sonnen- und Windenergie decken. Trotz der massiv ansteigenden Nachfrage kann die MENA-Region auf diese Weise 50% der CO<sub>2</sub>-Emissionen im eigenen Stromsektor einsparen. Darüber hinaus erzielen die MENA-Staaten jährlich bis zu 63 Milliarden Euro aus Stromexporten nach Europa. Ein weiterer Vorteil für Europa und die MENA-Staaten ist, dass bei den Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung im Strombereich um bis zu 40 % reduziert werden können.

Erneuerbare Energie in Gebieten mit optimalen Ressourcen zu erzeugen und von dort in nachfragestarke Regionen

zu exportieren – das ist die Desertec-Vision. Diese Idee legt nahe, dass Europa einen Teil seiner Energie durch Stromimporte aus den Wüsten südlich des Mittelmeers decken sollte. Die Region bietet Wind und Sonne im Überfluss und verfügt zudem über große Flächen, die nur dünn besiedelt sind.

Desert Power 2050 zeigt, wie die Kerninhalte der Desertec-Vision praktisch umgesetzt werden können, und geht dabei noch einen Schritt weiter. Die Studie veranschaulicht, wie auf der Grundlage bewährter Technologien die Ressourcen an Sonnen- und Windenergie mit Stromnetzen kombiniert werden können, um Nordafrika, den Nahen Osten und Europa zuverlässig mit sauberem und bezahlbarem Strom zu versorgen. Hierbei werden alte Denkmuster weiterentwickelt und die MENA-Region nicht nur als Erzeuger, sondern auch als Verbraucher von erneuerbarer Energie betrachtet.

Eine solche Stromversorgung wird dringend gebraucht: Bei einem erwarteten Bevölkerungswachstum in der EUMENA-Region um bis zu 45 % auf fast 1,2 Milliarden Menschen im Jahr 2050 könnte der Energiebedarf dann 8000 TWh übersteigen. Das Wachstum der MENA-Region übertrifft dabei klar das der EU. Daher liegt es im Interesse aller in der Region, die Abhängigkeit von schwankenden Preisen für fossile Energieträger durch ein stabiles und nachhaltiges Energieversorgungssystem zu ersetzen.

Desert Power 2050 zeigt den Wert einer verbundenen Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien für die EUMENA-Region im Hinblick auf: Wettbewerbsfähigkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit. Hierfür ist ein Paradigmenwechsel vom dem heutigen schwach vernetzten und auf fossilen Brennstoffen basierenden System hin zu einer nachhaltigen Verbundlösung vonnöten. Diesen Übergang zu ermöglichen ist das Thema des zweiten Teils der Strategie von Dii für 2050, **Desert Power 2050: Getting Started**.

# VON DEN RESSOURCEN ZUR ELEKTRIZITÄT

Allein die Größe der ungenutzten Flächen und die günstigen klimatischen Bedingungen machen die MENA-Region zum idealen Standort für die Nutzung von erneuerbarer Energie für die Stromproduktion.

**Abb. 1** zeigt, welche ausgezeichneten Standorte für die Nutzung von Solarenergie in der Region zur Verfügung stehen. Vom Hohen Atlas und Tellatlas im Maghreb bis zum Asir-Gebirge in Saudi-Arabien gibt es überall in der Region hervorragend geeignete Flächen.

Weniger bekannt, aber genauso wichtig ist die Tatsache, dass in der MENA-Region, wie in **Abb. 2** dargestellt, auch hervorragende Windbedingungen herrschen. Außergewöhnlich gute Windenergiepotenziale finden sich zum Beispiel an der marokkanischen Atlantikküste und am Roten Meer. Auch zwischen diesen beiden Küsten gibt es auf dem gesamten Kontinent attraktive Standorte zur Windenergienutzung.

