



SOLARPLANTING
Das Volkskraftwerk

** Strom für alle **

Hintergründe

Daten und Fakten für den Ausblick nach Vorne

Eine Hintergrundrecherche

von

Lars Kiel

Hannover im November 2007



www.iwimafi.com
www.solarplanting.de



Vorwort

Die Konzeptstudie Solarplanting - Das Volkskraftwerk greift auf verschiedenste Wissensbereiche zurück.

Die Recherche gibt dabei einen Überblick über die wichtigsten Sachverhalte. Das Kernthema ist die Veränderung der Energiesituation aufgrund der in absehbarer Zeit knapp werdenden Ölreserven. Aufgeführt wird auch das Basiswissen über Photovoltaik, Wasserstoff- und Brennstoff-

zellentechnik, um das Spektrum zukünftiger Energienutzung einzuzerren. Außerdem werden einige Bereiche der Landwirtschaft hinterleuchtet und ein allgemeiner Konzeptbestand für erneuerbare Energien erarbeitet.

Die Datensammlung dient nun als fundierte Grundlage um eine realisierbare Idee zu erarbeiten.



Hintergrundrecherche

Energiesituation

1 Energiemix und Versorgung

E 1-1. Weltweiter Energieverbrauch und wichtigste Energieträger	7
E 1-2. Energieentwicklung in Deutschland	7
E 1-3. Endliche Ressourcen	7
E 1-4. Import Abhängigkeiten	8
E 1-5. Prognosen zur Verbrauchssituation / Deutschland	8
E 1-6. Märkte und Preise	8
E 1-7. Strommarkt	8
E 1-8. Prognose	8

2 Die Stromversorgung

E 2-2. Strommix Deutschland	9
E 2-3. Prognosen zur Verbrauchssituation	9
E 2-4. Prognose	9

3 Der Wärmebedarf

E 3-1. Wärmebedarf / Deutschland	10
E 3-2. Marktposition erneuerbare Energien	10
E 3-3. Prognose	10

4 Verkehr

E 4-1. Anteiliger Energieverbrauch	11
E 4-1. Kraftstoffe	11
E 4-3. Prognose	11

Photovoltaik und Soalrenergie

P 01. Photovoltaischer Effekt	13
P 02. Solarzellen	13
P 03. Wirkungsgrad	13
P 04. Zukünftiger Wirkungsgrad	13
P 05. Norm	14
P 06. Sonneneinstrahlung / Deutschland	14
P 07. Energieausbeute durch verschiedene Ausrichtung	14
P 08. Umgebung	14
P 09. Rohstoffverfügbarkeit und Kostenfaktoren	14
P 10. Daten und Fakten	15
P 11. Prognose	15



Wasserstoff

W 01. Status	17
W 02. Elektrolyse	17
W 03. Elektrolyse Verfahrenstechniken	17
W 04. Wasserstoff aus Grünalgen	17
W 05. Energieverlust durch Umwandlung	18
W 06. Energieverluste im Überblick	18
W 07. Wasserverbrauch	18
W 08. Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff als Energieträger	18
W 09. Energiespeichertechnik	18
W 11. Beispielrechnung	19
W 12. Wasserstoff / Politik und Wirtschaft	19
W 13. Prognose	19

Brennstoffzellen

B 01. Einführung	21
B 02. Brennstoffzellen Methoden	21
B 03. Brennstoffzellen Temperatur-Typen	21
B 05. Analoge Speicherung	22
B 06. Prognose	22

Landwirtschaft

L 01. Nutzflächen	24
L 02. Biogas, Methanol Erzeugung	24
L 03. Bioenergie - Ertrag	25
L 04. Ökologische Aspekte	25
L 05. Prognose	25

Analoge Konzepte für die Zukunft

K 01. Bestandsaufnahme	27
K 02. Konzeptaussichten 2030	27



Die Energiesituation

E

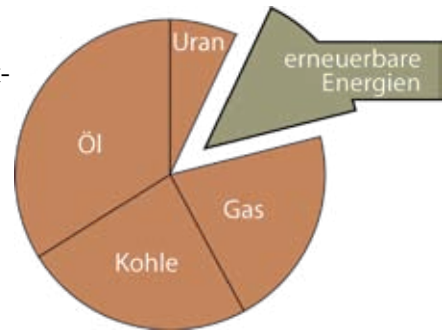
1 Energiemix und Versorgung

Aus dem Statusbericht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, zur Energieversorgung (2006)¹

E 1-1. Weltweiter Energieverbrauch und wichtigste Energieträger:

Der globale Energiebedarf steigt nach Schätzungen der IEA (Internationale Energieagentur) bis 2020 weltweit um ein Drittel. Hauptursache ist das hohe Wirtschaftswachstum der Schwellenländer.

- 34% Öl
- 24% Kohle
- 21% Gas
- 14% erneuerbare Energien
- 07% Kernenergie



E 1-2. Energieentwicklung in Deutschland

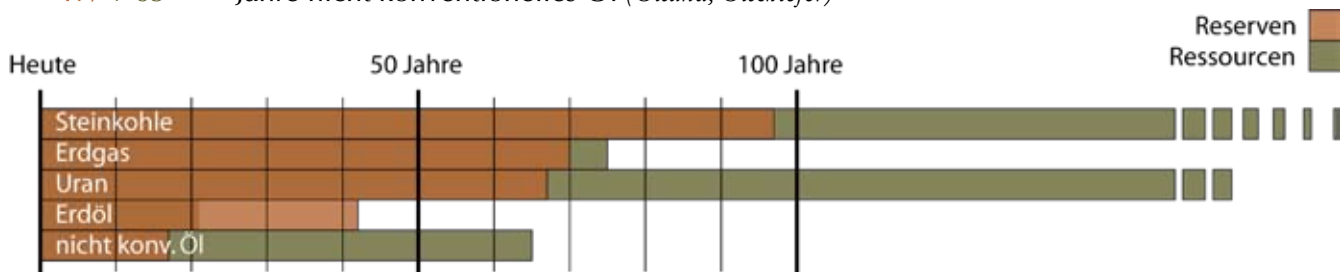
- In Deutschland hingegen ist der Energieverbrauch stabil. 2006 lag er 4,5% unter dem Wert von 1990.
- Der Energieverbrauch hat sich damit weitgehend vom Wirtschaftswachstum entkoppelt.

