

Natürliches Geo-Engineering zur Rettung des Weltklimas

[Gerhard Herres](#) 14.08.2010

Ständig steigende Energiepreise und ein zusehends anfälligeres Ökosystem verdeutlichen die Notwendigkeit von effizienten Alternativen zu fossilen Brennstoffen

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 spielt neben der Versorgungssicherheit eine immer stärker werdende Rolle.



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. Gleichzeitig bemüht man sich, Verfahren zu entwickeln, mit denen das schon seit vielen Jahrzehnten zusätzlich freigesetzte CO₂ wieder eingesammelt werden soll, damit die aus dem höheren CO₂-Gehalt der Atmosphäre folgende Temperaturerhöhung in erträglichen Grenzen bleibt.

Alle Methoden des Geo-Engineering greifen in großer Masse in die natürlichen Abläufe der Biosphäre ein. Künstliche Methoden benötigen sehr viel Energie und haben oft unbeabsichtigte Nebenwirkungen. Natürliche Methoden basieren dagegen auf der Steigerung natürlicher Abläufe, die der Mensch gestört hat. So versucht man durch Düngung mit Eisensalzen das Algenwachstum anzuregen, um zusätzliches CO₂ zu binden, welches dann mit der Biomasse auf den Grund des Ozeans sinken soll. Großflächige Versuche haben gezeigt, dass der gewünschte Effekt nicht in dem Umfang eintritt, wie er zur Reduktion des CO₂ in der Luft und im Meer nötig wäre. Weltweit werden auch viele Millionen Bäume gepflanzt, die das CO₂ binden. Als Ausgleich zur gleichzeitig stattfindenden Zerstörung der natürlichen Regenwälder reicht das aber bei weitem nicht aus.

Mit 200 kg Mais kann man einen Mensch ein ganzes Jahr ernähren, aber nur 50 Liter Bioethanol produzieren

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[1]. Die Frage darf aber 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 Schimpff[2] in der Zeitschrift Humane Wirtschaft (Nov/Dez. 2005), in der Pflanzenöl als zukünftiger Treibstoff diskutiert wurde. Kombiniert man diese Idee mit dem [DESERTEC-Projekt](#) der TREC (Trans-Mediterranean-Energy-Corporation), die alle Anrainerstaaten 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 [AQUASOL](#) 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 freigegeben[3]. Würde 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 können, 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 seit dem Jahr 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 ist[4]. 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 Verbrennen[5].

Aber selbst wenn man die kompletten Ackerflächen in Deutschland zur Treibstoffproduktion einsetzen würde, erhielte man nur ca. 18% der in Deutschland benötigten Benzin- und Dieselmenge[6]. Unser Energiehunger ist eben immer noch zu groß. Dabei ist abzusehen, dass die in 10 Jahren geförderte Rohölmenge wesentlich geringer ist als heute[7]. Von den derzeit 50 Millionen PKW in Deutschland werden zu diesem Zeitpunkt vielleicht 1 Million mit Strom fahren[8]. Dies ist eine Frage des politischen Willens.

Für die übrigen PKWs und LKWs, Schiffe und Flugzeuge brauchen wir einen Ersatztreibstoff. Wasserstoff wird häufig als zukünftiger Treibstoff diskutiert, ist aber erstens von der Energiedichte weniger geeignet als Pflanzenöle und zweitens auf absehbare Zeit um ein Vielfaches teurer pro kWh. Für Flugzeuge ist ein Antrieb mit Wasserstoff kaum vorstellbar. Erste Versuche zeigten, dass die Hälfte des Passagierraumes für den H₂-Tank benötigt wurde. Elektrische Energie scheidet solange aus, wie keine Energiespeicher mit genügend hoher Energiedichte zur Verfügung stehen. 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.

