

## Ein Blick in die Zukunft

**Etwa neun Milliarden Menschen werden die Welt im Jahr 2050 bevölkern. Die globale Wirtschaftsleistung wird mindestens doppelt so hoch sein wie heute. China und Indien sind auf bestem Weg, Europa und Nordamerika als grösste Wirtschaftsräume abzulösen, während die Bevölkerung in Afrika am schnellsten wächst. Was das in Sachen Energieversorgung, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Rohstoffvorkommen für die Welt bedeutet, hat das PSI zusammen mit dem Weltenergieerat untersucht.\***

Auch wenn die ökonomische Entwicklung der letzten Jahre in Europa und den USA nicht allzu rosig war und in einigen Schwellenländern ins Stocken geraten ist – das dürfte kein Dauerzustand sein. Längerfristig liegen die Prognosen für das weltweite Wirtschaftswachstum bei 3% pro Jahr oder darüber. Die heutigen Entwicklungs- und Schwellenländer werden dabei überdurchschnittlich zulegen.

Wie sich dabei der Energiebedarf, die Nutzung verschiedener Energieträger, die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Zugang zur Stromversorgung entwickeln werden, hängt von den politischen Rahmenbedingungen ab. Setzt man vor allem auf Marktkräfte, wächst die Wirtschaft stärker. Das hilft dabei, einen Grossteil der knapp 1.3 Milliarden Menschen, die heute keinen Zugang zu Elektrizität haben, mit Strom zu versorgen.

Kehrseite der Medaille ist eine stärkere Nutzung von Kohle, Gas und Öl. Folge davon sind deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Nur eine international koordinierte Klimapolitik, die entsprechende Leitplanken setzt, könnte erneuerbaren Energien schnell zum Durchbruch verhelfen. Ebenso der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung. Auch eine rasche Steigerung der Energieeffizienz wird nur mit politischer Unterstützung und Investitionen in Forschung und Entwicklung gelingen.

Dabei müssen unterschiedliche Interessen berücksichtigt werden: Für heute weniger entwickelte Länder wird eine schnell wachsende Wirtschaft Vorrang haben. Länder mit grösserem Wohlstand könnten es sich schon heute leisten, umweltfreundliche Technologien zu fördern und ärmere Länder auf einem nachhaltigen Entwicklungspfad zu unterstützen.

\* Die komplette Studie kann als Bericht des Weltenergieerats unter [www.worldenergy.org/publications/](http://www.worldenergy.org/publications/) bezogen werden.

### MIT EINLAGEBLATT

#### Inhalt

- 2 Wachstum:  
**Markt oder Regulierung?**
- 3 Konsequenzen:  
**Klimaziele: noch zu schaffen?**
- 4 Interview mit Christoph Frei:  
**«Die Szenarien enthüllen  
Mythen im Energiebereich»**

# Markt oder Regulierung?

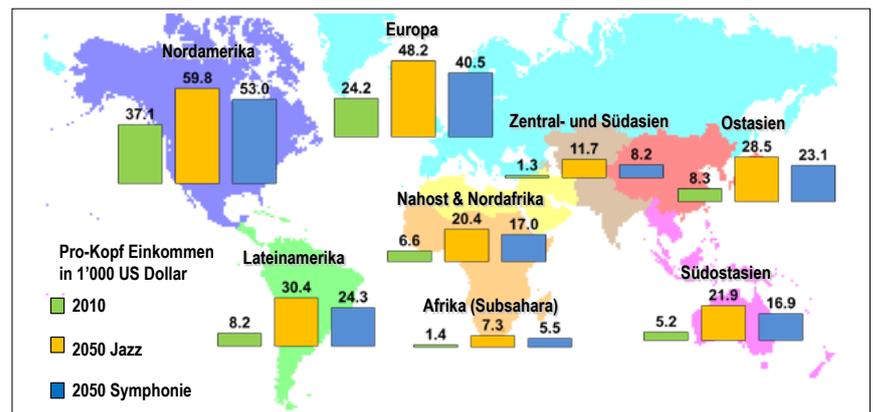
**Das Jahr 2050 ist noch weit weg. Und niemand weiss, wie die Welt dann mit Energie versorgt wird. Trotzdem lohnt sich ein Blick in die Zukunft: Wie sieht eine Entwicklung aus, von der möglichst viele Menschen profitieren?**

Um diese Frage zu beantworten, hat das PSI in einer Partnerschaft mit dem Weltenergieerat zwei Szenarien entworfen (Tabelle 1). Darin wird durchgerechnet, wie sich unterschiedliche Entwicklungsziele und Rahmenbedingungen auf die globale Energieversorgung bis 2050 auswirken können. Der Rahmen im ersten Szenario «Jazz» ist marktorientiert: Wirtschaftswachstum und ein preiswerter Zugang zu Energie stehen weltweit im Vordergrund. Im Gegensatz dazu setzen im zweiten Szenario «Symphonie» Regierungen und internationale Organisationen vermehrt auf eine koordinierte Politik und Regulierung. Dies soll einen sicheren Zugang zu Energie garantieren und Umweltschäden vermeiden. Dazu gehören ein internationaler Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen, gleichzeitig die Förderung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energie. Höhere Umweltstandards führen dazu, dass unkonventionelle fossile Energieträger wie Schiefergas und Ölsande weniger attraktiv sind.