E 1-3. Endliche Ressourcen

Statistische Reichweite von:

- **Energiereserven** (sicher nachgewiesen, wirtschaftlich gewinnbar)
- **Energieressourcen** (nicht sicher oder derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar)

97/ +470	Jahre Steinkohle
70/ +75	Jahre Erdgas
67/ +150	Jahre Uran
42/ +21	Jahre Erdöl
17/ + 65	Jahre nicht konventionelles Öl (Ölsand, Ölschiefer)



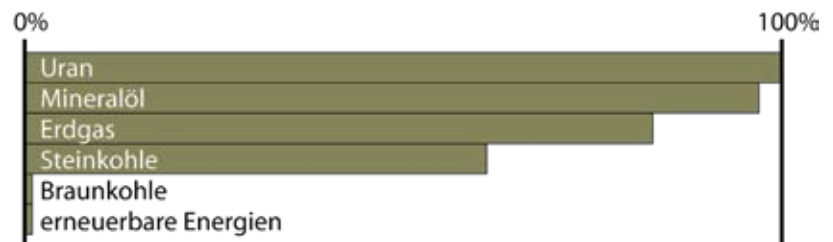
Die IEA erwartet bei den fossilen Energien bis 2030 keine grundlegenden Engpässe.



E 1-4. Import Abhängigkeiten

Abhängigkeit der deutschen Energieversorgung von Importen:

- 100% Uran
- 97% Mineralöl
- 83% Erdgas
- 61% Steinkohle
- 0% Braunkohle
- 0% erneuerbare Energie



E 1-5. Prognosen zur Verbrauchssituation / Deutschland

Studie 1: EW/PROGNOS Energiereport IV

- Der Energiebedarf sinkt bis 2020 um 9%.
- Die Marktanteile verschieben sich.
- Der Anteil erneuerbarer Energien beträgt 8%.
- Die Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung erhöht sich auf Grund des steigenden Erdgas- und Erdölbedarfs bis zum Jahr 2020 von 60% auf 70%.

Studie 2: DLR/IFEU/WI

- Der Energiebedarf sinkt bis 2020 um 24%.
- Der Anteil erneuerbarer Energien liegt bei 12%. Die absolute Menge und Anteil fossiler Brennstoffe sinkt. Dementsprechend sinkt die Importabhängigkeit.

E 1-6. Märkte und Preise

- Energie- und Strompreise belasten Privathaushalte und Unternehmen.
- Einflussfaktoren für Energiepreise sind Beschaffungs-, Herstellungs-, Netzkosten, sowie Staatliche Maßnahmen.

E 1-7. Strommarkt

- Nach dem Energiewirtschaftsgesetz von 2005 ist theoretisch ein liberaler Strom- und Gasmarkt möglich.
- Die Bundesnetzagentur ist mit dessen Durchsetzung beauftragt.
- 80% des in Deutschland erzeugten Stroms werden von vier Verbundunternehmen produziert (RWE, Vattenfall, E.on, EnBW)

E 1-8. Prognose

- Der weltweite Energieverbrauch steigt.
- Bis 2030 werden keine Energieengpässe erwartet.
- Die deutsche Energieversorgung wird auch weiterhin stark vom Importen abhängig bleiben.
- Der Energiebedarf in Deutschland sinkt.
- Der Anteil erneuerbare Energien wird bei zehn Prozent liegen.



Zeichenerklärung:
 KW Kilowatt
 MW Megawatt
 GW Gigawatt
 TW Terawatt

2 Die Stromversorgung

E 2-1. Stromverbrauch

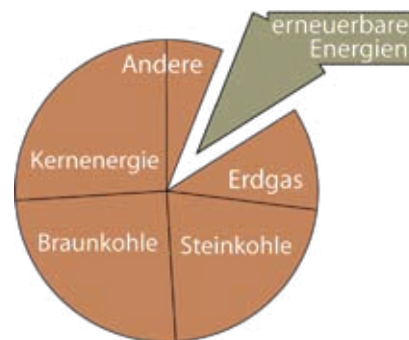
Der Gesamtverbrauch beträgt 611 TWh (plus 11% gegenüber 1990)

Der Pro-Kopf-Verbrauch beträgt 6900 KWh pro Jahr (2003).

