

Rettung des Weltklimas durch

Wie Autofahrer dazu beitragen können den Klimawandel aufzuhalten

Von Gerhard Herres



ZUSAMMENFASSUNG

In den Wüsten dieser Erde lässt sich mit Hilfe künstlicher Bewässerung aus Purgiernuss, Ölpalmen, Rizinusbohnen, oder anderen Ölpflanzen genug Öl gewinnen, um den Ölbedarf der ganzen Welt zu decken, und gleichzeitig mehr CO₂ binden als parallel durch Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas derzeit freigesetzt wird. Eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes um 50% bis 2050 (auf der UN-Klimakonferenz in Bali 2007 beschlossen) bedeutet ja immer noch eine 2,5-fach höhere CO₂-Produktion als die Biosphäre binden kann¹⁾. Solange der CO₂-Pegel aber steigt, werden wir mit den befürchteten Klimafolgen zu kämpfen haben. Eine Verlangsamung des CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre reicht also nicht, wir brauchen eine stärkere CO₂-Bindung, als CO₂ durch Verbrennung gleichzeitig freigesetzt wird. Durch den gezielten Anbau von Energiepflanzen in den Wüstenzonen unserer Erde kann der CO₂-Pegel in der Atmosphäre innerhalb einiger Jahrzehnte auf den Stand von 1950 oder sogar früher herabgesetzt werden. Das Wasser für den Anbau der energiereichen Pflanzen wird durch Meerwasserentsalzungsanlagen mit der Abwärme großer solarthermischer Kraftwerke gewonnen und mittels unterirdischer Bewässerungsschläuche direkt an den Wurzeln der Pflanzen verteilt.

Nur ungefähr 10% der weltweit 36 Millionen km² Wüstenfläche werden dafür benötigt. Das Projekt kann in voller Ausbaustufe 190 Mill. Menschen, besonders in Entwicklungsländern, ein Einkommen von ca 20 € pro Tag verschaffen und wird die Industrieländer keinen Cent Entwicklungshilfe kosten. Es ergeben sich effektive Erzeugungskosten von ca 0,43 €/Liter Öl, die schon bei einem Rohölpreis von 97 US\$/bl konkurrenzfähig sind; bei Berücksichtigung der CO₂-Zertifikate, die an CO₂-„Einsammler“ ausbezahlt werden sollten, wäre der Verkaufspreis entsprechend niedriger. Aber dieser mit dem Rohöl konkurrierende Preis ist nur zu erreichen, wenn die Investitionen in solarthermische Kraftwerke, Meerwasserentsalzungsanlagen, Bewässerungstechnik und weiterverarbeitende Prozesse nicht durch Kapitalzinsen unnötig verteuert werden. In solchen besonders kapitalintensiven Technologien beträgt der Zinsanteil im Verkaufspreis häufig mehr als 50%.

Wenn also der Zins die Produktion von Pflanzenöl in der Wüste auf das Doppelte verteuert, wird diese Lösung des zu erwartenden Energiemangels und die Verringerung des CO₂ in der Atmosphäre nicht zu finanzieren sein. Wenn der CO₂-Pegel aber unvermindert weitersteigt, werden die Veränderungen des Klimas sehr viel höhere Kosten verursachen, als die Investitionen in die hier beschriebene Technik.

Ölpflanzenanbau in der Wüste

GLIEDERUNG

1. Einleitung
2. Vorstellung des Konzepts
3. Vorteile einer weltweiten Umsetzung
4. Berechnung der Kosten der Ölproduktion
5. Kostenvergleich mit Mineralölförderung
6. Finanzierung

1. Einleitung

Jedes Jahr wächst der „Energiehunger“ der Weltbevölkerung immens und die Nachfrage nach einer ausreichenden und sicheren Energieversorgung steigt stetig. Der weitaus größte Anteil der Energieerzeugung basiert heute auf der Verbrennung der fossilen Energieträger Kohle, Mineralöl und Gas. Die Unsicherheiten der künftigen Energieversorgung auf Grund der zunehmenden Verknappung der fossilen Vorräte, somit die steigende Gefahr für Mensch und Umwelt durch die Verbrennungsprodukte, nähren die Sorge um eine gesicherte Zukunft. Durch den Einsatz moderner Technologie können zwar Wirkungsgrade und Umweltverträglichkeit gesteigert und dadurch Emissionen reduziert werden, völlig verhindern lassen sich diese so jedoch nicht. Der Klimawandel und die Sorge um die globale Erderwärmung spielen neben der Versorgungssicherheit eine immer stärker werdende Rolle. Ständig steigende Energiepreise und ein zusehends anfälligeres Ökosystem verdeutlichen die Notwendigkeit von Alternativen zu fossilen Brennstoffen. Vor dem Hintergrund der globalen Anstrengungen zur Reduzierung der anthropogenen Treibhausgasemissionen ist neben der Energie-Einsparung der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Energieproduktion das wichtigste Element. Die erneuerbaren Energien müssen die Basis für die zukünftige Energieversorgung bilden.

Die Erzeugung von Energie aus Sonne, Wind, Wasser und Biomasse gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die kombinierte Nutzung der Sonnenenergie mit dem Anbau von Energiepflanzen kann in diesem Energiemix eine maßgebliche Rolle übernehmen. Seit einiger Zeit titeln Zeitschriften rhetorische Kunstgriffe wie „Voller Tank oder voller Teller“, welche wohl den Eindruck einer Alternativlosigkeit erwecken sollen^{2,3}. Die Frage darf doch nicht lauten: „Wem nehme ich das Essen weg, damit ich Auto fahren kann?“ Sie muss heißen: „Wo finde ich Agrarflächen für den Anbau pflanzlicher Energieträger, ohne in Konkurrenz zu Lebensmitteln oder schützenswertem Urwald zu treten?“ Eine funktionierende Alternative beschrieb aber bereits Ernst Schimpff⁴ in der Zeitschrift Humane Wirtschaft (Nov/Dez. 2005), in der Pflanzenöl als zukünftiger Treibstoff diskutiert wurde. Kombiniert man diese Idee mit dem DESERTEC-Projekt⁵ der TREC (Trans-Mediterranean-Energy-Corporation), die alle Anrainerstaa-