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 Stufen:

Solarthermische Anlagen zur Erzeugung elektrischer Energie zu bauen, die ihre Abwärme weitergeben an

Meerwasserentsalzungsanlagen, deren Produkt nicht nur zum Trinken, sondern zur

Bewässerung von Energiepflanzen und Nahrungsmitteln dient, um dann

pflanzliche Energieträger anzubauen, ihre Produkte zu ernten und weiterzuverarbeiten.

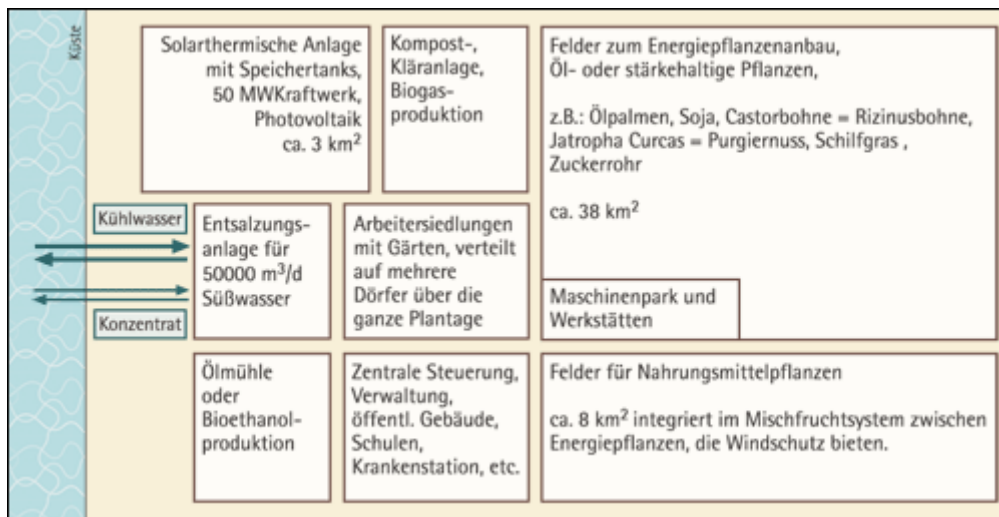


Abb.1: Übersichtsplan zur Pflanzenölproduktion in der Wüste (Nicht maßstabsgerecht)

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) 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 Vollastbetrieb nach Sonnenuntergang bereitstellen. Man könnte diese Wärme auf 15 Stunden Teillast verteilen, denn der Bedarf ist nachts geringer.



Andasol (1-3) in Andalusien. Bild: BSMPS. Lizenz: [CC-BY-SA-2.5](#)

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 sonst [\[9\]](#). Der elektrische Strom, der nicht im Land gebraucht wird, kann mittels Hochspannungs-Gleichstromübertragung mit geringen Verlusten von nur 3%/1000 km nach Europa transportiert werden ([DESERTEC-FOUNDATION](#)).

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, lassen sich aus den 93 MW Abwärme eines solchen solarthermischen Kraftwerks etwa 50.000 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 Wassermenge[10].

Im vierten Schritt werden auf den bewässerten Flächen im Mischfruchtsystem 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 Jahr[11]. Je nach Bodenverhältnissen, Düngung und Wasserangebot sind die Erträge stark schwankend. Im Internet findet man Angaben von 750-5.000 Litern/(ha a). Dabei wird aber von den natürlichen Verhältnissen ausgegangen, die auch Wachstumspausen bei Trockenheit umfassen. Bei Trockenheit wirft Jatropha curcas seine Blätter ab und erzeugt natürlich auch keine Frucht. Die Pflanzen können 6 Monate ganz ohne Wasserzufuhr überleben.

Zur Energieproduktion sind diese Zahlen aber nicht relevant, denn aus den Meerwasserentsalzungsanlagen steht jeden Tag Wasser zur Verfügung und sollte den Pflanzen nach Bedarf zugeführt werden. 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. 1.800 -2.000 Arbeiter und ihre Familien (x2,5) zu ernähren, werden wiederum ungefähr 8 km² für die Nahrungsmittelproduktion gebraucht[12]. Auf den verbleibenden 38 km² können dann Energiepflanzen angebaut werden.

