

Globale Energie- [r]evolution

EIN WEG ZU EINER NACHHALTIGEN ENERGIE-ZUKUNFT FÜR DIE WELT



EREC
EUROPEAN RENEWABLE
ENERGY COUNCIL

GREENPEACE

Vorwort	3
Einleitung	4
Zusammenfassung	6
1. Klimaschutz	9
2. Atomare Risiken	13
3. Die Energie[R]evolution	16
4. Szenarien für eine zukünftige Energieversorgung	24
5. Das Szenario der globalen Energie[R]evolution	38
6. Energieressourcen und Versorgungssicherheit	48
7. Energietechnologien	69
8. Empfehlungen an die Politik	81
Anhang – Aufschlüsselung des globalen Energie-Szenarios nach Weltregionen	86

-eiprenE elsdolG noitru[re]volutio

Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC)

Stand Januar 2007

Institut DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Stuttgart, Germany: Dr. Wolfram Krewitt, Sonja Simon, Stefan Kronshage Ecofys BV, (Demand Projection), P.O. Box 8408, NL-3503 RK Utrecht, Kanaalweg 16-G, NL-3526 KL Utrecht, The Netherlands: Wina Graus, Mirjam Harmelink

Regionale Partner: **OECD North America** WorldWatch Institute: Janet Sawin, Freyr Sverrisson; GP USA: John Coeguyt **Lateinamerika** University of Sao Paulo: Ricardo J. Fujii, Prof. Dr. Stefan Krauter; GP Brazil: Marcelo Furtado **OECD Europa** EREC: Oliver Schäfer, Arthouros Zervos **Übergangsstaaen** Vladimir Tchouprov **Afrika & Nahost** Reference Project: "Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power" 2006, Dr. Franz Trieb; GP Mediterranean: Nili Grossmann **Südasien** Rangan Banerjee, Bangalore, India; GP India: Srinivas Kumar **Ostasien** ISEP-Institute Tokyo: Mika Ohbayashi; GP South East Asia: Jaspar Inventor, Tara Buakamsri **China** Prof. Zhang Xilian, Tsinghua University, Beijing; GP China: Ailun Yang **OECD Pazifik** ISEP-Institute Tokyo, Japan: Mika Ohbayashi; Dialog Institute, Wellington, New Zealand: Murray Ellis; GP Australia Pacific: Catherine Fitzpatrick, Mark Wakeham; GP New Zealand: Vanessa Atkinson, Philip Freeman

European Renewable Energy Council (EREC) Arthouros Zervos, Oliver Schäfer

Greenpeace International Gavin Edwards, Sven Teske, Steve Sawyer, Jan van de Putte

global project manager Sven Teske, Greenpeace International

Autoren Sven Teske, Arthouros Zervos, Oliver Schäfer

Editor Crispin Aubrey

Design & Layout Tania Dunster, Jens Christiansen, onehemisphere, Sweden www.onehemisphere.se

Druck PrimaveraQuint, The Netherlands

Kontakt sven.teske@int.greenpeace.org
schaefer@erec.org

Deutsche Übersetzung Kerstin Witzel

GPI REF JN 035. PUBLISHED BY GREENPEACE INTERNATIONAL AND EREC. PRINTED ON 100% POST CONSUMER RECYCLED CHLORINE-FREE PAPER.

© GP/COBBING

Titelbild WINDPARK IN DER NÄHE VON DAHME, WINDKRAFTANLAGEN AUF SCHNEE.

Bild EIN KLEINER EISBERG SCHWIMMT IN DER BUCHT VOR DER GRÖNLÄNDISCHEN STADT NARSAAQ IM SÜDWESTEN GRÖNLANDS.

Vorwort



Allmählich wird uns die Notwendigkeit einer globalen Energiezukunft bewusst, die eine deutliche Abkehr von früheren Trends und Strukturen der Energieproduktion und -verwendung darstellt. Diese Notwendigkeit entspringt ebenso dem Bedürfnis nach Energiesicherheit wie der Dringlichkeit zur Eindämmung örtlicher Umweltverschmutzung durch das Verbrennen verschiedener Treibstoffe und natürlich auch der wachsenden Herausforderung des Klimawandels, die eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen, speziell Kohlendioxid, erfordert.

Dieses Werk bietet eine inspirierende Analyse zukünftiger Energieverbrauchs-Szenarien mit Fokus auf einer Reihe von Technologien, deren Durchbruch für die kommenden Jahre und Jahrzehnte erwartet wird. Inzwischen ist man sich weitgehend darin einig, dass neue Technologien und der weitaus umfangreichere Einsatz einiger bereits vorhandener Technologien die hoffnungsvollsten Aussichten für die Reduzierung der Treibhausgase darstellen. Genau aus diesem Grund hat die Internationale Energiebehörde, deren Ansatz in der Vergangenheit auf einer einzigen Zeitkurve der Energieversorgung und -nachfrage basierte, nun auch alternative Szenarien entwickelt, die zukünftige technologische Veränderungen mit einbeziehen. Im Vierten Assessment Report des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) sind Technologien ebenfalls ein durchgängiges Thema in Anbetracht der Tatsache, dass eine Bewertung technologischer Optionen wichtig ist – sowohl für die Abschwächung als auch die Bekämpfung des Klimawandels mit passenden Mitteln.

Die wissenschaftlichen Beweise für die Notwendigkeit des sofortigen Vorgehens gegen den Klimawandel sind immer zwingender und überzeugender geworden. Zukünftige Lösungen wären der Einsatz vorhandener Technologien für erneuerbare Energien, größere Anstrengungen bei der Energieeffizienz und die Verbreitung dezentralisierter Energietechnologien und -alternativen. Dieses spezielle Werk stellt umfangreiche Analysen und gut recherchiertes Material zu Verfügung und regt so das Nachdenken über mögliche Optionen in diesen Bereichen an. Es ist zu erwarten, dass sowohl der einschlägig gut unterrichtete Leser als auch derjenige, der die auf den folgenden Seiten behandelten Themen zu verstehen versucht, großen Nutzen aus dem Lesen dieses Werkes ziehen wird.



Dr. R. K. Pachauri

VORSITZENDER INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
JANUAR 2007

Einleitung

„FÜR EIN ÖKONOMISCH ATTRAKTIVES WACHSTUM ERNEUERBARER ENERGIEQUELLEN
 IST EINE AUSGEWOGENE UND ZEITGERECHTE MOBILISIERUNG ALLER ERNEUERBAREN ENERGIEN NOTIG.“



Bild TEST-WINDDRAFTANLAGE N90 2500, GEBAUT VON DEM DEUTSCHEN UNTERNEHMEN NORDEX IM HAFEN VON ROSTOCK. DIESE WINDKRAFTANLAGE PRODUZIERT 2,5 MEGAWATT UND WIRD UNTER OFFSHORE-BEDINGUNGEN BETRIEBEN. MINDESTENS 10 SOLCHER ANLAGEN WERDEN BIS 2007 20 KM VOR DER INSEL DARSS IN DER OSTSEE ERRICHTET. ZWEI TECHNIKER ARBEITEN IM INNEREN DER TURBINE.

Zuerst die guten Nachrichten: Durch erneuerbare Energien und den intelligenten Einsatz von Energie lässt sich die Hälfte des globalen Energiebedarfs bis zum Jahr 2050 decken. Dieser neue Bericht „Energie[R]evolution – ein nachhaltiger Energieausblick“ zeigt, dass es ökonomisch machbar ist, in den nächsten 43 Jahren die weltweiten CO₂-Emissionen um fast 50% zu senken. Er kommt auch zu dem Schluss, dass eine massive Zunahme erneuerbarer Energiequellen technisch möglich ist – alles was fehlt, ist die nötige politische Unterstützung.

Die schlechten Nachrichten: Uns läuft die Zeit davon. Die überwältigende Mehrheit der Wissenschaftler ist sich darin einig, dass ein Klimawandel stattfindet, dass er zum großen Teil durch menschliches Handeln verursacht wird (wie das Verbrennen fossiler Brennstoffe), und dass er katastrophale Auswirkungen haben wird, falls er nicht eingedämmt wird. Zudem gibt es fundierte wissenschaftliche Beweise dafür, dass wir jetzt reagieren müssen. Dies spiegelt sich auch in den Schlussfolgerungen des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen IPCC wieder, einer UN-Institution mit über 1.000 Wissenschaftlern, die als Berater für Entscheidungsträger tätig sind. Der nächste Bericht, der 2007 veröffentlicht werden soll, wird wahrscheinlich keine erfreuliche Lektüre.

Als Antwort auf diese Bedrohung hat das Kyoto-Protokoll seine Unterzeichner dazu verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 5,2% bis zur Zielfase 2008-2012 zu reduzieren. Dies wiederum hat zur Festlegung einer ganzen Reihe regionaler und nationaler Reduzierungsziele geführt. In der

Europäischen Union hat man sich beispielsweise zu einer Gesamtreduzierung von 8% verpflichtet. Um dieses Ziel zu erreichen, hat die EU sich bereit erklärt, ihren Anteil an erneuerbaren Energien von 6% auf 12% bis zum Jahr 2010 zu erhöhen.

Die Kyoto-Teilnehmer verhandeln derzeit über die zweite Phase der Vereinbarung, die die Zeit von 2013 bis 2017 abdeckt. Innerhalb dieses Zeitrahmens müssen die Industriestaaten ihre CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 18% senken, und zwischen 2018 und 2022 um 30%. Nur mit diesen Reduzierungen haben wir eine realistische Chance, den durchschnittlichen Anstieg der globalen Temperaturen auf unter 2° C zu halten. Ein Überschreiten dieses Wertes würde zu katastrophalen Auswirkungen des Klimawandels führen.

Neben der globalen Erwärmung gibt es noch andere dringende Herausforderungen. Der weltweite Energiebedarf wächst in Schwindel erregendem Maße. Eine übermäßige Abhängigkeit von Energieimporten aus wenigen, oft politisch instabilen Staaten sowie unberechenbare Öl- und Gaspreise haben zum einen dazu geführt, dass die Sicherheit der Energieversorgung nun an der Spitze der politischen Agenda steht, und bedrohen zum anderen die weltweite Wirtschaft. Doch während es einerseits einen breiten Konsens darin gibt, dass wir an der Art unserer Energiegewinnung und unseres Energiekonsums etwas ändern müssen, gibt es andererseits noch immer Unstimmigkeit darüber, wie dies zu tun sei.

Bild ERSTES GEOTHERMISCHES KRAFTWERK ZUR ELEKTRIZITÄT SERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND. ARBEITER IM FILTERRAUM.



Das globale Energie-Szenario

Der European Renewable Energy Council (EREC) und Greenpeace International haben dieses globale Energie-Szenario als einen praktischen Entwurf erarbeitet, wie dringende CO₂-Reduzierungsziele schnell erreicht und eine erschwingliche Energieversorgung auf der Basis einer stetigen Entwicklung der Weltwirtschaft sichergestellt werden können. Diese beiden Ziele können gleichzeitig erreicht werden. Die dringende Notwendigkeit eines Wandels auf dem Energiesektor bedeutet, dass das Szenario ausschließlich auf bewährten und nachhaltigen Technologien basiert, wie erneuerbare Energiequellen und eine effiziente dezentralisierte Strom- und Wärmeerzeugung. Es schließt daher „CO₂-freie Kohlekraftwerke“ und Atomenergie aus.

In Auftrag gegeben von Greenpeace und EREC, durchgeführt von der Abteilung Systemanalyse und Technologiebewertung (Institut für Technische Thermodynamik) beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zeigt dieser Bericht einen Weg zu einer nachhaltigen globalen Energieversorgung bis zum Jahr 2050. Das zukünftige Potenzial regenerativer Energiequellen ist aufgrund von Daten aller Bereiche der weltweiten Industrie für erneuerbare Energien bewertet worden und bildet die Grundlage für das Szenario der EnergieRvolution.

Das in diesem Bericht verwendete Szenario zur Energieversorgung, das Prognosen der Internationalen Energiebehörde sowohl erweitert als auch verbessert wurde unter Verwendung des MESAP/PlaNet Simulationsmodells berechnet. Es wurde vom Ecofys-Beratungsbüro weiterentwickelt, um das zukünftige Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz zu berücksichtigen. Die Ecofys-Studie geht von einer ambitionierten Nutzung des Energieeffizienzpotenzials aus, die sich auf bewährte sowie zukünftig verfügbare Technologien konzentriert. Dies führt dazu, dass unter Verwendung des Szenarios der EnergieRvolution der weltweite Energiebedarf im Jahr 2050 um 47% reduziert werden kann.

Das Potenzial für erneuerbare Energien

Dieser Bericht macht deutlich, dass erneuerbare Energien kein Zukunftstraum sind – sie sind real, ausgereift und großflächig einsetzbar. Durch jahrzehntelangen technologischen Fortschritt sind Technologien im Bereich der regenerativen Energien wie Windkraft-, Solar- und Photovoltaikanlagen, Biomasse-Kraftwerke und Sonnenkollektoren inzwischen für den Großeinsatz bereit. Der weltweite Markt für erneuerbare Energien wächst derzeit enorm; im Jahre 2006 betrug der Umsatz 38 Mill. US-Dollar, 26% mehr als im vorangegangenen Jahr.

Das Zeitfenster für die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien ist ziemlich eng. Innerhalb des nächsten Jahrzehnts werden die meisten der vorhandenen Kraftwerke in den OECD-Staaten das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreichen und müssen ersetzt werden. Doch eine heutige Entscheidung für den Bau eines Kohlekraftwerkes wird die Produktion von CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 zur Folge haben. Die Pläne, die in den kommenden Jahren von Energieversorgungsunternehmen beschlossen werden, werden also die Energieversorgung unserer nächsten Generation bestimmen. Wir sind der festen Überzeugung, dass es sich dabei um die „Solar-Generation“ handeln sollte.

Während die Industriestaaten unbedingt ihre Energiestrategie überdenken müssen, sollten die Entwicklungsländer aus Fehlern der Vergangenheit lernen und ihre Wirtschaft von Anfang an auf dem soliden Fundament einer nachhaltigen Energieversorgung aufbauen. Um dies möglich zu machen, wird eine neue Infrastruktur nötig sein.

Erneuerbare Energien könnten 35% des weltweiten Energiebedarfs bis 2030 decken – den politischen Willen zur Förderung des großflächigen Einsatzes in allen Sektoren auf globaler Ebene zusammen mit weitreichenden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz vorausgesetzt. Dieser Bericht betont besonders, dass die Zukunft der Entwicklung erneuerbarer Energien ganz erheblich von politischen Entscheidungen sowohl der individuellen Regierungen als auch der internationalen Gemeinschaft abhängen wird.

Durch die Entscheidung für erneuerbare Energien und Energieeffizienzsteigerung könnten Entwicklungsländer ihre CO₂-Emissionen praktisch stabilisieren und gleichzeitig den durch das Wirtschaftswachstum bedingten Energieverbrauch steigern. Die OECD-Staaten werden ihre Emissionen um bis zu 80% reduzieren müssen.

Um dies möglich zu machen, ist es nicht nötig „im Dunkel zu frieren“. Strenge technische Standards werden sicherstellen, dass nur die effizientesten Kühlschränke, Heizsysteme, Computer und Fahrzeuge in den Verkauf kommen. Die Verbraucher haben ein Recht darauf, Produkte zu kaufen, die weder ihre Stromrechnung in die Höhe treiben, noch das Klima zerstören.

Von der Vision zur Realität

Dieser Bericht zeigt, dass ein Szenario nach dem Motto „Business as usual“, basierend auf dem World Energy Outlook der IEA keine Option für zukünftige Generationen darstellt. Die CO₂-Emissionen würden sich bis 2050 fast verdoppeln und das globale Klima würde sich um wesentlich mehr als 2° C aufheizen. Dies hätte katastrophale Auswirkungen auf die Umwelt, die Wirtschaft und die menschliche Gemeinschaft.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass der frühere Chef-Ökonom der Weltbank, Sir Nicholas Stern, in seinem Report deutlich herausstreichet, dass diejenigen, die heute in energiesparende Technologien und erneuerbare Energien investieren, die Gewinner von Morgen sein werden. Untätigkeit wird langfristig teurer sein als jetzt Maßnahmen zu ergreifen.

Wir rufen deshalb die Entscheidungsträger auf der ganzen Welt dazu auf, diese Vision Realität werden zu lassen. Die politischen Entscheidungen der kommenden Jahre werden die Umwelt und die Wirtschaft unserer Welt auf viele Jahrzehnte hinaus bestimmen. Die Welt kann es sich nicht leisten, an einer „konventionellen“ Energiestrategie festzuhalten, die auf fossile Brennstoffe, Atomkraft und andere veraltete Technologien setzt. Erneuerbare Energien können und müssen eine führende Rolle in der Energiezukunft unserer Welt haben.

Für eine gesunde Umwelt, politische Stabilität und intakte Wirtschaft: Jetzt ist die Zeit, sich für eine wirklich sichere und nachhaltige Energiezukunft einzusetzen – eine Zukunft, die auf sauberen Technologien, wirtschaftlicher Entwicklung und der Schaffung von Millionen neuer Arbeitsplätze basiert.

JANUAR 2007

Arthouros Zervos
EUROPEAN RENEWABLE
ENERGY COUNCIL

Sven Teske
GREENPEACE INTERNATIONAL

Zusammenfassung

„DIE RESERVEN AN ERNEUERBARER ENERGIE, DIE HEUTE TECHNISCH GENUTZT WERDEN KÖNNEN, REICHEN AUS UM 6 MAL MEHR ENERGIE BEREITZUSTELLEN ALS DIE WELT HEUTE VERBRAUCHT – FÜR IMMER.“

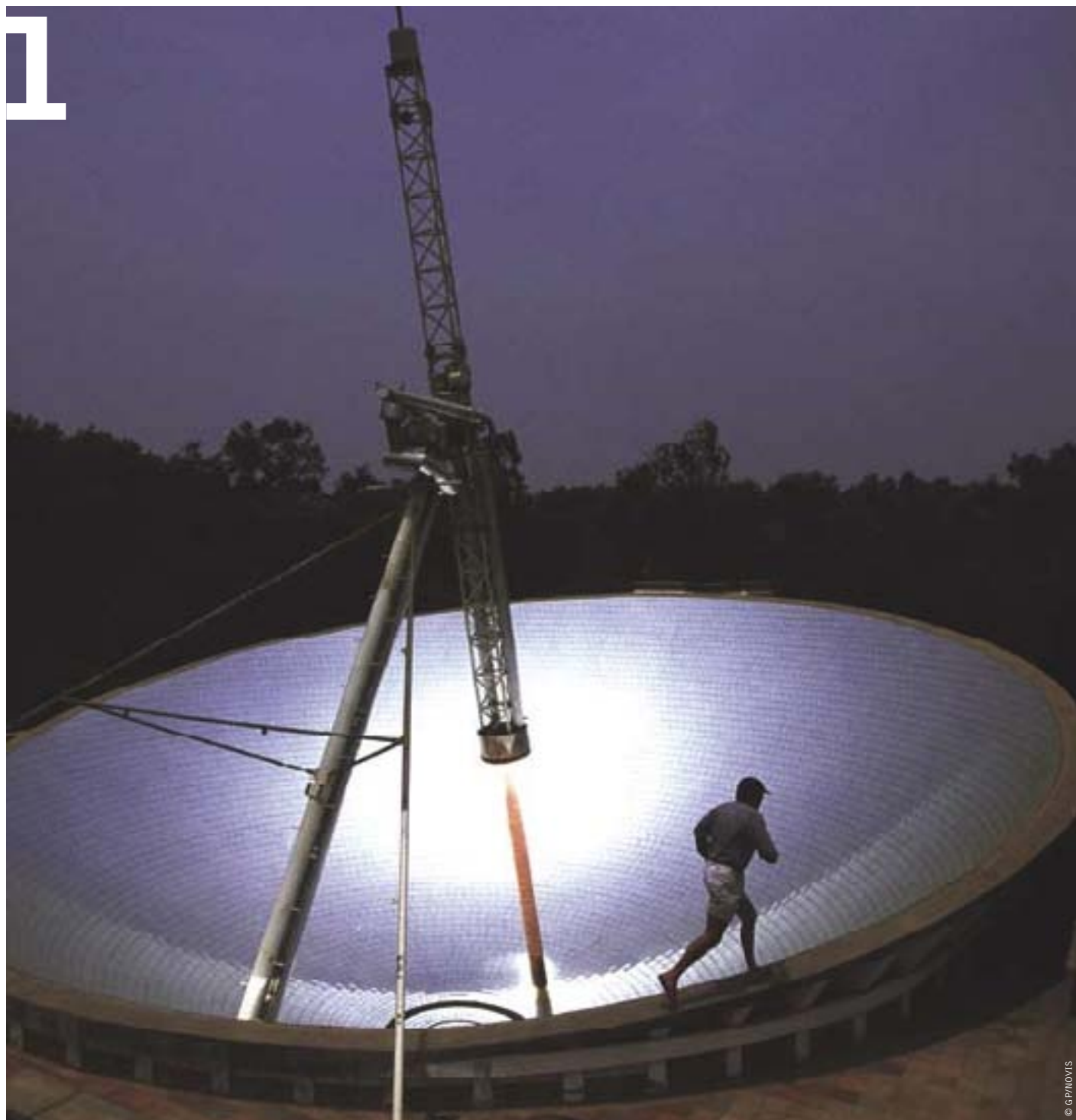


Bild EIN MANN LÄUFT AUF DEM RAHMEN EINER SOLARSCHÜSSEL DIE SICH AUF DER SOLARKÜCHE IN AUROVILLE, TAMIL NADU, INDIEN, BEFINDET. DIE SOLARSCHÜSSEL GEWINNT GENUG SOLARE ENERGIE FÜR DIE KOCHAKTIVITÄTEN VON 2000 MENSCHEN TÄGLICH. DIE GEMEINDE AUROVILLE WURDE 1968 VON MENSCHEN AUS ÜBER 100 LÄNDERN GEGRÜNDET. AUROVILLE IST SPEZIALISIERT AUF AKTIVITÄTEN IM BEREICH DER ÖKOLOGISCHEN REGENERATION, DER ÖKOLOGISCHEN LANDWIRTSCHAFT, ALTERNATIVER ENERGIEFORMEN, DER GEMEINDEENTWICKLUNG, DES THEATERS, DER MUSIK UND KUNST.

Bild KRAFTWERK IN DER NÄHE VON REYKJAVIK, DIE ENERGIE WIRD VON GEOTHERMISCHER AKTIVITÄT IM NORDWESTEN ISLANDS GEWONNEN.



Gefahren für das Klima und Lösungen

Die anhaltende Zunahme von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre führt zum Klimawandel und zerstört bereits Ökosysteme und ist verantwortlich für den Tod von 150.000 Menschen jährlich.^{a)}

Eine durchschnittliche Erderwärmung von 2° C bedroht Millionen von Menschen durch ein erhöhtes Risiko an Hunger, Malaria, Überflutung und Wassermangel. Wenn die steigenden Temperaturen auf einem akzeptablen Niveau gehalten werden sollen, müssen wir unsere Treibhausgasemissionen deutlich verringern. Dies macht sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht Sinn. Das wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂), das durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen für Energie und Verkehr entsteht.

Angetrieben durch die enormen Preissteigerungen für Öl in jüngster Zeit, steht das Thema Energieversorgung nun an der Spitze der Energieagenda. Ein Grund für diese Preissteigerungen ist die Tatsache, dass die Ressourcen an fossilen Brennstoffen – Öl, Gas und Kohle – immer knapper und teurer werden.^{b)}

Vermutlich werden sie noch vor Ende des 21. Jahrhunderts erschöpft sein. Die Tage des „billigen Öls und Gases“ sind also bald gezählt. Der atomare Brennstoff Uran ist ebenso ein endlicher Rohstoff. Im Gegensatz dazu reichen die Reserven an erneuerbaren Energien, die technisch verfügbar sind, aus, um etwa sechs Mal mehr Energie zur Verfügung zu stellen, als die Welt gegenwärtig verbraucht – für immer!^{c)}

Was die technische und wirtschaftliche Ausgereiftheit angeht, variieren die verschiedenen Technologien für erneuerbare Energie stark, doch es gibt eine ganze Reihe an Energiequellen, die zunehmend attraktive Alternativen darstellen. Zu diesen Energiequellen gehören Wind, Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie, Geothermie, Meeres- und hydroelektrische Energie. Sie alle haben gemeinsam, dass sie nur geringe oder keine Treibhausgase erzeugen und auf praktisch unerschöpflichen natürlichen Quellen für ihren „Brennstoff“ basieren. Ihre Wirtschaftlichkeit wird mit der technischen Entwicklung noch zunehmen, da der Preis fossiler Brennstoffe weiterhin steigen und der Einsparung von Kohlendioxidemissionen ein finanzieller Wert beigemessen wird.

Parallel dazu existiert ein gewaltiges Potenzial zur Reduzierung unseres Energieverbrauchs. Diese Studie behandelt ausführlich eine ganze Palette an Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung, die die Energienachfrage in Industrie, Privathaushalten, Unternehmen und Dienstleistungen erheblich reduzieren können.

Die Energiezukunft liegt im größeren Nutzen erneuerbarer Energien für die Wärme- und Stromgewinnung. Atomkraft ist keine Lösung, da von ihr vielfältige Gefahren für Mensch und Umwelt ausgehen. Diese beinhalten die Risiken und Umweltschädigungen durch die Urangewinnung, -verarbeitung und -transport, das Risiko der Verbreitung atomarer Waffen, das ungelöste Problem des atomaren Abfalls und die potenzielle Gefahr eines schweren Atomunfalls. Die atomare Alternative wird daher in dieser Analyse außer Acht gelassen.

Die Energie[R]evolution

Der Klimawandel erfordert nichts Geringeres als eine Energie-Revolution. Im Zentrum dieser Revolution wird eine Veränderung der Art und Weise stehen, in der Energie produziert, verteilt und verbraucht wird. Die fünf Schlüsselprinzipien dieses Wandels werden lauten:

- Umsetzung sauberer, erneuerbarer Lösungen; speziell durch dezentralisierte Energiesysteme
- Respektieren der natürlichen Grenzen unserer Umwelt
- Allmähliche Abschaffung schmutziger, nicht nachhaltiger Energiequellen
- Gleichberechtigung beim Einsatz von Ressourcen
- Entkopplung von Wachstum und der Verwendung fossiler Brennstoffe

Durch dezentralisierte Energiesysteme, bei denen Strom und Wärme in der Nähe des Verbrauchsortes erzeugt werden, lässt sich der gegenwärtige Verlust durch die Energieumwandlung und -verteilung vermeiden. Diese Systeme sind ein zentraler Aspekt der Energie[R]evolution, ebenso wie der Zugang zur Energie für die zwei Milliarden Menschen, die im Moment ohne Strom sind.

Zwei Szenarien bis zum Jahr 2050 werden in diesem Bericht skizziert. Das Referenz-Szenario basiert auf dem gleichnamigen Szenario, das die Internationale Energiebehörde (IEA) in ihrem World Energy Outlook 2004 (WEO 2004) veröffentlicht hat, und zwar extrapoliert ab 2030. Im Vergleich zu den Vorhersagen des IEA aus dem Jahr 2004 geht man im World Energy Outlook 2006 (WEO 2006) von einer etwas höheren Steigerungsrate des weltweiten Bruttoinlandsprodukts von 3,4% anstatt 3,2% für den Zeithorizont von 2004-2030 aus. Gleichzeitig wird auch der Energieendbedarf im Jahr 2030 im WEO 2006 4% höher eingeschätzt als im WEO 2004. Eine Sensitivitätsanalyse bezüglich des Einflusses des Wirtschaftswachstums auf die Energienachfrage im Energie[R]evolution-Szenario zeigt, dass ein 0,1% höheres globales Bruttoinlandsprodukt (in dem Zeitraum 2003-2050) zu einem 0,2% höheren Energieendbedarf führt.

Das Energie[R]evolution-Szenario hat die Reduktion der weltweiten Emissionen um 50% unter den 1990er Niveau zum Ziel, um den Anstieg der globalen Erwärmung unter +2° C zu halten. Dies entspricht Pro-Kopf-Emissionen von weniger als 1,3 Tonnen pro Jahr bis 2050. Ein zweites Ziel ist die allmähliche Abschaffung der Atomkraft weltweit. Um diese Ziele zu erreichen, ist das Szenario durch intensive Bemühungen gekennzeichnet, das hohe Potenzial zur Energieeffizienzsteigerung zu nutzen. Gleichzeitig werden alle rentablen erneuerbaren Energiequellen zur Erzeugung von Wärme und Elektrizität sowie die Herstellung von Biokraftstoffen eingesetzt.

Gegenwärtig machen erneuerbare Energien 13% des weltweiten Primärenergiebedarfs aus. Biomasse, hauptsächlich zum Heizen verwendet, ist die größte erneuerbare Energiequelle. Der Anteil der regenerativen Energien bei der Stromerzeugung beträgt 18%, während der Beitrag der erneuerbaren Energien bei der Heizenergie bei etwa 26% liegt. Ungefähr 80% des Primärenergieangebots stammen noch immer aus fossilen Brennstoffen und die übrigen 7% aus Atomkraft.

Fußnoten

a: KOVATS, R.S., UND HAINES, A., „GLOBAL CLIMATE CHANGE AND HEALTH: RECENT FINDINGS AND FUTURE STEPS“ CMAJ (CANADIAN MEDICAL ASSOCIATION JOURNAL) FEB. 15, 2005; 172 (4)

b: RES/GWEC, „PLUGGING THE GAP“, 2006

c: DR. NITSCH ET AL.

Das Energie[r]evolution-Szenario beschreibt eine Entwicklungsstrategie, die die heutige Situation in eine nachhaltige Energieversorgung verändert.

- Die Ausschöpfung des großen Energieeffizienzpotenzials wird den Primärenergiebedarf von derzeit 435.000 PJ/a (Petajoule pro Jahr) auf 422.000 PJ/a bis 2050 reduzieren. Nach dem Referenz-Szenario gäbe es einen Anstieg auf 810.000 PJ/a. Diese gewaltige Reduzierung ist eine entscheidende Voraussetzung um einen signifikanten Anteil erneuerbarer Energiequellen, die den Wegfall der Atomkraft und die Verringerung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe kompensieren, zu erreichen.
- Der zunehmende Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verbessert ebenfalls die Energieumwandlungseffizienz des Versorgungssystems, erst recht bei Verwendung von Erdgas und Biomasse. Langfristig wird der weitere Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung durch die sinkende Nachfrage nach Wärme und dem großen Potenzial der direkten Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energiequellen begrenzt.
- Der Stromsektor wird der Vorreiter in der Nutzbarmachung erneuerbarer Energien sein. Bis 2050 werden etwa 70% der Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen, einschließlich großer Wasserkraftwerke, stammen. Eine installierte Leistung von 7.100 Gigawatt wird im Jahr 2050 21.400 Terrawattstunden pro Jahr (TWh/a) produzieren.
- Im Wärmesektor wird der Beitrag der erneuerbaren Energien auf 65% bis zum Jahr 2050 steigen. Fossile Brennstoffe werden zunehmend durch effizientere moderne Technologien, speziell Biomasse, Sonnenkollektoren und Geothermie, ersetzt.
- Bevor Biokraftstoffe in großem Umfang auch im Verkehrssektor einzusetzen sind, muss das bestehende enorme Effizienzsteigerungspotenzial ausgenutzt werden. Da Biomasse vorwiegend für die stationäre Verwendung vorgesehen ist, ist die Produktion von Biokraftstoffen durch die Verfügbarkeit von nachhaltig angebauter Biomasse beschränkt.
- Bis 2050 wird die Hälfte des Primärenergiebedarfs mit erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Um eine wirtschaftliche Zunahme erneuerbarer Energiequellen zu erreichen, ist der ausgewogene und rechtzeitige Einsatz aller erneuerbaren Technologien von großer Bedeutung. Dieser hängt vom technischen Potenzial, den realen Kosten, Einsparmöglichkeiten und der technologischen Reife ab.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während sich die weltweiten CO₂-Emissionen unter dem Referenz-Szenario bis 2050 fast verdoppeln – alles andere als eine nachhaltige Entwicklung –, werden sie unter dem Energie[r]evolution-Szenario von 23 Milliarden Tonnen im Jahr 2003 auf 11,5 Milliarden Tonnen im Jahr 2050 sinken. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 4 auf 1,3 Tonnen fallen. Langfristig werden die Effizienzsteigerungen und der verstärkte Einsatz von Biokraftstoffen die CO₂-Emissionen sogar im Verkehrssektor verringern. Mit einem Anteil von 36% der gesamten CO₂-Emissionen im Jahr 2050 wird der Stromsektor hinter den Verkehrssektor als größter Emissionsverursacher fallen.

Kosten

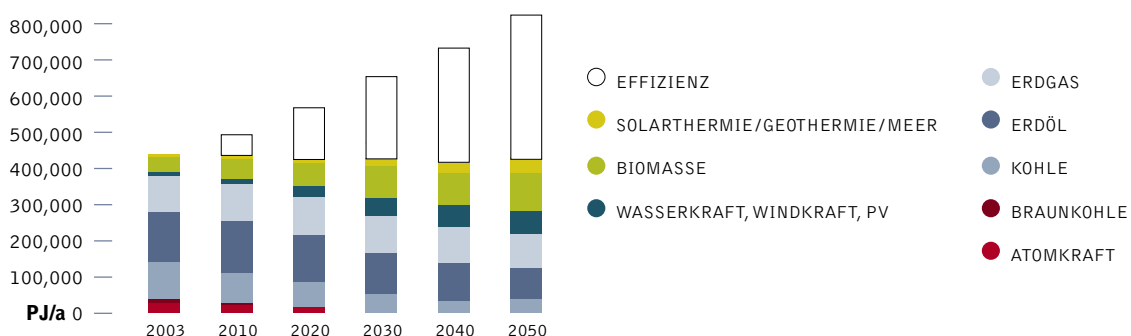
Aufgrund der wachsenden Nachfrage nach Energie sieht sich unsere Gesellschaft mit einem erheblichen Anstieg der Ausgaben für die Energieversorgung konfrontiert. Unter dem Referenz-Szenario führen die unvermindert zunehmende Nachfrage, die Preiserhöhungen für fossile Brennstoffe und die Kosten der CO₂-Emissionen zu Energiepreisen, die von heute jährlich 1.130 Milliarden US-Dollar auf 4.300 Milliarden US-Dollar im Jahr 2050 steigen werden. Das Szenario der Energie[r]evolution erfüllt nicht nur die globalen CO₂-Reduktionsziele, sondern trägt auch zu einer Stabilisierung der Energiekosten bei und mindert damit den ökonomischen Druck auf die Gesellschaft. Eine höhere Energieeffizienz und die Verlagerung der Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen führen langfristig zu Energiekosten, die ein Drittel niedriger sind als unter dem Referenz-Szenario. Damit wird offensichtlich, dass sich die konsequente Einhaltung ökologischer Zielsetzungen im Energiesektor auch in ökonomischer Hinsicht auszahlt.

Folgende Voraussetzungen müssen geschaffen werden, um die Energie[r]evolution Wirklichkeit werden zu lassen und um einen gefährlichen Klimawandel zu vermeiden:

- Der Ausstieg aus allen Subventionen für fossile Brennstoffe und Atomkraft sowie die Internalisierung der externen Kosten.
- Die Verabschiedung rechtlicher bindender Ziele für erneuerbare Energien.
- Die Gewährung einer festgelegten und sicheren Rendite für Investoren.
- Der garantierte bevorzugte Zugang zum Stromversorgungsnetz für Stromerzeuger aus erneuerbaren Energien.
- Strikte Effizienzstandards für alle stromverbrauchenden Geräte, Gebäude und Fahrzeuge.

Abb. 1: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Energie[r]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG IM VERGLEICH ZUM REFERENZ-SZENARIO)



Klimaschutz

„WENN WIR NICHT SCHNELL UND ENTSCHEIDEND GEGEN DIE KLIMAERWÄRMUNG VORGEHEN, KÖNNTE DER SCHADEN IRREVERSIBEL WERDEN.“

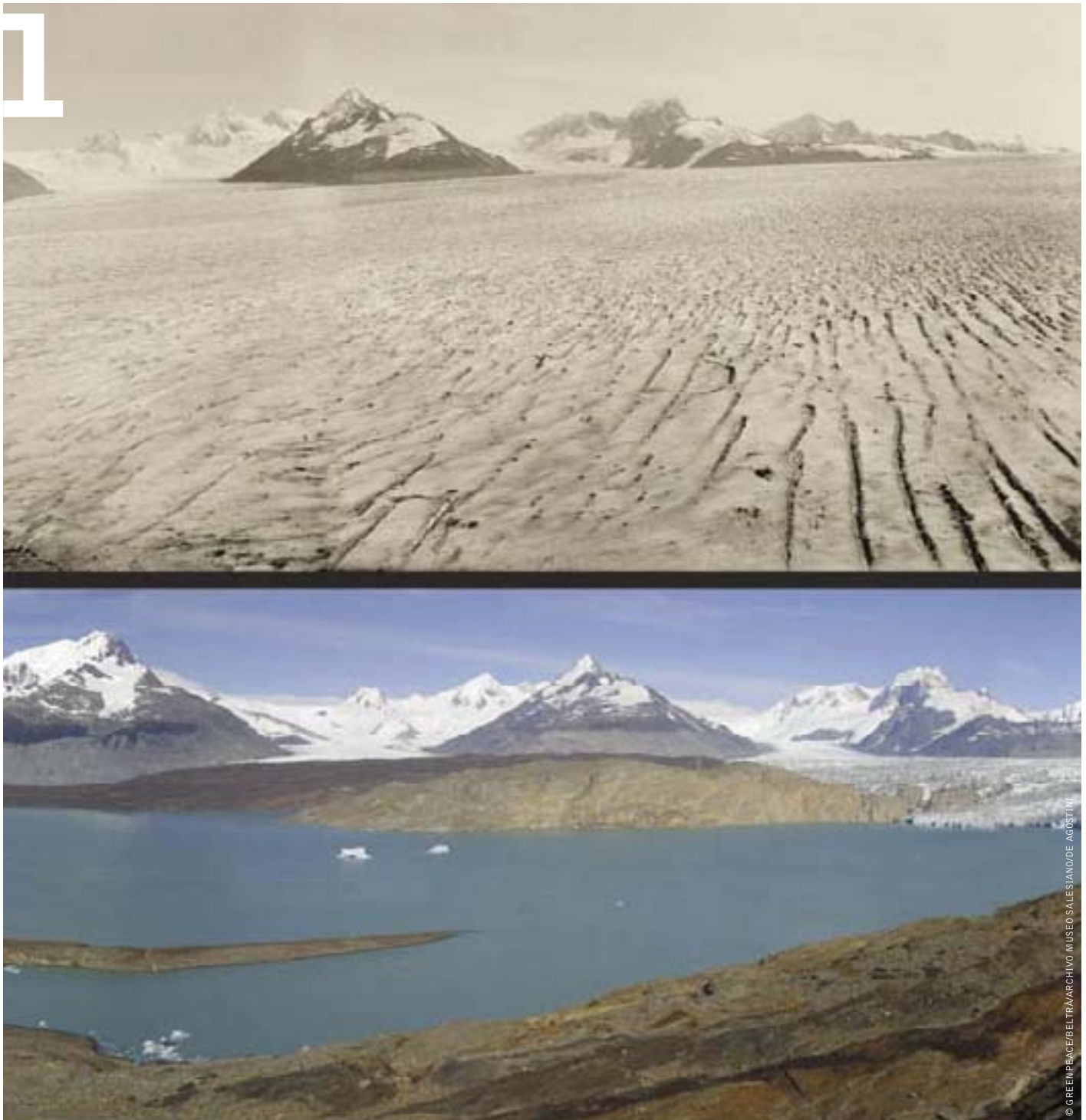


Bild 1 und 2. ORIGINALFOTOS DES UPSALA-GLETSCHERS VON 1928, PATAGONIEN, ARGENTINIEN, IM VERGLEICH MIT DEM ZURÜCKWANDERNDEN GLETSCHER VON HEUTE.

Treibhauseffekt und Klimawandel

Der natürliche Treibhauseffekt ist der Prozess, bei dem die Atmosphäre einen Teil der Sonnenenergie einfängt, wodurch sich die Erde erwärmt und ein gemäßigtes Klima entsteht. Die meisten Klimaforscher sind davon überzeugt, dass die durch Menschen verursachte Zunahme der „Treibhausgase“ diesen Effekt künstlich verstärkt, sodass die Temperaturen global ansteigen und unser Klima zerstört wird. Zu diesen Treibhausgasen gehören Kohlendioxid, das durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und durch die Entwaldung entsteht, Methan, das von Reisfeldern, Tieren und Mülldeponien freigesetzt wird, und Stickoxid, das aus der landwirtschaftlichen Produktion, der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Produktion einer Reihe von Industriechemikalien stammt.

Jeden Tag fügen wir unserem Klima durch die Verwendung fossiler Brennstoffe (Öl, Kohle und Gas) für Energie und Verkehr Schaden zu. Als Folge dessen beeinträchtigt der Klimawandel bereits unser Leben und wird wahrscheinlich in den kommenden Jahrzehnten die Lebensgrundlage vieler Menschen in der dritten Welt vernichten, ebenso wie Ökosysteme und ganze Spezies. Daher müssen wir unsere Treibhausgasemissionen erheblich reduzieren. Zum Wohl der Umwelt und der Wirtschaft.

Abb. 2: Der Treibhaus-Effekt

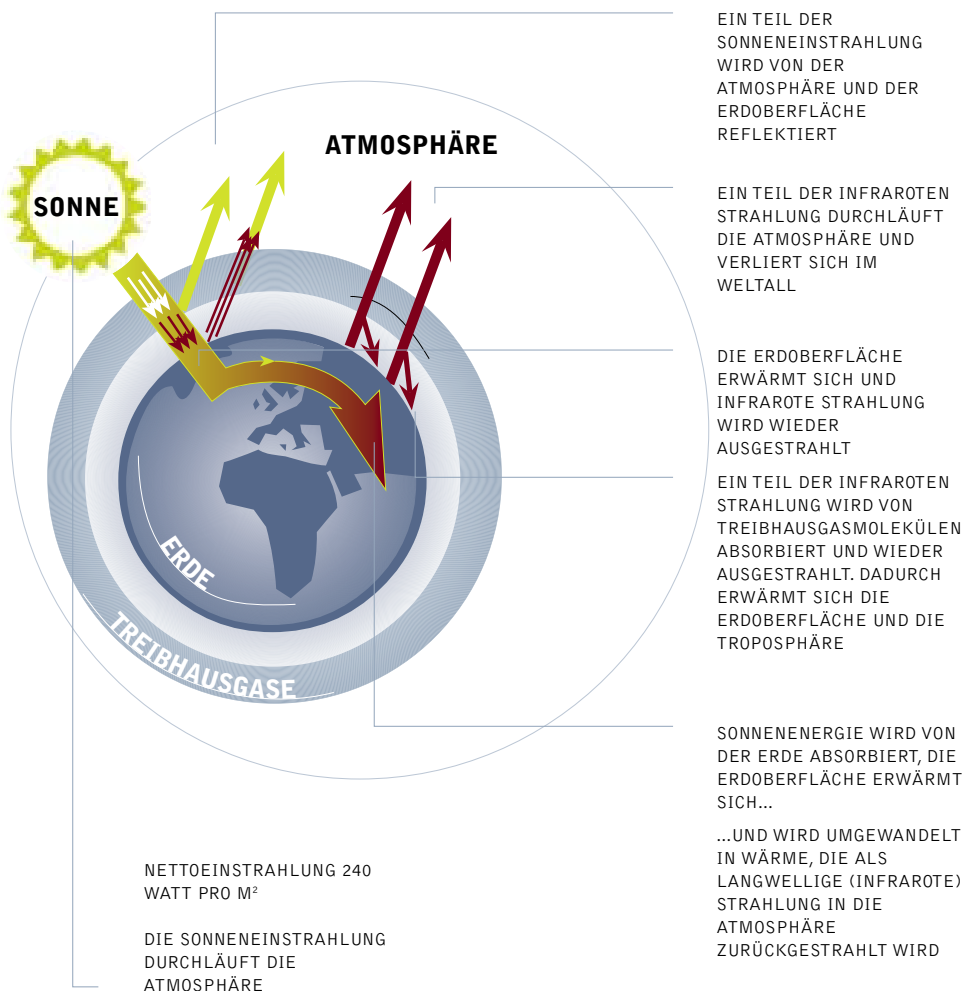


Tabelle 1: Die 10 wärmsten Jahre zwischen 1850-2005

REFERENZTEMPERATUR IST DIE DURCHSCHNITTICHE GLOBALE TEMPERATUR ZWISCHEN 1880-2003

JAH	ABWEICHUNG VON REFERENZ-TEMPERATUR	RANG
1998, 2005	+0.63°C	1
2003	+0.56°C	2
2002	+0.56°C	2
2004	+0.54°C	4
2001	+0.51°C	5
1997	+0.47°C	6
1995	+0.40°C	7
1990	+0.40°C	7
1999	+0.38°C	9
2000	+0.37°C	10

Quelle NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER



Laut dem IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), dem Klimaforschungsforum der Vereinten Nationen, werden in den nächsten 100 Jahren die Temperaturen weltweit vermutlich um bis zu 5,8° Celsius ansteigen. Einen so schnellen Anstieg hat die Menschheitsgeschichte noch nie erlebt. Das Ziel der Klimapolitik muss es sein, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen auf unter 2° C verglichen mit vorindustriellen Werten zu halten. Bei 2° C und mehr wird der Schaden für Ökosysteme und die Beeinträchtigung des Klimasystems dramatische Ausmaße erreichen. Uns steht nur sehr wenig Zeit zur Verfügung, um unser Energiesystem zu verändern und dies zu verhindern. Das bedeutet: Nachdem die weltweiten Emissionen ihren Höchststand erreicht haben, müssen sie bis spätestens Ende des nächsten Jahrzehnts sinken.

Der Klimawandel schadet bereits jetzt Menschen und Ökosystemen. Diese Tatsache zeigt sich im Verschwinden des Polareises, dem Auftauen von Permafrostböden, dem Sterben von Korallenriffen, dem Anstieg des Meeresspiegels und tödlichen Hitzewellen. Und es sind nicht nur Wissenschaftler, die diese Veränderungen bezeugen. Von den Inuit im hohen Norden bis zu den Inselbewohnern in der Nähe des Äquators ringen die Menschen bereits heute mit den Auswirkungen des Klimawandels. Eine mittlere Erwärmung des Weltklimas von 2° C bedroht Millionen von Menschen mit Hunger, Malaria, Überflutung und Wassermangel.

Niemals zuvor war die Menschheit gezwungen, eine solch gewaltige Umweltkrise zu bewältigen. Wenn wir nicht umgehend Maßnahmen ergreifen, um die globale Erwärmung aufzuhalten, könnte der Schaden irreversibel sein. Dies kann nur durch eine unverzügliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre geschehen.

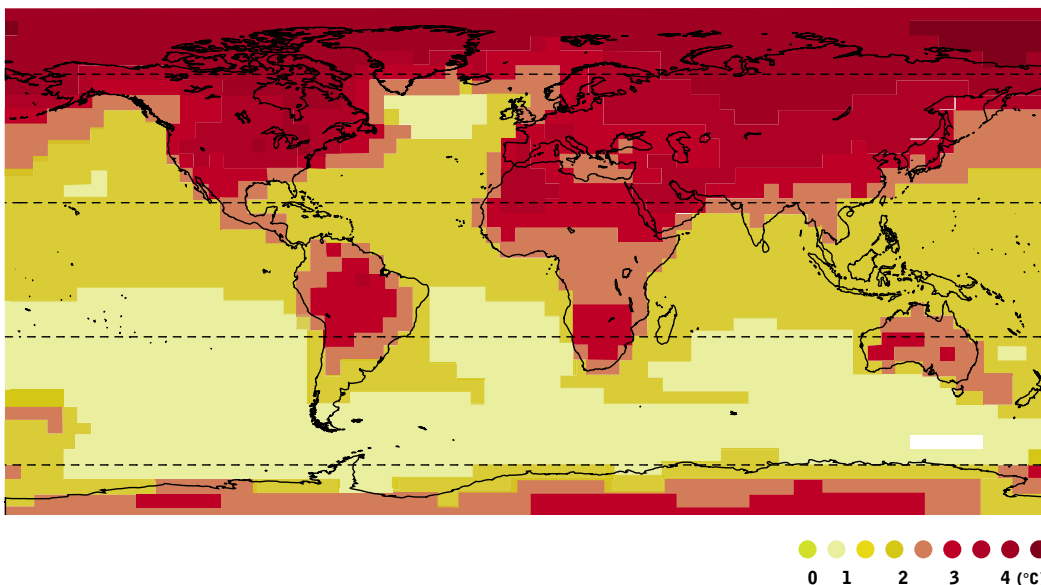
Hier eine Zusammenfassung wahrscheinlicher Folgen, falls wir den gegenwärtigen Trend nicht aufhalten:

Wahrscheinliche Auswirkungen einer geringen bis mäßigen Erwärmung

- Anstieg des Meeresspiegels durch schmelzende Gletscher und thermische Ausdehnung der Ozeane bei weltweit zunehmenden Temperaturen.
- Massive Freisetzung von Treibhausgasen durch auftauende Permafrostböden und sterbende Wälder.
- Ein hohes Risiko für extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren und Flutwellen. Die Häufigkeit von Dürren hat sich während der letzten 30 Jahre bereits verdoppelt.
- Schwerwiegende regionale Auswirkungen: In Europa wird es verstärkt Überschwemmungen an Flüssen und Küstengebieten geben, ebenso Bodenerosion und einen Verlust von Feuchtgebieten. Auch niedrig liegende Gebiete in Entwicklungsländern wie Bangladesch und Südchina werden massiv von Überschwemmungen betroffen sein.
- Natürliche Systeme wie Gletscher, Korallenriffe, Mangroven, alpine Ökosysteme, boreale und tropische Wälder, Präriefeuchtgebiete und ursprüngliches Grasland werden ernsthaft gefährdet.
- Erhöhtes Risiko des Artensterbens und Verlust der Biodiversität.
- Die schlimmsten Folgen werden arme Länder der Subsahara Afrikas, Süd- und Südasiens, der Andenstaaten Südamerikas sowie die SIS (Small Island States) zu spüren bekommen, die sich am wenigsten vor den zunehmenden Dürrewellen, dem steigendem Meeresspiegel, der Gefahr durch Seuchenausbreitung und dem Rückgang der landwirtschaftlichen Produktion schützen können.

Abb. 3: Ungefähre Verteilung der Erhöhung der Oberflächen-temperatur bei einem globalen Anstieg um 2°C

+2°C AVERAGE



Anmerkung: DIESE GRAFIK WURDE MIT HILFE DER LINEARMUSTER-SKALIERMETHODE ERSTELLT, WIE SIE IM SCENARIOSZENARIUM (VON WIGLEY ET AL.) UMGESETZT WIRD. DAS ANGEZEIGTE MUSTER IST DAS DURCHSCHNITTMUSTER EINER VORGEgebenEN REIHE FOLgender MODELLE: CSM (1998), ECHAM3 (1995), ECHAM4 (1998), GFDL (1990), HADAM2 (1995), HADAM3 (2000). DAS MUSTER WURDE FÜR EINEN TEMPERATURANSTIEG UM 2°C SEIT 1990 IN EINEM DURCHLAUF MIT DEM EMISSIONSSZENARIO IPCC SRES B2 ERSTELLT. ES GILT ZU BEACHTEN, DASS DAS GLEICHGEWICHTSTEMPERATUR-MUSTER FÜR EINEN ANSTIEG UM 2°C GEGENÜBER VORINDUSTRIELLEN WERTEN QUANTITATIV VERSCHIEDEN, JEDOCH QUALITATIV ÄHNLICH IST. ©ALTE.MEINSHAUSEN@ENV.ETH.ZH; ETH ZÜRICH 2004



Bild 1 AUSTERNFISCHER IOAN IM KLEINEN ORT BURAS KEHRT 21 TAGE NACH DEM HURRIKANE KATRINA ZURÜCK. WIE SO VIELE ANDERE FINDET ER SEIN HAUS ZERSTÖRT UND TEILWEISE IN SCHLAMM UND KONTAMINIERTEN WASSER VERSUNKEN VOR.

Bild 2 EINE FAMILIE BAUT EINEN WALL AUS SANDSÄCKEN ZUM SCHUTZ GEGEN UNGEWÖHNLICH HOHE „KING TIDES“. GREENPEACE UND WISSENSCHAFTLER SIND BESÖRGT, DASS NIEDRIGLIEGENDE INSELN AUFGRUND DES MEERESSPIEGELANSTIEGS PERMANENT DURCH ÜBERFLUTUNGEN BEDROHT SEIN KÖNNTEN.

Bild 3 30. OKTOBER 2006 – NONTABURI, THAILAND – DORFBEWÖHNER PADDELN IN EINEM BOOT IN EINEM DORF AUF DER KOH KHRED ISLAND, WELCHES VON ÜBERFLUTUNGEN VERSCHLUNGEN WURDE. KOH KHRED IST EINE KLEINE INSEL IM CHAO PHRAYA FLUSS, IN DER PROVINZ NONTABURI AM RANDE VON BANGKOK. FRÜHER IM SELBEN JAHR HATTEN WISSENSCHAFTLER GEWARNT, DASS THAILAND, AUFGRUND DER AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS, ÖFTER ALS NORMAL VON EXTREME WETTEREREIGNISSE HEIMGESUCHT WERDEN WIRD

Bild 5 TAUSENDE VON FISCHEN STERBEN AUF DER AUSGETROCKNETEN SOHLE DES MANAQUIRISSEES, 150 KM VON AMAZONAS PROVINZHauptstadt MANAUS, BRASILIEN ENTFERNT.

Langfristige katastrophale Effekte

Die emissionsbedingte Erwärmung könnte das irreversible Auftauen der grönländischen Eisdecke auslösen, wodurch über mehrere Jahrhunderte hinweg der Meeresspiegel schließlich um sieben Meter ansteigen wird. Neueste Erkenntnisse zeigen, dass die Menge des abgelösten Eises in Teilen der Antarktis auch ein Indiz für deren mögliches Schmelzen ist.

Ein Verlangsamen, Verlagern oder Kollabieren des Atlantischen Golfstromes wird dramatische Folgen für Europa haben und das globale Zirkulationssystem der Ozeane unterbrechen.

Große Methanfreisetzungen aus schmelzenden Permafrostböden und Ozeanen werden die Zunahme des Gases in der Atmosphäre und damit die Erwärmung zusätzlich beschleunigen.

Das Kyoto-Protokoll

Im Bewußtsein dieser Gefahren haben die Unterzeichner der Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) im Jahr 1997 das Kyoto-Protokoll verabschiedet. Das Kyoto-Protokoll trat schließlich Anfang 2005 in Kraft, und seine 165 Mitgliedsstaaten treffen sich zweimal jährlich um weitere Details und Entwicklungen der Vereinbarung zu verhandeln. Lediglich zwei große Industrienationen, die Vereinigten Staaten von Amerika und Australien, haben das Kyoto-Protokoll nicht ratifiziert.

Das Kyoto-Protokoll verpflichtet die Unterzeichner zur Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen um 5,2% gegenüber den Werten von 1990 bis zur Zielfase 2008–2012. Dies hat wiederum zur Verabschiedung einer Reihe von regionalen und nationalen Reduktionsszielen geführt. In der Europäischen Union hat man sich beispielsweise auf eine Gesamtreduzierung von 8% verpflichtet. Um dieses Ziel zu erreichen, hat die EU auch das Ziel beschlossen, ihren Anteil erneuerbarer Energie von 6% auf 12% bis zum Jahr 2010 zu steigern.

Gegenwärtig verhandeln die Kyoto-Staaten über die zweite Phase der Vereinbarung, also die Periode von 2013 bis 2017. Greenpeace fordert von den Industriestaaten für diese Phase eine Reduktion der Emissionen um 18% gegenüber den Werten von 1990 und eine Reduktion um 30% für die dritte Phase von 2018 bis 2022. Nur mit diesen Vorgaben haben wir überhaupt eine realistische Chance, das Ziel von <2° C umzusetzen.

Die Struktur des Kyoto-Protokolls basiert hauptsächlich auf rechtlich bindenden Verpflichtungen zur Emissionsreduzierung. Um diese Ziele zu erreichen, wird Kohlendioxid zu einer handelbaren Ware gemacht. Damit wird beabsichtigt, die wirtschaftlich rentabelsten Emissionsreduzierungen zu fördern und im Gegenzug die notwendigen Investitionen in saubere Technologien durch den privaten Sektor zu finanzieren, sodass eine Revolution der Energieversorgung stattfinden kann. Da es jedoch nach dem Ausstieg der USA Anfang 2001 so lange gedauert hat, bis Kyoto in Kraft treten konnte, läuft den Verhandlungspartnern jetzt die Zeit davon. Dies ist ein entscheidendes Jahr, denn die Staaten müssen sich beim nächsten Treffen in Indonesien im Dezember 2007 auf ein sicheres Verhandlungsmandat einigen, damit die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls spätestens 2008 oder 2009 verabschiedet werden kann. Nur so ist gewährleistet, dass den Regierungen genügend Zeit für die Ratifizierung und Umsetzung der Verfahren und Maßnahmen bleibt, die für die nächste Phase einer verstärkten Emissionsreduzierung notwendig ist.