ten des Mittelmeers einbezieht, zeigt sich, wie man mit Hilfe von Sonnenenergie nicht nur elektrischen Strom, sondern auch noch Trinkwasser gewinnen kann. Die Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat das schon durchgerechnet und unter dem Namen AQUASOL⁶ veröffentlicht. Bei einem entsprechenden Ausbau der solaren Kraftwerke und Entsalzungsanlagen steht dann auch genügend Wasser zur Verfügung um energiereiche Pflanzen anzubauen. Das Problem der Biotreibstoffe ist doch, dass heute bevorzugt intakte Agrarflächen mit Energieträgern bebaut werden, anstatt wie zuvor mit Lebensmittelpflanzen. Entweder wird also aus Nahrungsmitteln Treibstoff gewonnen, wie in USA aus Mais Ethanol – oder es werden Flächen der Nahrungsmittelproduktion umgewidmet für die Produktion von Palmöl, wie in Afrika, wo Multinationale Agrarkonzerne die Flächen aufkaufen und den Einheimischen die Nahrungsmittelproduktion verknappen. So wurden in Tansania bereits fast 641170 ha fruchtbares Ackerland für den Anbau von Energiepflanzen freigegeben³. Würden auf diesen Flächen Mais angebaut, könnten dort je nach Boden, Wetter und Düngung 1200- 5000 kg/ha wachsen. Bedenkt man, dass 200 kg Mais einen Menschen ein ganzes Jahr ernähren kann, aber nur für die Produktion von 50 Litern Bioethanol reicht, sieht man wie vielen Menschen man die Nahrung nimmt.

Die Preise für Lebensmittel haben sich von 2000 bis 2008 schon verdoppelt, die Preise für Pflanzenöl (Soja-, Raps-, Sonnenblumen- und Palmöl) sind auf das 3,5-fache gestiegen. In Südostasien, Brasilien und Afrika wird Urwald gerodet, um Palmöl oder Zuckerrohr anzubauen. Beim Roden wird soviel CO₂ freigesetzt, dass es mehr als 80 Jahre dauert, bis diese Menge von den Pflanzen wieder eingesammelt ist⁷. Auch die Flächen in der EU, die wegen Überproduktion vor einigen Jahren stillgelegt wurden, sind wieder unter dem Pflug zur Produktion von Rapsöl, Sonnenblumenöl, Maissilage für Biogas oder andere Biomasse zum Verbrennen⁸. Aber selbst wenn man die kompletten Ackerflächen in Deutschland zur Treibstoffproduktion einsetzen würde, erhielte man nur ca 18% der in Deutschland benötigten Benzin- und Dieselmengen⁹. Unser Energiehunger ist eben immer noch zu groß. Dabei ist abzusehen, dass die in 10 Jahren geförderte Rohölmengen wesentlich geringer ist als heute¹⁰. Von den derzeit 50 Mill. PKW in Deutschland >

werden zu diesem Zeitpunkt vielleicht eine Mill. mit Strom fahren¹³). Dies ist eine Frage des politischen Willens. Für die übrigen PKW und LKW, Schiffe und Flugzeuge brauchen wir einen Ersatztreibstoff. Es ist kaum vorstellbar, dass viele Deutsche bereit wären zu hungern, um Auto zu fahren. Die Mehrheit der Bevölkerung ist sich aber vermutlich nicht bewusst, dass dann irgendein Afrikaner hungern muss, weil die importierten Biotreibstoffe die Lebensmittel in den Entwicklungsländern verteuern.

2. Vorstellung des Konzepts

Die Lösung liegt in der Nutzung der überreichlich vorhandenen Sonnenenergie in solchen Ländern, die freie, unbebaute Flächen und hohe Strahlungsintensität besitzen. Das nachfolgend beschriebene Projekt besteht aus 4 Schritten:

1. **Solarthermische Anlagen** zur Erzeugung elektrischer Energie zu bauen, die ihre Abwärme weitergeben an
2. **Meerwasserentsalzungsanlagen**, deren Produkt nicht nur zum Trinken, sondern zur
3. **Bewässerung** von Energiepflanzen und Nahrungsmitteln dient, um dann
4. **pflanzliche Energieträger** anzubauen, ihre Produkte zu ernten und weiterzuverarbeiten.

Im ersten Schritt wird mit konzentrierenden Solarkollektoren (z.B. Parabolrinnen oder Fresnel-Kollektoren) das Sonnenlicht so stark gebündelt, dass Temperaturen von ca 400°C erreicht werden. Damit kann in einem Kraftwerk vom Typ ANDASOL 1 (es steht in Andalusien, bei Granada)¹²) im Laufe eines Tages 15,5 Stunden lang eine elektrische Leistung von 50 MW gewonnen werden. Dafür werden dort auf 2 km² Fläche Spiegel mit 520.000 m² eingesetzt. Ein Teil der eingesammelten thermischen Sonnenenergie wird in Salztanks als Wärme gespeichert und kann so Energie für 7,5 h Volllastbetrieb nach Sonnenuntergang bereitstellen. Man könnte diese Wärme auf 15 Stunden Teillast verteilen, denn der Bedarf ist nachts geringer. Würde man die Kollektorenfläche um 55% vergrößern, könnte das Kraftwerk 24 h/d die volle Leistung von 50 MW liefern, falls gewünscht. Von der zugeführten Wärme (143 MW) kann das Kraftwerk aber nur ca 35% in elektrische Leistung umwandeln. Der restliche Teil der Energie, ca 93 MW, ist Abwärme. Der Wirkungsgrad lässt sich auch nicht beliebig steigern, da die maximale Temperatur des Wärmeträgeröls nicht über 390°C erhöht werden darf, es zersetzt sich sonst¹³). Der elektrische Strom, der nicht im Land gebraucht wird, kann mittels Hochspannungsgleichstromübertragung mit geringen Verlusten von nur 3%/1000km nach Europa transportiert werden⁵).

Im zweiten Schritt wird mit der anfallenden Abwärme des Kraftwerkes in Meerwasserentsalzungsanlagen Süßwasser erzeugt, dessen Salzgehalt so weit reduziert ist, dass man es zur landwirtschaftlichen Bewässerung nutzen kann.

Mit modernen Verfahren, z.B. EasyMED (Multi-Effekt-Destillation) lässt sich aus den 93 MW Abwärme eines solchen solarthermischen Kraftwerks etwa 50000 m³/Tag Süßwasser erzeugen (44,5 kWh/m³ Süßwasser).

Im dritten Schritt lässt sich bei der Anwendung von intelligenten Bewässerungsverfahren, z.B. unterirdischer Tröpfchenbewässerung (SIS=Subsoil-Irrigation-System), mit diesem Wasser eine Fläche von ca 45 km² bewässern. (Annahme: 400 Liter/(m² Jahr)) Gegenüber einer Beregnung verbraucht eine solche Bewässerung nur 20% – 30% der Wassermenge¹⁵).

