

Solarstromimporte aus der Wüste

- **Wo gibt es dazu Informationen vom DLR?**

www.dlr.de/tt/trans-csp

www.dlr.de/tt/med-csp

www.dlr.de/tt/csp-resources

- **Wie funktioniert ein solarthermisches Kraftwerk?**

Genau wie ein Kohle-Dampfkraftwerk, nur wird anstatt der Kohle konzentrierte Sonnenenergie zur Dampferzeugung genutzt. Zu diesem Zweck werden große Spiegel der Sonne nachgeführt, um das Sonnenlicht wie in einem Brennglas zu bündeln. Ein großer Vorteil dieser Technologie ist, dass man einen Teil der Sonnenwärme tagsüber in großen Wärmespeichern sammeln und erst nachts oder ganz gezielt bei Lastspitzen an den Dampfkreislauf abgeben kann. Damit kann erneuerbare Ausgleichs- und Regelenergie nach Bedarf im elektrischen Netz bereitgestellt werden.

- **Sind Solarstromimporte nach Europa überhaupt notwendig? Werden sie die heimischen erneuerbaren Energiequellen verdrängen?**

Die Studie TRANS-CSP aus dem Jahr 2006 beschreibt den Übergang zu einer sicheren, kostengünstigen und umweltkompatiblen – kurz: nachhaltigen – Stromversorgung Europas zwischen dem Jahr 2000 und dem Jahr 2050:

Ressourcenanteile im europäischen Strommix des TRANS-CSP Szenarios						
Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Europäische erneuerbare Quellen	2%	8%	20%	27%	35%	46%
Wasserkraft	18%	18%	17%	16%	17%	18%
Erdöl und Erdgas	21%	24%	22%	23%	18%	9%
Kohlen	30%	28%	26%	23%	17%	9%
Atomenergie	29%	22%	14%	6%	1%	0%
Solarstromimporte	0%	0%	2%	5%	11%	17%
Gesamt	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Der Übergang zu Nachhaltigkeit basiert vorrangig auf heimischen, erneuerbaren Energiequellen. Da der Großteil der heimischen Quellen fluktuierender Natur ist (PV und Windkraft) wird kurzfristig Ausgleichs- und Regelkapazität auf der Basis schnell regelbarer Gaskraftwerke erforderlich, die erst mittel- und langfristig durch gut regelbare Solarstromimporte und heimische, regelbare Quellen wie Biomasse und Geothermie ersetzt

werden kann. Da die heimischen, regelbaren Quellen begrenzt sind, ist der Import von gut speicher- und regelbarem Solarstrom eine ideale Ergänzung zum heimischen Energiemix.

➤ ***Ist der Wasserverbrauch für die Kühlung solarthermischer Kraftwerke und die Reinigung der Spiegel ein Problem für die trockenen Standortländer?***

Solarthermische Kraftwerke können mit Luft gekühlt werden und es gibt Reinigungsverfahren mit sehr geringem Wasserverbrauch. Dort wo die Standortbedingungen es erlauben, kommen Verdampfungskühltürme oder Meerwasserkühlung zum Einsatz, weil damit höhere Wirkungsgrade als bei Luftkühlung erreicht werden.

➤ ***Ist der Flächenverbrauch solarthermischer Kraftwerke nicht riesig und Umwelt belastend?***

Bis 2050 könnten laut TRANS-CSP Studie etwa 17 % des europäischen Strombedarfs durch Solarimporte gedeckt werden. Dafür würden 2500 qkm Wüstenfläche für die Solarkraftwerke und 3500 qkm für die HGÜ-Leitungen benötigt, verteilt über die gesamte Region EU-MENA (Europe – Middle East – North Africa). Die Fläche von insgesamt 6000 qkm entspräche der Fläche des Nasser Stausees bei Assuan in Ägypten. Dieser liefert aber weniger als 3 Gigawatt (GW) elektrische Leistung, während die Solarkraftwerke 100 GW liefern würden. Es handelt sich hierbei tatsächlich um die kompakteste und ergiebigste erneuerbare Energiequelle weltweit. Die MENA Region hat eine Fläche von 12 Millionen Quadratkilometern, davon werden nur 2500 qkm, also die am besten geeigneten 0,02%, für die Exportkraftwerke gebraucht.

