

## Energie - Perspektiven

*Energie:  
Gestern, Heute  
... und MORGEN?*

Gerhard Faninger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**30/2008**

## **Impressum**

**Autor:** Gerhard Faninger

Institut für Interventionsforschung und Kulturelle Nachhaltigkeit  
Bereich „Energie und Umwelt“  
Fakultät für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung  
ALPEN-ADRIA UNIVERSITÄT KLAGENFURT  
Sterneckstraße 15  
9020 Klagenfurt, Austria

© Gerhard Faninger, Klagenfurt – Juni 2008

**Lektorat:** Sieglinde Traar, IFF

### **Herausgeber:**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# **Energie - Perspektiven**

*Energie:  
Gestern, Heute  
... und MORGEN?*

Univ.Prof. Dr. Gerhard Faninger  
Institut für Interventionsforschung und Kulturelle Nachhaltigkeit  
Alpen-Adria Universität Klagenfurt

Klagenfurt, Juli 2008



## Vorwort



Der Energieverbrauch unserer Gesellschaft und die Auswirkungen auf das Weltklima sind ein zentrales Thema im öffentlichen Diskurs. Die zunehmende Abhängigkeit der Weltwirtschaft von fossilen Ressourcen führt zu Verknappungen und Preissteigerungen und stellt den Wirtschaftsstandort Österreich vor neue Herausforderung. Österreich geht aber bereits seit Jahren einen zukunftsorientierten Weg, um langfristige Alternativen in Form von erneuerbaren Energieträgern zu forcieren. Österreichische ForscherInnen leisten hier hervorragende Pionierarbeit.

Die vorliegende Publikation von Gerhard Faninger illustriert auf umfassende und gut lesbarer Weise das Potential der weltweiten Energieressourcen, die Energieentwicklungen, Herausforderungen und Chancen für eine zukünftige Wirtschaft und gibt einen Ausblick, wie ein nachhaltiges, auf erneuerbaren Energieträgern basierendes Energiesystem gestaltet werden kann und welche Lösungsansätze möglich sind. Da diese Inhalte für die strategische Arbeit im Zusammenhang mit der österreichischen Energieforschungspolitik und dem Strategieprozess e2050 höchst relevant sind, veröffentlicht das BMVIT gerne diesen Diskussionsbeitrag.

Ich danke Gerhard Faninger für seinen langjährigen Einsatz für die Österreichische Energieforschung und seine erfolgreiche Vertretung Österreichs in internationalen Gremien und gratuliere ganz herzlich zur Verleihung des großen Ehrenzeichens für Verdienste um die Republik Österreich!

Christa Kranzl  
Staatsekretärin für Innovation und Technologie  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Ausgehend von den Anfängen der Energiewirtschaft am Ende des 19. Jahrhunderts wird die Bedeutung der Energiewirtschaft und damit der Energieversorgung für die wirtschaftliche Weiterentwicklung dokumentiert und analysiert. Aus den Fakten der derzeitigen Energieversorgung werden die Probleme für eine Weiterführung der heute noch weltweit funktionierenden Energieversorgung aufgezeigt. Als übergeordnetes Ziel einer auch in Zukunft gesicherten Energieversorgung wird die „Nachhaltigkeit“ vorausgesetzt. Mit den verfügbaren Daten der Vorräte an Energie-Ressourcen, der zu erwartenden Entwicklung der Energienachfrage und mit Berücksichtigung der Kriterien für eine nachhaltige Energieversorgung, werden Zukunftsoptionen für die Energieträger abgeleitet. Hierbei wird den Erneuerbaren, in einer Kreislaufwirtschaft genutzten Energieträgern Priorität zugeordnet.

Kriterien der Bewertung der Energiesysteme sind energetische, umweltbezogene und wirtschaftliche Aspekte.

Das Potential für Erneuerbare Energieträger sowie der derzeitige Stand der Techniken zu deren Nutzbarmachung werden dargestellt, und Potentiale für Weiterentwicklungen werden aufgezeigt. Abschließend wird die Rolle Erneuerbarer Energiequellen zur „Nachhaltigen Entwicklung“ analysiert, es werden die Probleme bei der Umsetzung in der Praxis diskutiert und die Chancen für die Wirtschaft illustriert.