**Bevölkerung und Wirtschaft wachsen**  
Im «Jazz»-Szenario ohne Regulierungsmassnahmen wächst die Wirtschaft schneller. Höhere Einkommen sorgen dafür, dass die Bevölkerung weniger stark zunimmt. Auffallend sind die regionalen Unterschiede (Abbildung 1): Während sich in Europa und Nordamerika die Einkommen pro Kopf bis 2050 im besten Fall verdoppeln, werden sie in anderen Regionen wie etwa Zentralasien dann fast zehnmal so hoch sein wie heute. Der Wohlstand bleibt in Europa und Nordamerika aber immer noch mit Abstand am höchsten. Am schlechtesten sieht die Situation weiterhin im südlichen Afrika (Subsahara) aus:

Die Wirtschaft wächst zwar auch dort, gleichzeitig wird aber die Zahl der Menschen von 860 Millionen im Jahr 2010 auf 1.6 Milliarden («Jazz») bzw. 2 Milliarden («Symphonie») zunehmen.

Die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien sind in den Entwicklungsländern grösser als in Nordamerika und der EU. Gemessen am Pro-Kopf-Einkommen profitieren die Entwicklungsländer stärker von international geöffneten Märkten im ersten Szenario. Dies dürfte dazu beitragen, dass sich auch diese Regionen eine Anpassung an die Klimaerwärmung und andere Umweltschäden leisten können.



**Abbildung 1:** Wirtschaftsentwicklung bis 2050, gemessen als Bruttoinlandsprodukt BIP pro Person.

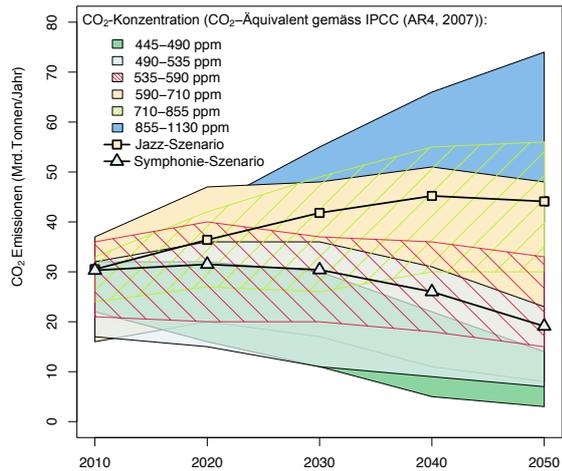
	<b>Szenario «Jazz»: Marktorientierte Zukunft</b>	<b>Szenario «Symphonie» Regulierungsorientierte Zukunft</b>
<b>Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preiswerter Zugang zu Energie durch freie Märkte</li> <li>Hohes Einkommen</li> </ul> → Vor allem Anpassung an Umweltschäden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sicherer Zugang zu Energie</li> <li>Gezielte Regulierung durch Staat und internationale Organisationen</li> </ul> → Vor allem Vermeidung von Umweltschäden
<b>Wirtschaftswachstum</b> (Bruttoinlandsprodukt, BIP)	<b>BIP-Wachstum hat Vorrang</b> (3.5% jährliches Mittel bis 2050)	<b>Weniger BIP-Wachstum</b> (3.1% jährliches Mittel bis 2050)
<b>Bevölkerung</b>	<b>Zunehmend</b> (8.7 Milliarden im Jahr 2050)	<b>Stärker zunehmend</b> (9.3 Milliarden im Jahr 2050)
<b>Klimapolitik</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Märkte entstehen langsam</b> (CO <sub>2</sub> -Preis 2050: 23–45 \$/tCO <sub>2</sub> )	<b>Schnelle staatliche Steuerung</b> (CO <sub>2</sub> -Preis 2050: 70–80 \$/tCO <sub>2</sub> )
<b>Energieeffizienz/-intensität</b>	<b>Effizienzsteigerung nach wirtschaftlichen Kriterien</b>	<b>Staatlich geförderte Effizienz- und Sparmassnahmen</b>
<b>Unkonventionelle Ressourcen</b> (Schiefergas/-öl, Ölsand)	Erweiterte <b>Marktöffnung</b> . Hoher Anreiz zur Nutzung, da höherer Verbrauch	<b>Regulation</b> (bzgl. Wasserverbrauch, Marktzugang). Wenig Anreiz, da tieferer Verbrauch
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>Limitierte Förderung</b> . Nur wirtschaftliche Technologien setzen sich durch	<b>Selektive, staatliche Förderung</b>
<b>Nicht-erneuerbare Energien</b>	<b>Limitierte Förderung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CCS marktgetrieben, Pilotanlagen ab 2030</li> <li>Kernkraftwerke in Bau gehen teilweise nicht in Betrieb</li> </ul>	<b>Staatliche Förderung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CCS verfügbar ab 2020</li> <li>Kernenergie, Grosswasserkraft</li> </ul>

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung der beiden Szenarien. CCS: «Carbon Capture and Storage» (CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung).