➤ ***Können die Spiegel unter den harten Bedingungen in der Wüste auch Sandstürme überstehen?***

Solarthermische Kraftwerke arbeiten seit über 20 Jahren in der Mojave Wüste in Kalifornien. Sie haben Hagel-, Sandstürme und Zyklone überstanden. Bei Gefahr gibt es eine Schutzposition der beweglichen Spiegel. Was trotzdem zu Bruch geht - etwa 0,4% pro Jahr - wird ersetzt und ist Teil der Betriebskosten. Abnutzungserscheinungen der Spiegel sind in Kramer Junction nach 20 Jahren noch nicht relevant. Die Kraftwerke arbeiten heute aufgrund verbesserter Betriebs- und Wartungsmethoden mit höherem Wirkungsgrad als bei ihrer Inbetriebnahme.

➤ ***Ersetzen wir mit Solarstromimporten aus arabischen Ländern nicht Abhängigkeiten wie z.B. die von Erdgas aus der Ukraine durch neue, ggf. noch kritischere Abhängigkeiten?***

Nein, sondern wir erweitern die Zahl der Anbieter und verringern damit das Versorgungsrisiko, da die Anzahl der Ausweichmöglichkeiten mit jeder neuen Handelsverbindung steigt.

➤ ***Ist ein Großprojekt dieser Art nicht entwicklungspolitisch bedenklich und eine kleinteilige dezentrale Versorgung viel besser?***

Solarstromimporte werden in vielen Projekten, verteilt über die gesamte Region realisiert werden, nicht in einem einzigen Mega-Projekt. Die Stromerzeugung aus heimischen Quellen wird jederzeit in allen Ländern den Vorrang haben. In den DLR-Szenarien stammen bis 2050 etwa 65% des europäischen Stroms aus heimischen erneuerbaren Quellen und 17% aus Solarstromimporten. Als erneuerbare, aber gut regelbare Energiequelle ergänzen Solarstromimporte den heimischen Mix aus überwiegend fluktuierenden Energiequellen ideal. Dezentrale Strukturen von Skandinavien bis Nordafrika erfordern eine leistungsfähige Vernetzung. Die MENA Länder werden langfristig ihre Versorgung ebenso wie Europa auf erneuerbare Quellen ausrichten. Solarstromexporte sind eine sinnvolle Einkommensquelle für diese Länder.

➤ ***Stabilisiert so ein Großprojekt nicht die alten monopolistischen Strukturen der Großkonzerne und steht der Entwicklung der dezentralen erneuerbaren Energiequellen damit im Weg?***

Großkonzerne vom Klimaschutz auszuschließen ist kein wirklich sinnvolles Ziel. Monopolistische Strukturen sind für das Projekt nicht zwingend erforderlich. Die nachhaltige Versorgung der weltweit schnell wachsenden Großstädte ist mit kleinteiliger, dezentraler Versorgung und Effizienz allein nicht erreichbar. Vielmehr geht es um eine sinnvolle und notwendige Ergänzung derselben. Hier findet die Großindustrie ein sinnvolles Einsatzgebiet.

➤ ***Erneuerbare Energiequellen werden auch bei uns immer billiger. Sind Solarstromimporte ab 2020 nicht überflüssig und teurer?***

Solarthermische Kraftwerke können dank ihrer thermischen Energiespeicher an Standorten in Nordafrika rund um die Uhr und über das ganze Jahr Strom nach Bedarf liefern, sei es zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen oder zur Deckung der Grundlast. Diese Regelbarkeit macht Solarstromimporte zu einer wertvolleren Energiequelle, die durchaus höhere Preise als z.B. fluktuierende Quellen wie Wind- und PV-Generatoren erzielen kann. Unsere heimischen regelbaren und erneuerbaren Quellen Geothermie, Biomasse und Wasserkraft reichen allein leider nicht aus, um die gesamte notwendige Ausgleichs- und Regelenergie in dem gebotenen Zeitrahmen kostengünstig bereitzustellen.