Diese Flächen sind aber nicht getrennt, sondern die Nahrungspflanzen wachsen im Schatten der Jatropha-Sträucher oder im Halbschatten unter den Fresnel-Spiegeln der solarthermischen Anlage. Der Wasserbedarf für Trinken und Waschen beträgt ca. 5000 x 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 x 10¹²kg CO₂ im Holz gebunden, während 10,4 x 10¹² kg bei der Verbrennung des Öls wieder frei werden, die im Jahr zuvor in der Frucht gebunden wurden (s. Tab. 2). Das würde aber bedeuten, dass in einem Jahr ungefähr die 1,5-fache CO₂-Menge festgelegt wird, die 2006 insgesamt weltweit 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 Verbrennung 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 CO₂[13]. Durch Mischpflanzung der Energiepflanzen mit Leguminosen, z.B. Erbsen, Bohnen, Robinien, Goldregen, kann man aber stickstoffbindende Bakterien in den Boden bringen, die für alle Pflanzen den benötigten Stickstoff bereitstellen.

Auch Düngung mit Phosphaten kann unterbleiben, denn die Bodenlebewesen machen vorhandenes Phosphat für die Pflanzen verfügbar, falls sie mit den Abfällen der Pflanzen ernährt werden. Deshalb ist auch die Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten und dritten Generation (BTL) problematisch. Gibt man dem Boden nicht genügend viel Biomasse zurück, zerfällt das Bodenleben und die Fruchtbarkeit lässt nach. Nach einigen Jahrzehnten ist der Boden dann zerstört und vergrößert die schon vorhandenen 20 Mill. km² degradierten Böden, die früher Nahrungsmittel produzierten.

Nach ca. 50-60 Jahren lässt der Ertrag von *Jatropha curcas* nach und die Bäume können gefällt werden. Das Holz kann durch Verkohlung zu Pyrolysekohle umgewandelt werden, die im Boden viele Jahrtausende haltbar ist und so als Kohlenstoffspeicher dient (Black Carbon Sequestration)[14]. Ein Ausgasen ist nicht sehr wahrscheinlich, denn schon die Indianer Südamerikas haben vor 20.000 Jahren den Boden auf diese Art verbessert und die Wasserspeicher- und Nährstoffspeicherung erhöht (Terra Preta do Indios). Die Fruchtbarkeit dieser Böden ist wesentlich größer als die von unbehandelten Böden der Region. Deshalb könnte nach 50 Jahren, falls der Bedarf an Pflanzenöl gesunken ist, die ganze Fläche für Nahrungsmittel eingesetzt werden. Dann wäre der dumme Spruch "Voller Tank oder voller Teller?" umgewandelt zu "Voller Teller dank vollem Tank!", denn ohne die Energieproduktion auf den degradierten Böden oder in der Wüste würde sich kein Investor finden, der diese Flächen wieder fruchtbar macht.

Für die Entwicklungsländer ist dieses Konzept ein Einstieg in eine eigenständige Energieproduktion und eine erhöhte Nahrungsmittelproduktion, die mithelfen wird, die über 9 Milliarden Menschen, die für 2050 erwartet werden, zu ernähren. Auf lange Sicht muss auch das freigesetzte CO₂ wieder aus der Luft geholt und dauerhaft gebunden werden. Alle technischen Lösungsvorschläge, die ich bisher gesehen habe, sind sehr teuer und bieten keinen sicheren Platz zur Ablagerung des CO₂. Ob unterirdische Speicherung des in CCS abgeschiedenen CO₂ tatsächlich für Jahrtausende sicher möglich ist, wagt niemand zu garantieren. Die Anwohner fürchten eine Verdrängung des Salzwassers aus den salinen Aquiferen, die für die CO₂-Speicherung vorgesehen sind. Dann würde das salzige Wasser in die Horizonte aufsteigen, aus denen das Trinkwasser gewonnen wird.