Die Verfügbarkeit von „Nachhaltigen“ Energieressourcen für ein langfristiges funktionsfähiges Energiesystem ist nur eine Bedingung. Für eine gesicherte Energieversorgung kommen noch weitere Aspekte hinzu: Versorgungssicherheit, Konkurrenzfähigkeit (Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu am Standort möglichen Alternativen), Umweltverträglichkeit und soziale Akzeptanz.

Bei der Gestaltung einer zukünftigen Energieversorgung müssen auch der zu erwartende steigende Energiebedarf (Nachholbedarf in heutigen Entwicklungsländern, Zunahme der Weltbevölkerung) einbezogen werden. Faktoren, welche sich nur schwer quantifizieren lassen.

Die Anforderungen an ein zukünftiges „Nachhaltiges“ Energiesystem lassen sich heute – auf der Basis umfangreicher Erfahrungswerte und wissenschaftlich belegter Argumente – gut definieren. Für Lösungen bieten sich unterschiedliche Wege an. Entscheidend ist der Zeithorizont: Will man eine längerfristige Sicherstellung der Energieversorgung auch unter umweltbezogenen Aspekten erreichen (bis etwa 2100) oder soll eine wirtschaftlich vertretbare Lösung nur für die nächsten 20 bis vielleicht auch 50 Jahre angestrebt werden?

Der vorliegende Bericht hat sich das Ziel gesetzt, aufbauend auf Fakten und Erfahrungswerten, Ansätze für ein zukünftiges Energiesystem zur Diskussion zu stellen – mit dem übergeordneten Ziel der „Nachhaltigkeit“ und „Energie-Effizienz“ und „Erneuerbare Energie“ als Prioritäten.

Insbesondere soll aber die Bedeutung und Notwendigkeit einer Umstrukturierung unserer heutigen Energiewirtschaft für eine auch in Zukunft funktionierende Energieversorgung dokumentiert werden. Eine große Herausforderung für die Menschheit, aber auch eine Chance.

Gerhard Faninger, im Juli 2008





## **Am Ende der Energie zu Energie (fast) ohne Ende**

Die Frage, wie wir zukünftig Energie gewinnen und sinnvoll nutzen können, ohne dabei länger einen nicht wieder gutzumachenden Raubbau am Planeten Erde zu betreiben, muss alle und überall interessieren: international, national, regional und lokal; politisch Verantwortliche, Wirtschaftstreibende und jeden einzelnen Menschen, der einen Beitrag zu einer nachhaltigen Energienutzung leisten kann. Eine zentrale Möglichkeit besteht darin, auf Erneuerbare Energie zu setzen. Die Sonne ist eine ihrer wichtigsten Lieferantinnen.

Gerhard Faninger hat sich den Großteil seines umtriebigen Wissenschaftslebens damit befasst, welche Erneuerbaren Energiequellen unseren Gesellschaften zur Verfügung, welche effizienten Nutzungsmöglichkeiten ihnen offen stehen. Er hat über Jahrzehnte analysiert, welches Potential sie tatsächlich versprechen und auf Basis umfassender Marktbeobachtungen erhoben, wie weit ihre Nutzung bereits fortgeschritten ist. Auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene hat er nicht nur unzählige Forschungsbeiträge dazu verfasst, er hat auch maßgeblich in relevanten Entscheidungsgremien mitgewirkt und solche beraten: bei der OECD, in der EU und insbesondere für die österreichische Energie-Forschung und Energie-Politik (seit 1977) und auch für das Land Kärnten. Für ihre konkrete Umsetzung hat er Lehrgänge entwickelt, Menschen ausgebildet und sie in ihrer Praxis unterstützt.