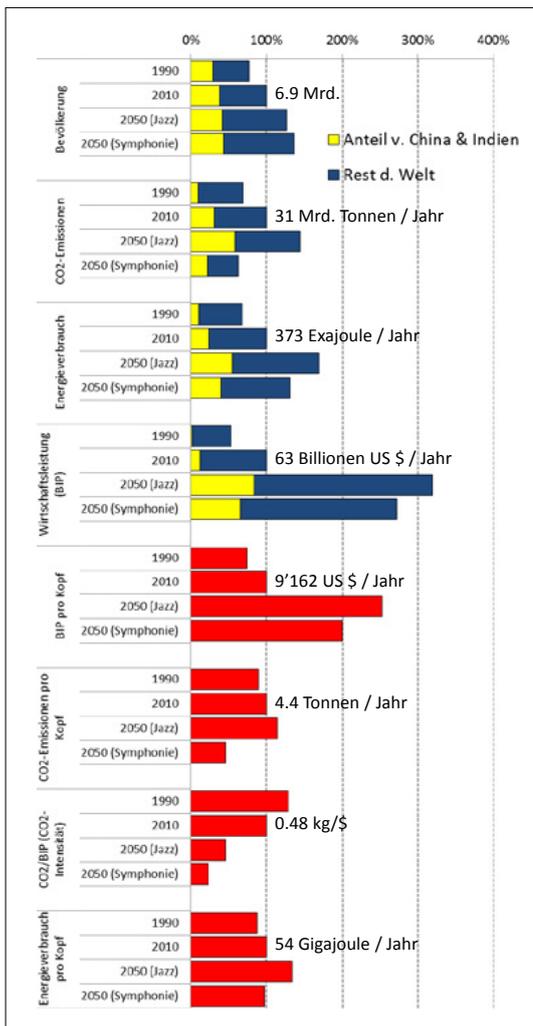
# Klimaziele: noch zu schaffen?

**Steigender Wohlstand war bisher immer mit zunehmendem Energieverbrauch verbunden. Auch wenn Energie künftig effizienter eingesetzt wird: Der globale Verbrauch wird weiter steigen. Entscheidend ist, welche Energieträger und -technologien wir nützen werden.**

Im marktwirtschaftlichen Szenario setzt man in jeder Region die billigsten Energieträger ein: vor allem Erdöl, Kohle und Erdgas – je nachdem, was auf dem Markt günstig vorhanden ist. Der Anteil dieser fossilen Energieträger an der gesamten Energieversorgung liegt 2050 fast unverändert gegenüber heute bei etwa 80%. Die Regulierungs- und Klimaschutzmassnahmen im «Symphonie»-Szenario lassen diesen Anteil auf knapp 60% sinken. Wobei der Verkehr in beiden Szenarien weiterhin vom Öl abhängig ist. Grosse Unterschiede gibt es dagegen in der Stromproduktion (Seite 5).



**Abbildung 3:** Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen in beiden Szenarien bis 2050, hinterlegt mit den Bereichen der langfristigen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre, die sich aus Emissionsszenarien des IPCC ergeben. Lesebeispiel: Die Emissionen im Jazz-Szenario bewegen sich in der Mitte des grün schraffierten Bereichs; damit ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 710–855 ppm. Nach neuesten Erkenntnissen des IPCC entspricht eine Konzentration von 800 ppm einer Erwärmung von 2.0–3.7 °C am Ende dieses Jahrhunderts.



**Abbildung 2:** Veränderung verschiedener Kenngrössen von 1990 bis 2050 in beiden Szenarien.

### Energieeffizienz allein reicht nicht

Der Energieverbrauch der Welt wird zunehmen (Abbildung 2). Auch dann, wenn sich der Trend der Vergangenheit in Richtung höherer Energieeffizienz fortsetzen oder wie im regulierungsorientierten Szenario verstärken lässt. Das ergibt sich aus der wachsenden Wirtschaft und der wachsenden Weltbevölkerung. Die Regulierungsmassnahmen im «Symphonie»-Szenario wirken aber: Der Energieverbrauch pro Kopf sinkt im Vergleich zu heute leicht, während er im marktwirtschaftlichen Szenario bis 2050 um ein Drittel zunimmt. Vergleicht man die Entwicklung in den heutigen Industrieländern mit jener in den Schwellen- und Entwicklungsländern, dann wird deutlich, wie sehr sich die globalen Gewichte in Richtung Asien und Afrika verschieben werden. Eine international koordinierte Politik wird damit umso wichtiger.