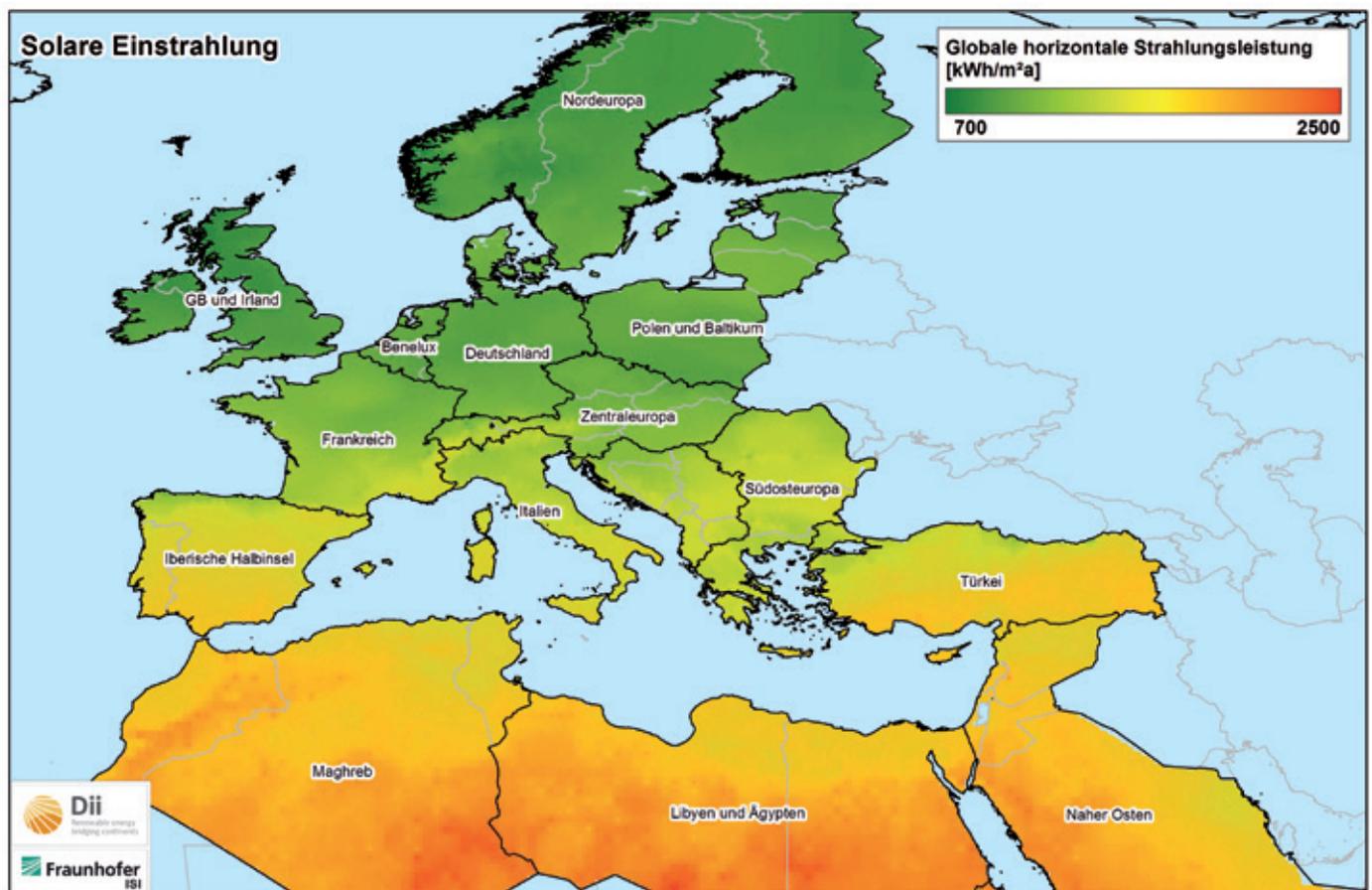


Abb. 1: Solarpotenziale in der EUMENA-Region

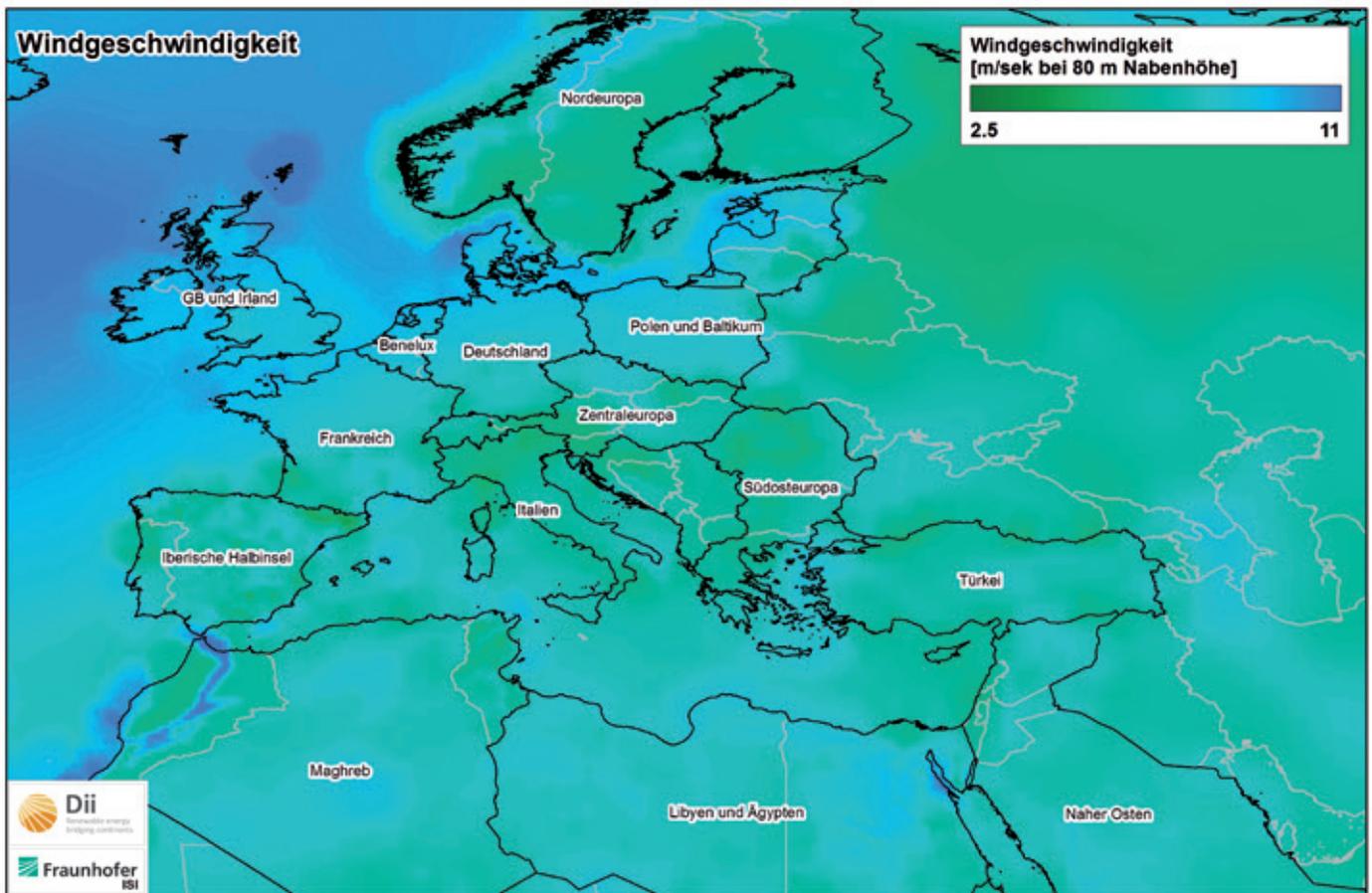
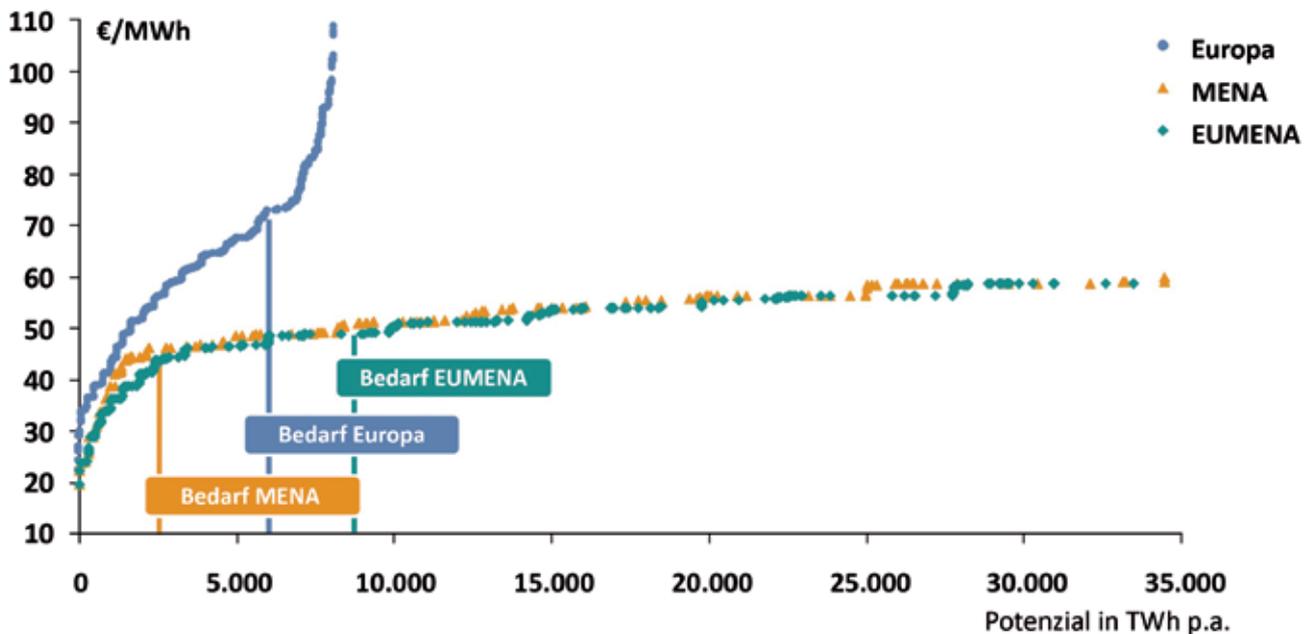


Abb. 2: Windpotenziale in der EUMENA-Region

Natürlich entsteht aus der bloßen Fülle von erneuerbaren Ressourcen nicht automatisch ein Stromverbund, der das ganze Jahr über rund um die Uhr zuverlässig funktioniert. Aus diesem Grund hat Dii gemeinsam mit dem Fraunhofer ISI das Modell eines EUMENA-Stromverbunds mit einer sehr hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung untersucht. Die kontinuierliche Einbindung von Experten, vor allem aus dem Netzwerk der 56 Partnerunternehmen der Dii aus der gesamten EUMENA-Region, war ebenfalls von großer Wichtigkeit für die Analyse. Anhand des bewährten PowerACE-Modells des ISI weisen die Autoren nach, dass die Technologien zur Nutzung der Wind- und Solarenergie das Potenzial bergen, den Strombedarf für die gesamte EUMENA-Region zu jeder einzelnen Stunde eines ganzen Jahres kostengünstig zu decken. **Abb. 3** zeigt die Grundlage dieser Analysen: Im Vergleich zur Stromnachfrage ist das Potenzial von Wind- und Solarenergie in der Region schier unerschöpflich. Das Potenzial von Sonnen- und Windenergie zu Kosten von maximal 50 €/MWh beträgt (im Jahr 2050) 10.000 TWh.

## Wind- und Sonnenstrompotenzial in EUMENA im Vergleich zum Strombedarf



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI Hinweis: Bedarf entspricht dem Szenario mit hohem Bedarf

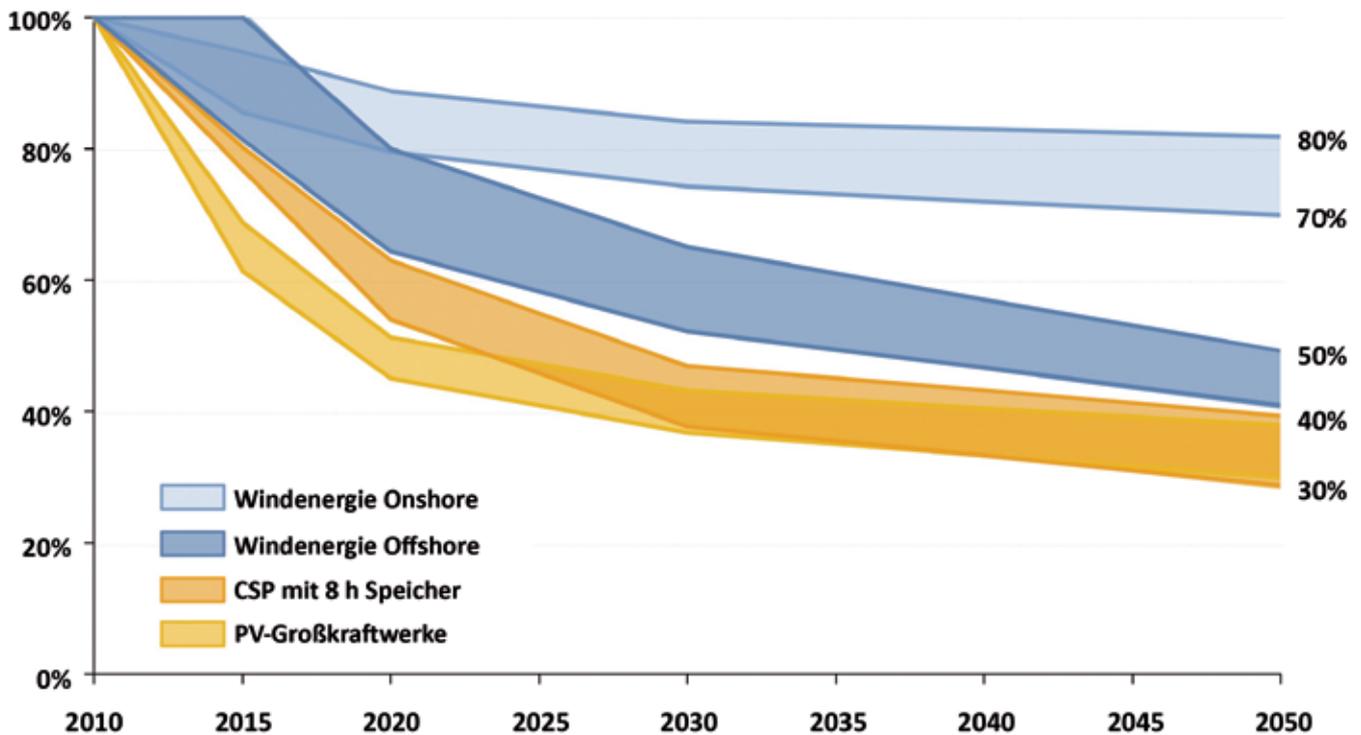
Abb. 3: Solar- und Windpotenziale in der EUMENA-Region im Vergleich zur Stromnachfrage im Jahr 2050

Die technische Umsetzbarkeit einer nachhaltigen Stromversorgung wird durch die Verwendung bewährter Technologien, die bereits weithin verwendet werden gewährleistet: Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf Photovoltaik-Großkraftwerke (Utility PV), solarthermische Kraftwerke (CSP) sowie Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen. Deren weltweit installierte Kapazität hat den Gigawatt-Bereich erreicht, wobei einige der Anlagen seit mehr als zwei Jahrzehnten ununterbrochen im Einsatz sind.

Eine vollumfängliche Wirtschaftlichkeit ist bislang allerdings nicht gegeben. Die erneuerbaren Energien haben zwar in den vergangenen Jahren beeindruckende Kostensenkungen durchlaufen, dennoch sind sie auf vielen Märkten im Vergleich mit konventionellen Technologien zur Stromerzeugung noch nicht voll konkurrenzfähig. Anhand der vorliegenden Studie soll gezeigt werden, wie Wüstenstrom Systemkosten optimiert und hilft, einen auf erneuerbaren Energien beruhenden Stromverbund wirtschaftlich darstellbar zu gestalten.