Im vierten Schritt werden auf den bewässerten Flächen im Mischfruchtssystem Pflanzen zur Nahrungsmittelerzeugung neben Energiepflanzen, wie Rizinusbohne (Castorbohne) oder Purgiernuss (Jatropha curcas), angebaut. Diese erzeugen Samen mit einem Ölgehalt von 35% und mehr. Neueste Züchtungen des Wolfmilchgewächses Purgiernuss, ergeben einen Ertrag von annähernd 10.000 Litern/ha im Jahr¹⁶). Zur Bewirtschaftung der bewässerten Flächen benötigt man für Jatropha etwa 12 – 20 Arbeiter pro km². Der Anbau von Nahrungsmitteln ist arbeitsintensiver. Da die Arbeiter, die die Pflanzen anbauen, ernten und das Öl auspressen, natürlich auf dem Gelände der Plantage leben sollen, muss ein Teil der Fläche für den Anbau von Nahrungspflanzen (1 Arbeiter pro ha) reserviert werden. Um die ca 1800 - 2000 Arbeiter und ihre Familien (x2,5) zu ernähren, werden wiederum ungefähr 8 km² für die Nahrungsmittelproduktion gebraucht¹⁷). Auf den verbleibenden 38 km² können dann Energiepflanzen angebaut werden. Der Wasserbedarf für Trinken und Waschen beträgt ca 5000 · 60 Liter/d = 300 m³/d, was neben dem Bewässerungsbedarf nicht besonders auffällt. Es sind nur 0,6% der produzierten Süßwassermenge. Zusätzlich zum erzeugten Strom lassen sich also mit der Abwärme des Kraftwerks, über den Umweg der Entsalzungsanlagen und der Bewässerung der ursprünglich trockenen, brachliegenden Flächen, durch Anbau von Energiepflanzen ca 19 – 38 Millionen Liter Jatrophaöl erzeugen. Für die Erzeugung des Pflanzenöls und der Nahrung werden pro Jahr 18,2 Mill. m³ Wasser benötigt. Dem stehen ca 14,2 Mill. € Kosten gegenüber (s.u.), wobei die Wasserkosten einen Anteil von etwa 54% ausmachen, (ohne Zins). Die Energiepflanzen bilden außer dem Öl oder Zucker auch Wurzeln, Stamm, Äste und Blätter, die ein Vielfaches an CO₂ binden. Es werden in einem Jahr ca 44 · 10¹² kg CO₂ im Holz gebunden, während 10,4 · 10¹² kg bei der Verbrennung des Öls wieder frei werden, die im Jahr zuvor in der Frucht gebunden wurden. Das würde aber bedeuten, dass in einem Jahr ungefähr die 1,5-fache CO₂-Menge festgelegt wird, die 2006 insgesamt freigesetzt wurde. Erst dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, sowohl den zukünftigen Energiebedarf der Entwicklungsländer zu decken, als auch gleichzeitig die Klimakatastrophe abzuwenden. Dabei muss man noch berücksichtigen, dass die heute zusätzlich freigesetzte CO₂-Menge durch Verbren-

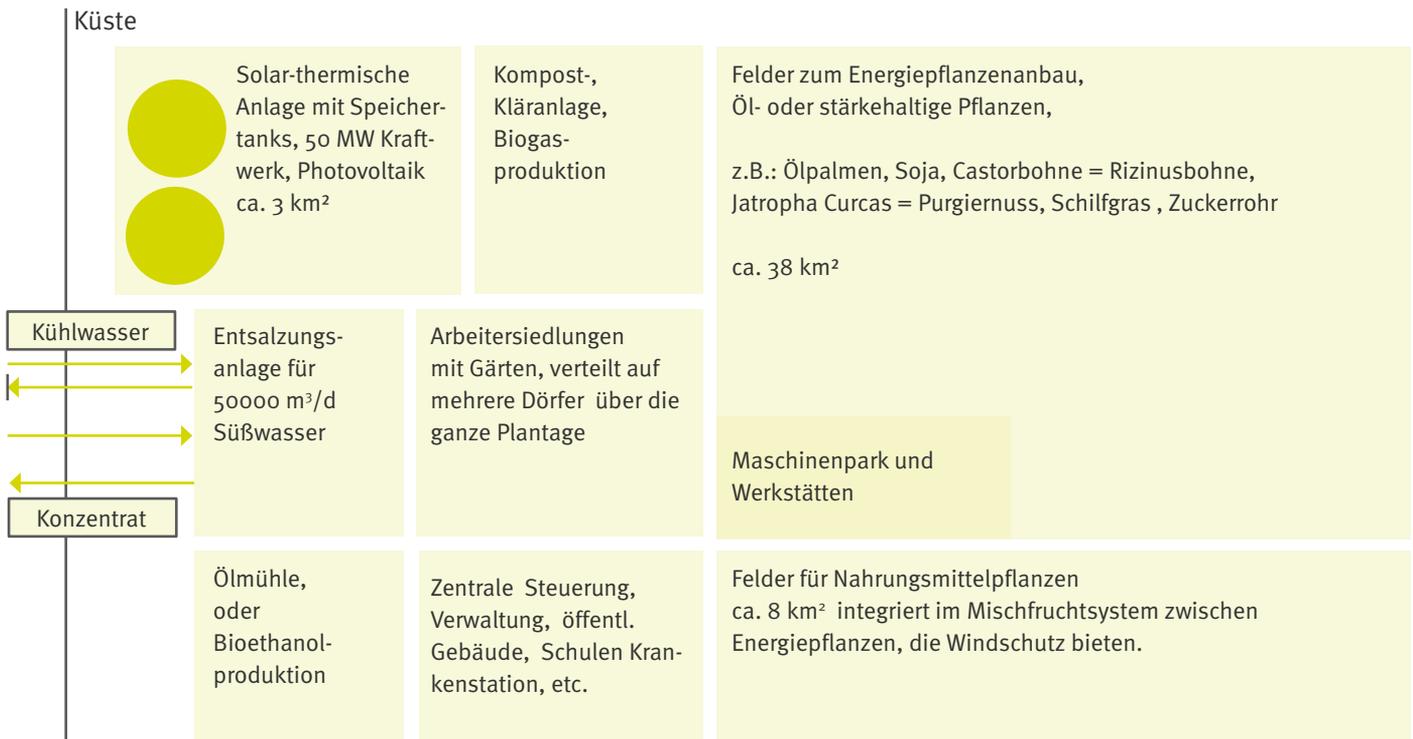


Abb.1: Übersichtsplan zur Pflanzenölproduktion in der Wüste (Nicht maßstabsgerecht)

nung von Mineralöl dann CO₂-neutral durch Pflanzenöl zwar freigesetzt, aber im Jahr zuvor von den Pflanzen der Luft entnommen wird. Die solarthermischen Kraftwerke ersetzen dabei auch die Verbrennung von Kohle zur Stromerzeugung, wodurch ebenfalls ca 1/3 der CO₂-Produktion eingespart wird. Die o.g. Biomasse bleibt aber in der Pflanze gebunden, bis sie nach Jahrzehnten gefällt und weiterverarbeitet wird. Blätter und Presskuchen werden kompostiert, so dass ein Teil der Biomasse den Humusgehalt des Bodens vergrößert und damit die Fruchtbarkeit verbessert. Das verringert den Bedarf an Kunstdünger, der in den Anfangsjahren wohl erforderlich ist, und spart damit erhebliche Mengen Energie zu dessen Herstellung ein. Stickstoffdünger steht im Verdacht aus dem Boden auszugasen und als NO sogar stärker zum Treibhauseffekt beizutragen als CO₂⁸⁾. Durch Mischpflanzung der Energiepflanzen mit Leguminosen, z.B. Erbsen, Bohnen, Robinien, Goldregen, kann man aber stickstoffbin-

dende Bakterien in den Boden bringen, die für alle Pflanzen den benötigten Stickstoff bereitstellen.