Atomare Risiken

„DIE GEFAHR EINES ATOMAREN UNFALLS, DIE PRODUKTION HOCHRADIOAKTIVEN ABFALLS UND DIE GEFAHR DER ZUNAHME VON ATOMWAFFEN SIND NUR EINIGE GRÜNDE, WARUM DAS ZEITALTER DER ATOMKRAFT BEENDET WERDEN MUSS.“

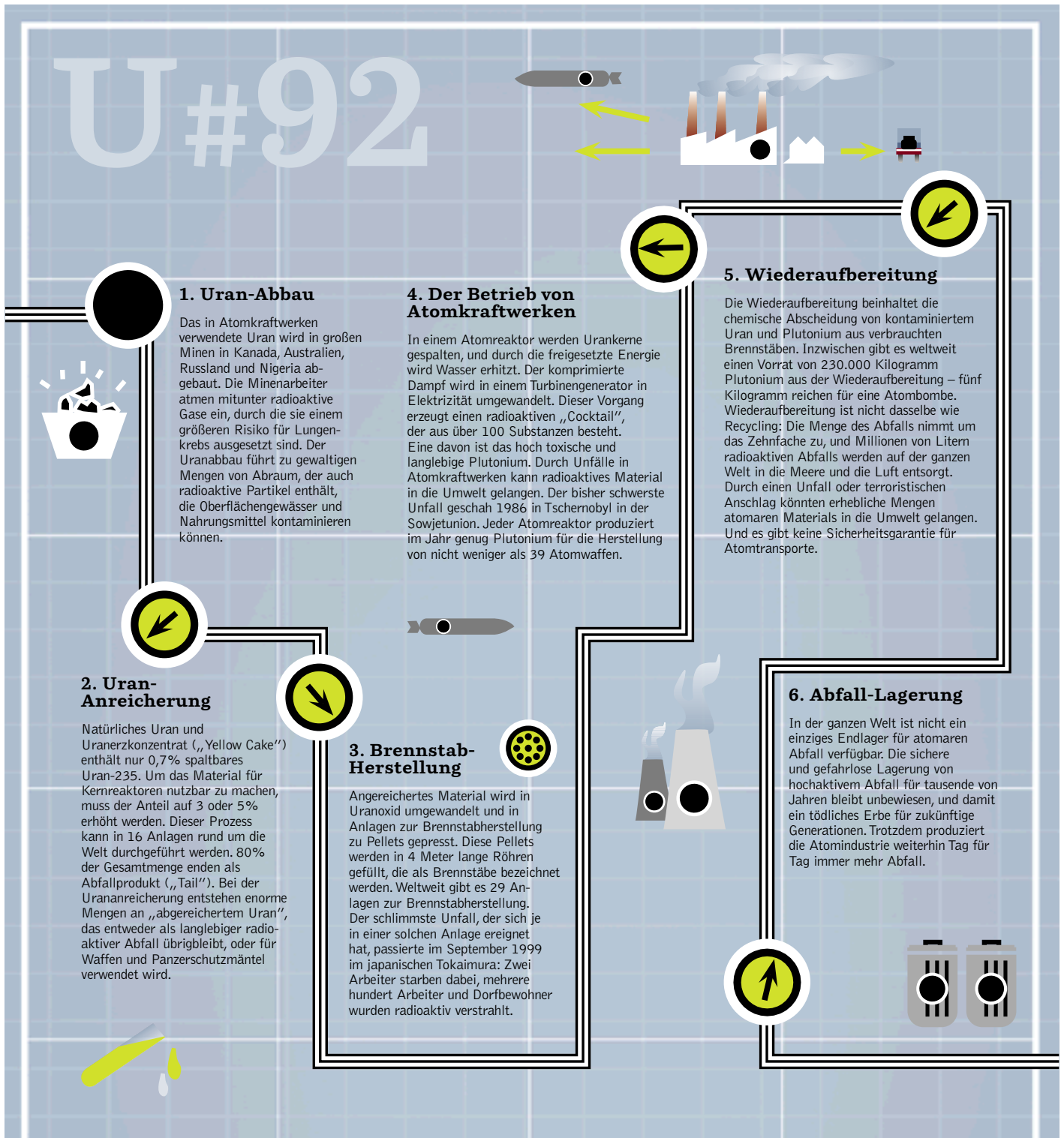


Abb: ATOMKRAFTWERK TSCHERNÓBYL, UKRAINE

Bild IRAK, 17. JUNI 2003.
 GREENPEACEAKTIVISTEN FÜHREN
 MESSUNGEN ZUR STRAHLENBELASTUNG
 VOR DER AL-MAJIDA-SCHULE FÜR
 MÄDCHEN (900 SCHÜLERINNEN) DURCH,
 DIREKT NEBEN DER ALTUWAITHA
 ATOMFABRIK. NACH MESSUNGEN, DIE EINE
 3000FACH HÖHERE BELASTUNG ALS DIE
 HINTERGRUNDSTRAHLUNG ERGEBEN, WIRD
 DAS GEBIET ABGESPERRT.



Abb. 4: Das Ende der atomaren Gefahr – vom Abbau bis zur Endlagerung



Atomare Gefahren

Von der Energieerzeugung in Atomkraftwerken gehen vielfältige Gefahren für Mensch und Umwelt aus:

- Atomare Verbreitung
- Atomarer Abfall
- Sicherheitsrisiken

Diese Risiken zusammen erklären, warum die Atomkraft als Zukunftstechnologie kein Bestandteil des Energie[RE]volution-Szenarios ist.

1. Atomare Verbreitung

Für die Herstellung einer Atombombe wird spaltbares Material benötigt – entweder Uran-235 oder Plutonium-239. Die meisten Atomreaktoren verwenden Uran als Brennstoff und produzieren Plutonium während des Betriebes. Es ist unmöglich, eine große Wiederaufbereitungsanlage adäquat zu schützen und das Abzweigen von Plutonium für Atomwaffen zu verhindern. Eine kleinere Anlage zum Spalten von Plutonium kann innerhalb von vier bis sechs Monaten errichtet werden, also ist jedes Land mit einem gewöhnlichen Atomkraftwerk in der Lage, relativ schnell Atomwaffen zu bauen.

Die Folge ist, dass sich Atomkraft und Atomwaffen wie Siamesische Zwillinge verhalten. Seit der Einführung internationaler Kontrollen der atomaren Verbreitung haben sich Israel, Indien, Pakistan und Nordkorea Atomwaffen verschafft – und demonstrieren damit eindeutig den Zusammenhang zwischen ziviler und militärischer Atomkraft. Sowohl die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) als auch der Kernwaffensperrvertrag (NPT) stellen einen Widerspruch an sich dar – indem sie nämlich gleichzeitig die Entwicklung einer „friedlichen“ Atomkraft zu fördern und die Verbreitung von Kernwaffen zu verhindern versuchen.

Israel, Indien und Pakistan benutzen ihre zivilen atomaren Anlagen, um die Leistungsfähigkeit ihrer Waffen weiterzuentwickeln, und handelten damit jenseits internationaler Sicherheitsvereinbarungen. Nordkorea entwickelte eine Kernwaffe, obwohl es Unterzeichner des Kernwaffensperrvertrages ist. Die Tatsache, dass die Länder Iran, Libyen und Nordkorea in den Besitz von Technologien zur Urananreicherung gelangt sind, ist inzwischen zu einer wahren Herausforderung für die Kontrollen der atomaren Verbreitung geworden. Der Generaldirektor der Internationalen Atomenergiebehörde, Mohammed El Baradei, sagte, dass „falls ein Staat mit einem vollständig entwickelten Brennstoffzyklus aus welchem Grund auch immer beschließen sollte, die Verpflichtungen zur Nicht-Verbreitung zu brechen, glauben die meisten Experten, dass dieser Staat innerhalb von Monaten in der Lage sei, eine Atomwaffe herzustellen“¹.

Der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat ebenfalls davor gewarnt, dass die Gefahren eines Versuchs, den Klimawandel durch einen weltweit verstärkten Einsatz von Schnellen Reaktoren (unter Verwendung von Plutonium-Brennstoff) in den Griff zu bekommen, „kolossal wären“².

Die Beschränkung spaltbaren Materials auf ein paar „vertrauenswürdige“ Staaten funktioniert nicht. So würde man nur Feindseligkeiten schüren und ein enormes Sicherheitsrisiko schaffen. Eine neue UN-Behörde ist notwendig, die der doppelten Gefahr von Klimawandel und atomarer Verbreitung durch die Abschaffung der Atomkraft und der Förderung nachhaltiger Energien begegnet. Auf diese Weise würde auch der Weltfrieden gefördert und nicht gefährdet.

2. Atomarer Abfall

Die Atomindustrie behauptet, sie könne ihren atomaren Abfall „entsorgen“, indem sie ihn tief unter der Erde vergräbt, doch damit lässt sich das radioaktive Material nicht für immer von der Umwelt fernhalten. Eine unterirdische Halde verlangsamt nur die Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt. Die Industrie versucht Voraussagen darüber zu machen, wie schnell eine solche Halde leckt, um behaupten zu können, dass die in der Zukunft freigesetzten Mengen an Radioaktivität für die in der Nähe lebenden Menschen „vertretbar gering“ sind. Doch die Wissenschaft ist noch nicht weit genug fortgeschritten, um solche Voraussagen mit Sicherheit machen zu können.

Als Teil ihrer Kampagne zur weltweiten Errichtung neuer Atomanlagen behauptet die Industrie, dass Probleme beim Vergraben von Atomabfall mehr eine Frage der öffentlichen Akzeptanz als ein technisches Problem seien. Dabei verweist die

Industrie häufig auf Vorschläge zur atomaren Entsorgung in Finnland, Schweden oder den Vereinigten Staaten, um diese Behauptung zu stützen.

Der gefährlichste Abfall ist der hochradioaktive Abfall (oder abgebrannte Reststoff), der in Atomreaktoren anfällt und hunderttausende von Jahren radioaktiv bleibt. In einigen Ländern wird die Situation noch dadurch verschlimmert, dass diese Reststoffe „wiederaufbereitet“ werden – wobei sie u.a. in Salpetersäure aufgelöst werden, um waffenfähiges Plutonium herauszutrennen. Bei diesem Vorgang entsteht hochradioaktiver flüssiger Abfall. Etwa 270.000 Tonnen verbrauchter atomarer Brennstoffe befinden sich in Lagern, viele davon auf Reaktorgelände. Jedes Jahr sammeln sich etwa 12.000 Tonnen Reststoffe an, wovon etwa ein Viertel wieder aufbereitet wird.³

Die Internationale Atomenergiebehörde räumt ein, dass trotz internationaler Sicherheitsbestimmungen „... die Strahlungsdosis, denen die Menschen in der Zukunft ausgesetzt sind, nur geschätzt werden kann, und dass die mit diesen Schätzungen verbundenen Unsicherheiten in Zukunft noch weiter ansteigen werden.“

Die am wenigsten gefährliche Alternative für bereits vorhandenen Abfall ist die unterirdische Lagerung in einem trockenen Lager nahe des Entstehungsortes, obwohl auch diese Möglichkeit große Herausforderungen und Gefahren birgt. Die einzig wirkliche Lösung ist die Vermeidung des Abfalls.

3. Sicherheitsrisiken

Windscale (1957), Three Mile Island (1979), Tschernobyl (1986) und Tokaimura (1999) sind nur wenige von hunderten Atomunfällen, die bis zum heutigen Tag aufgetreten sind.

Ein simpler Stromausfall in einem schwedischen Atomkraftwerk hat erst vor kurzem unsere Anfälligkeit für eine atomare Katastrophe deutlich gemacht. In Schweden wurden daraufhin vier der zehn Atomkraftwerke stillgelegt, nachdem Schwachstellen entdeckt wurden. Die Notenergiesysteme im Atomkraftwerk von Forsmark fielen nach einem Energieausfall für 20 Minuten aus. Wenn die Energieversorgung nicht hätte wiederhergestellt werden können, wäre es möglicherweise innerhalb von Stunden zu einem schwerwiegenden Vorfall gekommen. Ein ehemaliger Direktor des Kraftwerkes sagte später, „es war reines Glück, dass es nicht zu einer Kernschmelze kam“.

Eine atomare Kettenreaktion muss unter Kontrolle gehalten werden und schädliche Strahlung so weit wie möglich innerhalb des Reaktors eingedämmt werden, außerdem müssen radioaktive Substanzen von Menschen ferngehalten und sorgfältig behandelt werden. Bei nuklearen Reaktionen entstehen hohe Temperaturen, und die Kühlflüssigkeiten stehen oft unter Druck. Diese Kombination aus hoher Radioaktivität, hohen Temperaturen und Drücken macht das Betreiben eines Atomreaktors zur einer schwierigen und komplexen Aufgabe.

Die Gefahren durch das Betreiben von Reaktoren wächst ständig, und die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall ist heute größer als je zuvor. Die meisten der Reaktoren auf der Welt sind älter als 20 Jahre und daher anfällig für altersbedingte Störungen. In vielen Anlagen wird versucht, die Lebensdauer von den etwa 40 Jahren, für die sie eigentlich geplant waren, auf etwa 60 Jahre zu verlängern, was mit weiteren Risiken verbunden ist.

Aufgrund der Deregulierung wird immer weniger in die Sicherheit atomarer Anlagen investiert und das Personal begrenzt, während der Reaktordruck, die Betriebstemperatur und der Abbrand von Brennstoffen immer weiter zunehmen. Dies führt zu einer beschleunigten Alterung und dem Abnehmen von Sicherheitsreserven. Atomaufsichtsbehörden sind diesem neuen System nicht immer gewachsen.

In den neuen, so genannten passiv-sicheren Reaktoren werden viele Sicherheitssysteme durch „natürliche“ Prozesse ersetzt, wie zum Beispiel schwerkraftbedingte Wassernotkühlung und Luftkühlung. Das macht sie möglicherweise anfälliger für terroristische Angriffe.

Fußnoten

- ¹ MOHAMED ELBARADEI, „TOWARDS A SAFER WORLD“ ECONOMIST, OCTOBER 18, 2003
- ² IPCC WORKING GROUP II (1995), „IMPAIRMENTS, ADAPTIONS AND MITIGATIONS OF CLIMATE CHANGE; SCIENTIFIC TECHNICAL ANALYSES. CLIMATE CHANGE 1995 IPCC WORKING GROUP II.
- ³ WELTNUKLEARVERBAND, „WASTE MANAGEMENT IN THE NUCLEAR FUEL CYCLE“, INFORMATION AND ISSUE BRIEF, [HTTP://WWW.WORLD-NUCLEAR.ORG/INFO/INF04.HTM](http://WWW.WORLD-NUCLEAR.ORG/INFO/INF04.HTM), FEB. 2006

Die Energie[R]evolution

„Die Experten sind sich einig, dass fundamentale Änderungen in den nächsten 10 Jahren geschehen müssen, um die schlimmsten Folgen abzuwenden.“

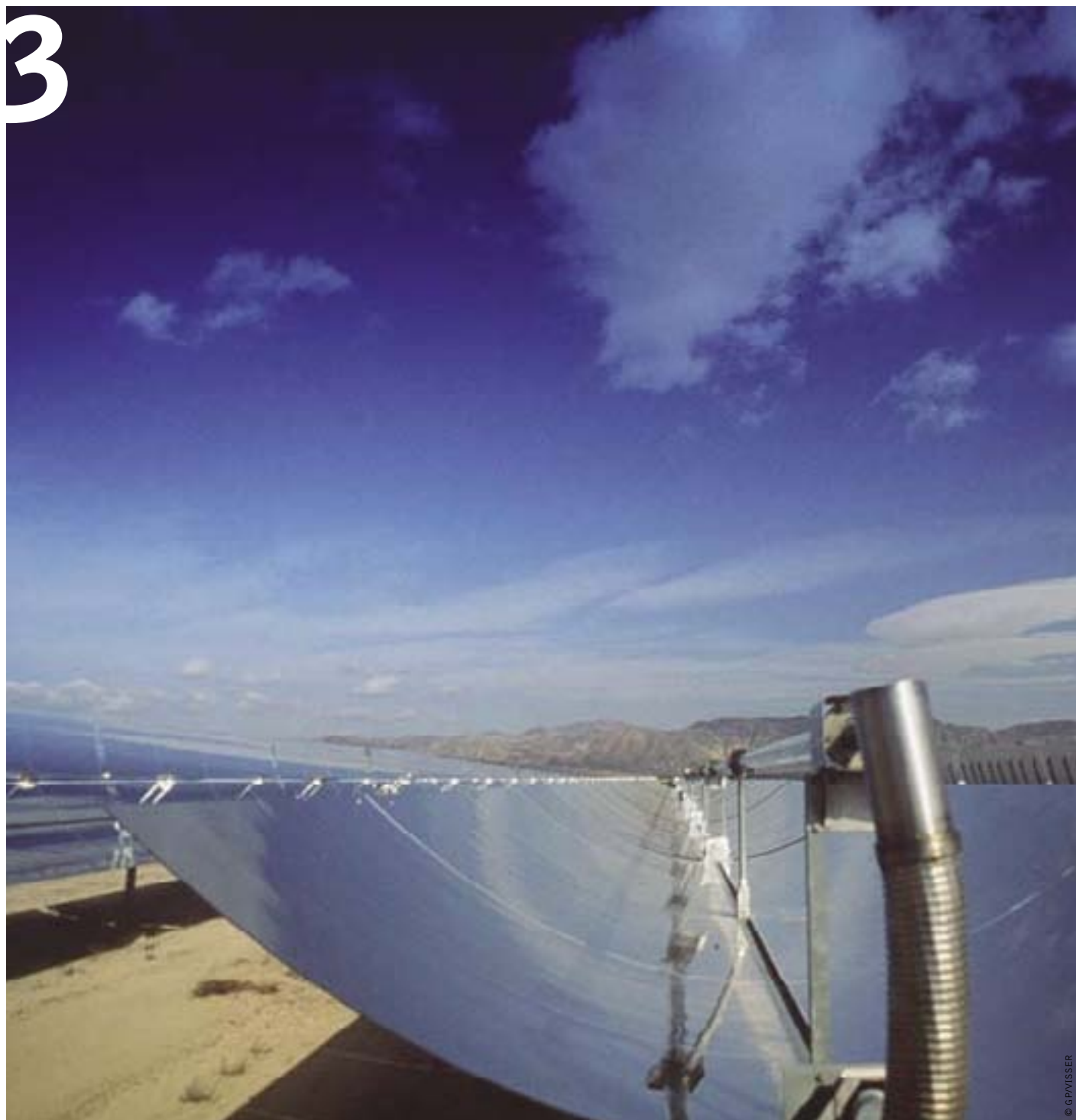


Abb CONCENTRATING SOLAR POWER (CSP)-ANLAGE IN EINER SOLARFARM IN DAGGETT, KALIFORNIEN, USA.



Der Klimawandel erfordert nichts Geringeres als eine Energie[R]evolution. Experten sind sich darin einig, dass es innerhalb der nächsten zehn Jahre zu einem grundlegenden Wandel kommen muss, um die schlimmsten Auswirkungen zu verhindern. Wir brauchen keine Atomkraft. Was wir jedoch brauchen, ist eine vollständige Umstrukturierung der Art und Weise, wie wir Energie produzieren, konsumieren und verteilen. Nur eine solche Revolution wird es uns ermöglichen, die globale Erwärmung unter 2° C zu begrenzen – eine Grenze, deren Überschreitung unwiderrufliche Konsequenzen hätte.

Die heutige Energieerzeugung basiert hauptsächlich auf dem Verbrennen fossiler Brennstoffe – mit den damit verbundenen CO₂-Emissionen – in gewaltigen Kraftwerken, die einen großen Teil der Primärenergie vergeuden. Weitere Energie geht verloren, wenn der Strom im Stromversorgungsnetz herumgeschickt und die Hochspannung in eine Spannung transformiert wird, die für private oder gewerbliche Verbraucher geeignet ist. Das System selbst ist anfällig für Störungen: lokale technische, wetterbedingte oder sogar absichtlich verursachte Störfälle können sich schnell ausbreiten und zu totalen Stromausfällen führen. Welche Technologie auch eingesetzt wird, um Energie nach dieser veralteten Methode zu erzeugen – sie ist zwangsläufig anfällig für diese Risiken. Das Kernstück der Energie[R]evolution muss daher eine Wende in der Energieproduktion und -verteilung haben.

Fünf Schlüsselprinzipien

Eine Energie[R]evolution kann durch die Einhaltung von fünf Schlüsselprinzipien erfolgen. Die fünf Schlüsselprinzipien dieses Wandels lauten:

1 Umsetzung sauberer, erneuerbarer Lösungen und Dezentralisierung des Energiesystems

Es gibt keine Energieknappheit. Wir müssen lediglich vorhandene Technologien so einsetzen, dass Energie effektiv und effizient genutzt werden kann. Erneuerbare Energien und Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung sind ausgereift, einsetzbar und zunehmend wettbewerbsfähig. Windkraft, Solar und andere Technologien aus dem Bereich der erneuerbaren Energien haben im vergangenen Jahrzehnt einen zweistelligen Marktzuwachs erfahren.

Genauso real wie der Klimawandel ist auch der Sektor der erneuerbaren Energie. Nachhaltige dezentralisierte Energiesysteme produzieren weniger Kohlendioxidemissionen, sind billiger und bedeuten eine geringere Abhängigkeit von importierten Brennstoffen. Sie schaffen Arbeitsplätze und stärken kommunale Gemeinschaften. Dezentralisierte Systeme sind sowohl sicherer als auch effizienter – dies muss die Energie[R]evolution zum Ziel haben.

2 Respektieren natürlicher Grenzen

Wir müssen lernen, natürliche Grenzen zu respektieren. Die Atmosphäre kann nur eine gewisse Menge Kohlendioxid aufnehmen. Jedes Jahr emittieren wir mehr als 23 Milliarden Tonnen Kohlendioxid – und verpesten damit sprichwörtlich die Luft. Geologische Kohleressourcen könnten für einige 100 Jahre Kohle liefern, doch diese können wir aus Klimaschutzgründen nicht verbrennen. Die Nutzung von Öl und Kohle muss daher aufhören.

„DIE STEINZEIT GING NICHT ZU ENDE, WEIL ES KEINE STEINE MEHR GAB, UND DAS ZEITALTER DES ÖLS WIRD AUCH ENDEN, LANGE BEVOR ES KEIN ÖL MEHR GIBT.“

Scheich Zaki Yamani, ehemaliger Ölminister Saudi-Arabiens

Um zu verhindern, dass das Erdklima völlig außer Kontrolle gerät, müssen die weltweiten Reserven an fossilen Brennstoffen – Kohle, Erdöl und Erdgas – im Boden verbleiben. Unser Ziel ist, dass die Menschen innerhalb der natürlichen Grenzen unseres kleinen Planeten leben.

3 Allmähliche Abschaffung schmutziger, nicht nachhaltiger Energien

Energie aus Kohle und Atomkraft muss abgeschafft werden. Wir dürfen nicht weiterhin Kohlekraftwerke bauen, obwohl ihre Emissionen eine reale und aktuelle Gefahr sowohl für Ökosysteme als auch für Menschen darstellen. Und wir dürfen die unzähligen atomaren Risiken nicht weiterhin dadurch schüren, dass wir so tun, als könne Atomkraft irgendetwas gegen den Klimawandel ausrichten. In der Energie[R]evolution gibt es keinen Platz für Atomkraft.

4 Gleichberechtigung und Fairness

So lange es natürliche Beschränkungen gibt, müssen Kosten und Nutzen innerhalb von Gesellschaften, Staaten und den Generationen von heute und morgen gerecht verteilt werden. Im Extremfall hat ein Drittel der Weltbevölkerung keinen Zugang zu Elektrizität, während die am meisten entwickelten Industriestaaten wesentlich mehr als ihren gerechten Anteil verbrauchen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die ärmsten Gesellschaften werden durch die extrem ungerechte Verteilung der Energie in der Welt noch verschlimmert. Wenn wir das Problem des Klimawandels angehen wollen, muss eines der Prinzipien Gleichberechtigung und Fairness lauten, sodass alle von den Vorteilen der Energie – Licht, Wärme, Strom und Verkehr – profitieren können: Nord wie Süd, Reich wie Arm. Nur so können wir echte Energiesicherheit und die Voraussetzung für das Wohl der Menschheit schaffen.

5 Entkopplung von Wachstum und der Verwendung fossiler Brennstoffe

Beginnend in den Industriestaaten müssen Wachstum und fossile Brennstoffe vollständig voneinander entkoppelt werden. Es ist ein Trugschluss zu glauben, dass man wirtschaftliches Wachstum am Verbrauch von Brennstoffen ablesen kann.

- Wir müssen die erzeugte Energie effizienter nutzen, und
- Wir müssen den Übergang hin zu erneuerbaren Energien – weg von fossilen Brennstoffen – schnell vollziehen, um ein sauberes und nachhaltiges Wachstum zu gewährleisten.

Vom Grundsatz zur Praxis

Die erneuerbaren Energiequellen sind derzeit mit 13% am weltweiten Primärenergiebedarf beteiligt. Biomasse, die hauptsächlich zum Heizen verwendet wird, ist die größte erneuerbare Energiequelle. Der Anteil der erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung beträgt 18%. Der Beitrag der erneuerbaren Energien bei der Wärmeversorgung liegt bei etwa 26%. Ungefähr 80% des Primärenergiebedarfs stammen heutzutage immer noch aus fossilen Brennstoffen. Die restlichen 7% kommen aus Atomkraftwerken.⁴⁾

Nutzen der Chancen

Jetzt ist der Zeitpunkt, um substanzielle Strukturänderungen im Strom- und Energiesektor innerhalb der nächsten zehn Jahre einzuleiten. Viele Kraftwerke in Industriestaaten wie den USA, Japan und der Europäischen Union stehen kurz vor der Abschaltung; über die Hälfte aller aktiven Kraftwerke sind mehr als 20 Jahre alt. Gleichzeitig suchen Entwicklungsländer wie China, Indien und Brasilien nach einem Weg, den Energiebedarf ihrer aufstrebenden Wirtschaft zu befriedigen.

Innerhalb der nächsten zehn Jahre wird sich auf dem Energiesektor entscheiden, wie diese neue Nachfrage gestillt werden wird, entweder durch fossile und atomare Brennstoffe oder durch den effizienten Einsatz erneuerbarer Energien. Das Energie[r]evolution-Szenario basiert auf einer neuen politischen Struktur zugunsten von erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung in Kombination mit Energieeffizienzsteigerungen.

Damit dies geschehen kann, müssen sowohl erneuerbare Energien als auch Kraft-Wärme-Kopplung – in großem Umfang und durch dezentralisierte, kleinere Anlagen – schneller zunehmen als der weltweite Gesamtenergiebedarf. Beide Verfahren müssen die herkömmliche Energieerzeugung ersetzen und zusätzlich den steigenden Energiebedarf der Entwicklungsländer decken.

Umbau der Infrastruktur

Da es nicht möglich ist, das derzeitige Energiesystem, das im Wesentlichen auf dem Einsatz fossiler und atomarer Brennstoffe basiert, direkt auf eine erneuerbare Energieversorgung umzustellen, ist eine Übergangsphase zum Aufbau der erforderlichen Infrastruktur notwendig. Während wir an der Förderung erneuerbarer Energiequellen entschlossen festhalten, betrachten wir Erdgas, das in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen von angemessener Größe verwendet wird, als einen sinnvollen Übergangs-Brennstoff, mit dem die kostengünstige Dezentralisierung der Energieinfrastruktur gefördert werden kann. Mit steigenden Sommertemperaturen wird die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, einschließlich wärmebetriebener Absorptions-Klimaanlagen, die zusätzlich zu Wärme und Energie auch Kühlung liefern, eine besonders wichtige Möglichkeit zur Erreichung von Emissionsreduzierungen.

Eine Entwicklungsstrategie

Die Energie[r]evolution enthält eine Entwicklungsstrategie, die die gegenwärtige Energieversorgungsstruktur in ein nachhaltiges System umwandelt. Sie besteht aus zwei Hauptphasen.

Schritt 1: Energieeffizienz

Die Energie[r]evolution beabsichtigt die konsequente Ausnutzung des Energieeffizienzpotenzials. Sie enthält bewährte und verfügbare Zukunftstechnologien und geht von kontinuierlichen Innovationen aus. Die Energieeinsparungen sind ziemlich gleichmäßig über die drei Sektoren – Industrie, Verkehr und Haushalt/Gewerbe – verteilt. Intelligente Nutzung, nicht Verzicht, ist die Grundphilosophie der zukünftigen Energieerhaltung.

Die wichtigsten Energiesparmöglichkeiten sind Verbesserungen bei der Wärmeisolation und beim Hausbau, hocheffiziente elektrische Maschinen und Antriebe, das Ersetzen veralteter elektrischer Heizsysteme durch erneuerbare Wärmesysteme (wie Sonnenkollektoren) und eine Verringerung des Energieverbrauchs bei Fahrzeugen zur Güter- und Personenbeförderung. Industriestaaten, die ihre Energie zurzeit höchst ineffizient nutzen, können ihren Verbrauch drastisch senken, ohne dabei auf Wohnkomfort oder Informations- und Unterhaltungselektronik verzichten zu müssen. Das Energie[r]evolution-Szenario nimmt die Energieeinsparungen in OECD-Staaten zum Ausgleich für den steigenden Energiebedarf in den Entwicklungsländern. Das Fernziel ist die Stabilisierung des weltweiten Energieverbrauchs innerhalb der nächsten beiden Jahrzehnte. Ein weiteres Ziel ist die gleichzeitige Schaffung einer „Energie-Gleichheit“ – die Beendigung der einseitigen Energieverschwendung in den Industriestaaten und eine gerechtere globale Verteilung der effizient genutzten vorhandenen Energie.

Eine drastische Reduzierung des Primärenergiebedarfs bezogen auf das Referenz-Szenario der Internationalen Energiebehörde (Kapitel 4) – ausgehend vom selben Bruttoinlandsprodukt und der selben Bevölkerungsentwicklung – ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass erneuerbare Energiequellen im gesamten Energieversorgungssystem einen bedeutenden Anteil erringen und damit die Abschaffung der Atomkraft und die Reduzierung des Einsatzes fossiler Brennstoffe ausgleichen.



Schritt 2: Strukturelle Veränderungen

Dezentralisierte Energie und umfangreicher Einsatz erneuerbarer Energien

Um Brennstoffe effizienter zu nutzen und Verteilungsverluste zu reduzieren, macht das Energie[RE]volution-Szenario umfassenden Gebrauch der dezentralisierten Energie (DE). Dabei handelt es sich um Energie, die am Verbrauchsort oder in der direkten Nähe erzeugt wird.

Die dezentralisierte Energie ist an ein lokales Verteilungsnetz angeschlossen und versorgt Privathaushalte und Büros anstelle des Hochspannungsübertragungsnetzes. Die Nähe der stromerzeugenden Anlage zu den Verbrauchern ermöglicht den Transport von Abwärme zu nahegelegenen Gebäuden; ein System, das als Kraft-Wärme-Kopplung bekannt ist. Das bedeutet, dass nahezu die gesamte Eingangsenergie verwendet wird und nicht nur ein Bruchteil, wie bei den herkömmlichen zentralen Kraftwerken, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. DE beinhaltet außerdem eigenständige Systeme, die nicht an öffentliche Netzwerke angeschlossen sind.

Zu den DE-Technologien gehören auch innovative Systeme wie Erd- und Luftwärmepumpen, Sonnenwärme und Biomasse-Heizsysteme. Diese Systeme können alle im Haushaltssektor vermarktet werden und liefern nachhaltig produzierte Wärme mit geringen Emissionen. Da die Technologien nicht in bestehende Energiemärkte und -systeme passen bedarf es entsprechender Anpassungen um ein exponentielles Wachstum und eine „kreative Umwälzung“ des bestehenden Energiesektors zu ermöglichen.

Im Jahr 2050 wird ein großer Teil der globalen Energie mit dezentralisierten Energiequellen produziert werden, obwohl die Versorgung mit erneuerbaren Energien aus großen Anlagen immer noch notwendig sein wird, um den schnellen Übergang zu einem von erneuerbaren Energien dominierten System zu ermöglichen. Große Offshore-Windkraftanlagen und Solarthermische Kraftwerke in den Sonnenregionen der Welt werden daher ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen.

Kraft-Wärme-Kopplung

Der verstärkte Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung wird die Effizienz der Energieumformung im Versorgungsnetz erhöhen, ganz gleich, ob Erdgas oder Biomasse verwendet wird. Langfristig werden jedoch die sinkende Nachfrage nach Wärme und das große Potenzial der direkten Wärmegewinnung aus erneuerbaren Energiequellen die weitere Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung begrenzen.

Erneuerbarer Strom

Der Stromsektor wird der Vorreiter in der Verwendung erneuerbarer Energie sein. Alle Technologien zur Gewinnung erneuerbaren Stroms sind in den letzten 20 bis 30 Jahren stetig um bis zu 35% pro Jahr gestiegen und werden sich vermutlich zwischen 2030 und 2050 auf einem hohen Niveau einpendeln. Bis zum Jahr 2050 wird der meiste Strom aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden.

Erneuerbare Wärme

Im Wärmesektor wird der Beitrag der erneuerbaren Energien beträchtlich steigen. Die Wachstumsraten werden sich ähnlich entwickeln wie im Sektor der erneuerbaren Elektrizität. Fossile Brennstoffe werden immer mehr durch effizientere moderne Technologien ersetzt – speziell Biomasse, Sonnenkollektoren und Erdwärme. Bis 2050 werden die Technologien für erneuerbare Energien den größten Teil der Nachfrage nach Wärme und Kälte decken.

Verkehr

Bevor Biokraftstoffe in großem Umfang im Verkehrssektor eingesetzt werden können, muss das vorhandene enorme Potenzial der Energieeffizienz genutzt werden. Da Biomasse hauptsächlich für ortsgebundene Anlagen wie Kraftwerke vorgesehen sein wird, ist die Produktion von Biokraftstoffen durch die Verfügbarkeit der Biomasse begrenzt.

Letzten Endes ist für das Erreichen eines wirtschaftlich attraktiven Wachstums erneuerbarer Energiequellen die ausgewogene und frühzeitige Mobilisierung aller Technologien von großer Bedeutung. Eine solche Mobilisierung hängt von der Ressourcenverfügbarkeit, dem Kostenreduzierungspotenzial und der Technologiereife ab.

Die Grundsätze des Szenarios in Kürze

- Nachhaltiger Konsum, Produktion und Verteilung
- Die Energieproduktion erfolgt näher beim Konsumenten
- Maximale Ausnutzung lokal vorhandener, umweltfreundlicher Brennstoffe

Abb. 5: Eine dezentrale Energie-Zukunft

Die Stadtzentren der vernetzten Welt von morgen werden Energie und Wärme sowohl erzeugen als auch verbrauchen. Die Dächer und Fassaden öffentlicher Gebäude sind ideal zur Gewinnung von Sonnenenergie. 'Niedrig-Energie' wird zum Standard für alle Gebäude werden. Regierungen, die sich strengen Klimaschutzzielen verpflichten, werden strikte Bedingungen stellen und Anreize zur Renovierung dieser Gebäude bieten müssen. Das wird dazu beitragen, neue Arbeitsplätze zu schaffen.



1. PHOTOVOLTAIK-/SOLAR-FASSADEN WERDEN EIN DEKORATIVES ELEMENT AN BÜRO- UND WOHNGEBÄUDEN SEIN. PHOTOVOLTAIK-SYSTEME WERDEN IMMER WETTBEWERBSFÄHIGER WERDEN, UND DURCH DAS VERBESSERTES DESIGN KÖNNEN ARCHITEKTEN SIE VERMEHRT EINSETZEN.
2. RENOVIERUNG KANN DEN ENERGIEVERBRAUCH ALTER GEBÄUDE UM GANZE 80% SENKEN – DURCH VERBESSERTES WÄRMEISOLIERUNG, FENSTERDÄMMUNG UND MODERNE LÜFTUNGSSYSTEME.
3. SONNENKOLLEKTOREN PRODUZIEREN WARMWASSER FÜR DAS EIGENE UND BENACHBARE GEBÄUDE.
4. EFFIZIENTE HEIZKRAFTWERKE WIRD ES IN VIELEN UNTERSCHIEDLICHEN GRÖSSEN GEBEN – SIE PASSEN IN DEN KELLER VON EINZELHÄUSERN ODER VERSORGEN OHNE DURCHLEITUNGSVERLUSTE GANZE GEBÄUDEKOMPLEXE ODER WOHNBLOCKS MIT ENERGIE UND WÄRME.
5. SAUBERER STROM FÜR DIE STÄDTE WIRD AUCH AUS GRÖßERER ENTFERNUNG KOMMEN. OFFSHORE-WINDPARKS UND SOLARKRAFTWERKE IN WÜSTENGEBIETEN BESITZEN EIN ENORMES POTENZIAL.

Vororte



1. PHOTOVOLTAIK
2. MINI-HEIZKRAFTWERK
= KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG
3. SONNENKOLLEKTOREN (WÄRME)
4. NIEDRIG-ENERGIE-HÄUSER
5. GEOTHERMISCHES HEIZKRAFTWERK

Bild PHOTOVOLTAIK-ANLAGE DER FIRMA SOLON AG IN ARNSTEIN, DEUTSCHLAND. 1500 HORIZONTALE UND VERTIKALE „SOLARMOVER“ WERDEN BEWEGT.



Optimierte Integration der erneuerbaren Energie

Um das Energiesystem an den erheblich höheren Anteil erneuerbarer Energien, wie er im Energie[R]evolution-Szenario erwartet wird, anzupassen, werden Modifikationen notwendig sein. In diesem Punkt bestehen gewisse Ähnlichkeiten zu dem, was in den 70er und 80er Jahren geschah, als die meisten der heute in Betrieb befindlichen Kraftwerke in den OECD-Staaten gebaut wurden. Damals wurden neue Hochspannungsleitungen gebaut, Nachtspeicherheizungen vermarktet und große, elektrische Heißwasserboiler installiert, um den nachts in den Atom- und Kohlekraftwerken produzierten Strom zu verkaufen.

Einige OECD-Staaten haben vorgemacht, dass es möglich ist, große Mengen dezentralisierter Energie, auch aus solch unbeständigen Quellen wie Wind, reibungslos zu integrieren. Ein gutes Beispiel ist Dänemark, welches den höchsten prozentualen Anteil bei der Kraft-Wärme-Kopplung und Windenergie in Europa hat. Aufgrund der starken Förderung durch die Politik werden inzwischen 50% der Elektrizität und 80% der Fernwärme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bereitgestellt. Der Anteil der Windkraft macht inzwischen mehr als 18% des dänischen Strombedarfs aus. Unter manchen Bedingungen übersteigt die Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung und Windturbinen sogar den Bedarf. Der für die Stabilität des Versorgungsnetzes in Dänemark notwendige Kapazitätenausgleich wird sowohl durch eine Regulierung der Leistung der wenigen großen Kraftwerke als auch durch den Im- und Export mit Nachbarstaaten erreicht. Ein dreistufiges Tarifsysteem ermöglicht die tägliche Anpassung der Energieerzeugung in dezentralisierten Kraftwerken an den Stromverbrauch.

Es ist wichtig, das gesamte Energiesystem durch ein intelligentes Management sowohl auf Seiten der Erzeuger als auch der Verbraucher, durch einen passenden Mix an Kraftwerken und durch neue Energiespeichersysteme zu optimieren.

Der passende Mix an Kraftwerken: Das Energieangebot in OECD-Staaten stammt hauptsächlich von Kohle- und in einigen Fällen Atomkraftwerken, die schwer zu regulieren sind. Moderne Gaskraftwerke sind im Gegensatz dazu nicht nur äußerst effizient, sondern auch leichter und schneller zu regulieren und daher besser zum Ausgleich für die fluktuierende Auslastung geeignet. Kohle- und Atomkraftwerke haben niedrigere Brennstoff- und Betriebskosten, jedoch vergleichbar hohe Investitionskosten. Daher müssen sie rund um die Uhr eine Mindestmenge an Strom erzeugen, um die Investitionen zu verdienen. Gaskraftwerke haben geringere Investitionskosten und sind auch bei geringem Absatz noch rentabel, wodurch sie besser geeignet sind, die schwankende Versorgung mit erneuerbaren Energien aufzufangen.

Auslastungs-Management: Höhe und Zeitpunkt der Energienachfrage können dadurch beeinflusst werden, dass den Konsumenten finanzielle Anreize geboten werden, um ihren Verbrauch in Spitzenzeiten zu senken oder ganz einzustellen. Um solche Vereinbarungen zu überwachen, können entsprechende Kontrolltechnologien verwendet werden. Dieses System ist bereits bei einigen industriellen Großverbrauchern im Einsatz. Ein norwegischer Stromanbieter bezieht sogar private Haushalte mit ein, indem er ihnen eine Nachricht mit dem Signal zum Stromabschalten sendet. Jeder Haushalt kann individuell entscheiden, ob er teilnehmen will oder nicht. In Deutschland werden Versuche mit flexiblen Tarifen durchgeführt, bei denen Waschmaschinen nachts laufen und Kühlschränke während Phasen mit hoher Nachfrage abgeschaltet werden.

Abb. 6: Zentralisierte Energie-Infrastrukturen vergeuden mehr als zwei Drittel der Energie



Diese Art des Auslastungsmanagements ist auch durch Fortschritte in der Kommunikationstechnologie erleichtert worden. In Italien wurden beispielsweise 30 Millionen innovative Stromzähler installiert, die ein Fernablesen des Zählers und die Kontrolle von Verbrauchs- und Serviceinformationen möglich machen. Viele elektrische Haushaltsgeräte wie Kühlschränke, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Wärmespeicher, Wasserpumpen und Klimaanlage können entweder durch ein vorübergehendes Abschalten oder durch die Einstellung ihrer Betriebszeit verwaltet werden, wodurch Auslastungskapazität für andere Verwendungen frei wird.

Stromerzeugungs-Management: Auch die Erzeugung erneuerbarer Energie kann in die Auslastungsoptimierung mit einbezogen werden. Windparks zum Beispiel können vorübergehend abgeschaltet werden, wenn im Netz zuviel Strom vorhanden ist.

Energiespeicherung: Eine weitere Methode zum Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage ist die Zwischenspeicherung. Diese Speicherung kann dezentral, z.B. mit Batterien, oder zentral stattfinden. Bisher sind Pumpspeicherwerke die verbreitetste Methode, große Mengen elektrischer Energie zu speichern. Pumpspeicherwerke speichern Energie aus der Stromerzeugung in einem See und gewinnen sie bei Bedarf wieder zurück, indem die Energie Turbinen antreibt und Strom produziert. 280 solcher Pumpspeicherwerke existieren weltweit. Sie leisten bereits einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit, doch der Betrieb dieser Werke könnte noch besser an die Erfordernisse eines zukünftigen Systems erneuerbarer Energie angepasst werden.

Langfristig werden sich andere Speicherlösungen entwickeln. Eine vielversprechende Lösung ist neben dem Einsatz von Wasserkraft der Einsatz von komprimierter Luft. In diesen Systemen wird Elektrizität verwendet, um mit einem Druck von bis zu 70 bar Luft in tiefe Salzstöcke 600 Meter unter der Erde zu pressen. Zu Spitzenzeiten, wenn der Strombedarf hoch ist, lässt man die Luft aus der Höhle wieder zurückströmen und treibt damit eine Turbine an. Während dieses System, bekannt als CAES (Compressed Air Energy Storage), noch fossile Brennstoffe als Hilfsenergie benötigt, wird derzeit ein so genanntes „adiabates“ Druckluftspeicherwerk entwickelt, das keine zusätzliche Hilfsenergie benötigt. Dabei wird die Wärme der komprimierten Luft in einem gewaltigen Wärmespeicher zwischengelagert. Ein solches Kraftwerk kann eine Speichereffizienz von 70% erreichen.

Vorhersagen für die erneuerbare Stromerzeugung werden auch immer besser. Die Regulierung des Stromangebots wird besonders teuer, wenn sie kurzfristig stattfinden muss. Die Technologien zur Vorhersage von Windkrafterzeugung haben sich jedoch in den letzten Jahren erheblich entwickelt und werden es auch weiterhin tun. Die Notwendigkeit eines Kapazitätenausgleichs wird daher in der Zukunft sinken.

Das „virtuelle Kraftwerk“

Die fortschreitende Entwicklung der Informationstechnologien trägt dazu bei, den Weg zu ebnen für eine dezentralisierte Energieversorgung, die auf Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, erneuerbaren Energiesystemen und herkömmlichen Kraftwerken basiert. Hersteller kleiner Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bieten bereits Internet-Schnittstellen an, die den Fernzugriff auf das System ermöglichen. Damit ist es einzelnen Haushalten möglich, den Strom- und Wärmeverbrauch zu steuern und die Entnahme teuren Stroms aus dem Netz zu minimieren – auf diese Weise wird das Nachfrageprofil geglättet. Dies ist ein Teil des Trends hin zum „intelligenten Haus“, in dem die Mini-Kraft-Wärme-Kopplungsanlage zur Energie-Management-Einheit wird. Mit dem „virtuellen Kraftwerk“ können wir sogar noch einen Schritt weiter gehen. Virtuell bedeutet nicht, dass dieses Kraftwerk keinen echten Strom produziert. Virtuell bezieht sich auf die Tatsache, dass es kein separates Energiegebäude mit Turbinen und Generatoren gibt. Das Kernstück des virtuellen Kraftwerks ist eine Steuereinheit, die Daten von vielen dezentralisierten Kraftwerken verarbeitet, sie mit Vorhersagen zur Energienachfrage, Energieproduktion und zum Wetter vergleicht, die wichtigsten Energiemarktpreise herausfindet und dann auf intelligente Weise die Gesamtaktivität des Energiewerkes optimiert. Einige öffentliche Einrichtungen nutzen bereits solche Systeme, an die Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Windparks, Photovoltaiksysteme und andere Kraftwerke angeschlossen sind. Das virtuelle Kraftwerk kann auch Verbraucher in den Managementprozess mit einbeziehen.

Zukünftige Stromversorgungsnetze

Um dezentralisierte Strukturen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie zu verwirklichen, muss auch das **Stromversorgungsnetz** verändert werden. Während die Netze von heute dafür geschaffen sind, Energie von wenigen zentralen Kraftwerken zu den Verbrauchern zu transportieren, muss das System von morgen viel flexibler sein. Große Kraftwerke werden ihren Strom in das Hochspannungsnetz einspeisen, aber kleine, dezentralisierte Systeme wie Solar-, Kraft-Wärme-Kopplungs- und Windanlagen werden ihren Strom über das Niedrig- und Mittelspannungsnetz liefern. Um Elektrizität aus erneuerbarer Erzeugung wie z.B. ferngelegenen Offshore-Windparks zu transportieren, werden auch eine begrenzte Anzahl von Hochspannungsleitungen gebaut werden müssen. Diese Leitungen werden auch für den grenzübergreifenden Energiehandel zur Verfügung stehen. Im Energie[RE]volution-Szenario wird erwartet, dass der Anteil der variierenden erneuerbaren Energiequellen bis 2020 30% des Gesamtstrombedarfs und bis 2050 40% betragen wird.

Bild PHOTOVOLTAIKANLAGE AM „WISSENSCHAFTS- UND TECHNOLOGIEZENTRUM ADLERSHOF“ IN DER NÄHE VON BERLIN, DEUTSCHLAND. SCHÄFE HALTEN ZWISCHEN DEN „MOVERS“ DIE VEGETATION KURZ.



Die ländliche Energieversorgung⁵⁾

Energie ist ein zentraler Aspekt bei der Bekämpfung von Armut und ist in den Bereichen Gesundheit, Bildung und Gerechtigkeit von großer Bedeutung. Mehr als ein Viertel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu moderner Energieversorgung. In den afrikanischen Subsaharastaaten steht 80% der Menschen keine Energie zur Verfügung. Zum Kochen und Heizen sind sie fast ausschließlich auf das Verbrennen von Biomasse – Holz, Holzkohle und Mist – angewiesen.

Arme Menschen geben fast ein Drittel ihres Einkommens für Energie aus, hauptsächlich um Essen zu kochen. Vor allem Frauen verbringen einen beträchtlichen Teil ihrer Zeit damit, traditionelle Brennstoffe zu sammeln, zu verarbeiten und zum Kochen zu benutzen. In Indien werden mitunter zwei bis sieben Stunden jeden Tag damit verbracht, Feuermaterial zum Kochen zu suchen. Diese Zeit könnte zum Kinderhüten, Lernen oder Geldverdienen genutzt werden. Die Weltgesundheitsorganisation schätzt, dass jedes Jahr 2,5 Millionen Frauen und kleine Kinder vorzeitig sterben, weil sie in den Wohnungen die Abgase von Biomasse-Öfen einatmen.

Das Millenniumsentwicklungsziel, die weltweite Armut bis 2015 um die Hälfte zu reduzieren, wird ohne Energie nicht erreicht werden können. Diese Energie wird zur Steigerung der Produktion, des Einkommens und der Bildung, zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zum bloßen Überleben benötigt. Die Halbierung des Hungers lässt sich ohne Energie für das ertragreiche Anbauen, Ernten, Verarbeiten und Vermarkten von Nahrung nicht bewerkstelligen. Die Verbesserung der Gesundheit und Senkung der Sterberate setzt Energie für die notwendige Kühlung der Kliniken, Hospitäler und Impfstoffe voraus. Der globale Verursacher Nummer eins von Todesfällen bei Kindern – die akute Atemwegsinfektion – wird nicht aufgehalten werden, ohne das Problem der Kochfeuer in den Häusern zu lösen. Ohne Licht können Kindern abends zuhause nicht lernen. Wasser kann ohne Energie weder gefördert noch verarbeitet werden.

Die UN-Kommission zur nachhaltigen Entwicklung erklärt, dass „für die Erreichung des Ziels zur Halbierung der Anzahl der Menschen, die von weniger als einem US-Dollar pro Tag leben müssen, bis 2015 der Zugang zu erschwinglicher Energie eine Voraussetzung ist“.

Die Rolle der nachhaltigen, sauberen, erneuerbaren Energien

Um die drastischen Emissionsreduzierungen zu erzielen, die zur Verhinderung eines Klimawandels notwendig sind – 80% in OECD-Staaten bis 2050 – wird eine massive Zunahme der erneuerbaren Energien erforderlich sein. Die Zielsetzung für erneuerbare Energien muss in den Industriestaaten stark ausgeweitet werden, um sowohl fossile Brennstoffe und atomare Energieerzeugung ablösen zu können, als auch um die nötigen Größenkostensparnisse zu erlangen, die für eine globale Expansion notwendig sind. Im EnergiefRvolution-Szenario gehen wir davon aus, dass moderne erneuerbare Energiequellen wie Sonnenkollektoren, Solarkocher und moderne Formen der Bioenergie die ineffiziente Verwendung traditioneller Biomasse ersetzen wird.

Die Grundsätze des Szenarios in Kürze

- Intelligente Nutzung, Erzeugung und Verteilung
- Die Energieproduktion rückt näher an den Verbraucher
- Maximale Verwendung vor Ort vorhandener, umweltfreundlicher Brennstoffe

Fußnote

⁵ IT-POWER, GPI, „SUSTAINABLE ENERGY FOR POVERTY REDUCTION: AN ACTION PLAN“ SEP. 2002

Szenarien für eine zukünftige Energieversorgung

„EINE ANALYSE DER ENERGIE- UND UMWELTPROBLEMATIK SOLLTE MINDESTENS EIN HALBES JAHRHUNDERT VORAUSSCHAUEN“



Bild SOLAR- UND WINDKRAFTANLAGE IN DER NÄHE VON ROSTOCK, DEUTSCHLAND.



Die Grundsätze bezüglich der Energieversorgung und der Abschwächung des Klimawandels in die Tat umzusetzen erfordert eine langfristige Perspektive. Es braucht Zeit, um eine Energieinfrastruktur aufzubauen, und neue Energietechnologien zu entwickeln. Eine geänderte Politik zeigt erst nach vielen Jahren Wirkung. Jede Analyse, die sich mit Energie- und Umweltfragen beschäftigt, muss daher mindestens ein halbes Jahrhundert vorausschauen.

Szenarien sind wichtig, um mögliche Entwicklungsstrategien zu beschreiben, Entscheidungsträgern einen Überblick über zukünftige Perspektiven zu geben und aufzuzeigen, inwieweit sie das Energiesystem der Zukunft gestalten können. Zwei verschiedene Szenarien werden hier verwendet, um die vielen verschiedenen Strategien für ein zukünftiges Energieversorgungssystem zu charakterisieren: Das Referenz-Szenario, das die Fortführung der gegenwärtigen Entwicklungen und Trends reflektiert, und das Energie[R]evolution-Szenario, das geschaffen wurde, um eine Reihe ehrgeiziger Umweltziele zu erreichen.

Das **Referenz-Szenario** basiert auf dem Reference Scenario, das die Internationale Energiebehörde in ihrem World Energy Outlook 2004 (WEO 2004)⁶⁾ veröffentlicht hat. Es werden nur existierende Verfahren berücksichtigt. Die Annahmen beinhalten beispielsweise einen anhaltenden Fortschritt der Strom- und Gasmarktreformen, die Liberalisierung des grenzüberschreitenden Energiehandels und neueste Verfahren im Kampf gegen die Umweltverschmutzung. Das Referenz-Szenario enthält keine zusätzlichen Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasen. Da das Szenario der IEA nur die Zeitspanne bis 2030 umfasst, wurde es durch die Extrapolierung der wesentlichen makroökonomischen Indikatoren erweitert. Dies bietet eine Basis zum Vergleich mit dem Energie[R]evolution-Szenario.

Das Hauptziel des **Energie[R]evolution-Szenarios** ist die Reduzierung der weltweiten Kohlendioxidemissionen auf ein Level von rund 11 Gigatonnen pro Jahr bis 2050. Das ist die Voraussetzung, um einen Temperaturanstieg von 2°C und mehr zu verhindern. Ein zweites Ziel ist die weltweite Abschaffung der Atomkraft. Um diese Ziele zu erreichen, ist das Szenario durch umfangreiche Bemühungen zur vollen Ausschöpfung des enormen Energieeffizienzpotenzials charakterisiert. Gleichzeitig werden alle wirtschaftlichen erneuerbaren Energiequellen sowohl für die Wärme- und Stromerzeugung als auch für die Herstellung von Biokraftstoffen genutzt. Die allgemeinen Rahmenparameter bei der Entwicklung der Bevölkerung und des Bruttoinlandsproduktes bleiben gegenüber dem Referenz-Szenario unverändert.

Diese Szenarien erheben keinesfalls den Anspruch, die Zukunft vorherzusagen; sie beschreiben lediglich zwei potenzielle Entwicklungswege aus der großen Anzahl möglicher „Zukünfte“. Das Energie[R]evolution-Szenario wurde entwickelt, um die Anstrengungen und Maßnahmen aufzuzeigen, die zur Erreichung seiner ehrgeizigen Ziele erforderlich sind, und um die Optionen darzustellen, die uns zur Verfügung stehen, um unser Energieversorgungssystem nachhaltig zu gestalten.

Hintergrund der Szenarien

Die Szenarien in diesem Bericht wurden gemeinsam von Greenpeace und dem Europäischen Rat für erneuerbare Energien beim Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums (DLR) in Auftrag gegeben. Die Versorgungsszenarien wurden unter Verwendung des MESAP/PlaNet-Simulationsmodells kalkuliert, welches auch für eine ähnliche Studie des DLR über die 25 EU-Staaten benutzt wurde.⁷⁾ Dieses Szenario wurde dann durch das Ecofys-Beratungsbüro weiterentwickelt, um das zukünftige Potenzial für Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung zu berücksichtigen.

Energieeffizienzstudie

Das Ziel der Ecofys-Studie war die Entwicklung von Szenarien mit niedrigem Energiebedarf für die Phase von 2003 bis 2050 auf der Basis der IEA-Regionen, wie sie in den Berichten des World Energy Outlooks definiert werden. Für jedes Jahrzehnt ab 2010 wurden Berechnungen durchgeführt. Der Energiebedarf wurde in Strom und Brennstoffe aufgeteilt. Die Bereiche Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher, einschließlich Haushalte und Dienstleistungen, wurden berücksichtigt.

Zwei Szenarien mit niedrigem Energiebedarf wurden entwickelt: eine Referenz-Version und eine ehrgeizigere Energieeffizienz-Version. Dieses weiter entwickelte Szenario stützt sich auf derzeit bewährte und verfügbare Zukunftstechnologien und geht von anhaltenden Innovationen im Bereich der Energieeffizienz aus. Der weltweite Endenergiebedarf ist im Vergleich zum Referenz-Szenario um 47% im Jahr 2050 reduziert und bedeutet damit einen Energieendbedarf von 350 EJ im Jahr 2050. Die Energieeinsparungen sind ziemlich gleichmäßig über die Sektoren Industrie, Verkehr und sonstiger Verbrauch verteilt. Die bedeutendsten Einsparmöglichkeiten bieten sich bei der effizienten Personen- und Frachtbeförderung sowie verbesserter Wärmeisolation und Hausbautechnik; hier allein lassen sich 46% Energie weltweit einsparen.

Grundlagen des Szenarios

Die Entwicklung eines globalen Energieszenarios verlangt die Verwendung eines Multi-Regionen-Modells, um die signifikanten strukturellen Unterschiede zwischen den Energieversorgungssystemen widerzuspiegeln. Diese Aufschlüsselung der Welt in Regionen, die von der Internationalen Energiebehörde in ihrer fortlaufenden Reihe von World Energy Outlook-Berichten verwendet wird, wurde auch hier zugrunde gelegt, da die IEA ebenfalls über die umfangreichsten Statistiken zur globalen Energie verfügt. Die Liste der Länder, die nach der Aufgliederung der IEA in die zehn Weltregionen eingeteilt werden, ist in Abbildung 7 zu sehen.