Dii legt für den Zeithorizont bis 2050 ein Zielbild vor, das basierend auf Kostenhochrechnungen für die vier in Betracht gezogenen Technologien eine optimierte Lösung vorstellt. Wie in **Abb. 4** dargestellt, werden für alle Technologien erhebliche Kostensenkungen von etwa 50 % oder mehr erwartet. Eine Ausnahme bilden die Kosten für Onshore-Windenergieanlagen, da diese Technologie bereits ausgereift und wettbewerbsfähig ist. Hier wird von einer weiteren Kostensenkung um 20 bis 30 % ausgegangen. Diese Prognosen erschienen noch vor wenigen Jahren als gewagt, die jüngsten Entwicklungen bei der Photovoltaik und Onshore-Windenergie zeigen jedoch, dass sie durchaus realistisch sind. Kostenentwicklungen hängen maßgeblich von der Entwicklung der Märkte ab. Das Wachstum der Märkte für Solar- und Windenergie ist die Grundlage für eine wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energieversorgung und daher von hohem politischem Interesse.

## Entwicklung der Systemkosten pro kW<sup>1</sup> auf Basis der Kosten 2010



Quelle: Dii <sup>1</sup> Bezogen auf die Nennkapazität, d.h. kW<sub>p</sub> (kW Peak) für PV-Großkraftwerke und Windenergie und kW<sub>e</sub> (kW elektrisch) für CSP

Abb. 4: Verlauf der Kostensenkung bei Technologien zur Nutzung von Wind- und Sonnenenergie bis 2050

Um den Wertzuwachs bei der Zusammenführung der Stromversorgung im Mittelmeerraum einzuschätzen, vergleichen die Autoren zwei Szenarien. Das Zielbild 2050 im **Verbundenen Szenario** untersucht einen vollständig integrierten Stromverbund in der gesamten EUMENA-Region. Das **Referenzszenario** beschreibt währenddessen eine Situation in der Europa und MENA jeweils in sich vollständig optimierte Systeme darstellen, eine Kooperation zwischen beiden Systemen jedoch nicht stattfindet. Mit anderen Worten, beide Szenarien für Desert Power 2050 basieren auf einem Paradigmenwechsel hin zu einer Stromversorgung aus erneuerbaren Energien. Damit sind beträchtliche Investitionen in Stromnetze und Kraftwerke zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien verbunden. Beide Szenarien wurden für minimale Systemkosten optimiert, unter der Nebenbedingung einer Deckelung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der EUMENA-Region in Höhe von 0,25 Gigatonnen pro Jahr. Letzteres entspricht ca. 30 g pro verbrauchter Kilowattstunde<sup>1</sup>. Daher ähnelt im Referenzszenario der europäische Anteil für sich genommen der optimierten

Stromversorgung, wie sie in der Roadmap 2050 der EU-Kommission betrachtet werden. Der Hauptunterschied besteht darin, dass Europa trotzdem von einer gemeinsamen Emissionsobergrenze mit der MENA-Region profitiert.

<sup>1</sup> In den minimalen Systemkosten sind die Kosten für die Erzeugung und Übertragung des Stroms enthalten, jedoch nicht die Kosten des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

# VORTEILE DES WÜSTENSTROMS

Bei der Bewertung der Ergebnisse stützt sich Desert Power 2050 auf die drei wichtigsten Säulen der europäischen Energiepolitik.

Die Studie zeigt, welche Vorteile eine integrierte europäische Stromversorgung für die Wettbewerbsfähigkeit der EUMENA-Region bietet und welchen wichtigen Beitrag es zu einer bezahlbaren und nachhaltigen Versorgung und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit in der gesamten EUMENA-Region leistet.

## WETTBEWERBSFÄHIGKEIT

Wüstenstrom leistet einen wesentlichen Beitrag, um die ehrgeizigen Klimaziele auf eine wirtschaftlichere Art zu erreichen. Auf diese Weise wird die Wettbewerbsfähigkeit der EUMENA-Stromversorgung verbessert. Der Wettbewerbsvorteil für einen EUMENA-weiten Stromverbund resultiert aus dem jährlichen Stromaustausch von 1110 TWh. Davon fließen 1087 TWh aus der MENA-Region nach Europa und 23 TWh von Europa in die MENA-Region<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich ein Nettoexportvolumen von 1064 TWh jährlich von der MENA-Region nach Europa. Im Verbundenen Szenario werden pro Jahr 33 Milliarden Euro an Systemkosten eingespart. Für das jährliche Stromaustauschvolumen zwischen Europa und der MENA-Region von ca. 1110 TWh bedeutet das rund 30 Euro pro Megawattstunde.

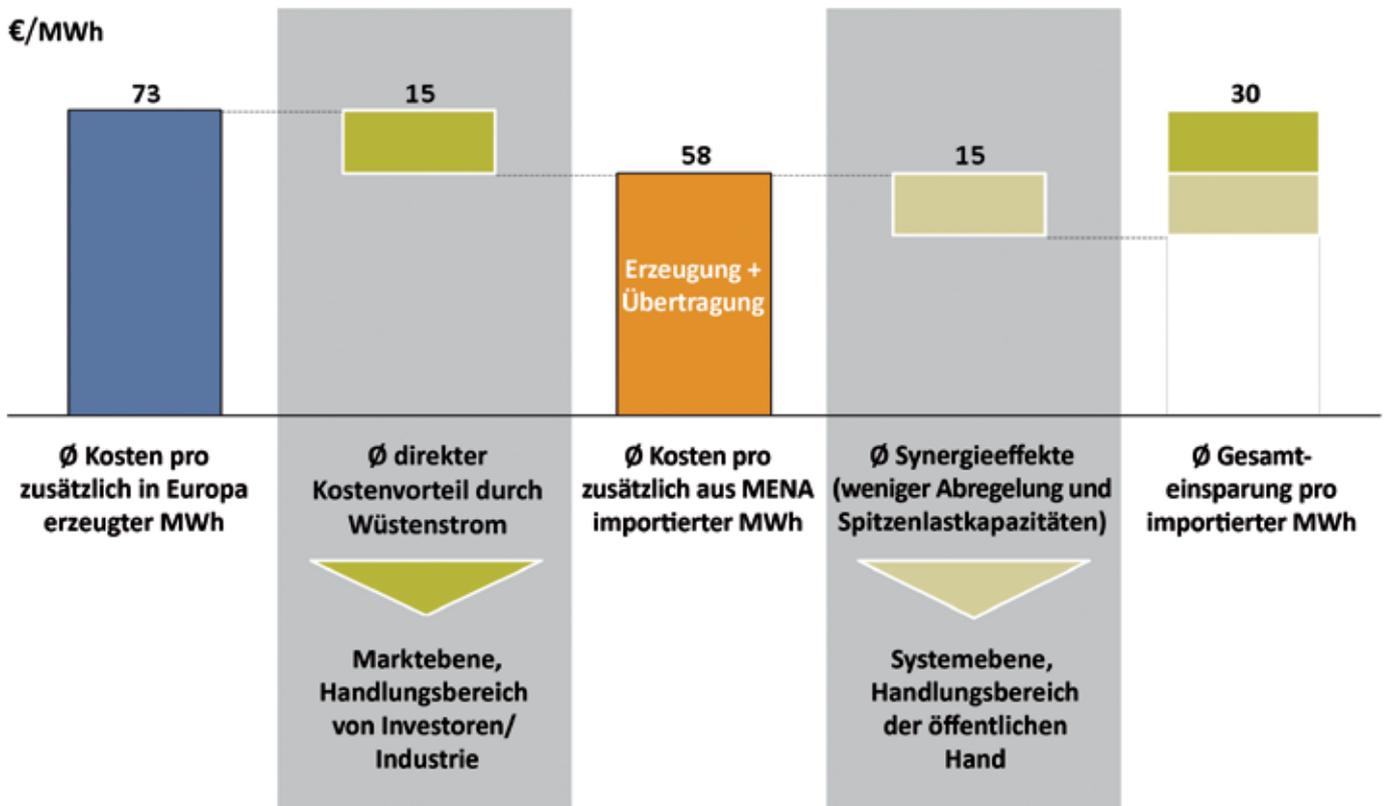
Der von Süden nach Norden fließende Strom dominiert eindeutig die Stromhandelsbilanz: Europa importiert bis zu 20 % seines Stroms aus Afrika. Bei der Erstellung des Verbundenen Szenarios wurde eine Selbstversorgungsquote pro Land von 70 % festgelegt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass kein Land zu stark von importiertem Strom abhängig wird. Mit Einsparungen an Systemkosten

von 30 Euro pro Megawattstunde importiertem Strom profitiert Europa eindeutig von seiner Rolle als Nettoimporteur (siehe **Abb. 5**). Die Hälfte dieser Einsparungen leitet sich aus den direkten Kostenvorteilen des Wüstenstroms ab, wie in **Abb. 5** dargestellt: Die durchschnittlichen Kosten jeder im Verbundenen Szenario zusätzlich in der MENA-Region erzeugten Megawattstunde betragen 58 Euro bei Ankunft in Europa<sup>3</sup>. Im Referenzszenario hingegen betragen die durchschnittlichen Kosten pro zusätzlich erzeugte Megawattstunde in Europa 73 Euro. Der zweite Teil des Kostenvorteils ergibt sich aus der Tatsache, dass ein größeres System besser in der Lage ist, Last und Erzeugung von Solar- und Windkraftwerken auszugleichen. Dadurch sind weniger Gaskraftwerke zur Abdeckung der Spitzenlast notwendig und es findet weniger Überschussproduktion aus erneuerbaren Energien statt, wodurch weniger Abregelung notwendig wird. Durch diese Verringerung von Kapazitäten können weitere 15 Euro pro Megawattstunde eingespart werden, die aus der MENA-Region nach Europa exportiert wird.

Es ist wichtig, zwischen diesen beiden Arten von Kosteneinsparungen zu unterscheiden. Wüstenstrom hat einen Kostenvorteil von durchschnittlich 20 Prozent gegenüber europäischen Alternativen. Dies beinhaltet bereits Transportkosten. Dieser Kostenvorteil stellt ein tragfähiges Geschäftsmodell dar, das von Marktteilnehmern und Investoren umgesetzt werden kann. Im Zuge weiterer Kostensenkungen bei der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien in Kombination mit CO<sub>2</sub>-Obergrenzen bei der Stromerzeugung wird die Industrie diesen Kostenvorteil nutzen.

<sup>2</sup> Die Zahlen für den Stromhandel beziehen sich auf den Strom, der in Europa oder der MENA-Region ankommt. Netzverluste wurden von diesen Zahlen abgezogen.

<sup>3</sup> In der Summe von 58 €/MWh sind die Kosten der Stromerzeugung, Stromübertragung und die Netzverluste enthalten.