Tabelle 1: CO₂-Produktion

Ölverbrauch im Jahr 1996 (Angaben von Shell)

3600 Milliarden Liter

Bei der Verbrennung entstehen	$10,4 \times 10^{12} \text{ kg} = 10,4 \text{ Milliarden Tonnen CO}_2$
Weltweite CO ₂ -Produktion 2006[16], davon etwa 1/3 für Verkehr und 1/3 aus Kohleverbrennung für die Stromerzeugung	$30 \times 10^{12} \text{ kg} = 30 \times 10^9 \text{ Tonnen} = 30.000.000.000 \text{ Tonnen CO}_2$

Tabelle 2: CO₂-Bindung

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% ist	Sie bindet ca 12,1 kg CO ₂ , also 4,3 mal soviel CO ₂ wie im Öl gebunden
x 6,6 kg = 3,3 kg	
Erzeugt man 3600 Milliarden Liter Öl = $3,24 \times 10^{12} \text{ kg}$ Öl, werden bei der Verbrennung wieder $10,4 \times 10^{12} \text{ kg}$ CO ₂ freigesetzt, die zuvor der Luft entnommen wurden	
Gleichzeitig wird in der Biomasse des Holzes gebunden:	$4,3 \times 10,4 \times 10^{12} \text{ kg CO}_2 = 44 \times 10^{12} \text{ kg CO}_2$

Vorteile einer weltweiten Umsetzung

[Vorige Seite](#)

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.

Die Kraftstoffherstellung für den mobilen Bedarf (Schiffe, Flugzeuge, Lastkraftwagen und PKW) ist CO₂ neutral.

Die Pflanzen werden in den ersten 50 Jahren eine ca. 4,3-fach höhere Menge CO₂ binden, wie als Öl geerntet werden kann, denn die Biomasse, die als Wurzel, Stamm, Äste, Blätter 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 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.

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.

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

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 würde für beide Seiten billiger sein und nicht Tausende Flüchtlinge jährlich das Leben kosten.

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

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

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

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-Streifens[15]. Erweitert um die Pflanzenölproduktion wäre es auch ein Arbeitsprogramm für die Menschen dort.

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 Parabolrinnentechnik[16].

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 Millionen € 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 Millionen €. 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 entsalzte Wasser pro m³:

Verdampfungswärme 0,00344 €/kWh x 50 kWh/m ³ =	0,172 €
+ Strom für die Pumpen 3 kWh/m ³ x 0,05 €/kWh =	0,150 €
+ Betriebsmittel und Personal	0,050 €
+ die Abschreibungskosten der Anlage	0,111 €
Gesamte Wasserkosten ohne Zins	0,483 €/m³

(Für eine Anlage mit einer Kapazität von 50.000 m³ Süßwasser pro Tag entstehen Investitionskosten[17] von ca. 50 Millionen €. Ohne Verzinsung wären die Rückzahlungsraten bei 25 Jahren Laufzeit 2 Millionen €/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 Millionen €/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 Bewässerungsraten von 50.000 m³ pro Tag (s.o.) 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 bewiesen[18]. Wenn also nur ca. 400 Liter/(m²a) für die Bewässerung benötigt werden, betragen die Wasserkosten 0,4 x 0,483 €/m² = 0,2 €/m² (0,365 €/m² mit 6,7% Zins) plus Kosten des Bewässerungssystems von einigen Cent pro m².

4. Schritt

Geht man davon aus, dass ein Arbeiter 5-8 ha bewirtschaften kann[19] und am Anfang einen durchschnittlichen Tageslohn von 20 € erhält, so entfallen auf die 50.000-80.000 Liter/(Arbeiter x a) Lohnkosten von 250 x 20 € = 5.000 €/a, das sind weniger als 0,15 €/Liter. Zum Vergleich: Ein Lehrer in Ghana hat ein Jahresgehalt von 2.500 €. Beachtet man, dass nur auf ca. 83% der Fläche (38 km²) 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 € für das Wasser + 0,02 € für die Bewässerungstechnik)/0,83 + 0,15 € 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 CO₂. 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 konkurrenzfähig[\[20\]](#).