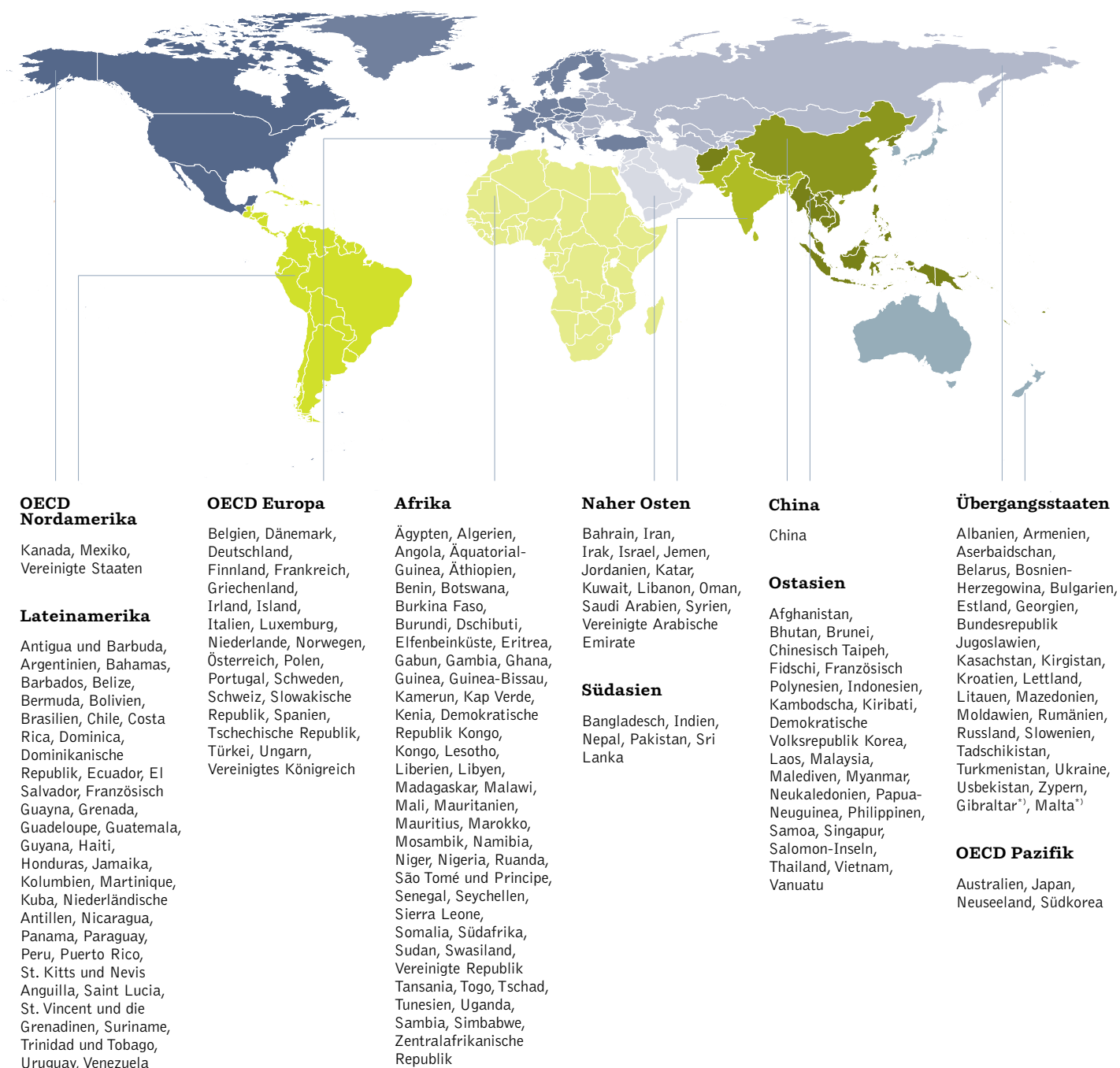
Fußnoten

6 INTERNATIONALE ENERGIEBÜRO, „WORLD ENERGY OUTLOOK“ 2004, PARIS 2004 – EIN NEUER WORLD ENERGY OUTLOOK IST IM NOVEMBER 2006 VERÖFFENTLICHT WORDEN – GRUNDLEGENDE PARAMETER WIE DIE ENTWICKLUNG DES BRUTTOINLANDSPRODUKTES UND DER BEVÖLKERUNG BLEIBEN IN DERSELBEN GRÖSSENORDNUNG (SIEHE KASTEN „SENSITIVITÄTSANALYSE IEA WEO 2004 - 2006“)

7 GPI, „ENERGY REVOLUTION: A SUSTAINABLE PATHWAY TO A CLEAN ENERGY FUTURE FOR EUROPE“, SEP. 2005

Abbildung 7: Definition der Weltregionen (WEO 2004)

WFO 2004



* GIBRALTAR UND MALTA WURDEN AUS STATISTISCHEN GRÜNDEN DEN ÜBERGANGSSTAATEN ZUGETEILT

Bild SOLARKOLLEKTOREN AUF EINER KÜHLANLAGE (ZUR KÜHLUNG VON FISCHWAREN). LIKIEP ATOLL, MARSHALL INSELN.



Bevölkerungswachstum

Die Bevölkerungswachstumsraten in den Weltregionen stammen aus dem World Energy Outlook 2004 (WEO 2004) für den Voraussagezeitraum bis 2030. Für die Zeit von 2030 bis 2050 wurden die Daten der revidierten Weltbevölkerungsprognosen der Vereinten Nationen von 2004 zugrunde gelegt.

Es wird ein Wachstum der Weltbevölkerung um 0,78%/Jahr im Zeitraum von 2003 bis 2050 erwartet, und damit ein Anstieg von 6,3 auf fast 8,9 Milliarden. Das Bevölkerungswachstum wird sich im Hochrechnungszeitraum verlangsamen, nämlich von 1,2% zwischen 2003 und 2010 auf 0,42% von 2040 bis 2050. Die Entwicklungsregionen werden weiterhin am schnellsten wachsen, während die Übergangsstaaen vermutlich einen anhaltenden Rückgang erleben werden. Die Bevölkerungen in den OECD-Staaten Europas und des Pazifik werden wahrscheinlich um 2020/2030 ihren Höhepunkt erreichen und dann deutlich zurückgehen. Die Bevölkerung der OECD-Staaten Nordamerikas wird weiterhin wachsen und ihren globalen Anteil behalten.

Der Bevölkerungsanteil der Länder, die heute als „Entwicklungsländer“ klassifiziert werden, wird von 76% auf 82% im Jahr 2050 wachsen. Der Anteil der OECD-Staaten an der Weltbevölkerung wird sinken, genauso wie der Anteil Chinas, nämlich von heute 20,8% auf 16%. Afrika wird auch weiterhin die Region mit dem höchsten Bevölkerungswachstum bleiben und einen Anteil von 21% der Weltbevölkerung im Jahr 2050 halten. Die umweltfreundliche Befriedigung des Energiebedarfs der wachsenden Bevölkerung in den Entwicklungsregionen der Welt ist eine der Hauptherausforderungen für die Erreichung einer weltweiten, nachhaltigen Energieversorgung.

Wirtschaftswachstum

Das Wirtschaftswachstum ist die Haupttriebfeder für die Energienachfrage. Seit 1971 wurde jede Steigerung des globalen Bruttoinlandsprodukts (BIP) um 1% von einem 0,6%igen Anstieg des Primärenergieverbrauchs begleitet. Die Entkopplung von Energiebedarf und BIP-Steigerung ist daher eine Voraussetzung für die Reduzierung der Nachfrage in der Zukunft.

Um einen besseren Vergleich zwischen dem Wirtschaftswachstum verschiedener Staaten und dem relativen Lebensstandard ziehen zu können, wurde eine Anpassung des BIPs unter Verwendung eines Umrechnungskurses der Kaufkraftparität vorgenommen. Im WEO 2004 basieren alle Daten zur wirtschaftlichen Entwicklung auf einem kaufkraftparitätsbereinigten BIP. Diese Studie folgt dieser Methode, und alle Daten zum BIP in diesem Bericht werden in US-Dollar (Stand 2000) pro Jahr und unter Verwendung der Kaufkraftparität ausgedrückt statt in Devisenkursen.

Da das Referenz-Szenario des WEO 2004 nur die Zeit bis 2030 beinhaltet, mussten wir uns nach anderen Vorhersagen zum Wirtschaftswachstum über diesen Zeitraum hinaus umsehen. Das IPCC-Emissions-Szenario von 2000 bietet eine Orientierung für mögliche Entwicklungen bis 2050 und bietet vier Hauptentwicklungen und entsprechende Szenarien. Das durchschnittliche Jahreswachstum des weltweiten BIP zwischen 2002 und 2010 (3,7%) liegt beim WEO wesentlich höher als bei jedem der IPCC-Szenarien, doch es zeigt eine schnelle Abschwächung auf 2,7% in der Zeit von 2020 bis 2030. Ab 2030 haben wir uns daher für das B2-Szenario des IPCC entschieden, das eine Welt skizziert, in der der Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für Nachhaltigkeit im Bereich Wirtschaft, Soziales und Umwelt liegt – kombiniert mit einer mittleren Rate an wirtschaftlicher Entwicklung.

Abbildung 8: Entwicklung der Weltbevölkerung nach Regionen

2003 UND 2050

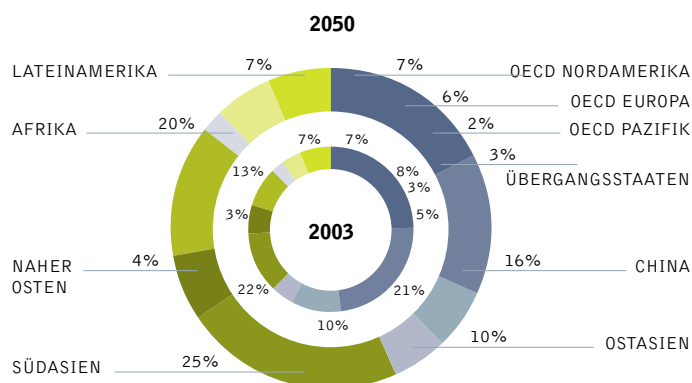


Tabelle 2: Entwicklung der Weltbevölkerung nach Regionen

TAUSEND

REGION	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Welt	6309590	6848630	7561980	8138960	8593660	8887550
OECD Europa	527300	538470	543880	543880	527560	508970
OECD Nordamerika	425800	456520	499310	535380	563110	586060
OECD Pazifik	199000	201800	201800	197800	190990	182570
Übergangsstaaen	345000	340200	333460	320360	303170	284030
China	1311300	1376920	1447330	1461870	1448710	1407150
Ostasien	622600	686240	765570	829070	871470	889060
Südasien	1410000	1575710	1792960	1980540	2123630	2210120
Lateinamerika	439570	481170	536790	581310	612610	630020
Afrika	847660	980400	1183430	1387010	1615780	1835730
Naher Osten	181360	211200	257450	301740	336630	353840

Quelle UNITED NATIONS (UN)

Das Ergebnis dieser Analyse lautet, dass sich das BIP-Wachstum in allen Weltregionen in den kommenden Jahrzehnten wahrscheinlich allmählich verlangsamen wird. Das globale BIP wird vermutlich um durchschnittlich 3,2% pro Jahr im Zeitraum von 2002 bis 2030 wachsen, im Vergleich zu 3,3% von 1971 bis 2002 und 2,7% pro Jahr über den gesamten Zeitraum. China und andere asiatische Staaten werden wohl am schnellsten wachsen, gefolgt von Afrika und den Übergangstaaten. Die Wirtschaft Chinas wird sich verlangsamen je weiter sie fortschreitet, jedoch trotzdem bis in die frühen 20er Jahre dieses Jahrhunderts zur größten der Welt werden. Das BIP in den europäischen und pazifischen OECD-Staaten wird wohl um etwas weniger als 2% pro Jahr im Hochrechnungszeitraum steigen, während das Wirtschaftswachstum in den nordamerikanischen OECD-Staaten geringfügig höher sein wird. Der Anteil der OECD-Staaten am kaufkraftparitätbereinigten BIP wird von 58% im Jahr 2002 auf 38% im Jahr 2050 sinken.

Verglichen mit den Hochrechnungen der IEA von 2004 geht der neue World Energy Outlook 2006 für die Zeit von 2004 bis 2030 von einem etwas höheren durchschnittlichen Jahreswachstum des weltweiten BIP von 3,4% statt 3,2% aus. Gleichzeitig schätzt der WEO 2006 den Energieendverbrauch im Jahr 2030 4% höher ein als der WEO 2004. Eine Sensibilitätsanalyse über die Auswirkungen des Wirtschaftswachstums auf die Energienachfrage unter dem Energie[RE]volution-Szenario zeigt, dass ein durchschnittlicher weltweiter Anstieg des BIP um 0,1% (im Zeitraum von 2003 bis 2050) zu einer Zunahme des Energieendbedarfs um etwa 0,2% führt.

Die Kosten der Energieversorgung sind ein Schlüsselparameter für die Bewertung zukünftiger Energie-Szenarien. Die größten Preistreiber sind die Brennstoffpreise, die Investitionskosten für zukünftige Kraftwerkstechnologien und die potenziellen Kosten der CO₂-Emissionen.

Zukünftige Energiepreise basieren auf Prognosen der IEA, des US-Energieministeriums und der Europäischen Kommission. Zukünftige Investitionskosten für Kraftwerke wurden aufgrund einer Lernkurve geschätzt. Technologiespezifische Lernfaktoren (Fortschrittsquote) wurden aus der Literatur übernommen. Die Entwicklung der kumulativen Kapazität jeder einzelnen Technologie stammt aus den Ergebnissen des Energie[RE]volution-Szenarios. Alle Kosten werden in \$₂₀₀₀ angegeben.

Hochrechnungen für fossile Brennstoffpreise

Der drastische weltweite Anstieg der Ölpreise in jüngster Zeit hat zu wesentlich gestiegenen Preishochrechnungen geführt. Im Szenario der „hohen Öl- und Gaspreise“ der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2004 wurde zum Beispiel ein Ölpreis von gerade einmal 34 USD/bbl im Jahr 2030 angenommen. Weitere, durch die [Europäische] Kommission finanzierte Modelle (CASCADE MINTS 2006) gehen wiederum von einem Ölpreis von 94 USD/bbl im Jahr 2050 aus, einem Gaspreis von 15 USD/GJ und einem internationalen Kohlepreis von 95 USD/t. Derzeitige Prognosen für Ölpreise im Jahr 2030 reichen von 52 USD/bbl (55 USD₂₀₀₅/bbl) bis zu über 100 USD bei der IAE.

Da die verfügbare Menge Erdgas durch die Kapazität der Pipelines begrenzt ist, gibt es keinen Weltmarktpreis für Erdgas. In den meisten Teilen der Welt ist der Gaspreis direkt mit dem Ölpreis verbunden. Aktuelle Hochrechnungen für Gaspreise im Jahr 2030 rangieren von 4,5 USD/GJ im US-Energieministerium bis zum Höchstwert von 6,9 USD/GJ.

Berücksichtigt man die derzeitige Entwicklung der Energiepreise, könnten diese Hochrechnungen als zu vorsichtig betrachtet werden. Die weltweit wachsende Nachfrage nach Öl und Gas zugrunde legend, haben wir eine Entwicklung fossiler Brennstoffe angenommen, bei der das Öl einen Preis von 85 USD/bbl im Jahr 2030 und 100 USD/bbl im Jahr 2050 erreicht. Bei den Gaspreisen wird eine Erhöhung auf 9 bis 10 USD/GJ im Jahr 2050 angenommen.

Abb. 9: Entwicklung des weltweiten BIP nach Regionen

2002 UND 2050

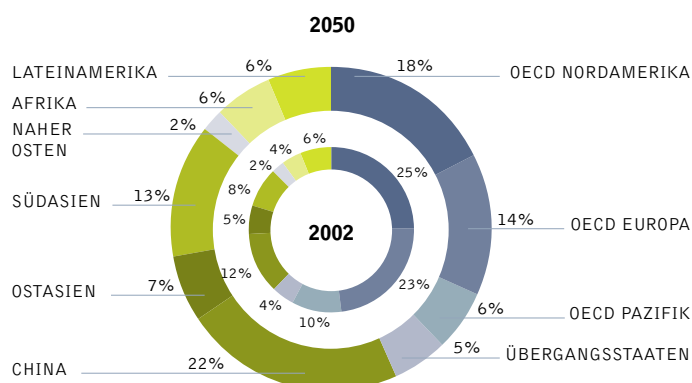


Tabelle 3: BIP-Entwicklungshochrechnungen

(DURCHSCHNITTliche Jahreswachstumsraten)

REGION	2002 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050	2002 - 2050
Welt	3,7%	3,2%	2,7%	2,3%	2,0%	2,7%
OECD Europa	2,4%	2,2%	1,7%	1,3%	1,1%	1,7%
OECD Nordamerika	3,2%	2,4%	1,9%	1,6%	1,5%	2,1%
OECD Pazifik	2,5%	1,9%	1,7%	1,5%	1,4%	1,8%
Übergangstaaten	4,6%	3,7%	2,9%	2,6%	2,5%	3,2%
China	6,4%	4,9%	4,0%	3,2%	2,6%	4,1%
Ostasien	4,5%	3,9%	3,1%	2,5%	2,2%	3,2%
Südasien	5,5%	4,8%	4,0%	3,2%	2,5%	3,9%
Lateinamerika	3,4%	3,2%	2,9%	2,6%	2,4%	2,9%
Afrika	4,1%	3,8%	3,4%	3,4%	3,4%	3,6%
Naher Osten	3,5%	3,0%	2,6%	2,3%	2,0%	2,6%

Quelle: (2002–2030: IEA 2004; 2030–2050: EIGENE ANNAHMEN)



Preisprognosen für Biomasse

Im Vergleich zu fossilen Brennstoffen sind die Preise für Biomasse höchst variabel und variieren von gar keinen bis geringen Kosten für Bioabfälle oder traditionelle Biomasse in Afrika oder Asien bis zu vergleichsweise hohen Kosten für Biotreibstoffe aus dem Anbau pflanzlicher Energieträger. Trotz dieser Variabilität wurde für Gesamteuropa⁸⁾ ein Biomassepreis bis 2030 festgelegt und mit unseren eigenen Schätzungen bis 2050 ergänzt. Die steigenden Biomassepreise spiegeln die bleibende Kopplung zwischen den Preisen für

Tabelle 4: Schätzungen zur Entwicklung der Preise für fossile Brennstoffe

FOSSILE BRENNSTOFFE	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Rohöl in \$ ₂₀₀₀ /bbl	28,0	62,0	75,0	85,0	93,0	100,0
Gas in \$ ₂₀₀₀ /GJ						
- Amerika	3,1	4,4	5,6	6,7	8,0	9,2
- Europa	3,5	4,9	6,2	7,5	8,8	10,1
- Asien	5,3	7,4	7,8	8,0	9,2	10,5
Steinkohle \$ ₂₀₀₀ /t	42,3	59,4	66,2	72,9	79,7	86,4

Tabelle 5: Schätzungen zur Preisentwicklung von Biomasse

\$₂₀₀₀/GJ

BIOMASSE	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Europa	4,8	5,8	6,4	7,0	7,3	7,6
andere Regionen	1,4	1,8	2,3	2,7	3,0	3,2

Biokraftstoffe und fossile Brennstoffe sowie dem steigenden Anteil pflanzlicher Energieträger wieder. Für andere Regionen wurden niedrigere Preise veranschlagt, da in Entwicklungsländern eine große Menge traditioneller Biomasse verwendet wird und Nordamerika sowie die Übergangstaaten über ein großes Potenzial bisher ungenutzter Ressourcen verfügt.

Kosten der CO₂-Emissionen

Unter der Annahme, dass ein CO₂-Emissionshandelssystem langfristig in allen Weltregionen eingeführt wird, müssen die Kosten für CO₂-Emissionsrechte in die Kalkulation der Energieerzeugungskosten einbezogen werden. Prognosen der Emissionskosten sind jedoch noch unsicherer als die Energiepreise. Die IEA veranschlagt einen „CO₂-Reduzierungsanreiz“ von 25 USD/tCO₂ im Jahr 2050. Das europäische CASCADE-MINTS-Projekt wiederum geht von CO₂-Kosten von 50 USD/tCO₂ im Jahr 2020 und 100 USD/tCO₂ ab 2030 aus. Für dieses Szenario sind wir von Kosten von 50 USD/tCO₂ im Jahr 2050 ausgegangen, was doppelt soviel ist wie die Hochrechnung der IEA, aber im Vergleich zu anderen Studien immer noch verhalten. Wir glauben, dass die CO₂-Emissionskosten für nicht in Anhang B aufgeführte Länder erst nach 2020 zu nennen sein werden.

Übersicht der Kostenentwicklung für konventionelle Energie

Tabelle 7 gibt eine Übersicht der erwarteten Investitionskosten für verschiedene fossile Brennstoff-Technologien mit unterschiedlichen Effizienzgraden.

Tabelle 6: Schätzungen zur Kostenentwicklung für CO₂-Emissionen

(\$/tCO₂)

LÄNDER	2010	2020	2030	2040	2050
Kyoto Anhang-B-Staaten	10	20	30	40	50
Nicht-Anhang-B-Staaten		20	30	40	50

Tabelle 7: Entwicklung der Effizienz und der Investitionskosten ausgewählter Kraftwerks-Technologien

		2010	2030	2050
Kohle-befeuertes Kondensations-Kraftwerk	Effizienz (%)	41	45	48
	Investitionskosten (\$/kW)	980	930	880
	Energieerzeugungskosten einschließlich CO ₂ -Emissionskosten (\$ Cents/kWh)	6,0	7,5	8,7
	CO ₂ Emissionen ^{a)} (g/kWh)	837	728	697
Öl-befeuertes Kondensations-Kraftwerk	Effizienz (%)	39	41	41
	Investitionskosten (\$/kW)	670	620	570
	Energieerzeugungskosten einschließlich CO ₂ -Emissionskosten (\$ Cents/kWh)	22,5	31,0	46,1
	CO ₂ Emissionen ^{a)} (g/kWh)	1.024	929	888
Erdgas- Kombinationskraftwerk	Effizienz (%)	55	60	62
	Investitionskosten (\$/kW)	530	490	440
	Energieerzeugungskosten einschließlich CO ₂ -Emissionskosten (\$ Cents/kWh)	6,7	8,6	10,6
	CO ₂ Emissionen ^{a)} (g/kWh)	348	336	325

Fußnote

8 (NUR EUROPA) NITSCH ET AL. (2004) UND DIE GEMIS-DATENBANK (ÖKO-INSTITUT, 2005)

Quelle: DLR, 2006 a) BEZIEHT SICH NUR AUF DIREKTE EMISSIONEN, LEBENSZYKLUS-EMISSIONEN SIND HIER NICHT BERÜCKSICHTIGT/ZZGL. DER KOSTEN PRO KWH ENTSPRECHEND DEN VERSCHIEDENEN KRAFTSTOFFPREISEN (NIEDRIG, MITTEL UND HOCH) /ZZGL. EMISSIONSFAKTOR (KG CO₂/KWH), AUF GRUNDLAGE DER KOSTEN IN DER EU.

Preisprognosen für erneuerbare Energien

Die Palette der heute verfügbaren Technologien bei erneuerbaren Energien zeigt deutliche Unterschiede in Bezug auf technische Ausgereiftheit, Kosten und Entwicklungspotenzial. Während Wasserkraft schon seit Jahrzehnten umfangreich genutzt wird, sind andere Technologien wie die Vergasung von Biomasse noch auf dem Weg zur Marktreife. Einige erneuerbare Energiequellen wie Wind und Solarkraft liefern von Natur aus unregelmäßig Energie und erfordern eine verbesserte Koordination mit dem Stromversorgungsnetz. Doch obwohl es sich in vielen Fällen um „dezentrale“ Technologien handelt – die Energie wird nahe des Konsumenten erzeugt und eingesetzt – wird es in Zukunft auch umfangreiche Anlagen in Form von Offshore-Windanlagen oder Solarthermische Kraftwerke geben.

Durch die Nutzung der einzelnen Vorteile und die Kombination verschiedener Technologien kann ein breites Spektrum der verfügbaren Möglichkeiten zur Marktreife entwickelt und Schritt für Schritt in die bestehenden Versorgungsstrukturen integriert werden. So entsteht schließlich ein Portfolio sich ergänzender, umweltfreundlicher Technologien für die Wärme-, Energie- und Treibstoffversorgung.

Die meisten der heute eingesetzten Technologien für erneuerbare Energie befinden sich in einem frühen Stadium der Marktentwicklung. Dementsprechend sind die Kosten generell höher als bei konkurrierenden konventionellen Systemen. Die Kosten können also von örtlichen Bedingungen, wie der Windstärke, der Verfügbarkeit von billiger Biomasse oder der Notwendigkeit von Naturschutzbestimmungen beim Bau eines neuen Wasserkraftwerkes abhängen. Dennoch ist das Potenzial zur Kostenreduzierung groß, nämlich durch verbesserte Technik und Herstellung sowie große Produktionsmengen, vor allem über den langen Zeitraum dieser Studie.

Zur Identifizierung langfristiger Kostenentwicklungen wurden Lernkurven eingesetzt, die die Korrelation zwischen der kumulativen Kapazität und der Entwicklung der Kosten widerspiegeln. Bei vielen Technologien liegt der Lernfaktor (oder die Fortschrittsquote) im Bereich zwischen 0,75 für weniger ausgereifte Systeme und 0,95 oder mehr für fest etablierte Technologien. Ein Lernfaktor von 0,9 bedeutet, dass ein Sinken der Kosten um 10% erwartet wird, wenn sich die kumulative Leistung der Technologie verdoppelt. Technologiespezifische Fortschrittsquoten stammen aus der Fachliteratur.⁹⁾ Diese zeigt, dass der Lernfaktor für PV-Solarmodule seit 30 Jahren ziemlich konstant bei 0,8 liegt, während der für Windenergie von 0,75 im Vereinigten Königreich bis 0,94 im fortgeschritteneren deutschen Markt variiert.

Abbildung 10: Die Skala der aktuellen Stromerzeugungskosten bei erneuerbaren Energiequellen in Europa

(EXCLUSIVE PV, MIT KOSTEN VON 25 BIS 50 CENT/KWH). EIN HOHES (HELL) UND NIEDRIGES (DUNKEL) ENDE DER SKALA BEDEUTET VARIIERENDE ÖRTLICHE BEDINGUNGEN – WINDGESCHWINDIGKEIT, SONNENSTRAHLUNG ETC.

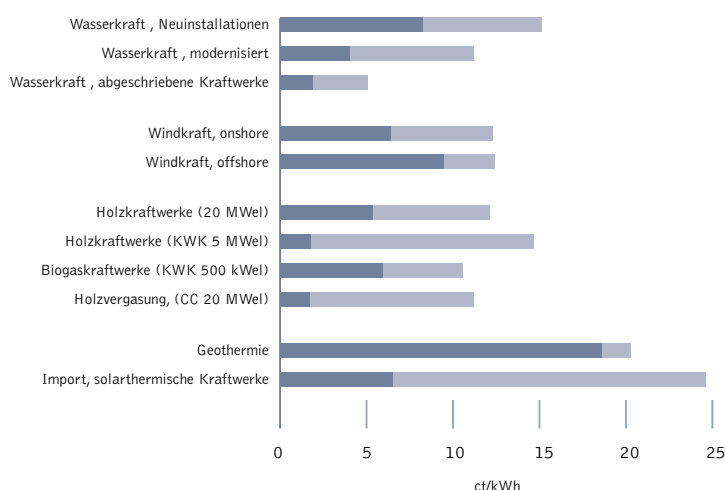


Bild GREENPEACE SPENDET EINE SOLARENERGIEANLAGE FÜR EINES DER KÜSTENDÖRFER IN ACEH, INDONESIEN, DIE AM SCHLIMMSTEN VOM TSUNAMI IM DEZEMBER 2004 GETROFFEN WURDEN. IN KOOPERATION MIT UPLINK, EINER LOKALEN ENTWICKLUNGS-NGO, STELLT GREENPEACE SEINE ERFAHRUNG IN DEN BEREICHEN ENERGIEEFFIZIENZ UND ERNEUERBARE ENERGIEN BEREIT UND INSTALLIERT EINE ANLAGE ZUR GEWINNUNG ERNEUERBARER ENERGIE.



1. Photovoltaik (PV)

Obwohl der weltweite Markt für Photovoltaik in den vergangenen Jahren um über 40% jährlich gewachsen ist, leistet PV nach wie vor nur einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung. Die Entwicklung konzentriert sich auf die Verbesserung vorhandener Module und Systemkomponenten sowie die Entwicklung neuer Zellen im Dünnschichtsektor und neuer Materialien für kristalline Zellen. Es wird erwartet, dass die Effizienz handelsüblicher kristalliner Zellen in den nächsten Jahren auf 15 bis 20% steigen wird, und dass Dünnschichtzellen mit niedrigem Rohstoffbedarf in großen Mengen verfügbar sein werden.

Der Lernfaktor für PV-Module liegt seit 30 Jahren ziemlich konstant bei etwa 0,8 und weist auf eine hohe technische Lernrate und Kostenreduzierung hin. Geht man von einer weltweit installierten Kapazität von 2.000 GW im Jahr 2050 und einem Sinken der Lernquote nach 2030 aus, sind mögliche Stromerzeugungskosten von etwa 5 bis 9 Cent/kWh bis 2030¹⁰⁾ zu erwarten. Im Vergleich zu anderen Technologien für erneuerbare Energie muss Photovoltaik daher als langfristige Möglichkeit eingestuft werden. Ihre Bedeutung liegt in der großen Flexibilität und dem enormen technischen Potenzial, ländliche Gebiete mit Energie zu versorgen und somit die 2 Milliarden Menschen zu erreichen, die derzeit noch keinen Zugang zu Strom haben.

2. Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke können nur direktes Sonnenlicht nutzen und sind daher von Standorten mit hoher Sonneneinstrahlung abhängig. Nordafrika beispielsweise besitzt ein technisches Potenzial, dass den dortigen Bedarf bei weitem übersteigt. Die verschiedenen solarthermischen Technologien (Parabolrinnen, Energietürme und parabolische Konzentratoren) bieten gute Aussichten für weitere Entwicklungen und Kostenreduzierungen. Ein bedeutendes Ziel ist die Errichtung von großen Speichern für thermische Energie, mit denen die Betriebszeiten dieser Systeme über die Sonnenstunden hinaus verlängert werden können.

Wegen der geringen Anzahl bisher gebauter Solarthermischer Kraftwerke ist es schwierig, zu einem zuverlässigen Lernfaktor in diesem Sektor zu kommen. Hierin wird angenommen, dass der Lernfaktor von 0,88 aus den Daten für die in Kalifornien errichteten Parabolrinnenreflektoren im Verlauf der Markteinführung bis 2030 auf 0,95 ansteigen wird. Die Einschätzung der Weltenergiesituation der UN (World Energy Assessment) geht davon aus, dass die solarthermische Energieerzeugung einen ebenso dynamischen Marktzuwachs erfahren wird wie die Windindustrie, nur mit einem Zeitverzug von 20 Jahren. In Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung und der Betriebsart werden Stromproduktionskosten von 5 bis 8 Cent/kWh erwartet. Dies setzt eine rasche Markteinführung in den nächsten Jahren voraus.

3. Solarthermische Kollektoren zum Heizen und Kühlen

Kleine solarthermische Kollektorensysteme für Wassererwärmung und Zusatzwärme sind heute bereits weit entwickelt und werden in einer ganzen Reihe von Anwendungen eingesetzt. Im Gegensatz dazu sind die großen saisonalen Wärmespeicher, die Wärme vom Sommer speichern, bis sie im Winter benötigt wird, bisher nur als Pilotkraftwerke erhältlich. Nur mit großen lokalen Wärmesystemen und saisonaler Speicherung wäre es möglich, weite Teile des durch niedrige Temperaturen bedingten Wärmebedarfs mit Solarenergie zu decken. Entscheidende Faktoren für eine Markteinführung werden geringe Speicherkosten und ein adäquater nutzbarer Wärmeertrag sein.

Die Daten für den europäischen Kollektorenmarkt zeigen einen Lernfaktor von fast 0,90 für Sonnenkollektoren, was aus technologischer Sicht auf ein relativ weit entwickeltes System hindeutet. Demgegenüber wird beim Bau von saisonalen Wärmespeichern eine langfristige Kostenreduzierung von mehr als 70% erwartet. Je nach Konfiguration des Systems wird es langfristig möglich sein, Preise zwischen 4 und 7 Cent/kWh für solarthermische Energie zu erreichen.

4. Windkraft

Innerhalb kurzer Zeit hat die dynamische Entwicklung der Windkraft zur Entstehung eines florierenden globalen Marktes geführt. Die größten Windturbinen der Welt, von denen einige in Deutschland errichtet wurden, haben eine Kapazität von 6 MW. Die Kosten für neue Systeme haben jedoch in manchen Ländern in den letzten Jahren aufgrund der weiterhin hohen Nachfrage und der beträchtlichen Vorabinvestitionen der Hersteller in die Entwicklung und Einführung einer Reihe neuer Systeme stagniert. In Folge dessen liegt der beobachtete Lernfaktor für zwischen 1990 und 2000 in Deutschland gebaute Windturbinen nur bei 0,94. Da jedoch technische Entwicklungen zu einer Erhöhung des spezifischen Ertrages geführt haben, sollten die Energieerzeugungskosten trotzdem weiter sinken. Aufgrund des relativen Erfahrungsmangels im Offshore-Bereich werden hier ein größeres Kostenreduzierungspotenzial und eine entsprechend höhere Lernquote erwartet.

Während der World Energy Outlook 2004 der IEA ein weltweites Wachstum der Windkapazität von nur 330 GW bis 2030 erwartet, geht das World Energy Assessment der Vereinten Nationen von einer weltweiten Sättigung bei etwa 1.900 GW zur selben Zeit aus. Der Global Wind Energy Outlook (2006)¹¹⁾ prognostiziert eine Kapazität von bis zu 3.000 GW weltweit bis 2050. Eine Erfahrungskurve für Windturbinen stammt aus der Kombination der gegenwärtig festgestellten Lernfaktoren mit einem angenommenen hohen Marktwachstum in Anlehnung an den Global Wind Energy Outlook. Sie lässt vermuten, dass die Kosten für Windturbinen bis 2050 um bis zu 40% sinken werden.

Fußnoten

9 DLR 2006, DR.WOLFRAM KREWITT ET AL.

10 EPIA/GREENPEACE INTERNATIONAL, „SOLARGENERATION“ 2006

11 EUROPÄISCHER WINDENERGIEVERBAND (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION) UND GREENPEACE

5. Biomasse

Der entscheidende Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Biomasse sind die Kosten des Rohmaterials, die heute von negativen Kosten für billige Restmaterialien wie Holzabfall (Wegfall von Entsorgungskosten) bis zu den teureren pflanzlichen Energieträgern reichen. Folglich ist das Spektrum der Energieerzeugungskosten entsprechend breit. Eine der rentabelsten Optionen ist die Verwendung von Altholz in Dampfturbinen, kombiniert mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Die Vergasung fester Biobrennstoffe, die eine Reihe von Anwendungen ermöglicht, ist jedoch immer noch relativ teuer. Langfristig wird erwartet, dass günstige Energieerzeugungskosten durch die Verwendung von Holzgas sowohl in Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Maschinen und Brennstoffzellen) als auch in Gas-Dampf-Heizkraftwerken erreicht werden. Ein großes Potenzial für die Verwendung fester Biomasse besteht auch für die Wärmeerzeugung in kleinen und großen Wärmezentren, die an örtliche Wärmenetze angeschlossen werden. Die Umwandlung von Feldfrüchten in Ethanol und „Biodiesel“, der aus Rapsölmethylester (RME) stammt, sind in den letzten Jahren immer bedeutender geworden, z.B. in Brasilien und Deutschland. Verfahren zur Herstellung synthetischer Brennstoffe aus biogenen Synthesegasen werden ebenfalls eine zunehmende Rolle spielen.

Ein großes Potenzial für die Nutzung moderner Technologien in stationären Anlagen oder dem Verkehrssektor gibt es in Lateinamerika, Europa und den Übergangsländern. Für diese Regionen wird angenommen, dass langfristig 60% der potenziellen Biomasse aus pflanzlichen Energieträgern, der Rest aus Waldholzresten, industriellem Holzabfall und Stroh stammt.

In anderen Regionen, wie dem Nahen Osten, Südasien oder China, ist die zusätzliche Verwendung von Biomasse begrenzt; entweder durch eine grundsätzliche geringe Verfügbarkeit oder bereits hohe traditionelle Verwendung. Im Falle des Letzteren wird der Einsatz effizienterer Technologien die Nachhaltigkeit der heutigen Verwendung von Biomasse verbessern.

6. Erdwärme

Geothermische Energie wird in der ganzen Welt schon seit langem zur Wärmeerzeugung genutzt, während die Stromerzeugung auf wenige Anlage mit spezifischen geologischen Voraussetzungen beschränkt ist. Weitere intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist notwendig, um den Fortschritt zu beschleunigen. Ganz besonders die Einrichtung großer unterirdischer Wärmeaustauschflächen (HDR-Technologie) und die Verbesserung von Kraft-Wärme-Maschinen mit Claudius-Rankine-Prozess (Organic Rankine Cycle, ORC) müssen bei zukünftigen Projekten optimiert werden.

Da ein großer Teil der Kosten für ein geothermisches Kraftwerk aus den Tiefbohrungen stammt, können Daten aus dem Ölssektor verwendet werden, wo Lernfaktoren von weniger als 0,8 beobachtet werden. Geht man von einem weltweiten durchschnittlichen Marktzuwachs für geothermische Energie von 9% pro Jahr bis 2020 und einer Reduzierung von 4% ab 2030 aus, wäre das Ergebnis ein Kostenreduzierungspotenzial von 50% bis 2050. Daher werden die Stromerzeugungskosten trotz der heutigen hohen Zahlen (etwa 20 Cent/kWh) – abhängig von Einnahmen für die Wärmeerzeugung – vermutlich langfristig auf etwa 6 bis 10 Cent/kWh sinken. Wegen der kontinuierlichen Verfügbarkeit wird die Erdwärme wohl ein Schlüsselement einer neuen Versorgungsstruktur auf Basis erneuerbarer Energie sein.

7. Wasserkraft

Wasserkraft ist eine ausgereifte Technologie, die schon lange zur Stromgewinnung eingesetzt wird. Zusätzliches Potenzial kann hauptsächlich durch die Modernisierung und Erweiterung vorhandener Systeme ausgeschöpft werden. Das nach wie vor niedrige Kostenreduzierungspotenzial wird sicher durch zunehmende Probleme bei der Bauplatzerschließung und steigende Umweltauflagen wettgemacht. Es kann wohl angenommen werden, dass bei kleinen Anlagen, deren Energieerzeugungskosten generell höher sind, die Notwendigkeit zur Erfüllung ökologischer Anforderungen proportional höhere Kosten mit sich bringen wird als bei größeren Anlagen.

Übersicht über die Kostenentwicklung erneuerbarer Energien

Abbildung 12 fasst die Kostentrends der Technologien für erneuerbare Energie aus den entsprechenden Lernkurven zusammen. Es sollte betont werden, dass die erwartete Kostenreduzierung im Wesentlichen keine Frage der Zeit, sondern der kumulativen Kapazität ist, daher ist eine dynamische Marktentwicklung notwendig. Die meisten Technologien werden wohl ihre spezifischen Investitionskosten auf 30% bis 60% der gegenwärtigen Höhe bis 2020 reduzieren können und auf 20% bis 50%, wenn sie voll ausgereift sind (ab 2040).

Reduzierte Investitionskosten für Technologien für erneuerbare Energien führen unmittelbar zu niedrigeren Wärme- und Energiegewinnungskosten, wie in Abbildung 13 dargestellt. Die Produktionskosten der meisten bedeutenden Technologien liegen heute bei etwa 8 bis 20 Cent/kWh, ausgenommen Photovoltaik. Langfristig werden sich die Kosten vermutlich auf 4 bis 10 Cent/kWh angleichen. Diese Schätzungen basieren auf standortabhängigen Bedingungen, wie örtliche Windverhältnisse und Sonneneinstrahlung, Verfügbarkeit von Biomasse zu angemessenen Preisen oder der gewährten Vergütung für die Wärmeversorgung im Falle einer Kraft-Wärme-Kopplung.

Quellen für Kostenschätzungen INTERNATIONALE ENERGIEBEHÖRDE: „ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES – SCENARIOS AND STRATEGIES TO 2050“ (IEA 2006); „WORLD ENERGY OUTLOOK 2005“ (IEA 2005); „WORLD ENERGY OUTLOOK 2004“ (IEA 2004). | US-ENERGIEINFORMATIONENBEHÖRDE (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION), US-MINISTERIUM FÜR ENERGIE: „ANNUAL ENERGY OUTLOOK 2006 WITH PROJECTIONS TO 2030“ (EIA 2006) | EUROPÄISCHE KOMMISSION: „EUROPEAN ENERGY AND TRANSPORT – SCENARIOS ON KEY DRIVERS“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2004) | CASCADE (2006): [HTTP://WWW.E3MLAB.NTUA.GR/CASCADE.HTML](http://www.e3mlab.ntua.gr/cascade.html) | NITSCH, J.; KREWITT, W.; NAST, M.; VIEBAHN, P.; GÄRTNER, S.; PEHNT, M.; REINHARDT, G.; SCHMIDT, R.; UHLEIN, A.; BARTHEL, C.; FISCHEDICK, M.; MERTEN, F.; SCHEURLEN, K. (2004): ÖKOLOGISCH OPTIMISierter AUSBAU DER NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DEUTSCHLAND. IN: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [ED.]: UMWELTPOLITIK, KÖLLEN DRUCK | ÖKO-INSTITUT (2005): „GLOBAL EMISSION MODEL FOR INTEGRATED SYSTEMS“ (GEMIS), VERSION 4.3; INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE E.V.; [HTTP://WWW.GEMIS.DE](http://www.gemis.de) | WBGU (2003): „ÜBER KIOTO HINAUS DENKEN – KLIMASCHUTZSTRATEGIEN FÜR DAS 21. JAHRHUNDERT.“ SONDERGUTACHTEN DES WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATS DER BUNDESREGIERUNG FÜR GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNG, BERLIN, 2003. [HTTP://WWW.WBGU.DE/WBGU_SN2003.HTML](http://www.wbgu.de/wbgu_sn2003.html)

Bild ATOMKRAFTWERK MIT KÜHLTURMEN.



Abbildung 11: Zukünftige Entwicklung der Investitionskosten

NORMIERT GEMÄSS HEUTIGEN KOSTEN FÜR TECHNOLOGIEN ERNEUERBARER ENERGIE, ABGELEITET AUS LERNKURVEN

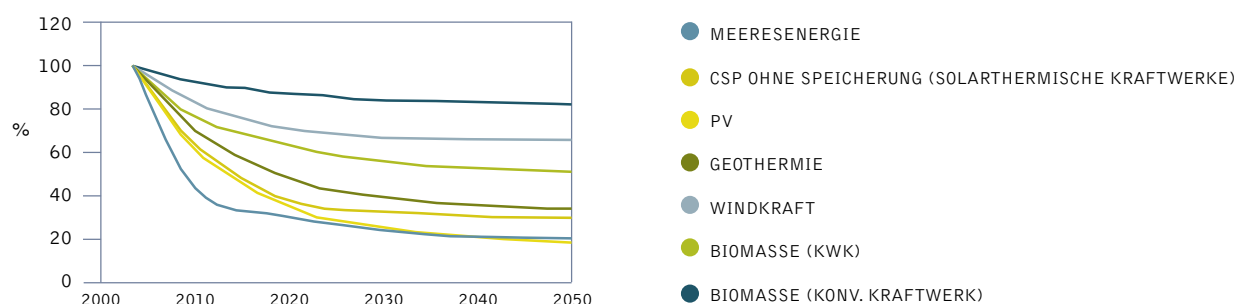
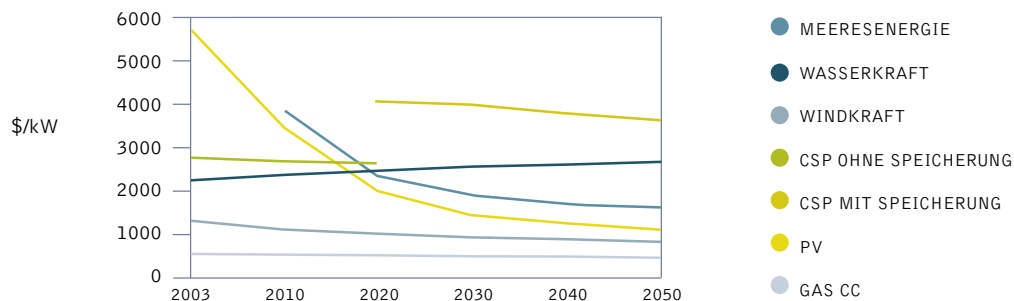
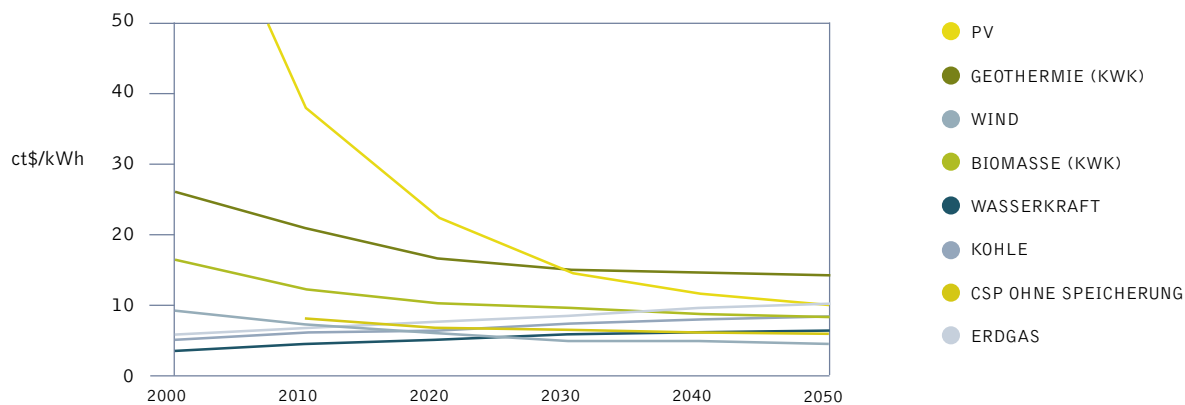


Abbildung 12: Zukünftige Entwicklung der Investitionskosten für ausgewählte erneuerbare Energien zur Stromgewinnung



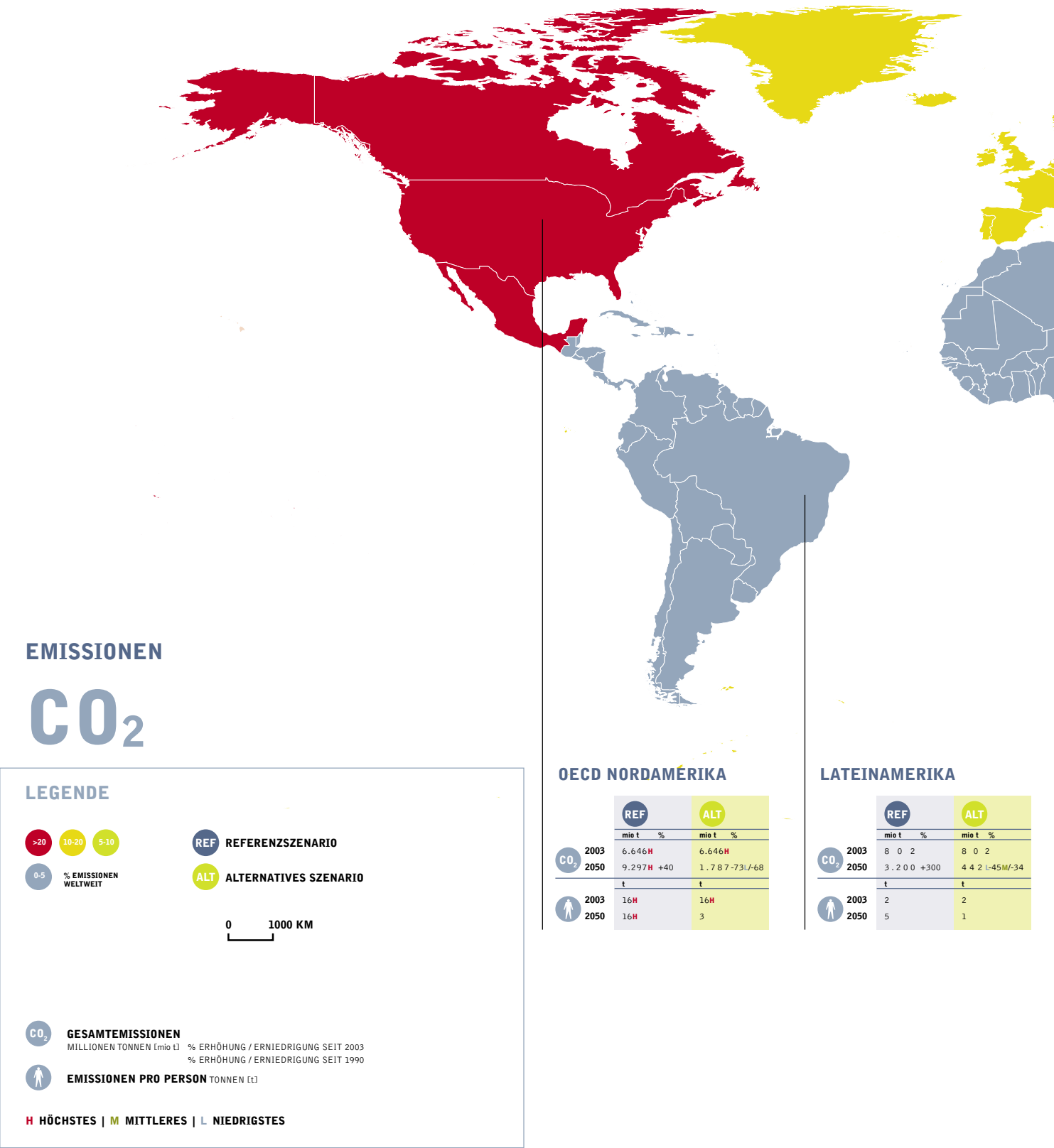
Quelle: AHLN FÜR OECD EUROPA, SOLARTHERMIEKRAFTWERK (CSP) OHNE SPEICHER FÜR DEN MITTLEREN OSTEN.
(* HERSTELLUNGSKOSTEN HÄNGEN TEILWEISE VON DEN LOKALEN TREIBSTOFFKOSTEN UND WÄRMEGUTHABEN AB.)

Abbildung 13: Erwartete Entwicklung der Stromerzeugungskosten aus fossilen und erneuerbaren Alternativen.



Quelle: ZAHLEN FÜR OECD EUROPA, SOLARTHERMIEKRAFTWERK (CSP) OHNE SPEICHER FÜR DEN MITTLEREN OSTEN.
(* HERSTELLUNGSKOSTEN HÄNGEN TEILWEISE VON DEN LOKALEN TREIBSTOFFKOSTEN UND WÄRMEGUTHABEN AB.)