Nun hat er ein Buch geschrieben, in dem er sein Wissen kompakt zur Verfügung stellt. Kein Buch, das sich alleine an ExpertInnen wendet – ein Buch für *Jedermann* und *Jederfrau*. Ein Buch, das mit der Geschichte unseres Planeten beginnt und bei dessen Zukunft seinen Ausgang nimmt. In ihm werden die Energiewirtschaft, ihre Errungenschaften, aber auch alle ihre Fehlentwicklungen präsentiert – kritisch, pointiert und faktenorientiert. Zugleich werden aber bestehende und zu entwickelnde Alternativen vorgestellt und somit Perspektiven formuliert, die andere Wege als die bisher gebahnten möglich machen sollen und die davon ausgehen, dass mit Erneuerbaren Energieträgern die weltweite Energienachfrage abgedeckt werden könnte. Auf dem Weg dorthin ist allerdings an vielen Stellschrauben zu drehen, bedarf es nationaler wie internationaler Übereinkommen (energiepolitische Rahmenbedingungen). Vor allem bedarf es aber eines kollektiven Willens, der in den Umstieg investiert und dafür auch Einbußen in Kauf nimmt – auf politischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ebene.

Gerhard Faninger ist 2004 in den Ruhestand getreten. Zur Ruhe gekommen ist er allerdings bis heute nicht, ist wöchentlich an unserem Institut für Interventionsforschung und Kulturelle Nachhaltigkeit, forscht, lehrt und arbeitet voller Energie. Weil ihm sein Thema einfach keine Ruhe lässt. Das sollte es uns auch nicht.

Larissa Krainer, Institutsvorständin

ao. Univ.-Prof. Dr.

Iff-Institut für Interventionsforschung und Kulturelle Nachhaltigkeit  
Alpen-Adria- Universität Klagenfurt



# ENERGIE-PERSPEKTIVEN

## *ENERGIE – Gestern, Heute und MORGEN?*

### INHALT

<b>Zum Inhalt</b>	1
<b>ENERGIE – Eine Einführung</b>	11
<b>1. Der Planet ERDE</b>	13
- Seine Entstehung und Evolution	
- Die solare Strahlungsenergie	
- Lebensraum und Lebensbedingungen	
- Der Kohlendioxid- und Biomasse-Kreislauf	
- Die natürlichen Energieträger der Erde	
<b>2. Fossile und Nukleare Energie-Ressourcen</b>	23
- Klassifizierung der Energie-Ressourcen	
- Fossile Energieträger: Erdöl, Erdgas und Kohle	
- Zukunftsperspektiven für Fossile Energieträger	
- Nukleare Energieträger: Kernenergie	
- Uran-Bedarf und Uran-Reserven 2005	
- Kernspaltung in Atomkraftwerken	
- Entsorgung radioaktiver Materialien	
- Wirtschaftliche Faktoren von Atomkraftwerken	
- Neue Generation von Atomkraftwerken in Entwicklung	
- Zukunftsperspektiven für Nukleare Energieträger	
- Kernfusion als Energieoption	
<b>3. Erneuerbare Energieträger</b>	43
- Kriterien für Erneuerbare Energieträger	
- Erneuerbare Energieträger: Gestern und Heute	
- Ressourcen für Erneuerbare Energieträger:	
<i>Wasserkraft, Geothermische Energie, Biogene Energieträger/Biomasse,</i>	
<i>Solarwärme, Solare Hochtemperatur Anlagen,</i>	
<i>Solarstrom/Photovoltaik, Umweltwärme und Wärmepumpen,</i>	
<i>Windenergie, Meeresenergie</i>	
- Abschätzung des Potentials „Erneubarer Energieressourcen“	
- Zukunftsoptionen für Solaranlagen, Wärmepumpen und Bio-Treibstoffe	

## **4. Die Entwicklung der Energiewirtschaft: Rückblick und Ausblick** 117

- Mit Energie in die industrielle Revolution
- Von dezentralen zu zentralen Energiesystemen
- Ausbeutung von Energie-Ressourcen: Auch ein ethisches Problem
- Probleme der derzeitigen Energieversorgung
- Gefahren und Risiken der Energieversorgung
- Fakten der Energieversorgung von HEUTE
- Auf der Suche nach unerschöpflicher und sauberer Energie
- Das Energiesystem der Zukunft: Vision, Aufgaben und erforderliche Maßnahmen

