

Zeitschrift: Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES

Band: - (2005)

Heft: 3: Heizen ohne Erdöl : das Erni-Haus produziert mehr Energie, als es verbraucht

Artikel: Mit Wasserstoff in die Energie-Zukunft?

Autor: Brand, Rafael

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-586848>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 07.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mit Wasserstoff in die Energie-Zukunft?

Wie entwickelt sich die Mobilität? Wie lange gibt es noch Benzin? Welche Rollen spielen zukünftig die Biotreibstoffe? Wie steht es um den Forschungsplatz Schweiz bezüglich Wasserstofftechnologie? Welche Voraussetzungen braucht es, damit der Übergang zur Wasserstofftechnologie gelingt? Dies einige zentrale Fragen, auf die es anlässlich der diesjährigen SES-Fachtagung «Erdöl... und danach?» kompetente Antworten und Anhaltspunkte gab.

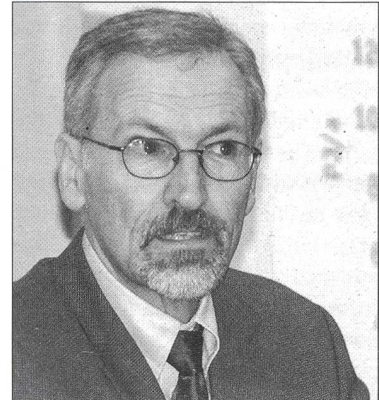
Von **Rafael Brand**,
Redaktor «ENERGIE & UMWELT»

Das Zeitalter des billigen und reichlich vorhandenen Erdöls neigt sich dem Ende zu. Wir nähern uns – schon 2010 oder je nach Expertenmeinung erst um 2020 – dem Fördermaximum, dem «Peak of Oil». Fakt ist: Der Ölpreis steigt derzeit auf immer neue Rekordhöhen – und damit gewinnt die Frage nach dem Ersatz der fossilen und endlichen Energieträger immer mehr an Bedeutung: Genau dieser Thematik widmeten sich die SES-Fachtagungen der letzten zwei Jahre. Wie schon «Erdöl – Der Streit um die Reserve-Prognosen» stiess auch die diesjährige SES-Fachtagung «Erdöl... und danach?» vom 27. Mai

2005 auf sehr grosses Interesse. Rund 130 Teilnehmende seitens Bundes-, Kantonsbehörden, Umweltorganisationen, Hochschulen, Privatwirtschaft und der Energiebranche folgten den Ausführungen der Experten aus unterschiedlichen Fachbereichen. Ausgehend von zukünftigen Mobilitätsszenarien wurden die Chancen und Risiken von nicht-konventionellen Erdölen, die Perspektiven von Biotreibstoffen und Wasserstoff in Kombination mit Brennstoffzellen eingehend erörtert. Dies insbesondere, aber nicht nur auf den Verkehr bezogen. Im Folgenden die überaus brisanten Kernaussagen der Referenten der diesjährigen SES-Fachtagung.

Markantes Verkehrswachstum auch in Zukunft

Ein Drittel des Energieverbrauchs der Schweiz geht auf Kosten des Verkehrs (Personenverkehr Strasse 71%, Güterverkehr Strasse 17%, Schienenverkehr 4%, Off-Road, z.B. Bau- und Landwirtschaftsmaschinen 8%). «In der Vergangenheit haben wir ein markantes Verkehrswachstum erlebt, das deutlich höher war als das Bevölkerungswachstum», hielt Mario Keller von Infras Bern fest. Gleichzeitig ist tendenziell und primär für den Güterverkehr eine Verschiebung hin zur Strasse festzustellen. Und der Verkehr wird auch in Zukunft zunehmen, wie zwei aktuelle Untersuchungen zeigen. Beim Güterverkehr wird je nach Szenario und Grundannahmen damit gerechnet, dass dieser bis 2030 zwischen 32% und 78% anwächst. Auch beim Personenverkehr wird – trotz marginalem Bevölkerungswachstum – mit einer Zunahme von



«Die Perspektiven zeigen, dass die Zeichen nach wie vor auf Mobilitätswachstum stehen.»
Mario Keller, Mitglied der Geschäftsleitung Infras Bern.