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI Hinweis: In den Kosten der in Europa ankommenden Exporte aus der MENA-Region sind Leitungsverluste enthalten

Abb. 5: Einsparung von Systemkosten pro exportierte Megawattstunde (netto) aus der MENA-Region nach Europa

Einsparungen die auf Synergieeffekten innerhalb des gesamten Systems beruhen, stellen hingegen kein tragfähiges Geschäftsmodell dar. Dazu gehören die 220 TWh Strom, die im Verbundenen Szenario nicht mehr produziert werden müssen. Diese Synergieeffekte bieten jedoch einen gewaltigen volkswirtschaftlichen Nutzen, der zur Wettbewerbsfähigkeit der EUMENA-Region in der Weltwirtschaft beiträgt. Regulatorische Rahmenbedingungen sollten diese Vorteile auf Systemebene berücksichtigen: Werden entsprechende Anreizstrukturen durch die öffentliche Hand geschaffen, können diese systemimmanenten Vorteile genutzt werden.

Die Überwindung dieser Situation – einem klassischen Nash-Gleichgewicht – stellt in einer Marktwirtschaft eine Herausforderung dar. Dies ist auch eine der Ursachen, warum der Netzausbau in Europa so langsam voranschreitet, obwohl weitgehend Einigkeit darüber besteht, dass weitere Netze benötigt werden. Ein zuverlässiger und zielgerichteter regulatorischer Rahmen ist für die Integration der Stromversorgung und zum Anknüpfen von Investitionen unerlässlich. Dies gilt sowohl für den Ausbau der erneuerbaren Energien als auch der Stromnetze.

Die Vorteile für Europa und die MENA-Region sind signifikant: Europa kann pro Jahr ca. 33 Milliarden Euro an Kosten einsparen und die MENA-Region schafft eine Exportindustrie für erneuerbare Energie mit einem jährlichen Volumen von bis zu 63 Milliarden Euro – mehr als die aktuellen Exporte von Marokko und Ägypten zusammen.

## NACHHALTIGKEIT

Die vorgenommenen Analysen bestätigen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit einer Stromversorgung, die zu über 90 % auf erneuerbaren Energien basiert. Die Zusammenführung der Stromverbünde in der gesamten EUMENA-Region beeinflusst die Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Reduktion im Stromsektor auf beeindruckende Weise: Sie sinken um 40 % von 192 €/t im Referenzszenario auf 113 €/t im Verbundenen Szenario. Die Zusammenführung der Stromversorgung spielt daher eine bedeutende Rolle bei der Suche nach einem wirksamen und kostengünstigen Weg zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die geringeren Kosten des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes werden durch eine optimierte Kombination verschiedener Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien erreicht. Die Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie erfolgt dabei an den geeignetsten Standorten der gesamten EUMENA-Region.

Der Strommix von Desert Power 2050 setzt sich aus 91 % erneuerbaren Energien und 9 % Erdgas zusammen. Der Anteil der Windenergie beträgt 53 %, davon entfallen 48 % auf Onshore- und 5 % auf Offshore-Anlagen. Die Windenergieanlagen werden in der gesamten EUMENA-Region installiert (siehe **Abb. 6<sup>4</sup>**). Die Sonnenenergie trägt weitere 25 % zum Strommix bei. Die Solaranlagen werden in Südeuropa und der MENA-Region konzentriert. Von diesen 25 % entfallen 16 % auf CSP, die fast ausschließlich in der MENA-Region angesiedelt sind, während sich die Photovoltaik-Großkraftwerke in der MENA-Region und in Südeuropa befinden<sup>5</sup>. Weiter nördlich gelegene PV-Anlagen, besonders in Deutschland, basieren auf den Nationalen Aktionsplänen für erneuerbare Energie (NREAP) der EU-Mitgliedstaaten. Kurz gesagt, ein kostenoptimierter und nachhaltiger EUMENA-Stromverbund erfordert die Installation von Hunderten Gigawatt der vier fokussierten Solar- und Windtechnologien: PV-Großkraftwerke, CSP, Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen. Der Rest des Strommix setzt sich aus Wasserkraft, Biomasse, Geothermie und einigen weiteren Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien zusammen.

Dieser kostenoptimierte Strommix stützt sich zu einem großen Teil auf die Verwendung eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes (HGÜ). Ohne ein solches Netz kann der Strom nicht von den besten Sonnen-, Wind- und Wasserkraftstandorten in den dünn besiedelten Gebieten im Süden und Norden zu den nachfragestarken Regionen im Zentrum des Systems übertragen werden (siehe **Abb. 7**).

Der Maghreb und Libyen sind die südlichen „Kraftwerke“ der Region, während Skandinavien und vor allem Norwegen diese Rolle für den Norden übernehmen. Der Strom aus dem Süden fließt über sieben Übertragungskorridore unter dem Mittelmeer nach Europa und wird dann von Spanien, Frankreich, Italien und Griechenland aus nach Großbritannien, in die Benelux-Staaten nach Deutschland, Österreich und Tschechien weitergeleitet. In einem Korridor, der von den Benelux-Staaten bis nach Tschechien reicht, trifft der Wüstenstrom auf den Strom, der über Dänemark, Schweden und Polen aus Norwegen kommt. Durch einen achten Süd-Nord-Korridor wird Strom aus Ägypten und Saudi-Arabien in die Türkei übertragen.

Ein Aspekt wird durch diese Studie besonders hervorgehoben: Im südöstlichen Teil herrscht ein besonders starker Strombedarf. Es ist sehr gut möglich, dass im Jahre 2050 die Türkei und Ägypten die Staaten mit der höchsten Bevölkerungszahl und dem größten Strombedarf in der Region sein werden. Durch den höheren Pro-Kopf-Verbrauch bewegt sich die Nachfrage in Saudi-Arabien wahrscheinlich auf einem ähnlichen Niveau. Die Nachfrage in diesen drei Ländern macht, zusammen mit Syrien und Jordanien, ein Drittel des gesamten Strombedarfs der EUMENA-Region aus – so viel wie die vier größten Volkswirtschaften der EU (Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Italien) zusammen. Im Gegensatz zu den größten Volkswirtschaften in Mitteleuropa genießt diese Region günstige Bedingungen für die Erzeugung von Wind- und Sonnenstrom, was einer Abhängigkeit von Importen entgegenwirkt. Aufgrund der hohen Nachfrage in Ägypten und dem Nahen Osten wird der größte Teil des hier produzierten Wüstenstroms vor Ort verbraucht werden. Die Maghreb-Staaten und Libyen mit ihrer verhältnismäßig geringen Bevölkerungszahl und reichlich vorhandenen natürlichen Ressourcen können dagegen Strom im großen Stil nach Europa exportieren.

<sup>4</sup> Der Aufbau von Offshore-Windenergieanlagen wird nur für Europa in Betracht gezogen, da die Bedingungen in der MENA-Region nicht attraktiv genug sind.

<sup>5</sup> Dezentrale PV-Anlagen wurden bei der Analyse der Vorteile einer Zusammenführung eines umfassenden Stromversorgungssystems nicht berücksichtigt. Dennoch kann eine weite Verbreitung dezentraler PV-Anlagen zu einem Szenario mit geringer Nachfrage beitragen, welches das kostengünstigste der im Rahmen von Desert Power 2050 analysierten Szenarien darstellt.

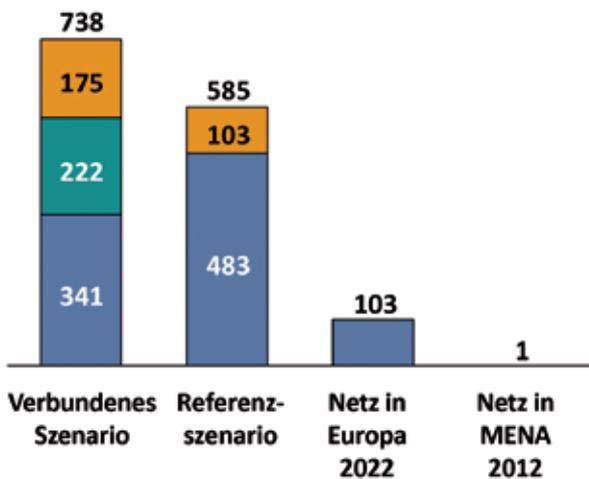


Die Gesamtkapazität der unter dem Mittelmeer verlaufenden Verbindungen und der Überlandverbindung von Syrien in die Türkei beträgt 222 GW<sub>NTC</sub><sup>6</sup> (siehe **Abb. 8**, linke Seite). Durch diese Verbindungen zwischen der MENA-Region und Europa fließen jährlich 1100 TWh Strom. Die hohe Auslastung dieser Verbindungen macht die Stromübertragung über das Mittelmeer wirtschaftlich.

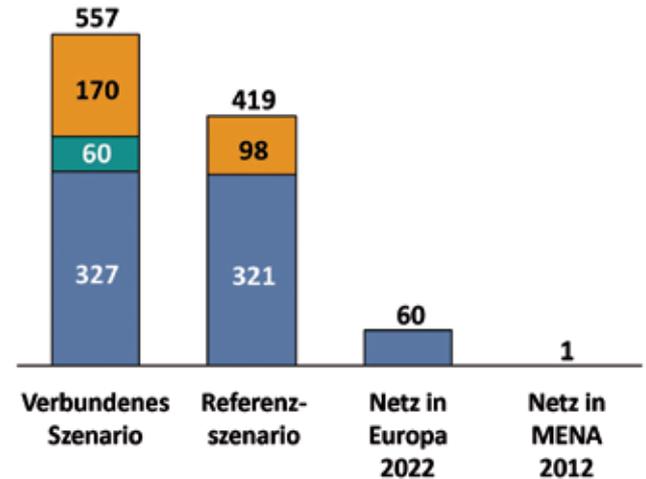
Die benötigte Übertragungsleistung von 557 GW<sub>NTC</sub> \* 1.000 km übertrifft nicht nur die Kapazität der Netze, die gegenwärtig den Süden und den Norden des Systems miteinander verbinden<sup>7</sup>. Sie ist auch weitaus höher als die Kapazität jedes der heute bestehenden Netze in Europa und der MENA-Region. Im Vergleich zum Referenzszenario mit zwei separaten, kostenoptimierten Systemen wird der größte Teil der zusätzlichen Übertragungsinfrastruktur an Land (gemessen in Kapazitätskilometern) in der MENA-Region benötigt, nicht im dicht besiedelten Europa (siehe **Abb. 8**, rechte Seite).