Kostenvergleich mit Mineralölförderung

Die Erzeugungskosten des Pflanzenöls muss man mit den heutigen Preisen für Erdöl vergleichen. Im Sommer 2010 stieg der Preis pro Fass auf über 76 US\$/bl, das sind ca. 59,4 €/159 dm³, also 0,37 €/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 überschritten[\[21\]](#), 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.



Raffinerie in Busalla (Italien)

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 Millionen PKWs). 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. Schrimpff, verbrauchten 1996 alle Menschen zusammen 3.600 Milliarden Liter Öl[\[22\]](#). Um diesen fossilen Ölverbrauch durch Öl aus Energiepflanzen zu substituieren wären also ca. 7,2 Millionen km² Wüstenfläche zu bepflanzen und zu bewässern. Das sind gerade 20% der weltweiten Wüsten. Man benötigt 7,2 Millionen km²/38 km² = 190.000 solare Kraftwerke der hier betrachteten Art mit Anlagen zur Wasserentsalzung, die gleichzeitig 9.500 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 $190.000 \times 2000 = 380$ Millionen Arbeiter für die Pflanzenöl- und Nahrungsmittelproduktion. Zusammen mit ihren Familien sind das ca. 500-600 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 prognostiziert[\[23\]](#).

Finanzierung

Zu dem möglichen Einwand, die beschriebenen Großanlagen würden nur wieder die multinationalen Konzerne anlocken, möchte ich sagen, dass die Finanzierung kleinerer Anlagen, die nach Bedarf in Laufe der Jahre vergrößert werden, auch von Sparkassen durchgeführt werden könnte, wenn sie das WIR-Abrechnungssystem, welches von Prof. Berger beschrieben wurde[\[24\]](#), für die Allgemeinheit öffnen würde.

Eine Einführung umlaufgesicherten Geldes würde in wenigen Jahren die Preise aller Waren im Durchschnitt um 40% senken. Die eingesparten Beträge in den Händen der arbeitenden Bevölkerung würden auf Sparkassen zu minimalen Zinsen angelegt und könnten von diesen in geeigneten Projekten der Energieversorgung angelegt werden. Viele Bürger würden dann ihr Geld solchen Sparkassen anvertrauen, die geeignete Projekte finanzieren. Sie verzichten dann auf den Zinsertrag, erhalten aber als Geldgeber bevorzugten Zugang zu dem erzeugten Pflanzenöl, welches bald günstiger sein wird als Mineralöl und billigeren elektrischen Strom.

Auch hiesige Mineralölhändler könnten ja ihre Gewinne zur Finanzierung kleiner bis mittlerer Plantagen benutzen. Sie lassen dann in den Entwicklungsländern das Öl produzieren, welches sie bisher in Rotterdam einkaufen. Da die Finanzierung durch den niedrigen Zins für kleine und mittlere Unternehmen leichter sein wird, als heute, wird es genügend Konkurrenz geben, die die Gewinne begrenzt. Die Großkonzerne, die nur über Monopole ihre Gewinne realisieren können, werden dann entweder auch mit weniger zufrieden sein müssen oder sie überlassen das Geschäft den zehntausenden kleinen Produzenten. Es ist auch keine Konzentration, wenn man von der Pflanzenölproduktion auf 20% der weltweiten Wüstenflächen spricht. Immerhin sind das 7,2 Millionen km².