3. Vorteile einer weltweiten Umsetzung

1. Die Produktion von elektrischem Strom ist nahezu CO₂-frei; zwar benötigt die Erzeugung der Kraftwerkskomponenten auch die Stahlverhüttung, aber das ist genau so bei konventionellen Kraftwerken.
2. Die Kraftstoffherzeugung für den mobilen Bedarf (Schiffe, Flugzeuge, Lastkraftwagen und PKW) ist CO₂ neutral.
3. Die Pflanzen werden in den ersten 50 Jahren eine ca 4,3-fache höhere Menge CO₂ binden, wie als Öl geerntet werden kann, denn die Biomasse, die als Wurzel, Stamm, Äste, Humus gebildet wird, wird teilweise jahrzehntelang das CO₂ festlegen. Nach diesen 50 Jahren stellt sich ein Gleichgewicht ein, denn es werden alte Bäume gefällt und neue angepflanzt. Die Blätter und der Presskuchen werden

Ölverbrauch im Jahr 1996 (Angaben von Shell)	3600 Milliarden Liter
Bei der Verbrennung entstehen	10,4 · 10 ¹² kg = 10,4 Milliarden Tonnen CO ₂
Weltweite CO ₂ -Produktion 2006 [18], davon etwa 1/3 für Verkehr und 1/3 aus Kohleverbrennung für die Stromerzeugung	30 · 10 ¹² kg = 30 · 10 ⁹ Tonnen = 30.000.000.000 Tonnen CO ₂

Tabelle 1: CO₂-Produktion

1 Liter Jatrophaöl (0,91kg) sind bis zu 60% der Samenmasse	Beim Verbrennen entstehen 2,83 kg CO ₂
Die gesamte in einem Jahr gebildete Biomasse ist ca. 6,6 mal so groß (in Wurzel, Stamm, Ästen, Blättern und Presskuchen) Kohlenstoffanteil im Holz ca. 50% · 6,6 kg = 3,3 kg	Bindet ca. 12 kg CO ₂ , also 4,3 mal soviel CO ₂
Erzeugt man 3600 Milliarden Liter Öl = 3,24 · 10 ¹² kg Öl, werden bei der Verbrennung wieder 10,4 · 10 ¹² kg CO ₂ freigesetzt, die zuvor der Luft entnommen wurden.	
Gleichzeitig wird in der Biomasse des Holzes gebunden:	44 · 10 ¹² kg CO ₂ = 4,3 · 10,4 · 10 ¹² km Co ₂

Tabelle 2: CO₂-Bindung

kompostiert und zu Humus, wodurch die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht wird. Rechnet man das auf 50 Jahre hoch, dann ist die gebundene CO₂-Menge größer, als die in den vergangenen 50 Jahren freigesetzte Menge aus der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle. Der befürchtete Klimawandel wäre also deutlich zu bremsen, vielleicht sogar zu verhindern. Der CO₂-Pegel der Atmosphäre würde wieder auf eine Höhe zurückgehen, wie er vor 1950 war. Die Gefahr einer Erwärmung, bei der dann auch noch die Permafrostböden mit ihrem gebundenen Methan auftauten, wäre gebannt.

4. Für die Länder, in denen die Pflanzen angebaut werden, ergibt sich ein enormer Wirtschaftsaufschwung, denn sie können ein Produkt erzeugen, das die Weltwirtschaft dringend braucht und bezahlen wird. Für Europa eröffnet sich ein stabiler Liefermarkt, der uns von den bisherigen Erdöllieferanten unabhängiger macht, deren Lieferungen in den nächsten Jahrzehnten ohnehin geringer werden.

5. Europa würde die Technologie z.B. nach Nordafrika liefern, was bei uns Arbeitsplätze sichert und uns mit billiger Energie versorgt.

6. Die Menschen, die heute noch als Flüchtlinge nach Europa wollen, weil sie in ihren Heimatländern keine Perspektive sehen, und die von Europa zurück transportiert werden, weil man sie nicht als politische Flüchtlinge anerkennen will, können in Afrika Arbeit und Einkommen finden. Das wäre für beide Seiten billiger und würde nicht Tausende Flüchtlinge jährlich das Leben kosten.

7. Dem Vorrücken der Wüste, wie es in den vergangenen Jahrzehnten zu beobachten war, könnte endlich entgegen gewirkt werden.

8. Die Urwälder dieser Erde müssten nicht gerodet werden, um z.B. Palmölplantagen anzulegen, was ohnehin ökologische Probleme bringt.

9. Die Partnerschaft zwischen Europa und Afrika würde für beide Seiten auch sicherheitspolitische Stabilität bedeuten.

10. Das Nah-Ost-Problem in Israel/Palästina würde entschärft, da dort schon heute eine der stärksten Ursachen für die Spannungen der Wassermangel ist. Dazu gibt es schon eine Studie der TREC zur Wasser- und Stromversorgung des Gaza-Streifens¹⁹⁾. Erweitert um die Pflanzenölproduktion wäre es auch ein Arbeitsprogramm für die Menschen dort.

4. Berechnung der Kosten der Ölproduktion

Natürlich ist das Ganze nicht ohne Investitionen durchzuführen. Die Sonne schickt uns keine Rechnung, aber die Anlagen zum Einsammeln der Sonnenenergie, das Kraftwerk, die Entsalzungsanlage, die Bewässerungstechnik und die Ölmühle, Destillationsanlage oder Biogasanlage müssen hergestellt und bezahlt werden.