### Folgen für das Klima

Gross sind die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im marktwirtschaftlichen Szenario sind diese 2050 um fast die Hälfte höher als heute. Eine wirksame Klimapolitik im regulierungsorientierten Szenario lässt die Emissionen im Vergleich zu heute um 40% sinken. Die Emissionen pro Kopf steigen im ersten Szenario um 15%, während sie im zweiten auf knapp die Hälfte sinken. Diese positive Entwicklung ist einer viel stärkeren Nutzung von «CO<sub>2</sub>-freien» Technologien und der Einführung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung bei der Stromerzeugung zu verdanken. Und auch einem weniger stark steigenden Energieverbrauch.

her als heute. Eine wirksame Klimapolitik im regulierungsorientierten Szenario lässt die Emissionen im Vergleich zu heute um 40% sinken. Die Emissionen pro Kopf steigen im ersten Szenario um 15%, während sie im zweiten auf knapp die Hälfte sinken. Diese positive Entwicklung ist einer viel stärkeren Nutzung von «CO<sub>2</sub>-freien» Technologien und der Einführung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung bei der Stromerzeugung zu verdanken. Und auch einem weniger stark steigenden Energieverbrauch.

Dementsprechend sind die Folgen für das Klima. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen in beiden Szenarien und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre als Konsequenz verschiedener Emissionsszenarien der internationalen Klimaschutzbehörde IPCC. Im marktwirtschaftlichen «Jazz»-Szenario ist es unwahrscheinlich, dass das Ziel einer globalen Erwärmung von maximal 2 °C am Ende dieses Jahrhunderts erreicht wird. Mit der Klimaschutzpolitik im «Symphonie»-Szenario ist man hingegen eher auf dem Weg, dieses Ziel zu erreichen. Dies geht aus den neuesten Erkenntnissen des IPCC hervor.

# «Die Szenarien enthüllen Mythen im Energiebereich»

## Was sind für Sie persönlich die wichtigsten Schlussfolgerungen aus den neuesten Energieszenarien des PSI und Weltenergieerats?

Die Szenarien enthüllen und exponieren einige Mythen im Energiebereich. Erstens den Mythos, dass die Nachfrage nach fossilen Brenn- und Treibstoffen abnehmen wird. Die Szenarien zeigen ganz klar, dass das nicht der Fall ist. Zweitens erreicht die Welt das Klimaziel einer Halbierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber 1990 nicht. Die Emissionen

## CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen einen Preis haben

liegen gemessen an diesem Ziel in den beiden WEC-Szenarien einen Faktor 2 bzw. 4 darüber. Und drittens werden wir es nicht schaffen, die Energiearmut bis 2050 zu eliminieren.

## Wo sehen Sie die grössten Unsicherheiten in der zukünftigen Energieversorgung?

Die Szenarien unterschätzen den Einfluss von Innovationen, die das Energieumfeld ganz grundsätzlich verändern können. Dazu gehören vor allem Energiespeicher und der Bereich CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung bzw. -Speicherung. Durchbrüche in beiden Bereichen hätten grosse Folgen für die Energieversorgung.

## Es gibt schon eine Menge Energieszenarien, von ganz unterschiedlichen Organisationen. Was unterscheidet die WEC-Szenarien von diesen?

Der Weltenergieerats hat mit seinen 3000 Mitgliederorganisationen in 100 Ländern einzigartigen Zugang zu Entwicklungssignalen. Damit entwerfen wir explorative «bottom-up»-Szenarien. Das heisst, wir fragen: Wo stehen wir heute und was sind plausible Wege, die uns in die Zukunft führen? Das stellt einen Gegensatz dar zu anderen Szenarien, die mit einem top-down Ansatz arbeiten bzw. Roadmaps, die fragen, wie man von A nach B kommt. Zweitens basiert das PSI-WEC Modell auf einer einzigartigen «open-source» Philosophie. Das Modell zur Szenarienrechnung steht anderen zur Nutzung zur Verfügung. Und drittens, was die Ergebnisse betrifft: Diese sind bzgl. Technologiemix ähnlich wie die Ergebnisse anderer Organisationen. Wir sind hingegen bei der Energieeffizienz etwas weniger

optimistisch. Dies aufgrund der Beobachtungen der letzten 20 Jahre: Die Effizienzgewinne waren in den 1990er-Jahren höher als anfangs der 2000er-Jahre.