➤ ***Sind CO₂-Zertifikate für in MENA erzeugten Solarstrom nicht viel einfacher und sinnvoller zu realisieren als Stromkabel zur Fernübertragung?***

Der Stromverbrauch in MENA wird im Jahr 2050 ebenso hoch sein wie der europäische, der Eigenbedarf wächst dort sehr schnell. Man kann den Ausbau erneuerbarer Energien für den Eigenbedarf in MENA ggf. durch Zertifikathandel verstärken, aber man ersetzt damit nicht die notwendigen Solarstromimporte nach Europa. Klimawandel lässt sich letztendlich nur

durch die tatsächliche physische Vermeidung von CO₂-Emissionen stoppen. Wir brauchen gut regelbaren Solarstrom für MENA und für Europa.

➤ **Werden Solarstromimporte überhaupt noch gebraucht, wenn Elektroautos in Zukunft das solare Speicherproblem automatisch lösen?**

Elektroautos sind in erster Linie zusätzliche Stromverbraucher, für die zusätzliche nachhaltige Energiequellen erschlossen werden müssen. Sie verstärken damit die Nachfrage nach heimischen Quellen und nach Solarstromimporten. Sie stellen neben ihrer großen Bedeutung für den Verkehrssektor eine wichtige Option für das elektrische Lastmanagement dar, aber können nicht die Erfordernisse der saisonalen Speicherung von Elektrizität erfüllen, die ein Verzicht auf Solarimporte zur Folge hätte. Export-Solarkraftwerke müssen nicht saisonal speichern, weil die Sonnenenergie in MENA relativ gleichmäßig über das ganze Jahr verfügbar ist.

➤ **Ist die Abhängigkeit von politisch instabilen Ländern in MENA nicht sehr gefährlich?**

Konflikte zwischen Parteien, die keine gegenseitigen Abhängigkeiten haben, sind wesentlich wahrscheinlicher als zwischen solchen mit Interdependenzen. Südlich des Mittelmeers wächst eine Region heran, die 2050 ebenso viele Einwohner und ähnliche Wirtschaftskraft und damit ähnlichen Energiebedarf haben wird wie Europa. Eine Abschottung von dieser Region wäre für Europa wesentlich gefährlicher als eine gemeinsame Anstrengung in Richtung nachhaltiger Energieversorgung. Sicherheitspolitisch ist weltweit der Paradigmenwechsel zu vollziehen, die global zunehmenden Konflikte um begrenzte Ressourcen durch die gemeinsame internationale Erschließung erneuerbarer Ressourcen zu ersetzen.

➤ **Sind Stromleitungen über tausende Kilometer nicht viel zu teuer und schwer durchsetzbar?**

Die elektrischen Verluste von HGÜ-Leitungen betragen derzeit 4-5% pro 1000 km Länge und verursachen dadurch der ursprünglichen Energiequelle proportionale Kosten. Diese zuzüglich Kapital- und Betriebskosten der Leitungen machen einen Betrag von je nach Länge der Leitung etwa 1-2 c/kWh zusätzlich zu den Erzeugungskosten aus. Wir rechnen damit dass diese zwischen 2020 und 2030 niedriger werden als die Kosten konventioneller Stromerzeugungstechnologien, die durch den Anstieg von Brennstoffpreisen und Umweltkosten immer weiter ansteigen. Planungs- und Genehmigungszeiten liegen im Ermessen der beteiligten Länder. Fließt anstelle von Kohle- oder Atomstrom Solarstrom durch eine Leitung, ist deren Notwendigkeit den Bürgern einfacher zu vermitteln. Es ist ähnlich wie bei Autobahnen: natürlich handelt es sich um einen nennenswerten Eingriff in die Umwelt, der nur dann gerechtfertigt ist, wenn auf der anderen Seite nennenswerte Entlastungen und Vorteile entstehen. Dies ist gegeben.

➤ ***Ist es nicht viel besser unsere heimischen Quellen zu nutzen anstatt die Wüste voll zu pflastern?***

Pro Quadratkilometer Landfläche kann die folgende Strommenge pro Jahr produziert werden:

Biomassekraftwerk	1-2	GWh/km ² /a	(Mitteleuropa)
Geothermiekraftwerk	1-2	GWh/km ² /a	(Türkei, Italien, Elsas)
Windpark	5-50	GWh/km ² /a	(Küste und Offshore)
Wasserkraftwerk	5-50	GWh/km ² /a	(Norwegen, Alpen)
Photovoltaik	10-100	GWh/km ² /a	(Südeuropa)
Solarthermisches Kraftwerk	100-250	GWh/km ² /a	(Nordafrika)