- 70% des Stromverbrauchs beanspruchen Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- 26% private Haushalte
- 4% Verkehrsmittel

E 2-2. Strommix Deutschland

- 26% Kernenergie
- 25% Braunkohle
- 22% Steinkohle
- 11% Erdgas
- 10% erneuerbare Energien



E 2-3. Prognosen zur Verbrauchssituation

Studie 1: EWI/PROGNOS Energiereport IV

- der Stromverbrauch sinkt bis 2020 geringfügig auf 594 TWh
- Kernenergieausstieg bis 2020
 - 18% Braunkohle
 - 28% Steinkohle
 - 24% Erdgas
 - 20% erneuerbare Energien

Studie 2: Studie der deutschen Energieagentur nach Untersuchung der TU München

- der Stromverbrauch sinkt bis 2020 um 5%
- der Anteil von erneuerbaren Energien steigt auf 25%
- Ausstieg aus der Kernenergie bis 2020

E 2-4. Prognose

- In der deutschen Stromversorgung besteht in den nächsten Jahrzehnten ein erheblicher Investitionsbedarf. Hierbei sind der Ausstieg aus der Kernkraft und die Modernisierung fossiler Kraftwerke und des Elektrizitätsnetzes angeführt.
- Erneuerbare Energien können den Strombedarf zu etwa 20% decken
- Der Strombedarf wird geringfügig sinken



3 Der Wärmebedarf

E 3-1. Wärmebedarf / Deutschland

- Die Hälfte des Wärmebedarfs wird durch Gas gedeckt,
- 1/4 durch Heizöl,
- sowie durch Strom, Kohle, Fernwärme und andere Energieträger
- 5% des Wärmebedarfs werden durch erneuerbare Energien gedeckt

E 3-2. Marktposition erneuerbare Energien

Biokraftstoffe haben ihren Anteil von 1,1% (2003) auf 3,4% (2005) gesteigert.

- Der Absatz ist von 130.000 Tonnen 1999 auf 2 Mio. 2005 gestiegen
- seit 2004 sind Biokraftstoffe steuerbefreit
- 1.900 Tankstellen bieten Biodiesel an.
- Die Produktionskosten von Biokraftstoffen liegen jedoch noch weit über denen von fossilen Kraftstoffen
- Erst ab einem Rohölpreis von über 100 US \$ wird Biokraftstoff wettbewerbsfähig
- Die Entwicklung von Bioethanol verläuft seit kurzem ähnlich
- Synthetische Biodiesel aus Zellulose sind in der Entwicklung
- Importe von Biomasse könnten in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen

E 3-3. Prognose

Nach einer Schätzung soll das langfristige Nutzungspotential für Wärme aus erneuerbaren Energien (Biomasse, Solarenergie, Geothermie) bei 820 TWh bzw. 50% des heutigen Energiebedarfs, liegen.



4 Verkehr

E 4-1. Anteiliger Energieverbrauch

Der Verkehrssektor hat am deutschen Energieverbrauch einen Anteil von 28% (2005):

- 86% Straßenverkehr
- 11% Flugverkehr
- 3% Schienenverkehr
- 0,4% Binnenschifffahrt



E 4-1. Kraftstoffe

- Bestehen fast ausschließlich aus Mineralölprodukten.
- Der Anteil aus erneuerbaren Energien liegt bei 3%.
- Bis 2010 soll der Anteil laut EU-Recht auf 5,75% erhöht werden.
- Momentan sinkt der Gesamtverbrauch.
- Effizienzgewinne heben sich durch das allgemeine Mobilitätsverhalten auf.

E 4-3. Prognose

- Der Marktanteil alternativ angetriebener Fahrzeuge wird bis 2030 auf 8% geschätzt.
- Mit Brennstoffzellen ausgerüstete Serienfahrzeuge werden 2020 nicht auf den Markt kommen.



P

Photovoltaik und Solarenergie

Photovoltaik und Soalrenergie

P 01. Photovoltaischer Effekt

Der Photovoltaische Effekt ist das Freisetzen von Elektronen durch energiereiche Strahlung (z.B. Photonen des Lichts) aus einer Metalloberfläche.

P 02. Solarzellen²

„Solarzellen sind Halbleiter, die zumeist auf Siliziumbasis hergestellt werden und unterschiedlich leitende Schichten enthalten. Die Photonen des Lichts erzeugen in der Solarzelle eine Ladungstrennung zwischen den Schichten. Dies geschieht aufgrund unterschiedlicher Dotierungen (p- oder n-Dotierung) mit Fremdelementen. Mithilfe einer angelegten Spannung werden die Ladungen getrennt.“

P 03. Wirkungsgrad^{3, 4.1-4.8, 5}

Der Wirkungsgrad herkömmlicher Solarpanels ist physikalisch (auf das Material Silizium bezogen) auf etwa 30% begrenzt, d.h. 70 Prozent der Sonnenenergie können nicht umgewandelt werden.

- Derzeitige Solarpanels haben unter Laborbedingungen bisweilen einen Wirkungsgrad zwischen 20% bis 24%.
- Serienprodukte liegen zwischen 6% und 18%.
- Der Wirkungsgrad-Rekord liegt derzeit bei 40,7% und wurde Dezember 2006 durch ein Boing Tochterunternehmen erreicht.

P 04. Zukünftiger Wirkungsgrad⁶

- Derzeit arbeiten Forscher am National Renewable Energy Laboratory, Colorado und dem National Laboratory, New Mexiko an Siliziumkristallen mit Quantenpunkten. Diese sollen ihre Energieausbeute verdoppeln. Quantenpunkte könnten hier bis zu sieben Protonen pro Photon freisetzen. Üblich ist sonst ein Verhältnis von 1:1. Schwierigkeiten bestehen noch in der Ableitung der Ladungsträger, sprich der Umwandlung in Strom.
- Zudem wird an wesentlich günstigeren Herstellungsmethoden für Siliziumzellen geforscht. Die Siliziumprodukte sollen, wenn es nach dem Unternehmen Nanosolar (Palo Alto, Californien) geht, ein Fünftel bis ein Zehntel weniger als herkömmliche Produkte kosten.