Karte 1: CO₂-Emissionen Referenzszenario und Energie[R]evolution-Szenario
 WELTWEITES SZENARIO



OECD EUROPA

		REF	ALT		
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3.886		3.886	
	2050	5.210	34%	1.160	M-70/-71
		t		t	
	2003	7		7	
	2050	10		2M	

NAHER OSTEN

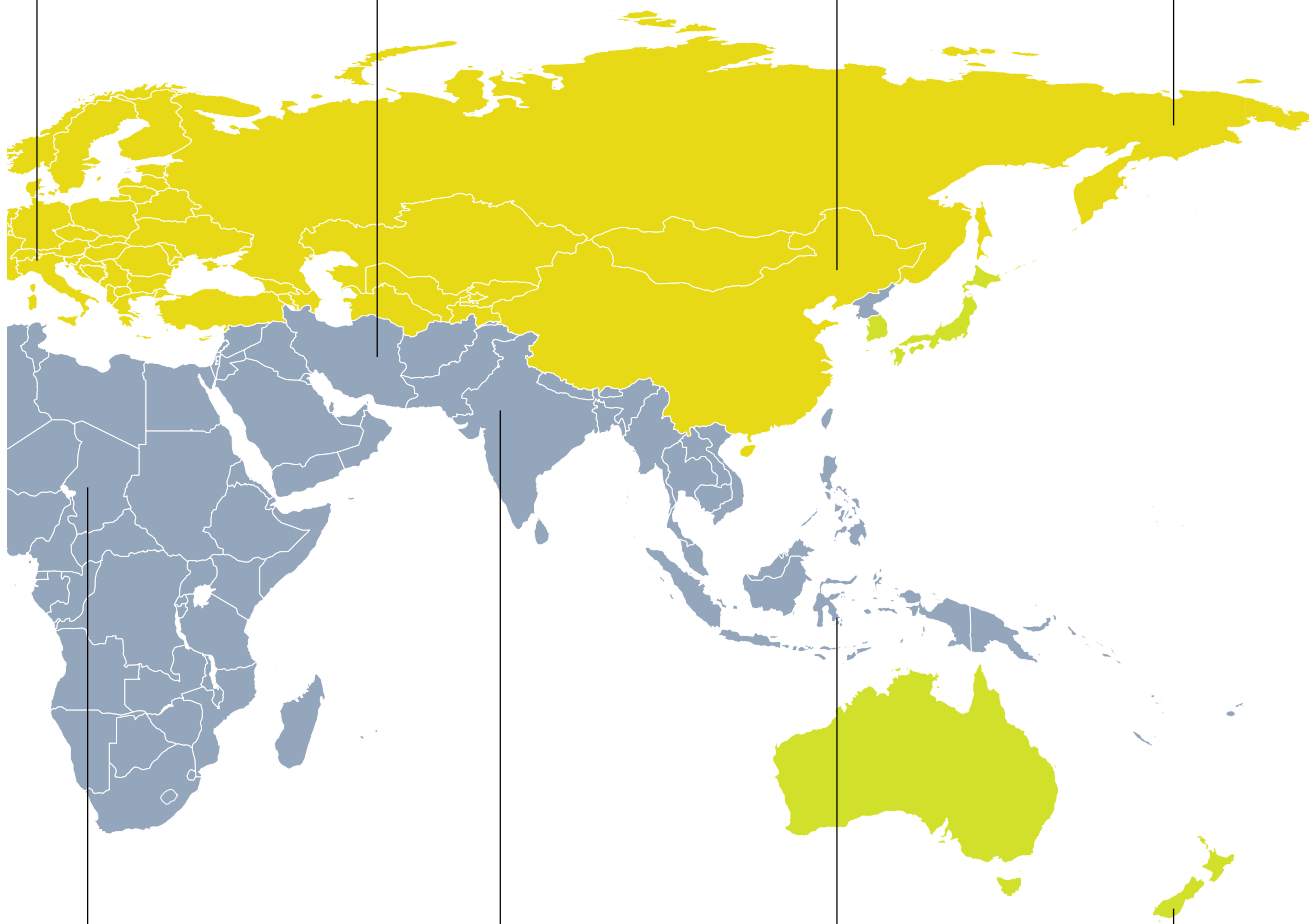
		REF	ALT		
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1.004		1.004	
	2050	2.116L	+111	493	-51/-22
		t		t	
	2003	6M		6M	
	2050	6M		1	

CHINA

		REF	ALT		
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3.313		3.313	
	2050	8.547	+158	3.284	-1/+30
		t		t	
	2003	3		3	
	2050	6M		2M	

ÜBERGANGSSTAATEN

		REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	2.685	M	2.685	M
	2050	3.655	+36	745	-72/-81
		t		t	
	2003	8		8	
	2050	13		3	



AFRIKA

		REF	ALT		
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	7 2 7	L	7 2 7	L
	2050	3. 4 4 0	+373H	1. 0 7 5	48H/+21
		t		t	
	2003	1L		1L	
	2050	2L		1	

SÜDASIEN

		REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1.126		1.126	
	2050	4.039M +259		1.077 -4/+47	
		t		t	
	2003	1L		1L	
	2050	2L		0.5L	

OSTASIEN

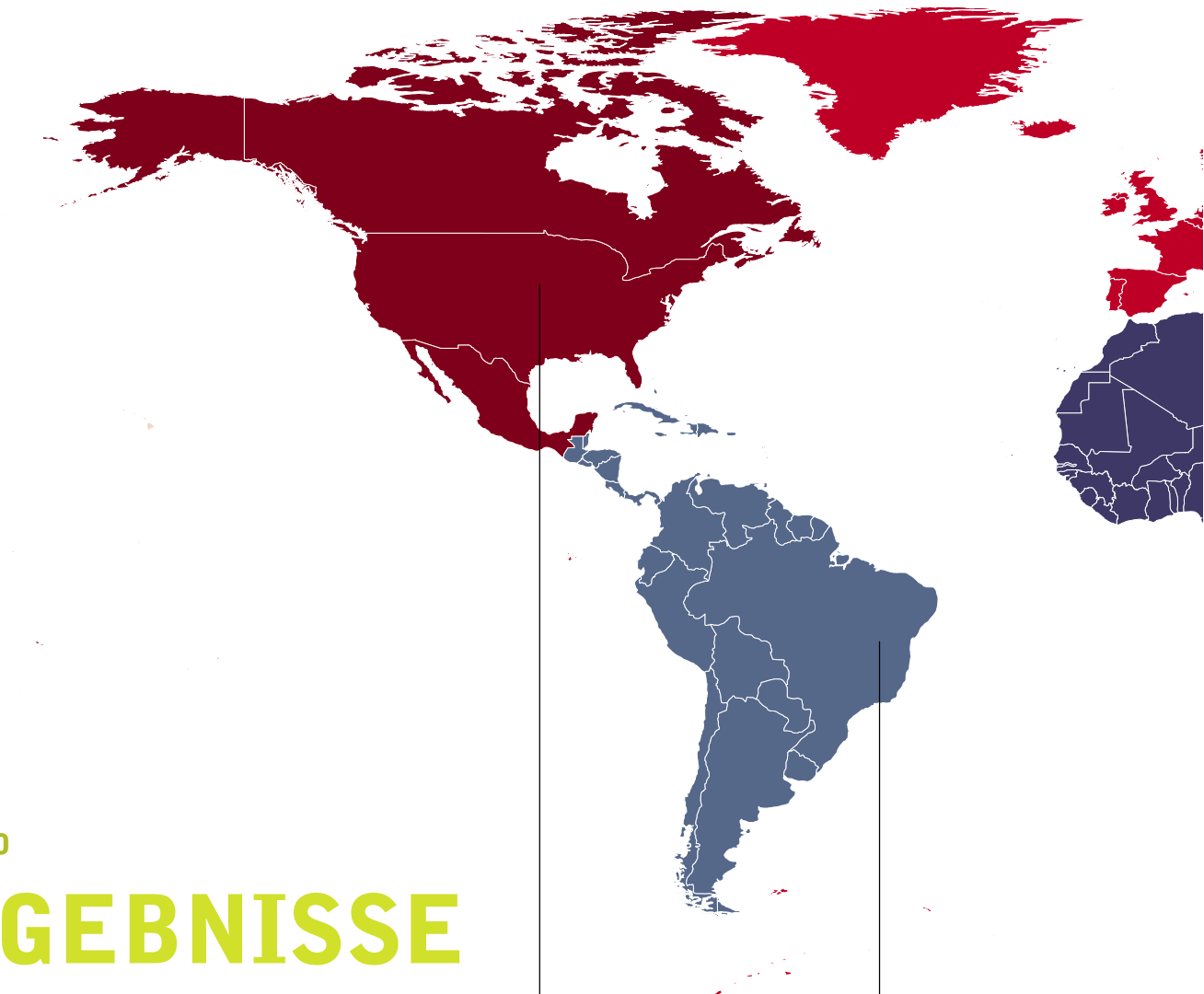
		REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1.063		1.063	
	2050	3.726	+250	831	-22/+22
		t		t	
	2003	2		2	
	2050	4		1	

OECD PAZIFIK

		REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1.871		1.871	
	2050	2.259	+21	70	0-63/-29
		t		t	
	2003	9		9	
	2050	12		4H	

Karte 2: Ergebnisse Referenzszenario und Energie[R]evolution-Szenario

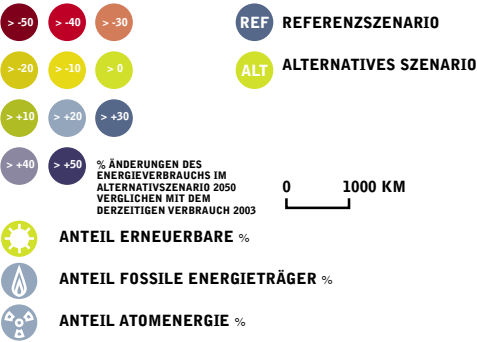
WELTWEITES SZENARIO



SZENARIO

ERGEBNISSE

LEGENDE



H HÖCHSTES | M MITTLERES | L LOWEST
 PE PRIMÄRENERGIEERZEUGUNG / BEDARF IN PETAJOULE (PJ)
 EL ENERGIEPRODUKTION / ERZEUGUNG IN TERAWATTSTUNDEN (TWh)

OECD NORDAMERIKA

	REF				
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh	
2003	113.980H	4.857H	113.980H	4.857H	
2050	161.936H	8.960H	69.874	4.605	
	2003	6	15	6	15
	2050	8	16M	52M	8
		%			%
	2003	86	86		
	2050	86	48		
		%	%		
	2003	8	ATOMAUSSTIEG BIS 2030		
	2050	6			

LATEINAMERIKA

	REF				
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh	
2003	19.393	830	19.393	830	
2050	62.854	3.982	30.220	2.308	
	2003	28	71H	28	71H
	2050	15	33H	70H	90H
				%	%
	2003	71	71		
	2050	84M	30L		
				%	%
	2003	1	ATOMAUSSTIEG BIS 2030		
	2050	1			

OECD EUROPA

		REF		ALT	
		PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003		76.319	3.323	76.319	3.323
2050		93.356	4.988	50.999	3.141
		%		%	
	2003	7	18M	7	18%M
	2050	12	28	48	80%
		%		%	
	2003	79	53	79	53
	2050	84M	64	52M	20
		%		%	
	2003	14H	30H	ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	4M	8		

NAHER OSTEN

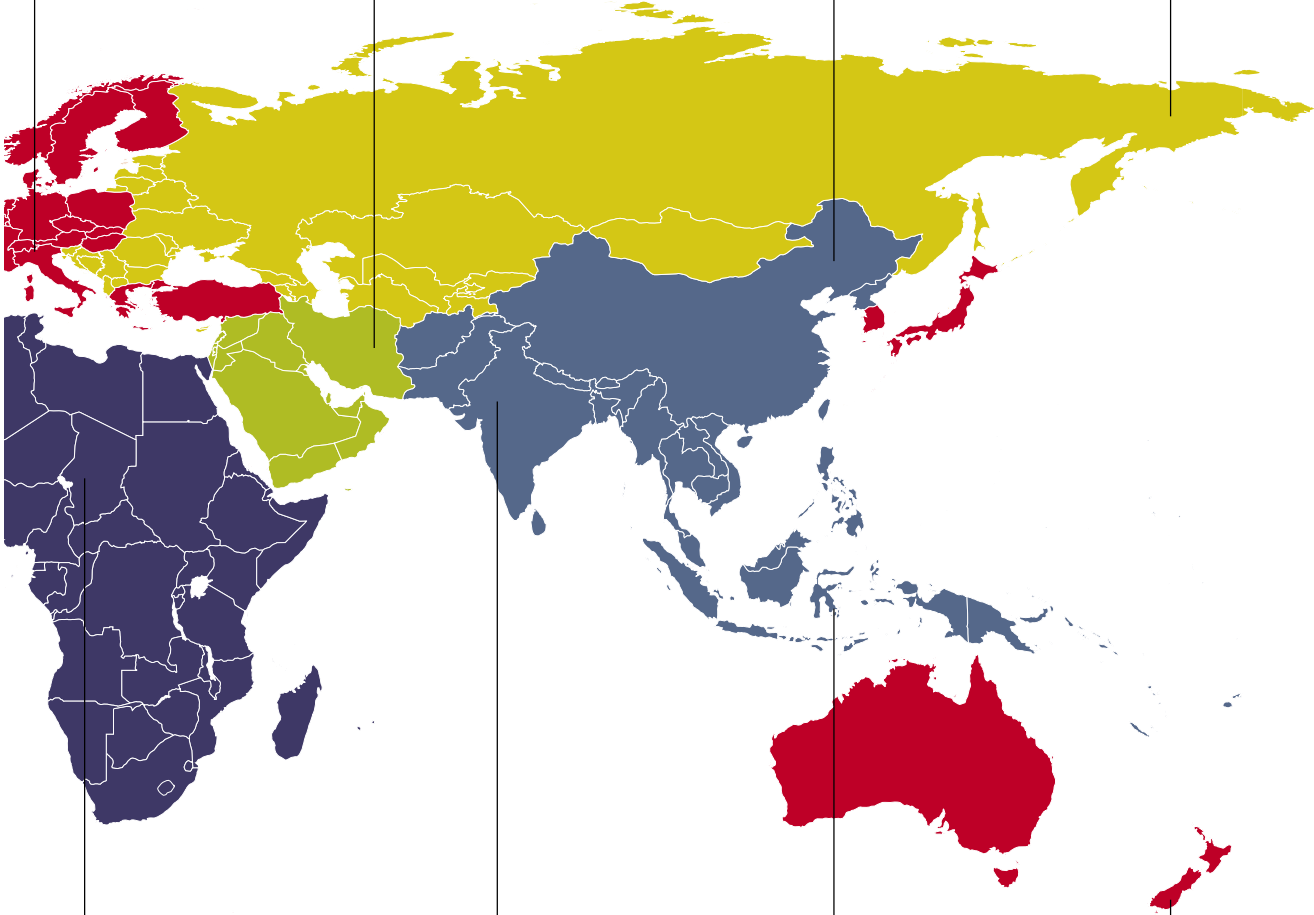
		REF		ALT	
		PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003		17.569L	554	17.569L	554
2050		39.205L	1.941L	20.171L	1.671
		%		%	
	2003	1L	3L	1L	3L
	2050	1L	4L	53	84
		%		%	
	2003	99H	97H	99H	97H
	2050	98H	96H	47	16
		%		%	
	2003	0L	0L	ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	0L	0L		

CHINA

	REF		ALT		
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh	
2003	55.379	1.943	55.379	1.943	
2050	127.688	9.045	76.066H	7.556H	
	%		%		
	2003	19M	15	19M	15
	2050	12M	16M	34L	53L
	%		%		
	2003	80M	82	80M	82
	2050	85	80	66H	47H
	%		%		
	2003	1	2	ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	3	4		

ÜBERGANGSSTAATEN

		REF		ALT	
		PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003		45.472M	1.574	45.472M	1.574
2050		67.537	3.287	37.469M	2.413
		%		%	
	2003	4	18M	4	18M
	2050	7M	14	58	79
		%		%	
	2003	90	64	90	64
	2050	90	79M	42	21
		%		%	
	2003	7	18M	ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	3	6M		



AFRIKA

	REF				
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh	
2003	22.292	502L	22.292	502L	
2050	74.255M	3.852	43.869	2.698	
	%		%		
	2003	47H	17	47H	17
	2050	29H	5	58	56
	%		%		
	2003	53L	53L		
	2050	71L	42		
	%		%		
	2003	1	ATOMAUSSTIEG BIS 2030		
	2050	0L			

SÜDASIEN

	REF				
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh	
2003	26.921	744	26.921	744	
2050	71.709	4.551M	37.220	2.790M	
	2003	41	15	41	15
	2050	20	9	50M	59
	%		%		
	2003	58	58		
	2050	77	50		
	%		%		
	2003	1	ATOMAUSSTIEG BIS 2030		
	2050	3			

OSTASIEN

		REF		ALT	
		PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003		22.348	686	22.348	686
2050		59.955	3.232	32.400	2.133L
	2003	23	14	23	14
	2050	10	13	51M	81
		%		%	
	2003	75		75	
	2050	88		49	
		%		%	
	2003	2		ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	1			

OECD PAZIFIK

		REF		ALT	
		PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003		35.076	1.649M	35.076	1.649M
2050		46.716	2.661	23.616	1.619
		%		%	
	2003	3	10	3	10
	2050	7	17	37	70M
		%		%	
	2003	85	67M	85	67
	2050	79	60L	63	30M
		%		%	
	2003	11	22	ATOMAUSSTIEG BIS 2030	
	2050	14H	23H		

Das Szenario der globalen Energie[R]evolution

„WIRTSCHAFTSWACHSTUM UND EINE ZUNEHMENDE BEVÖLKERUNGSZAHL MÜSSEN NICHT ZWANGSLÄUFIG ZU EINEM ANSTIEG DES ENERGIEBEDARFS IM GLEICHEN MASSE FÜHREN.“

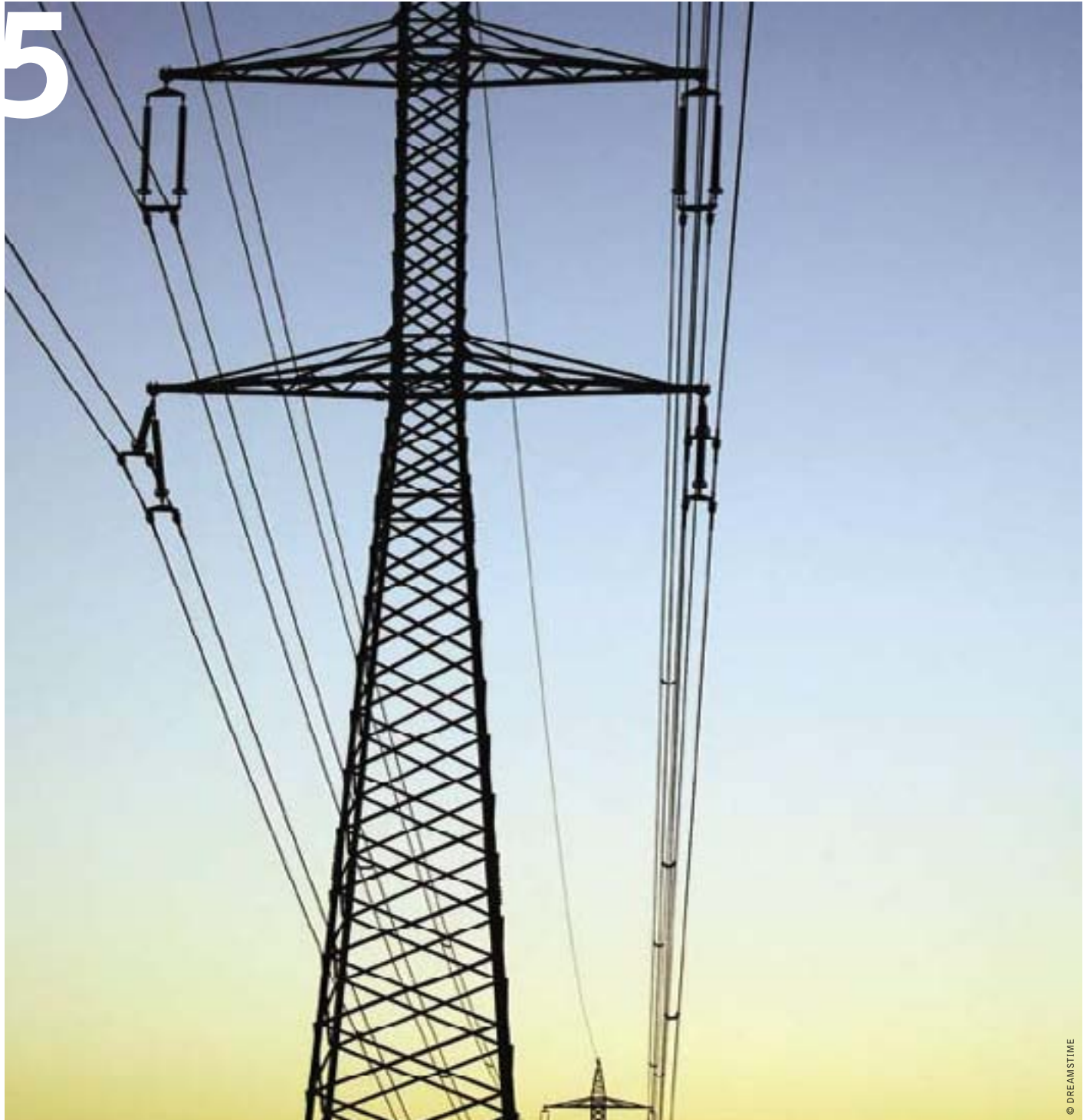


Bild STROMMASTEN.

Bild NEUE STEUERKONSOLE MIT STATISCHER ENERGIEVERBRAUCHS-ANZEIGE.



Die Entwicklung des zukünftigen globalen Energiebedarfs wird von drei Schlüsselfaktoren bestimmt:

- Bevölkerungswachstum: Die Anzahl der Menschen, die Energie oder Energieleistungen in Anspruch nehmen.
- Wirtschaftswachstum, für das üblicherweise das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als Indikator verwendet wird. Im Allgemeinen löst ein Anstieg des BIP auch einen Anstieg des Energiebedarfs aus.
- Energieintensität: Wieviel Energie wird benötigt, um eine BIP-Einheit zu produzieren.

Sowohl das Referenz- als auch das Energie[R]evolution-Szenario basieren auf denselben Hochrechnungen zum Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum. Die zukünftige Entwicklung der Energieintensität unterscheidet sich jedoch zwischen beiden aufgrund der Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung unter dem Energie[R]evolution-Szenario.

Prognose zum Bevölkerungswachstum

Laut dem Referenz-Szenario der IEA, das die Bevölkerungswachstumsprognosen der Vereinten Nationen verwendet, wird die Weltbevölkerung von heute 6,3 Milliarden Menschen auf 8,9 Milliarden im Jahr 2050 ansteigen. Dieses anhaltende Wachstum wird weiteren Druck auf Energiequellen und Umwelt ausüben.

Energieintensitätsprognosen

Ein Anstieg der wirtschaftlichen Aktivität und eine wachsende Bevölkerung müssen nicht zwangsläufig einen äquivalenten Anstieg des Energiebedarfs mit sich bringen. Es besteht noch ein großes Potenzial zur Nutzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Unter dem Referenz-Szenario gehen wir davon aus, dass die Energieintensität pro Jahr um 1,3% sinkt und zu einer Reduzierung des Energiebedarfs von etwa 45% zwischen 2003 und 2050 pro BIP-Einheit führt. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird angenommen, dass eine aktive Politik und technische Unterstützung der Energieeffizienzmaßnahmen eine noch größere Reduktion der Energieintensität von fast 70% bewirken werden.

Entwicklung der globalen Energienachfrage

Die Kombination aus Hochrechnungen zu Bevölkerungswachstum, BIP-Anstieg und Energieintensität resultiert in zukünftigen Entwicklungen des weltweiten Energiebedarfs. Diese werden in Abbildung 16 für das Referenz- und das Energie[R]evolution-Szenario dargestellt. Unter dem Referenz-Szenario verdoppelt sich der Gesamtenergiebedarf fast von derzeit 310.000 PJ/a auf 550.000 PJ/a im Jahr 2050. Beim Energie[R]evolution-Szenario wird ein wesentlich geringerer Anstieg des heutigen Verbrauchs von 14% bis 2050 erwartet, nämlich auf 350.000 PJ/a.

Eine rasche Steigerung der Energieeffizienz, die eine entscheidende Voraussetzung für einen ausreichend hohen Anteil der erneuerbaren Energiequellen in der Energieversorgung ist, wird nicht nur für die Umwelt, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht von Vorteil sein. Berücksichtigt man den vollständigen Lebenszyklus, stellt die Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen im Vergleich zu einer steigenden Energieversorgung eine Kosteneinsparung dar. Eine konsequente Energieeffizienzstrategie trägt daher dazu bei, einen Teil der zusätzlichen Kosten während der Markteinführungsphase erneuerbarer Energiequellen wieder auszugleichen.

Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird ein unproportionaler Anstieg des Strombedarfs erwartet, bei dem Haushalte und Dienstleistungen die Hauptverursacher des wachsenden Verbrauchs sind (s. Abbildung 17). Durch die Ausnutzung von Effizienzmaßnahmen kann jedoch ein noch höherer Anstieg vermieden werden, was zu einem Strombedarf von etwa 26.000 TWh/a im Jahr 2050 führt. Im Vergleich zum Referenz-Szenario werden durch Effizienzmaßnahmen 13.000 TWh/a eingespart. Diese Reduzierung der Energienachfrage lässt sich in allen Nachfragebereichen vor allem durch die Einführung hocheffizienter elektrischer Geräte, in denen die besten verfügbaren Technologien eingesetzt werden, erreichen. Der Einsatz von Solar-Architektur sowohl bei Wohn- als auch Geschäftsgebäuden wird helfen, die wachsende Nachfrage nach aktiver Raumkühlung zu bändigen.

Abb. 14: Globale Bevölkerungswachstumsprognosen

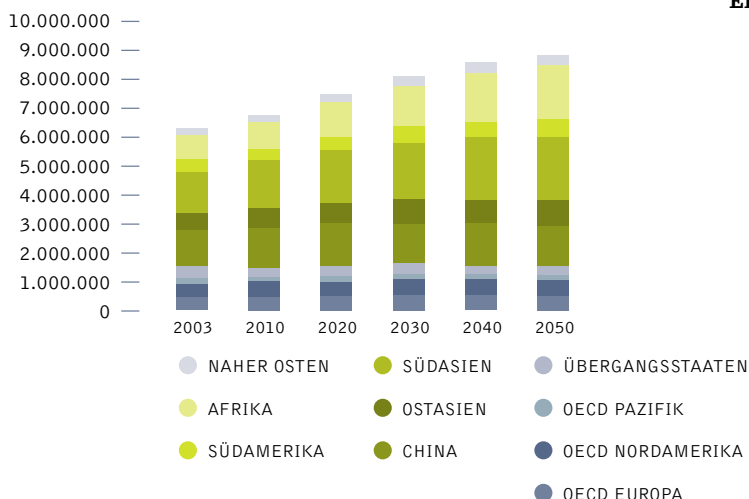
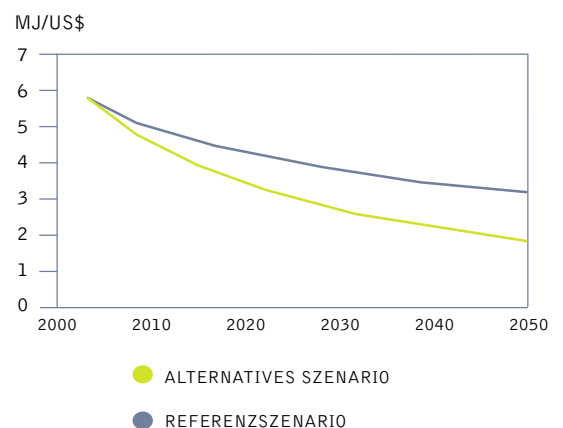


Abb. 15: Energieintensitätsprognosen des Referenz- und des Energie[R]evolution-Szenarios



Die Effizienzgewinne im Wärmesektor sind sogar noch höher. Unter dem Energie[r]evolution-Szenario kann der Wärmeendbedarf sogar reduziert werden (s. Abb. 18). Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne bis zum Jahr 2050 94.000 PJ/a weniger verbraucht. Durch eine Renovierung der vorhandenen Wohnhäuser sowie die Einführung von Niedrigenergie-Standards für neue Häuser und „Passivhäuser“ kann in Zukunft bei gleichem Wohnkomfort und gleichen Energieleistungen ein wesentlich geringerer Energiebedarf erreicht werden.

Im Verkehrssektor, der in der gegenwärtigen Studie nicht detailliert analysiert wird, wird unter dem Energie[r]evolution-Szenario ein Anstieg des Energiebedarfs um ein Viertel auf 100.600 PJ/a bis 2050 angenommen, also 80% weniger im Vergleich zum Referenz-Szenario. Diese Reduzierung kann durch den Einsatz hocheffizienter Fahrzeuge, die Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene und durch Verhaltensänderungen im Bereich Mobilität realisiert werden.

Abb. 16: Prognose des weltweiten Energieendbedarfs nach Sektoren im Referenz- und Energie[r]evolution-Szenario

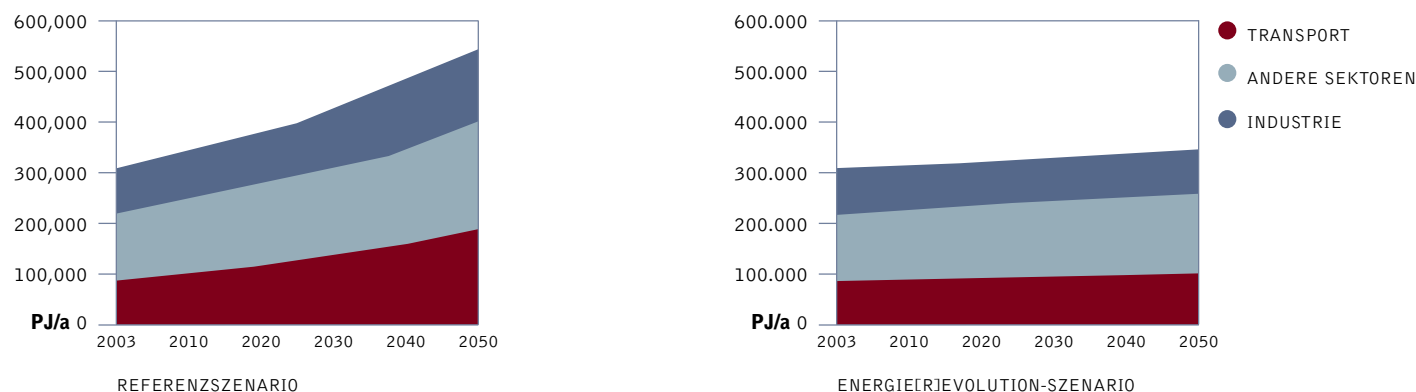


Abb. 17: Entwicklung des Strombedarfs nach Sektoren im Energie[r]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG IM VERGLEICH ZUM REFERENZ-SZENARIO;
„ANDERE SEKTOREN“ = DIENSTLEISTUNGEN, HAUSHALTE)

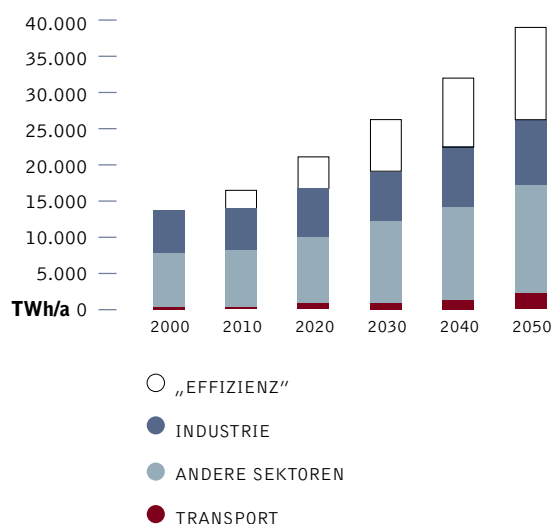


Abb. 18: Entwicklung des Wärmebedarfs im Energie[r]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG IM VERGLEICH ZUM REFERENZ-SZENARIO;
„ANDERE SEKTOREN“ = DIENSTLEISTUNGEN, HAUSHALTE)

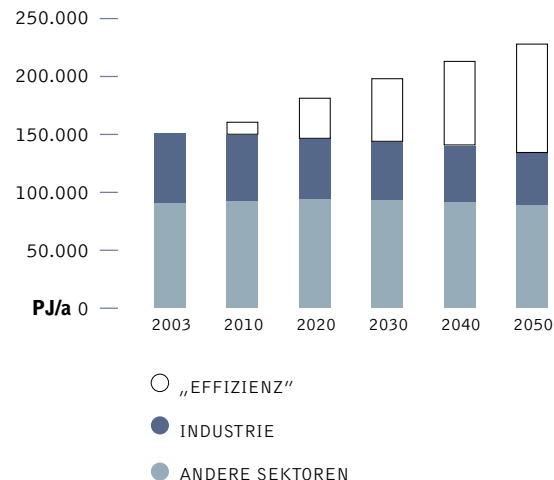


Bild PHOTOVOLTAIK – KOLLEKTOR AUF DER INSEL TOBI, BELAU INSELN, PAZIFIK. DIESE KOLLEKTOREN PRODUZIEREN DEN GESAMTEN STROM, DER AUF DER INSEL GEBRAUCHT WIRD.



Stromerzeugung

Die Entwicklung des Elektrizitätsversorgungssektors wird durch einen dynamisch wachsenden Markt für erneuerbare Energien und einen steigenden Anteil erneuerbar erzeugten Stroms charakterisiert. Dies bietet einen Ausgleich für die Abschaffung der Atomkraft und die Reduzierung der Anzahl fossilbefuerter Kraftwerke, der für die Stabilisierung des Versorgungsnetzes notwendig ist. Bis 2050 werden 70% der weltweit erzeugten Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen stammen. „Neue“ erneuerbare Energie – vor allem Wind, Strom aus solarthermischen Kraftwerken und Photovoltaik – werden 42% der Stromerzeugung ausmachen. Die folgende Strategie ebnet den Weg für eine erneuerbare Energieversorgung der Zukunft:

- Der Abschaffung der Atomkraft und der steigenden Energienachfrage wird durch die Inbetriebnahme neuer, hocheffizienter gasbetriebener Kombikraftwerke begegnet, plus der zunehmenden Kapazität von Windturbinen und Biomasse. Langfristig wird Wind die wichtigste Einzelquelle für die Stromerzeugung werden.
- Sonne, Wasser und Biomasse werden einen beträchtlichen Beitrag zur Stromerzeugung leisten. Vor allem da beständige erneuerbare Energiequellen – Wasser und Solarthermie – in Kombination mit Wärmespeicherung wichtige Elemente des gesamten Produktionsmixes darstellen.

- Die installierte Leistung der erneuerbare Energien-Technologie wird von derzeit 800 GW auf 7.100 GW im Jahr 2050 steigen. Die Zunahme der Kapazität erneuerbarer Energie um den Faktor neun wird jedoch politische Unterstützung und geeignete Instrumentarien benötigen. In den nächsten 20 Jahren wird es einen enormen Investitionsbedarf in neue Produktionskapazitäten geben. Da die Investitionszyklen im Energiesektor lang sind, müssen Entscheidungen zu einer Umstrukturierung des weltweiten Energieversorgungssystems jetzt getroffen werden.

Um ein wirtschaftlich interessantes Wachstum der erneuerbaren Energiequellen zu erreichen, ist die ausgewogene und frühzeitige Mobilisierung aller Technologien von großer Wichtigkeit. Diese Mobilisierung hängt vom technischen Potenzial, der Kostenreduzierung und der technologischen Reife ab. Abbildung 21 zeigt einen zeitlichen Entwicklungsvergleich der verschiedenen erneuerbaren Technologien. Bis 2020 werden Wasserkraft und Wind weiterhin den Hauptbeitrag zum wachsenden Marktanteil leisten. Ab 2020 wird das anhaltende Wachstum von Windkraft durch Strom aus Biomasse, Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke ergänzt werden.

Abb. 19: Entwicklung der globalen Stromversorgung unter dem Referenz-Szenario

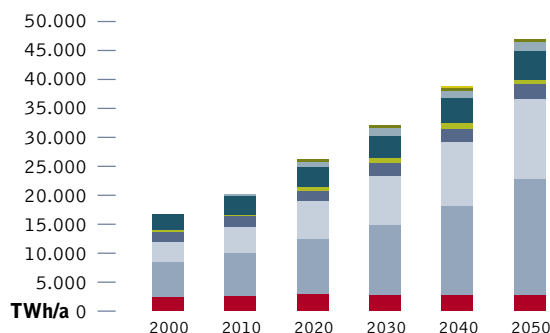


Abb. 20: Entwicklung der Stromversorgung unter dem Energie[R]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG VERGlichen MIT DEM REFERENZ-SZENARIO).

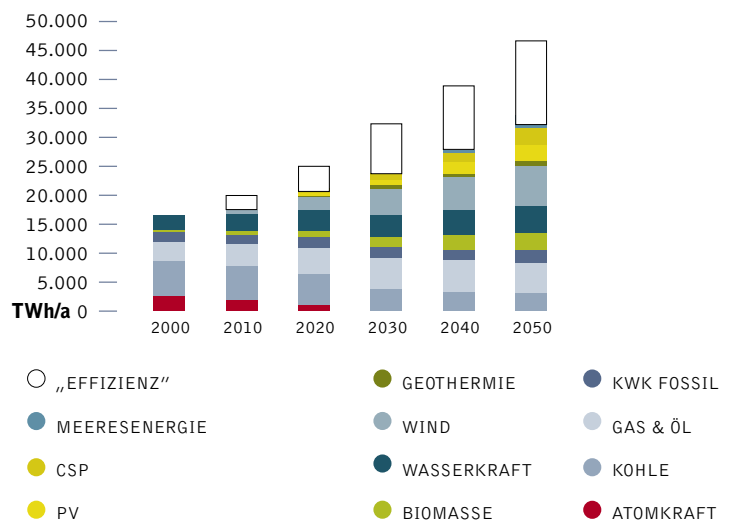


Abb. 21: Zunahme der erneuerbaren Stromversorgung unter dem Energie[R]evolution-Szenario, nach Quellen

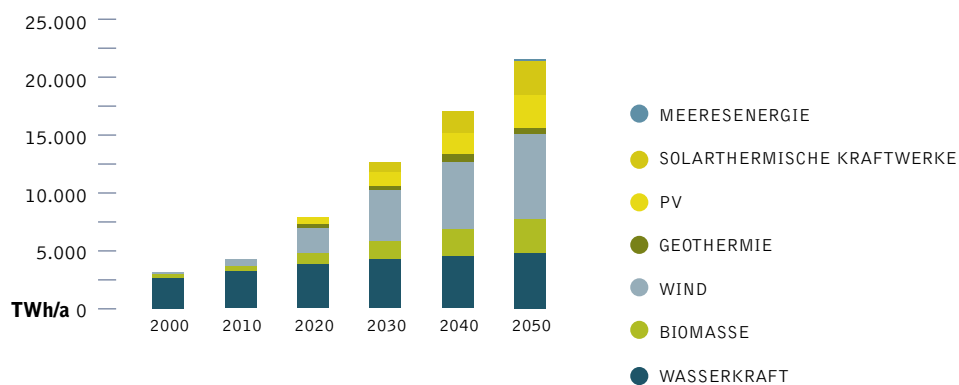


Tabelle 8: Hochrechnung der erneuerbaren Stromerzeugungskapazität unter dem Energie[R]evolution-Szenario, in MW

IN MW	2003	2010	2020	2030	2050
Wasser	728.000	854.800	994.190	1.091.490	1.257.300
Biomasse	48.030	110.000	211.310	305.780	504.610
Wind	30.280	156.150	949.800	1.834.290	2.731.330
Erdwärme	10.170	20.820	40.780	70.380	140.010
PV	560	22.690	198.900	727.820	2.033.370
Sonnenkraftwerke	250	2.410	29.190	137.760	404.820
Meer	240	2.250	13.530	28.090	63.420
Gesamt	817.000	1.169.120	2.437.700	4.195.610	7.134.860



Wärmeversorgung

Die Förderung der erneuerbaren Energien im Wärmesektor wirft verschiedene Probleme auf. Heute haben die erneuerbaren Energien einen Anteil von 26% am Primärenergiebedarf für die Wärmeversorgung; dabei spielt Biomasse die größte Rolle. Der Mangel an Fernwärmenetzen ist ein ernstes Strukturproblem für die großflächige Nutzung von Erdwärme- und Sonnenenergie. Frühere Erfahrungen zeigen, dass es leichter ist, effektive Fördermaßnahmen in den Versorgungsnetzen des Stromsektors umzusetzen als im Wärmesektor mit seiner Vielfalt an verschiedenen Beteiligten. Eine konsequente Förderung ist erforderlich, um eine dynamische Entwicklung sicherzustellen.

- Energieeffizienzmaßnahmen können den momentanen Bedarf an Wärme um 35% senken.
- Bei der Nahwärme werden fossilbefeuerte Systeme immer mehr durch Sonnenkollektoren, Biomasse bzw. Biogas und Erdwärme ersetzt.
- Ein Wechsel von Kohle und Öl auf Erdgas in den verbleibenden konventionellen Anlagen wird zu einer weiteren Reduzierung der CO₂-Emissionen führen.

Abb. 22: Entwicklung der Wärmeversorgung unter dem Referenz-Szenario

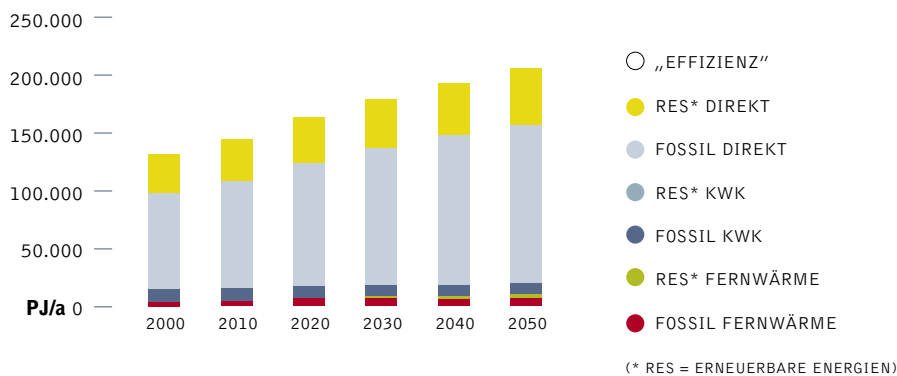
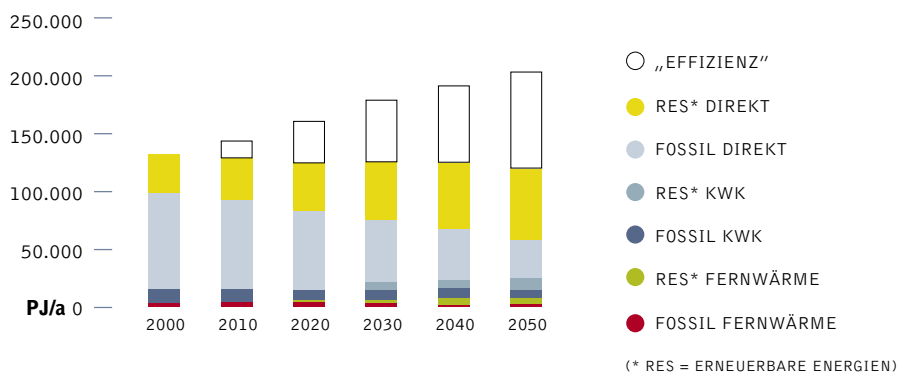


Abb. 23: Entwicklung der Wärmeversorgung unter dem Energie[R]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG VERGLEICHEN MIT DEM REFERENZ-SZENARIO)



Primärenergieverbrauch

Unter Berücksichtigung der oben genannten Annahmen wird der resultierende Primärenergieverbrauch unter dem Energie[R]evolution-Szenario in Abbildung 25 dargestellt. Im Vergleich zum Referenz-Szenario wird der Gesamtenergiebedarf um fast 50% im Jahr 2050 reduziert. Etwa die Hälfte des verbleibenden Bedarfs wird durch erneuerbare Energiequellen gedeckt. Zu erwähnen ist, dass aufgrund der für die Kalkulation des Primärenergieverbrauchs verwendeten „Effizienz-Methode“, die voraussetzt, dass die Höhe der Energieproduktion aus Wasser, Wind, Sonne und Erdwärme dem Primärenergieverbrauch entspricht, der Anteil der erneuerbaren Energien niedriger scheint als ihre Bedeutung als Energielieferant tatsächlich ist.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während sich die weltweiten CO₂-Emissionen beim Referenz-Szenario fast verdoppeln, sinken sie beim Energie[R]evolution-Szenario von 23 Milliarden Tonnen im Jahr 2003 auf 11.500 Millionen Tonnen 2050. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 4,0 auf 1,3 Tonnen fallen. Trotz dem Ende der Atomkraft und der steigenden Nachfrage werden die CO₂-Emissionen im Energiesektor zurückgehen. Langfristig werden Effizienzgewinne und der vermehrte Einsatz von Biokraftstoff sogar die CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich verringern. Mit einem Anteil von 36% des gesamten CO₂ im Jahr 2050 wird der Energiesektor hinter den Verkehrssektor als größter Emissionsverursacher fallen.

Abb. 24: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs unter dem Referenz-Szenario

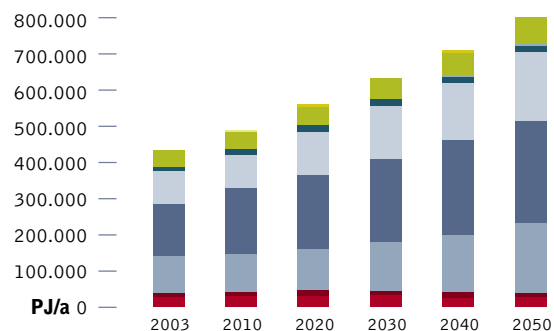


Abb. 25: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs unter dem Energie[R]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG VERGLEICHEN MIT DEM REFERENZ-SZENARIO)

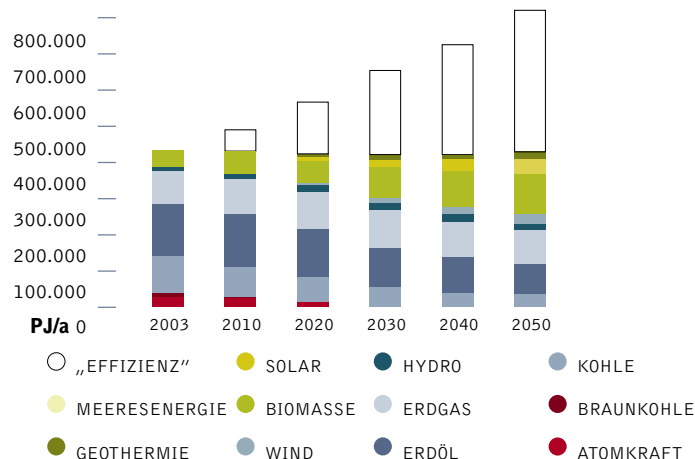
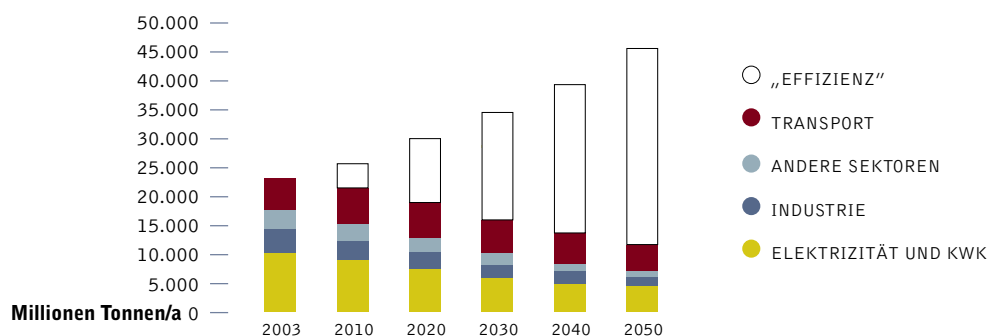


Abb. 26: Entwicklung der CO₂-Emissionen nach Sektoren unter dem Energie[R]evolution-Szenario

(„EFFIZIENZ“ = REDUZIERUNG VERGLEICHEN MIT DEM REFERENZ-SZENARIO)





Zukünftige Kosten der Stromproduktion

Abbildung 27 zeigt, dass die Einführung der Technologien für erneuerbare Energie unter dem Energie[R]evolution-Szenario die Kosten der Stromerzeugung im Vergleich zum Referenz-Szenario leicht erhöht. Diese Differenz wird bis zum Jahr 2020 weniger als 0,1 Cent/kWh betragen. Es muss beachtet werden, dass jeder Anstieg der fossilen Brennstoffpreise, der über die in Tabelle 4 genannten Prognosen hinausgeht, den Unterschied zwischen beiden Szenarios verringert. Wegen der niedrigeren CO₂-Intensität der Stromerzeugung werden die Stromerzeugungskosten unter dem Energie[R]evolution-Szenario bis 2020 wirtschaftlich rentabel sein, und bis 2050 werden die Produktionskosten mehr als 1,5 Cent/kWh unter denen des Referenz-Szenarios liegen.

Wegen der steigenden Nachfrage sieht sich unsere Gesellschaft mit beträchtlich wachsenden Ausgaben für die Energieversorgung konfrontiert. Unter dem Referenz-Szenario führen die unkontrollierte Nachfragesteigerung, die Erhöhung fossiler Brennstoffpreise und die Kosten der CO₂-Emissionen zu Gesamtennergieversorgungskosten, die von heute 1.130 Milliarden US-Dollar auf über 4.300 Milliarden USD im Jahr 2050 steigen werden. Abbildung 28 zeigt, dass das Energie[R]evolution-Szenario nicht nur die globalen CO₂-Reduzierungsziele erreicht, sondern auch zur Stabilisierung der Energiekosten und der Verringerung des wirtschaftlichen Drucks auf die Gesellschaft beiträgt. Eine höhere Energieeffizienz und die Verlagerung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien führen zu langfristigen Energieversorgungskosten, die um ein Drittel niedriger sind als beim Referenz-Szenario. Es wird deutlich, dass die Verfolgung klarer ökologischer Ziele im Energiesektor sich auch in ökonomischer Hinsicht auszahlt.

Abb. 27: Entwicklung der Energieproduktionskosten unter beiden Szenarien

(CO₂-EMISSIONSKOSTEN AB 2010 IN INDUSTRIESTAATEN, AB 2020 AUS ALLEN REGIONEN, ANSTIEG VON 15 US\$/TCO₂ 2010 AUF 50 US\$/TCO₂ 2050)

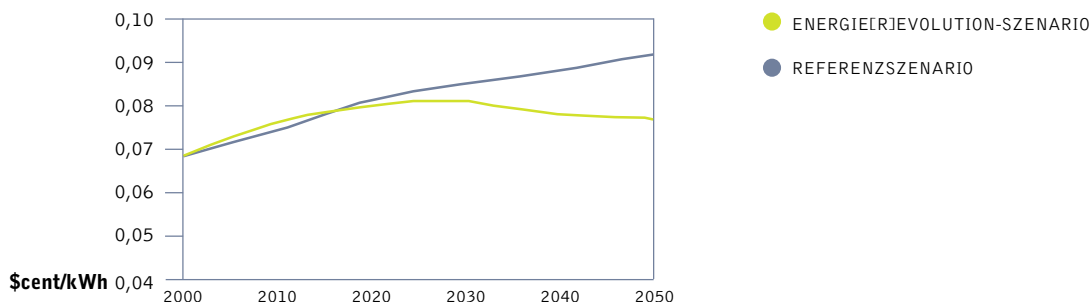


Abb. 28: Entwicklung der Gesamtenergieversorgungskosten

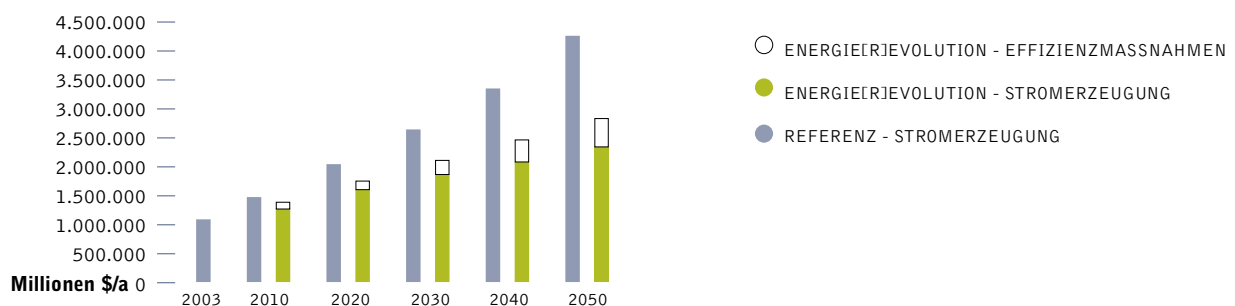
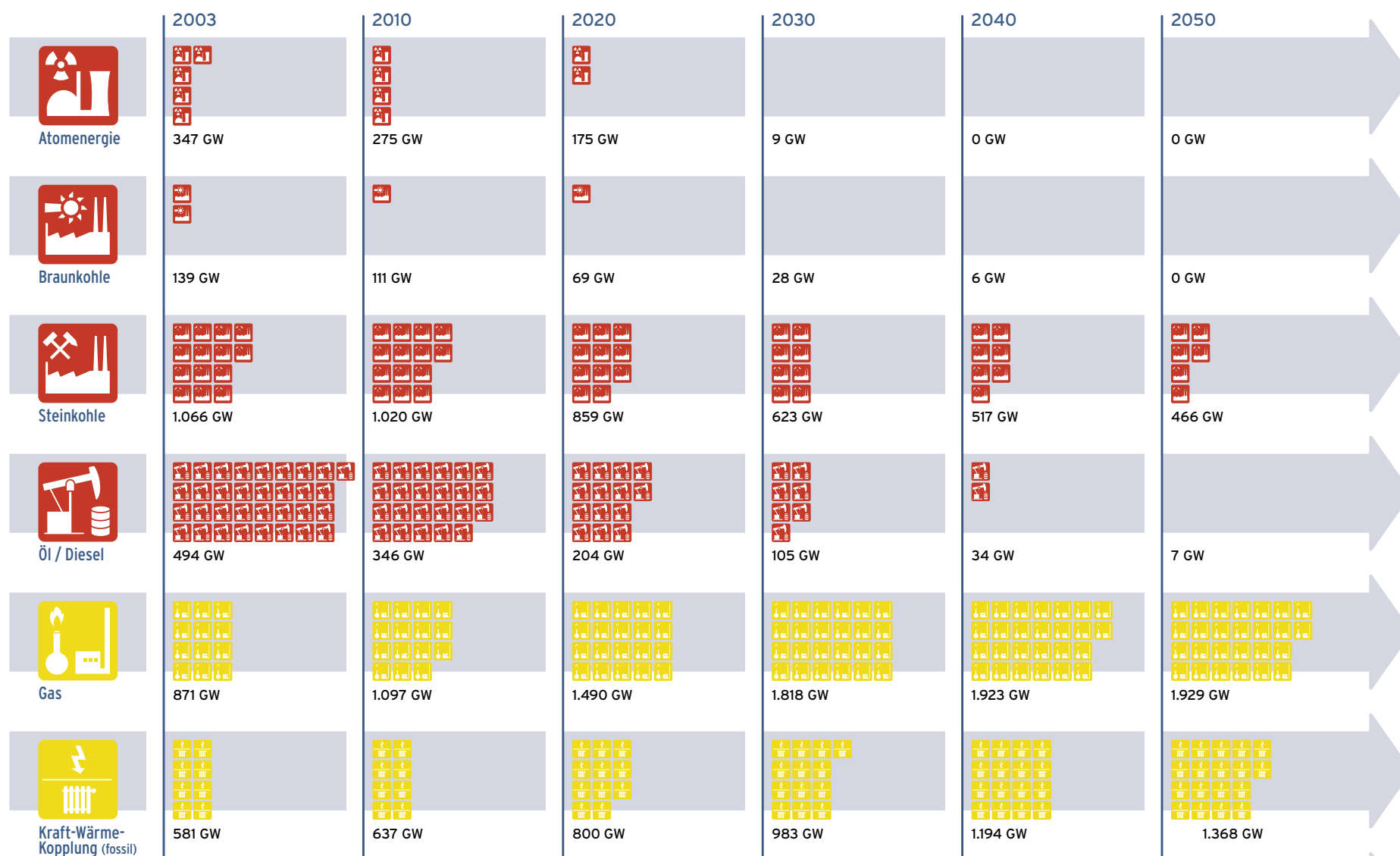


Abb. 29: Energie[r]evolution

EIN NACHHALTIGER WELTENERGIEAUSBLICK





Anmerkung: Alle Daten gerundet auf tausend

Energieressourcen und Versorgungssicherheit

„IM MOMENT WIRD 80% DES WELTENERGIEBEDARFS DURCH FOSSILE BRENNSTOFFE ABGEDECKT. EIN EWIGER ANSTIEG DES ENERGIEBEDARFS TRIFFT AUF DIE ENDLICHKEIT DIESER RESSOURCE.“



Bild GEOTHERMISCHE AKTIVITÄT.

Bild ÖLFELDER NAHE BIBI-HEYDAT IN ASERBAIDDSCHAN. ÖLQUELLE DERRICKS



Das Problem der Versorgungssicherheit steht derzeit ganz oben auf der energiepolitischen Tagesordnung. Die Besorgnis richtet sich sowohl auf die Sicherung der Preise als auch auf Fragen der physischen Versorgungssicherheit. Momentan werden 80% des globalen Energiebedarfs durch fossile Brennstoffe gedeckt. Dem unverminderten Anstieg des Energiebedarfs steht die Begrenztheit dieser Ressourcen gegenüber. Auch entspricht die regionale Verteilung der Öl- und Erdgasressourcen nicht der Nachfrage. Einige Länder sind fast ausschließlich auf den Import fossiler Brennstoffe angewiesen. Die Karten auf den folgenden Seiten zeigen eine Übersicht über die Verfügbarkeit der verschiedenen Brennstoffe und ihre regionale Verteilung. Informationen aus diesem Kapitel stammen teilweise aus dem Bericht *Plugging the Gap* (Renewable Energy Systems/Global Wind Energy Council, 2006).

Öl

Öl ist das Lebenselixier der modernen Weltwirtschaft, wie die Auswirkungen der Versorgungskrise der 70er Jahre deutlich machten. Öl ist die Nummer eins der Energiequellen, deckt 36% des weltweiten Bedarfs und wird in so essenziellen Bereichen wie dem Verkehr fast ausschließlich verwendet. Es hat sich jedoch eine leidenschaftliche Diskussion darüber entwickelt, ob das Angebot an Öl den steigenden Verbrauch decken kann – eine Diskussion, die durch mangelnde Informationen erschwert und durch rasante Preissteigerungen in der jüngsten Zeit angeheizt wird.

Das Ressourcen-Chaos

Öffentliche Daten über Öl- und Gasressourcen sind erstaunlich widersprüchlich und aus rechtlichen, wirtschaftlichen, historischen und manchmal auch politischen Gründen unzuverlässig. Die am meisten verbreiteten und zitierten Zahlen, nämlich aus den Wirtschaftsmagazinen *Oil & Gas Journal* und *World Oil*, haben nur einen geringen Wert, da sie die von Unternehmen und Regierungen gelieferten Zahlen ohne weitere Analyse oder Verifizierung veröffentlichen. Da es für diese Ressourcen weder eine einheitliche Definition noch einen Standard bei der Berichterstattung gibt, unterscheiden sich diese Angaben üblicherweise stark sowohl in Bezug auf die Größenordnungen als auch auf die Begrifflichkeiten. Eine verwirrende Terminologie („bestätigt“, „möglich“, „wahrscheinlich“, „förderbar“, „ziemliche Gewissheit“) vergrößert das Problem noch.

Traditionell stuften private Ölunternehmen aufgrund von gängigen Börsenpraktiken oder kaufmännischen Überlegungen ihre Reserven immer zu niedrig ein. Jedes Mal, wenn neue Vorkommen entdeckt wurden, wurde nur ein Teil der von Geologen geschätzten erlangbaren Ressourcen veröffentlicht; nachfolgende Korrekturen erhöhten dann mit der Zeit die Vorkommen in diesem Ölfeld. Nationale Ölunternehmen, die fast ausnahmslos durch die OPEC (Organisation erdölexportierender Länder) repräsentiert werden, unterliegen keinerlei Rechenschaft; daher sind ihre Veröffentlichungspraktiken noch unklarer. In den späten 80er Jahren bezifferten die OPEC-Staaten ihre Reserven offenkundig zu hoch, weil sie sich bei den Förderquoten überbieten wollten, die proportional zu den Ressourcen bestimmt werden.

Obwohl nach der Verstaatlichung der Unternehmen zwischen 1985 und 1990 einiger Nachbesserungsbedarf bestand, erhöhten die OPEC-Staaten ihre gemeinsamen Reserven um 82%. Nicht nur, dass diese zweifelhaften Änderungen niemals korrigiert wurden – viele dieser Staaten haben jahrelang unerschlossene Ressourcen angegeben, selbst wenn kein nennenswerter Fund gemacht und die Förderung unverändert fortgesetzt wurde. Außerdem sind die Öl- und Gasreserven der ehemaligen Sowjetunion um mehr als 30% überschätzt worden, da die ursprünglichen Schätzungen später fehlinterpretiert wurden.

Während private Unternehmen inzwischen immer realistischere Angaben zum Umfang ihrer Ressourcen machen, halten die OPEC-Staaten bei weitem die Mehrheit der bekannten Vorkommen, und Informationen über ihre Ressourcen sind genauso unbefriedigend wie immer. Kurz gesagt, diese Informationsquellen sollten mit erheblicher Vorsicht betrachtet werden. Um die weltweiten Ölreserven leidlich zu bewerten, müsste eine regionale Schätzung der durchschnittlichen, zurückdatierten (d.h. „technischen“) Funde durchgeführt werden.

Erdgas

Seit zwei Jahrzehnten ist Erdgas die am schnellsten wachsende fossile Energiequelle, angetrieben durch den steigenden Anteil am Stromerzeugungsmix. Erdgas wird im Allgemeinen als reichlich vorhandene Ressource betrachtet, und die Sorgen der Bevölkerung über eine Verknappung beschränken sich auf Erdöl, obwohl nur wenige gründliche Studien dieses Thema behandeln. Erdgasvorkommen sind konzentrierter als Erdöl und wurden deshalb schneller entdeckt, denn ein paar wenige große Felder machen den Großteil der Gesamtreserven aus: Das größte Erdgasfeld der Welt besitzt 15% aller förderbaren Ressourcen, verglichen mit 6% bei Erdöl. Leider unterliegen die Informationen zu den Erdgasressourcen denselben unsauberen Praktiken wie die Erdöl-daten, denn das Erdgas stammt meistens aus denselben geologischen Formationen und betrifft damit dieselben Teilhaber.

Die meisten Vorkommen werden anfänglich unterbewertet und dann allmählich nach oben korrigiert, was zu optimistischen Wachstumsannahmen führt. Im Gegensatz dazu geht man davon aus, dass Russlands Reserven – die größten der Welt – um etwa 30% überschätzt wurden. Aufgrund der geologischen Ähnlichkeiten unterliegt Erdgas derselben Verknappungsdynamik wie Erdöl und damit denselben Entdeckungs- und Förderzyklen. Tatsächlich ist die Qualität der vorhandenen Daten beim Erdgas noch schlechter als beim Erdöl, und es entstehen Mehrdeutigkeiten, was die Menge des bereits geförderten Erdgases angeht, da abgefackeltes und entwichenes Erdgas nicht immer angegeben wird. Im Gegensatz zu den veröffentlichten sind die technischen Reserven seit 1980 fast konstant geblieben, da die neuen Funde im Großen und Ganzen der Förderung entsprechen.

Kohle

Kohle war die weltweit größte Quelle für Primärenergie, bis sie in den 60er Jahren vom Erdöl überholt wurde. Heute liefert Kohle fast ein Viertel der weltweiten Energie. Obwohl sie der am meisten vorhandene fossile Brennstoff ist, wird die Entwicklung der Kohle derzeit durch ökologische Bedenken beeinträchtigt. Ihre Zukunft wird daher sowohl von der Energiesicherheit als auch von der globalen Erwärmung abhängen.

Kohle ist reichlich vorhanden und in der Welt gleichmäßiger verteilt als Erdöl und Erdgas. Die weltweiten förderbaren Reserven sind die größten aller fossilen Brennstoffe, und die meisten Länder verfügen über eigene Ressourcen. Außerdem besitzen derzeitige und zukünftige Großenergieverbraucher wie die USA, China und Indien jetzt und in Zukunft ausreichende Kohlevorkommen. Kohle wird schon seit zwei Jahrhunderten umfangreich genutzt, also sind sowohl der Rohstoff selbst als auch die verfügbaren Ressourcen wohlbekannt, und es sind keine wesentlichen neuen Kohlevorkommen mehr zu erwarten. Extrapoliert man die Bedarfsprognosen, so wird die Welt 20% ihrer heutigen Reserven bis 2030 und 40% bis 2050¹²⁾ verbraucht haben. Wenn der gegenwärtige Trend anhält, wird die Kohle mehrere Jahrhunderte reichen.