## Wenn Sie wählen könnten, wie sich die Welt entwickelt – was wäre Ihre Präferenz: wie im marktorientierten «Jazz»-Szenario, oder wie im regulierungsorientierten «Symphonie»-Szenario?

Im «Jazz»-Szenario werden die Entscheidungen dezentral getroffen – im «Symphonie»-Szenario stehen orchestrierte Entscheidungen im Vordergrund. Beide Seiten haben Stärken und Schwächen. Das Beispiel Schiefergas zeigt deutlich eine Stärke einer «Jazz»-Umgebung in Form eines massiven Innovationsdurchbruchs. Auf der anderen Seite ist es z.B. China mit einem orchestrierten «Symphonie»-Ansatz gelungen, die Armut stark abzubauen. Wir müssen aus beiden Welten lernen und uns fragen, welche Ziele wir mit welchen Methoden am besten erreichen können.

## Wie soll man mit externen Kosten umgehen, die in den Szenarien heute nicht berücksichtigt sind, z.B. den möglichen Kosten des Klimawandels oder Krankheitskosten als Folge von Schadstoffemissionen?

Jede Form der Marktverzerrung im Energiebereich – und dazu gehören externe Kosten, aber auch Subventionen – führt zu Energieverschwendung. Es wäre darum wichtig, bestehende Subventionen abzutragen, was aber politisch schwierig ist, wenn diese zur Begrenzung der Armut eingeführt wurden. Ebenso wichtig ist es, externe



**Dr. Christoph Frei** ist Generalsekretär des Weltenergieerats (WEC), des globalen und unabhängigen Netzwerks, das das gesamte Spektrum an Akteuren im Energiebereich

repräsentiert. Vor seiner Tätigkeit beim WEC war Frei Direktor für Energiewirtschaft und -politik beim Weltenergieforum (WEF) und ein Mitglied des WEF Exekutivrats (2001-2009). Er promovierte 2001 an der ETH in Ökonometrie und Elektrotechnik.

Kosten zu berücksichtigen: CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen mit einem Preissignal versehen werden. Beides zusammen muss zu einer höheren Energie- und Ressourceneffizienz führen.

## Wird der Weltenergieerats diese Art der Szenarienanalyse weiter verfolgen? Welche Schwerpunkte werden dabei gesetzt?

Ja, sicherlich. Wir sind stolz auf die Zusammenarbeit mit dem PSI: Das WEC bringt sein einzigartiges Netzwerk ein, das PSI ein sehr starkes Forschungsteam. Es tauchen immer neue Fragen auf. Etwa was Durchbrüche in den Bereichen Energiespeicherung und CCS bedeuten würden. Wir möchten die Modelle auch in den Bereichen Wasser und Nahrungsmittel verbessern. Das eröffnet uns eine ganz spannende Zukunft der Szenarienanalyse.

Komplettes Interview: [www.psi.ch/info/energie-spiegel](http://www.psi.ch/info/energie-spiegel)

## Impressum

**Energie-Spiegel** ist der Newsletter des PSI zur ganzheitlichen Betrachtung von Energiesystemen (Projekt GaBE). Beiträge zu dieser Ausgabe stammen von Martin Densing, Hal Turton, Evangelos Panos und Kathrin Volkart.

**ISSN-Nr.:** 1661-5085

**Auflage:** 15 000 Ex. Deutsch, 4000 Ex. Französisch, 800 Ex. Englisch  
Bisherige Ausgaben als Pdf (D, F, E): <http://gabe.web.psi.ch/>

### Verantwortlich für den Inhalt:

Paul Scherrer Institut  
Dr. Stefan Hirschberg  
5232 Villigen PSI, Schweiz  
Tel. +41 56 310 29 56  
[stefan.hirschberg@psi.ch](mailto:stefan.hirschberg@psi.ch)  
<http://gabe.web.psi.ch/>