P 05. Norm⁷

Die Kenngröße einer Solarzelle wird durch einen normierten Standardtest

(STC, Standard Test Conditions) ermittelt:

- Einstrahlungsstärke von 1000 W/m^2
 - Temperatur der Solarzelle $25 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Strahlungsspektrum AM* 1,5
- *Air Mass (Atmosphärische Bedingung)
- Die Nennleistung einer Photovoltaikanlage wird in Wattpeak oder kWp angegeben (peak/Höchstwert)

P 06. Sonneneinstrahlung / Deutschland⁸

- Die durchschnittliche Sonnenscheindauer liegt zwischen 1300 und 1900h pro Jahr (Grafik oben).
- Der jährliche Ertrag einer Solarzelle liegt durchschnittlich bei 1200 bis 850 kWh/m^2 (Grafik unten).



P 07. Energieausbeute durch verschiedene Ausrichtung⁸

- Schräg (30°) nach SW oder SO: Ertrag 95%; Ost oder West: 85%
- Flach (0°): Ertrag 95%
- Senkrecht (90°) nach Süden: Ertrag 70%; SW oder SO: 65%; Ost oder West: 50%

P 08. Umgebung⁸

Ein Solarmodul benötigt ausreichend Kühlung.

- Erhöht sich die Betriebstemperatur eines Moduls auf beispielsweise 65°C kann man mit Leistungseinbußen von etwa 20% rechnen.
- Bei einer Zelltemperatur von 5°C kann der Ertrag jedoch um 10% steigen. An Wintertagen wirkt dieser Effekt dem niedrigeren Energiewert der tieferstehenden Sonne etwas entgegen.

P 09. Rohstoffverfügbarkeit und Kostenfaktoren⁷

- Die Herstellung von reinem Silizium erfordert hohe Temperaturen (Schmelztemperatur 1683°C).
- Einen Rohstoffmangel gibt es defacto nicht, jedoch produzieren zu wenig Hersteller reines Silizium.
- Die Siliziumherstellung macht Schätzungsweise 70% der Kosten für Solarpanels aus.
- Seltene Rohstoffe wie Indium, Gallium, Selen oder Tellur sind weitere Bestandteile von Solarzellen.
- Ihre natürlichen Vorkommen werden mitunter auf nur wenige Jahrzehnte geschätzt.



P 10. Daten und Fakten⁹

Der Solarenergie-Förderverein Deutschland hat bei 3000 Teilnehmern zwischen 1992 und 2005 einen durchschnittlichen Jahresertrag für Solarzellen von 109 kW/m² errechnet.

- Der Energieertrag einer solarthermischen Anlage liegt nach Daten der Bundesregierung bei 199 kWh/Jahr

Energieverbrauch Deutschland

- Zur Zeit werden in der BRD 2563 TWh Primärenergie für Strom erzeugt
- Die tatsächlich genutzte Energie (Endenergie) liegt bei 611 TWh (2005)¹
- Durch Photovoltaik erzeugter Strom 1 TWh (2005)¹
- Das langfristig geschätzte Potenzial der Photovoltaik liegt bei 105 TWh/Jahr Strom¹

Zum Vergleich:

- Ein Solarkraftwerk, das flächenmäßig 7,2% der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland einnimmt, würde den Primärenergiebedarf decken. Das entspricht etwa der Fläche Hessens.
- Der Endenergieverbrauch würde auf einer Fläche von 5014 km² unterkommen.
- Für Solaranlagen geeignete Dächer und Fassaden ergeben 2100 km²
- Alle Autobahnen Deutschlands (ca. 12.000 Km) ergäben überdacht 304 km²

P 11. Prognose

Das Potenzial von Sonnenenergie ist zwar enorm; die aktuelle Flächennutzung und hohe Silizium-Herstellungskosten limitieren das genannte Potenzial jedoch stark.

- Der Anteil Photovoltaischen Stroms könnte langfristig ein Sechstel des Strombedarfs decken
- Solarzellen können aufgrund neuer technologischer Entwicklungen weitaus effizienter und günstiger werden.
- Reines Silizium bleibt Hauptkostenfaktor



W

Wasserstoff

Wasserstoff

W 01. Status¹⁴

„Die jährliche Wasserstoffproduktion liegt derzeit bei über 500 Milliarden Normkubikmetern. Der größte Teil davon stammt aus fossilen Quellen (Erdgas, Erdöl); zu anderen Teilen kommt er aus der chemischen Industrie, wo er als Nebenprodukt bei der Chlorherstellung entsteht, sowie aus Rohölraffinerieprozessen. Soll Wasserstoff im Sinne einer Wasserstoffenergiewirtschaft im großen Maße zur Energieerzeugung bzw. -speicherung eingesetzt werden, ist eine Herstellung durch konventionelle Dampfreformierung nicht sinnvoll. (...) Es wurden mittlerweile einige Verfahren zur Wasserstoff-Herstellung bis zur Serienreife entwickelt, andere befinden sich noch im Entwicklungsstadium.“

W 02. Elektrolyse¹³

- Die Elektrolyse von Wasserstoff benötigt etwa 43% der Eigenergie.
- Die Prozessenergie dafür stammt aus elektrischer Energie.
- Von der Elektrolyseart (Punkt W 03) hängt ab, ob Wasserstoff als alternativ oder konventionell einzustufen ist.

W 03. Elektrolyse Verfahrenstechniken¹²

- Dampfreformer (Erdgas)
- Partielle Oxidation (Ölvergasung)
- Autotherme Reformer (Methanolreformierung)
- Biomasse (Vergasung, Vergärung)
- Kvaerner-Verfahren
- Wasserstoff aus Grünalgen (Punkt W 04)
- Elektrolyse von Wasser (Elektrizität)

W 04. Wasserstoff aus Grünalgen¹¹

Derzeit versuchen Wissenschaftler an der Universität Bonn Grünalgen genetisch so zu verändern, dass sie bei ihrem natürlichen Prozess der Wasserspaltung mittels dem Enzym Hydrogenase vermehrt Wasserstoff entwickeln.