Um eine auf erneuerbaren Energien basierende bezahlbare Stromversorgung zu ermöglichen, muss Europa seine Netze ausbauen. Dabei ist es unerheblich, ob ein solches System an den Grenzen Europas endet oder darüber hinaus reicht. Der Vorteil einer solchen Netzerweiterung für Europa liegt in einer nachhaltigen, bezahlbaren und zuverlässigen Stromversorgung. Je weiter die Integration der Netze reicht, desto größer sind die Vorteile.

### Übertragungsleistung [GW<sub>NTC</sub>]



### Übertragungsleistungskilometer [GW<sub>NTC</sub> \* 1000 km]



■ In MENA   
 ■ Marin: MENA<>Europa   
 ■ In Europa

Quelle: Dii, Fraunhofer ISI Hinweis: Europäisches Netz 2022 = NTC Stand 2012 plus Anstieg der NTC nach ENTSO-E TNYDP2012

**Abb. 8:** Übertragungsleistungen der Netze im Verbundenen Szenario und im Referenzszenario

<sup>6</sup> GW<sub>NTC</sub> bedeutet GW Nettoübertragungskapazität (net transfer capacity)

<sup>7</sup> 250 MW Türkei/Syrien (nicht synchronisiert) und 900 MW Spanien/Marokko

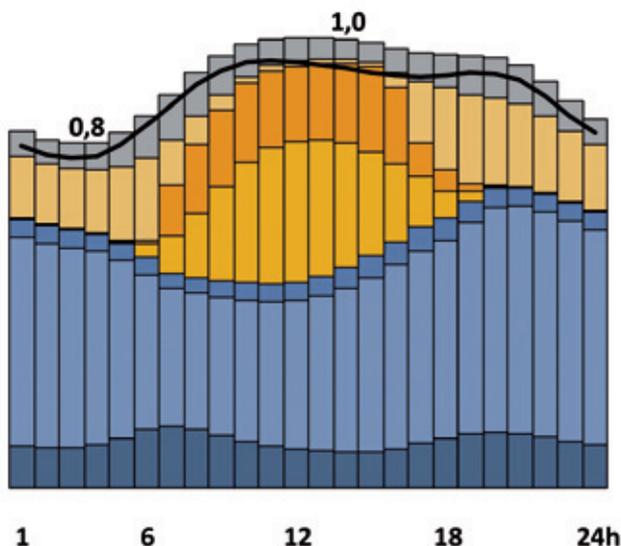
## VERSORGUNGSSICHERHEIT

Für die Versorgungssicherheit spielen sowohl technische als auch politische Wechselwirkungen eine Rolle. Aus der vorliegenden Analyse geht hervor, dass eine nachhaltige Stromversorgung im integrierten System nicht nur bezahlbar, sondern auch zuverlässiger wird. Um dies aufzuzeigen, werden hier zunächst die technischen Komplementaritäten und anschließend durch die Zusammenarbeit in einem integrierten Verbundsystem entstehenden gegenseitigen Synergien untersucht.

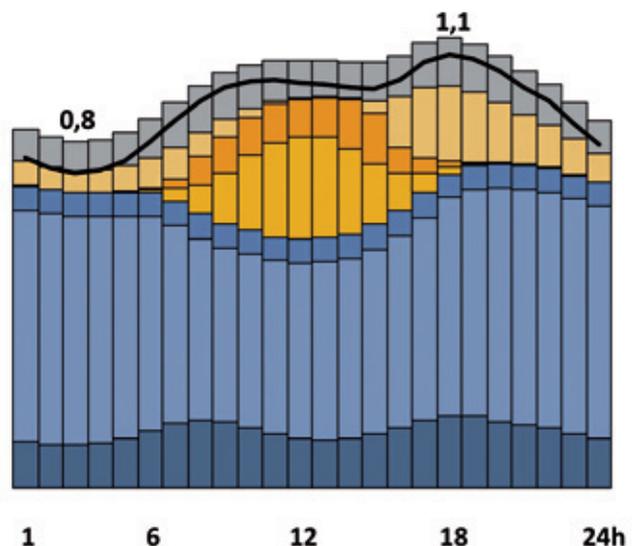
Ein sofort ins Auge springender Vorteil eines verbundenen Systems ist, dass mit wachsender Größe des Systems auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass an irgendeinem Ort innerhalb des Systems die Sonne scheint und der Wind weht. Für eine Stromversorgung, die sich zu 90 % auf erneuerbare Energien stützt, ist dieser Punkt von entscheidender Bedeutung. Schließlich muss sichergestellt werden, dass genügend Ressourcen an Sonnen- und Windenergie zur Verfügung stehen, um die Nachfrage rund um die Uhr das ganze Jahr über zu befriedigen und

Stromausfälle zu vermeiden. **Abb. 9** zeigt, dass diese Annahme nicht nur richtig ist, sondern dass das natürliche Zusammenspiel von Sonne und Wind aus dem Blickwinkel der Stromversorgung günstig ist. Um die Herausforderungen der Stromversorgung über einen längeren Zeitraum hinweg zu verstehen, müssen sowohl tägliche als auch saisonale Schwankungen in Betracht gezogen werden. **Abb. 9** zeigt stundengenau jeweils einen durchschnittlichen Tag in Sommer und Winter in der EUMENA-Region im Hinblick auf Strombedarf und -versorgung. Im Tagesverlauf ergänzen sich Wind und Sonne hervorragend: Das geringste Windaufkommen im System besteht während der mittäglichen Sonnenstunden, wenn die Nachfrage besonders hoch ist. Während dieser Zeit kann der benötigte Strom aus Sonnenenergie erzeugt werden. Betrachtet man den Verlauf eines ganzen Jahres, ist das Windaufkommen im Winter höher, während im Sommer eine stärkere Sonneneinstrahlung herrscht.

**Durchschnittlicher Sommertag EUMENA [TW]**

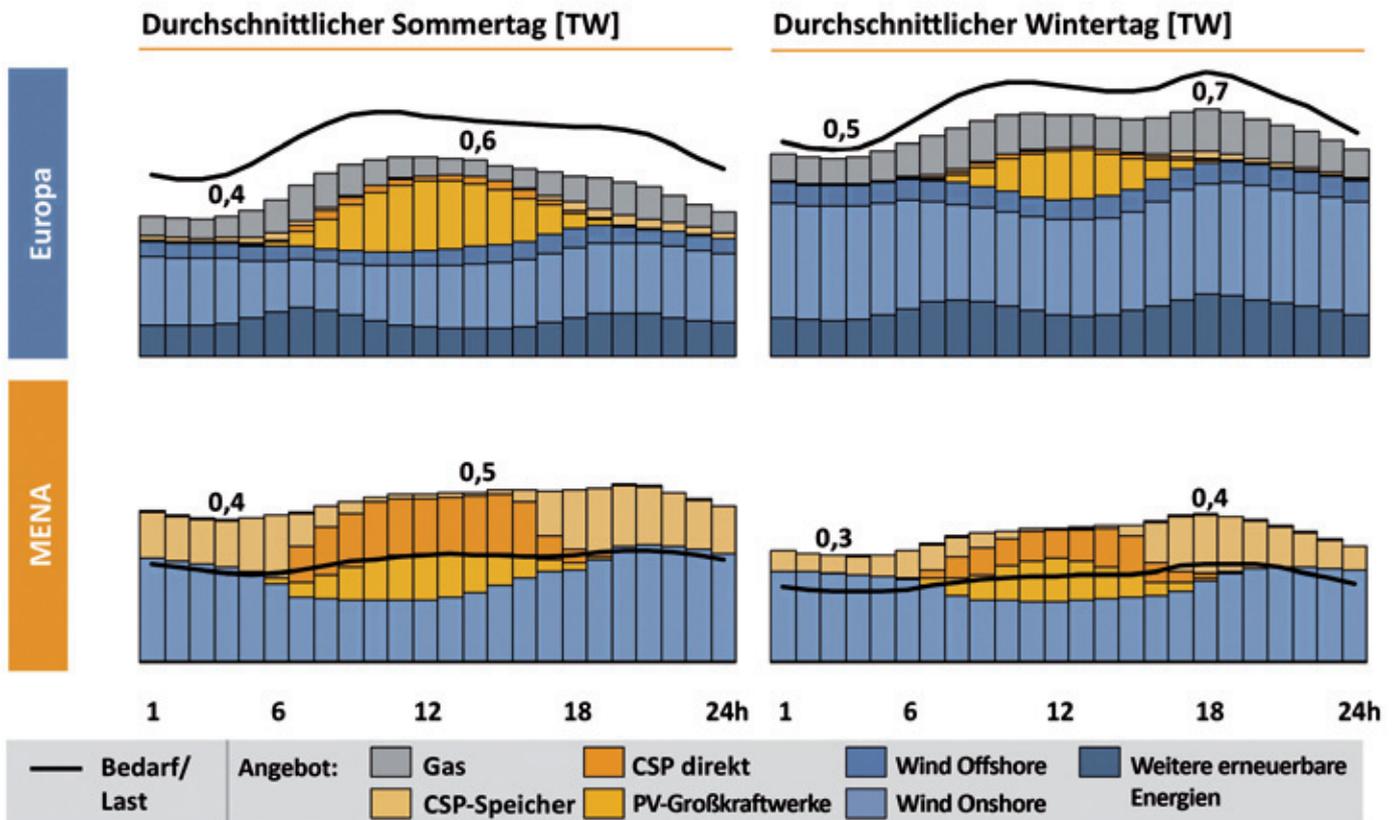


**Durchschnittlicher Wintertag EUMENA [TW]**



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI

Abb. 9: Angebot und Nachfrage in der EUMENA-Region nach Tagen und Jahreszeiten



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI

Abb. 10: Angebot und Nachfrage in Europa und der MENA-Region nach Tagen und Jahreszeiten