Tabelle 9: Übersicht über Reserven und Ressourcen fossiler Brennstoffe

RESERVEN, RESSOURCEN UND ZUSÄTZLICHE VORKOMMEN FOSSILER ENERGIETRÄGER GEMÄSS VERSCHIEDENER AUTOREN. **C** KONVENTIONELL (PETROLEUM MIT EINER BESTIMMTEN DICHT, FREIES ERDGAS, PETROLEUMGAS), **NC** NICHT-KONVENTIONELL (SCHWERÖL, VERY HEAVY OIL, TEERSANDE UND ÖLSCHIEFER, GAS IN KOHLEFLÖZEN, AQUIFERGAS, ERDGAS IN ENGEN FORMATIONEN, GASHYDRATE). DAS VORHANDENSEIN WEITERER VORKOMMEN WIRD AUFGRUND GEOLOGISCHER STRUKTUREN ANGENOMMEN, ABER IHRE ÖKONOMISCHE GEWINNUNG IST DERZEIT SEHR UNSICHER. ZUM VERGLEICH: 1998 WAR DER GLOBALE PRIMÄRENERGIEBEDARF 402 EJ (UNDP ET AL., 2000).

ENERGIETRÄGER		BROWN. 2002 EJ	IEA. 2002c EJ	IPCC. 2001a EJ	NAKICENOVIC ET AL., 2000 EJ	UNDP ET AL., 2000 EJ	BGR, 1998 EJ
Gas	Reserven	6.600	6.200	c 5.400 nc 8.000	c 5.900 nc 8.000	c 5.500 nc 9.400	c 5.300 nc 100
	Vorkommen	9.400	11.100	c 11.700 nc 10.800	c 11.700 nc 10.800	c 11.100 nc 23.800	c 7.800 nc ^{a)} 111.900
	zusätzliche Vorkommen			796.000	799.700	930.000	
	Reserven	5.800	5.700	c 5.900 nc 6.600	c 6.300 nc 8.100	c 6.000 nc 5.100	c 6.700 nc 5.900
	Vorkommen	10.200	13.400	c 7.500 nc 15.500	c 6.100 nc 13.900	c 6.100 nc 15.200	c 3.300 nc 25.200
	zusätzliche Vorkommen			61.000	79.500	45.000	
Kohle	Reserven	23.600	22.500	42.000	25.400	20.700	16.300
	Vorkommen	26.000	165.000	100.000	117.000	179.000	179.000
	zusätzliche Vorkommen			121.000	125.600		
Gesamtvorkommen (Reserven + Vorkommen)		180.600	223.900	212.200	213.200	281.900	361.500
Gesamte mögliche Vorkommen				1.204.200	1.218.000	1.256.000	

Quelle SIEHE TABELLE a) INKLUSIVE GASHYDRATE

Fußnote

12 "PLUGGING THE GAP -A SURVEY OF WORLD FUEL RESOURCES AND THEIR IMPACT ON THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY"; GWEC, RES SEPTEMBER 2006

Bild NEUE BRAUNKOHLEKRAFTWERKE VON RWE IN DER NÄHE VON KÖLN, DEUTSCHLAND. DIESES KRAFTWERK WIRD MEHR ALS 10 MIL. TONNEN CO₂ PRO JAHR AUSSTOSEN.



Atomkraft

Uran, der Brennstoff, der in Atomkraftwerken verwendet wird, ist eine endliche Ressource, deren wirtschaftliche Verfügbarkeit begrenzt ist. Die Verteilung von Uran ist fast so konzentriert wie die des Erdöls und entspricht nicht dem regionalen Konsum. Fünf Staaten – Kanada, Australien, Kasachstan, Russland und Niger – kontrollieren drei Viertel der Weltversorgung. Als intensiver Nutzer von Uran wird Russland seine Reserven jedoch innerhalb von zehn Jahren erschöpft haben.

Sekundärquellen wie Altlager stellen derzeit nahezu die Hälfte der weltweiten Uranreserven dar. Diese Quellen werden jedoch bald aufgebraucht sein. Die Förderkapazitäten werden in den nächsten Jahren fast verdoppelt werden müssen, um den derzeitigen Bedarf zu decken.

Ein gemeinsamer Bericht der OECD-Kernenergiebehörde und der Internationalen Atomenergiebehörde (Uranium 2003: Resources, Production and Demand) schätzt, dass bei Einsatz heutiger Technologien alle vorhandenen Atomkraftwerke ihren atomaren Brennstoff innerhalb von weniger als 70 Jahren aufgebraucht haben werden. In Anbetracht der verschiedenen Szenarien für die weltweite Entwicklung der Atomkraft ist es wahrscheinlich, dass der Uranvorrat irgendwann zwischen 2026 und 2070 erschöpft sein wird. Geht man von einem Abwärtstrend beim Einsatz von Atomkraft aus, legen realistische Schätzungen nahe, dass die Vorräte bis 2050 nur für wenige Länder ausreichen. Diese Prognose bezieht sowohl Uranlagerstätten als auch die Verwendung von Brennstoffen aus Mischoxiden (MOX) ein, einer Mischung aus Uran und Plutonium.

Tabellen 10 - 12: Annahmen zum Verbrauch fossiler Energien im Energy[R]evolution-Szenario

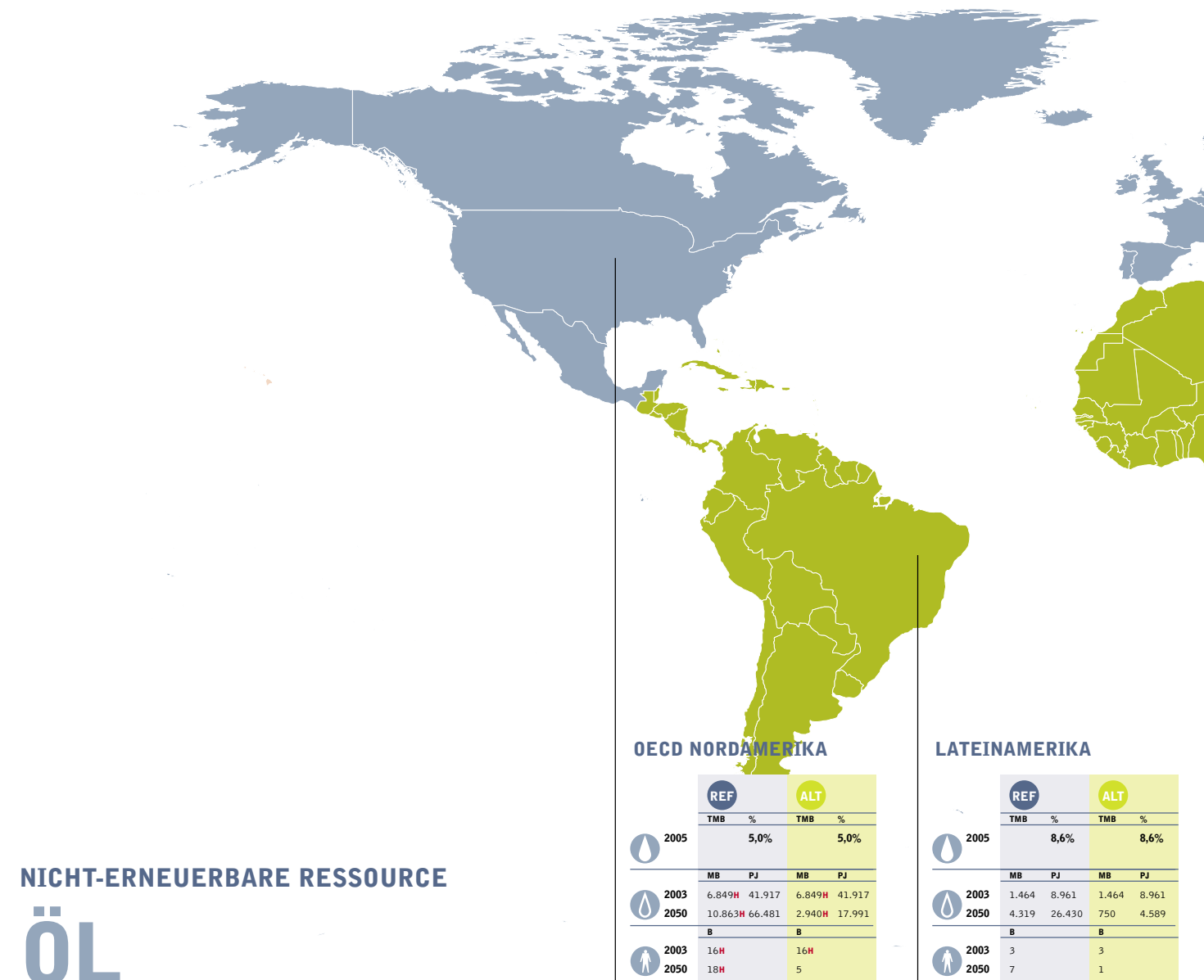
Öl	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Referenz [PJ]	147.425	176.791	206.365	231.237	256.069	284.010
Referenz [Millionen Barrel]	24.089	28.887	33.720	37.784	41.841	46.407
Alternativ [PJ]	147.425	144.085	128.606	110.865	98.832	87.135
Alternativ [Millionen Barrel]	24.089	23.543	21.014	18.115	16.149	14.238

Gas	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Referenz [PJ]	93.230	101.344	123.691	145.903	166.033	189.471
Referenz [Mrd. Kubikmeter = 10E9m ³]	2.453	2.667	3.256	3.840	4.369	4.986
Alternativ [PJ]	93.230	98.994	103.975	107.023	100.822	93.055
Alternativ [Mrd. Kubikmeter = 10E9m ³]	2.453	2.605	2.736	2.816	2.653	2.449

Kohle	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Referenz [PJ]	107.902	112.992	126.272	146.387	170.053	202.794
Referenz [Millionen tonnen]	5.367	5.499	6.006	6.884	7.916	9.356
Alternativ [PJ]	107.903	90.125	70.858	51.530	39.717	31.822
Alternativ [Millionen tonnen]	5.367	4.380	3.325	2.343	1.748	1.382

Karte 3: Öl-Referenzszenario und das Energy[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE



REF REFERENZSZENARIO
ALT ALTERNATIVES SZENARIO

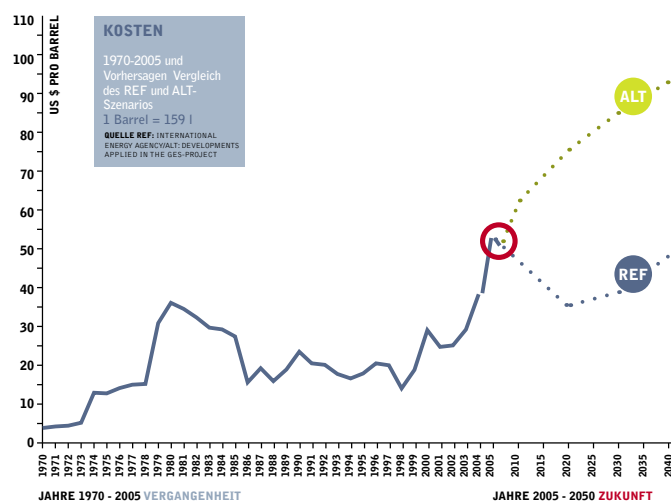
0 1000 KM

GESAMTVORKOMMEN TAUSEND MILLIONEN BARREL (TMB) | ANTEIL AM WELTWEITEN GESAMTVORKOMMEN [%] (ENDE 2005)

VERBRAUCH PRO REGION MILLIONEN BARREL (MB) | PETA JOULE (PJ)

VERBRAUCH PRO PERSON BARREL (B)

H HÖCHSTES | M MITTLERES | L NIEDRIGSTES



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		1,3%		1,3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	4.877	29.848	4.877	29.848
2050	4.960 ^M	30.358	2.238	13.695
	B		B	
2003	9		9	
2050	10		4	

NAHER OSTEN

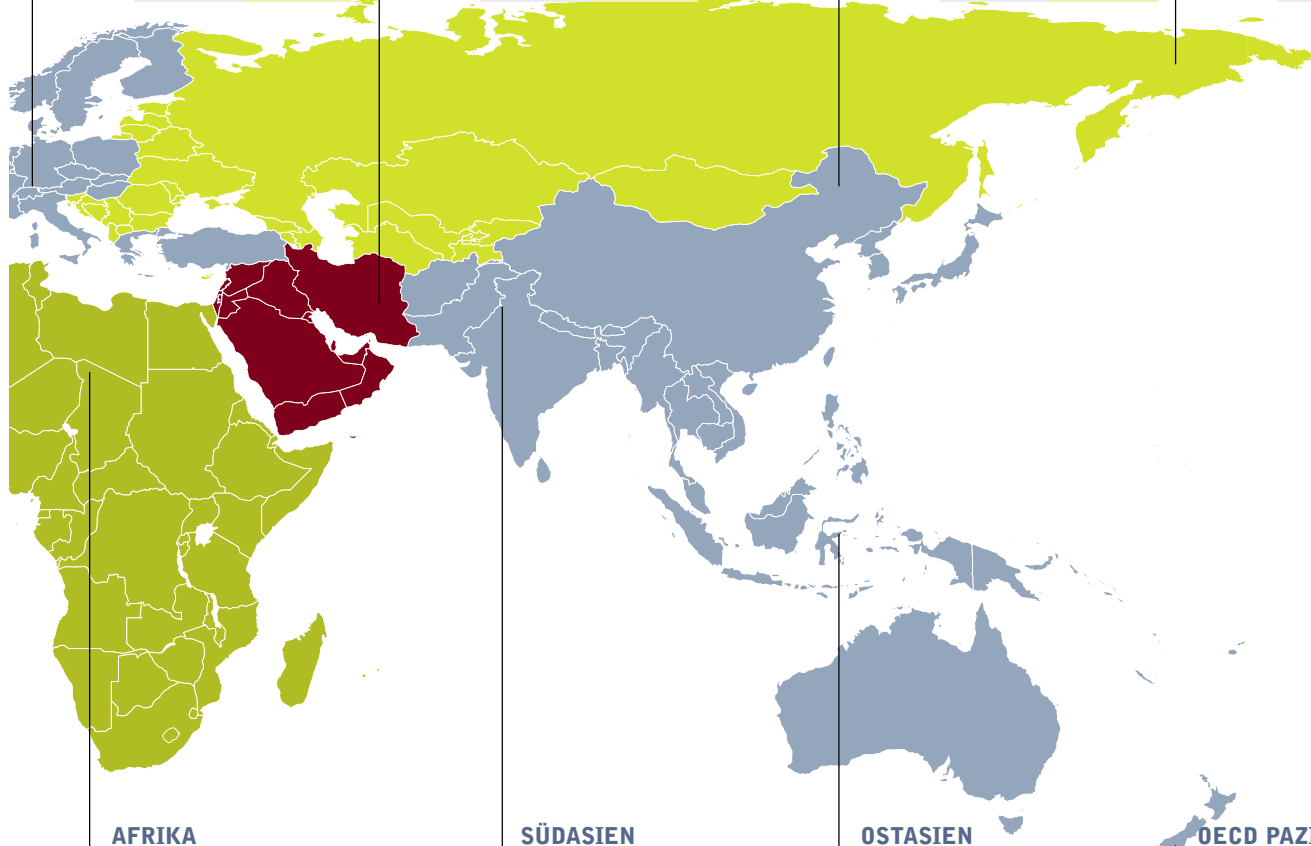
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		61,9% ^H		61,9% ^H
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1.598	9.782	1.598	9.782
2050	3.198	19.570	645 ^L	3.949
	B		B	
2003	9		9	
2050	9 ^M		2	

CHINA

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		1,3%		1,3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1.742	10.664	1.742	10.664
2050	6.163	37.718	2.366	14.480
	B		B	
2003	1		1	
2050	4		2	

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		10,3% ^M		10,3% ^M
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1.563	9.568	1.563	9.568
2050	3.215	19.678	835	5.110
	B		B	
2003	5 ^M		5 ^M	
2050	11		3 ^M	



AFRIKA

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		9,5%		9,5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	833 ^L	5.099	833 ^L	5.099
2050	3.304	20.220	868	5.312
	B		B	
2003	1		1	
2050	2		0	

SÜDASIEN

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		0,5%		0,5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	914	5.597	914	5.597
2050	3.063 ^L	18.747	896	5.481
	B		B	
2003	1 ^L		1 ^L	
2050	1 ^L		0 ^L	

OSTASIEN

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		1,0%		1,0%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1.411	8.634	1.411	8.634
2050	4.027	24.648	1.404 ^M	8.593
	B		B	
2003	2		2	
2050	5		2	

OECD PAZIFIK

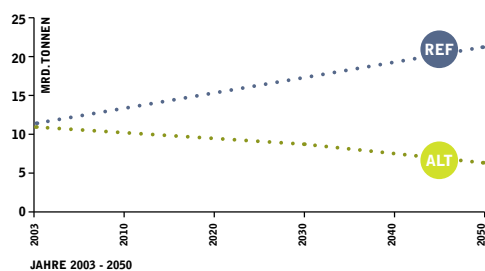
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005		0,3% ^L		0,3% ^L
	MB	PJ	MB	PJ
2003	2.836 ^M	17.355	2.836 ^M	17.355
2050	3.294	20.160	1.296	7.934
	B		B	
2003	14		14	
2050	18		7 ^H	

CO₂ EMISSIONEN

Vergleich zwischen REF und ALT-Szenario 2003-2050

Mrd. Tonnen

QUELLE: GPOUREC

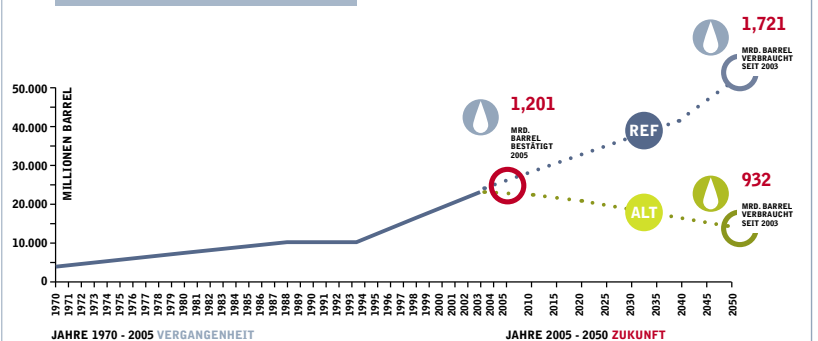


RESERVEN UND VERBRAUCH

Ölreserven versus weltweiter Nachfrage, Produktion und Verbrauch. Vergleich des globalen Verbrauchs zwischen REF und ALT-Szenario.

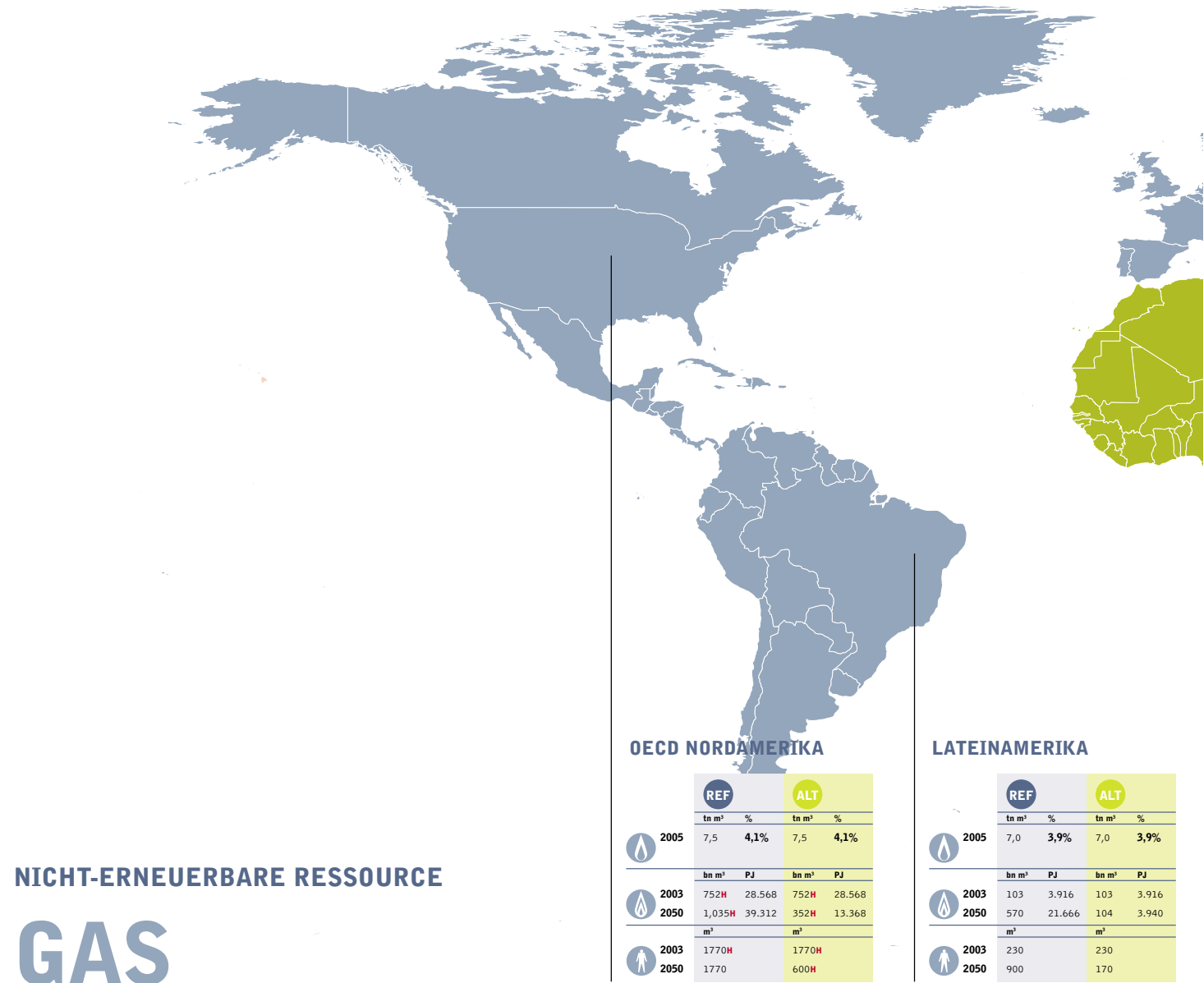
Millionen Barrel, 1 Barrel = 159 l

QUELLE: BP 2006



Karte 4: Gas-Referenzszenario und das Energy[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE

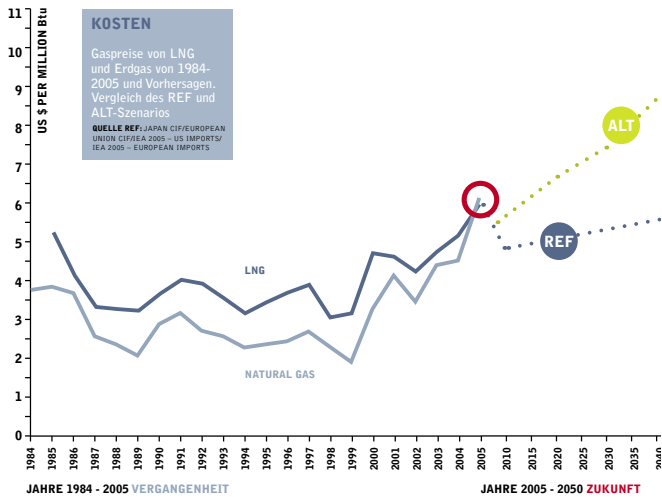


REF REFERENZSZENARIO
 ALT ALTERNATIVES SZENARIO

0 1000 KM

GESAMTVORKOMMEN BILLIONEN KUBIKMETER [tn m³]* | ANTEIL AM WELTWEITEN GESAMTVORKOMMEN [%] [ENDE 2005]
 VERBRAUCH PRO REGION MRD. KUBIKMETER [bn m³]* | PETA JOULE [PJ]
 VERBRAUCH PRO PERSON KUBIKMETER [m³]

H HÖCHSTES | M MITTLERES | L NIEDRIGSTES



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	4,9	2,7%	4,9	2,7%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	457	17.354	457	17.354
2050	583	22.139	285	10.935
	m³		m³	
2003	870		870	
2050	1140		560M	

NAHER OSTEN

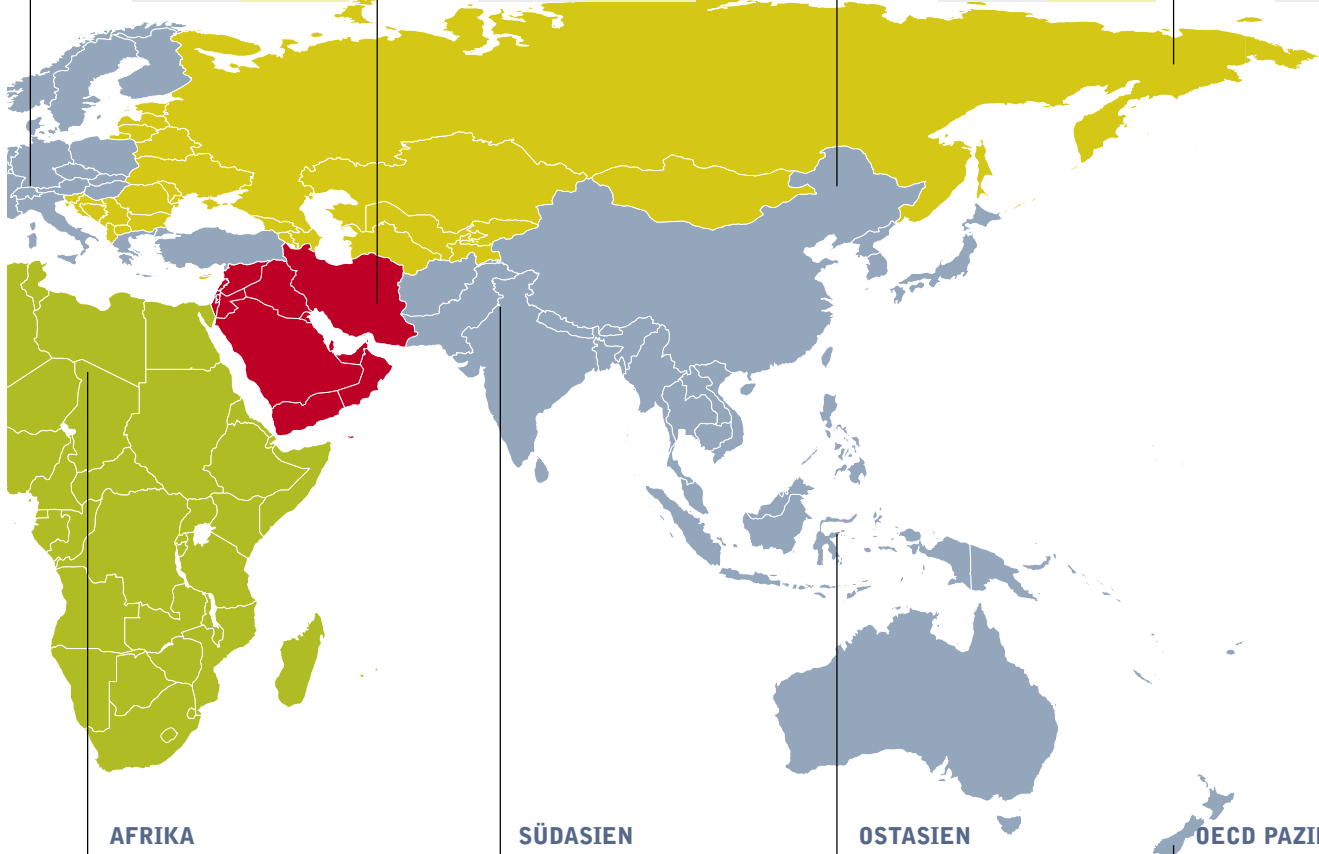
	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	72,1	40,1% ^H	72,1	40,1% ^H
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	191M	7.262	191M	7.262
2050	478M	18.154	142	5.401
	m³		m³	
2003	1050		1050	
2050	1350		400	

CHINA

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	2,4	1,3%	2,4	1,3%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	35L	1.327	35L	1.327
2050	200L	7.604	551	20.932
	m³		m³	
2003	30L		30L	
2050	140L		390	

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	59,1	32,9%	59,1	32,9%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	559	21.260	559	21.260
2050	897	34.074	266	10.122
	m³		m³	
2003	1620		1620	
2050	3160 ^H		940	



AFRIKA

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	14,4	8,0% ^M	14,4	8,0% ^M
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	65	2.472	65	2.472
2050	420	15.952	210	7.978
	m³		m³	
2003	80		80	
2050	230		110	

SÜDASIEN

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	1,1	0,6% ^L	1,1	0,6% ^L
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	59	2.255	59	2.255
2050	324	12.314	256	9.737
	m³		m³	
2003	40		40	
2050	150		120 ^L	

OSTASIEN

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	8,5	4,7%	8,5	4,7%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	112	4.241	112	4.241
2050	274	10.395	163M	6.195
	m³		m³	
2003	180		180	
2050	310		180	

OECD PAZIFIK

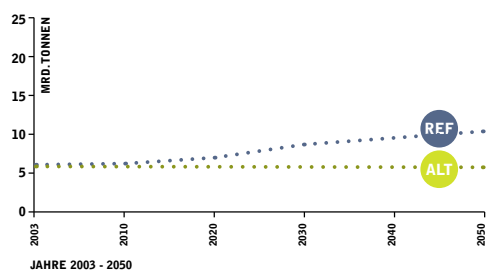
	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	2,5	1,4%	2,5	1,4%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	120	4.575	120	4.575
2050	207	7.862	117 ^L	4.446
	m³		m³	
2003	610 ^M		610M	
2050	1130 ^M		640	

CO₂ EMISSIONEN

Vergleich zwischen REF und ALT-Szenario 2003-2050

Mrd. Tonnen

QUELLE: GPIREC

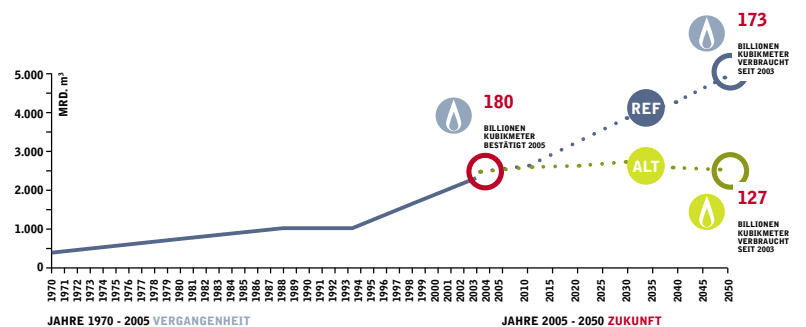


RESERVEN UND VERBRAUCH

Gasreserven versus weltweiter Nachfrage, Produktion und Verbrauch. Vergleich des globalen Verbrauchs zwischen REF und ALT-Szenario

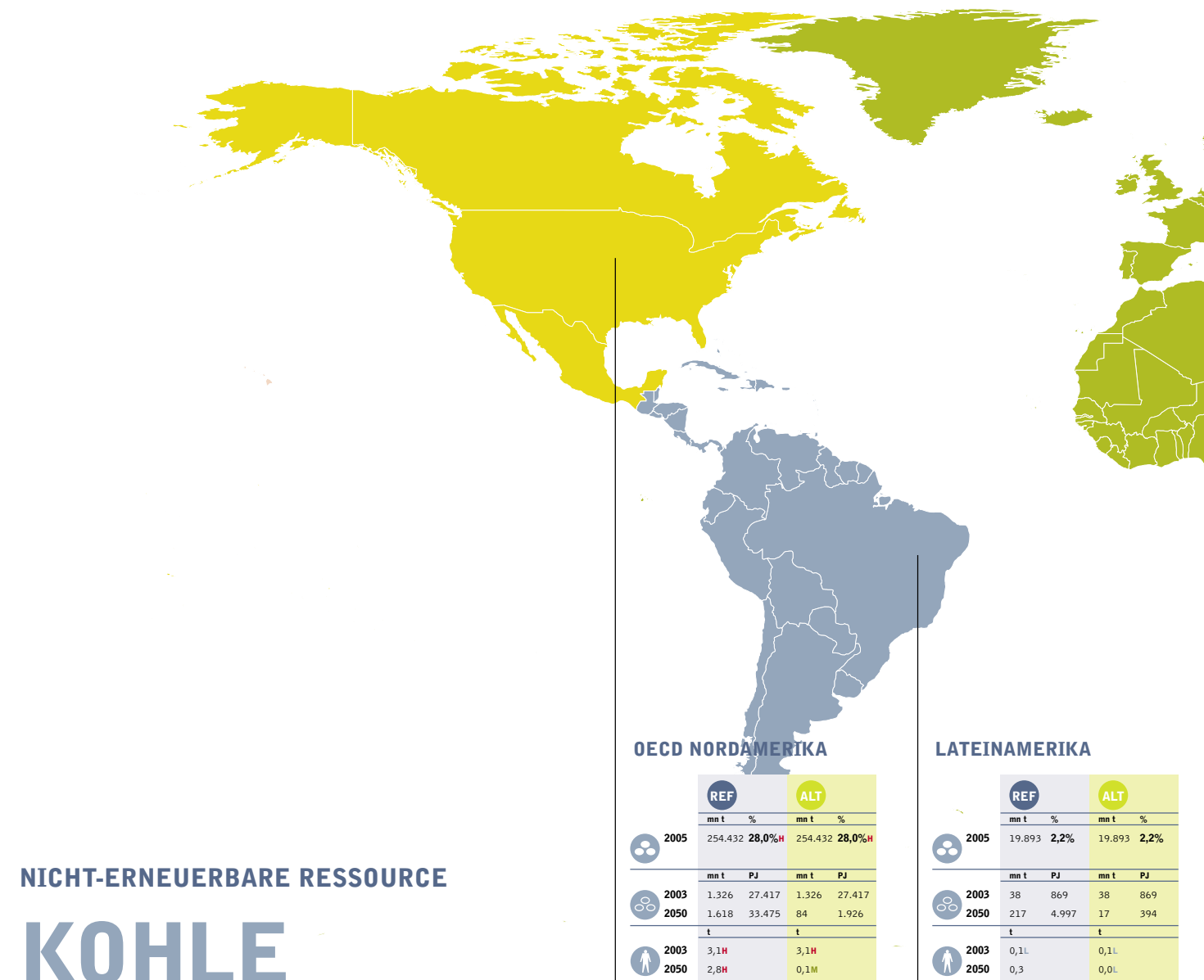
Mrd. Kubikmeter

QUELLE: 1970-2005 BP, 206-2050 GPIREC

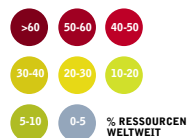


Karte 5: Kohle-Referenzszenario und das Energy[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE



REF REFERENZSZENARIO
 ALT ALTERNATIVES SZENARIO

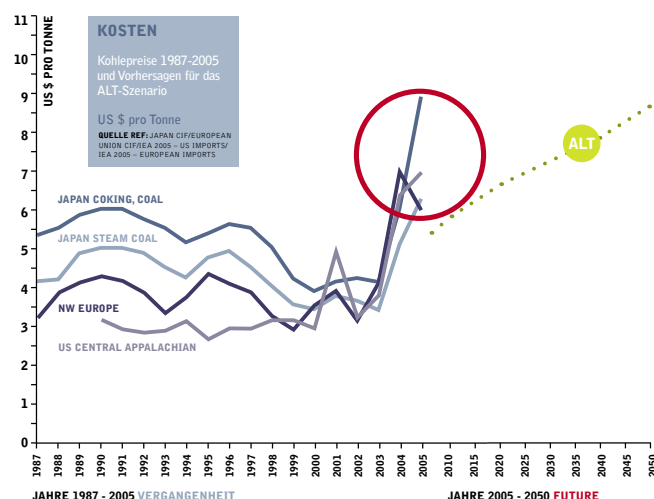
0 1000 KM

GESAMTVORKOMMEN MILLIONEN TONNEN [mn t] | ANTEIL AM WELTWEITEN GESAMTVORKOMMEN [%] (ENDE 2005)

VERBRAUCH PRO REGION MILLIONEN TONNEN [mn t] | PETA JOULE [PJ]

VERBRAUCH PRO PERSON TONNEN [t]

H HÖCHSTES | M MITTLERES | L NIEDRIGSTES



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	61.972	6,8%	61.972	6,8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	839	13.166	839	13.166
2050	1.197	25.539	71	1.635
	t		t	
2003	1,6		1,6	
2050	2,4		0,1	

NAHER OSTEN

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	419	0,0% ^L	419	0,0% ^L
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	17 ^L	397	17 ^L	397
2050	38 ^L	861	9 ^L	208
	t		t	
2003	0,1		0,1	
2050	0,1 ^L		0,0	

CHINA

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	114.500	12,6%	114.500	12,6%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	1.400 ^H	32.241	1.400 ^H	32.241
2050	2.754 ^H	63.434	648 ^H	14.916
	t		t	
2003	1,1 ^M		1,1 ^M	
2050	2,0		0,5	

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	225.123	24,8%	225.123	24,8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	634 ^M	9.957	634 ^M	9.957
2050	391	6.923	27	628
	t		t	
2003	1,8		1,8	
2050	1,4 ^M		0,1	

AFRIKA

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	50.336	5,5%	50.336	5,5%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	181	4.163	181	4.163
2050	727	16.732	225	5.171
	t		t	
2003	0,2		0,2	
2050	0,4		0,1	

SÜDASIEN

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	95.495	10,5% ^M	95.495	10,5% ^M
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	362	7.727	362	7.727
2050	1.103	24.057	152 ^M	3.500
	t		t	
2003	0,3		0,3	
2050	0,5		0,1	

OSTASIEN

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	1.287	4,7%	1.287	4,7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	190	3.990	190	3.990
2050	902 ^M	17.944	44	1.006
	t		t	
2003	0,3		0,3	
2050	1,0		0,0	

OECD PAZIFIK

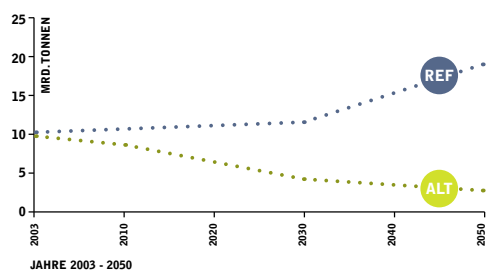
	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	79.510	8,7%	79.510	8,7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	382	7.975	382	7.975
2050	409	8.832	106	2.438
	t		t	
2003	1,9		1,9	
2050	2,2		0,6 ^H	

CO₂ EMISSIONEN

Vergleich zwischen REF und ALT-Szenario 2003-2050

billion tonnes

SOURCE: GPI/UREC

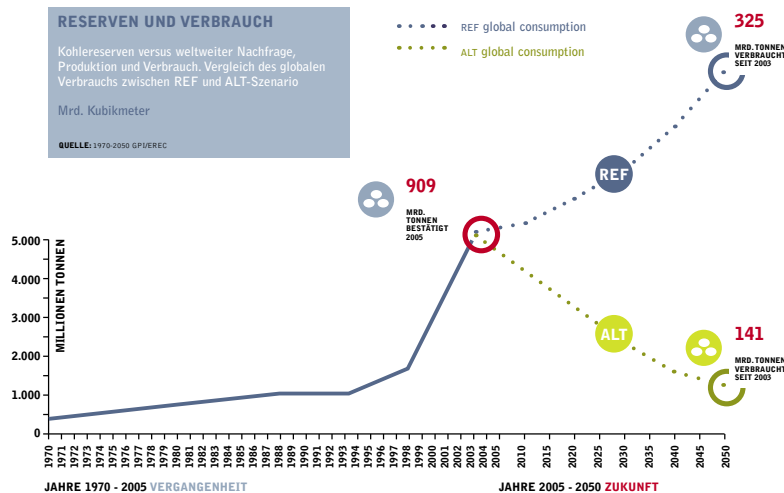


RESERVEN UND VERBRAUCH

Kohlereserven versus weltweiter Nachfrage, Produktion und Verbrauch. Vergleich des globalen Verbrauchs zwischen REF und ALT-Szenario

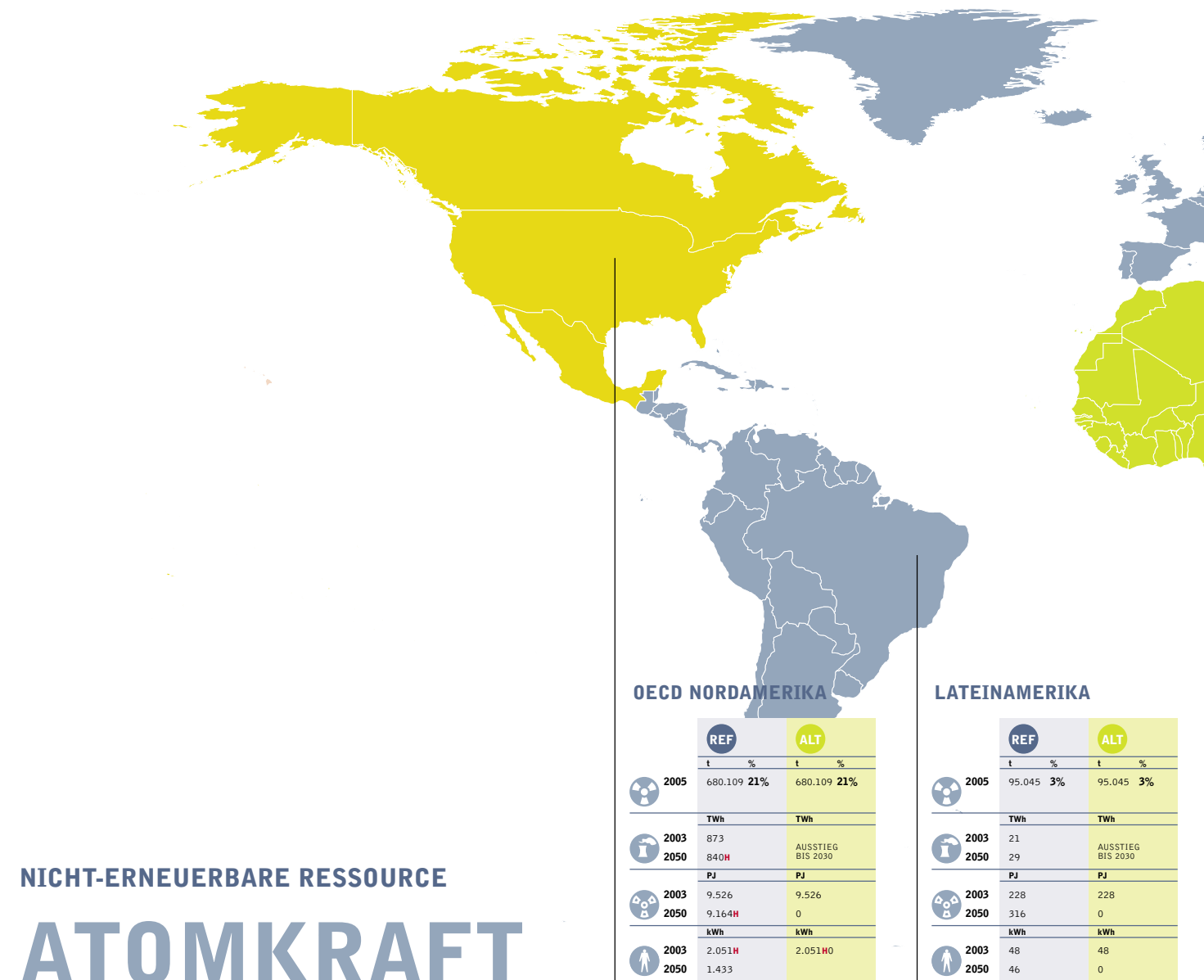
Mrd. Kubikmeter

QUELLE: 1970-2050 GPI/UREC

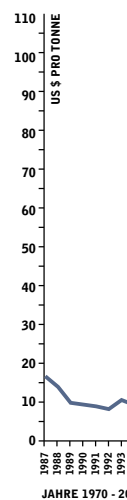


Karte 6: Atom-Referenzszenario und das Energie[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	t	%	t	%
 2005	56.445	2%	56.445	2%
	TWh		TWh	
 2003	981H			
 2050	385		AUSSTIEG BIS 2030	
	PJ		PJ	
 2003	10.696H		10.696H	
 2050	4.200		0	
	kWh		kWh	
 2003	1.859		1.859	
 2050	756		0	

NAHER OSTEN

	REF	ALT		
	t	%	t	%
 2005	0	0% _L	0	0% _L
	TWh	TWh		
 2003	0L			
 2050	6L	AUSSTIEG BIS 2030		
	PJ	PJ		
 2003	0L	0L		
 2050	65L	0		
	kWh	kWh		
 2003	0L	0L		
 2050	17	0		

CHINA

	REF		ALT	
	t	%	t	%
 2005	35.060	1%	35.060	1%
	TWh		TWh	
 2003	43		AUSSTIEG BIS 2030	
2050	377			
	PJ		PJ	
 2003	472		472	
2050	4.116		0	
	kWh		kWh	
 2003	33		33	
2050	268		0	

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF	ALT		
	t	%	t	%
 2005	997.487	31% ^H	997.487	31% ^H
	TWh		TWh	
 2003	282M		AUSSTIEG BIS 2030	
2050	210M			
	PJ		PJ	
 2003	3.074M		3.074M	
2050	2.291M		0	
	kWh		kWh	
 2003	817M		817M	
2050	739M		0	

AFRIKA

	REF	ALT		
	t	%	t	%
 2005	470.312	15% ^M	470.312	15% ^M
	TWh		TWh	
 2003	13			
2050	13	AUSSTIEG BIS 2030		
	PJ		PJ	
 2003	139		139	
2050	142		0	
	kWh		kWh	
 2003	15		15	
2050	7 _L		0	

SÜDASIEN

	REF		ALT	
	t	%	t	%
 2005	40.980	1%	40.980	1%
	TWh		TWh	
 2003	20		AUSSTIEG BIS 2030	
2050	190			
	PJ		PJ	
 2003	213		213	
2050	2.073		0	
	kWh		kWh	
 2003	14		14	
2050	86		0	

OSTASIEN

	REF		ALT	
	t	%	t	%
 2005	5.630	0%	5.630	0%
	TWh		TWh	
 2003	39		AUSSTIEG BIS 2030	
2050	70			
	PJ		PJ	
 2003	424		424	
2050	764		0	
	kWh		kWh	
 2003	62		62	
2050	79		0	

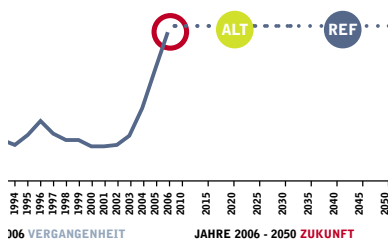
OECD PAZIFIK

	REF		ALT	
	t	%	t	%
 2005	741.600	23%	741.600	23%
	TWh		TWh	
 2003	370			
 2050	610		AUSSTIEG BIS 2030	
	PJ		PJ	
 2003	4.033		4.033	
 2050	6.655		0	
	kWh		kWh	
 2003	1.858		1.858	
 2050	3.341 ^H		0	

KOSTEN

Yellow-Cake-Preise 1987 – 2006. Vergleich des REF und ALT-Szenarios tonnes

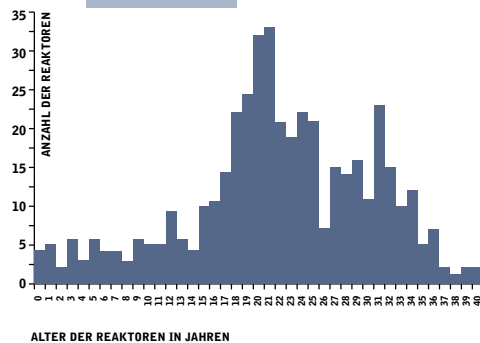
QUELLE: REF: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY/ALT: DEVELOPMENTS APPLIED IN THE GES-PROJECT



REAKTOREN

Alter und Anzahl der weltweiten Reaktoren

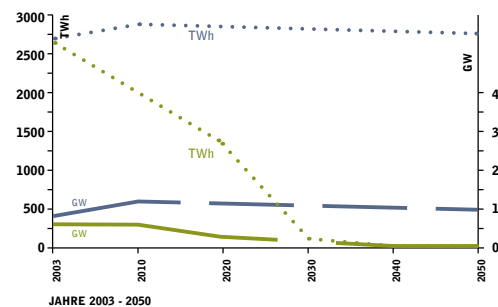
QUELLE: XXX



PRODUKTION

Kohleproduktion versus installierte Kapazität. Vergleich zwischen REF und ALT-Szenario TWh und GW

QUELLE: XXX

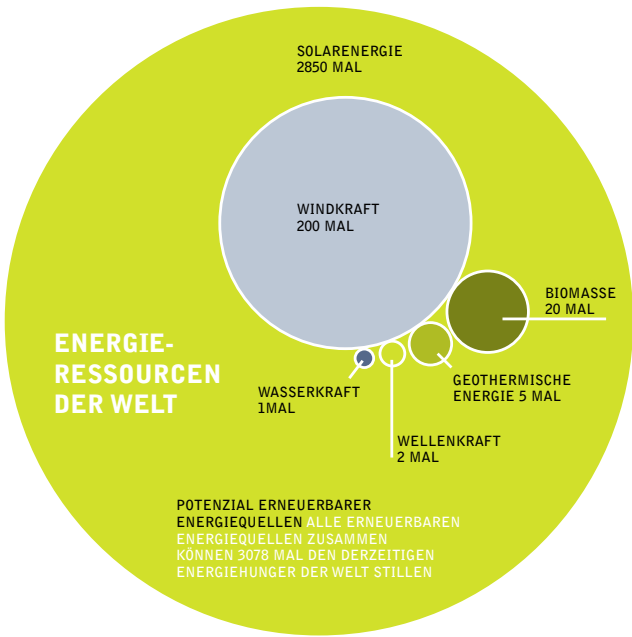


Erneuerbare Energie

Die Natur bietet eine Vielfalt an frei verfügbaren Möglichkeiten zur Energieerzeugung. Im Wesentlichen geht es darum, wie man Sonnenlicht, Wind, Biomasse oder Wasser so effizient, nachhaltig und kosteneffektiv wie möglich in Strom, Wärme oder Energie verwandelt.

Im Durchschnitt beträgt die Sonnenenergie, die auf der Erde ankommt, weltweit etwa ein Kilowatt pro Quadratmeter. Laut dem Forschungsverbund für Solarenergie (Research Association for Solar Power) ist die Energie, die uns aus erneuerbaren Energiequellen umgibt, 2.850 Mal höher als die heute auf der Welt benötigte Energie. Das Sonnenlicht eines Tages produziert genug Energie, um den derzeitigen Energiebedarf der ganzen Welt acht Jahre lang zu decken. Auch wenn nur ein Prozentteil dieses Potenzials technisch zugänglich ist, ist es immer noch hoch genug, um knapp sechs Mal soviel Energie bereitzustellen, wie auf der Erde heute benötigt wird.

Abb. 30: Energieressourcen der Welt



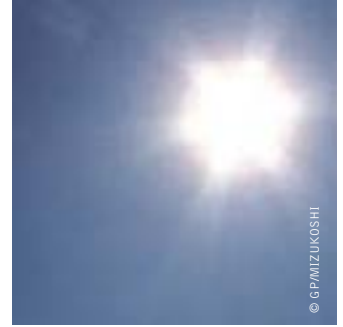
Quelle: WBGU

Tabelle 13: Heute technisch gewinnbar

DIE MENGE AN ENERGIE, DIE MIT HEUTIGER TECHNIK GEWONNEN WERDEN KANN, IST 5,9 MAL SO GROSS WIE DER HEUTIGE ENERGIEVERBRAUCH

Solarenergie	3.8 mal
Geothermie	1 mal
Windkraft	0.5 mal
Biomasse	0.4 mal
Wasserkraft	0.15 mal
Meeresenergie	0.05 mal

Quelle: DR. JOACHIM NITSCH



Definition der Arten des Energieressourcenpotenzials¹³⁾

Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial bezeichnet die physikalische Obergrenze der aus einer bestimmten Quelle verfügbaren Energie. Bei der Solarenergie wäre das beispielsweise die Summe der Sonnenstrahlen, die auf eine bestimmte Oberfläche auftreffen.

Umwandlungspotenzial

Das Umwandlungspotenzial basiert auf der Jahreseffizienz der entsprechenden Umwandlungstechnologie. Es ist daher kein konkret definierter Wert, denn die Effizienz einer bestimmten Technologie hängt vom technologischen Fortschritt ab.

Technisches Potenzial

Das technische Potenzial berücksichtigt zusätzliche Beschränkungen bezüglich des Gebietes, das tatsächlich für die Energiegewinnung genutzt werden kann. Technologische, strukturelle und ökologische Beschränkungen sowie rechtliche Anforderungen werden einbezogen.

Wirtschaftspotenzial

Der Anteil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich verwendet werden kann. Bei Biomasse beispielsweise sind jene Mengen inbegriffen, die im Wettbewerb mit anderen Arten der Produkt- und Landnutzung wirtschaftlich genutzt werden können.

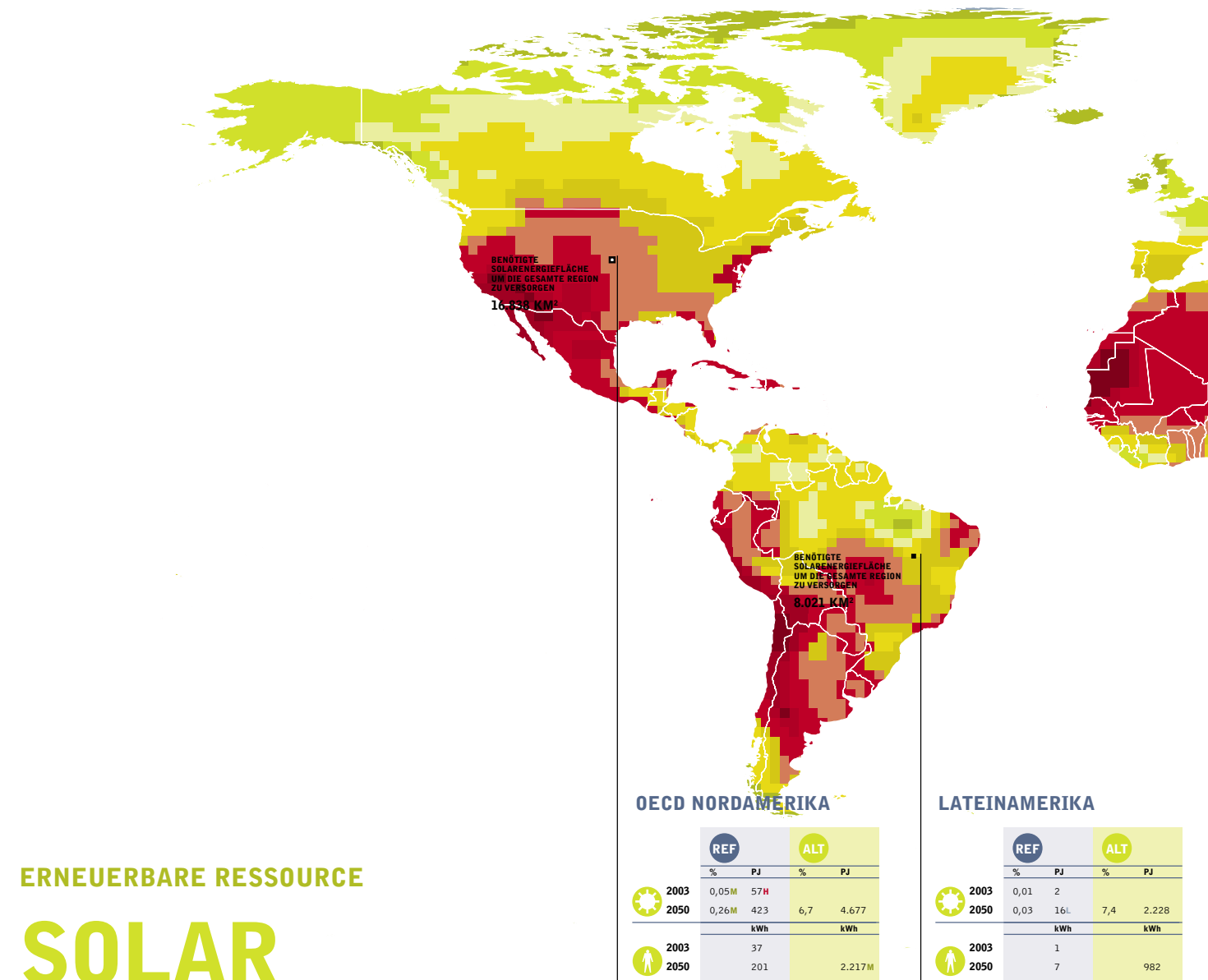
Nachhaltigkeitspotenzial

Das Nachhaltigkeitspotenzial begrenzt das Potenzial einer Energiequelle basierend auf der Bewertung ökologischer und sozio-ökonomischer Faktoren.

Die abgebildeten Ressourcenkarten zeigen die regionale Verteilung der geschätzten Energie, die erschlossen und genutzt werden kann. Die Kalkulationen wurden auf Basis eines globalen Netzes mit einem Raster von 0,5° Breite und Länge durchgeführt. Das erhaltene Potenzial wird als durchschnittliche Energiedichte pro Oberflächenbereich oder pro Schwenkmodul-/Umformerfläche bezeichnet, sodass die Maßeinheit immer „Fördermenge pro Fläche“ lautet.