- Derzeit sind die genetisch veränderten Algen in der Lage das Drei- bis Vierfache ihrer üblichen Wasserstoffproduktion zu erzeugen.
- Zudem wird versucht die Hydrogenase an künstlichen Membranen zu befestigen und zu einer biochemischen Batterie zu formen.



W 05. Energieverlust durch Umwandlung^{10,12}

Für die Umwandlung von Wasserstoff in den gasförmigen Zustand werden rund 9% (bei 200 bar) des eigenen Energiegehalts benötigt. Das Verflüssigen von Wasserstoff verbraucht ca. 30% seines eigenen Energiegehalts.

- Je mehr Wasserstoff unter Druck steht, desto höher ist seine Energiedichte.
- Gasförmiger Wasserstoff hat eine Energiedichte etwa von 0,5 - 0,8 kWh/l.
- Flüssiger Wasserstoff hat eine Energiedichte von 2,13 kWh/l oder 4,5 kWh/kg.

W 06. Energieverluste im Überblick¹²

- Der Heizwert von Wasserstoff liegt bei 142 MJ/kg.
- Die Wandlungsschritte von Elektrolyse, Kompression oder Verflüssigung verschlingen 50% und mehr der Eigenenergie.
- Die Rückverstromung beansprucht zusätzliche 25%.
- Allgemein ist ein Wirkungsgrad inkl. Rückverstromung von 20% ein guter Wert.

W 07. Wasserverbrauch¹²

Bei der direkten Elektrolyse aus Wasser wird das Neunfache an Wasser für die Wasserstoffherstellung verbraucht.

W 08. Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff als Energieträger¹²

- Ein Kubikmeter flüssiger Wasserstoff wiegt 70 kg.
- Dasselbe Volumen Benzin wiegt 700 kg, beinhaltet aber 128 kg Wasserstoff.

W 09. Energiespeichertechnik¹⁰

- Durch organische Kohlenstoffe (fossile Brennstoffe) oder natürlich als Wasser.
- Gasförmig in Stahl- oder Verbundtanks und flüssig in speziellen Kryotanks.
- Die Kompression benötigt 7-12% der Eigenenergie.
- Das Verflüssigen von Wasserstoff 28-48% der Eigenenergie

W 10. Nano-Speichertechnik¹⁰

- Eine Speichertechnik, die an der Northeastern University in Boston entwickelt wird, soll Wasserstoff an Graphit-Nanofasern binden.
- Jedes Gramm Kohlenstoff ergibt ca. 30 Liter Wasserstoff.
- Derzeit dauert die Ladezeit zwischen 4 und 24 Stunden.
- Die 5-10nm dicken Lagen können nur 4-5 mal aufgeladen werden.



W 11. Beispielrechnung¹²

„Am Frankfurter Flughafen werden täglich 50 Jumbo-Jets mit je 130 Tonnen (160 m³) Flugbenzin befüllt. Die gleiche Energiemenge steckt in 50 Tonnen (715 m³) flüssigem Wasserstoff. Zur Betankung aller Jumbos mit Wasserstoff müssten täglich 2.500 m³ Flüssigwasserstoff bereitgestellt werden, für dessen Herstellung man 22.500 m³ sauberes Wasser und die elektrische Leistung von acht Kraftwerken von je 1 GW benötigt (zum Vergleich: Das AKW Biblis hat eine Leistung von 1,3 GW). Für die Versorgung aller Flugzeuge des Flughafens mit Wasserstoff müsste man den Wasserverbrauch der Stadt Frankfurt und die Energie von mindestens 25 Großkraftwerken einsetzen.“

W 12. Wasserstoff / Politik und Wirtschaft

- Die USA, Japan und Europa sind derzeit die treibenden Motoren in der Wasserstoffentwicklung.
- Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt 22 Prozent der elektrischen Energie aus Wasserstoff zu beziehen und zwölf Prozent ihres Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien zu schöpfen¹⁵.
- Auch die japanische Regierung versucht Wasserstoff als Energieträger zu etablieren und hat die NEDO (the New Energy Development Organisation) gegründet. Zudem finden sich 13 der führenden Elektronikhersteller in der Japan Electrical Manufactures Association (JEMA) zusammen, um marktfähige Brennstoffzellen zu entwickeln¹⁶.
- Die Bush-Regierung hat derweil die „hydrogene future“ ausgerufen. Allerdings ohne Anstalten regenerativer Energien zu fördern. Wasserstoff soll so weiterhin aus fossilen Energien und Atomstrom erzeugt werden¹⁵.

W 13. Prognose

- Umwandlung, Speicherung und Rückverstromung von Wasserstoff bleiben energieintensiv.
- Die H-Herstellung aus Wasser bedarf enormer Mengen reinen Wassers.
- Eine Energiewirtschaft, die Kohlenwasserstoffe durch Wasserstoff ablöst, ist mit hohem technischen und finanziellen Aufwand für die Infrastruktur und Energieaufwendung verbunden.
- Direkte Verstromung alternativer Energien ohne den Umweg über Wasserstoff scheint sinnvoller.
- Neue Forschungsansätze versprechen nur partielle Fortschritte (Bsp. H- Speicherung durch Graphit)



A stylized logo consisting of a light olive green square with a white letter 'B' inside. The 'B' is formed by a vertical bar on the left and two horizontal bars on the top and middle. The middle horizontal bar is shorter than the top one and is positioned lower than the top bar.

B

A dark olive green horizontal bar containing the text 'Brennstoffzellen' in white, italicized font.