## **5. Energie und Umwelt** 143

- Natürliche und anthropogene Emissionsprozesse
- Der Treibhauseffekt
- Klimawirksame Spurengase
- Entwicklung der umweltrelevanten Kohlendioxid-Emissionen in Österreich
- Kohlendioxid-Emission und Klima
- Folgen einer raschen Klimaänderung: UNO-Klimabericht, Januar 2007
- Möglichkeiten und Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Energiebereich
- Resümee und Schlussfolgerungen

## **6. Die Elemente der Energieversorgung** 177

- Grundlagen der Energieversorgung
- Das derzeitige Energieversorgungssystem
- Dezentrale und zentrale Energiesysteme: Vorteile und Nachteile
- Management der Stromnetze für eine effizientere Strom-Erzeugung und Strom-Nutzung
- Effizienz bei Energie-Erzeugung und Energie-Anwendung
- EU-Ziele zur Energie-Effizienz und zum Energie-Sparen

## **7. Bewertung von Energiesystemen** 191

- Bewertungskriterien
- Wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen
- Externe Kosten der Energieversorgung
- Beispiele: Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungsanlagen, Solarthermischen Anlagen, Photovoltaikanlagen und von Bio-Treibstoffen
- Stromerzeugungskosten aus Erneuerbaren Energieträgern in Österreich
- Energetische und umweltbezogene Bewertung von Energiesystemen
- Beispiele: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizungsanlagen und von Anlagen zur Warmwasserbereitung
- Energetische Amortisationszeit

## **8. Ansätze für die zukünftige Energieversorgung** 227

- Zielvorgaben
- Anforderungen
- Wege zu einer *Nachhaltigen* Energieversorgung
- Argumente für eine Energie-Strategie mit Erneuerbarer Energie

- Entwicklungsstand und Marktsituation von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger
- Bevorzugte Einsatzbereiche für Erneuerbare Energieträger
- Optionen / Visionen für zentrale solare Energieversorgungssysteme: Der Energie-Satellit und die Solare Weltenergie-Wirtschaft
- Option für „Wasserstoff in dezentralen Anwendungen“
- Wasserstoff und Brennstoffzellen
- Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung
- Energie-Perspektiven mit Prioritäten
- Wunsch-Szenario und Katastrophen-Szenario

## **9. Voraussetzungen zum Aufbau eines zukunftsorientierten Energiesystems** 264

- Energiepolitische Rahmenbedingungen
- Aufgaben der Politik beim Aufbau eines Nachhaltigen Energiesystems
- Handlungsbedarf und Handlungsmöglichkeiten für die Energiepolitik
- Energieforschung als Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele
- Staatliche Energieforschung im Rückblick
- Kommunale Energieplanung als effizientes Instrument im Energiebereich
- Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik

## **10. Energieszenarien** 289

- Aufgaben und Ziele
- Grenzen von Energieszenarien
- Ansätze für Energie-Szenarien
- Basisdaten für die Erstellung von Energieszenarien
- Ergebnisse von Energie-Szenarien: Welt, OECD, EU und Österreich

## **11. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen** 310

- Die Energiewirtschaft im Rückblick
- Die Energieprobleme von HEUTE
- Energieoptionen
- Zukunftsoption Erneuerbare Energie
- Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung
- Anforderungen an Politik, Wirtschaft und Gesellschaft
- Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik
- Resümee

## **Anlage: Energie-Definitionen** 327

## **Quellennachweis** 329

## **Curriculum Vitae** 331



# Zum INHALT

## **ENERGIE – Eine Einführung**

Energie ist eng mit der Entstehung und Evolution unseres Planeten ERDE verbunden. ENERGIE ist Grundlage des Lebens und Voraussetzung für das Überleben. ENERGIE hat verschiedene Formen. Als solare Strahlungsenergie wird unser Lebensraum erhalten und es werden über physikalische/chemische/biologische Prozesse Ressourcen gebildet, welche uns als Nahrung und Energiequellen für die Erzeugung von Nutzenergie dienen. ENERGIE kann nicht „gewonnen“ werden, sondern wird über einen Umwandlungsprozess „erzeugt“. Die Versorgung der Menschheit mit Nutzenergie erfordert Energieressourcen, welche nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen und deshalb einen möglichst effizienten Umgang mit Energie – Erzeugung und Nutzung – erforderlich macht. Und dies auch im Einklang mit der Umwelt. Ein auf die Zukunft ausgerichteter „nachhaltiges“ Energiesystem muss in einer Kreislaufwirtschaft funktionieren.