Abb. 9 zeigt, dass Sonnen- und Windenergiepotenzial und Strombedarf gut zueinander passen. Abb. 10 zeigt, dass dieser Vorteil auf sich ergänzenden Angebots- und Nachfragebedingungen in Europa und MENA beruht. Während in Europa die Lasten im Winter höher sind als im Sommer, ist in der MENA-Region das Gegenteil der Fall. Im Gegensatz zum kalten Winter in Europa herrschen hier im heißen Sommer extremere Wetterbedingungen. Dazu kommt, dass das Windaufkommen im Jahresverlauf in der MENA-Region stabil bleibt, während es in Europa im Winter höher ist als im Sommer. Aufgrund der höheren Ausbeute an Sonnenenergie kann die MENA-Region Europa während des Sommers mit dem benötigten Strom versorgen, wobei die Tagesverlaufskurve mit Hilfe der Speicher von CSP abgebildet wird. Der Nutzung von Gas zur Stromerzeugung werden durch die gemeinsame Deckelung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Europa und der MENA-Region enge Grenzen gesetzt. Die schwerpunktmäßige Allokation der Stromerzeugung aus Gas gewährleistet nicht nur eine funktionierende Stromversorgung, sondern ist auch der Grund für die 40%ige Senkung der Grenzkosten der Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Um zu verstehen, weshalb das System sowohl stabil als auch wettbewerbsfähig ist, ist die Betrachtung der Rollen einzelner Staaten von entscheidender Bedeutung. Hinsichtlich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird zwischen drei Kategorien von Ländern unterschieden: Superproduzenten, Importeuren und Ländern, in denen die Menge des produzierten Stroms und die Nachfrage ausgeglichen sind (Balance-Länder). Während jeder Typus auf unterschiedliche Weise von der Systemintegration profitiert, ziehen alle Staaten ihre Vorteile daraus, dass sie Teil eines großen nachhaltigen Stromverbundes sind. Gleichzeitig führen die sich ergänzenden Rollen zu einer Situation wechselseitiger Unterstützung. Dabei ist nicht ein Land von einem anderen abhängig, sondern jedes Land verlässt sich auf das System als Ganzes.

> **Superproduzenten** sind Länder mit hervorragenden Ressourcen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien bei gleichzeitig relativ geringem Eigenbedarf. Daher verfügen sie über ausreichend kostengünstigen Strom aus erneuerbarer Energie, um ihn in großem Stil exportieren zu können. Beispiele dafür sind die Maghreb-Staaten und Libyen im Süden sowie Norwegen im Norden. Die Superproduzenten profitieren auf zweierlei Art von der Systemintegration: Zum einen von der Möglichkeit eines Stromexports aus erneuerbaren Energien im großen Maßstab und zum anderen können sie sich auf

hohe Kapazitäten erneuerbarer Energien (verglichen mit ihren eigenen Spitzenlasten) verlassen, wodurch ihre Energieversorgung das ganze Jahr über gesichert ist.

> **Importeure** haben einen hohen Bedarf und im Vergleich dazu ein begrenztes Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen für die Stromerzeugung. Zu dieser Gruppe gehören Deutschland, Italien sowie, wenn auch weniger ausgeprägt, Frankreich und die Türkei. Diese Staaten importieren kostengünstigen Strom aus erneuerbaren Quellen im Tages- und Jahresverlauf, um eine erschwingliche und nachhaltige Stromversorgung zu gewährleisten. Die Vorteile für diese Länder liegen nicht allein im Kostenvorteil des importierten Stroms, sondern auch in der optimierten Allokation der verbleibenden konventionellen Stromerzeugung aus Gaskraftwerken. Da der Ressourceneinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Gaskraftwerken unter einer gemeinsamen Obergrenze auf die Länder mit dem größten Bedarf aufgeteilt wird, können in einem verbundenen System die Länder mit begrenzten Ressourcen zur Nutzung erneuerbarer Energien mehr Gas verwenden, als es in einem isolierten System der Fall wäre.

> Bei den **Balance-Ländern** sind Nachfrage und Erzeugung erneuerbaren Stroms weitgehend deckungsgleich. Zu dieser Kategorie gehören z. B. Ägypten, Saudi-Arabien, Syrien, Spanien, Großbritannien und Dänemark. Wie bereits angeführt, sind bei der Bewertung des Potenzials nicht nur die Stromgestehungskosten, sondern ebenfalls deren Verhältnis zur jeweils bestehenden Nachfrage zu betrachten. Daher profitieren auch die Balance-Länder von einem integrierten Stromverbund: Sie errichten gerade so viele Kapazitäten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen, wie zur wirtschaftlichen Deckung des Eigenbedarfs notwendig sind. Den verbleibenden Teil ebenfalls mit heimischen erneuerbaren Energien zu decken, wäre unrentabel, da eine gewisse Überkapazität abgeregelt werden müsste. Folglich importieren diese Länder dann Strom, wenn sie ihn benötigen und exportieren ihn, wenn ihre Produktion die Inlandsnachfrage übersteigt.

Die Betrachtung der unterschiedlichen Rollen, die die verschiedenen Staaten in einem gemeinsamen Energieversorgungssystem einnehmen werden, verdeutlicht, dass das System eng vernetzt ist und für alle Teilnehmer Vorteile mit sich bringt. Diese Verflechtungen und Wechselbeziehungen sind Gründe dafür, dass ein nachhaltiger Stromverbund die Versorgungssicherheit nicht nur in technischer, sondern auch politischer und geopolitischer Hinsicht gewährleistet.

Wüstenstrom trägt auf verschiedene Weise zur Versorgungssicherheit bei. Erstens sind die meisten europäischen und MENA-Staaten aktuell auf den Import fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung angewiesen. Durch die Nutzung von Wüstenstrom wird in der gesamten Region der Wechsel hin zu einer sauberen Stromversorgung aus erneuerbaren Quellen ermöglicht. Durch diesen Wechsel können diese Staaten ihre Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und deren unbeständiger Preisentwicklung überwinden: In einem nachhaltigen Stromverbund, der seinen Strom zu 90 % aus erneuerbaren Quellen generiert, betragen die Brennstoffkosten weniger als 7 %. Zum Vergleich: in modernen Gaskraftwerken beträgt der Anteil der Brennstoffkosten 70 %, bei Kohlekraftwerken 30 % und bei Kernkraftwerken 15 % der Stromgestehungskosten. Die Unabhängigkeit von schwankenden Brennstoffpreisen führt zu stabileren Stromgestehungskosten, die zur Grundlage einer stabileren und konkurrenzfähigeren Volkswirtschaft werden.

Eine weitere Folge eines ganzheitlichen Systems ist, dass alle Länder ihre Stromversorgung aus einer Vielzahl verschiedener Energiequellen bestreiten können. Importeure in Europa z. B. kaufen dann Strom von einer Reihe von Staaten. Im Gegensatz zur aktuellen Situation wird nicht mehr ein einziger Exporteur mehr als 10 % der europäischen Versorgung stellen. Dadurch, dass sie Teile desselben Systems sind, entsteht zudem eine Wechselbeziehung zwischen Importeuren und Exporteuren. Zum Beispiel profitieren Exporteure in Nordafrika bei der Stabilisierung des eigenen Stromsystems von der zusätzlichen Regelleistung, die durch Gaskraftwerke von Importeuren in Europa zur Verfügung gestellt wird.

Wüstenstrom macht den Paradigmenwechsel hin zu einer Stromversorgung aus erneuerbaren Energien erschwinglich und leistet so einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit aller Länder der EUMENA-Region. In einem gemeinsamen Verbund werden selbst die europäischen Importeure im Jahr 2050 eine höhere Selbstversorgungsquote erreichen als dies heute der Fall ist. Ohne diesen Paradigmenwechsel werden sich die negativen Auswirkungen der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die EUMENA-Region als Ganzes und insbesondere für die Importeure von fossilen Brennstoffen weiter verschlechtern. Zudem begünstigt ein gemeinsames System in der EUMENA-Region eine Transformation, von der alle Parteien profitieren und die weit über den Stromsektor hinausgehen kann. Eine solche verstärkte Zusammenarbeit mit den benachbarten Regionen ist bereits heute ein erklärtes Ziel der Energiepolitik der Europäischen Union<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Siehe dazu das Papier der EU-Kommission *The EU Energy Policy: Engaging with partners beyond our borders* (2011), in dem die Wichtigkeit einer Energiepartnerschaft zwischen der EU und dem südlichen Mittelmeerraum mit besonderen Schwerpunkt auf erneuerbaren Energien hervorgehoben wird.

# PERSPEKTIVEN FÜR WÜSTENSTROM

Um es mit den Worten des Physikers und Nobelpreisträgers Niels Bohr zu sagen, „Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen“.

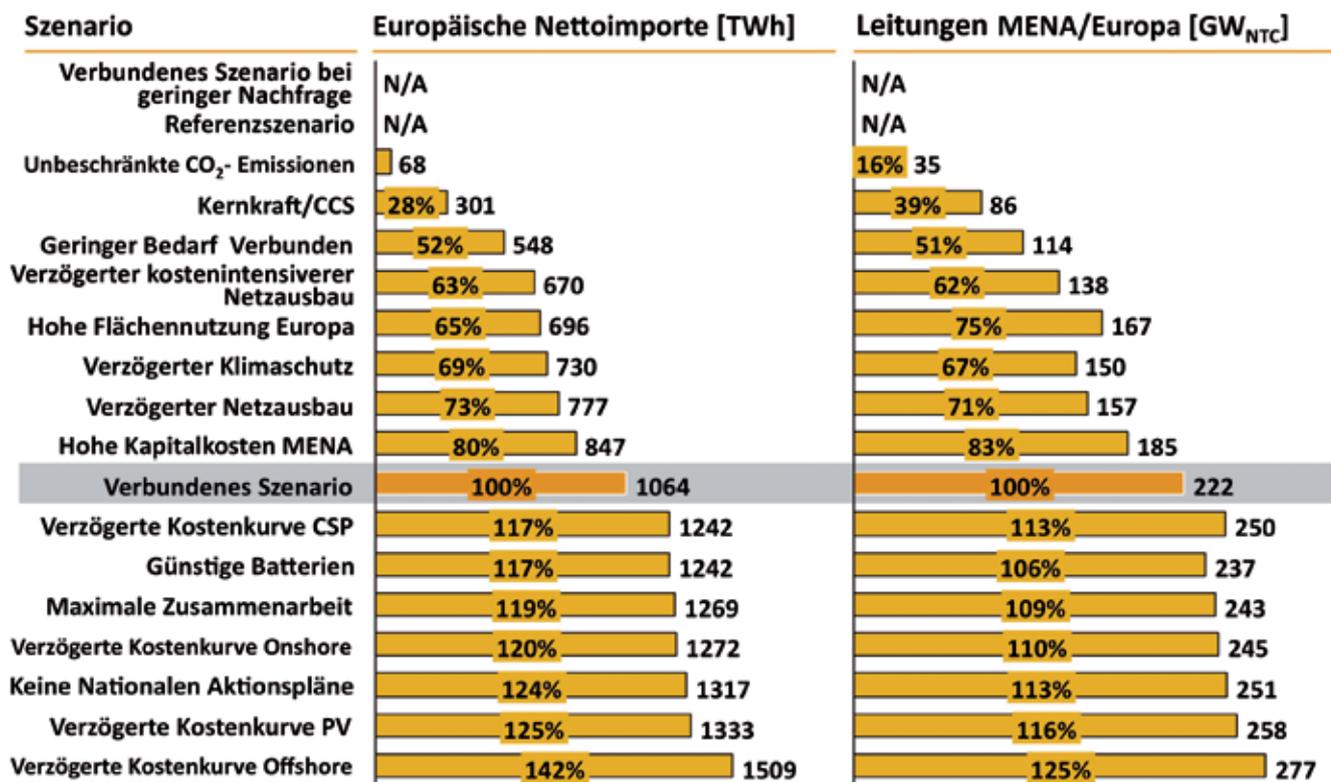
Die Untersuchung eines Stromversorgungssystems auf Basis von über 90 % erneuerbaren Energien über einen Prognosezeitraum von 40 Jahren ist bezüglich einiger Annahmen großen Unwägbarkeiten unterworfen. Die einzige Möglichkeit, diesen Unwägbarkeiten zu begegnen, ist die Analyse sogenannter Sensitivitäten bzw. Perspektiven, um die Veränderung der Ergebnisse bei modifizierten Parametern zu zeigen.