rund 15% bis 30% gerechnet. Und beim Luftverkehr rechnen internationale Studien mit einem jährlichen Wachstum von rund 3%. Das Fazit von Mario Keller: «Eine Sättigung der Nachfrage nach Mobilität ist nicht in Sicht». Jedoch könne das Verkehrssystem ein weiteres Wachstum von 30% oder mehr nicht ohne weiteres verkraften. «Engpässe sind absehbar», so Mario Keller. Aufgrund der steigenden Treibstoffpreise ist zwar mit weiteren Effizienzgewinnen zu rechnen, die aber gerade etwa das Verkehrswachstum kompensieren. «Wir werden mit einem Energiebedarf für die Mobilität auf hohem Niveau konfrontiert sein. Erhöhte Effizienz und Alternativen beziehungsweise Rahmenbedingungen, welche dies bewirken, sind dringend notwendig», forderte Mario Keller abschliessend.

Noch ausreichend Erdöl für 10 bis 15 Jahre?

«Solange Erdöl vorhanden ist, wird es auch verbraucht», brachte Peter

Die Referenten der SES-Fachtagung 2005 «Erdöl... und danach?»

- Mario Keller, Infras Bern – «Die Zukunft der Mobilität in der Schweiz»
- Dr. Peter Gerling, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover – «Nicht-konventionelle Erdöle – Mengen, Chancen und Risiken»
- Dr. Reinhard Madlener, ETH/CEPE, Zürich – «Perspektiven für die Nutzung von Biotreibstoffen – Potenziale, Kosten, Trends und politische Herausforderungen»
- Prof. Dr. Armin Reller, Programmleiter Solarchemie/Wasserstoff EnergieSchweiz – «Herstellung und Speicherung von Wasserstoff: Herausforderung und Chance für den Technologiestandort Schweiz»
- Dr. Andreas Ostermeier, Umweltbundesamt Berlin – «Probleme beim Komplex Wasserstoffenergiesystem/Verkehr»
- Prof. Dr. Alexander Wokaun, Professor für Chemie, ETH Zürich – «Anwendungen des Wasserstoffs»
- Dr.-Ing. Stephan Ramesohl, Wuppertal-Institut – «Wo kommt der Wasserstoff her? Die Rolle von H₂ im zukünftigen Energiesystem»

Gerling von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die ungebremste Nachfrage nach Erdöl auf den Punkt. Die Internationale Energieagentur IAE prognostiziert bis 2030 ein Anwachsen des weltweiten Erdölbedarfs auf 6 Gigatonnen/Jahr (2004: 3,8 Gt/a). Die weltweiten Reserven an konventionellem Erdöl werden auf 350 bis 400 Gt geschätzt, wovon bereits 139 Gt verbraucht sind. «Das Potenzial nicht-konventioneller Erdöle (Schweröl, Ölsande, Ölschiefer, synthetische Erdöle etc.) wird auf die gleiche Grössenordnung geschätzt», erklärte Peter Gerling weiter: «Erdöl wird es also zweifellos auch in



«Konventionelles Erdöl wird dem Weltmarkt vermutlich für die kommenden 10 bis 15 Jahre in noch ausreichender Menge zur Verfügung stehen.»
Peter Gerling, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

100 Jahren noch geben.» Doch die entscheidende Frage sei die der ausreichenden, geologischen Verfügbarkeit von Erdöl, das heisst: «Wann öffnet sich die Schere zwischen Angebot und Nachfrage?» Wann dies eintreffe, sei schwierig zu beantworten. Peter Gerling rechnet jedoch damit, dass konventionelles Erdöl noch für 10–15 Jahre in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Zwar sei ein immenses Potenzial an nicht-konventionellen Erdölen vorhanden. Diese sind aber voraussichtlich wegen hoher Investitionsvolumen und der zu überwindenden Umweltbelastung nur sukzessive für den Markt zu erschliessen, erläuterte Gerling. «Wenn also in absehbarer Zukunft das weltweite Angebot an Erdöl nicht mehr weiter zu steigern ist», stellen sich für Peter Gerling folgende Fragen, die er an die SES-Tagungsteilnehmer weitergab: «Welche Konsequenzen hat dies für den Ölpreis, die weltweite Versorgung, das Transportwesen und die politische Stabilität?»