### **1. Der Planet ERDE**

Aus der Wechselwirkung zwischen SONNE und ERDE wurden in den Milliarden Jahren der Evolution über die solare Strahlungsenergie Energie-Ressourcen gebildet, welche der Menschheit bis Ende des 19. Jahrhunderts verborgen blieben: Kohle, Erdöl und Erdgas, gespeichert unter der Erdoberfläche. Mit diesen „Fossilen“ Energieressourcen wurde das „industrielle“ Zeitalter eingeleitet, mit allen Vorteilen für Leben und die wirtschaftliche Entwicklung, aber auch mit vielen negativen Folgen für Menschheit und Umwelt. Zu den erdgeschichtlichen und in den Vorräten begrenzten Energieressourcen kommen noch die Energie aus dem Erdinneren (Geothermie) sowie die auf die solare Einstrahlung direkt (Solarwärme und Solarstrom über die neu entwickelten Solartechniken) und indirekt (Wasserkraft, Windenergie, Biomasse, Umweltwärme) zurückzuführenden Energiequellen hinzu. Mit der Entdeckung der Energieerzeugung aus Materie über Kernspaltung und Kernfusion hat auch die Kernenergie – derzeit genutzt über Kernspaltung in Atomkraftwerken – Eingang in die Energiewirtschaft gefunden.

Der Planet ERDE ist mit der SONNE für die Gestaltung der Energieversorgung verantwortlich.

### **2. Fossile und Nukleare Energie-Ressourcen**

Mit mehr als 80% zum weltweiten Energieaufkommen tragen heute die Fossilen Energieträger bei. Die nachgewiesenen Vorräte an Erdöl und Erdgas lassen eine langfristige Verfügbarkeit nicht erwarten, die heute genutzten Lagerstätten werden ab 2030 ausgeschöpft sein und neue – wahrscheinliche – Lagerstätten müssen erschlossen werden. Hohe Investitionen zur Erschließung werden erforderlich sein und die Qualität der neuen Quellen ist noch unbekannt. Aber auch die derzeitige Infrastruktur im Bereich von Erdöl und Erdgas ist sanierungsbedürftig, Leitungen sind veraltet und leckanfällig, die Speicher zu klein und die Verarbeitung (Raffinerien) ist zu erweitern bzw. zu erneuern.

Kohle mit noch größeren Reserven hat das Problem der starken CO<sub>2</sub>-Emission. Wenn es nicht gelingen sollte, das CO<sub>2</sub>-Problem bei der Verbrennung von Kohle zu lösen (CO<sub>2</sub>-Bindung und -Speicherung), dann könnte eine Renaissance von Kohle als Energieträger aus Umwelt-

gründen scheitern. Dies würde insbesondere die heutigen „Schwellenländer“ China und Indien in der weiteren Entwicklung treffen.

Auch die Nutzung der Kernenergie über Kernkraft ist aus Sicht der Brennstoffvorräte keine langfristige Lösung und die noch fehlende Lösung der gesicherten Endlagerung radioaktiver Abfälle ist kein gutes Argument, auf die Kernenergie als Zukunftsoption zu setzen. Anders wäre es, wenn es gelingen sollte, die Kernfusion zur Energieerzeugung zu realisieren, ein technisch noch nicht gelöstes Problem.

### **3. Erneuerbare Energieträger**

Erneuerbare Energiequellen – in einer Kreislaufwirtschaft genutzt – kommen von verschiedenen Quellen und sind grundsätzlich in der Lage, alle Formen von Nutzenergie bereit zu stellen. Das weltweite Potential an Erneuerbaren Energie-Ressourcen wäre auch vorhanden, um eine auch in ferner Zukunft gesicherte Energieversorgung zu gewährleisten, die praktische Umsetzung stößt aber auf Schwierigkeiten, welche durch Forschung, Entwicklung aber auch durch Organisation („Energie-Management“) geklärt werden müssen. Erschwerend ist das vom Standort, Jahreszeit und Tageszeit unterschiedliche Angebot. Derzeit sind es auch die Investitions- und damit die Energieerzeugungskosten im Vergleich zu den bereits eingeführten Techniken, diese werden sich aber mit den zu erwartenden weiteren Entwicklungen und den höheren Produktionszahlen reduzieren lassen. Für mehrere Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energie ist dies bereits gelungen.