Über die beiden bereits beschriebenen Szenarien hinaus haben die Autoren insgesamt 16 zusätzliche Blickwinkel auf die Stromversorgung der EUMENA-Region im Jahr 2050 untersucht (siehe **Abb. 11**). Sie berücksichtigen eine Vielzahl wichtiger Faktoren, die die Attraktivität eines EUMENA-weiten Stromverbunds beeinflussen.



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI

Abb. 11: Unterschiedliche untersuchte Szenarien bezüglich eines EUMENA-weiten Stromverbunds



Quelle: Dii, Fraunhofer ISI

Abb. 12: Europäische Nettoimporte und Leitungskapazitäten

Die Sensitivitäten wurden in drei Kategorien zusammengefasst. In der ersten Kategorie, Paradigmenwechsel, sind vier grundlegend verschiedene Ansätze für die Gestaltung der Stromversorgung der Zukunft aufgeführt. Unter allen Sensitivitäten ist das „Verbundene Szenario bei geringer Nachfrage“ von besonderer Bedeutung. Die anderen Sensitivitäten zeigen die Auswirkungen des Erfolges einer Gesellschaft bei der Schaffung günstiger Voraussetzungen für eine integrierte und nachhaltige Stromversorgung in der EUMENA-Region. Diese elf Szenarien sind entsprechend ihrem Einfluss auf die Attraktivität einer EUMENA-weiten Systemintegration zusammengefasst worden. Im Folgenden werden die allgemeinen Schlussfolgerungen und die grundlegenden Details der Sensitivitätsanalyse hervorgehoben.

Die wichtigste Aussage nach Analyse dieser verschiedenen Fälle könnte deutlicher nicht sein: Eine Integration der Netzinfrastruktur über das Mittelmeer hinweg ist unter allen vorhersehbaren Umständen vorteilhaft. Nach dem Szenario **Unbeschränkte CO<sub>2</sub>-Emissionen** wird der Energiemix durch Emissionen von Kohle und CO<sub>2</sub> dominiert, die das 2,5-fache der heutigen Werte betragen. Doch selbst hier werden über die volle Ost-West-Ausdehnung des Mittelmeers hinweg Leitungskapazitäten von insgesamt 35  $\text{GW}_{\text{NTC}}$  geschaffen (siehe **Abb. 12**, rechte Seite). Unter allen Szenarien,

denen eine Deckelung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zugrunde liegt, ist die Errichtung von Verbindungen im Mittelmeerraum mit einer Kapazität von mindestens 86  $\text{GW}_{\text{NTC}}$  kostenoptimal. Aus der MENA-Region wird Wüstenstrom im Umfang von mindestens 301 TWh nach Europa exportiert (siehe **Abb. 12**, linke Seite).

Das **Verbundene Szenario bei geringer Nachfrage** geht davon aus, dass Europa den Anteil seines Strombedarfs auf dem heutigen Niveau halten kann. Dies kann z. B. durch Maßnahmen zur Energieeffizienz oder die dezentrale Stromerzeugung und -speicherung geschehen. Demzufolge werden auch bei einer um 40 % geringeren Nachfrage von 4900 TWh jährlich innerhalb der EUMENA-Region Leitungskapazitäten für 114  $\text{GW}_{\text{NTC}}$  geschaffen. Vom Kostenstandpunkt aus liegt der optimale jährliche Exportumfang nach Europa bei 548 TWh netto. Dieses Szenario zeigt auf, dass Energieeffizienz und dezentrale Energieerzeugung auf der einen Seite und EUMENA-weite Systemintegration auf der anderen Seite sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern im Gegenteil sehr gut ergänzen. Das Verbundene Szenario bei geringer Nachfrage ist auch das Szenario, mit dem von allen untersuchten Fällen die geringsten Kosten verbunden sind. Selbst das Szenario Uneingeschränkte CO<sub>2</sub>-Emissionen ist um 97 Milliarden Euro pro Jahr teurer.

Wenn Europa es schafft, seine Spitzenstandorte zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien in hohem Maße zu nutzen, so wäre das ein großer Schritt in die richtige Richtung. Dem Szenario **Hohe Flächennutzung Europa** zufolge, das auf dieser Annahme basiert, würde das zum Beispiel bedeuten, dass allein Deutschland an den am besten geeigneten potenziellen Standorten Onshore-Windenergieanlagen mit einer Leistung von 180 GW errichtet. Im Ergebnis sind bei der wirtschaftlichsten Lösung für dieses Szenario jährliche Nettoexporte in Höhe von ca. 700 TWh aus der MENA-Region nach Europa vorgesehen. Daraus ist ersichtlich, dass auch bei bestmöglicher Allokation der Nutzung erneuerbarer Energie der Import von Wüstenstrom weiterhin vorteilhaft ist. Gerade die Kombination beider Varianten ermöglicht die optimale nachhaltige Stromversorgung für die EUMENA-Region.

In Bezug auf Kostensenkung und Marktwachstum haben Solar- und Windstromerzeugung die Erwartungen bisher durchweg erfüllt oder übertroffen. Für den Ausbau des Übertragungsnetzes in Europa gilt dies leider nicht. Trotz aller Anstrengungen, diese große Herausforderung beim Aufbau eines Stromverbunds der Zukunft zu überwinden, gebietet die Vorsicht, auch die Auswirkungen eines **verzögerten Netzausbau**s zu untersuchen. Bereits

die Kostenschätzungen für das Verbundene Szenario beruhen auf der Annahme, dass bis 2050 die Hälfte aller in Europa errichteten Hochspannungsleitungen unterirdische Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) sein werden. Dadurch werden auch Mehrkosten berücksichtigt, die durch mangelnde öffentliche Akzeptanz von Überlandleitungen entstehen könnten. Dem Szenario **Verzögerter Netzausbau** liegt die Annahme zugrunde, dass keine Verbindung zwischen zwei Staaten im gesamten EUMENA-Raum eine Kapazität von 20 GW<sub>NTC</sub> überschreiten kann. Verglichen mit dem Verbundenen Szenario werden nach dieser Annahme die attraktivsten Verbindungen durch das Mittelmeer stark eingeschränkt. Mit Ausnahme der Verbindung zwischen Spanien und Frankreich hat dies jedoch keine Auswirkungen auf das innereuropäische Netz. Im Szenario **Verzögerter kostenintensiverer Netzausbau** wird die Obergrenze von 20 GW<sub>NTC</sub> beibehalten. Die Leitungskosten liegen um 50 % über den Kosten, die von Fachleuten aus der Branche als realistisch angesehen werden. Die Übertragungsleistung über das Mittelmeer sinkt hierdurch nur geringfügig, von 157 GW<sub>NTC</sub> auf 138 GW<sub>NTC</sub>. Im Ergebnis dieses Szenarios werden die durch das Mittelmeer verlaufenden Unterseeverbindungen, deren Kapazitäten im Verbundenen Szenario nicht voll ausgeschöpft werden, bis auf das zulässige