1. Schritt

Ein Solarkraftwerk mit der neueren Fresnel-Spiegel-Technik kostet ca 75 Mill. €, womit sich elektrischer Strom für 0,075 €/kWh herstellen lässt, verglichen mit 0,085 €/kWh mit herkömmlicher Parabolrinnentechnik²⁰⁾. Die Energiewirtschaft wird das als zu teuer bezeichnen. Das liegt aber hauptsächlich an der Verzinsung des benötigten Kapitals. Andreas Häberle hat schon 2002 ausgerechnet, dass mit 6,7% Verzinsung eine jährliche Rückzahlung von 5,9 Mill. € fällig ist, eine Verzinsung von nur 0,8% würde diese Summe gerade halbieren und damit die Stromkosten ebenfalls auf ca 0,047 €/kWh senken.

Müssten die Betreiber fossiler Kraftwerke ihren Brennstoffvorrat für die 25 – 30 Jahre Betriebszeit schon gleich bei Inbetriebnahme des Kraftwerks kaufen, würden sie sagen, dass das doch viel zu teuer sei. Aber genau das tun im Prinzip die Betreiber solarer Kraftwerke. Es entstehen nur geringe Betriebskosten, dafür aber höhere Investitionskosten. Das ist die Krux aller regenerativen Energien. Die Betriebskosten sind niedrig, aber die Investitionskosten sind hoch, weil der Zins von Anfang an zu entrichten ist. Berücksichtigt man noch, dass in den Investitionskosten des Kraftwerks auch Zinsanteile von ca 40% enthalten sind, sinken die Kosten des Kraftwerks ohne den Zins

von 75 auf 45 Millionen € und die Stromerzeugungskosten unter 0,03 €/kWh. Die Berechnung von Häberle geht von 6 Stunden Volllastbetrieb pro Tag aus. Erweitert man die Spiegelfläche auf das 4-fache und speichert die Wärme in zwei großen Salztanks, so steigen die Investitionskosten von 75 auf ca 212 Mill. €. Daraus folgen mit einem Zinssatz von 6,7% Stromerzeugungskosten von 0,0425 €/kWh, mit einem Zinssatz von 0,8% nur 0,0228 €/kWh, plus Personalkosten von Bruchteilen eines Cents/kWh.

2. Schritt

Das Kraftwerk wird die Abwärme aufgrund der Ertragsminderung, wegen verringerter Stromproduktion, nicht umsonst abgeben können (hier sei für die Kalkulation ein Strompreis von 0,05 €/kWh angenommen). Deshalb entstehen für die Wärme Kosten von ca 0,95 €/GJ = 0,00344 €/kWh (Wasserdampf bei 80°C). Eine billigere Variante wäre die Erweiterung der Kollektorenfläche.

So kostet das entsalztes Wasser pro m³:

Verdampfungswärme	0,00344 €/kWh · 50 kWh/m ³	= 0,172€
+ Strom für die Pumpen	3kWh/m ³ · 0,05€/kWh	= 0,150€
+ Betriebsmittel und Personal		0,050€
+ die Abschreibungskosten der Anlage		0,111€
Gesamte Wasserkosten ohne Zins		0,483 €/m ³

(Für eine Anlage mit einer Kapazität von 50.000m³ Süßwasser pro Tag entstehen Investitionskosten von ca 50 Mill. €²¹⁾.)

»Der CO₂-Pegel der Atmosphäre würde wieder auf eine Höhe zurückgehen, wie er vor 1950 war.«

Ohne Verzinsung wären die Rückzahlungsraten bei 25 Jahren Laufzeit 2 Mill. €/a. Umgelegt auf die Produktionsmenge von 360 Tagen mal 50.000 m³/d sind das Kosten von 0,111 €/m³. Mit Verzinsung (6,7% Zinssatz) wäre das eine Rückzahlungsrate von ca 4,175 Mill. €/a, die zu Kapitalkosten für die Meerwasserentsalzungsanlage von 0,232€/m³ führt. Die Energiekosten steigen dann auch, da die solarthermische Anlage für den Strom 0,1 €/kWh nimmt und 1,9 €/GJ für die Wärme. Der Wasserpreis steigt dann auf 0,916 €/m³. Versicherung und Pacht sind hier vernachlässigt.

3. Schritt

Mit den oben genannten Bewässerungsraten von 50.000m³ pro Tag auf 46 km² sind das in einem Jahr ca 400 Liter/m². Das ist zwar nur halb soviel wie in Deutschland als Regen fällt, hier soll das Wasser aber nicht durch Flüsse ablaufen, oder an der Bodenoberfläche verdunsten, sondern unterirdisch an die Pflanzenwurzeln gebracht werden. Experimente haben die Durchführbarkeit und Effizienz bewiesen¹⁵. Wenn also nur ca 400 Liter/(m²a) für die Bewässerung benötigt werden, betragen die Wasserkosten $0,4 \cdot 0,483 \text{ €/m}^2 = 0,2 \text{ €/m}^2$ (0,365 €/m² mit Zins) plus Kosten des Bewässerungssystems von einigen Cent pro m².

4. Schritt

Geht man davon aus, dass ein Arbeiter 5 – 8 ha bewirtschaften kann¹⁶ und am Anfang einen durchschnittlichen Tageslohn von 20 € erhält, so entfallen auf die 50-80.000Liter/(ha·a) Lohnkosten von $365 \cdot 20 \text{ €} = 7300 \text{ €/a}$, das sind weniger als 0,15 €/Liter. Beachtet man, dass nur auf ca 83% der Fläche (38km²) Energiepflanzen wachsen, aber die gesamte Fläche bewässert wird und der Betrieb der Anlage, incl. Ölmühle, einen Eigenenergiebedarf von 3% des produzierten Öls hat, erhöht sich der Preis des netto erzeugten Öls. Der Erzeugungspreis des Öls setzt sich zusammen aus: $((0,2 \text{ € für das Wasser} + 0,02 \text{ € für die Bewässerungstechnik})/0,83 + 0,15 \text{ € für Lohn})/0,97$ wegen Eigenbedarf = 0,429 €/Liter Öl. Man könnte also das Pflanzenöl für ca 0,43 Euro pro Liter erzeugen, falls kein Zins die Produktion belastet. Mit der Belastung durch Zins wäre der Preis mindestens 50% höher. Falls die Erträge auf Wüstenboden zu Beginn nicht so hoch sein werden, so kann eine Ausgleichszahlung aus CO₂-Zertifikaten diesen Kostennachteil beheben. Im Sept. 2009 kosteten CO₂-Zertifikate 14 – 15 €/t CO₂²². Da pro Liter Pflanzenöl ca 12 kg CO₂ zusätzlich gebunden werden, könnten ca 0,17 €/Liter Vergütung für die Entlastung der Atmosphäre die Kosten auf das Niveau des Mineralöls senken. Zum Vergleich: Die Technik der CO₂-Abscheidung und -speicherung (CCS) wird nach Aussage von Fachleuten ab ca 40 €/t CO₂ konkurrenzfähig²³.