Die Bedeutung von Biotreibstoffen wird zunehmen

«Biotreibstoffe haben grundsätzlich das Potenzial, einen substantiellen Anteil des weltweiten Treibstoffbedarfs zu decken», so Reinhard Madlener, ETH/CEPE Zürich, zur zukünftigen Bedeutung von Biotreibstoffen wie Biodiesel, Biogas und Bioethanol. Dabei steht die Produktion von Biotreibstoffen aber teilweise in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion, bietet aber auch Chancen für die Entwicklung von Landwirtschaft und ländlichen Regionen. Biotreibstoffe könnten die Abhängigkeit von Erdölimporten mindern, zur Reduktion der CO₂-Emissionen und Luftverschmutzung beitragen sowie Einkommens- und Beschäftigungseffekte in ländlichen und strukturschwachen Regionen auslösen.

«Die Produktion von Biotreibstoffen hat in den letzten Jahren weltweit stark zugenommen», hielt Reinhard Madlener fest. Doch der Anteil am weltweiten Benzinverbrauch ist gering: beim Bioethanol lag dieser 2003 bei 2.8%, beim Biodiesel bei 0.2%. Zukünftig erwartet die IAE



«Das derzeitige Preisniveau an den Rohölmärkten eröffnet aber interessante Perspektiven für die Weiterentwicklung der Biotreibstoffmärkte.»
Reinhard Madlener, ETH/CEPE, Zürich.

zwar, dass der Anteil von Ethanol am weltweiten Treibstoffverbrauch auf rund 4% im Jahr 2010 und rund 6% im 2020 steigt. Dabei rechnet die internationale Energieagentur, dass bis zum Jahr 2010 entscheidende Kostenreduktionen stattfinden und die meisten Bioethanol-Treibstoffe bereits bei Rohölpreisen von 25–35 US-\$/Barrel (!) konkurrenzfähig sind. Die Produktionskosten werden in tropischen und subtropischen Ländern niedriger sein als in Industrieländern mit gemässigtem Klima. «Hieraus entstehen Exportchancen für die Entwicklungslän-

SES-INTERN

Journalistenpreis für E&U-Artikel von Susan Boos

Susan Boos hat mit ihren «E&U»-Artikeln «Erdöl ist das ganze Leben» und «Ölland Schweiz/Die Schatzsuche» den Alstom-Journalistenpreis 2005 erhalten. Die Jury hat vor allem die aussergewöhnliche journalistische Qualität, die anschauliche und spannende Art und die Originalität der Artikel überzeugt. Dem stimmen wir nur zu.

Susan Boos erhielt die Auszeichnung zwar für die Publikation der Erdöl-Artikel in der WOZ. Das macht nichts, zeigt aber, dass die Alstom das «E&U» nicht kennt. Die insgesamt dreiteilige Artikelserie hat Susan Boos nämlich fürs «E&U» geschrieben und ist später in Absprache mit dem «E&U» auch in der WOZ erschienen. Susan Boos gratulieren wir zum Journalistenpreis ganz herzlich! Dass ihre Artikel «preisverdächtig» sind, haben wir aber immer schon gewusst.

Jedoch: Alstom ist ein führendes Unternehmen für Energie und Transport – und ist auch im AKW-Bau tätig. Susan Boos hat trotzdem beschlossen, das Preisgeld entgegenzunehmen. Jedoch hat sie die Preissumme von Fr. 8'333.– direkt an «solidarité sans frontières» sowie an zwei Tschernobyl-Organisationen in Weissrussland und der Ukraine einbezahlt, die mit dem Geld den AKW-Opfern von Tschernobyl helfen. Für diese Direkthilfe von Alstom zuhanden der Tschernobyl-Opfer haben wir uns auch einen Preis ausgedacht – und werden der Alstom doch gerne ein «E&U»-Probeabo schenken.

Viele SES-Neumitglieder

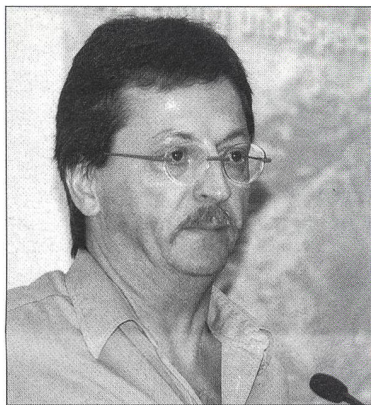
Die SES verzeichnet in diesem Jahr einen deutlichen Zuwachs an Neumitgliedern. Ende 2004 betrug der Mitgliederbestand 3343. Bis Mitte August 2005 haben bereits 584 Personen ihren Beitritt zur SES erklärt. Wir begrüssen alle Neumitglieder nochmals ganz herzlich und danken für das Vertrauen und die Unterstützung.