**Redaktion:** Christian Bauer

**Verteilung und Subskription:**  
[energiespiegel@psi.ch](mailto:energiespiegel@psi.ch)

**Layout:** Paul Scherrer Institut

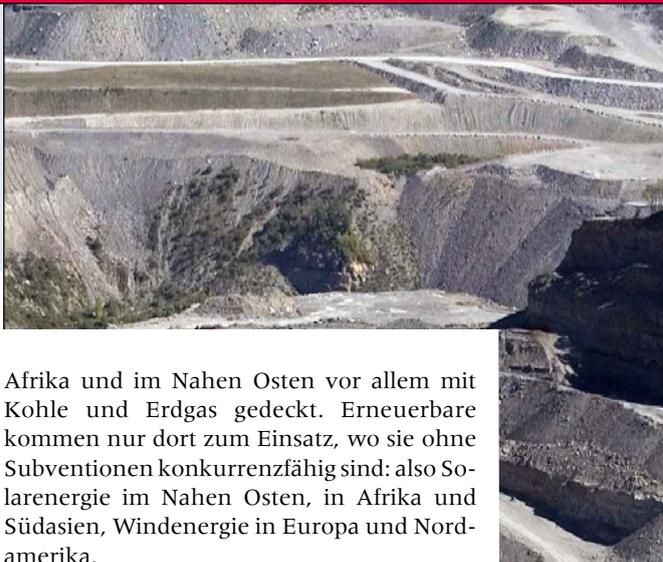
**Energiesystem-Analysen am PSI:** Ziel der Energiesystem-Analysen am Paul Scherrer Institut, Villigen, ist eine umfassende und detaillierte Beurteilung heutiger und zukünftiger Energiesysteme. Betrachtet werden neben Technologien insbesondere ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Kriterien. Auf der Basis von Life Cycle Assessment (LCA), energiewirtschaftlichen Modellen, Risikoanalysen, Schadstoff-Ausbreitungsmodellen und Multikriterien-Analysen ist es möglich, unterschiedliche Energieszenarien zu vergleichen, um Grundlagen für politische Entscheidungen zu schaffen.

### Zusammenarbeiten mit:

ETH Zürich; EPF Lausanne; EMPA; Bundesamt für Energie (BFE); swisselectric research; World Energy Council (WEC); Massachusetts Institute of Technology (MIT); Europäische Union (EU); International Energy Agency (IEA); Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

# Strom: ein Schlüssel zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

Die Schweiz ist in einer glücklichen Lage und kann viel Strom mit Wasserkraftwerken produzieren. vielerorts geht das nicht. Stattdessen werden heute meist Kohle und Erdgas verfeuert – mit entsprechenden Schadstoffemissionen und negativen Folgen für das Klima.



Wie der Strom in Zukunft erzeugt wird, hängt stark von den politischen Vorgaben ab (Abbildung 4): Ausschlaggebend im marktorientierten Szenario «Jazz» sind die Produktionskosten. Die sollen so tief wie möglich sein. Finanzielle Risiken werden gemieden, Grossprojekte wie neue Kern- und Wasserkraftwerke haben also einen schweren Stand. Der stark steigende Strombedarf wird in Asien,

Afrika und im Nahen Osten vor allem mit Kohle und Erdgas gedeckt. Erneuerbare kommen nur dort zum Einsatz, wo sie ohne Subventionen konkurrenzfähig sind: also Solarenergie im Nahen Osten, in Afrika und Südasien, Windenergie in Europa und Nordamerika.

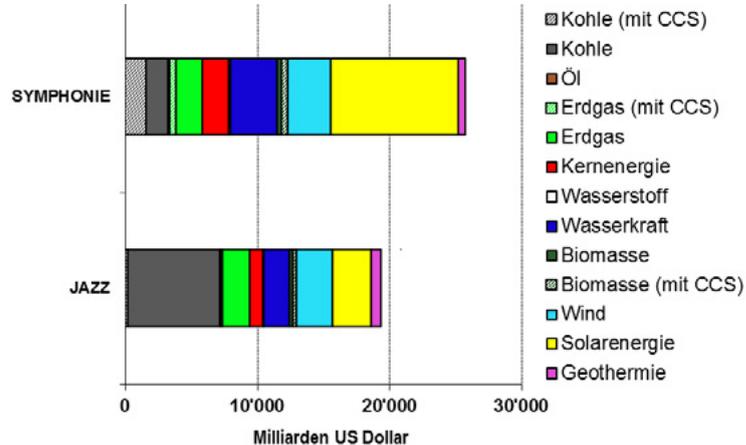


Abbildung 5: Investitionen in die Stromerzeugung weltweit bis 2050 in Milliarden US Dollar; aufgeschlüsselt nach Energieträger.