Die besten typischen Standorte sind in der Tabelle genannt, für sie gelten jeweils die höheren Werte. Eine Gigawattstunde pro Jahr (GWh/a) bedeutet eine Million Kilowattstunden pro Jahr. Man sieht deutlich, dass Wüstenstrom die kompakteste und nebenbei auch die größte verfügbare Energiequelle der Menschheit ist. Die Gesamtpotenziale weltweit in den Wüsten und Halbwüsten wurden vom DLR auf 3.000.000 Terawattstunden pro Jahr ermittelt (TWh = Mrd. kWh). Das ist ein Vielfaches des derzeitigen globalen Stromverbrauchs von etwa 18.000 TWh/a.

➤ ***Wäre die Fernübertragung von Wüstenstrom durch Wasserstoff nicht viel besser?***

Im Prinzip wäre Wasserstoff als speicherbarer Energieträger vorteilhaft gegenüber Strom. Bei der Umwandlung von Solarstrom in Wasserstoff und bei der Rückwandlung von Wasserstoff in Strom zur Netzeinspeisung würden allerdings 50% der ursprünglich eingesetzten Energie verloren gehen, bei der HGÜ nur 10-15%. Hinzu kämen Pumpverluste, um das Wasserstoff-Gas nach Europa zu transportieren. Wasserstoff müsste in der Wüste aus Wasser erzeugt werden, wo es keines gibt. Wenn Wasserstoff gebraucht wird ist es deshalb sinnvoller, Solarstrom mit niedrigen Verlusten per HGÜ nach Europa zu transportieren und dort Wasserstoff zu erzeugen.

➤ ***Könnte ein terroristischer Anschlag auf die Leitungen oder Kraftwerke schlagartig die europäische Stromversorgung lahmlegen?***

Solarstromimporte aus der gesamten MENA Region könnten laut Studie bis 2050 etwa 17% der europäischen Stromversorgung abdecken. Der zukünftige Energiemix ist - wie heute auch - auf etwa 125% Verfügbarkeit ausgelegt, beinhaltet also selbst bei 100% Spitzenlast noch 25% Reservekapazität für Notfälle. Ausreichend Energie wäre also auch bei einem sehr unwahrscheinlichen gleichzeitigen Totalausfall aller Solarkraftwerke und HGÜ-Leitungen noch verfügbar, allerdings dann zum großen Teil aus gespeicherten fossilen Brennstoffen

und Reservekraftwerken. Ein starker EU-MENA Verbund mit HGÜ Stromautobahnen könnte größere Angriffe dieser Art verkraften als das heutige Wechselstromnetz.

➤ ***Was läuft eigentlich dauernd schief, warum ist das nicht alles längst in die Realität umgesetzt?***

Es gibt einen Fehler in unseren Denkweisen, den wir dringend beheben müssen: Wir sehen nicht den fundamentalen Unterschied zwischen Energiequellen und Energiespeichern! Nur erneuerbare Energiequellen sind in diesem Sinne wirkliche Quellen. Begrenzte, fossile Energieträger wie Kohle, Öl und Gas sind dagegen hervorragende, sehr wertvolle Energiespeicher. Wir halten beide Ressourcen für gleichwertig und austauschbar. Als Folge dieses gefährlichen Irrtums verzichten wir bisher weitgehend auf die Nutzung der globalen Energiequellen und leeren stattdessen weltweit die Energiespeicher. Wir müssen lernen die erneuerbaren Quellen umfassend zu nutzen, und die fossilen Speicher nur dann vorübergehend zur Überbrückung einzusetzen, wenn die Quellen mal nicht genug liefern. So und nur so ist Nachhaltigkeit und Klimaschutz erreichbar.