Brennstoffzellen

Brennstoffzellen

B 01. Einführung¹⁴

„Das Prinzip der Brennstoffzelle ist schon lange bekannt. Man begann schon in den 60er Jahren mit der Entwicklung von Brennstoffzellen für Spezial-Anwendungen in der Raumfahrt. (...) Heute setzt man sie zur dezentralen Energieerzeugung, z.B. in Fahrzeugen ein. Vom Prinzip sind alle Zellen gleich aufgebaut. Zwischen zwei Elektroden (der Anode und der Kathode) befindet sich ein Elektrolyt, das den Ionen-Austausch (meist Protonen) ermöglicht. Die Elektroden sind über einen äußeren Stromkreis verbunden. Der Unterschied zwischen den Zelltypen besteht im Elektrolyten und in den verwendeten Brenngasen.“

B 02. Brennstoffzellen Methoden¹⁴

Betriebstemperatur; Wirkungsgrad; Leistung; Anwendungsgebiet

- PEM - Brennstoffzelle
Proton Exchange Membrane Fuel Cell
0-80°C ; 40-60% ; bis 250 kW ; PKW/Bus, Hausversorgung, Blockheizkraftwerk, Kleinkraftwerke
 - SOFC - Brennstoffzelle
Solid Oxid Fuel Cell
800-1000°C ; 50-65% ; bis 10-25 kW ; Hausversorgung, Kleinkraftwerke
 - PAFC
Phosphor Acid Fuel Cell
130-220°C ; 40% ; bis 11 MW ; Blockheizkraftwerk, Kleinkraftwerke
 - MCFC
Molton Carbonat Fuel Cell
650°C ; 48-60% ; bis 2,2 MW ; Blockheizkraftwerk, Kleinkraftwerke
 - DMFC¹⁷
Direct Methanol Fuel Cell
60-130°C ; 40% ; 600-1600 kW ; Unterhaltungsgeräte, Hausversorgung
 - AFC
Alkaline Fuel Cell
60-90°C ; 60% ; bis 2 kW ; U-Boote, Raumfahrt
- Bis auf die AFC-Methode, die nur mit reinsten Gasen arbeitet, verwenden alle anderen Methoden Kohlenwasserstoffe als Reformatoren.
 - Der allgemeine Wirkungsgrad wird zwischen 40% und 70% geschätzt.

B 03. Brennstoffzellen Temperatur-Typen¹⁸

- Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen 50-120°C
- Mitteltemperatur-Brennstoffzellen 160-220°C
- Hochtemperatur-Brennstoffzellen 600-1000°C



B 05. Analoge Speicherung¹⁹

- In der Regel haben Pumpspeicherkraftwerke einen Wirkungsgrad von rund 75%
- Um 1 kWh Strom zu erzeugen, müssen vorher 1,3 kWh aufgebracht werden.
- Pumpspeicherkraftwerke erreichen eine Leistung von bis zu 1100 MW.

B 06. Prognose

Wegen der schlechteren Energiebilanz zu Kohlenwasserstoffen und der notwendigen Umstrukturierung des Energienetzes auf Wasserstoff mit Tankstellen, Pipelines und Industrie, sowie nicht zuletzt der Versorgung mit ausreichend Primärenergie und Wasser, bleibt abzuwarten, in welcher Weise Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb den Markt „erobern“.



A stylized graphic of the letter 'L' composed of three rectangular bars. The vertical bar is on the left, the horizontal bar is at the bottom, and a shorter horizontal bar is positioned above the bottom bar, extending to the right. The top-left corner of the vertical bar contains a white letter 'L'.

L

Landwirtschaft

Landwirtschaft

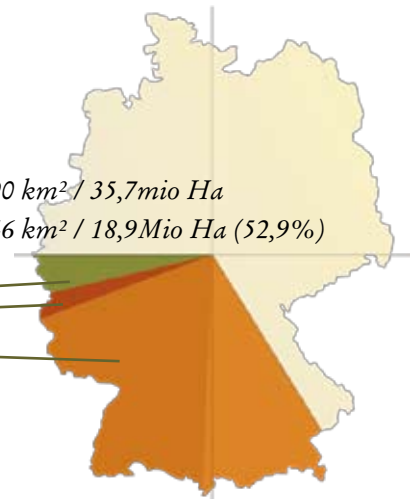
L 01. Nutzflächen^{20,21}

- In Deutschland wird etwa 52,9% der Gesamtfläche landwirtschaftlich bewirtschaftet - das entspricht 18.9 Millionen Hektar.
- Dazu zählen auch Wälder, Hopfen- und Weinanbaugebiete.
- Bei der landwirtschaftlichen Nutzung wird zwischen Ackerland, Grünland und Dauerkulturen unterschieden.
- Etwa zwei Drittel werden als Ackerland und ein Drittel als Grünland bewirtschaftet.
- Dauerkulturen nehmen nur einen geringen Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzung.
- Bei der Ackerlandnutzung dominiert der Getreideanbau mit etwa sieben Millionen Hektar.
- Danach folgen Industrie und Energiepflanzen mit circa zwei Millionen Hektar, gefolgt von Kartoffel-, Zuckerrüben- und Gemüseanbau mit zusammen fast einer Million Hektar.

Deutschland Flächennutzung 2007

Gesamtgröße BRD ²³	357.092,90 km ² / 35,7mio Ha
Landwirtschaftliche Nutzung ^{23,26}	189.324,46 km ² / 18,9Mio Ha (52,9%)

1,56 -2 Mio. Hektar Industrie- und Energiepflanzen^{24,27}
 ca. 1 Mio. Hektar Brachland^{23,25}
 ca. 7 Mio. Hektar Getreideanbau²⁶



L 02. Biogas, Methanol Erzeugung^{20,21}

Die Fermentation, also Gärung von Energiemais zu Methanol oder Methangas hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Bei der Herstellung kommt es auf:

- die rechtzeitige Aussaat
- einen geeigneten Standort
- gute klimatische Bedingungen an.