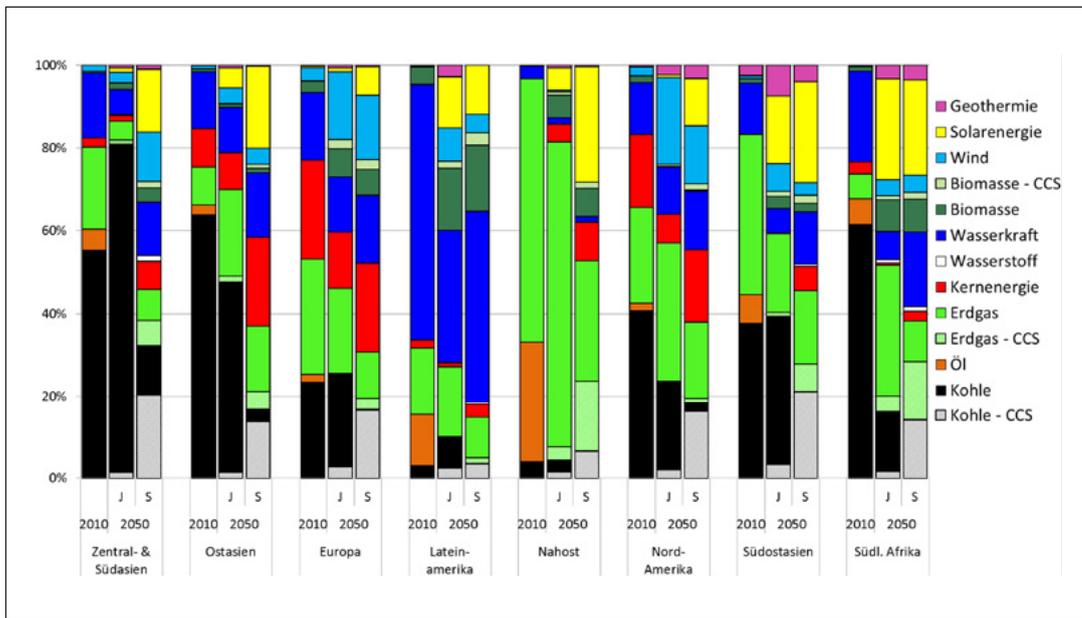


Abbildung 4: Stromproduktion 2010 und 2050 in den Weltregionen für beide Szenarien, aufgeschlüsselt nach Energieträger. «J»: marktorientiertes Szenario «Jazz»; «S»: regulierungsorientiertes Szenario «Symphonie».

## Erneuerbare brauchen Unterstützung

Mit einer internationalen Klima- und Umweltschutzpolitik kommen neben den Kosten andere Faktoren ins Spiel: etwa niedrige CO<sub>2</sub>-Emissionen und weniger Abhängigkeit von importierten Energieträgern. Um diese Ziele zu erreichen, werden im «Symphonie»-Szenario Erneuerbare finanziell unterstützt. Die Risiken bei grossen Investitionen in Wasser- und Kernkraftwerke übernimmt der Staat. Gleichzeitig werden Rahmenbedingungen geschaffen, damit sich CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung («CCS»: Carbon Capture and Storage) durchsetzen kann. Ergebnis ist in vielen Regionen ein sauberer Strommix mit deutlich mehr Solarenergie, Wind, Wasserkraft und Kernenergie. Der Anteil von Erdgas, Kohle und Öl sinkt

weltweit von heute knapp 70% auf weniger als 40%. Kohlekraftwerke werden kaum mehr ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung betrieben.

Für einen solchen Umbau muss aber viel Geld in die Hand genommen werden. Der Stromsektor braucht zwar in den kommenden Jahrzehnten sowieso hohe Investitionen. Im «Symphonie»-Szenario mit einer Klimaschutzpolitik muss aber um ein Drittel mehr investiert werden als im marktorientierten Szenario (Abbildung 5), obwohl der Stromverbrauch 2050 um 10% kleiner ist. Die zusätzlichen Mittel fliessen vor allem in Solaranlagen, Kern- und Wasserkraftwerke. Insgesamt müssen bis 2050 Kraftwerke mit Leistungen von 17'000 bzw. knapp 14'000 Gigawatt («Symphonie» bzw. «Jazz») neu errichtet werden.

# Genug Energie für alle?

Für uns im Westen heute unvorstellbar, für 1.3 Milliarden Menschen – also fast jeden Fünften – aber immer noch Alltag: ein Leben ohne Elektrizität. Oft ist dies das Resultat der Armut, in der diese Menschen leben, oft fehlt auch die nötige Infrastruktur.



Im südlichen Afrika muss heute ein Grossteil der Bevölkerung ohne Strom auskommen (Abbildung 6). Auch in Asien ist dies für viele Realität. Diese Menschen müssen meist mit Holz oder Stallmist kochen. Folge davon ist eine schlechte Luftqualität in den Behausungen und die führt zu gravierenden Gesundheitsschäden. Schlüssel zu einer Verbesse-

rung dieser Situation sind ein steigender Wohlstand und stabile gesellschaftliche Verhältnisse.

Die Zahl der Menschen ohne Zugang zu Strom wird bis 2050 merklich abnehmen. Stärker – auf rund 300 Millionen – im marktwirtschaftlich orientierten Szenario. Das ist vor allem dem rascher steigenden Wohlstand

und der zunehmenden Urbanisierung zu verdanken. Im «Symphonie»-Szenario bleiben noch mehr als 500 Millionen Menschen ohne Elektrizität. Die Staaten sind zwar bestrebt, die Infrastruktur bereitzustellen, teilweise fehlt dazu aber das Geld.