Fragen, Anregungen oder auch Kritik sind jederzeit willkommen:
 Telefon 044 271 54 64 oder per Mail an info@energienstiftung.ch.

der», so Reinhard Madlener. «Die Produktionskosten sind zwar nach wie vor recht hoch – das derzeitige Preisniveau an den Rohölmärkten eröffnet aber interessante Perspektiven für die Weiterentwicklung der Biotreibstoffmärkte.»

Forschungsbedarf bei der Wasserstofftechnologie

«Im heutigen globalen Energiemix spielt Wasserstoff praktisch keine Rolle. Zudem wird Wasserstoff noch zu fast 100% aus Erdöl und Erdgas gewonnen, und die Herstellung ist mit erheblichen CO₂-Emissionen verbunden», hielt Armin Reller einleitend fest. Für Armin Reller besteht Forschungs- und Entwick-



«Auf einigen Gebieten der Wasserstofftechnologie ist in der Schweiz ein international absolut konkurrenzfähiger, teilweise führender Stand erreicht worden.»

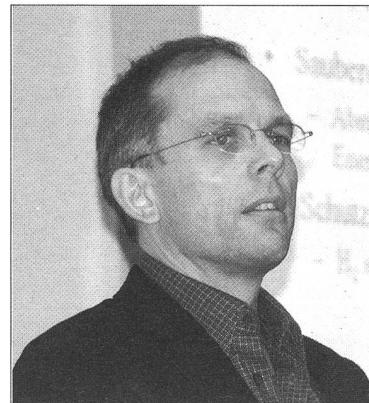
Armin Reller, Programmleiter Solarchemie/Wasserstoff EnergieSchweiz

lungsbedarf. Bis die Wasserstofftechnologie einsetzbar ist, wird es je nach Gebiet noch 10 oder 20 Jahre dauern. An diesem Punkt setzt EnergieSchweiz mit seinem Forschungsprogramm Solarchemie/Wasserstoff an, dessen Koordinator Armin Reller ist. Das Programm erforscht und prüft Herstellungs-, Speicherungs- und Nutzungstechnologien für Wasserstoff auf Basis von Solarenergie. Dank dem Programm gibt es in der Schweiz zahlreiche Forschungsprojekte: Im Paul-

Scherrer-Institut in Würenlingen wird ein neuartiger Prozess zur Herstellung von Wasserstoff mittels konzentrierter Solarstrahlung und Sonnenofen entwickelt. Ebenfalls im PSI-Institut beschäftigt sich eine internationale Forschungsgruppe mit dem Potenzial der Wasserstoffherstellung aus Biomasse. Ein weiteres, interessantes Projekt zwischen der Uni Genf, der EPFL Lausanne und der Uni Bern erforscht die Spaltung von Wasser mittels Sonnenlicht bei Raumtemperatur! Zudem wird intensiv an der Speicherung von Wasserstoff gearbeitet. Das Fazit von Armin Reller für den Forschungsplatz Schweiz: «In allen Bereichen der Wasserstofftechnologie finden sich in der Schweiz Kompetenz- und Erfahrungszentren. Zur Zeit ist auf einigen Gebieten ein international absolut konkurrenzfähiger, teilweise führender Stand erreicht worden». Dieses Potenzial des Technologiestandorts Schweiz gelte es allerdings konsequent weiter zu entwickeln.

Die Energieeffizienz ist entscheidend

Wasserstoff hergestellt auf Basis erneuerbarer Energien ist ein sauberer Energieträger. Ein mit Wasserstoff betriebenes Fahrzeug stösst keine Schadstoffe aus. Andreas Ostermeier vom Umweltbundesamt Berlin gab sich gegenüber der Nutzung von Wasserstoff und Biotreibstoffen aber skeptisch. «Aus unserer Sicht ist vor allem die Reduktion der Treibhausgase der entscheidende Aspekt – und da ist eine ambitionierte Zielsetzung notwendig». Für Industrieländer bedeutet dies eine Treibhausgas-Reduktion um 80% bis 2050. Die Frage ist jedoch, wie ist dies zu erreichen? «Wie eine aktuelle Studie zeigt, ist dabei nicht der Wasserstoff, sondern die Steigerung der Energieeffizienz entscheidend», stellte Andreas Ostermeier klar. Zudem sei es viel effizienter, er-