5. Kostenvergleich mit Mineralölförderung

Die Erzeugungskosten des Pflanzenöls muss man mit den heutigen Preisen für Erdöl vergleichen. Im Sommer 2009

stieg der Preis pro Fass auf über 70 US\$/bl, das sind ca 50 €/159 dm³, also 0,31 €/Liter. Wer glaubt, dass der Rohölpreis auf diesem Niveau stehen bleibt, hat anscheinend die Entwicklung der letzten Jahre nicht verstanden. Das Maximum der Rohölförderung ist schon überschritten¹⁰, die Nachfrage steigt aber nicht zuletzt wegen der erstarkenden Schwellenländer Indien, China, Brasilien und Indonesien. Stellen Sie sich vor, dass weitere 2,4 Milliarden Menschen ebenso wie wir Auto fahren wollen. Um wie viel wird die Nachfrage dann wohl steigen, wenn doppelt so viele Autos auf diesem Planeten fahren? Darauf müssen wir uns vorbereiten, denn die wenigsten Autos, die 2020 fahren werden, haben dann Strom- oder Wasserstoff-Antrieb. Selbst die deutsche Bundesregierung rechnet für 2020 nur mit ca einer Million Elektroautos (verglichen mit heute schon 50 Mill. PKW). Die Lastkraftwagen, Schiffe und Flugzeuge sind dabei noch gar nicht berücksichtigt und werden höchstwahrscheinlich nicht mit Wasserstoff oder Strom fahren. Nach Angaben von Shell, zitiert von Prof. Schrimppf, verbrauchten 1996 alle Menschen zusammen 3600 Milliarden Liter Öl⁴. Um diesen fossilen Ölverbrauch durch Öl aus Energiepflanzen zu substituieren wären also ca 3,6 Mill. km² Wüstenfläche zu bepflanzen und zu bewässern. Das sind gerade 10% der weltweiten Wüsten. Man benötigt $3,6 \text{ Mill. km}^2 / 38 \text{ km}^2 = 95000$ Solare Kraftwerke der hier betrachteten Art mit Anlagen zur Wasserentsalzung, die gleichzeitig 4750 GW elektrische Leistung liefern. Im DESERTEC-Projekt werden 10.000 Solare Gigawatt angestrebt nur für Europa, die Mittelmeerländer und den Nahen Osten. Das würde den größten Teil der fossilen Kraftwerke in Europa überflüssig machen. Sie sind ohnehin in den nächsten 10 – 15 Jahren zu ersetzen. Wer also heute noch ein mit fossilen Energieträgern befeuertes Kraftwerk baut, wird sich in 10 Jahren über die gestiegenen Kosten für Kohle, Erdöl oder Erdgas maßlos ärgern. Die Solarkraftwerke werden dann den Strom billiger liefern als konventionelle Kraftwerke. Gleichzeitig ist die Pflanzenölproduktion ein gigantisches Arbeitsprogramm für die Menschen in den sonnenreichen Entwicklungsländern, denn man braucht $95000 \cdot 2000 = 190$ Millionen Arbeiter für die Pflanzenöl- und Nahrungsmittelproduktion. Zusammen mit ihren Familien sind das ca 475 Millionen, die Arbeit und Nahrung erhalten. Das muss man in Relation zum erwarteten Bevölkerungswachstum bis 2050 sehen. Allein für Afrika wird eine Bevölkerungszunahme von 1 auf 2 Milliarden Menschen prognostiziert²⁴.

6. Finanzierung

Die Finanzierung der beschriebenen Projekte wäre durch Banken, die das WIR-Abrechnungssystem einführen, über den zinslosen Solidus leicht zu finanzieren²⁵. Öffnet man das System auch Privatpersonen, würden diese Ihre Ersparnisse wohl auch zum Bau solcher Projekte zur Verfügung >

stellen. Als Gegenleistung für den entgangenen Zins erhielten sie ja den Treibstoff für ihre Autos günstiger. Allgemein wäre ein zinsloses Geld für die produzierende Wirtschaft und die Konsumenten vorteilhaft, denn die Unternehmer könnten ihre Vorprodukte billiger kaufen und auch den der Bank zu zahlenden Zins einsparen. Die Konsumenten könnten mit dem gleichen Lohn mehr Waren kaufen, weil alles im Schnitt 40% billiger wird. Der Staat könnte 80 Milliarden € Zinsen einsparen und die seit langem versprochenen Steuerensenkungen durchführen und er hätte noch genug um unser Bildungssystem besser auszustatten. Sogar die bisherigen Empfänger leistungsloser Einkommen hätten Vorteile, denn eine stabile Gesellschaft ist mit Geld nicht zu kaufen.

Wir können darauf warten, dass irgendwelche Milliarden solche Anlagen finanzieren, dann müssen wir aber auch ihr Geld mit dem verlangten Zins füttern. Für Jatropha-Plantagen in Südostasien werden heute schon Renditen von 345% für die ersten fünf Jahre versprochen²⁶⁾.

Ich erhebe nicht den Anspruch, diese Dinge alleine erkannt zu haben, viele Studenten eines Projektseminars an der Universität Paderborn haben daran mitgewirkt. Die beiden Abschlussberichte²⁷⁾, (es waren zwei Gruppen), werden in Kürze im Internet erscheinen. Was mich am meisten wundert, ist die Tatsache, dass man über solche Möglichkeiten nur äußerst selten etwas in Zeitungen und Zeitschriften lesen kann. Das liegt vielleicht an der missverstandenen Natur des von Menschen geschaffenen Geldes. Es gibt ein Gesetz der Schwerkraft oder das Gesetz der Energieerhaltung, aber **es gibt kein Gesetz** welches einen ständigen positiven Zins für Geld fordert. Geld ist nur ein Tauschhilfsmittel um unsere Bedürfnisse in einer arbeitsteiligen Wirtschaft zu befriedigen. Wir müssen die Spielregeln so gestalten, wie es für das Wohl der Menschen am besten ist. Solange wir nicht ein Geldsystem einführen, das Zinsen um Null oder gar darunter möglich macht, werden solche Projekte, die das Finanz-, Wirtschafts- und Klimasystem der Erde retten könnten, nicht ernsthaft in Betracht gezogen. Wenn wir aber zu lange warten, werden wir den Umstieg auf ein solares Energiesystem nicht mehr finanzieren können. Mit Zins behaftet wäre das Pflanzenöl aus der Wüste mindestens 1,5-mal so teuer. Es wäre erst ab einem Rohölpreis von über 150 \$/bl konkurrenzfähig. Bei diesem Rohölpreis wird die Weltwirtschaft in eine tiefe Depression fallen.