Man unterscheidet bei der Ernte zwischen:

- Frischmasse - gesamte Ernte
- und Trockenmasse - der Anteil, der zur Veredlung von Methan oder Methangas benötigt wird.

Der Anteil der Trockenmasse beträgt dabei unter schwankenden Ergebnissen etwa ein Drittel.

- Aus einem Kilo des Substrats sind etwa 300 Liter Methanol zu gewinnen.

Der Folgeanbau von Maismonokulturen ist problematisch in Bezug auf:

- Bodenfruchtbarkeit
- Krankheiten
- Schädlinge



Die Höhe des Reingewinns hängt von der Feldentfernung zur Biogasanlage ab. Der Anbau wird unwirtschaftlicher je weiter die Fermentationsanlagen entfernt sind.

L 03. Bioenergie - Ertrag^{20,21}

- Derzeit ist ein Ertrag von 65 t/ha Frischmasse (18 t/ha Trockenmasse) ein guter Wert.
- Durch Züchtung spätreifer, kälteunempfindlicher Maissorten soll das Ertragspotential gesteigert werden.
- Im Mittel können aus einem Hektar erwirtschafteten Mais zwischen 2-3 kW/h elektrische Leistung erzeugt werden. Je nach Ertrag und Qualität.
- Derzeit beträgt der Anteil am Rapsanbau bei allen energiewirtschaftlich genutzten Anbauflächen zwei Drittel. Energiegetreide und Energiemais etwa erreichen ein Drittel.
- Berücksichtigt man den demografischen Wandel und eine effizienter werdende Landwirtschaft in den nächsten Jahrzehnten, gehen Schätzungen davon aus, dass bei einem Ausbau auf etwa 4 Millionen Hektar etwa 17% des Energiebedarf durch Energiepflanzen gedeckt werden können, ohne die Nahrungsmittelproduktion zu gefährden.

L 04. Ökologische Aspekte^{22,28}

- Es werden zur Zeit etwa 1 Million Hektar Brachland gezählt.
- Die Stilllegungsflächen können wieder zurückgewonnener Lebensraum für Wildtiere werden.
- Die Renaturierung wird derzeit projektbezogen gefördert.
- Ebenso wird wildtierfreundliche Saatgutmischung auf ihre Praxistauglichkeit erprobt.

L 05. Prognose

Zusammengerechnet könnte die Landwirtschaft mit den vorhandenen Methoden der regenerativen Energieerzeugung - also Windkraft, Solarenergie, Bioenergie, etc.,- in Zukunft einen erheblichen Anteil an der Energiebedarfsdeckung tragen. Jedoch wird dieser Anteil zwischen einem Viertel oder Fünftel liegen, und damit weit von einer Vollversorgung entfernt sein. Stellt sich die Landwirtschaft nach ihren Möglichkeiten voll auf die Energieerzeugung um, begünstigen Bevölkerungsrückgang und fortschreitend weiter entwickeltes Saatgut den zu erzielenden Ertrag. Jedoch bleibt die Nahrungsmittelproduktion vorrangig und die kommenden Klimaveränderungen werden die Prognosen zu Zeiten mit unter stark verändern. Sodass die Landwirtschaft als direkter Energieversorger bald ihre Grenzen erreicht.



K

Analoge Konzepte

Analoge Konzepte für die Zukunft

K 01. Bestandsaufnahme

grober Überblick über bestehende Konzepte zur alternativen Energiegewinnung und Nutzung

Windkraft

- Windkraftanlagen an Land und Offshore²⁹

Wasserkraft

- Gezeitenkraftwerke³⁰
- Wellenkraftanlagen (Modellprojekte)³⁴
- Stauseen als Wasserkraftwerk

Sonnenkraft³¹

- Solardächer (Festinstallationen)
- Solarflächen an Autobahnschallschutzwänden

nachwachsende Rohstoffe

- Biodiesel als Kraftstoff
- Biofermentation zur Wärmegewinnung

Energieträger

- Öl
- Kohle
- Erdgas
- Methanol

Energienutzung und Effizienz

- Brennstoffzellen, zumeist noch in der Entwicklungsarbeit. Hybridantriebe³³ mit Serienreifen. Elektroantriebe.
- Diverse Energiespaartechniken für elektrische Anwendung (LED, Kompaktleuchtstofflampen,...).
- Wirkungsgradsteigerung bei Kohle und Gaskraftwerken
- Aerodynamik bei Flugzeugen und Automobilen

CO₂ - Reduzierung

- Reduzierung von Emissionen durch Katalysatorteknik bei Fahrzeugen und Industrieanlagen

K 02. Konzeptaussichten 2030

bei positiver Entwicklung derzeitiger Trends

Windkraft

- Bodennahe Windkraftparks haben ihr Potenzial weitestgehend erschöpft.
- Windkraftparks in höheren energiereicheren Luftschichten kommen hinzu (siehe Zeppelin-Ballon und Selbstschwebe-Rotor^{31,32}).



Wasserkraft

- Gezeitenkraftwerke und Wellenkraftanlagen³⁴ werden flächendeckend an Küsten und Unterwasser errichtet.

Sonnenkraft

- Große Solaranlagen werden in verschiedenen Wüsten realisiert.
- Quanten- und Nanotechnologie steigern den Wirkungsgrad durchschnittlicher Solarzellen erheblich⁶.
- Organische Solarzellen mit halbleitenden Kohlenwasserstoffen erweitern das Spektrum der Solarenergieerzeugung³⁵.
- Künstliche Photosynthese kann in einigen Projekten kommerziell genutzt werden.
- Solargetriebene Maschinenparks für die Landwirtschaft (Bild unten)³⁷.