«Um die Klimaschutzziele bis 2050 zu erreichen, ist vor allem die Energieeffizienz entscheidend.» **Andreas Ostermeier, Umweltbundesamt Berlin.**

neuerbare Energien wie z.B. Wind- oder Solarstrom direkt zu nutzen, statt unter Energieverlusten in Wasserstoff umzuwandeln. «Auch wenn man die technologischen Potenziale ausschöpft, so kommt dabei auch in Zukunft nur ein Drittel der ursprünglich produzierten Elektrizität beim Verbraucher an.» Zur Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien gebe es zahlreiche effizientere Speicheralternativen. Das Fazit von Andreas Ostermeier: Die Klimaschutzziele bis 2050 lassen sich kosteneffizient auch ohne Wasserstoff erreichen. «Man muss die Weichen aber schon heute unbedingt in Richtung Energieeffizienz stellen. Ohne Energieeffizienz macht auch Wasserstoff keinen Sinn!»

Wasserstofftechnologie ist einsatzbereit

Auch für Alexander Wokaun, Professor für Chemie an der ETH Zürich, sind Energieeffizienz und CO₂-Reduktion entscheidende Voraussetzungen, die es umzusetzen gilt. «Es gibt allerdings keinen technischen Hinderungsgrund, der gegen die Einführung von Wasserstoff spricht», gab sich Wokaun überzeugt. Ebenso überzeugt war er, dass es nicht die Wasserstoffwirtschaft geben werde, sondern es immer einen diversifizierten Energiemix brauche. Wokaun plädierte für den Einsatz von Wasserstoff im Verkehrsbereich. Wie sein Institut mit dem «PSI-Michelin-Fahrzeug» zeigte, sind auf Basis von Wasserstoff und Brennstoffzellen immense Effizienzschritte

SES-Fachtagungsband bestellen

Zur SES-Fachtagung «Erdöl... und danach?» ist ein gedruckter Sammelband inklusive CD-Rom erhältlich: Sie können diesen für Fr. 30.– bei der SES bestellen: Schweizerische Energie-Stiftung, Sihlquai 67, 8005 Zürich, Tel. 044 271 54 64, info@energienstiftung.ch.



«Es gibt keinen technischen Hinderungsgrund, der gegen die Einführung von Wasserstoff spricht.»
Alexander Wokaun, Professor für Chemie, ETH Zürich

möglich – und dies zu Herstellungskosten für Wasserstoff, die niedriger sind als die effektiven Benzinkosten. Einen vielversprechenden Einsatzbereich für Wasserstoff sieht Alexander Wokaun insbesondere bei der dezentralen Energieversorgung, dem so genannten «Energyhub». Dieses Konzept sieht vor, dass viele kleine Produzenten erneuerbare Energie in eine Versorgungszentrale der Gemeinde liefern, die wiederum ans grossräumige Netz angeschlossen ist. Diese gemeindliche Versorgungszentrale liefert den Haushalten Wärme, Strom und eben auch Treibstoff in Form von Wasserstoff. «Dadurch lassen sich grossräumige Transporte vermeiden», ist Wokaun begeistert. Sein Appell an die Fachtagung: «Wir müssen langfristig denken und wir sollten Rahmenbedingungen schaffen, damit solche Technologien und Konzepte eine Chance haben.»

Bis Ende des Jahrhunderts zur Wasserstoffenergiewirtschaft

«Die internationalen Bemühungen für den Einstieg in die Wasserstoffenergiewirtschaft haben deutlich an Schwung gewonnen», erklärte Stephan Ramesohl vom Wuppertal-Institut einleitend. Dies geschieht mit Programmen in den USA, der EU und auf Ebene der multinationalen Kooperationsplattform «International Partnership for a Hydrogen Economy» IPHE. Innerhalb der EU gibt es die «Growth Initiative», die bis 2050 den Übergang zur Wasserstoffenergiewirtschaft vollziehen will. Dabei geht es für die EU nebst Ökologie auch um erhöhte Versorgungssicherheit, eine breitere Energiebasis und den Erhalt der Konkurrenzfähigkeit. «Die Schlüsselfrage ist, welche Primärenergiequellen sollen