Um das zu vermeiden, würden riesige Agrarflächen der Nahrungsmittelproduktion entzogen oder Regenwälder gerodet für den Anbau von pflanzlichen Energieträgern. Beide Varianten würden den CO₂-Pegel nicht vermindern, sondern erhöhen. Die Folgen wären die im IPCC-Report beschriebenen: steigender Meeresspiegel, einige hundert Millionen Menschen auf der Flucht, häufigere langanhaltende Dürren

und Starkregen mit Überschwemmungen. Daraus folgend dürften die Nahrungsmittelerträge in vielen Teilen der Erde zeitweise stark zurückgehen.

Welche Version ist im Interesse der Mehrheit der Menschen?

1. Business as usual. Der Zins erzwingt ein ständiges Wirtschaftswachstum mit anwachsendem Energie- und Materialverbrauch und wir ruinieren gleichzeitig die Erde.

2. Einführung eines Geldsystems mit Zinsraten um 0%. Viele regenerative Energieträger und -gewinnungsmethoden sind schlagartig billiger als konventionelle Energieträger. Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre kann wieder auf einen Wert reduziert werden, wie er zu Beginn des 20. Jahrhunderts vorlag, wodurch die befürchteten Klimaveränderungen gemildert werden können.

Wer diese Alternativen durchdenkt, sollte nicht nur an seinen persönlichen kurzfristigen Vorteil denken. Je mehr Menschen von der Lösung Nutzen haben, desto stabiler und dauerhafter wird sie sein. Wenn z.B. die Autofahrer erkennen, dass die hier beschriebene Pflanzenölproduktion in der Wüste nicht nur ihren Treibstoffbedarf deckt, sondern auch noch den Kohlendioxidgehalt der Luft vermindert, könnten sie

mit der Macht ihrer Lobby die Regierungen dazu bewegen, solche oder ähnliche Konzepte in die Wirklichkeit umzusetzen. Erkennen sie es nicht, werden sie mit knappem, teurem Treibstoff leben müssen und den schlimmen Klimafolgen für die nachkommenden Generationen.

Diese Vision ist nur ein erster Versuch und benötigt noch die Mithilfe vieler engagierter Menschen. Viele Details erfordern das Fachwissen von Biologen, Geographen, Raumplanern, u.v.a. Wer Kritik hat, soll sie bitte äußern, um die Lösung unserer Probleme zu verbessern. Wer die Vision für durchführbar und wünschenswert hält, möge sich bitte dafür einsetzen und die Idee weitertragen und Politiker und Unternehmer dafür gewinnen. Wir alle können dabei nur gewinnen, denn in einer zerstörten Welt würde auch unser Geld nichts mehr wert sein.

Nichtstun wird unsere Situation nicht verbessern.

DANKSAGUNG

Mein Dank geht an viele Mitarbeiter und Freunde, die frühere Fassungen dieses Artikels gelesen und durch ihre Kommentare zu einer klareren Darstellung beigetragen haben.



Der Autor:
Dr. Gerhard Herres

Institut für Energie- und Verfahrenstechnik
Thermodynamik und Energietechnik, N5.131
Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn

herres@thet.upb.de

LITERATURVERZEICHNIS UND ANMERKUNGEN

1. H. Graßl, R. Klingholz.: Wir Klimamacher. Auswege aus dem globalen Treibhaus, 1990 IPCC,
2. http://www.law-and-business.de/www_law-and-business_de/content/e7/e149/e1092/datei1093/Turre_Nicole_Biosprit_IBLVol20_2008_ger.pdf, http://www.dlv.de/grafiken/3800/AT_04_08Edi_03.pdf, <http://dangerzone.ch/viewthread.php?tid=1876>, WISU-Magazin 3/07,S.281f, 6/07, S.746f, „Nahrungsmittel als Kraftstoffe?“, EPEA Internationale Umweltforschung GmbH, <http://www.epea.com/documents/Biokraftstoffe%20ZUSAMMENFASSUNG%20-%20Deutsch.pdf>
3. Regenwald-Report 2/2008, S. 3, 6-11
4. Ernst Schrimpf: Humane Wirtschaft, Nov/Dez. 2005, S.15 „Treibstoff der Zukunft- Wasserstoff oder Pflanzenöl?“
5. DESERTEC-FOUNDATION, <http://www.desertec.org/de/konzept/>
6. <http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/aqua-csp/AQUA-CSP-Full-Report-Final.pdf>, <http://www.menarec.org/resources/CSP+for+Desalination-MENAREC4.pdf>
7. Joseph Fargione, et al., „Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, Science Nr. 319,S.1235 (2008), zitiert in: National Geographic Collector's Edition No.11,“ Energie, Wege in die Zukunft“, S.82 (2009)
8. Michael Streck: Die Klima Prioritäten, Campus Verlag, Frankfurt, 2008, ISBN 978-3-593-38676-8
9. Mögliche Biotreibstoffproduktion in Deutschland berechnet aus: Fläche der Bundesrepublik Deutschland: 35.709.200 ha, davon 2,4% frei, 53,5% für Landwirtschaft, Ertrag von Raps ca 1150 l/ha (Quelle : http://www.greenpeace.de/themen/sonstige_themen/feinstaub/artikel/biodiesel_mogelpackung_auf_kosten_der_umwelt/), Einwohnerzahl Deutschlands 82.310.000, Anbaubarer Biosprit pro Kopf auf freien Flächen: 12 l/a, Anbaubarer Biosprit pro Kopf bei Verzicht auf Lebensmittelproduktion: 267 l/a, Verbrauch: Rohöleinfuhr: 110Mill.kg/a, d.h. 1336 kg/(a * Kopf) (Quelle: <http://www.bmw.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken,did=180796.html>) bei einer Dichte des Öls von 0,9 kg/l sind das 1485 l/(a *Kopf). Benötigt würden also 1485/267=5,56 mal die Flächen für die Lebensmittelproduktion Deutschlands.
10. Dr. Fatih Birol, Chef-Volkswirt der Internationalen Energie Agentur, Paris, sagte gegenüber der Zeitung The Independent, dass die Förderung von mehr als 800 Ölfeldern (3/4 der Weltölvorräte) im Jahr 2009 um 6,7% gesunken ist. Vor 2 Jahren wurde die Rate noch mit 3,7% geschätzt. Daraus folgt, dass in 10 Jahren aus diesen Ölfeldern, bei gleicher relativer Verringerung pro Jahr, nur noch 50% der heutigen Menge gefördert werden kann. <http://www.independent.co.uk/news/science/warning-oil-supplies-are-running-out-fast-1766585.html>
11. „Bundesregierung fördert Markteinführung von Elektroautos“: Bis 2020 sollen in Deutschland nach dem Willen der Bundesregierung rund eine Million Elektrofahrzeuge fahren. <http://de.news.yahoo.com/17/20090916/tbs-bundesregierung-foerdert-markteinfue-958911c.html>
12. Andasol, <http://de.wikipedia.org/wiki/Andasol>
13. Wie die Münchner Rück¹⁴⁾ am 13. Juli 2009 mitteilte, hat sie ein Konsortium deutscher Firmen zusammengebracht, welches 400 Milliarden € zum Bau solarthermischer Kraftwerke aufbringen will. Das werden keine Geschenke an afrikanische Staaten sein, sondern weitsichtige Investitionen zur Sicherung einer günstigen Energiequelle auch über die Zeit hinaus, wo steigende Rohstoffpreise und CO₂-Zertifikate herkömmliche, fossile Energiequellen und Atomstrom immens verteuern werden. Diese Kraftwerke liefern elektrischen Strom und machen Kohle- und Kernkraftwerke in Deutschland überflüssig. Für den weltgrößten Rückversicherer entstehen durch den Klimawandel riesige Kosten, die auf lange Sicht die investierte Summe um ein Vielfaches übersteigen. Eine Abschwächung des Klimawandels würde die zu erwartenden Schäden verringern und damit die entstehenden Kosten. Für die deutschen Firmen bieten sich Absatzmärkte für ihre Kraftwerkskomponenten und eine Sicherung der Arbeitsplätze.
14. Pressemitteilung Münchner Rück http://www.munichre.com/de/press/press_releases/2009/2009_07_13_press_release.aspx
15. H.K.Barth, Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system (SIS), Agricultural Water Management, vol. 40 (1999), S.283-290. In Anbauversuchen mit Kartoffeln in Ungarn betrug der Wasserverbrauch nur 180-200 l/m² (SIS) statt 400-500 l/m² (Beregnung), der Ertrag dagegen, stieg um ein Drittel. In Nordafrika ist die Verdunstungsrate sicherlich höher als in Ungarn.
16. <http://www.jatropha-curasplantations.com/jatropha-curas-seeds.htm>, Erste Ernte nach 6 Monaten, voller Ertrag nach 5 Jahren (10-15 kg pro Baum), Lebensdauer der Bäume ca 60 Jahre, Ölgehalt der Früchte ca 60% bei richtiger Bewässerung und Düngung, Ölertrag 10000 kg/ha und Jahr, Pflanzkosten ca 1000 US\$/ha, jährliche Betriebskosten incl. Erntekosten: 800US\$/ha, ein Arbeiter kann manuell 5-8 ha abernten. Ausgewachsene Bäume erzeugen in einem Jahr bis zu 70 Tonnen Biomasse/ha, also 7kg Biomasse pro kg Öl. Davon sind ca 6 kg in Stamm, Wurzeln, Ästen, Blätter und Presskuchen gebundenes CO₂, d.h. 3kg Kohlenstoff, was 11 kg CO₂ entspricht. Jedes kg Jatrophöl, das später verbrannt wird, hat der Atmosphäre 11kg CO₂ zusätzlich entnommen.
17. Encyclopaedia Britanica
Im Nildelta leben ca 28 Mill. Menschen auf 27700 km², das sind 1010 Menschen/km². Auf einem Hektar können 1200- 5000 kg Mais oder 1300 – 4500 kg Weizen angebaut werden. Das reicht für 6-25 Menschen/ha. Für 4400 Menschen braucht man 4400/6 ha=733 km² für die Getreideproduktion, weitere Flächen für Gemüse, Obst, Viehweide und Siedlung.
18. Bundesministerium für Wirtschaft und Technik, BP
19. Gaza- Meerwasserentsalzung, Desertec-Foundation www.desertec.org/downloads/proposal_gaza.pdf (Israel gibt nur deshalb die Golanhöhen nicht an Syrien zurück, weil es damit die Wasserrechte am See Genezareth nicht nur mit Jordanien, sondern auch mit Syrien teilen müsste. Die Wasserspiegel im See Genezareth und im Toten Meer sind in den vergangenen Jahrzehnten um mehrere Meter gefallen, weil zu viel Wasser entnommen wird.)
20. Andreas Häberle et al., The solarmundo line focusing Fresnel collector optical and thermal performance and cost calculation,2002, http://www.solarpaces.org/CSP_Technology/docs/solarpaces_fresnel_9_2002.pdf
<http://www.ise.fhg.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2002/the-solarmundo-line-focussing-fresnel-collector-optical-and-thermal-performance-and-cost-calculation>
21. Entsalzungsanlagenkosten, http://www.exportinitiative.de/media/article06022/4_Kaeufler_synlift.pdf
22. <http://www.eex.com/de/Marktdaten/Handelsdaten/Emissionsrechte/EU%20Emission%20Allowances%20%20Spotmarkt>
23. Von der Wirtschaftlichkeit ist die CCS-Technologie noch weit entfernt. McKinsey verweist darauf, dass in der jetzigen frühen Phase CCS-Projekte noch 60 bis 90 Euro je Tonne (t) vermiedenes CO₂ kosten. Im Jahr 2030 könne die Technologie dann aber wettbewerbsfähig sein und sich die Kosten auf 30 bis 45 Euro/t halbiert haben, heißt es in der im September veröffentlichten Studie. Dies sei auch der Preis, der dann im Emissionshandel für CO₂-Zertifikate zu erwarten sei. <http://www.produktion.de/news/cat/5-Technologie/cat/5-Technologie/detail/30299-Stromkonzerne+wollen+Millarden+in+Co2-arme+Kraftwerke+stecken>
24. Neue Westfälische, 11./12. Juli 2009, „Der Wanderungsdruck nimmt zu“ Nach Schätzungen der UN wird die Weltbevölkerung von 6,91 Milliarden (2010) auf 9,15 Milliarden (2050) anwachsen, davon allein in Afrika von 1,03 auf 2,00 Milliarden. Prof. Ralf. E. Ulrich (Inst. f. Bevölkerungs- und Gesundheitsforschung, Uni Bielefeld) nimmt an, dass die Ernährungsgrundlage für einige Milliarden Menschen wegbrechen könnten, wenn – wie er erwartet – die Förderung der fossilen Brennstoffe sinke und infolgedessen die Preise etwa für Erdöl drastisch steigen. „Hungersnöte und die Auseinandersetzung um fossile Brennstoffe könnten stark zunehmen.“
25. Wolfgang Berger/Hermann Schmauder:“Ein nachhaltig tragfähiges Geschäftsmodell“, Humane Wirtschaft, 05/2009, S.8-12
26. <http://www.jatropha-curasplantations.com/jatropha-plantation-investment.htm>
27. Abschlußberichte Projektseminar WS 2008/09, Universität Paderborn, Institut für Thermodynamik und Energietechnik <http://thet.uni-paderborn.de/>