➤ ***Was werden Solarstromimporte im Jahr 2020 denn nun wirklich kosten? Die Industrie behauptet 16 c/kWh, DLR behauptet 6,5 c/kWh.***

Die Kosten hängen von den Produktionsstandorten und der Länge der Leitungen ab. Genaue Zahlen für konkrete Projekte müssen noch ermittelt werden. Die oben genannten Angaben zwischen 6,5 c/kWh (in konstantem Geldwert des Jahres 2000) aus der DLR-Studie und 16 c/kWh vom Industrieverband ESTELA SOLAR sind Vorabschätzungen und gar nicht unbedingt widersprüchlich, da sie sich auf unterschiedliche Marktsegmente beziehen: Die Industrie rechnet damit, vorrangig Spitzen- und Mittellaststrom bei etwa 2000 bis 4000 Volllaststunden Auslastung im Jahr zu liefern. Das ist heutiger Stand der Technik. Ausgleichs- und Regelernergie erzielt höhere Erlöse als Grundlaststrom und kostet auch mehr, aufgrund der geringen Auslastung der Turbinen. DLR rechnet in der TRANS-CSP Studie dagegen nach 2020 schon mit nennenswerten Solarstromanteilen an der Grundlast bei 5000 bis 7000 Volllaststunden, da auf diese Weise erheblich mehr Kohlendioxid vermieden werden kann. Grundlaststrom erzielt geringere Erlöse und kostet aufgrund der hohen Auslastung der Turbinen auch deutlich weniger.

➤ ***Warum sollten arabische Länder, die zum Teil über riesige Gas- und Ölvorkommen verfügen, an Solarstromexporten interessiert sein?***

Öl und Gas kann man nicht für den Eigenbedarf verbrennen und gleichzeitig verkaufen. Als der Ölpreis im Sommer 2008 bei 150 Dollar pro Barrel lag, war er etwa doppelt so hoch wie die Kosten für Wärme aus einem konzentrierenden Solarkollektorfeld. Gas- und Ölförderländer können so ihre wertvollen fossilen Energieträger schonen. Beim Klimaschutz geht es vor allem darum, die Verbrennung fossiler Energieträger zu vermeiden. Das heißt zwingend, den globalen Verbrauch und damit die Förderung und den Export von Kohle, Öl

und Gas ebenfalls zu verringern. Solarstromexporte eröffnen für viele Förder- und Exportländer von Öl, Gas und Kohle eine echte wirtschaftliche Alternative. Zunehmende Trinkwasserverknappung in Nordafrika, dem Mittleren Osten und weltweit wird mittelfristig riesige zusätzliche Energiemengen für die Meerwasserentsalzung erfordern. Diese können nur durch solarthermische Kraftwerke sicher, kostengünstig und umweltfreundlich bereitgestellt werden.

➤ ***Windenergie ist derzeit viel billiger als Solarstrom. Macht es nicht viel mehr Sinn, Windenergie aus der Sahara zu importieren?***

Man muss Stromimporte aus Windkraft oder auch Photovoltaik nicht ausschließen, aber sie haben deutliche Nachteile gegenüber Importen aus solarthermischen Kraftwerken. Die Windenergiepotenziale in der Sahara, vor allem an den Küsten des Atlantiks und des Roten Meers, sind in der Tat sehr groß und kostengünstig, aber nicht nach Bedarf regelbar und deshalb auch weniger wertvoll als Solarstrom. Sie sind nicht annähernd so groß wie die verfügbaren Solarenergiepotenziale, so dass sie weitgehend als kostengünstige Energiequelle für den lokalen Eigenbedarf in MENA gebraucht werden. Fluktuierenden Windstrom in großen Mengen in eine Region zu exportieren, die selbst über ausreichend fluktuierende, aber über zu wenig regelbare Energiequellen verfügt, wäre aus Sicht der europäischen Stromkunden und Energieversorger kaum wünschenswert. Die HGÜ-Leitungen würden nur zu 50% ihrer Kapazität ausgelastet und ihr Betrieb damit teurer, und die erreichbaren zeitlichen Ausgleichseffekte wären nicht annähernd so groß wie beim gezielten Import von Regelenergie aus solarthermischen Kraftwerken. Dasselbe gilt auch für die Photovoltaik als Exportstromquelle, die Auslastung der Leitungen wäre dann sogar nur 25%. Solarthermische Kraftwerke können dagegen im Zusammenspiel mit unseren heimischen Quellen sowohl die benötigte Regelleistung als auch Grundlast für eine hohe Auslastung der HGÜ-Leitungen liefern. Im TRANS-CSP Szenario liegt diese bei anfangs 60% im Jahr 2020 und steigt dann bis 2050 auf 80%.



Institut für Technische Thermodynamik

Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

Juni 2009