Die Flächen wären auf allen Kontinenten verteilt und würden einigen hundert Millionen Menschen Arbeit bieten. Das kann niemand zentral verwalten. Es wäre teurer als einige zehntausend selbständige Betriebe. Die Erdölproduktion war viel leichter zu zentralisieren. Auch wird es weder einen Käufermarkt, noch einen Verkäufermarkt geben, denn beide Gruppen werden zu Millionen auf diesem Markt auftreten, sobald durch niedrige Zinsen jeder ideenreiche Kaufmann leicht an das benötigte Kapital kommt, um entweder eine Plantage zu betreiben oder als Händler zu agieren. Damit regelt sich der Preis der Ware von selbst ("Unsichtbare Hand des Marktes") auf ein Niveau, welches beiden Gruppen ein angemessenes Einkommen bietet.



Jatropha curcas. Bild: R. K. Henning. Lizenz: [CC-BY-SA-2.5](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/)

Da, wo sich große Gewinne abzeichnen, wimmelt es kurz darauf von viel Konkurrenz, und begrenzt die Gewinne. Das ist ein WAHRER MARKT, nicht das, was man uns heute dafür vormacht. Es wäre also schon dezentralisiert, weil die Produktion auf riesigen Flächen mit Millionen Menschen stattfindet. Ich erwarte auch nicht, dass wir unsere gesamte Energie als Pflanzenöl importieren. Die heimische Wärme- und Stromproduktion mit Sonne, Wind, Wasser und Biomasse wird sicherlich einen bedeutenden Anteil haben, vielleicht 50-70%. Aber Flugzeuge, Schiffe, Lastwagen werden auch in absehbarer Zeit nicht mit Batterien oder Wasserstoff bewegt werden. Die PKWs werden irgendwann mit Strom fahren, aber in 20 Jahren noch nicht 50%, eher 10%. Das eigentliche Ziel ist aber zu zeigen, dass das CO₂ mit diesen Plantagen wieder eingesammelt werden kann.

Wenn das Pflanzenöl nicht mehr in Europa gebraucht wird, werden ganz bestimmt die Menschen in den Entwicklungsländern diesen Treibstoff brauchen. Er wird lokal erzeugt und gleich im Lande verbraucht.

Allgemein wäre ein umlaufgesichertes 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 größtenteils einsparen. Die Konsumenten könnten mit dem gleichen Lohn mehr Waren kaufen, weil alles im Schnitt 40% billiger wird. Der Staat könnte mehr als 40 Milliarden € Zinsen (2010) einsparen und die seit langem versprochenen Steuersenkungen 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 Milliardäre 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 versprochen.

Ich erhebe nicht den Anspruch, diese Dinge alleine erkannt zu haben, viele Studierende eines Projektseminars an der Universität Paderborn haben daran mitgewirkt. Die beiden Abschlussberichte [\[25\]](#) (es waren zwei Gruppen) werden in Kürze im Internet erscheinen. Am

meisten wundert mich 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 zinsloses Geldsystem einführen, 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 lang anhaltende Dürren und Starkregen mit Überschwemmungen. Daraus folgend dürften die Nahrungsmittelerträge in vielen Teilen der Erde zeitweise stark zurückgehen. Folgen einer wochenlangen Dürre führen gerade in Deutschland zu Ernteausschlägen. Damit ist leider in Zukunft häufiger zu rechnen.

Welche Version ist im Interesse der Mehrheit der Menschen?

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

Einführung zinslosen Geldes. 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 kommenden 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.

Vor 20 Jahren riefen Zehntausende "Wir sind das Volk" und forderten mehr Freiheit. Wann fordern die Menschen in Deutschland den vollen Ertrag ihrer Arbeit? Jeder kann für sich durchrechnen, wie viel Zinsen er mit jeder Bezahlung indirekt an die Geldbesitzer bezahlt (40%). Dann kann er errechnen, wie hoch sein verzinste Vermögen zum Ausgleich sein müsste. Für 90% der Bevölkerung wird die Rechnung ergeben, dass sie mehr Zinsen zahlen, als sie erhalten. Wie lange wollen sie sich noch vom Geld beherrschen lassen?

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.

Emailadresse des Autors: herres@thet.upb.de