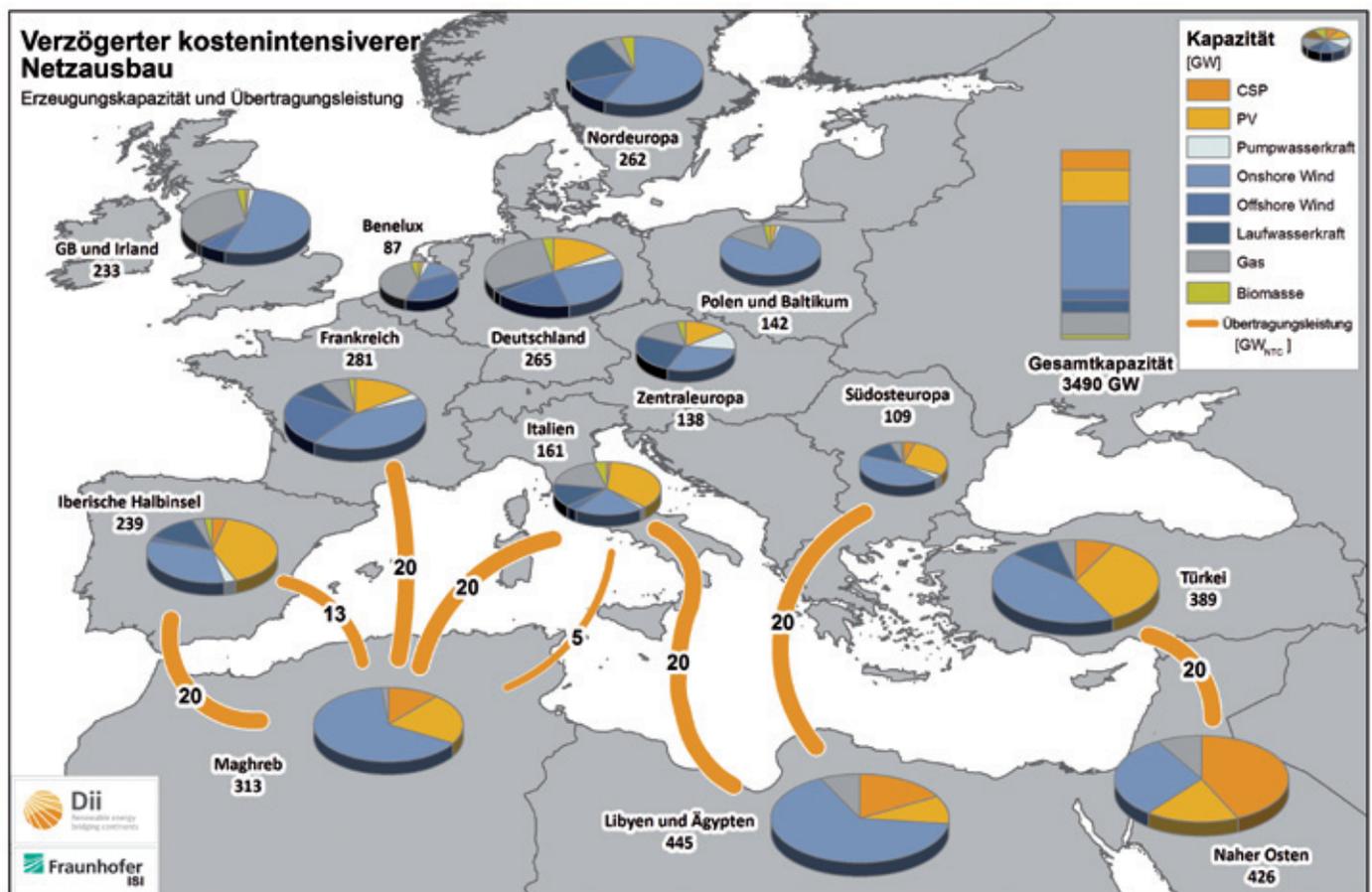


Abb. 13: Erzeugungskapazität und Übertragungsleistung, Szenario Verzögerter kostenintensiverer Netzausbau

Maximum erweitert. Dadurch werden die verlorenen Importmöglichkeiten ersetzt (siehe **Abb. 13**). Anders ausgedrückt ist die Attraktivität des Wüstenstroms nicht vom Erfolg der Nutzung einiger weniger Verbindungen abhängig. Vielmehr können alle Verbindungen einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der Kosten einer nachhaltigen Energieversorgung für Europa leisten.

Ein weiteres bekanntes Hindernis bei der schnelleren Verbreitung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien ist die Finanzierung, die für die Errichtung dieser kapitalintensiven Kraftwerke benötigt wird. Die Finanzierung ist von der Risikowahrnehmung der Investoren abhängig, die von Investitionen in erneuerbare Energien und in Entwicklungsländern höhere Renditen erwarten. Das Szenario **Hohe Kapitalkosten MENA** untersucht die Auswirkung von gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten in Höhe von 9 % pro Jahr für Anlagen in der MENA-Region, während für Europa die sonst verwendeten 7 % pro Jahr beibehalten werden. Ungeachtet der Auswirkungen höherer Kapitalkosten in der MENA-Region auf die Attraktivität des Wüstenstroms in Europa bleiben 80 % (847 TWh) des im Verbundenen Szenario angenommen jährlichen Nettoexportumfangs erhalten. Auch wenn die Investitionen in erneuerbare Energien der MENA-Region weiterhin als risikobehaftet eingestuft werden, bleiben also die guten Gründe für eine Netzerweiterung auf die gesamte EUMENA-Region bestehen.

Als Alternativlösungen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiesektor werden oft Kernenergie und CCS<sup>9</sup> genannt. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Wechselwirkungen dieser Technologien mit den erneuerbaren Energien zu untersuchen. Das Szenario **Kernenergie/CCS** kommt zu dem Ergebnis, dass 55 % des gesamten Stromaufkommens aus erneuerbaren Quellen generiert werden und der Import von Wüstenstrom nach Europa in einem Umfang von 301 TWh eine wirtschaftliche Lösung darstellt. Des Weiteren sind in Nordafrika weder die Kernkraft noch die CCS-Technologie kostengünstiger als Strom aus erneuerbaren Energien. Deshalb behält Nordafrika auch in diesem Szenario die Produktion von Strom aus Sonne und Wind bei.

Ungeachtet ihrer begrenzten Auswirkungen auf das System sind die Schlüsse aus den Szenarien mit **Geringen Auswirkungen** von großer Bedeutung: Die Attraktivität der Netzerweiterung auf die gesamte EUMENA-Region und des Wüstenstroms für Europa hängt nicht davon ab, ob die für diese Technologien vorhergesagten Kostensenkungen auch in vollem Maße umsetzbar sind. Der Effekt etwa von Großbatterien zur kostengünstigen täglichen Speicherung ist gering. Im Szenario **Maximale Zusammenarbeit** schließlich wird keinerlei Untergrenze für Selbstversorgungsquoten festgesetzt. Die begrenzten Auswirkungen des Wegfalls dieser Beschränkung zeigen, dass die vorsichtige Haltung vieler EU-Mitgliedstaaten gegenüber Stromimporten den Wert des Wüstenstroms nur geringfügig beeinflusst. Das Szenario **Keine Nationalen Aktionspläne** unterstreicht, dass die aktuelle EU-Politik hinsichtlich der erneuerbaren Energien zwar vom Gesichtspunkt der Systemkosten nicht optimal ist, davon abgesehen mit der Nutzung des Wüstenstroms vereinbar ist.

Angesichts der vielen stichhaltigen Argumente für Wüstenstrom unter allen betrachteten Sensivitäten, stellt sich nun die Frage nach den Maßnahmen, die erforderlich sind, um das Zielbild von Desert Power 2050 in die Tat umzusetzen.

<sup>9</sup> Carbon capture and storage – CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung

# FAZIT: ZEIT FÜR DEN EINSTIEG

Desert Power 2050 weist nach, warum das Ziel einer integrierten, nachhaltigen Stromversorgung für die EUMENA-Region so wertvoll ist.

In Ergänzung dieser langfristigen Strategie entwickelt Dii auch Strategien für einzelne Staaten, die wiederum die Grundlage für konkrete Referenzprojekte bilden. In diesen Länderstudien werden Analysen zu Standorten, Netzen, regulatorischen Rahmenbedingungen, Märkten und sozioökonomischen Aspekten vorgestellt, die für den Erfolg der erneuerbaren Energien in einzelnen Staaten der MENA-Region von entscheidender Bedeutung sind. Dank der langfristigen Perspektive von Desert Power 2050 ist sichergestellt, dass diese kurz- bis mittelfristigen Initiativen zu einer nachhaltigen Stromversorgung in der EUMENA-Region beitragen.

Aus Perspektive des Stromsektors ist das Jahr 2050 nur zwei Investitionszyklen entfernt. Daher bestimmen die heute in der Politik getroffenen Entscheidungen, ob die Richtung hin zu einem nachhaltigen System stimmt. Der zweite Teil der Dii-Studie, **Desert Power 2050: Getting Started** enthält Empfehlungen zu geeigneten Technologien sowie politischen Entscheidungen, die heute zu treffen sind.

Desert Power 2050: Getting Started wird einen genaueren Einblick auf die Technologien und geographische Verteilung der ersten in der Wüste generierten Gigawatt liefern und Schritt für Schritt den Weg hin zu den hundert Gigawatt weisen, von denen in der vorliegenden Studie die Rede ist. Die Autoren werden auch untersuchen, welche Maßnahmen hinsichtlich des Ausbaus der Stromnetze und Übertragungsinfrastruktur zwischen Europa und der MENA-Region notwendig sind. Das Ziel dieser Analyse ist es, Material für auf zehn Jahre angelegte Entwicklungspläne wie den des Verbandes Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) zu liefern.

Weiterhin ist es wichtig zu zeigen, wie diese technischen Voraussetzungen für die Nutzung des Wüstenstroms politisch umgesetzt werden können. Um den Nutzen für die Projektbeteiligten zu gewährleisten, stellt Dii in Desert Power 2050: Getting Started die Auswirkungen verschiedener Förderprogramme über die Zeit dar. Diese quantitative Analyse wird mit einer qualitativen Bewertung der politischen Umsetzbarkeit der Entwürfe für Förderprogramme kombiniert. In Kombination entstehen daraus konkrete und umsetzbare politische Handlungsempfehlungen.

In beiden Teilen von Desert Power 2050 spiegelt sich die Überzeugung von Dii wider, dass es bei Wüstenstrom um weit mehr geht als Strom. Zu diesem Zweck stellt Desert Power 2050: Getting Started die Ergebnisse der sozioökonomischen Analyse von Dii vor. Wüstenstrom ermöglicht nicht nur eine erschwingliche und stabile Energieversorgung, die der Schlüssel zum Wirtschaftswachstum ist. Bis 2050 können außerdem bis zu einer Million Arbeitsplätze geschaffen werden. Dii arbeitet daher auch daran, den Einfluss des Wüstenstroms auf Bruttoinlandsprodukt und Arbeitsmarkt zu analysieren, um diesen mit politischen Entscheidern transparent diskutieren zu können.

Um das Ziel einer nachhaltigen Stromversorgung in der gesamten EUMENA-Region zu erreichen, sind intensive Anstrengungen aller beteiligten Länder erforderlich. Wir können uns heute dafür entscheiden, den ersten Schritt in Richtung eines gemeinsamen Marktes für erneuerbare Energien in der EUMENA-Region zu gehen. Es wäre der erste Schritt, um die Vision, in der sich die gesamte EUMENA-Region und ihre zukünftigen Generationen selbst mit nachhaltiger und bezahlbarer Energie versorgen, Wirklichkeit werden zu lassen.



Abb. 14: Strategiepyramide der Dii

Deutsch 06/2012

Dii Netzwerk