Karte 7: Solar – Referenzszenario und das Energie[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE

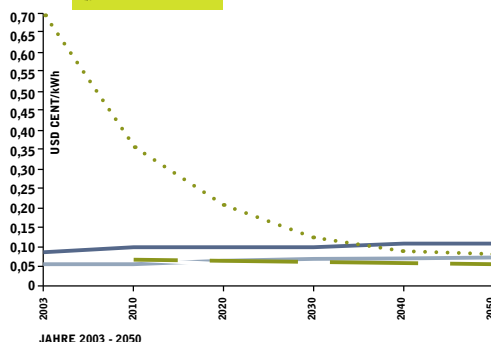


KOSTEN

Vergleich zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien 2003 - 2050

Cent/kWh

QUELLE: EPIA



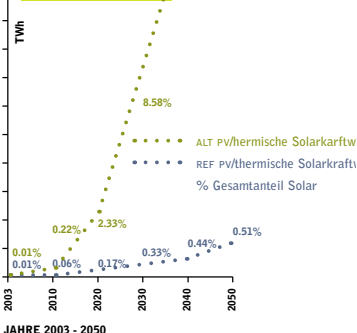
PRODUKTION

Vergleich zwischen dem REF- und ALT-Szenario 2003-2050

[Elektrizität]

TWh

QUELLE: GPD/REC



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,05M	39		
☀️ 2050	0,25	233M	6	3.062
	kWh		kWh	
👤 2003	20M			
👤 2050	127M			1.671

NAHER OSTEN

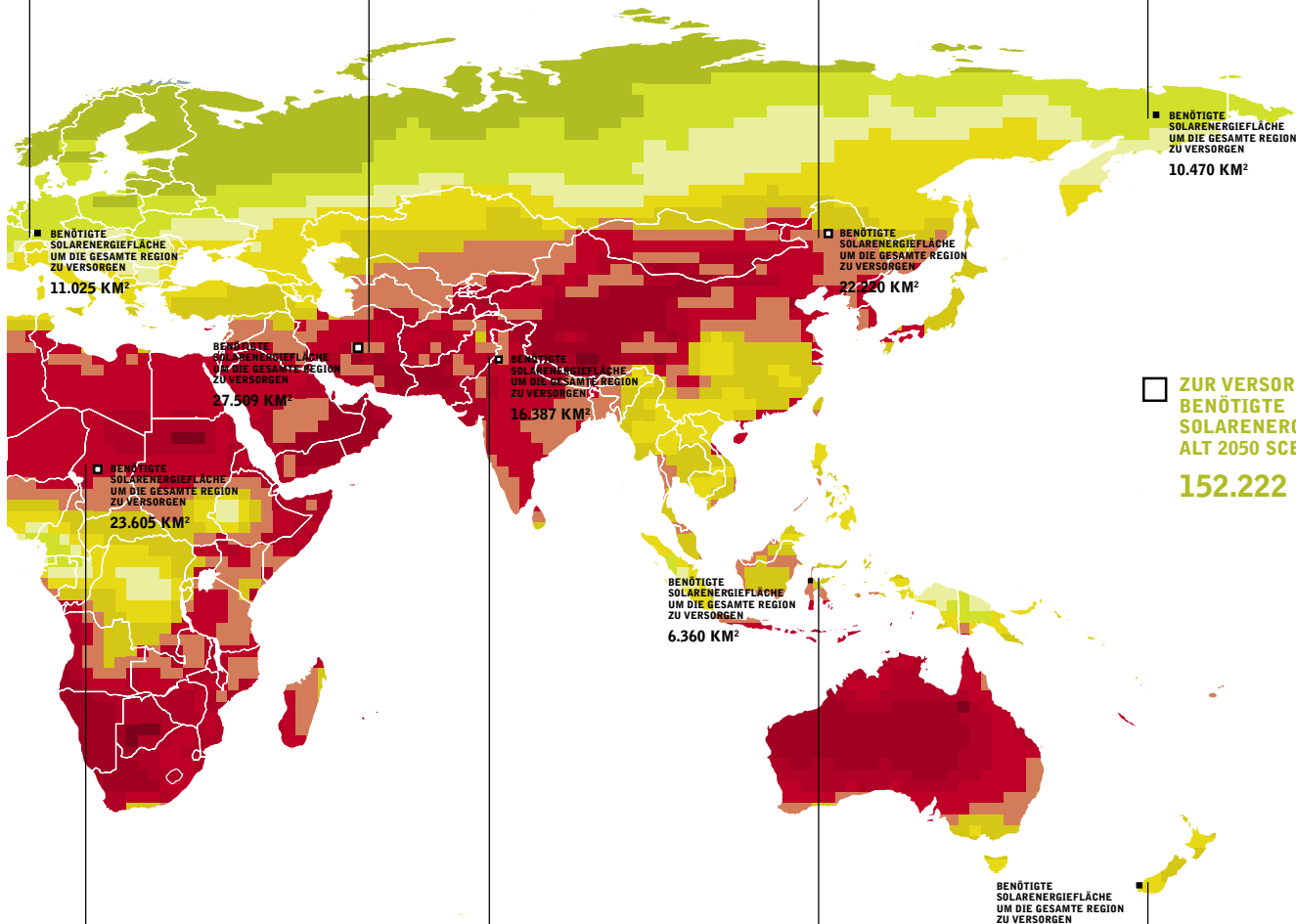
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,18H	32		
☀️ 2050	0,32	125	38H	7.641H
	kWh		kWh	
👤 2003	49H			
👤 2050	98			5.999H

CHINA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,00L	0L		
☀️ 2050	0,46	584H	8,1	6.172
	kWh		kWh	
👤 2003	0L			
👤 2050	115			1.218

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,00	1		
☀️ 2050	0,00	3	7,8	2.908
	kWh		kWh	
👤 2003	1			
👤 2050	3L			2.844



AFRIKA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,00L	0L		
☀️ 2050	0,17	127	14,9	6.557
	kWh		kWh	
👤 2003	0L			
👤 2050	19			992

SÜDASIEN

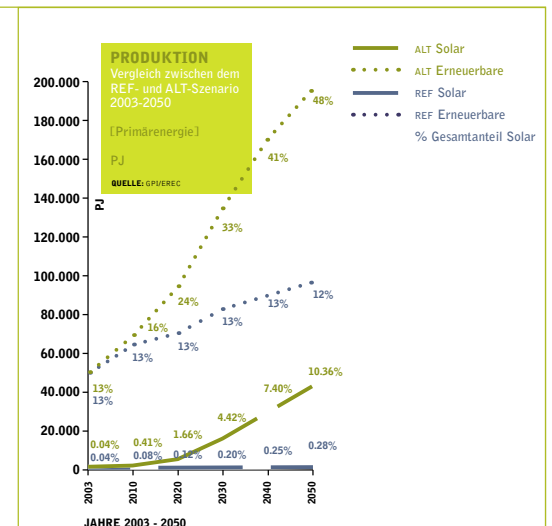
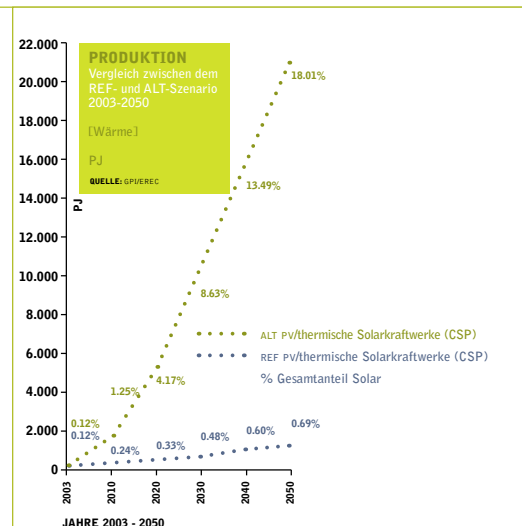
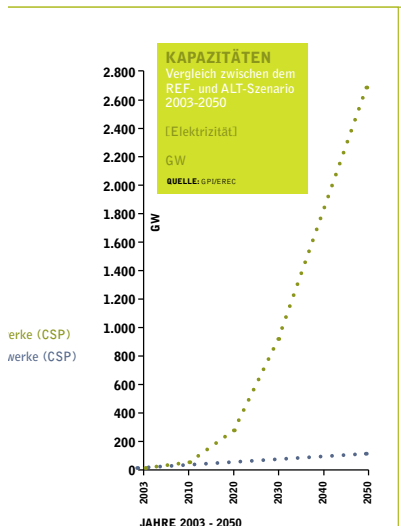
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,00L	0L		
☀️ 2050	0,17	121	12,2M	4.552M
	kWh		kWh	
👤 2003	0L			
👤 2050	15			572

OSTASIEN

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,00L	0L		
☀️ 2050	0,39	235	5,5L	1.767L
	kWh		kWh	
👤 2003	0L			
👤 2050	73			552L

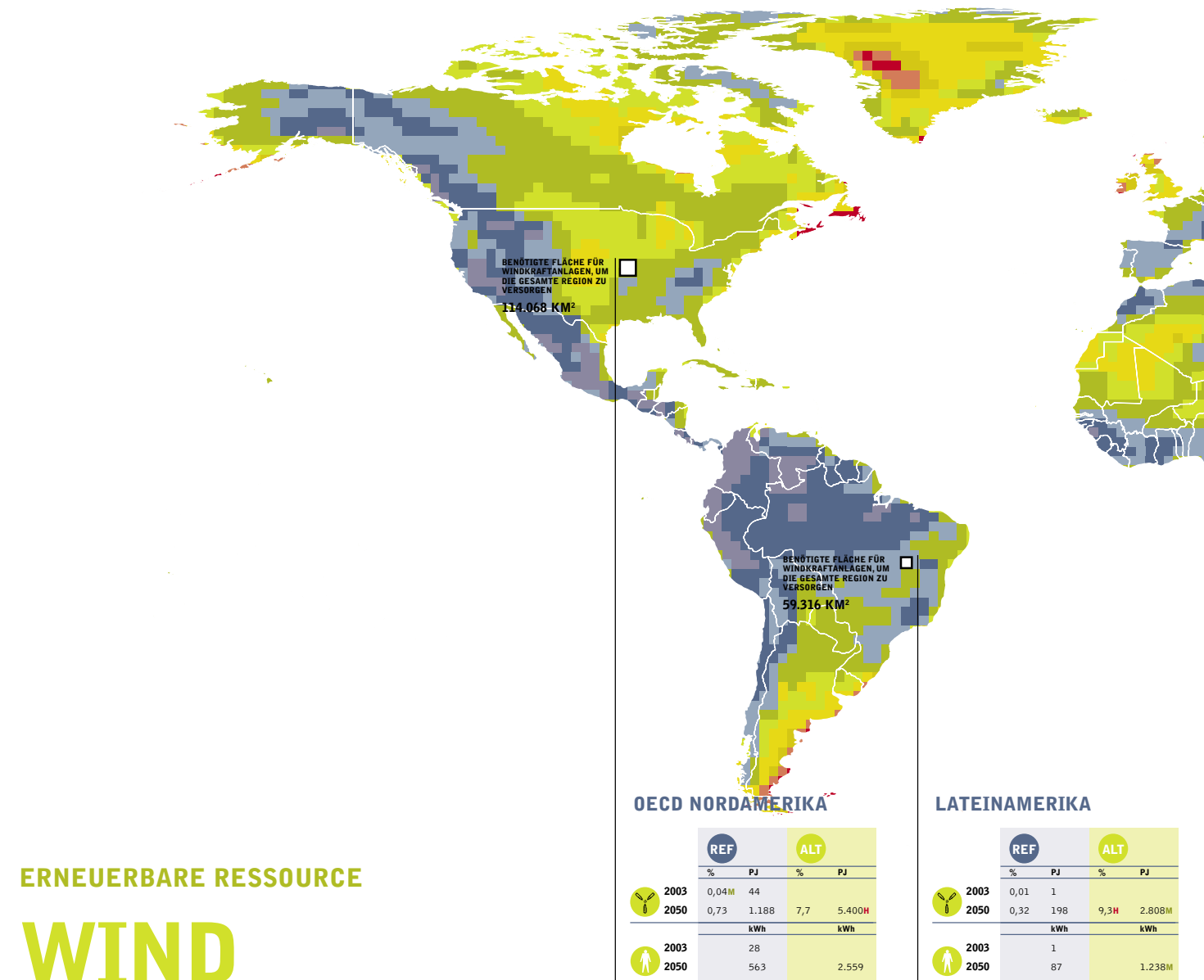
OECD PAZIFIK

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0,09	31M		
☀️ 2050	0,85H	397	11,5	2.719
	kWh		kWh	
👤 2003	44			
👤 2050	604H			4.137

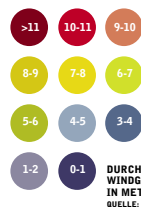


Karte 8: Wind – Referenzszenario und das Energie[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



LEGENDE



REF REFERENZSZENARIO
 ALT ALTERNATIVES SZENARIO

0 1000 KM

PRODUKTION NACH REGION % WELTANTEIL | PETA JOULE [PJ]
 PRODUKTION PRO PERSON KILOWATTSTUNDE [kWh]

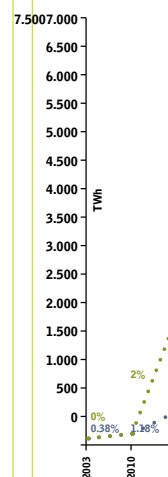
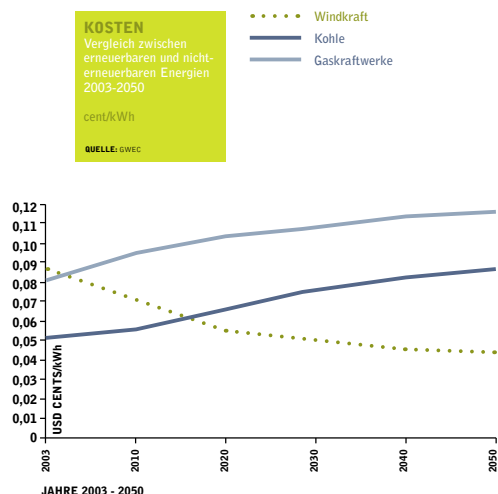
H HÖCHSTES | M MITTLERES | L NIEDRIGSTES

KOSTEN

Vergleich zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien 2003-2050

cent/kWh

QUELLE: GWEC

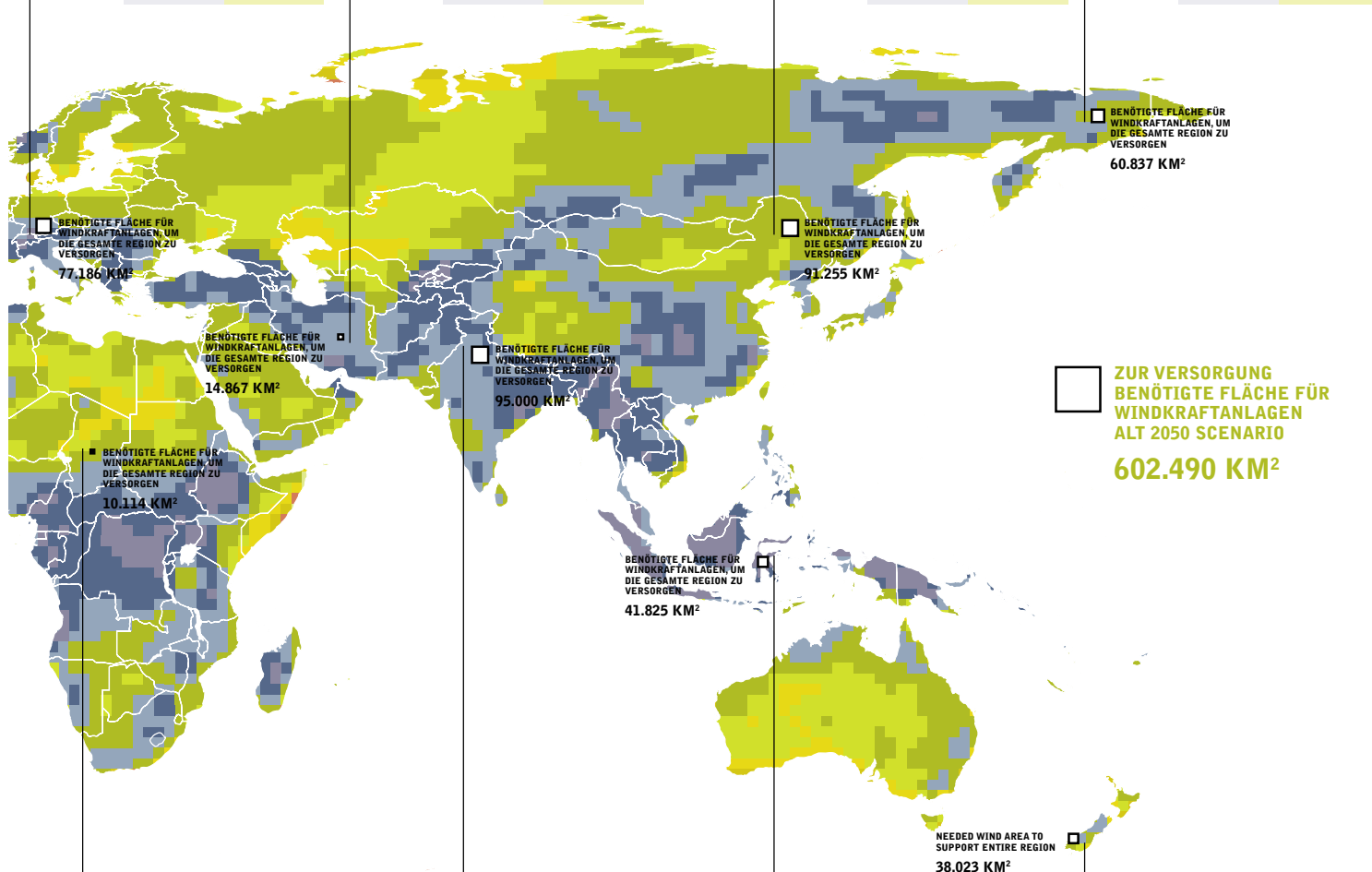


		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,21H	160H		
	2050	2,10H	1.962H	7,2	3.654
		kWh		kWh	
	2003		84H		
	2050		1.071H		1.994

		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,00L	0L		
	2050	0,18	72L	3,5	704
		kWh		kWh	
	2003		0L		
	2050		57		553

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,01	4		
2050	0,53	681	5,7	4.320
	kWh		kWh	
2003	1			
2050	135		853	

		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,00L	0L		
	2050	0,21	139	7,7	2.880
		kWh		kWh	
	2003	0			
	2050	136M		2.817H	

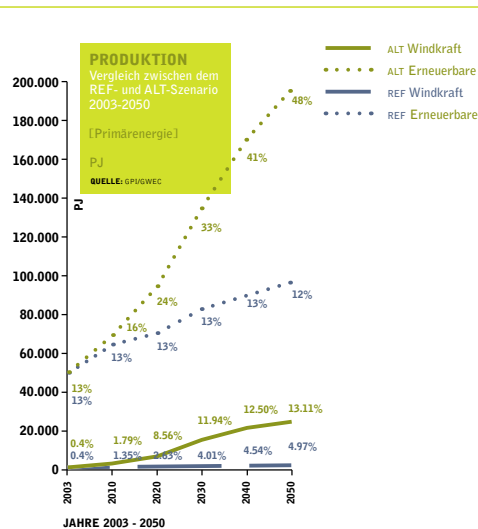
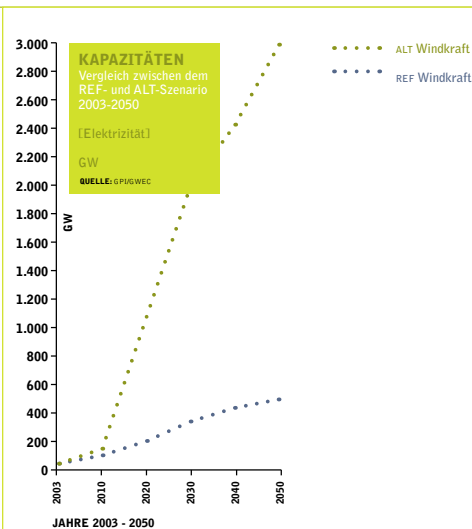
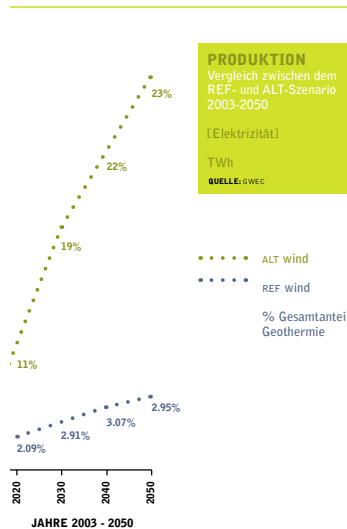


		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,01	2		
	2050	0,14L	104	1,1L	479L
		kWh		kWh	
	2003		1		
	2050		16L		72L

		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,05	13		
	2050	0,26	137	4,6	1.710
		kWh		kWh	
	2003	3			
	2050	17		215	

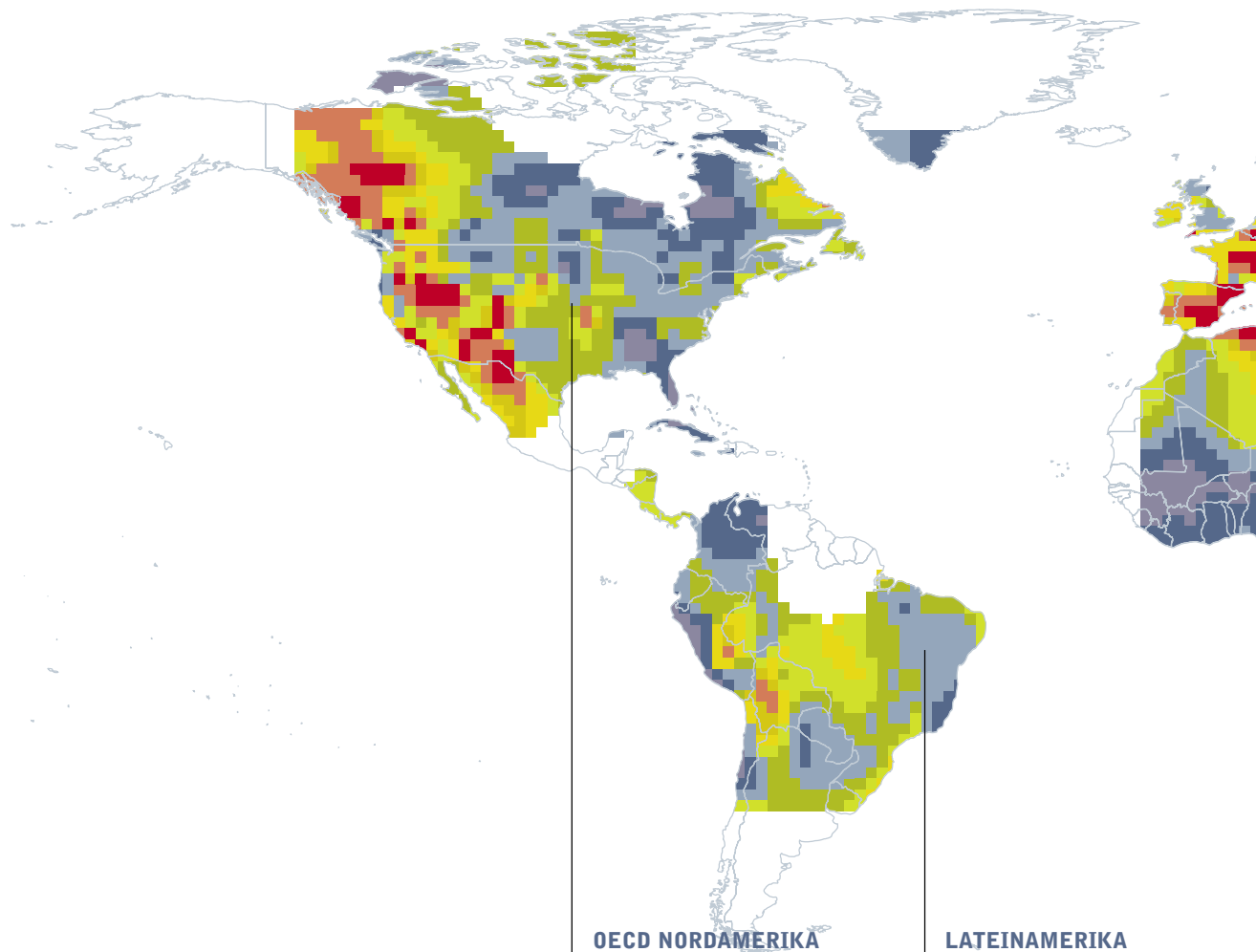
		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,00	0L		
	2050	0,21	126	6,1	1.980
		kWh		kWh	
	2003		0L		
	2050		39		619

		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
	2003	0,02	6		
	2050	0,69	324M	7,6	1.800
		kWh		kWh	
	2003		9M		
	2050		493		2.739



Karte 8: Geothermie – Referenzszenario und das Energie[r]evolutionszenario

WELTWEITES SZENARIO



ERNEUERBARE RESSOURCE

GEOTHERMIE

OECD NORDAMERIKA

		REF		ALT	
		%	PJ	%	PJ
 2003		0,54 ^H	621 ^H		
	2050	0,78 ^H	1.270 ^H	5,5 ^M	3.810
		kWh		kWh	
 2003		405 ^H			
	2050	602 ^H			1.806

LATEINAMERIKA

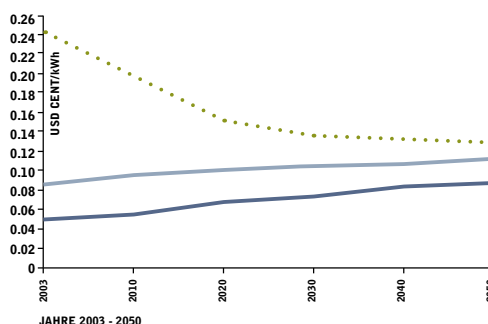
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
 2003	0,31M	61		
 2050	0,54	338M	3,6	1.083
	kWh		kWh	
 2003	38			
 2050	149		478	

LEGENDE



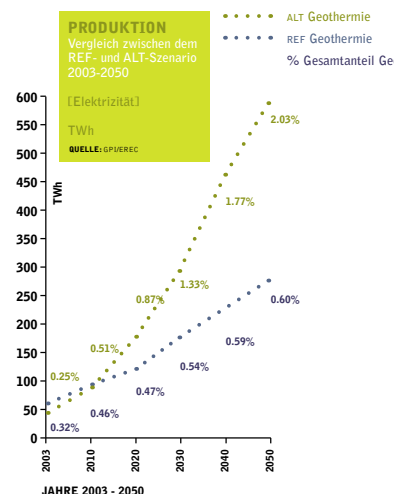
KOSTEN

ergleich zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien 2003-2050
 cent/kWh
 QUELLE: EREC



PRODUKTION

Vergleich zwischen dem REF- und ALT-Szenario 2003-2050
 TWh
 QUELLE: GPD/EREC



OECD EUROPA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,20	150M		
2050	0,61	567	8,6	4.392H
	kWh		kWh	
2003	79M			
2050	310		2.397	

NAHER OSTEN

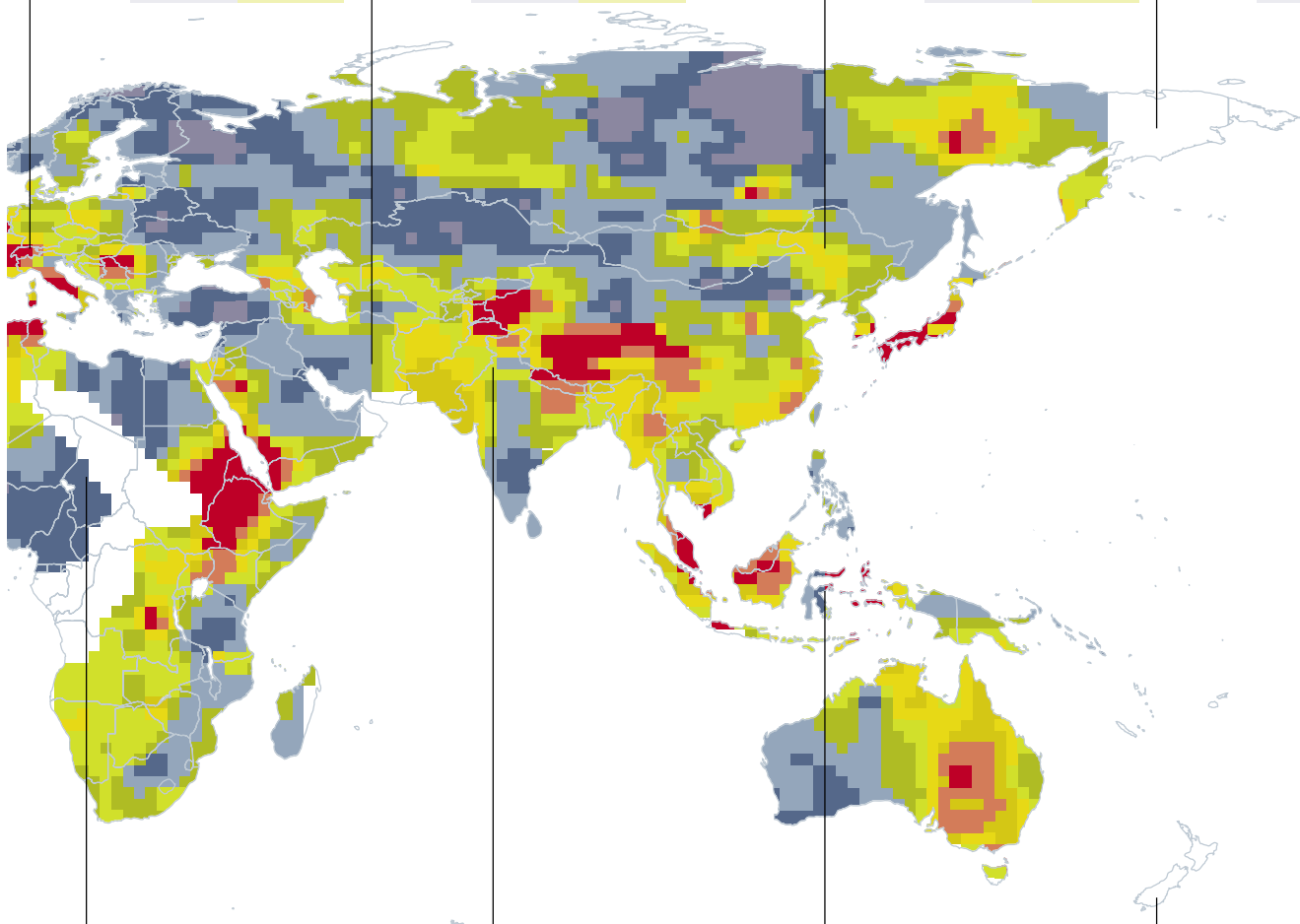
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,00L	0L		
2050	0,00L	1L	6,89	1.384
	kWh		kWh	
2003	0L			
2050	1L		1.087M	

CHINA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,00	0		
2050	0,06	76	0,12L	93L
	kWh		kWh	
2003	0			
2050	15		18L	

ÜBERGANGSSTAATEN

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,00	2		
2050	0,30	201	7,8	2.930
	kWh		kWh	
2003	2			
2050	196M		2.866H	



AFRIKA

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,10	22		
2050	0,05	34	2,26	981
	kWh		kWh	
2003	7			
2050	5		148	

SÜDASIEN

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,00	0		
2050	0,17	122	4,02	1.480M
	kWh		kWh	
2003	0			
2050	15		186	

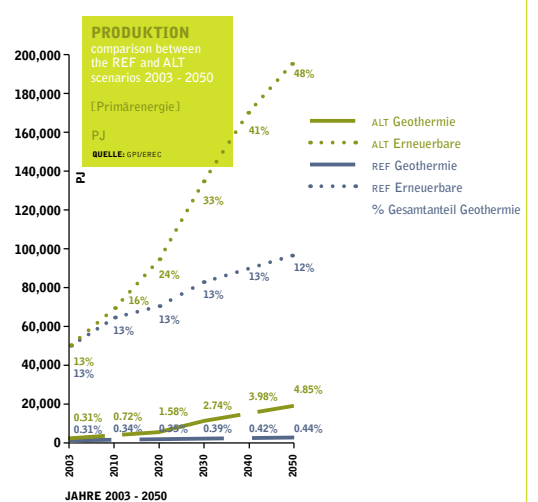
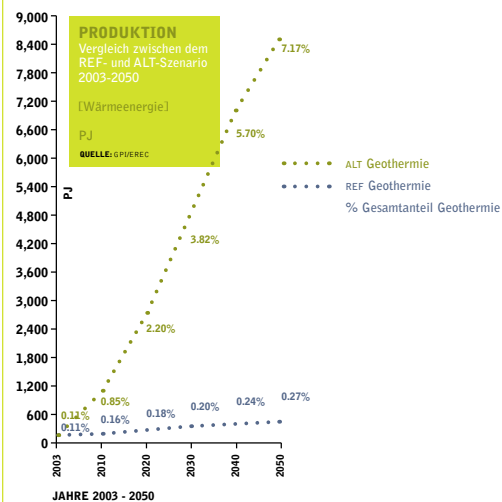
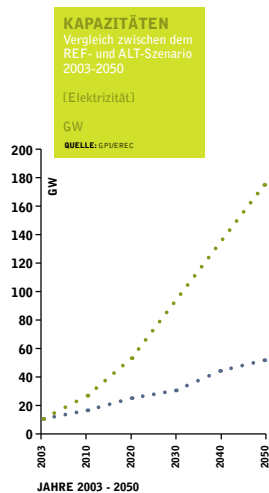
OSTASIEN

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	2,00	446		
2050	1,33	798	9,2H	2.978
	kWh		kWh	
2003	199			
2050	249		931	

OECD PAZIFIK

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0,10	34		
2050	0,38M	176	2,81	654
	kWh		kWh	
2003	48			
2050	268		995	

othermie



Energietechnologien

„Das EnergieRevolution-Szenario konzentriert sich auf das Energieeinsparpotenzial und erneuerbare Energiegewinnung, mit Fokus auf die Sektoren der Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung“



Bild•KRAFTWERK IN DER NÄHE REYKJAVIKS, DIE ENERGIE WIRD DURCH GEOTHERMISCHE AKTIVITÄT GEWONNEN. DIE VULKANISCHEN GESTEINE SIND HINTER DEM KRAFTWERK ZU SEHEN. NORDWESTEN ISLANDS

Bild GEOTHERMISCHES KRAFTWERK ZUR ELEKTRIZITÄTSERZEUGUNG



Dieses Kapitel beschreibt die Palette an Technologien, die heute und in Zukunft für die Befriedigung des Weltenergiebedarfs zur Verfügung stehen. Das EnergieERevolution-Szenario konzentriert sich auf das Potenzial der Energieeinsparungen und erneuerbaren Energiequellen, vor allem in den Bereichen der Strom- und Wärmeerzeugung. Auch wenn der Brennstoffeinsatz im Verkehr in den Szenarien der zukünftigen Energieversorgung aufgeführt wird, wird hier keine detaillierte Beschreibung der Technologien gegeben, wie z.B. Biokraftstoff für Fahrzeuge, der eine Alternative zum derzeit vorherrschenden Öl darstellt.

Fossile-Brennstoff-Technologien

Die weltweit am häufigsten verwendeten fossilen Brennstoffe zur Stromerzeugung sind Kohle und Erdgas. Erdöl wird immer noch dort verwendet, wo andere Brennstoffe nicht leicht verfügbar sind, z.B. Inseln oder abgelegene Orte, oder wo es natürliche Ressourcen gibt. Kohle und Erdgas zusammen decken mehr als die Hälfte des globalen Strombedarfs.

Kohleverbrennungs-Technologien

In einem herkömmlichen kohlebefeuerten Kraftwerk wird Kohlepulver oder Kohlestaub in eine Brennkammer geblasen und unter hohen Temperaturen verbrannt. Dabei entstehen heiße Gase und Wärme, durch die Wasser, das durch Röhren entlang des Brennkessels fließt, in Dampf umgewandelt wird. So wird eine Dampfturbine angetrieben und Strom generiert. Mehr als 90% der weltweiten kohlebefeuerten Anlagen nutzen dieses System. Kohlekraftwerke können in ihrer Kapazität von wenigen hundert Megawatt bis mehreren tausend variieren.

Eine Reihe von Technologien ist eingeführt worden, um die Umweltbilanz der herkömmlichen Kohleverbrennung zu verbessern. Dazu gehören die Kohleaufbereitung (zur Reduzierung des Aschegehalts) und verschiedene „Bolt-on“- oder „End-of-Pipe“-Technologien zur Verringerung der Partikel-, Schwefeldioxid- und Stickstoffemissionen, den neben Kohlendioxid bei der Kohleverbrennung entstehenden Hauptschadstoffen. Bei der Rauchgasentschwefelung wird beispielsweise das Rauchgas unter Verwendung eines alkalischen Schlammabsorbers, vorwiegend auf Kalk- oder Kalksteinbasis, gereinigt.

Grundlegendere Änderungen gibt es bei der Methode der Verbrennung selbst, um sowohl die Effizienz zu verbessern als auch die Schadstoffemissionen weiter zu verringern. Dazu gehören:

- **Kombikraftwerk mit integrierter Kohlevergasung:** Die Kohle wird nicht direkt verbrannt, sondern mit Sauerstoff und Gas versetzt, um ein „Syngas“ herzustellen, das hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid besteht, dann gereinigt und in der Gasturbine verbrannt wird, um Strom zu erzeugen sowie Dampf, mit dem eine Dampfturbine angetrieben wird. Diese IGCs verbessern die Effizienz der Kohleverbrennung von 38%–40% auf 50%.
- **Überkritisch und hoch überkritisch:** Diese Kraftwerke arbeiten mit höheren Temperaturen als herkömmliche Feuerungsanlagen und erhöhen die Effizienz ebenfalls auf 50%.

- **Wirbelschichtbefeuerung:** Die Kohle wird in einem Reaktor verbrannt, durch dessen Boden Gas eingeleitet wird, das den Brennstoff verwirbelt. Dadurch werden Verbrennung, Wärmetransfer und die Rückgewinnung von Abfallprodukten verbessert. Durch die Erhöhung des Druckes im Becken kann ein Hochdruckgasstrom zum Antreiben einer Gasturbine verwendet und so Strom erzeugt werden. Die Emission sowohl von Schwefeldioxid als auch Stickoxid kann so erheblich reduziert werden.
- **Druckkohlestaubbefeuerung:** Hauptsächlich in Deutschland entwickelt basiert sie auf der Verbrennung fein gemahlener Kohlestaubpartikel, bei der hoher Druck und hohe Dampftemperaturen für die Stromerzeugung entstehen. Das heiße Rauchgas wird ähnlich wie beim Kombikraftwerk zur Stromgewinnung verwendet.

Zu den potenziellen Zukunftstechnologien gehört auch vermehrt die Kohlevergasung. Unterirdische Kohlevergasung beispielsweise beinhaltet die Umwandlung unbearbeiteter Kohle in brennbares Gas, das zur industriellen Heizung, Energieerzeugung oder Herstellung von Wasserstoff, synthetischem Erdgas oder anderen Chemikalien verwendet werden kann. Durch bestimmte Prozesse kann dem Gas CO_2 entzogen werden, bevor es zum Endverbraucher geleitet wird. In Australien, Europa, China und Japan sind dazu praktische Projekte im Gang.

Erdgasfeuerungs-Technologien

Erdgas kann zur Stromerzeugung entweder durch Gas- oder Dampfturbinen verwendet werden. Bei der entsprechenden Menge an Wärme produziert Erdgas etwa 45% weniger Kohlendioxid während der Verbrennung als Kohle.

Gasturbinenkraftwerke verwenden die Wärme des Gases zum direkten Betrieb der Turbine. Erdgasbefeuerte Turbinen springen schnell an und werden daher oft eingesetzt, um die Energienachfrage in Spitzenzeiten zu bedienen, wenn auch zu höheren Kosten als Kraftwerke mit einer Grundauslastung.

Eine besonders hohe Effizienz kann durch die Kombination von Gasturbinen mit einer Dampfturbine im Kombikraftwerksmodus erreicht werden. In einem Gasturbinenkombikraftwerk (CCGT) erzeugt ein Gasturbinengenerator Elektrizität, und die Abgase aus der Gasturbine werden dann benutzt, um Dampf zur zusätzlichen Stromerzeugung zu gewinnen. Die Effizienz moderner CCGT-Kraftwerke kann über 50% liegen. Die meisten neuen Gaskraftwerke, die seit den 90er Jahren gebaut wurden, sind von diesem Typ.

Zumindest in Anbetracht der jüngsten weltweiten Preissteigerungen beim Erdgas sind CCGT-Kraftwerke inzwischen in vielen Ländern die billigste Möglichkeit der Stromherstellung. Die Kapitalkosten sind wesentlich geringer als bei Kohle- und Atomkraftwerken und die Bauzeiten kürzer.

Kohlendioxidspeicherungs-Technologien

Beim Verbrennen von Kohle oder Erdgas entsteht immer Kohlendioxid (CO_2). Je nach Kraftwerkstyp wird eine große Menge des Gases in die Atmosphäre entweichen und dort zum Klimawandel beitragen. Ein Kohlekraftwerk setzt ungefähr 720 Gramm Kohlendioxid pro Kilowattstunde frei, ein modernes gasbefeuertes Kraftwerk etwa 370 g CO_2 /kWh. Einige Kohlebefürworter setzen sich für eine neue Technologie ein, um die CO_2 -Emissionen aus Kraftwerken zu reduzieren. Bei diesen Verfahren wird CO_2 abgetrennt und unter Tage befördert. Beide Vorgänge – das Auftrennen und die Lagerung – sind begrenzt. Selbst nach dem Einsatz vorgeschlagener Auffangtechnologien wird weiterhin eine Restmenge Kohlendioxid – zwischen 60 und 150 g CO_2 /kWh – ausgestoßen werden.

Kohlendioxidlagerung

Das bei der Verbrennung aufgefangene CO_2 muss irgendwo gelagert werden. Zurzeit denkt man darüber nach, es unter dem Meer oder der Erdoberfläche in einer Tiefe von mehr als 900 Metern einzuschließen. Wie beim atomaren Abfall stellt sich jedoch die Frage, ob dadurch das Problem lediglich an einen anderen Ort verlagert wird.

Gefahren einer Lagerung unter dem Meer

Die Lagerung unter dem Ozean könnte zu einer erheblichen Versauerung (Reduzierung des pH-Werts) großer Gebiete führen und wäre schädlich für eine große Vielzahl an Organismen, wenn nicht ganze Ökosysteme in der Nähe der Lagerstätten. Auf diese Weise entsorgtes CO_2 wird wahrscheinlich in relativ kurzer Zeit zurück in die Atmosphäre gelangen. Die Meere sind sowohl eine ergiebige Ressource als auch ein gemeinsames natürliches Erbe für diese und zukünftige Generationen und müssen geschützt werden. Berücksichtigt man die Vielfalt der anderen Optionen zum Umgang mit CO_2 -Emissionen, muss die direkte Entsorgung von CO_2 in den Ozean, den Meeresboden, Seen und andere offene Speicherstrukturen ausgeschlossen werden.

Gefahren einer unterirdischen Lagerung

Leere Öl- und Gasfelder sind von Löchern durchsiebt, die während der Erforschungs- und Produktionsphase gebohrt wurden. Diese Löcher müssen versiegelt werden. Normalerweise wird ein spezieller Zement verwendet, doch Kohlendioxid ist relativ reaktiv mit Wasser und greift Metall oder Zement an, sodass selbst die Versiegelung von Bohrlöchern ein Sicherheitsrisiko darstellt. Für viele Experten lautet daher die Frage nicht, ob, sondern wann ein Leck auftritt. Wegen des Mangels an Erfahrungen mit der CO_2 -Lagerung wird sie in puncto Sicherheit oft mit der Erdgaslagerung verglichen. Diese Technologie wird seit Jahrzehnten angewandt und getestet und von der Industrie als wenig riskant beurteilt. Greenpeace teilt diese Einschätzung nicht. Auf der ganzen Welt sind bereits erste Leckagen in Erdgasspeicheranlagen aufgetreten und haben mitunter sogar die Evakuierung in der Nähe lebender Einwohner erforderlich gemacht.

Plötzlicher CO_2 -Austritt kann tödlich sein. Zwar ist Kohlendioxid an sich nicht giftig und sogar in unserer Atemluft enthalten (ca. 0,04 Prozent). Doch bei steigenden Konzentrationen ersetzt es den lebenswichtigen Luftsauerstoff. Luft mit Konzentrationen von 7 bis 8 Volumenprozent CO_2 führt nach 30 bis 60 Minuten zum Erstickungstod. Gesundheitsrisiken bestehen auch bei einer explosiven Freisetzung großer Mengen CO_2 . Obwohl sich das Gas üblicherweise nach dem Austritt rasch verflüchtigt, kann es sich in natürlichen Mulden oder geschlossenen Gebäuden ansammeln, denn Kohlendioxid ist schwerer als Luft. Genauso gefährlich ist ein langsamer und unbemerkter Austritt in bewohnten Gegenden, z.B. in Kellerräumen von Häusern.

Die Gefahren solcher Lecks sind von natürlichen vulkanischen CO_2 -Entgasungen bekannt. Durch Gasaustritte im Kratersee des Lake Nyos im afrikanischen Kamerun starben 1986 über 1.700 Menschen. Mindestens 10 Menschen sind in den letzten 20 Jahren in der Gegend von Lazio in Italien als Folge von freigesetztem CO_2 gestorben.

Kohlendioxidlagerung und die Ziele des Klimaschutzes

Kann die Kohlendioxidlagerung zu den Zielen der Minderung des Klimawandels beitragen? Um einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern, müssen wir das CO_2 weltweit um 50% bis 2050 reduzieren. Kraftwerke, die CO_2 lagern, sind immer noch in der Entwicklung und werden für mindestens ein weiteres Jahrzehnt nicht auf großindustrieller Basis verfügbar sein. Das bedeutet, sie werden vor dem Jahr 2020 keinen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Auch ist die CO_2 -Lagerung keine große Hilfe bei der Erreichung einer 80%igen Reduzierung bis 2050 in den OECD-Staaten. Falls sie 2020 verfügbar wird, werden die meisten großen Kraftwerke weltweit gerade modernisiert worden sein. Die vorhandenen Kraftwerke könnten dann lediglich nachgerüstet und das CO_2 aus dem entweichenden Abgas aufgefangen werden. Da die Nachrüstung von bestehenden Kraftwerken außerordentlich teuer ist, wäre ein hoher Kohlendioxidpreis notwendig.

Der Einsatz der CO_2 -Abscheidung wird auch zu Preiserhöhungen bei Strom aus fossilen Brennstoffen führen. Obwohl die Kosten für die Lagerung von einer Reihe Faktoren wie der für Abscheidung, Transport und Speichertyp verwendeten Technologie abhängen, kalkulieren Experten des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der UN die zusätzlichen Kosten auf 3,5 bis 5,0 Eurocent/kWh Leistung. Da moderne Windturbinen an windgünstigen Standorten im Hinblick auf die Kosten bereits heute wettbewerbsfähig mit neu gebauten kohlebefeuerten Kraftwerken sind, werden die Kosten wahrscheinlich an der obersten Grenze liegen. Das bedeutet, die Technologie würde die heutigen Stromkosten mehr als verdoppeln.

Schlussfolgerung

Erneuerbare Energiequellen sind bereits verfügbar, oft billiger und ohne die negativen Umweltfolgen, die mit der Nutzung, Beförderung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe zusammenhängen. Es ist die erneuerbare Energie zusammen mit der Energieeffizienz und der Energieerhaltung – NICHT die Kohlendioxidabscheidung und -lagerung – die weltweit gefördert werden muss, um die primäre Ursache des Klimawandels – das Verbrennen von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl und Gas – zu beheben.

Greenpeace lehnt jegliche Absichten zur CO_2 -Abscheidung und -Lagerung ab, die folgende Auswirkungen haben könnten:

- die Unterminierung oder Gefahr einer Unterminierung der globalen und regionalen Bestimmungen zur Entsorgung von Abfällen im Meer (in der Wassersäule, im oder am Meeresboden).
- anhaltende oder gesteigerte Finanzierung des fossilen Brennstoffsektors auf Kosten der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz.
- die Stagnation von Verbesserungen der erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und Energieerhaltung.
- die Förderung dieser möglichen Zukunftstechnologie als einzige Hauptlösung für den Klimawandel, die außerdem zu neuen Entwicklungen bei den fossilen Brennstoffen – vor allem braun- und steinkohlebefeuerte Kraftwerke – und dem kurz- bis mittelfristigen Anstieg von Emissionen führt.



Atom-Technologie

Die Stromerzeugung aus Atomkraft bedeutet das Übertragen der durch eine kontrollierte Kernspaltungsreaktion produzierten Wärme in einen herkömmlichen Dampfturbinengenerator. Die nukleare Reaktion findet in einem Reaktorkern statt und ist von einem Eindämmungsbehälter umgeben, der in Bauart und Struktur variiert. Ein Kühlmittel (Gas oder Wasser) kühlt den Kern ab, und die Reaktion wird durch ein bremsendes Element oder einen „Moderator“ kontrolliert.

In den letzten beiden Jahrzehnten hat die Errichtung neuer Atomkraftwerke generell nachgelassen. Dies wurde durch eine Reihe an Faktoren ausgelöst: Angst vor einem atomaren Unfall nach den Ereignissen auf Three Mile Island, in Tschernobyl und Monju, und die zunehmende Überprüfung von Wirtschafts- und Umweltfaktoren wie Abfallmanagement und Austritt von Radioaktivität.

Bauarten von Atom-Reaktoren: Entwicklungs- und Sicherheitsfragen

Anfang 2005 gab es 441 Atomreaktoren, die in 31 Ländern auf der Welt betrieben wurden. Es gibt Dutzende verschiedener Reaktorbauarten und -größen, die sich jedoch in drei große Kategorien zusammenfassen lassen, die entweder zurzeit eingesetzt oder entwickelt werden. Diese sind:

Generation I: Prototyp der kommerziellen Reaktoren, entwickelt in den 50er und 60er Jahren als modifizierte oder vergrößerte militärische Reaktoren, entwickelt für den U-Boot-Antrieb oder die Plutoniumproduktion.

Generation II: Vorherrschende Reaktorbauart in kommerziellen Anlagen weltweit.

Generation III: Zu den Generation-III-Reaktoren gehören auch die so genannten „fortgeschrittenen Reaktoren“, von denen drei Stück bereits in Japan eingesetzt, weitere gebaut oder geplant werden. Etwa 20 verschiedene Bauarten sollen in der Entwicklung sein¹⁴⁾, die meisten davon „evolutionäre“ Bauweisen, die durch einige Modifikationen aus Generation-II-Reaktortypen entstanden sind, aber keine drastischen Veränderungen beinhalten. Ein paar davon stellen innovativere Ansätze dar. Laut Weltnuklearverband (World Nuclear Association), werden Reaktoren der Generation III folgendermaßen charakterisiert:

- eine standardisierte Bauweise für jeden Typ zur Reduzierung der Zulassungsdauer, der Kapitalkosten und der Bauzeit
- eine einfachere und robustere Bauweise, damit sie leichter zu betreiben und weniger anfällig für betriebliche Störungen sind
- bessere Verfügbarkeit und längere Betriebsdauer, typischerweise 60 Jahre
- verminderte Wahrscheinlichkeit von Unfällen durch Kernschmelze
- minimale Auswirkungen auf die Umwelt
- verbesserte Verbrennung zur Reduzierung der verwendeten Brennstoffe und der Abfallmenge
- brennbare Absorber („Gifte“) zur Verlängerung der Brennstoffdauer

Was diese Ziele mit verbesserten Sicherheitsstandards zu tun haben, bleibt – im Gegensatz zur verbesserten Wirtschaftlichkeit – unklar.

Der **Europäische Druckwasserreaktor (EPR)** wurde aus den neuesten Bauarten der Generation II entwickelt, um in Frankreich und Deutschland in Betrieb genommen zu werden¹⁵⁾. Seine erklärten Ziele waren die Verbesserung des Sicherheitslevels – vor allem die Verringerung der Wahrscheinlichkeit für einen schwerwiegenden Unfall um den Faktor zehn, die Abschwächung schwerwiegender Unfälle durch die Beschränkungen der Auswirkungen auf das Kraftwerk selbst und die Reduzierung der Kosten. Verglichen mit seinen Vorgängern zeigt der EPR jedoch etliche Modifikationen auf, die eine Verringerung der Sicherheitsspanne darstellen, darunter:

- Das Volumen des Reaktorgebäudes ist durch eine vereinfachte Anordnung des Notfallkernkühlungssystems und die Verwendung von Ergebnissen neuer Berechnungen, die eine geringere Wasserstoffentwicklung während eines Unfalls vorhersagen, reduziert worden.
- Der thermische Ausstoß des Kraftwerkes wurde um 15% im Verhältnis zum französischen Reaktor erhöht, indem man die Kernabzugstemperatur erhöhte, die Hauptkühlpumpen mit höherer Kapazität laufen ließ und die Dampfgeneratoren modifizierte.
- Der EPR hat weniger Auffangleitungen in den Sicherheitssystemen als ein deutscher Reaktor der Generation II.

Verschiedene andere Modifikationen werden als substanzielle Sicherheitsverbesserungen begrüßt, darunter ein „Core Catcher“, ein Auffangsystem zur Kontrolle einer Kernschmelze. Dennoch gibt es trotz der vorgesehen Änderungen keine Garantie dafür, dass die Sicherheitsstufe des EPR tatsächlich eine signifikante Verbesserung darstellt. Vor allem ist die Reduzierung der erwarteten Wahrscheinlichkeit für eine Kernschmelze um den Faktor zehn nicht erwiesen. Darüber hinaus bestehen ernsthafte Zweifel daran, ob die Abschwächung und Kontrolle eines Kernschmelzeunfalls durch den „Core Catcher“ wirklich funktioniert.

Reaktoren der **Generation IV** werden derzeit entwickelt und sollen in 20 bis 30 Jahren vermarktet werden.

Fußnoten

14 IAEA 2004; WNO 2004A

15 HAINZ 2004.

Erneuerbare-Energie-Technologien

Erneuerbare Energien beinhalten eine Reihe von natürlichen Quellen, die sich unaufhörlich erneuern und daher, anders als fossile Brennstoffe und Uran, niemals erschöpft sein werden. Die meisten entstehen durch die Auswirkungen von Sonne und Mond auf die Wetterverhältnisse der Erde. Sie produzieren auch keine schädlichen Emissionen und Verschmutzungen, wie sie mit „konventionellen“ Brennstoffen assoziiert werden. Obwohl Wasserkraft schon seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts in industriellem Umfang genutzt wird, hat die ernsthafte Nutzung anderer erneuerbarer Energiequellen eine eher kurze Geschichte.

Solkraft (Photovoltaik)

Auf der ganzen Welt ist mehr als ausreichend Sonneneinstrahlung vorhanden, um einen enorm gestiegenen Bedarf nach Solarkraftsystemen zu decken. Das auf der Oberfläche der Erde auftreffende Sonnenlicht reicht aus, um 2.850 Mal mehr Energie zu liefern, als wir derzeit benötigen. Im weltweiten Durchschnitt erhält jeder Quadratmeter Land genug Sonnenlicht, um jedes Jahr 1.700 kWh Energie zu produzieren. Die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Europa liegt bei etwa 1.000 kWh pro Quadratmeter, verglichen mit 1.800 kWh im Nahen Osten.

Die Photovoltaik (PV) ist eine Technologie zur Erzeugung von Strom aus Licht. Das Geheimnis dieses Vorgangs ist die Verwendung eines Halbleitermaterials, das so umgewandelt werden kann, dass es Elektronen freisetzt, die negativ geladenen Teilchen, die die Basis der Elektrizität darstellen. Das gebräuchlichste Halbleitermaterial in Photovoltaikzellen ist Silizium, ein Element, das am häufigsten in Sand vorkommt. Alle PV-Zellen haben mindestens zwei Schichten solcher Halbleiter – eine positiv geladene und eine negativ geladene. Wenn Licht auf den Halbleiter fällt, erzeugt das elektrische Feld über die Verbindung dieser beiden Schichten einen Stromfluss. Ein photovoltaisches System benötigt daher zum Betrieb keine strahlende Sonne und kann sogar an bewölkten Tagen Strom erzeugen. Solar-Photovoltaik unterscheidet sich von Sonnenkollektorsystemen (s. unten), bei denen die Sonnenstrahlen verwendet werden, um Wärme zu erzeugen, meist für Warmwasser in Häusern, Swimming Pools etc.

Die wichtigsten Teile eines PV-Systems sind die Zellen, die die Grundbausteine darstellen, die Module, die große Mengen an Zellen zu einer Einheit verbinden, und mitunter die Wechselrichter, die die erzeugte Elektrizität in eine alltagsgebräuchliche Form umwandeln. Wenn eine PV-Anlage mit einer Kapazität von 3 kWp („peak“ = Spitzenleistung) beschrieben wird, dann bezieht sich das auf die Produktion des Systems unter Standardtestbedingungen, die einen Vergleich zwischen verschiedenen Modulen ermöglicht. In Mitteleuropa würde ein Solarstromsystem mit 3 kWp und einer Oberfläche von ungefähr 27 Quadratmetern genug Strom erzeugen, um den Bedarf eines energiebewussten Haushaltes zu decken.