**Nachwachsende Rohstoffe**

- Die Landwirtschaft hat ihre Möglichkeiten weitestgehend erschöpft.
- Bioenergie ist zu einem festen Standbein geworden.

Energieträger

- Kohle
- Erdgas
- Methanol
- Wasserstoff

Fusionskraftwerke

- Fusionskraftwerke gehen in die zweite Generation.
- Testreaktoren erzeugen bereits mehr Energie, als sie für den Fusionsprozess benötigen.
- Kommerzielle Nutzung bleibt noch aus³⁷.

Virtuelles Kraftwerk

- Wird als interaktives, zentral steuerbares Netzwerk von dezentralen Erzeugern (an gleicher Stelle auch Verbraucher) in den Strommarkt einbezogen.
- Handel erleichtert die Einbindung fluktuierender Stromquellen (Solar- und Windenergie)³⁸.

Neues Stromnetz

- Auslegung des Stromnetzes auf die größer werdende Einspeisung alternativer Energien und den nationalen und internationalen Stromhandel.

CO₂ - Reduzierung

- Einpumpen von CO₂ in sichere Sedimentschichten, oder ausgebeutete Öl- und Erdgasfelder bei Kohle- und Gaskraftwerken (CCS, carbon dioxide capture and storage technologie, oder auch Clear Coal System genannt)³⁹.



Q

Quellennachweis

- ¹ Statusbericht zur Energieversorgung 2006, des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit // http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/statusbericht_0603.pdf
- ² <http://www.izt.de/eejug/fotovoltaik/index.html>
- ³ Universität Kiel; http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2_ge/
- ^{4.1} http://www.solarportal24.de/nachrichten_8954_deutsche_solarforscher_haben_weltweit_die_nase_vorn.html
- ^{4.2} http://www.isfh.de/institut_solarforschung/pressemitteilungen.php?go_target=texte&text_id=183
- ^{4.3} <http://www.solarserver.de/news/news-5134.html>
- ^{4.4} http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0807.html
- ^{4.5} <http://www.spectrolab.com/com/news/news-detail.asp?id=172>
- ^{4.6} <http://www.pressebox.de/pressemitteilungen/kyocera-fineceramics-gmbh/boxid-109124.html>
- ^{4.7} <http://www.berlinews.de/archiv-2004/2465.shtml>
- ^{4.8} http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie_elektrotechnik/bericht-75551.html
- ⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik>
- ⁶ http://energieberatung.ibs-hlk.de/plan_pv.htm
- ⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>
- ⁸ Spektrum Spezial 01/07 // The Third Wave - die neuen Solarzellen, p.87
- ⁹ 100% Erneuerbare Energien - Mögliche Beiträge der Solarenergie von Dr. Eberhard Waffenschmidt, 06.04.2007 <http://www.waffenschmidt.homepage.t-online.de/>
- ¹⁰ <http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/speicherung.shtml>
- ¹¹ <http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/algen.shtml>
- ¹² <http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/index.shtml>
- ¹³ Institut für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse <http://www.itas.fzk.de/tatup/061/boss06a.htm>
- ¹⁵ The Foundation of Economy Trends <http://www.foet.org/ongoing/hydrogene-economy.html>
- ¹⁶ <http://www.fuelcelltoday.com>
- ¹⁴ <http://www.dieBrennstoffzelle.de>
- ¹⁷ <http://www.efoy.de/>
- ¹⁸ <http://www.seuddeutsche.de/wissen/artikel/161/3158/article.html>
- ¹⁹ <http://www.diebrennstoffzelle.de/alternativen/index.shtml>
- ²⁰ [landwirtschaftskammer.de /link](http://landwirtschaftskammer.de/link)
- ²¹ innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/berichte-69955.html
- ²² uniprotokolle.de/...
- ²³ Statistische Ämter des Bundes und der Länder http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb09_jahrtabf1.asp
- ²⁴ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) <http://www.fnr.de>
- ²⁵ [uni-protokolle.de /mit Verweis auf CIC Studie Internationaler Rat zur Erhaltung des Wildes und der Jagd \(CIC\)](http://uni-protokolle.de/mit_Verweis_auf_CIC_Studie_Internationaler_Rat_zur_Erhaltung_des_Wildes_und_der_Jagd_(CIC))
- ²⁶ i.m.a - information.medien.agrar e.V. <http://www.ima.agentur.de>
- ²⁷ innovations-report.de http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-69955.html
- ²⁸ [innovations-repot.de/ mit Verweis auf CIC](http://innovations-repot.de/mit_Verweis_auf_CIC) <http://www.innovations-report.de/html/berichte/veranstaltungen/bericht-85257.html>
- ²⁹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Windkraftanlage>
- ³⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraftwerk>
- ³¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie>
- ³² <http://de.wikipedia.org/wiki/Bioenergie>
- ³³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Hybridantrieb>
- ³⁴ <http://de.wikipedia.org/wiki/Wellenkraftwerk>
- ³⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Solarzellen
- ³⁶ Spektrum der Wissenschaft Spezial 01/07 Seite 85 ff.
- ³⁷ Spektrum der Wissenschaft Spezial 01/07 Seite 83 ff.
- ³⁸ Aus izes.de - Institut für Zukunftssysteme. http://www.bmu.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/2007-03-14_bemmann_virtuelle_kraftwerke.pdf
- ³⁹ Spektrum der Wissenschaft Spezial 01/07 Seite 22 ff.







Solarplanting

eine Konzeptstudie von
Lars Kiel
Hannover im November 2007

[lars.kiel @ iwimafi.com](mailto:lars.kiel@iwimafi.com)
+49 / 0511 - 160 44 75
+49 / 0176 - 243 115 29
www.solarplanting.de