Die Szenariorechnungen wurden vom PSI mit einem globalen «MARKAL»-Modell durchgeführt. Dieses Optimierungswerkzeug errechnet die jeweils billigste Zusammensetzung der Energieversorgung in 15 Weltregionen unter vorgegebenen Rahmenbedingungen. Dieser Rahmen ist in den beiden Szenarien «Jazz» und «Symphonie» unterschiedlich. Bei vorgegebenem Energiebedarf wählt das Modell die optimale Kombination von rund 400 verschiedenen Energietechnologien (z.B. Kraftwerke, Heizungen, Fahrzeuge) in jeder Region. Dabei wird der Verbrauch der Industrie, für den Verkehr und von Haushalten berücksichtigt (siehe Abbildung 7). Die Ergebnisse hängen vor allem davon ab, wie viel Energietechnologien und Brennstoffe kosten und wann sie eingesetzt werden können. Und auch davon, wie sich Bevölkerung und Wirtschaft entwickeln werden. Dabei werden zukünftige technologische Fortschritte berücksichtigt, etwa in Form von steigenden Wirkungsgraden von Kraftwerken. Ebenso enthalten ist die erwartete Entwicklung der Kosten von Kraftwerken, Kohle, Gas und Öl. Auch die Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen und die regional unterschiedlichen Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien sind Teil der Rechnung. Die Szenarien sind keine Prognosen, sondern geben «Wenn-Dann» Antworten.

Zusammen mit dem Weltenergieat (WEC) entwickelt das PSI das Szenarienmodell in «open source»-Form weiter. Das Modell wird den über 3000 Mitgliedern des WEC zur Verfügung stehen. Volle Transparenz ist somit garantiert.

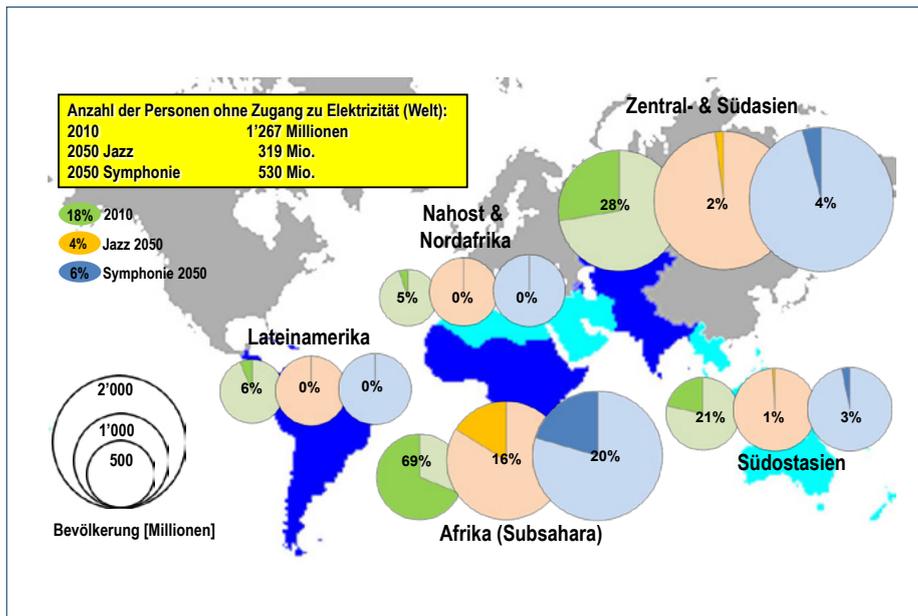


Abbildung 6: Anteil der Menschen ohne Zugang zu Elektrizität in verschiedenen Regionen, 2010 und 2050 in beiden Szenarien. Die Grösse der Kreise ist proportional zur Bevölkerung.

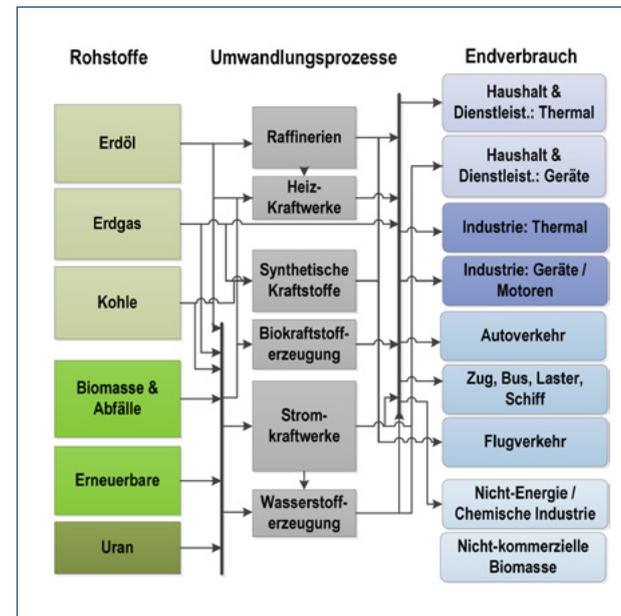


Abbildung 7: Schematischer Aufbau des «MARKAL»-Modells zur Berechnung der Energieszenarien.