Typen von PV-Systemen

- **mit Netzanschluss:** Der häufigste Typ der Solar-PV-Systeme für Haushalte und Firmen in Industriestaaten. Der Anschluss an das örtliche Stromnetz ermöglicht den Verkauf von überschüssig erzeugtem Strom an den Versorgungsbetrieb. In der Nacht wird dann Strom aus dem Netzwerk eingespeist. Mit einem Wechselrichter wird der vom System produzierte Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt, mit dem übliche elektrische Geräte betrieben werden können.
- **Mit Netzunterstützung:** Ein System kann an das örtliche Stromnetz und an eine Reservebatterie angeschlossen werden. Der Solarstrom, der nach dem Aufladen der Batterie noch übrigbleibt, wird an einen Versorgungsbetrieb verkauft. Dieses System ist ideal für den Einsatz in Gebieten mit unregelmäßiger Stromversorgung.
- **ohne Netzverbindung:** Vollkommen unabhängig vom Stromnetz wird dieses System über eine Ladekontrolle an eine Batterie angeschlossen, die die erzeugte Energie speichert und als Hauptenergieversorgung fungiert. Ein Wechselrichter kann zur Umwandlung in Wechselstrom eingesetzt werden, um den Betrieb von normalen Geräten zu ermöglichen. Typische netzunabhängige Anlagen sind Relaisstationen für Mobilfunktelefone oder der Ausbau ländlicher Stromnetze. Letzteres meint entweder kleine Solar-Inselsysteme zur Deckung des Energiegrundbedarfs oder Mini-Solarnetze, die als größere Solarenergiesysteme den Energiedarf mehrerer Haushalte decken können.
- **Hybrid-System:** Ein Solarsystem kann mit anderen Energiequellen – einem Biomassegenerator, einer Windturbine oder einem Dieselgenerator – kombiniert werden, um eine permanente Energieversorgung sicherzustellen. Ein Hybrid-System kann mit dem Netz verbunden, unverbunden oder vom Netz unterstützt sein.

Abb. 31: Technologie der Photovoltaik



Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke erzeugen Strom in ganz ähnlicher Weise wie konventionelle Kraftwerke. Der Unterschied liegt darin, dass sie ihre Energiezufuhr durch die Bündelung von Sonnenstrahlen erhalten und diese in Hochtemperaturgas oder -dampf umwandeln, mit dem eine Turbine oder ein Motor angetrieben wird. Große Spiegel bündeln Sonnenlicht in einen einzelnen Strahl oder Punkt. Die dort erzeugte Wärme wird zur Dampferzeugung verwendet. Dieser heiße Hochdruckdampf treibt wiederum Turbinen an, die Strom herstellen. In sonnenüberfluteten Regionen können diese Kraftwerke einen großen Anteil an der Stromproduktion gewährleisten.

Vier Hauptelemente sind notwendig: ein Konzentrator, ein Empfänger, eine Form von Transfermedium oder Speicher und die Stromumwandlung. Es sind verschiedene Systemtypen möglich, einschließlich der Kombination mit anderen erneuerbaren und nichterneuerbaren Technologien, doch die drei vielversprechendsten solarthermischen Technologien sind:

- **Parabolrinne** Rinnenförmige Reflektorspiegel werden benutzt, um das Sonnenlicht auf thermisch wirksame Empfängerröhren zu bündeln, die in der Brennnlinie der Rinne platziert sind. Eine thermische Transferflüssigkeit wie synthetisches thermisches Öl zirkuliert in diesen Röhren. Durch die konzentrierten Sonnenstrahlen auf etwa 400° C erwärmt wird dieses Öl dann durch eine Reihe von Wärmetauschern gepumpt, um Superheißdampf zu erzeugen. In einem konventionellen Dampfturbinengenerator, der entweder Teil eines konventionellen Dampfzyklus oder eines kombinierten Dampf-/ Gasturbinenprozesses sein kann, wird der Dampf in elektrische Energie umgewandelt.

Dies ist die ausgereifteste Technologie, mit Kraftwerken von 354 MWe, die seit den 80er Jahren an das südkalifornische Stromnetz angeschlossen wurden, und über 2 Millionen Quadratmetern installierter Parabolrinnen weltweit.

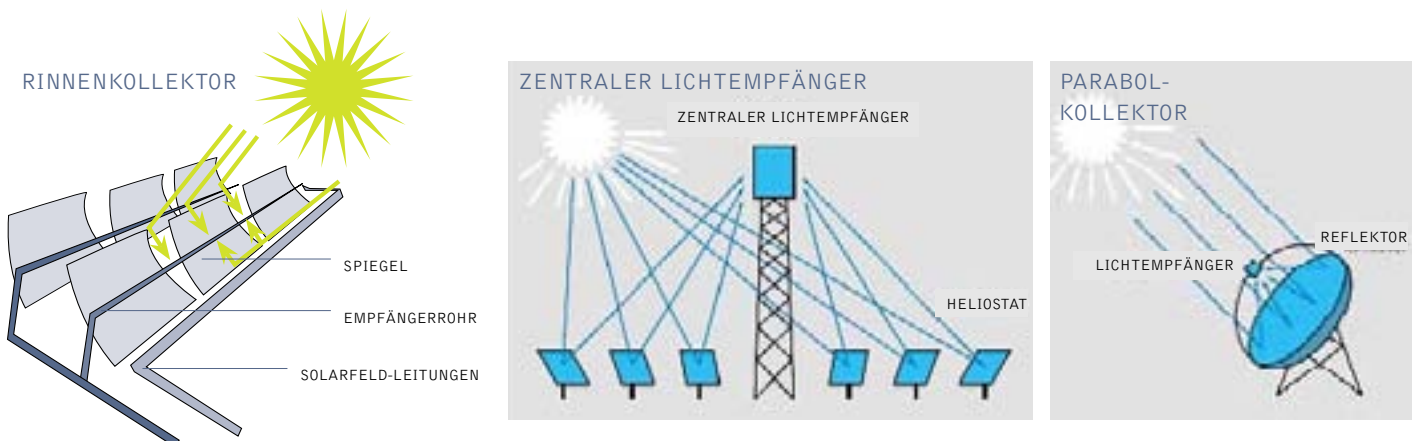
- **Zentralempfänger oder Solarturm** Kreisförmig angeordnete Heliostaten (große einzeln drehbare Spiegel) werden verwendet, um Sonnenlicht auf einen zentralen Receiver zu lenken, der an der Spitze eines Turms befestigt ist. Ein Wärmetransfermedium absorbiert die durch die Heliostaten reflektierte hochkonzentrierte Strahlung, und wandelt sie in thermische Energie um, die für die nachfolgende Erzeugung von Superheißdampf zum Turbinenantrieb verwendet wird. Gegenwärtig werden als Wärmetransfermedium Wasser/Dampf, geschmolzenes Salz, flüssiges Natrium und Luft eingesetzt. Wenn Druckgas oder Druckluft bei sehr hohen Temperaturen von 1.000° C oder mehr als Wärmetransfermedium benutzt wird, kann damit sogar direkt das Erdgas in einer Gasturbine ersetzt und damit die exzellente Effizienz (60%+) moderner Gas- und Dampfturbinenkraftwerke genutzt werden.

Nach einem zwischenzeitlichen Anstieg auf eine Kapazität von 30 MW sind die Entwickler von Solartürmen nun zuversichtlich, dass netzangeschlossene reine Solareinheiten von 200 MWe Kapazität gebaut werden können. Der Einsatz von Wärmespeichern wird ihre Flexibilität noch erhöhen. Auch wenn Solartürme von einer Vermarktung wahrscheinlich noch weiter entfernt sind als Parabolrinnensysteme, haben sie langfristig ein hohes Potenzial in puncto Umwandlungseffizienz. In Spanien, Südafrika und Australien befinden sich derzeit Projekte in der Entwicklung.

- **Parabolschüssel** Ein schüsselförmiger Reflektor konzentriert Sonnenlicht auf einen Receiver, der im Brennpunkt platziert ist. Der konzentrierte Strahl wird vom Empfänger absorbiert und erwärmt eine Flüssigkeit oder ein Gas (Luft) auf etwa 750° C. Damit wird dann in einem kleinen Kolben, einem Stirling-Motor oder einer Mikroturbine, die am Empfänger befestigt sind, Elektrizität erzeugt.

Das Potenzial von Parabolschüsseln liegt hauptsächlich in der dezentralisierten Energieversorgung und abgelegenen, eigenständigen Energiesystemen. In den USA, in Australien und Europa sind derzeit Projekte in der Planung

Abb. 32-34: Rinnenkollektor/ zentraler Lichtempfänger oder Solarturm/Parabol-Kollektor



Sonnenkollektoren

Sonnenkollektorsysteme basieren auf einem jahrhundertealten Prinzip: Die Sonne erwärmt Wasser in einem dunklen Gefäß. Die heute auf dem Markt vorhandenen Sonnenkollektortechnologien sind effizient, hochzuverlässig und bieten Energie für eine breite Palette an Anwendungen – von der häuslichen Warmwassererzeugung über Raumheizung in Wohn- und Geschäftsgebäuden, Swimming-Pool-Beheizung, solarunterstützte Kühlung, industrielle Prozesswärme bis zur Entsalzung von Trinkwasser.

Solare häusliche Wassererwärmung und Raumheizung

Die häusliche Warmwasserproduktion ist der häufigste Anwendungsbereich. Je nach Bedingungen und Systemkonfiguration kann der Großteil der Wassererwärmung durch Sonnenenergie geleistet werden. Größere Systeme können zusätzlich einen wesentlichen Teil der für die Raumheizung benötigten Energie liefern. Es gibt zwei Hauptarten dieser Technologie:

- **Vakuumröhren:** Der Absorber in der Vakuumröhre absorbiert Sonnenstrahlung und erwärmt die Flüssigkeit im Innern. Zusätzlich wird noch Strahlung vom Reflektor hinter den Röhren aufgenommen. In welchem Winkel auch immer die Sonne steht – die runde Form der Vakuumröhre lässt die Strahlen zum Absorber gelangen. Selbst an einem wolkgigen Tag, wenn das Licht aus vielen Winkeln gleichzeitig kommt, kann der Vakuumröhrenkollektor noch effektiv arbeiten.
- **Flachkollektoren:** Dabei handelt es sich im Wesentlichen um einen Kasten, der wie ein Oberlicht auf dem Dach sitzt. Im Innern befindet sich eine Reihe von Kupferröhren, die mit Kupfernähten befestigt sind. Die gesamte Struktur ist mit einer schwarzen Substanz überzogen, um die Sonnenstrahlen einzufangen. Diese Strahlen erwärmen eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel, die zwischen dem Kollektor und dem Heizkessel des Hauses zirkuliert.

Solarunterstützte Kühlung

Solar-Kühlanlagen verwenden thermische Energie, um Kühlung zu erzeugen und/oder der Luft Feuchtigkeit zu entziehen – ganz ähnlich wie Kühlschränke oder konventionelle Klimaanlage. Diese Anwendung ist sehr gut für Solarenergie geeignet, denn der Bedarf nach Kühlung ist meist dann am größten, wenn die Sonne am stärksten scheint. Solar-Kühlung wird bereits erfolgreich eingesetzt, und der großflächige Einsatz in der Zukunft ist zu erwarten.

Abb. 35: Sonnenkollektor-Technologie



Windkraft

In den letzten 20 Jahren ist die Windenergie die am schnellsten wachsende Energiequelle der Welt geworden. Die heutigen Windturbinen werden in einer technisch ausgereiften Massenproduktion unter Verwendung einer effizienten, kostengünstigen und leicht installierbaren Technologie hergestellt. Die Turbinengrößen reichen von wenigen kW bis zu über 5.000 kW, wobei die größten Turbinen mehr als 100 Meter hoch sind. Eine große Windturbine kann genug Strom für über 5.000 Haushalte produzieren. Moderne Windparks auf dem neuesten Stand der Technik können aus nur wenigen Turbinen bestehen oder groß genug sein, um mehrere hundert MW zu erzeugen.

Die weltweiten Ressourcen an Wind sind enorm und in der Lage, mehr Elektrizität zu erzeugen, als die gesamte Welt benötigt, und außerdem gleichmäßig über die fünf Kontinente verteilt. Windturbinen können nicht nur in den windigsten Küstengebieten betrieben werden, sondern auch in Ländern, die gar keine Küste besitzen, einschließlich solcher Regionen wie Mitteleuropa, dem Landesinnern Nord- und Südamerikas und Zentralasien. Die Windressourcen auf dem offenen Meer sind noch ergiebiger als an Land, was die Installation von Offshore-Windanlagen mit im Meeresboden verankerten Fundamenten fördert. In Dänemark produziert ein 2002 gebauter Windpark mit 80 Turbinen genug Strom für eine Großstadt von 150.000 Einwohnern.

Kleinere Windturbinen können effizient Energie in Gegenden produzieren, die sonst keinen Zugang zu Elektrizität haben. Diese Energie kann direkt genutzt oder in Batterien gespeichert werden. Neue Technologien zur Nutzung der Windkraft werden derzeit auch für freistehende Gebäude in dicht besiedelten Großstädten entwickelt.

Bauweise der Windturbinen

Seit den 80er Jahren ist die Bauweise von Windturbinen immer einheitlicher geworden. Die Mehrzahl der vermarkteten Turbinen wird durch eine horizontale Achse mit drei gleich angeordneten Blättern betrieben. Diese sind an einen Rotor angeschlossen, von dem die Energie durch ein Getriebe zum Generator befördert wird. Das Getriebe und der Generator befinden sich in einem Gehäuse, das als Gondel bezeichnet wird. Einige Turbinenbauarten vermeiden ein Getriebe durch die Verwendung eines Direktantriebes. Die erzeugte Elektrizität wird dann durch den Turm nach unten zu einem Transformator und schließlich in das örtliche Netz geleitet.

Windturbinen können zwischen Windgeschwindigkeiten von 3–4 Meter pro Sekunde bis etwa 25 m/s betrieben werden. Die Leistungsreduzierung bei hohen Windgeschwindigkeiten wird entweder durch die so genannte „Stall“-Regulierung – Leistungsreduzierung durch gewollten Strömungsabriss – oder die so genannte „Pitch“-Regulierung – aktives Drehen der Rotorblätter, sodass sie dem Wind keine Angriffsfläche mehr bieten – erreicht. Die „Pitch“-Regulierung ist inzwischen die gebräuchlichere Methode. Die Rotorblätter können sich auch mit einer konstanten oder variablen Geschwindigkeit drehen, wobei die Turbine bei der variablen Geschwindigkeit direkter der unterschiedlichen Windgeschwindigkeit folgen kann.

Die Hauptfaktoren für die Bauarten bei der aktuellen Windtechnologie sind:

- hohe Produktivität an Standorten sowohl mit viel als auch mit wenig Wind
- Netzkompatibilität
- Akustik
- Aerodynamik
- Optische Beeinträchtigung
- Offshore-Expansion



Auch wenn der bestehende Offshore-Markt nur 0,4% der weltweit an Land installierten Windkapazität beträgt, werden die jüngsten Entwicklungen bei der Windtechnologie hauptsächlich von diesem wachsenden Potenzial angetrieben. Das bedeutet, der Schwerpunkt liegt auf der effektivsten Methode zum Bau von sehr großen Turbinen.

Moderne Windtechnologien sind für eine ganze Reihe von Standorten verfügbar – ob viel oder wenig Wind, Wüste oder gar Arktis. Europäische Windanlagen laufen mit großer Zuverlässigkeit, sind im Allgemeinen gut in die Umwelt integriert und von der Öffentlichkeit akzeptiert. Trotz der wiederholten Ankündigung einer Nivellierung bei einer optimalen mittleren Größe und der Tatsache, dass Windturbinen nicht unendlich höher werden können, hat die Größe der Turbinen Jahr für Jahr zugenommen – von Einheiten mit 20–60 kW in Kalifornien in den 80er Jahren bis zu den neuesten Multi-Megawatt-Maschinen mit Rotor-Durchmessern von über 100 Metern. Die weltweite Durchschnittsgröße einer installierten Turbine betrug 2005 1.282 kW, während die größte in Betrieb befindliche Maschine, die Enercon E112, eine Kapazität von bis zu 6 MW besitzt. Dahin zielt auch der sich entwickelnde Offshore-Markt.

Dieser Anstieg der Turbinengröße entspricht auch der Expansion sowohl der Märkte als auch der Hersteller. Mehr als 80.000 Windturbinen laufen derzeit in über 50 Ländern auf der ganzen Welt. Der deutsche Markt ist der größte, aber auch in Spanien, Dänemark, Indien und den Vereinigten Staaten findet ein beeindruckendes Wachstum statt.

Biomasse-Energie

Biomasse ist ein weiterer Begriff, der zur Beschreibung von Material jüngerer biologischen Ursprungs, das als Energiequelle genutzt werden kann, verwendet wird. Dazu gehören Holz, Feldfrüchte, Algen und andere Pflanzen sowie Reste aus der Land- und Forstwirtschaft. Biomasse kann auf vielfältige Weise für den Endverbrauch eingesetzt werden: Heizung, Stromerzeugung oder als Kraftfahrzeugtreibstoff. Der Ausdruck „Bioenergie“ wird für Biomasseenergiesysteme verwendet, die Wärme und/oder Elektrizität erzeugen, und „Biokraftstoff“ für flüssige Fahrzeugkraftstoffe. Aus verschiedenen Feldfrüchten hergestellter Biodiesel wird zunehmend als Treibstoff für Fahrzeuge eingesetzt, vor allem wegen der steigenden Ölpreise.

Biologische Energiequellen sind erneuerbar, einfach zu lagern, und – wenn nachhaltig geerntet – CO₂-neutral. Dies liegt daran, dass das während der Umwandlung in nutzbare Energie emittierte Gas in etwa dem während des Wachstums der Pflanzen absorbierten Kohlendioxid entspricht.

Stromproduzierende Biomassekraftwerke arbeiten genau wie Erdgas- oder Kohlekraftwerke, außer dass der Brennstoff vor der Verbrennung verarbeitet werden muss. Diese Kraftwerke sind im Allgemeinen nicht so groß wie Kohlekraftwerke, denn der Brennstoffvorrat muss so nah wie möglich beim Kraftwerk wachsen. In Biomassekraftwerken kann Wärme entweder durch die Verwendung einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, bei der die Wärme zu nahegelegenen Haushalten oder Betrieben geleitet wird, oder durch effiziente Heizungsanlagen gewonnen werden. Kleine Heizungsanlagen, die beispielsweise spezielle, aus Altholz hergestellte Pellets verwenden, können anstelle von Erdgas oder Erdöl zur Heizung von Einfamilienhäusern eingesetzt werden.

Abb. 36: Windrad-Technologie

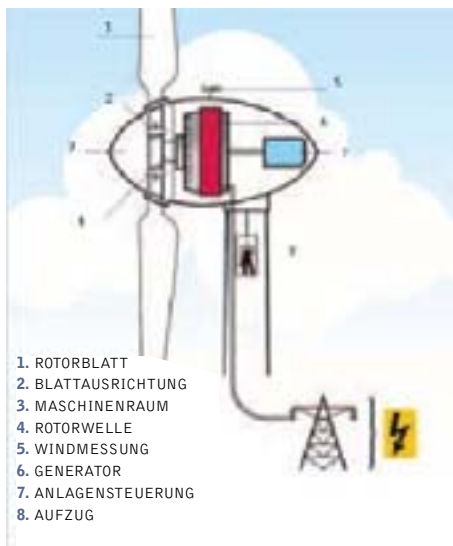
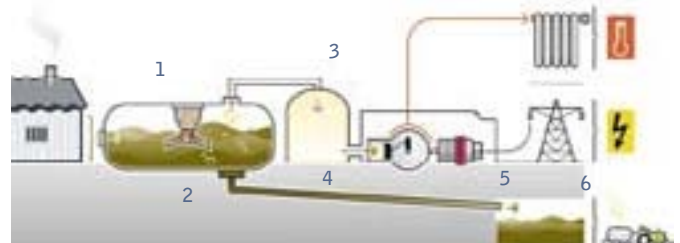


Abb. 37: Biomasse-Technologie



1. BEHEIZTER RÜHRER
2. FERMENTATIONS-BEHÄLTER
3. BIOGASSPEICHER
4. VERBRENNUNGSMOTOR
5. GENERATOR
6. ABFALL-BEHÄLTER

Biomasse-Technologie

Zur Erzeugung von Energie aus Biomasse können eine Reihe von Verfahren eingesetzt werden. Diese unterscheidet man in thermische Systeme, u.a. die Direktverbrennung entweder von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen, die durch Pyrolyse oder Vergasung hergestellt werden, und biologische Systeme, darunter die Zersetzung von fester Biomasse in flüssige oder gasförmige Treibstoffe durch Prozesse wie anaeroben Abbau und Fermentation.

Thermische Systeme

- **Direktverbrennung:** Die Direktverbrennung ist der üblichste Weg zur Umwandlung von Biomasse in Energie, zur Wärme- wie zur Stromerzeugung. Weltweit beträgt ihr Anteil an der Energieerzeugung aus Biomasse 90 %. Die Technologien können in Festbettverbrennung, Wirbelschichtverbrennung und Flugstromverbrennung unterteilt werden. Bei der Festbettverbrennung, z.B. einem Rostofen, wird Primärluft durch ein Festbett geleitet, in dem die Trocknung, Vergasung und Verbrennung der Holzkohle stattfindet. Die entstehenden Brenngase werden nach Zuführung der Sekundärluft verbrannt, normalerweise in einem vom Festbett getrennten Bereich. Bei der Wirbelschichtverbrennung strömt die primäre Brennluft vom Boden des Ofens mit einer so hohen Geschwindigkeit ein, dass das Material im Ofen zu einer brodelnden Masse aus Partikeln und Blasen wird. Die Flugstromverbrennung eignet sich für Brennstoffe in Form von kleinen Partikeln, wie Sägemehl oder feine Späne, die pneumatisch in den Ofen eingeleitet werden.
- **Vergasung:** Biomassebrennstoffe werden zunehmend unter Verwendung fortgeschrittener Umwandlungstechnologien, wie Vergasungssystemen, hergestellt, die im Vergleich zur konventionellen Stromerzeugung eine überlegene Effizienz aufweisen. Die Vergasung ist ein thermochemischer Prozess, bei dem Biomasse mit geringer oder ohne Sauerstoffzufuhr erhitzt wird und ein Gas mit geringem Energiegehalt entsteht. Dieses Gas kann dann in Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren zur Elektrizitätsgewinnung eingesetzt werden. Durch Vergasung lassen sich auch gegenüber der Stromproduktion mit Direktverbrennung und Dampfkreislauf die Emissionsraten senken.
- **Pyrolyse:** Die Pyrolyse ist ein Prozess, bei dem die Biomasse unter Luftabschluss hohen Temperaturen ausgesetzt wird, wodurch sie sich zersetzt. Die Produkte der Pyrolyse enthalten immer Gas („Biogas“), Flüssigkeit („Bioöl“) und Feststoffe („Kohle“), wobei die relativen Anteile jeweils von den Eigenschaften des Brennstoffes, der Pyrolysemethode und den Reaktionsparametern wie Temperatur und Druck abhängen. Niedrigere Temperaturen lassen mehr feste und flüssige Produkte entstehen, und höhere Temperaturen mehr Biogas.

Biologische Systeme

Diese Verfahren sind geeignet für sehr feuchte Biomasse wie Lebensmittelreste oder landwirtschaftliche Abfälle, einschließlich Flüssigmist.

- **Anaerober Abbau:** Anaerober Abbau ist die Zersetzung von organischem Abfall durch Bakterien in einer sauerstofffreien Umgebung. Dabei entsteht ein Biogas, das typischerweise aus 65% Methan und 35% Kohlendioxid besteht. Gereinigtes Biogas kann dann zur Wärme- oder Stromgewinnung verwendet werden.
- **Fermentation:** Fermentation ist ein Prozess, bei dem Pflanzen mit hohem Zucker- und Stärkegehalt mit der Hilfe von Mikroorganismen aufgespalten werden, wobei Ethanol und Methanol entstehen. Das Endprodukt ist ein brennbarer Treibstoff, der in Fahrzeugen genutzt werden kann.

Die Kapazität von Biomassekraftwerken beträgt üblicherweise bis zu 15 MW, doch größere Anlagen können eine Kapazität von bis zu 400 MW erreichen, wobei fossile Brennstoffe wie pulverisierte Kohle einen potenziellen Teil des zugeführten Brennstoffes ausmachen. Das weltweit größte Biomassekraftwerk der Welt befindet sich im finnischen Pietarsaari. Diese industrielle Kraft-Wärme-Kopplungsanlage wurde 2001 gebaut und produziert Dampf (100 MWth) sowie Strom (240 MWe) für die örtliche Holzindustrie und Fernwärme für die nahegelegene Stadt. Beim Kessel handelt es sich um einen Wirbelschichtkessel, der dafür entwickelt wurde, aus Borke, Sägemehl, Altholz, kommerziellem Biotreibstoff und Torf Dampf zu erzeugen.

Eine von Greenpeace Niederlande in Auftrag gegebene Studie ergab 2005, dass es technisch möglich ist, ein 1.000 MWe-Biomassekraftwerk zu bauen und zu betreiben, das mit der Wirbelschichtverbrennungstechnologie arbeitet und Pellets aus Altholz verfeuert.¹⁶⁾

Fußnote

16 GREENPEACE NETHERLANDS „OPPORTUNITIES FOR 1,000 MWE BIOMASS-FIRED POWER PLANT IN THE NETHERLANDS“, MÄRZ 2005

Geothermische Energie

Geothermische Energie ist Wärme, die tief unter der Erdkruste gewonnen wird. In den meisten Regionen erreicht diese Wärme die Oberfläche in sehr diffusen Zustand. Aufgrund vielfältiger geologischer Prozesse befinden sich jedoch unter manchen Gegenden wie dem Westen der USA, West- und Mitteleuropa, Island, Asien und Neuseeland relativ seichte geothermische Ressourcen. Diese werden nach niedrigen Temperaturen (weniger als 90° C), mittleren Temperaturen (90°–150° C) und hohen Temperaturen (über 150° C) klassifiziert. Die Verwendung dieser Ressourcen hängt von der Temperatur ab. Die höchsten Temperaturen werden normalerweise zur elektrischen Energieerzeugung verwendet. Die derzeitige globale geothermische Produktionskapazität beträgt insgesamt etwa 8.000 MW. Der Einsatzbereich von niedrigen und mittleren Temperaturen lässt sich in zwei Kategorien einteilen: direkte Verwendung und Erdwärmepumpen.

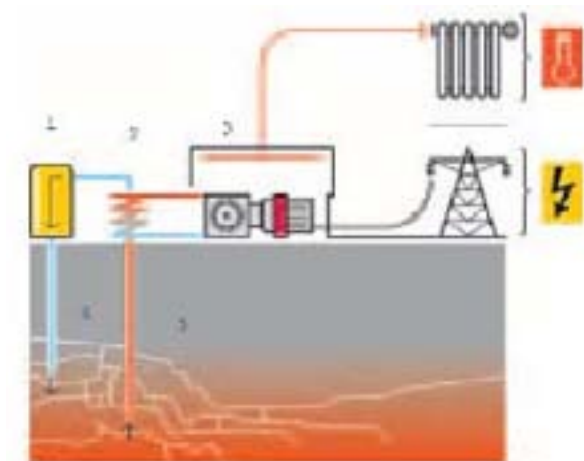
Erdwärmekraftwerke nutzen die natürliche Erdwärme zum Verdampfen von Wasser oder einem organischen Medium. Der erzeugte Dampf treibt eine Turbine an, mit der Strom produziert wird. In Neuseeland und Island wird diese Technik schon seit Jahrzehnten umfangreich genutzt. In Deutschland, wo viele Kilometer tief gebohrt werden muss, um die notwendigen Temperaturen zu erreichen, befindet sie sich noch in der Erprobungsphase. Geothermische Wärmekraftwerke benötigen niedrigere Temperaturen und verwenden das erwärmte Wasser direkt.

Wasserkraft

Wasser wird schon seit etwa einem Jahrhundert zur Stromgewinnung eingesetzt. Heute wird etwa ein Fünftel der weltweiten Elektrizität aus Wasserkraft produziert. Doch große hydroelektrische Kraftwerke mit Betondämmen und großen Stauseen haben oft sehr negative Auswirkungen auf die Umwelt und erfordern mitunter die Überflutung von bewohnten Gebieten. Kleinere Flusskraftwerke mit Turbinen, die durch fließendes Wasser angetrieben werden, können Strom auf umweltfreundliche Weise erzeugen.

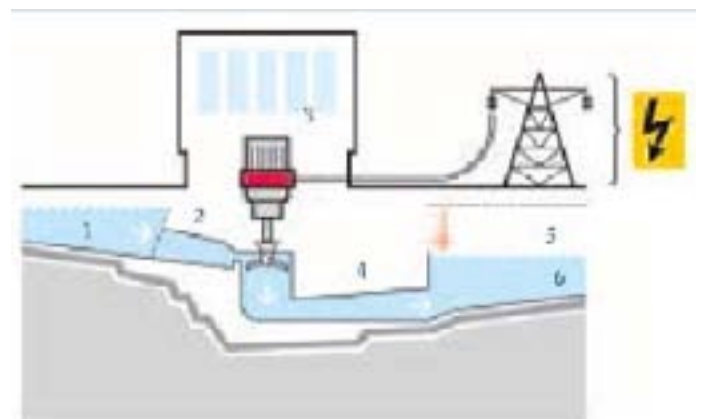
Die Hauptvoraussetzung für Wasserkraft ist die Schaffung einer künstlichen Fallhöhe, sodass das durch einen Einlasskanal oder eine Röhre in die Turbine geleitete Wasser wieder flussabwärts in den Fluss gelangt. Kleine Wasserkraftwerke liegen meistens an Flüssen und sammeln keine wesentlichen Mengen von Stauwasser an, welche den Bau von großen Dämmen und Speichern notwendig machen würden. Es gibt zwei große Kategorien von Turbinen: Impulsturbinen (vor allem die Pelton-Turbine), in der ein Wasserstrahl auf ein Laufrad auftrifft, welches die Richtung des Strahls umkehrt und dabei kinetische Energie aus dem Wasser gewinnt. Diese Turbinen sind für große Fallhöhen und „geringe“ Wassermengen geeignet. Reaktionsturbinen (vor allem Francis- und Kaplan-Turbinen) laufen mit Wasser voll und erzeugen dadurch hydrodynamische „Auftriebskräfte“, mit denen die Schaufeln angetrieben werden. Diese Turbinen eignen sich für mittlere bis geringe Fallhöhen und mittlere bis große Wassermengen.

Abb. 38: Geothermie



1. PUMPE
2. WÄRMETAUSCHER (PRODUZIERT DAMPF)
3. GASTURBINE
4. BOHRLOCH FÜR DIE WASSERINJEKTION
5. GENERATOR
6. ABFALL-BEHÄLTER

Abb. 39: Wasserkrafttechnologie



1. ZULAUF
2. SIEB
3. GENERATOR
4. TURBINE
5. WASSERSPIEGEL
6. ABFLUSS

Meeresenergie

Gezeitenkraft

Die Gezeitenkraft kann durch den Bau eines Damms oder einer Talsperre an einer Mündung oder Bucht mit einem Gezeitenunterschied von mindestens 5 Metern nutzbar gemacht werden. Tore in der Talsperre fangen das bei Flut hereinströmende Wasser in einem dahinterliegenden Becken auf. Dann werden die Tore geschlossen, sodass bei Ebbe das Wasser durch Turbinen geleitet und Strom erzeugt werden kann. Gezeitenkraftwerke sind an Mündungen in Frankreich, Kanada und China errichtet worden, doch die Mischung aus hohen Kostenprognosen und ökologischen Bedenken bezüglich der Lebensräume an diesen Mündungen haben die weitere Entwicklung dieser Technologie gebremst.

Wellen- und Gezeitenströmungskraft

Bei der Stromerzeugung durch Wellenkraft interagieren verschiedene Elemente mit den ankommenden Wellen und wandeln diese Energie durch ein hydraulisches, mechanisches oder pneumatisches Energieübertragungssystem in Strom um. Die Elemente werden durch ein Verankerungssystem in ihrer Position gehalten oder direkt im Meeresboden oder am Ufer vertäut. Der Strom wird über ein flexibles Unterwasserstromkabel zum Meeresboden und durch ein Unterseekabel zum Ufer transportiert.

Wellenkraftumwandler können aus verbundenen Gruppen mit kleineren Generatoreinheiten von 100–500 kW bestehen, oder mehrere mechanische oder hydraulische zusammengeschaltete Module können eine einzelne größere Turbinengeneratoreinheit mit 2–20 MW versorgen. Die großen Wellen, die notwendig sind um die Technologie kosteneffektiver zu machen, finden sich meist in großer Entfernung zum Ufer und machen daher teure Unterseekabel zum Energietransport erforderlich. Die Umwandler selbst benötigen sehr viel Platz. Wellenkraft hat den Vorteil, dass sie eine berechenbarere Versorgung bietet als Windenergie und auf dem Meer keine große optische Beeinträchtigung darstellt.

Es gibt noch keine kommerziell führende Technologie zur Wellenkraftumwandlung. Verschiedene Systeme werden derzeit auf See für Prototyptests entwickelt. Dazu zählen auch eine auf Hawaii installierte 50 kW starke Schwimmbojenanlage, eine in Schottland laufende 750 kW starke Pelamis-Anlage mit verbundenen zylindrischen Hohlzylindern, die sich halb unter Wasser befinden, eine 300 kW starke Unterwassergezeitenturbine im Südwesten Englands, eine 150 kW starke im Meeresboden verankerte Stingray, die ebenfalls mit Gezeitenströmung betrieben wird, und ein 500 kW starker Wellenkraftgenerator an der Küste der Insel Islay vor Schottland. Die meiste Entwicklungsarbeit ist bisher vom Vereinigten Königreich geleistet worden.

Energieeffizienz – mehr mit weniger

Energieeffizienz hat oft mehrere positive Effekte. Zum Beispiel benötigt eine effiziente Waschmaschine oder Geschirrspülmaschine weniger Strom und weniger Wasser. Effizienz bedeutet auch mehr Komfort. Ein gut isoliertes Haus beispielsweise ist im Winter wärmer, im Sommer kühler und gesünder für seine Bewohner. Ein effizienter Kühlschrank macht weniger Lärm, bildet innen kein Eis und außen kein Kondenswasser und hält wahrscheinlich auch länger. Eine effiziente Beleuchtung bietet mehr Licht dort, wo es benötigt wird. Effizienz bedeutet also wirklich: „mehr mit weniger“.

In der Effizienz liegt ein enormes Potenzial. Es gibt viele einfache Dinge, die rund ums Haus getan werden können, wie z.B. eine zusätzliche Dachisolierung, die Verwendung von gut gedämmten Glasfenstern oder der Kauf einer hocheffizienten Waschmaschine als Ersatz für die alte. All diese Beispiele sparen sowohl Energie als auch Geld ein. Noch größere Einsparpotenziale finden sich aber, wenn man über diese schrittweisen Verbesserungen hinausgeht, und in großen Begriffen denkt, also „das ganze Haus“, „das ganze Auto“ oder sogar „das ganze Verkehrssystem“. Wenn man dies tut, dann kann der Energieverbrauch im Vergleich zur heute benötigten Energie überraschend oft um das Vier- bis Zehnfache verringert werden.

Beispielsweise beim Haus: Durch die gründliche Isolierung der gesamten Außenhülle (vom Dach bis zum Fundament) sinkt der Wärmebedarf so sehr, dass man eine kleinere und billigere Heizung installieren kann – und damit die zusätzlichen Isolierungskosten wieder einspart. Das Ergebnis ist ein Haus, das nur ein Drittel der Energie benötigt, ohne höhere Baukosten zu verursachen. Durch weitere Isolierung und den Einbau eines hocheffizienten Ventilationssystems wird der Wärmebedarf auf ein Zehntel reduziert. Tausende dieser supereffizienten Häuser sind in den letzten zehn Jahren erfolgreich in Europa gebaut worden. Das ist kein Zukunftstraum, sondern Alltag.

Hier ein weiteres Beispiel: Stellen Sie sich vor, Sie leiten ein Büro. Während der Sommermonate bläst eine Klimaanlage kalte Luft auf die Schultern Ihrer Mitarbeiter, damit sie leistungsfähig bleiben. Da dies jedoch ziemlich kostspielig ist, könnten Sie einen findigen Techniker damit beauftragen, die Effizienz der Kühlanlage zu verbessern. Doch warum sollte man stattdessen nicht einen Schritt zurückgehen und sich das gesamte System anschauen. Wenn wir zuerst das Gebäude so modifizieren, dass die Büros von der Sonne nicht mehr wie Backöfen aufgeheizt werden, dann energieeffizientere Computer, Kopiergeräte und Lampen (welche Strom sparen und weniger Wärme erzeugen) einsetzen und anschließend ein passives Kühlsystem wie z.B. eine Nachtventilation installieren – dann könnten Sie zu dem Schluss kommen, dass Sie gar keine Klimaanlage mehr brauchen. Wenn natürlich das Gebäude anständig geplant und gebaut worden wäre, hätten Sie die Klimaanlage erst gar nicht gekauft.



Elektrizität

Es existiert ein gewaltiges Potenzial für Stromeinsparungen in relativ kurzer Zeit. Durch das bloße Ausschalten des Stand-By-Modus und die Umstellung auf Energiesparlampen könnten Verbraucher in jedem Haushalt Strom und Geld einsparen. Wenn die Mehrheit aller Haushalte dies täte, dann könnten mehrere große Kraftwerke praktisch sofort abgeschaltet werden. Die folgende Tabelle stellt eine kurze Übersicht über mittelfristige Maßnahmen im industriellen und privaten Bereich dar:

Tabelle 14: Beispiele für Energieeinsparpotenziale

SEKTOR	EFFIZIENZMASSNAHME	STROMERSPARNIS
Industrie	Effiziente Motorsysteme	30-40%
	Höhere Aluminium-Recyclingquote	35-45%
Andere Sektoren	Effiziente Haushaltsgeräte	30-80%
	Effiziente Bürogeräte	50-75%
	Effiziente Kühlanlagen	30-60%
	Effiziente Beleuchtung	30-50%
	Reduzierung der Stand-By-Zeiten	50-70%
	Reduzierung des Energieverbrauchs außerhalb der Bürozeiten	bis zu 90%

Quelle: ECOFYS 2006, GLOBAL ENERGY DEMAND SCENARIOS

Heizung

Isolierung und eine thermische Bauweise können Wärmeverluste drastisch reduzieren und dazu beitragen, den Klimawandel aufzuhalten. Die zum Heizen benötigte Energie in existierenden Gebäuden kann im Durchschnitt um 30–50% gesenkt werden. In neuen Gebäuden kann sie um 90–95% reduziert werden, wenn man verfügbare und wettbewerbsfähige Technologien und Bauweisen einsetzt.

Mit Wärmebildern können Wärmeverluste leicht aufgespürt werden (Siehe Bild 1 und 2). Eine Wärmebildkamera zeigt Details, die das Auge nicht erkennen kann. Gebäudeteile mit einer höheren Außentemperatur als andere erscheinen gelbrot. Also entweicht in diesen Bereichen Wärme durch Löcher oder schlechte Dämmmaterialien, und wertvolle Energie geht verloren. Das führt sowohl zu einer Schädigung der Umwelt durch die Verschwendung von Energieressourcen als auch zu unnötigen Kosten für Hausbesitzer und Mieter. Typische Schwachstellen sind Fensterscheiben und -rahmen sowie dünne Wände unterhalb der Fenster, wo normalerweise die Heizkörper hängen und die Isolierung optimal sein müsste.

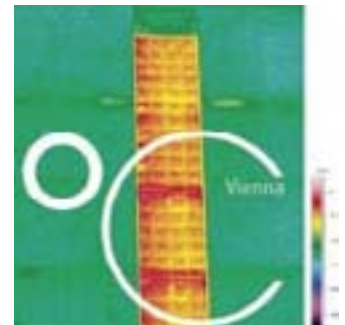


Bild 1: WIEN AM SCHÖPFWERK-SIEDLUNG. NEBEN WÄRMEVERLUSTEN DURCH DIE FENSTER FINDEN SICH MEHRERE WÄRMEBRÜCKEN IM BAU.

Bild 2: LUXEMBURG TWINERG GASKRAFTWERK. DIE ABLUFTFAHNE DES ABGASES IST MIT BLOSSEM AUGE NICHT ZU SEHEN. DAS THERMOGRAPHIE-BILD MACHT DIE VERSCHWENDUNG VON ENERGIE SICHTBAR.

Energieeffizienz im Energie[R]evolution-Szenario

In dieser Studie wurden eine Reihe an Möglichkeiten berücksichtigt, wie sich der Energiebedarf bis 2050 verringern lässt. Die Analyse konzentriert sich auf bewährte Technologien. Das Szenario geht von anhaltenden Innovationen im Bereich der Energieeffizienz und der ständigen Verbesserung bewährter Technologien aus. Die Tabelle unten zeigt die in den drei Sektoren – Industrie, Verkehr und Haushalt/Dienstleistungen – verwendeten. Ein paar Beispiele werden hier ausführlicher behandelt.

Tabelle 15: Energieeffizienzmaßnahmen

SEKTOR	REDUZIERUNGSMÖGLICHKEIT
Industrie	
Allgemein	Effiziente Motorsysteme
Allgemein	Wärmeintegration/Pinch-Analyse
Allgemein	Verbesserte Verfahrenskontrolle
Aluminium	Steigerung von Sekundäraluminium
Eisen und Stahl	Hochofen-Kohleeinblasung
Eisen und Stahl	BOF (Basic Oxygen Furnace) Gas- und Wärmerückgewinnung
Eisen und Stahl	Dünnbrammengießen
Chemische Industrie	Membrantrennung von Produkten
Verkehr	
Pkw	Effiziente PKW/Hybridfahrzeuge
Güterverkehr	Effiziente Transportfahrzeuge
Busse	Effiziente Busse
Andere	
Haushalte u. Dienstleistungen	Effiziente elektrische Geräte
Dienstleistungen	Effiziente Kühlanlagen
Haushalte u. Dienstleistungen	Effiziente Beleuchtung
Haushalte u. Dienstleistungen	Reduzierung von Stand-By-Verlusten
Haushalte u. Dienstleistungen	Verbesserte Wärmedämmung
Dienstleistungen	Verringerter Stromverbrauch außerhalb der Bürozeiten
Landwirtschaft und anderes	Energieeffizienzverbesserungen

Industrie

Ungefähr 65% des Energieverbrauchs in der Industrie wird verwendet, um elektrische Motorsysteme anzutreiben. Dies kann durch den Einsatz von drehzahlvariablen Antrieben, hocheffizienten Motoren, effizienten Pumpen, Kompressoren und Ventilatoren reduziert werden. Das Einsparpotenzial beträgt bis zu 40%.

Die Produktion von Primäraluminium aus Aluminiumoxid (das aus Bauxit besteht) ist ein sehr energieintensiver Prozess. Indem Aluminiumoxid mit Kryolith geschmolzen und durch Gleichstrom elektrolysiert wird entsteht an der Elektrode Aluminium. Eine weitere Möglichkeit ist die Gewinnung von Aluminium aus recyceltem Schrott. Das bezeichnet man als Sekundärproduktion. Sekundäraluminium benötigt nur 5 bis 10% der Energie der Primärproduktion, weil nur das erneute Schmelzen des Metalls und kein elektrochemischer Reduktionsprozess notwendig ist. Falls das Recycling von 22% der Aluminiumproduktion im Jahr 2005 auf 60% im Jahr 2050 ansteigt, würde das 45% des gegenwärtigen Energiebedarfs einsparen.

Verkehr

Der Gebrauch von Hybridfahrzeugen (Elektro-/Verbrennungsmotor) und andere Effizienzmaßnahmen könnten den Energieverbrauch von Pkw um bis zu 80% im Jahr 2050 senken.

Haushalte/Dienstleistungen

Der Energieverbrauch durch Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen, Fernsehgeräte und Kühlschränke könnte bei Verwendung der besten verfügbaren Alternativen um 30% und mit fortgeschrittenen Technologien um 80% gesenkt werden. Der Energieverbrauch bei Bürogeräten kann durch die Kombination von Energiemanagement und energieeffizienten Computersystem um 50–75% reduziert werden.

Das Einschalten des Stand-By-Modus bei Geräten ist im Durchschnitt für 5–13% des Haushaltsstrombedarfs in OECD-Staaten verantwortlich. Das Ersetzen vorhandener Geräte durch welche mit möglichst niedrigen Energieverlusten würde den Stand-By-Stromverbrauch um 70% verringern.

Verbesserungen beim Haus und effektive Wärmeisolierung könnten bis zu 80% des durchschnittlichen Wärmebedarfs von Gebäuden einsparen.

Empfehlungen an die Politik

„...BEITRAGEN ZU NACHHALTIGEM WIRTSCHAFTSWACHSTUM, HOCHWERTIGEN ARBEITSPLÄTZEN, TECHNOLOGIEENTWICKLUNG, GLOBALER KONKURRENZFÄHIGKEIT UND FÜHRUNG IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG.“

8



Zu einer Zeit, in der Regierungen auf der ganzen Welt im Begriff sind, ihre Strommärkte zu liberalisieren, sollte die steigende Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien eigentlich zu einer höheren Nachfrage führen. Doch ohne politische Unterstützung bleiben die erneuerbaren Energien im Nachteil; sie werden an den Rand gedrängt durch Verzerrungen auf den Weltenergiemärkten, die das Ergebnis einer jahrzehntelangen, massiven finanziellen, politischen und strukturellen Förderung konventioneller Technologien sind. Die Entwicklung der erneuerbaren Energien erfordert daher intensive Bemühungen der Politik und der Wirtschaft, vor allem durch Gesetze, die für die nächsten 20 Jahre stabile Tarife garantieren.

Im Moment müssen die Produzenten erneuerbarer Energie mit alten atomaren und fossilbefeuerten Kraftwerken konkurrieren, die Elektrizität zu Grenzkosten herstellen, da die Verbraucher und Steuerzahler die Zinsen und Abschreibungen der früheren Investitionen bereits bezahlt haben. Die Politik muss handeln, um diese Verzerrungen zu beseitigen und faire Voraussetzungen zu schaffen.

Der folgende Text stellt einen Überblick über aktuelle politische Rahmenbedingungen und Barrieren dar, die überwunden werden müssen um das große Potenzial der erneuerbaren Energien freizusetzen, damit sie zur Hauptsäule in der globalen Energieversorgung werden. Dieser Prozess würde auch zu einem nachhaltigen Wirtschaftswachstum und zu qualifizierten Arbeitsplätzen, zu technologischer Entwicklung und globaler Konkurrenzfähigkeit sowie zu einer Führungsrolle im Bereich der Industrie und Forschung beitragen.

Ziele für erneuerbare Energien

In den vergangenen Jahren hat eine steigende Zahl von Ländern Ziele für erneuerbare Energien festgesetzt – entweder als Teil ihrer Strategie zur Reduzierung von Treibhausgasen oder zur verbesserten Energieversorgungssicherheit. Diese Ziele werden entweder in Form von installierten Kapazitäten oder als prozentualer Anteil des Energieverbrauchs ausgedrückt. Obwohl sie in den meisten Fällen nicht rechtlich verpflichtend sind, haben sie doch als wichtiger Katalysator für den steigenden Anteil erneuerbarer Energien auf der ganzen Welt, von Europa über Fernost bis zu den USA, gedient.

Ein Zeitrahmen von nur wenigen Jahren reicht im Elektrizitätssektor, wo die Investitionsdauer bis zu 40 Jahre betragen kann, nicht aus. Ziele für erneuerbare Energien müssen daher kurz-, mittel- und langfristige Schritte beinhalten und außerdem rechtlich bindend sein, um wirklich einen Effekt zu haben. Sie sollten auch durch solche Mechanismen wie Einspeisetarife (Feed-in-Tariffs) unterstützt werden. Damit der Anteil der erneuerbaren Energien signifikant zunehmen kann, müssen in Übereinstimmung mit dem regionalen Potenzial für jede Technologie (Wind, Solar, Biomasse etc.) und der örtlichen bestehenden und geplanten Infrastruktur Zielsetzungen festgelegt werden.

In den letzten Jahren hat die Wind- und Solarindustrie beweisen, dass es möglich ist, eine Wachstumsrate von 30 bis 35% im Sektor der erneuerbaren Energien zu halten. In Kooperation mit der European Photovoltaic Industry Association, der European Solar Thermal Power Industry Association und der European Wind Energy Association¹⁷⁾ Greenpeace und EREC die Entwicklung dieser Bereiche seit 1990 dokumentiert und eine Wachstumsprognose bis 2020 entworfen.

Fußnote

17 SOLAR GENERATION (EPIA), „CONCENTRATED SOLAR THERMAL POWER – NOW!“ (GREENPEACE), „WINDFORCE 12“ (EWEA), „GLOBAL WIND ENERGY OUTLOOK 2006“, GWEC



Anforderungen an den Energiesektor

Greenpeace und die Erneuerbare-Energien-Industrie haben eine klare Vorstellung, welche Veränderungen der Energiepolitik zur Stärkung erneuerbarer Quellen notwendig sind. Die Hauptforderungen sind:

- Das Ende aller Subventionen für fossile und atomare Energie und die Kosteninternalisierung
- Die Verabschiedung rechtlich bindender Ziele für erneuerbare Energie
- Die Festsetzung definierter und stabiler Renditen für Investoren
- Strikte Effizienz-Standards für alle energieverbrauchenden Geräte, Gebäude und Fahrzeuge.
- Ein garantierter bevorzugter Netzzugang für Produzenten erneuerbarer Energie

Konventionelle Energiequellen erhalten jährlich geschätzte 250–300 Milliarden US-Dollar¹⁸⁾ Subventionen weltweit. Das Worldwatch Institute schätzt die weltweiten gesamten Kohlesubventionen auf 63 Milliarden USD, davon allein in Deutschland auf insgesamt 21 Milliarden einschließlich der direkten Unterstützung von über 85.000 USD pro Bergarbeiter. Subventionen verringern den Energiepreis künstlich, halten erneuerbare Energie vom Markt fern und stützen wettbewerbsunfähige Technologien und Brennstoffe. Die Abschaffung direkter und indirekter Subventionen für fossile Brennstoffe und Atomkraft würde dazu beitragen, auf dem Energiesektor gerechtere Bedingungen zu schaffen. Der Bericht der G8 Renewable Energy Task Force von 2001 sagt, dass „die Umadressierung [von Subventionen] und selbst eine geringe Umleitung dieser beträchtlichen Finanzströme zu den erneuerbaren Energien eine Möglichkeit darstellt, öffentliche Ziele konsequent zu verfolgen und gesellschaftliche wie ökologische Kosten in die Preise miteinzubeziehen“. Die Task Force empfahl, dass „die G8-Staaten Maßnahmen ergreifen sollten, um Anreize und andere Unterstützungen für umweltschädliche Energietechnologien zu beseitigen, und durch die Entwicklung und Einführung marktbasierender Mechanismen äußere Bedingungen schaffen sollten, die es den Technologien der erneuerbaren Energien ermöglichen, auf einer gerechteren und gleicheren Basis zu konkurrieren“.

Erneuerbare Energien bräuchten keine besonderen Vorkehrungen, wenn die Märkte nicht durch die Tatsache, dass es die Elektrizitätshersteller praktisch nichts kostet, die Umwelt zu verschmutzen, verzerrt wären. Subventionen für voll wettbewerbsfähige und umweltbelastende Technologien sind höchst unproduktiv. Die Abschaffung von Subventionen für konventionelle Elektrizität würde nicht nur dem Steuerzahler Geld sparen. Sie würde auch den Bedarf an Unterstützung für erneuerbare Energien drastisch senken.

Im Folgenden wird ausführlicher beschrieben, was unternommen werden muss, um die aktuellen Verzerrungen auf dem Energiemarkt zu beseitigen oder zu kompensieren.

1. Beseitigung der Verzerrungen auf dem Energiemarkt

Eine große Hürde, die erneuerbare Energien an der Entfaltung ihres vollen Potenzials hindert, ist das Fehlen einer Preisstruktur auf den Energiemärkten, die die gesamten Kosten der Stromerzeugung für die Gesellschaft reflektiert. Mehr als ein Jahrhundert lang war die Stromproduktion charakterisiert durch nationale Monopole und die Vollmacht, Investitionen in neue Produktionskapazitäten durch staatliche Subventionen und/oder Erhöhungen der Stromrechnungen zu finanzieren. Da viele Länder auf dem Weg zu einem liberalisierteren Strommarkt sind, stehen diese Optionen nicht mehr zur Verfügung, was für neue Produktionstechnologien wie Windkraft einen Wettbewerbsnachteil gegenüber den vorhandenen Technologien bedeutet. Diese Situation erfordert eine Reihe von Gegenmaßnahmen.

Internalisierung der Kosten umweltschädigender Energie für Gesellschaft und Umwelt

Die wirklichen Kosten der konventionellen Energieproduktion beinhalten auch Ausgaben, die von der Gesellschaft aufgefangen werden, wie Gesundheitsschädigungen, örtliche und regionale Umweltzerstörung – von Quecksilberbelastungen bis saurem Regen – sowie die weltweiten negativen Folgen des Klimawandels. Versteckte Kosten sind u.a. der Verzicht auf eine Versicherung für atomare Unfälle, die zu teuer ist um von den Betreibern bezahlt zu werden. Der Price-Anderson-Act begrenzt zum Beispiel die Haftung der US-amerikanischen Atomkraftwerke im Falle eines Unfalls auf eine Entschädigung von bis zu 98 Millionen USD pro Kraftwerk, und nur 15 Millionen pro Kraftwerk und Jahr, während für den Rest auf einen Industriefond in Höhe von 10 Milliarden USD zugegriffen werden kann. Danach zahlt der Steuerzahler.¹⁹⁾ Umweltschäden sollten zuallererst an der Quelle behoben werden. Übertragen auf die Energiegewinnung würde dies bedeuten, dass bei der Energieproduktion idealerweise keine Schäden entstehen und dass es die Aufgabe der Energieproduzenten ist, diese zu verhindern. Wenn sie die Umwelt verschmutzen, sollten sie einen Betrag in Höhe des Schadens, den ihre Energieproduktion der ganzen Gesellschaft zufügt, zahlen. Allerdings kann es schwierig sein, die Auswirkungen der Stromherstellung auf die Umwelt zu beziffern. Wie können wir einen Preis festlegen für ein verlorenes Heim auf den pazifischen Inseln als Resultat schmelzender Pole oder für die Beeinträchtigung von Gesundheit und Menschenleben?

Ein ehrgeiziges, von der Europäischen Kommission finanziertes Projekt – ExternE – versucht, die wirklichen, auch ökologischen Kosten der Stromgewinnung zu quantifizieren. Die Studie schätzt, dass die Kosten für die Stromerzeugung aus Kohle oder Öl um das Doppelte und für die Stromgewinnung aus Gas um 30% steigen würden, wenn externe Kosten in Form von Umwelt- und Gesundheitsschäden Berücksichtigung finden würden. Falls diese ökologischen Kosten entsprechend ihrer Auswirkungen der Stromerzeugung zugeschlagen würden, dann bräuchten viele erneuerbare Energiequellen gar keine Unterstützung. Falls parallel dazu direkte und indirekte Subventionen für fossile Brennstoffe und Atomkraft abgeschafft würden, dann würde der Bedarf der erneuerbaren Stromerzeugung an Förderung drastisch sinken oder sogar verschwinden.

Fußnote

18 UNDP-BERICHT

19 [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PRICE-ANDERSON_NUCLEAR_INDUSTRIES_INDEMNITY_ACT](http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson_Nuclear_Industries_Indemnity_Act)

Einführung des Verursacherprinzips

Wie die anderen Subventionen auch müssen die externen Kosten bei den Energiepreisen berücksichtigt werden, wenn auf dem Markt echter Wettbewerb herrschen soll. Dazu ist es erforderlich, dass Regierungen ein Verursacherprinzip anwenden, das die Verursacher entsprechend belastet oder Nichtverursachern angemessene Entschädigungen bietet. Die Einführung des Verursacherprinzips bei den Energiequellen oder eine entsprechende Entschädigung für erneuerbare Energiequellen und die Ausnahme von erneuerbaren Energien bei einer umweltbezogenen Energiesteuer sind wesentlich für einen gerechteren Wettbewerb auf den Energiemärkten dieser Welt.

2. Reform des Strommarktes

Technologien für erneuerbare Energien könnten längst konkurrenzfähig sein, wenn sie in denselben Genuss von Finanzmitteln und Subventionen im Bereich Forschung und Entwicklung gekommen wären wie andere Energiequellen und wenn die externen Kosten in die Energiepreise einbezogen würden. Wenn neue Technologien für erneuerbare Energien in größerem Umfang akzeptiert werden sollen, sind grundlegende Reformen im Stromsektor notwendig. Zu diesen Reformen gehört:

Beseitigung von Hürden im Stromsektor

Komplexe Zulassungsverfahren und bürokratische Hindernisse sind eine der schwierigsten Hürden für Erneuerbare-Energie-Projekte in vielen Ländern. Ein klarer Zeitplan für die Genehmigung von Projekten sollte für alle Verwaltungen auf allen Ebenen festgelegt werden. Erneuerbare-Energie-Projekte sollten Priorität erhalten. Regierungen sollten der aktuellen Gesetzgebung detailliertere Verfahrensrichtlinien vorschlagen und gleichzeitig die Zulassungsverfahren für Projekte mit erneuerbaren Energien rationalisieren.

Ein großes Problem ist der kurz- bis mittelfristige Überschuss der Stromproduktionskapazität in vielen OECD-Staaten. Aufgrund der Überkapazität ist es immer noch billiger, mehr Kohle oder Gas in einem vorhandenen Kraftwerk zu verfeuern, als ein neues Kraftwerk mit erneuerbaren Energien zu bauen, zu finanzieren und abzuschreiben. In der Folge wird selbst dann, wenn eine neue Technologie voll wettbewerbsfähig mit neuen Kohle- oder Gaskraftwerken wäre, die Investition nicht getätigt. Solange wir keine Situation schaffen, wo die Strompreise allmählich die Investitionskosten für neue Kapazitäten statt die Grenzkosten für vorhandene Kapazitäten reflektieren, können gleiche Voraussetzungen nur durch eine Förderung für erneuerbare Energie geschaffen werden.