wann und in welchem Umfang für die Herstellung von Wasserstoff genutzt werden?», erklärte Stephan Ramesohl. Kohle und Kernenergie zur Herstellung von Wasserstoff bringen vielfältige Probleme und Risiken mit sich, «deshalb wächst die Einsicht, dass eine nachhaltige Wasserstoffenergiewirtschaft langfristig nur auf erneuerbaren Energien realisiert werden kann», so Ramesohl. Voraussetzung dafür sei, dass die Energieeffizienzpotenziale ausgeschöpft und der Ausbau der erneuerbaren Energien beschleunigt werde. Zudem brauche es eine nachhaltige Mobilität, dh. weniger Verkehr und Treibstoffverbrauch durch optimale Stadt- und Raumplanung, Verkehrsverlagerung und hocheffiziente Fahrzeuge («1-Liter-Auto»). «Passivhäu-



«Es wächst die Einsicht, dass eine nachhaltige Wasserstoffenergiewirtschaft langfristig nur auf erneuerbaren Energien realisiert werden kann.»
Stephan Ramesohl, Wuppertal-Institut

ser, effiziente Druckluftsysteme in der Industrie, Energiesparlampen und optimierte Stand-by-Verbräuche sind Beispiele von Effizienzmassnahmen, die heute schon profitabel sind», führte Ramesohl an: «Solche Effizienztechniken sind ebenso Voraussetzung für die Wasserstoffenergiewirtschaft wie neue Brennstoffzellen, Katalysatoren und Wasserstoff-Speichertechnologien». Mit Energieeffizienz und erneuerbaren Energien lässt sich innert weniger Jahrzehnte auf eine nachhaltige Energieversorgung umstellen, skizzierte Stephan Ramesohl. Ab 2050 findet eine fortschreitende Ablösung der fossilen Energieträger durch eine vollständig auf regenerativen Energien beruhende Energiewirtschaft statt, und bis Ende dieses Jahrhunderts geschieht der sukzessive Einstieg in ein nachhaltiges Wasserstoffsystem.

AKTUELL

Fusionsreaktor «ITER» = lat. der (lange) Weg?

Die Prophezeiung Eisenhowers aus den 50er-Jahren ist noch nicht verfliegen: «Die Atomenergie wird der Menschheit Gratisenergie in unbegrenzter Höhe liefern». Trotz Tschernobyl, Nagasaki und Leibstadt investieren sechs Partner (EU, Japan, Russland, die USA, China und Südkorea) 15 Milliarden Franken in die Fusionsforschung. Der Fusionsreaktor ITER (Internationaler Thermonuklearer Experimenteller Reaktor) kommt mit neuem Namen nach Frankreich. Er soll der künftigen Energieversorgung den «iter» (den Weg) aufzeigen und Heilsbringung zugleich sein. Die sechs ITER-Partner lassen sich ihren Traum ganze 15 Milliarden Franken kosten.

Die Erwartungen an das Projekt sind in Anbetracht der kommenden Energieengpässe beschämend. Die Träume der Atomphysiker sollen frühestens nach 50 Jahren wahr werden und der Fusionsreaktor sollte bis dann eine erste Netto-Kilowattstunde Strom liefern. Sie haben richtig gelesen. Auch nach 30 Jahren Forschung ist die Energiebilanz des Fusionsreaktors heute immer noch negativ. Das heisst, es kommt weniger Energie raus, als reingesteckt wird. Kein Wunder, wenn man auf Erden versucht die Sonne nachzubauen. Der Ofen muss auf bescheidene 100 Millionen Grad Celsius erwärmt werden, was nebst dem radioaktiven Müll immense Materialprobleme verursacht.

Die Investitionen in dieses Prestigeprojekt sind ein Irrsinn. Bis heute gibt es keinen Nachweis, dass Kernfusion überhaupt wirtschaftlich genutzt werden kann. In 150 Mio. Kilometern Entfernung befindet sich nämlich bereits ein wunderbarer Fusionsreaktor, der auch schon lange in Betrieb ist – störungsfrei, für uns alle konzipiert und ohne radioaktive Abfälle. Die Technologien für die direkte und indirekte Nutzbarmachung der Sonnenenergie sind heute vorhanden und können sofort unendlich viel Energie liefern. Die Menschheit wird also nicht auf die Atomphysiker warten wollen und können. Vermutlich wird sie sich diese Geldverschwendung auch nicht mehr lange leisten können. Denn wenn es knapp wird, müssen Technologien her, die nicht von der Hoffnung leben, sondern Kilowattstunden liefern.