Andere Hürden sind das Fehlen einer Langzeitplanung auf nationaler, regionaler und örtlicher Ebene; das Fehlen einer integrierten Ressourcenplanung; das Fehlen einer integrierten Netzplanung und -verwaltung; das Fehlen einer Vorhersehbarkeit und Stabilität der Märkte; das Fehlen rechtlicher Grundlagen für internationale Gewässer; vertikal integrierte Unternehmen als Netzeigentümer und das Fehlen einer langfristigen Finanzierung von Forschung und Entwicklung.

Außerdem gibt es überhaupt keine Netze für umfangreiche erneuerbare Energiequellen wie z.B. Offshore-Windkraft oder Solarthermische Kraftwerke; schwache oder gar keine Netze an der Küste; wenig Anerkennung der wirtschaftlichen Vorteile einer integrierten/verteilten Erzeugung und diskriminierende Anforderungen von Versorgungsbetrieben für einen Netzzugang, die nicht der Natur der erneuerbaren Technologien entsprechen.

Die Reformen, die Marktbarrieren für erneuerbare Energie beseitigen sollen, beinhalten:

- Rationelle und einheitliche Planungsverfahren und Genehmigungssysteme und eine integrierte Mindestkostenplanung;
- Gerechter Netzzugang zu fairen, transparenten Preisen und die Abschaffung diskriminierender Zugangs- und Durchleitungstarife;
- Faire und transparente Preise für die Durchleitung, Anerkennung der Vorteile und Vergütung einer integrierten Stromerzeugung;
- Die Aufteilung von Versorgungsunternehmen in getrennte Erzeugungs- und Verteilungsunternehmen;
- Das Verteilen der Kosten für die Entwicklung und den Ausbau des Netzes auf die Netzbetreiber und nicht auf die einzelnen Erneuerbaren-Energie-Projekte;
- Kennzeichnung der Stromerzeugung nach Brennstoffen und Umweltauswirkungen für die Endverbraucher. Anhand dieser Information können die Konsumenten ihre Wahl eines Versorgers treffen.

Bevorzugter Netzzugang

Die Regelungen beim Netzzugang, bei der Durchleitung und der Kostenteilung sind oft nicht ausreichend. Die Gesetzgebung muss eindeutig sein, besonders bezüglich der Kostenteilung und der Durchleitungsgebühren. Den Erzeugern erneuerbarer Energie sollte ein bevorzugter Zugang garantiert werden. Wo notwendig, sollten die Kosten zur Netzerweiterung oder -verstärkung von den Netzbetreibern getragen und auf alle Verbraucher umgelegt werden, denn die ökologischen Vorteile der erneuerbaren Energien sind ein öffentliches Gut und das Betreiben eines Netzes stellt ein natürliches Monopol dar.

Fördermaßnahmen für erneuerbare Energie

Der folgende Abschnitt bietet einen Überblick über existierende Fördermaßnahmen und Erfahrungen mit ihrer Anwendung. Fördermaßnahmen bleiben die zweitbeste Lösung zur Korrektur von Marktstörungen im Energiesektor. Doch ihre Einführung ist eine praktische politische Lösung in Anerkennung der Tatsache, dass es kurzfristig keine anderen durchführbaren Wege gibt, das Verursacherprinzip anzuwenden.

Insgesamt gibt es zwei mögliche Anreize zur Entwicklung der erneuerbaren Energie. Diese sind Festpreissysteme, bei denen die Regierung den Strompreis (oder die Gebühr), der an den Hersteller gezahlt wird, festlegt und den Markt die Menge bestimmen lässt, und das Quotenmodell für erneuerbare Energie (in den USA als Renewable Portfolio Standards bekannt), bei dem die Regierung die Menge des Stroms aus erneuerbaren Energien festsetzt und den Markt den Preis bestimmen lässt. Beide Systeme schaffen einen geschützten Markt vor dem Hintergrund der konventionellen Stromerzeuger mit ihren Subventionen und Abschreibungen, deren externe ökologische Kosten nicht berücksichtigt werden. Das Ziel beider Systeme ist die Schaffung von Anreizen für Technologieverbesserungen und Kostenreduzierungen, die zu billigeren erneuerbaren Energien führen, die in der Zukunft mit konventionellen Quellen konkurrieren können.



Der Hauptunterschied zwischen quoten- und preisbasierten Systemen ist der, das Ersteres darauf abzielt, einen Wettbewerb zwischen den Stromproduzenten zu erreichen. Doch der Wettbewerb zwischen den Technologieherstellern, welcher der entscheidende Faktor bei der Reduzierung der Stromerzeugungskosten ist, hängt gegenwärtig nicht davon ab, ob die Regierung die Preise oder die Mengen festlegt. In vielen europäischen quotenbasierten Systemen (Vereinigtes Königreich, Belgien, Italien) sind die an die Windenergieproduzenten gezahlten Preise derzeit höher als in Festpreis- oder Gebührensystemen (Deutschland, Spanien, Dänemark).

Festpreissysteme

Festpreissysteme beinhalten Investitionssubventionen, feste Einspeisungstarife, feste Gebührensysteme und Steuervergünstigungen.

Investitionssubventionen sind Finanzzahlungen auf der Basis der Nennleistung (in kW) des Generators. Es ist jedoch allgemein anerkannt, dass Systeme, die den Umfang der Förderung nach der Generatorgröße statt nach der Menge der erzeugten Energie bemessen, zu einer weniger effizienten Technologieentwicklung führen können. Es gibt daher im Moment weltweit den Trend weg von diesen Zahlungen, auch wenn sie in Kombination mit anderen Anreizen durchaus effektiv sein können.

Feste Einspeisungstarife werden umfangreich in Europa eingesetzt und haben sich als äußerst erfolgreich bei der Ausweitung der Windenergie in Deutschland, Spanien und Dänemark erwiesen. Die Erzeuger erhalten für jede ins Netz eingespeiste kWh Strom einen festgelegten Preis. In Deutschland variieren die gezahlten Preise je nach Ausgereiftheit der jeweiligen Technologie und verringern sich jedes Jahr, um die sinkenden Kosten wiederzugeben. Die zusätzlichen Kosten des Systems werden von den Steuerzahlern oder den Stromverbrauchern gezahlt.

Der Hauptvorteil des Einspeisungstarifsystems ist, dass es wenig Verwaltungsaufwand verursacht und eine bessere Planung fördert. Auch wenn Einspeisungstarife nichts mit einem Stromabnahmevertrag zu tun haben, sind die Verteilungsbetriebe normalerweise verpflichtet, die gesamte Produktion aus erneuerbaren Anlagen zu kaufen. Deutschland hat durch garantierte Zahlungen auf 20 Jahre das politische Risiko einer Systemänderung verringert. Das größte Problem beim Festpreissystem ist, dass es sich nicht gut für eine einfache Anpassung – entweder nach oben oder nach unten – eignet, um Produktionskosten der erneuerbaren Technologien widerzuspiegeln.

Feste Gebührensysteme, manchmal als „Umweltbonussystem“ bezeichnet, funktionieren, indem sie auf den Großhandelsbasispreis eine feste Gebühr aufschlagen. Aus Sicht der Investoren ist der pro kWh erhaltene Gesamtpreis weniger vorhersagbar als beim Einspeisungstarif, da er von einem ständig wechselnden Strompreis abhängt. Aus Sicht des Marktes wird jedoch argumentiert, dass eine feste Gebühr leichter in den Gesamtenergiemarkt zu integrieren ist, da die Betroffenen auf die Signale des Marktpreises reagieren werden. Spanien ist das bekannteste Land, das ein festes Gebührensystem eingeführt hat.

Steuervergünstigungen, wie sie in den USA und Kanada eingesetzt werden, bieten Steuererleichterungen für jede produzierte kWh. In den Vereinigten Staaten wird der Markt durch staatliche Steuergutschriften von ungefähr 1,8 Cent pro Kilowattstunde gestärkt, die jährlich an die Inflation angepasst werden.

Quotensysteme für erneuerbare Energien

Zwei Arten von Quotensystemen für erneuerbare Energie werden eingesetzt – Ausschreibungssysteme und das Modell „Grüne Zertifikate“.

Ausschreibungssysteme bedeuten konkurrierende Gebote für Verträge zum Bau und Betreiben bestimmter Projekte, oder einer festgelegten Menge erneuerbarer Kapazitäten in einem Bundesstaat oder einem Land. Obwohl für gewöhnlich auch noch andere Faktoren berücksichtigt werden, gewinnt unweigerlich das niedrigste Angebot. Dieses System ist zur Förderung der Windkraft bereits in Irland, Frankreich, dem Vereinigten Königreich, in Dänemark und China genutzt worden.

Die Kehrseite ist, dass Investoren einen unrentablen niedrigen Preis anbieten können, um die Ausschreibung zu gewinnen, und dann das Projekt nicht bauen. Unter dem Non-Fossil-Fuel-Obligation-Ausschreibungssystem des Vereinigten Königreiches blieben beispielsweise viele Verträge unerfüllt. Es wurde schließlich abgeschafft. Bei entsprechender Ausgestaltung mit langfristigen Verträgen, einem klaren Bezug zur Planungsgenehmigung und einem möglichen Mindestpreis könnten Ausschreibungen für Großprojekte effektiv sein, so wie sie es bei der Offshore-Öl- und -gasgewinnung in der europäischen Nordsee schon gewesen sind.

Handel mit grünen Zertifikaten bedeutet, dass Hersteller erneuerbarer Energie für jede produzierte kWh grüne Zertifikate erhalten. Der Wert dieser Zertifikate, die am Markt gehandelt werden können, wird dann dem Energiebasispreis zugerechnet. Ein System mit grünen Zertifikaten wirkt normalerweise zusammen mit einem steigenden Anteil der erneuerbaren Energieerzeugung. Stromunternehmen sind gesetzlich verpflichtet, einen zunehmenden Anteil erneuerbarer Energie einzukaufen. Zu den Ländern, die dieses System bereits übernommen haben, gehören das Vereinigte Königreich, Schweden und Italien in Europa sowie viele einzelne Bundesstaaten in den USA, wo es als Retail Portfolio Standard bekannt ist.

Verglichen mit dem festen Ausschreibungspreis ist der Handel mit grünen Zertifikaten für den Investor risikoreicher, da der Preis täglich fluktuiert solange keine effektiven Märkte für langfristige Zertifikats- (und Elektrizitäts-) Verträge geschaffen sind. Solche Märkte bestehen derzeit nicht. Dieses System ist also komplexer als andere Zahlungsmechanismen.

Welcher aus dieser Palette an Fördermechanismen funktioniert am besten? Aufgrund früherer Erfahrungen ist klar, dass Maßnahmen, die auf festen Tarifen und Gebühren basieren, effektiv sein können. Ihre Einführung ist jedoch keine Erfolgsgarantie. Fast alle Länder mit Erfahrung in Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien haben irgendwann Einspeisungstarife verwendet, doch nicht alle haben zu einem Anstieg der Produktion erneuerbarer Energie geführt. Es ist die Ausgestaltung des Mechanismus zusammen mit anderen Maßnahmen, die über den Erfolg entscheidet.

Es ist jedoch zu früh, um abschließende Schlussfolgerungen über die potenziellen Auswirkungen der gesamten Palette verfügbarer Maßnahmen zu ziehen, da die komplexeren Systeme wie das auf der Basis von handelbaren grünen Zertifikaten sich noch in der Experimentierphase befinden. Mehr Zeit und Erfahrung sind notwendig, um glaubhafte Schlüsse zu ihrem Potenzial in puncto Investitionen und neue Kapazitäten zu ziehen. Die Auswahl von Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene hängt auch von der Kultur und der Geschichte der einzelnen Staaten, dem Entwicklungsstadium der erneuerbaren Energien und dem politischen Willen zur Schaffung von Resultaten ab.

Anhang

Aufschlüsselung des globalen Energie-Szenarios nach Weltregionen

1. OECD Europa

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung der OECD-Staaten in Europa wird um das Jahr 2030 mit fast 550 Millionen ihren Höhepunkt erreichen. Danach wird sie bis 2050 auf 510 Millionen sinken.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird vermutlich um durchschnittlich 1,7% pro Jahr wachsen und sich damit bis 2050 verdreifachen. Das Pro-Kopf-BIP wird weiterhin eines der höchsten in der Welt bleiben, nämlich doppelt so hoch wie der weltweite Durchschnitt.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1,1% pro Jahr verringern und damit zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von 40% zwischen 2003 und 2050 führen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 75% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird der Energiebedarf um mehr als 30% von derzeit 50.000 PJ/a auf 68.000 PJ/a im Jahr 2050 ansteigen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird es einen steten Rückgang auf 41.000 PJ/a im Jahr 2050 geben, das sind zwei Drittel des vorausgesagten Verbrauchs unter dem Referenz-Szenario.

Strombedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird ein Anstieg des Strombedarfs bis 2040 erwartet, dann ein Rückgang auf etwa 3.300 TWh/a bis 2050. Im Vergleich zum Referenz-Szenario sparen Effizienzmaßnahmen die Erzeugung von 1.100 TWh/a ein.

Wärmebedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird sich der Bedarf an Wärme fast halbieren. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzsteigerungen 13.000 PJ/a weniger verbraucht.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen bis 2050 50% des Primärenergiebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 7%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 80% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 18%. Die heutige Produktion erneuerbarer Energie von 160 GW wird auf eine Kapazität von 865 GW, also 2.500 TWh/a steigen.

Wärmeversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien bis 2050 50% des Wärmebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 10%. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung wird bei mehr als 20% liegen.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden unter dem Referenz-Szenario bis 2050 um ein Drittel steigen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden sie von 3,9 auf 1,2 Milliarden Tonnen pro Jahr sinken. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 7,4 t auf 2,3 t fallen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Das Wachstum der erneuerbaren Energien unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Kosten für die Stromerzeugung im Vergleich zum Referenz-Szenario zwischen 2010 und 2030 um etwa 0,5 Cent/kWh erhöhen. Wegen der geringeren CO₂-Intensität werden die Kosten dann zurückgehen und bis 2050 um 0,7 Cent/kWh unter die des Referenz-Szenarios fallen.

2. OECD Nordamerika

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung der OECD-Staaten in Nordamerika wird von jetzt 425 Millionen auf 585 Millionen im Jahr 2050 ansteigen.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird vermutlich um durchschnittlich 2,1% pro Jahr auf das Fünffache im Jahr 2050 ansteigen. Das Pro-Kopf-BIP wird weiterhin eines der höchsten in der Welt sein, nämlich fast das Dreifache des globalen Durchschnitts.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1,1% pro Jahr verringern und zu einem Energieendbedarf pro BIP-Einheit von etwa 40% zwischen 2003 und 2050 führen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Energieintensität um 70% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird die Energienachfrage um mehr als 60% von derzeit 70.000 PJ/a auf 114.000 PJ/a im Jahr 2050 ansteigen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird es einen kontinuierlichen Rückgang auf 56.000 PJ/a im Jahr 2050 geben, die Hälfte des hochgerechneten Bedarfs unter dem Referenz-Szenario.

Strombedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einer Stromnachfrage von etwa 3.400 TWh/a im Jahr 2050 führen. Im Vergleich zum Referenz-Szenario müssen also 4.400 TWh/a weniger erzeugt werden.

Wärmebedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird es einen jähren Rückgang des Wärmebedarfs geben; im Vergleich zum Referenz-Szenario wird durch Effizienzgewinne der Verbrauch von 15.000 PJ/a eingespart.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenarios werden erneuerbare Energien fast 50% des Primärenergiebedarfs bis 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 6%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 80% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 16%. Die gegenwärtige Produktion der erneuerbaren Energien von 195 GW wird auf eine Kapazität von 1.150 GW, also 23.700 TWh/a, ansteigen.

Wärmeversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenarios werden die erneuerbaren Energien bis 2050 60% des Wärmebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 9%. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung wird bei über 20% liegen.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden bis 2050 um 40% unter dem Referenz-Szenario ansteigen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden sie von 6,6 auf 1,8 Milliarden Tonnen pro Jahr sinken. Damit fallen die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen von 15,6 t auf 3,0 t.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Der Anstieg der erneuerbaren Energien unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Kosten der Stromerzeugung im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 0,4 Cent/kWh im Jahr 2020 bis zu 1,8 Cent/kWh im Jahr 2050 erhöhen.



3. Lateinamerika

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung Lateinamerikas wird im Vergleich zu anderen Entwicklungsregionen langsam wachsen und bis 2050 630 Millionen erreichen.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird vermutlich um durchschnittlich 2,9% pro Jahr steigen und sich bis 2050 vervierfachen. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch unter dem Weltdurchschnitt liegen und nur ein Drittel im Vergleich zu Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird die Energieintensität um 0,4% pro Jahr sinken und zu einer Reduzierung des Energiebedarfs pro BIP-Einheit von etwa 20% zwischen 2003 und 2050 führen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität um mehr als 50% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energienachfrage bis 2050 von derzeit 14.000 PJ/a auf 45.000 PJ/a mehr als verdreifachen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario findet ein wesentlich langsamerer Anstieg auf 25.000 PJ/a im Jahr 2050 statt, etwas mehr als die Hälfte des unter dem Referenz-Szenario vorhergesagten Verbrauchs.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Energieeffizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 1.900 TWh/a im Jahr 2050 führen. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden dadurch 1.400 TWh/a eingespart.

Wärmebedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Wärmebedarf relativ stabil bleiben. Dadurch werden im Vergleich zum Referenz-Szenario 6.800 PJ/a durch Effizienzgewinne eingespart.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen 65% des Primärenergiebedarfs bis 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 27%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 90% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 70%. Die Produktion der erneuerbaren Energien wird von 130 GW auf eine Kapazität von 660 GW ansteigen, das sind 2.070 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 70% des Wärmebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 36%.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden sich unter dem Referenz-Szenario bis 2050 um den Faktor vier erhöhen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden sie von 0,8 auf 0,44 Milliarden Tonnen pro Jahr sinken. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 1,8 t auf 0,7 t fallen. Während der Energiesektor heute die größte Quelle für CO₂-Emissionen ist, wird er im Jahr 2050 nur noch 15% der Gesamtmenge ausmachen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Das Wachstum erneuerbarer Energien unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten für die Stromerzeugung im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 1,5 Cent/kWh im Jahr 2020 und bis zu 3,5 Cent/kWh im Jahr 2050 senken.

4. OECD Pazifik

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung der pazifischen OECD-Staaten wird 2020 mit etwa 200 Millionen ihren Höhepunkt erreichen und dann bis 2050 auf 180 Millionen zurückgehen.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird wahrscheinlich um durchschnittlich 1,8% pro Jahr wachsen, was bis 2050 zu einem fünffachen Anstieg führt. Das Pro-Kopf-BIP wächst enorm, wodurch diese Region bis 2050 führend in der Welt sein wird.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1,0% pro Jahr verringern, was zu einer Reduzierung des Energiebedarfs pro BIP-Einheit von etwa 40% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität um 75% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird der Energiebedarf um mehr als 40% von gegenwärtig 21.000 PJ/a auf 30.000 PJ/a im Jahr 2050 ansteigen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Energiebedarf 2010 seinen Höhepunkt erreichen und dann bis 2050 auf 17.300 PJ/a sinken, was 85% des heutigen und 40% weniger des unter dem Referenz-Szenario vorausgesagten Verbrauchs ist.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 1.600 TWh/a bis 2050 führen. Im Vergleich zum Referenz-Szenario bedeutet das eine Einsparung von 800 TWh/a.

Wärmebedarf: Der Rückgang beim Wärmebedarf unter dem Energie[R]evolution-Szenario bedeutet, dass im Vergleich zum Referenz-Szenario aufgrund von Effizienzgewinnen 4.900 PJ/a weniger verbraucht werden.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen ein Drittel des Primärenergiebedarfs bis zum Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 3%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 70% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 10%. Die Produktion der erneuerbaren Energie wird von heute 60 GW auf eine Kapazität von 410 GW steigen, also 1.130 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien 60% des Wärmebedarfs im Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 4%.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden unter dem Referenz-Szenario bis 2050 um 20% ansteigen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden sie von 1,9 auf 0,7 Milliarden Tonnen pro Jahr sinken. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 9,4 t auf 3,8 t fallen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Der Anstieg der erneuerbaren Energiequellen unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten der Stromerzeugung im Vergleich zum Referenz-Szenario bis 2030 erhöhen, doch bis 2050 werden sie um 1 Cent/kWh niedriger sein.

Anhang - Fortsetzung

Aufschlüsselung des globalen Energie-Szenarios nach Weltregionen

5. China

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung Chinas wird um 2030 mit 1,46 Milliarden ihren Höhepunkt erreichen. Danach wird sie bis 2050 auf 1,4 Milliarden sinken.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird wahrscheinlich um durchschnittlich 4,1% pro Jahr wachsen; der höchste Anstieg aller Weltregionen. Bis 2050 wird es sich versiebenfacht haben. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch halb so hoch sein wie in Europa oder Nordamerika.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 2,3% pro Jahr verringern, was zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 65% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 80% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich der Energiebedarf von heute 35.000 PJ/a auf 81.000 PJ/a im Jahr 2050 mehr als verdoppeln. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird es einen stetigen Anstieg auf 53.000 PJ/a im Jahr 2050 geben, 50% mehr als heute, aber ein Drittel weniger als der unter dem Referenz-Szenario vorausgesagte Verbrauch.

Strombedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 6.300 TWh/a bis 2050 führen. Im Vergleich zum Referenz-Szenario wird dies 1.200 TWh/a einsparen.

Wärmebedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird der Wärmebedarf reduziert. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne 12.500 PJ/a eingespart.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen 33% des Primärenergiebedarfs bis 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 20%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 50% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 15%. Die heutige Produktion von 84 GW der erneuerbaren Energien wird auf eine Kapazität von 1.300 GW ansteigen, also 4.000 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien 43% des Wärmebedarfs im Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 35%. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung wird mehr als 30% betragen.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden sich bis 2050 unter dem Referenz-Szenario verdreifachen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden sie mit etwa 3,3 Milliarden Tonnen pro Jahr auf dem Level von 2003 stabil bleiben. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden nur gering von 2,5 t auf 2,3 t fallen. Aufgrund der Abschaffung der Atomkraft und des steigenden Strombedarfs wird der Energiesektor mit 50% im Jahr 2050 weiterhin die größte Quelle der CO₂-Emissionen in China bleiben.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Der Anstieg der erneuerbaren Energien unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Kosten kaum erhöhen, und bis 2050 werden sie um fast 1 Cent/kWh unter die Kosten im Referenz-Szenario fallen.

6. Ostasien

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung Ostasiens wird wahrscheinlich bis 2050 auf 800 Millionen ansteigen, wobei sich ihre Zunahme nach 2040 stabilisieren wird.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird vermutlich um durchschnittlich 3,2% pro Jahr wachsen. Bis 2050 wird es um einen Faktor von 4,5 gewachsen sein. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch etwa ein Viertel desjenigen in Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1,1% pro Jahr verringern, was zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 40% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 70% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich der Energiebedarf von heute 15.000 PJ/a auf 39.000 PJ/a im Jahr 2050 mehr als verdoppeln. Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird es einen stetigen Anstieg auf 23.000 PJ/a im Jahr 2050 geben, 50% mehr als heute aber 40% weniger als der für das Referenz-Szenario vorausgesagte Verbrauch.

Strombedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 1.800 TWh/a bis 2050 führen. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden dadurch 1.000 TWh/a eingespart.

Wärmebedarf: Unter dem EnergieRevolution-Szenario wird der Wärmebedarf reduziert. Im Vergleich mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne 5.000 PJ/a weniger verbraucht.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen fast die Hälfte des Energieendbedarfs im Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 23%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 70% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 14%. Die Produktion der erneuerbaren Energien wird von heute 29 GW auf 560 GW steigen, also 1.600 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien bis 2050 80% des Wärmebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 50%.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Unter dem Referenz-Szenario werden sich die CO₂-Emissionen bis 2050 vervierfachen. Unter dem EnergieRevolution-Szenario werden sie gegenüber 2003 von etwa 1,0 auf 0,83 Milliarden Tonnen pro Jahr fallen. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 1,7 t auf 0,9 t sinken. Während der Energiesektor heute der größte Verursacher von CO₂-Emissionen in Ostasien ist, wird er 2050 weniger als 30% beitragen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Das Wachstum der erneuerbaren Energien unter dem EnergieRevolution-Szenario wird die Kosten im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 1,5 Cent/kWh im Jahr 2020 verringern und die Differenz auf 3 Cent/kWh im Jahr 2050 erhöhen.



7. Südasien

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung in Südasien wird vermutlich bis 2050 auf 2,2 Milliarden ansteigen und damit 25% der Weltbevölkerung ausmachen.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird wahrscheinlich um durchschnittlich 3,9% pro Jahr ansteigen. Bis 2050 wird es um einen Faktor von sechs gewachsen sein. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch nur 20% desjenigen in Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird die Energieintensität um 2% pro Jahr verringert, was zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 40% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 80% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich der Energiebedarf von heute 19.000 PJ/a auf 47.000 PJ/a im Jahr 2050 mehr als verdoppeln. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird es einen langsameren Anstieg auf 29.000 PJ/a im Jahr 2050 geben, 50% mehr als heute aber 40% weniger als unter dem Referenz-Szenario vorausgesagt.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 2.400 TWh/a bis 2050 führen. Verglichen mit dem Referenz-Szenario wird das 1.000 TWh/a einsparen.

Wärmebedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Wärmebedarf reduziert. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne 10.000 PJ/a weniger verbraucht.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen 50% des Primärenergiebedarfs bis 2050 ausmachen. Der heutige Anteil beträgt 40%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 60% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 15%. Die Produktion von 31 GW bei den erneuerbaren Energien wird auf eine Kapazität von 600 GW steigen, also 1.700 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien bis 2050 70% des Wärmebedarfs decken, das bedeutet einen ähnlichen Anteil wie heute, wobei die traditionelle Biomasse zunehmend durch effizientere Technologien, vor allem Sonnenkollektoren und Erdwärme, ersetzt werden wird.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Unter dem Referenz-Szenario werden sich die CO₂-Emissionen bis 2050 vervierfachen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden sie mit etwa 1.0 Milliarden Tonnen pro Jahr auf dem Level von 2003 stabil bleiben. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden nur wenig von 0,8 t auf 0,5 t fallen. Auch wenn sein Anteil zurückgehen wird, wird der Energiesektor die größte Quelle von CO₂-Emissionen in Südasien bleiben, nämlich mit 50% an der Gesamtmenge im Jahr 2050.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Das Wachstum der erneuerbaren Energien unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 1 Cent/kWh im Jahr 2020 und um 2 Cent/kWh im Jahr 2050 senken.

8. Übergangstaaten

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung der Übergangsländer wird sich von heute 345 Millionen auf 285 Millionen im Jahr 2050 verringern.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird vermutlich um durchschnittlich 3,2% pro Jahr wachsen. Bis 2050 wird es sich um den Faktor fünf erhöht haben. Das Pro-Kopf-BIP wird etwa die Hälfte des entsprechenden BIP in Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1,8% pro Jahr verringern und zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 60% zwischen 2003 und 2050 führen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 80% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird der Energiebedarf von derzeit 27.000 PJ/a auf 51.000 PJ/a im Jahr 2050 auf fast das Doppelte ansteigen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Bedarf vermutlich bis 2050 auf dem heutigen Niveau stabil bleiben, das sind 50% weniger als der unter dem Referenz-Szenario vorausgesagte Verbrauch.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 1.900 TWh/a bis 2050 führen. Im Vergleich zum Referenz-Szenario werden dadurch 640 TWh/a eingespart.

Wärmebedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Wärmebedarf gesenkt. Verglichen mit dem Referenz-Szenario wird durch Effizienzgewinne der Verbrauch von 13.600 PJ/a eingespart.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen 60% des Primärenergiebedarfs bis 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 4%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 80% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 18%. Die Produktion der erneuerbaren Energie wird von 90 GW auf eine Kapazität von 635 GW ansteigen, das sind 1.900 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien 60% des Wärmebedarfs im Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 3%. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung wird mehr als 20% betragen.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während die CO₂-Emissionen unter dem Referenz-Szenario um ein Drittel steigen werden, werden sie unter dem Energie[R]evolution-Szenario von 2,7 Milliarden im Jahr 2003 auf 0,7 Milliarden Tonnen im Jahr 2050 fallen. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 7,8 t auf 2,5 t sinken. Mit einem Anteil von 30% an den gesamten CO₂-Emissionen im Jahr 2050 wird der Energiesektor hinter den Verkehr als Hauptverursacher zurückfallen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Die Zunahme der erneuerbaren Energien unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 1,8 Cent/kWh im Jahr 2050 senken.

Anhang - Fortsetzung

Aufschlüsselung des globalen Energie-Szenarios nach Weltregionen

9. Naher Osten

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung des Nahen Osten wird sich bis 2050 auf 350 Millionen verdoppeln.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird wahrscheinlich um durchschnittlich 2,6% pro Jahr steigen. Bis 2050 wird es sich um den Faktor vier erhöht haben. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch nur ein Fünftel desjenigen in Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 0,9% pro Jahr verringern, was zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 50% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität um fast 60% fallen.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich der Energiebedarf von heute 11.000 PJ/a auf 25.000 PJ/a im Jahr 2050 mehr als verdoppeln. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Nachfrage wesentlich langsamer steigen und im Jahr 2050 15.000 PJ/a erreichen, ein Drittel mehr als heute, aber 40% weniger als unter dem Referenz-Szenario vorausgesagt.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 1.000 TWh/a bis 2050 führen. Verglichen mit dem Referenz-Szenario wird dies 500 TWh/a einsparen.

Wärmebedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Wärmebedarf verringert. Im Vergleich zum Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne 4.700 PJ/a weniger verbraucht.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario decken erneuerbare Energiequellen 50% des Primärenergiebedarfs bis 2050. Der heutige Anteil beträgt 1%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 86% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 3%. Die Produktion der erneuerbaren Energien wird von heute 7 GW auf 450 GW ansteigen, also 1.400 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien 67% des Wärmebedarfs im Jahr 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 1%.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während sich die CO₂-Emissionen unter dem Referenz-Szenario verdoppeln, werden sie unter dem Energie[R]evolution-Szenario von von 1,0 Milliarden im Jahr 2003 auf 0,48 Milliarden Tonnen im Jahr 2050 sinken. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 5,5 t auf 1,4 t fallen. Während der Energiesektor heute die größte Quelle der CO₂-Emissionen ist, wird er 2050 nur ein Fünftel ausmachen.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Der Anstieg der erneuerbaren Energien unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten gegenüber dem Referenz-Szenario um 1 Cent/kWh im Jahr 2020 und um etwa 9 Cent/kWh im Jahr 2050 senken.

10. Afrika

Entwicklung der Energienachfrage

Bevölkerung: Die Bevölkerung in Afrika wird sich bis 2050 auf 1,84 Milliarden verdreifachen.

BIP: Das KKP-bereinigte Bruttoinlandsprodukt wird wahrscheinlich um durchschnittlich 3,6% pro Jahr wachsen. Bis 2050 wird es sich verfünffacht haben. Das Pro-Kopf-BIP wird immer noch nur ein Zehntel des BIP in Europa oder Nordamerika betragen.

Energieintensität: Unter dem Referenz-Szenario wird sich die Energieintensität um 1% pro Jahr verringern, was zu einer Reduzierung des Energieendbedarfs pro BIP-Einheit von etwa 40% zwischen 2003 und 2050 führt. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Energieintensität sogar noch weiter sinken.

Energieendbedarf: Unter dem Referenz-Szenario wird sich der Energiebedarf von heute 17.000 PJ/a auf 54.000 PJ/a im Jahr 2050 verdreifachen. Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Nachfrage wesentlich langsamer steigen und im Jahr 2050 35.000 PJ/a erreichen, doppelt soviel wie heute aber ein Drittel weniger als unter dem Referenz-Szenario vorausgesagt.

Strombedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden Effizienzmaßnahmen zu einem Strombedarf von etwa 2.000 TWh/a bis 2050 führen. Gegenüber dem Referenz-Szenario wird dies 1.100 TWh/a einsparen.

Wärmebedarf: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird der Wärmebedarf reduziert. Verglichen mit dem Referenz-Szenario werden durch Effizienzgewinne 8.600 PJ/a weniger verbraucht.

Entwicklung der Energieversorgung

Primärenergieversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energiequellen 60% des Primärenergiebedarfs bis 2050 decken. Der heutige Anteil beträgt 47%.

Elektrizitätserzeugung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden erneuerbare Energien bis 2050 55% der Stromversorgung ausmachen. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien 17%. Die Produktion der erneuerbaren Energien wird von heute 25 GW auf 480 GW ansteigen, das sind 1.500 TWh/a.

Wärmeversorgung: Unter dem Energie[R]evolution-Szenario werden die erneuerbaren Energien bis 2050 88% des Wärmebedarfs decken. Der heutige Anteil beträgt 78%. Traditionelle Biomasse wird durch effizientere moderne Technologien ersetzt werden.

Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während die CO₂-Emissionen „um den Faktor fünf“ unter dem Referenz-Szenario ansteigen, werden sie unter dem Energie[R]evolution-Szenario von 0,75 auf 1,1 Milliarden Tonnen im Jahr 2050 auf einen Anstieg von 60% begrenzt. Die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen werden von 0,9 t auf 0,6 t fallen. Obwohl der Energiesektor immer noch die größte Quelle für CO₂-Emissionen im Jahr 2050 ist, wird dort auch die größte Reduzierung stattfinden.

Zukünftige Kosten der Stromerzeugung

Der Anstieg der erneuerbaren Energien unter dem Energie[R]evolution-Szenario wird die Kosten gegenüber dem Referenz-Szenario um 2 Cent/kWh im Jahr 2020 und um etwa 3 Cent/kWh im Jahr 2050 reduzieren.



Bild 30. OKTOBER 2006, NONTHABURI, THAILAND - EINHEIMISCHE FAHREN IN EINEM BOOT DURCH EIN DORF AUF DER INSEL KOH KRED, DIE KURZ ZUVOR ÜBERFLUTET WURDE. KOH KRED IST EINE KLEINE INSEL IM CHAO PHRAYA FLUSS, DER SICH IN DER PROVINZ NONTHABURI BEFINDET, EINEM RANDGEBIET BANGKOKS. ZUVOR HATTEN WISSENSCHAFTLER DAVOR GEWARNT, DASS THAILAND AUFGRUND DES KLIMAWANDELS VERMEHRT OPFER EXTREMER WETTEREREIGNISSE WERDEN KÖNNTE.

Referenzszenario

Tabelle 16: Stromerzeugung

TWh/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kraftwerke	14.988	18.170	23.451	29.000	35.377	43.426
Steinkohle	5.451	6.554	8.644	11.148	14.530	19.214
Braunkohle	572	615	656	705	752	821
Gas	2.380	3.273	5.396	7.507	9.736	12.475
Öl	1.031	1.073	1.128	1.070	1.026	1.011
Atom	2.641	2.984	2.975	2.867	2.797	2.730
Biomasse	137	189	243	316	384	432
Wasserkraft	2.659	3.148	3.714	4.199	4.591	4.872
Windkraft	64	237	535	918	1.174	1.370
PV	1	9	30	73	108	139
Geothermie	53	85	113	160	210	257
Solarthermische Kraftwerke	1	4	13	31	61	98
Meeresenergie	1	1	4	6	8	9
Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	1.674	1.860	2.167	2.589	2.868	3.074
Steinkohle	390	440	519	691	800	880
Braunkohle	142	132	115	103	91	78
Gas	915	1.007	1.195	1.415	1.561	1.662
Öl	134	133	126	101	78	65
Biomasse	91	142	204	268	324	368
Geothermie	1	7	9	11	15	21
<i>KWK nach Produzenten</i>						
Produzenten Hauptaktivität	1.215	1.279	1.348	1.450	1.500	1.578
Eigenerzeugung	459	581	819	1.139	1.367	1.497
gesamte Erzeugung	16.662	20.030	25.617	31.589	38.245	46.501
Fossil	11.015	13.226	17.778	22.714	28.574	36.206
Steinkohle	5.841	6.993	9.163	11.839	15.329	20.094
Braunkohle	714	746	771	808	843	899
Gas	3.295	4280	6.591	8.922	11.297	14.137
Öl	1.165	1.206	1.254	1.172	1.104	1.076
Atom	2.641	2.984	2.975	2.867	2.797	2.730
Erneuerbare	3.007	3.821	4.864	5.981	6.875	7.564
Wasserkraft	2.659	237	3.714	4.199	4.591	4.872
Windkraft	64	9	535	918	1.174	1.370
PV	1	331	30	73	108	139
Biomasse	228	92	447	584	708	800
Geothermie	54	4	122	170	226	278
Solarthermie	1	1	13	31	61	98
Meeresenergie	1		4	6	8	9
Import	557	598	630	620	580	530
Import RES	79	87	95	98	94	86
Export	558	583	611	609	566	528
Verteilungsverluste	1.520	1.852	2.370	2.952	3.609	4.467
Eigener Stromverbrauch	1.467	1.625	1.988	2.366	2.698	3.028
Gesamtenergieverbrauch (Elektrizität)	13.675	16.568	21.279	26.282	31.951	39.008
Fluktuierende RES (PV, Wind, Meer)	65	247	569	997	1.289	1.517
Anteil fluktuierender RES	0,4%	1,2%	2,2%	3,2%	3,4%	3,3%
Anteil RES	18%	19,1%	19,0%	18,9%	18,0%	16,3%

Tabelle 17: Primärenergiebedarf umgerechnet

	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kohle in Mill. T	5.367	5.499	6.006	6.884	7.916	9.356
Rohöl in Mill. Barrel	24.089	28.887	33.720	37.784	41.841	46.407
Gas in E+9 m³	2453,4	2666,9	3255,0	3839,5	4369,3	4986,1
Umrechnungsfaktoren						
Steinkohle	23,03	kJ/t				
Braunkohle	8,45	kJ/t				
Öl	6,12	GJ/barrel				
Gas	38000,00	kJ/m³				

Tabelle 18: Installierte Leistung

GW	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kraftwerke	3.152	3.888	5.046	6.252	7.463	8.973
Steinkohle	902	1.091	1.452	1.871	2.440	3.212
Braunkohle	73	80	86	94	103	115
Gas	626	857	1.327	1.775	2.205	2.735
Öl	414	451	489	502	495	511
Atom	347	392	391	377	370	365
Biomasse	20	28	35	46	55	61
Wasserkraft	728	857	999	1.118	1.213	1.280
Windkraft	30	108	218	375	449	525
PV	1	6	22	55	81	104
Geothermie	10	16	22	30	40	49
Solarthermische Kraftwerke	0	1	2	4	8	13
Meeresenergie	0	0	2	3	4	4
Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	581	598	678	777	840	899
Steinkohle	163	171	174	210	239	264
Braunkohle	65	56	42	30	26	23
Gas	244	266	355	443	485	519
Öl	80	67	61	42	29	24
Biomasse	28	36	45	50	57	64
Geothermie	0	1	2	2	3	4
<i>KWK nach Produzenten</i>						
Produzenten Hauptaktivität	465	465	498	531	553	585
Eigenerzeugung	117	132	180	247	287	314
gesamte Erzeugung≈	3.733	4.485	5.724	7.029	8.303	9.872
fossil	2.570	3.039	3.986	4.969	6.023	7.403
Steinkohle	1.066	1.262	1.626	2.082	2.679	3.477
Braunkohle	139	136	128	125	129	137
Gas	871	1.123	1.682	2.218	2.690	3.254
Öl	494	518	550	545	524	535
Atom	346,7	392,1	391,0	377,5	369,8	364,6
Erneuerbare	817	1.054	1.347	1.683	1.910	2.105
Wasserkraft	728	857	999	1.118	1.213	1.280
Windkraft	30	108	218	375	449	525
PV	1	6	22	55	81	104
Biomasse	48	64,5	80,0	95,2	111,9	125,4
Geothermie	10	18	23	33	43	53
Solarthermie	0	1	2	4	8	13
Meeresenergie	0	0	2	3	4	4
Fluktuierende RES (PV, Wind, Meer)	31,1	114,4	242,5	432,1	533,8	633,5
Anteil fluktuierender RES	0,8%	2,6%	4,2%	6,1%	6,4%	6,4%
Anteil RES	21,9%	23,5%	23,5%	23,9%	23,0%	21,3%

Tabelle 19: Primärenergiebedarf

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Gesamt	435.116	487.635	563.236	638.789	715.803	807.747
Fossil	348.558	391.127	456.328	523.527	592.155	676.274
Steinkohle	98.797	105.077	119.291	139.346	162.956	195.453
Braunkohle	9.106	7.915	6.981	7.041	7.097	7.341
Erdgas	93.230	101.344	123.691	145.903	166.033	189.471
Rohöl	147.425	176.791	206.365	231.237	256.069	284.010
Atom	28.805	32.554	32.463	31.281	30.509	29.785
Erneuerbare	57.755	63.954	74.445	83.981	93.139	101.687
Wasserkraft	9.572	11.332	13.369	15.115	16.528	17.537
Windkraft	231	853	1.926	3.305	4.225	4.931
Solarkraft	162	386	694	1.243	1.769	2.265
Biomasse	46.454	49.715	56.490	61.861	67.591	73.371
Geothermie	1.336	1.668	1.967	2.457	3.026	3.582
Meeresenergie	2	5	21	39	57	68

Referenzszenario

Tabelle 20: Wärmeversorgung

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Fernheizwerk	2.765	4.029	6.522	7.667	8.417	9.139
fossile Brennstoffe	2.622	3.659	5.450	5.828	5.960	6.191
Biomasse	141	365	1.060	1.823	2.437	2.922
Sonnenkollektoren	0	1	4	7	10	16
Geothermie	2	5	8	9	10	11
Wärme von KWK	13.471	11.731	10.671	11.024	11.097	11.416
fossile Brennstoffe	12.846	10.870	9.606	9.841	9.883	10.106
Biomasse	617	812	1.004	1.108	1.118	1.184
Geothermie	8	49	61	75	96	126
direkte Heizung¹⁾	116.034	128.577	145.486	160.437	173.029	184.893
fossile Brennstoffe	82.523	93.492	106.318	118.467	127.775	136.018
Biomasse	33.222	34.572	38.409	40.831	43.757	47.057
Sonnenkollektoren	158	340	535	861	1.151	1.400
Geothermie	131	173	224	278	346	418
Gesamte Wärmebereitstellung¹⁾	132.271	144.337	162.678	179.129	192.544	205.448
fossile Brennstoffe	97.992	108.021	121.373	134.135	143.618	152.315
Biomasse	33.979	35.749	40.473	43.762	47.312	51.163
Sonnenkollektoren	158	341	539	869	1.161	1.415
Geothermie	142	226	293	363	453	556
RES Anteil (inclusive RES Elektrizität)	26%	25%	25%	25%	25%	26%

1) Wärme aus Elektrizität (direkt und von elektrischen Wärmepumpen) nicht miteingeschlossen; wird im Model unter „elektrische Geräte“ behandelt

Tabelle 21: CO₂-Emissionen

MILL T/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kondensationskraftwerk	8.185	9.321	11.484	13.652	16.204	19.859
Steinkohle	5.491	6.270	7.676	9.232	11.248	14.143
Braunkohle	709	685	644	671	688	729
Gas	1.208	1.567	2.345	2.985	3.548	4.289
Öl	777	799	820	763	720	698
Combined heat & power production	2.374	1.794	1.367	1.445	1.541	1.607
Steinkohle	784	595	472	570	638	691
Braunkohle	302	194	131	111	100	86
Gas	1.149	891	674	698	753	790
Öl	139	114	90	67	49	40
Co₂-Emissionen, Elektrizität- und Dampferzeugung	10.559	11.115	12.851	15.097	17.745	21.466
Steinkohle	6.276	6.865	8.148	9.802	11.886	14.834
Braunkohle	1.011	879	775	782	788	815
Gas	2.356	2.458	3.019	3.683	4.302	5.079
Öl & Diesel	916	914	909	830	769	738
Co₂-Emissionen nach Sektoren	23.124	26.604	29.913	34.545	39.401	45.489
% der Emissionen im Jahr 2000	100%	111%	129%	149%	170%	197%
Industrie	3.738	4.188	4.736	5.290	5.726	6.087
andere Sektoren	3.257	3.666	4.123	4.602	4.881	5.085
Verkehr	5.635	6.582	8.085	9.546	11.096	12.925
Elektrizität- und Dampferzeugung	10.198	10.790	12.453	14.590	17.181	20.872
Fernwärme	296	379	515	517	518	520
Bevölkerung (Millionen)	6.310	6.849	7.562	8.139	8.594	8.888
CO ₂ -Emissionen pro Kopf (t/Kopf)	3,7	3,7	4,0	4,2	4,6	5,1

Alternatives Szenario

Tabelle 22: Stromerzeugung

TWh/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kraftwerke	14.989	15.264	17.560	19.805	22.694	25.909
Steinkohle	5.451	5.226	4.541	3.398	2.937	2.661
Braunkohle	572	456	266	117	24	0
Gas	2.380	3.029	4.191	4.981	4.875	4.580
Öl	1.031	693	379	171	55	7
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atom	2.641	2.094	1.331	65	0	0
Biomasse	137	171	251	340	437	547
Wasserkraft	2.659	3.127	3.656	4.035	4.402	4.709
Windkraft	64	346	2.327	4.494	5.866	7.149
PV	1	28	269	1.003	1.835	2.835
Geothermie	53	80	124	188	262	338
Solarthermische Kraftwerke	1	9	196	949	1.891	2.933
Meeresenergie	1	5	31	64	111	151
Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	1.674	2.044	2.673	3.487	4.325	5.026
Steinkohle	390	337	218	102	37	34
Braunkohle	142	124	96	43	11	0
Gas	915	1.150	1.475	1.777	2.046	2.195
Öl	134	95	49	35	18	14
Biomasse	91	311	750	1.356	1.918	2.395
Geothermie	1	27	86	174	294	388
<i>KWK nach Produzenten</i>						
Produzenten Hauptaktivität	1.215	1.328	1.473	1.724	2.034	2.324
Eigenerzeugung	459	716	1.200	1.763	2.290	2.702
Gesamte Erzeugung	16.662	17.308	20.234	23.292	27.018	30.935
Fossil	11.015	11.110	11.215	10.624	10.003	9.491
Steinkohle	5.841	5.563	4.759	3.500	2.974	2.695
Braunkohle	714	580	362	160	35	0
Gas	3.295	4.179	5.666	6.758	6.921	6.775
Öl	1.165	788	428	206	73	21
Atom	2.641	2.094	1.331	65	0	0
Erneuerbare	3.007	4.104	7.688	12.603	17.015	21.444
Wasserkraft	2.659	3.127	3.656	4.035	4.402	4.709
Windkraft	64	346	2.327	4.494	5.866	7.149
PV	1	28	269	1.003	1.835	2.835
Biomasse	228	482	1.000	1.696	2.355	2.942
Geothermie	54	107	209	362	556	726
Solarthermie	1	9	196	949	1.891	2.933
Meeresenergie	1	5	31	64	111	151
Import	557	595	620	672	789	1.008
Import RES	79	65	161	377	630	894
Export	558	580	618	695	764	997
Verteilungsverluste	1.520	1.590	1.827	2.063	2.340	2.665
Eigener Stromverbrauch	1.467	1.545	1.795	2.017	2.187	2.271
Gesamtenergieverbrauch (Elektrizität)	13.675	14.188	16.614	19.189	22.516	26.009
Fluktuierende RES (PV, Wind, Meer)	65	379	2.627	5.561	7.812	10.134
Anteil fluktuierender RES	0,4%	2,2%	13%	23,9%	28,9%	32,8%
Anteil RES	18%	23,7%	38%	54,1%	63%	69,3%
„Effizienz“ Einsparungen (Im Vergleich zu REF.)	0	2.380	4.665	7.093	9.435	13.000

Tabelle 23: Primärenergiebedarf umgerechnet

	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kohle in Mill. T	5.368	4.380	3.325	2.343	1.748	1.382
Rohöl in Mill. Barrel	24.089	23.543	21.014	18.115	16.149	14.238
Gas in E+9 m³	2453.4	2605.1	2736.2	2816.4	2653.2	2448.8
Umrechnungsfaktoren						
Steinkohle	23.03	kJ/t				
Braunkohle	8.45	kJ/t				
Öl		6.12 GJ/barrel				
Gas	38000.00	kJ/m³				

Tabelle 24: Installierte Kapazitäten

GW	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kraftwerke	3.152	3.392	4.481	5.881	7.002	8.329
Steinkohle	902	885	783	590	507	457
Braunkohle	73	59	35	16	3	0
Gas	626	792	1.057	1.269	1.284	1.239
Öl	414	304	185	94	30	4
Atom	347	275	175	9	0	0
Biomasse	20	25	36	48	60	75
Wasserkraft	728	855	994	1.091	1.183	1.257
Windkraft	30	156	950	1.834	2.242	2.731
PV	1	23	199	728	1.330	2.033
Geothermie	10	15	24	36	49	63
Solarthermische Kraftwerke	0	2	29	138	267	405
Meeresenergie	0	2	14	28	46	63
Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	581	626	754	897	1.063	1.209
Steinkohle	163	135	76	33	10	9
Braunkohle	65	52	34	12	3	0
Gas	244	306	433	548	640	690
Öl	80	43	19	11	4	3
Biomasse	28	85	176	258	348	430
Geothermie	0	5	17	35	58	77
<i>KWK nach Produzenten</i>						
Produzenten Hauptaktivität	464	464	499	538	617	689
Eigenerzeugung	117	162	255	359	445	520
Gesamte Erzeugung	3.733	4.018	5.235	6.778	8.064	9.537
Fossil	2.569	2.574	2.622	2.573	2.481	2.402
Steinkohle	1.066	1.020	859	623	517	466
Braunkohle	139	111	69	28	6	0
Gas	871	1.097	1.490	1.818	1.923	1.929
Öl	494	346	204	105	34	7
Atom	346,7	275,2	175,4	9	0	0
Erneuerbare	817	1.169	2.438	4.196	5.584	7.135
Wasserkraft	728	855	994	1.091	1.183	1.257
Windkraft	30	156	950	1.834	2.242	2.731
PV	1	23	199	728	1.330	2.033
Biomasse	48	110	211	306	408	505
Geothermie	10	21	41	70	107	140
Solarthermie	0	2	29	138	267	405
Meeresenergie	0	2	14	28	46	63
Fluktuierende RES (PV, Wind, Meer)	31,1	181,1	1.162,2	2.590,2	3.617,5	4.828,1
Anteil fluktuierender RES	0,8%	4,5%	22,2%	38,2%	44,9%	50,6%
Anteil RES	21,9%	29,1%	46,6%	61,9%	69,2%	74,8%

Tabelle 25: Primärenergiebedarf

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Gesamt	435.116	428.049	421.446	414.573	420.512	421.904
Fossil	348.558	333.205	303.439	269.418	239.370	212.011
Steinkohle	98.797	83.902	67.550	50.124	39.409	31.822
Braunkohle	9.106	6.224	3.308	1.406	308	0
Erdgas	93.230	98.994	103.975	107.023	100.822	93.055
Rohöl	147.425	144.085	128.606	110.865	98.832	87.135
Atom	28.805	22.844	14.520	709	0	0
Erneuerbare	57.755	72.000	103.487	144.446	181.142	209.893
Wasserkraft	9.572	11.255	13.160	14.524	15.846	16.951
Windkraft	231	1.246	8.377	16.178	21.118	25.735
Solarkraft	162	1.743	6.916	17.909	30.231	42.284
Biomasse	46.454	54.704	68.467	84.727	97.679	105.136
Geothermie	1.336	3.052	6.567	11.108	16.268	19.787
Meeresenergie	2	18	111	232	398	542
„Effizienz“ Einsparungen (Im Vergleich zu REF.)	0	59.263	141.744	224.873	296.208	386.780

Alternatives Szenario

Tabelle 26: Wärmeversorgung

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Fernheizwerk	2.766	4.278	5.686	6.678	7.647	7.229
fossile Brennstoffe	2.623	3.588	3.836	3.260	2.565	1.630
Biomasse	141	385	893	1.498	2.033	2.096
Sonnenkollektoren	0	278	758	1.508	2.378	2.725
Geothermie	2	27	198	412	671	777
Wärme von KWK	13.470	12.708	13.303	15.172	16.950	18.884
fossile Brennstoffe	12.845	10.750	8.966	8.258	8.180	8.367
Biomasse	617	1.717	3.576	5.374	6.250	7.275
Geothermie	8	241	762	1.540	2.520	3.242
direkte Heizung ¹⁾	116.034	111.832	106.796	104.229	100.048	93.333
fossile Brennstoffe	82.523	75.426	63.791	52.877	42.080	31.330
Biomasse	33.222	34.247	36.708	39.115	39.616	38.666
Sonnenkollektoren	158	1.330	4.484	9.374	14.439	18.794
Geothermie	131	829	1.814	2.863	3.914	4.542
Gesamte Wärmebereitstellung	132.271	128.817	125.785	126.079	124.645	119.446
fossile Brennstoffe	97.992	89.764	76.592	64.395	52.825	41.327
Biomasse	33.979	36.348	41.176	45.987	47.898	48.038
Sonnenkollektoren	158	1.608	5.243	10.882	16.817	21.519
Geothermie	142	1.097	2.774	4.815	7.104	8.562
RES Anteil (inclusive RES Elektrizität)	26%	30%	39%	49%	58%	65%
„Effizienz“ Einsparungen (Im Vergleich zu REF.)	0	15.514	36.890	53.048	67.899	86.005

Tabelle 27: CO₂-Emissionen

MILL T/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Kondensationskraftwerk	8.185	7.471	6.419	5.061	4.170	3.587
Steinkohle	5.492	5.000	4.070	2.851	2.298	1.977
Braunkohle	709	508	257	110	22	0
Gas	1.208	1.453	1.821	1.982	1.812	1.605
Öl	777	510	271	118	37	5
Kraft-Wärme-Kopplung	2.374	1.697	1.162	1.025	1.034	1.072
Steinkohle	784	453	201	85	26	23
Braunkohle	302	183	110	46	12	0
Gas	1.148	983	818	872	986	1.042
Öl	139	79	34	22	10	8
CO ₂ Emissionen Elektrizität- und Dampfzeugung	10.559	9.168	7.581	6.086	5.204	4.659
Steinkohle	6.276	5.452	4.271	2.936	2.324	2.000
Braunkohle	1.011	691	367	156	34	0
Gas	2.356	2.436	2.639	2.854	2.797	2.646
Öl & Diesel	916	589	305	140	48	13
CO ₂ Emissionen nach Sektoren	23.124	21.379	18.798	15.917	13.608	11.594
% der Emissionen im Jahr 2000	100%	92%	81%	69%	59%	50%
Industrie	3.738	3.115	2.519	2.161	1.817	1.488
andere Sektoren	3.257	3.118	2.752	2.208	1.636	1.097
Verkehr	5.635	5.961	5.964	5.552	5.106	4.604
Elektrizität- und Dampfzeugung	10.198	8.824	7.187	5.677	4.779	4.217
Fernwärme	296	362	375	319	269	187
Bevölkerung (Millionen)	6.310	6.849	7.562	8.139	8.594	8.888
CO ₂ -Emissionen pro Kopf (t/Kopf)	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,3
„Effizienz“ Einsparungen (Im Vergleich zu REF.)	0	4.224	11.115	18.628	25.794	33.895

energie noitnlove[r]



GREENPEACE

Greenpeace ist eine weltweite Organisation, die mit gewaltfreien, direkten Aktionen gegen die größten Gefahren für Umwelt und Artenvielfalt auf unserem Planeten vorgeht. Greenpeace ist eine gemeinnützige Organisation mit Vertretungen in 40 Ländern quer durch Europa, den amerikanischen Kontinent, Asien und die Pazifikstaaten. Greenpeace spricht für 2,8 Millionen Förderer weltweit und inspiriert jeden Tag Millionen weitere zum Handeln. Um sich die Unabhängigkeit zu bewahren, nimmt Greenpeace keine Spenden von Regierungen oder Unternehmen an, sondern ist von Beiträgen einzelner Förderer und Stiftungsgeldern abhängig.

Greenpeace kämpft schon seit 1971 gegen die Zerstörung der Umwelt, als ein kleines Schiff mit Freiwilligen und Journalisten nach Amstschitka fuhr, ein Gebiet im Norden Alaskas, wo die US-Regierung unterirdische Atomtests durchführte. Diese Tradition der gewaltlosen „Zeugen“ hält bis heute an, und Schiffe sind noch immer ein wichtiger Teil der Kampagnenarbeit.

Greenpeace International
Ottho Heldringstraat 5, 1066 AZ Amsterdam, Niederlande
t +31 20 718 2000 f +31 20 514 8151
sven.teske@int.greenpeace.org
www.greenpeace.org



european renewable energy council – [EREC]

europäischer rat für erneuerbare energien

EREC ist eine Dachorganisation führender europäischer Industrie-, Handels- und Forschungsverbände für erneuerbare Energien, die in den Bereichen Photovoltaik, Windenergie, kleine Wasserkraft, Biomasse, Geothermale Energie und Solarthermie tätig sind:

AEBIOM (European Biomass Association)
EGEC (European Geothermal Energy Council)
EPIA (European Photovoltaic Industry Association)
ESHA (European Small Hydropower Association)
ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation)
EUBIA (European Biomass Industry Association)
EWEA (European Wind Energy Association)
EUREC Agency (European Association of Renewable Energy Research Centers)

EREC repräsentiert die europäische Industrie im Bereich erneuerbare Energien, die einen Jahresumsatz von 20 Milliarden Euro macht und ca. 300.000 Menschen einen Arbeitsplatz bietet!

EREC european renewable energy council
Renewable Energy House, 63-65 rue d'Arlon,
B-1040 Brüssel, Belgien
t +32 2 546 1933 f +32 2 546 1934
erec@erec.org
www.erec.org