Eine Reihe von Techniken zur Nutzbarmachung Erneuerbarer Energiequellen hat eine lange Tradition (Wasserkraft, Windkraft, Geothermie, Biomasse-Nutzung über Brennholz) und wurde in den letzten Jahrzehnten nach höherer Effizienz und verbesserter Umweltverträglichkeit weiterentwickelt, wie z.B. moderne Verbrennungstechniken zur Biomasse-Nutzung. Neue Techniken sind dazugekommen, wie solarthermische und solarelektrisch Anlagen sowie Wärmepumpen, welche sich gut am Markt einführen konnten, mit Jahreszuwachsrate um 20%. Erneuerbare Energie ist in mehreren Ländern zu einem anerkannten Wirtschaftssektor geworden, mit sehr guten Zukunftsaussichten.

Das Entwicklungspotential der Solartechniken ist noch lange nicht ausgeschöpft und es darf erwartet werden, dass diese Techniken noch weitere Einsatzbereiche erschließen werden, wie beispielsweise Solartechniken für Prozesswärme und Kühlprozesse. Eine Vision ist eine Solare Weltenergiewirtschaft, mit solar erzeugtem Wasserstoff als Sekundärenergieträger, einsetzbar im Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung, im Verkehr (Treibstoff) und zur Stromerzeugung.

Eine Energie-Strategie für ein „Energiesystem der Zukunft“ wird auf Erneuerbare Energie nicht verzichten können, es ist aber auch festzuhalten, dass für die zukünftige Energieversorgung ein einziger Energieträger nicht ausreichen wird, vielmehr wird der Energiebedarf aus einem Mix von – weitgehend Erneuerbaren – Energieträgern abzudecken sein. Um dieses Ziel zu erreichen, bleibt zu hoffen, dass noch möglichst lange die Fossilen Energieträger zur Verfügung stehen werden, um die – unausweichliche – Umstrukturierung unserer derzeitigen Energiewirtschaft auch zu bewältigen.



## 4. Die Entwicklung der Energiewirtschaft: Rückblick und Ausblick

Wie keine andere Technik hat sich die Energietechnik im letzten Jahrhundert rasant weiterentwickelt, mit entscheidenden Einflüssen auf Wirtschaft und Gesellschaft. Das Wirtschaftssystem von HEUTE wird vom Angebot ausreichender und „billiger“ Energie bestimmt. Anforderungen, welche für die Zukunft nicht selbstverständlich sind. Ist Energie heute für die Industrieländer noch verfügbar, so muss mit Verknappungen am Markt in absehbarer Zeit gerechnet werden, verbunden mit massiven Verteuerungen und auch Verteilungskämpfen. Heute sind es vor allem politische Unruhen, verbunden mit Spekulationen, welche den Energiemarkt instabil gestalten.

Auch das derzeitige „Überangebot“ an Energie konnte das weltweite Energieproblem nicht lösen. Nur ein Drittel der Weltbevölkerung kommt in den Genuss der Energieträger, zwei Drittel – Entwicklungsländer – können sich auch heute Erdöl, Erdgas oder Kohle nicht leisten. Dazu kommt noch das Faktum, dass Länder mit Energieressourcen politische Krisenregionen wurden.

Auch die zunehmende Nutzung der Kernenergie mit dem Gefährdungspotential der Radioaktivität im Falle von Kernkraftwerksunfällen einerseits, und der Notwendigkeit der Lagerung radioaktiver Abfälle über mehrere 1000 Jahre andererseits ist besorgniserregend.

Die Nutzung Fossiler Energieträger belastet in zunehmendem Maße den Planeten ERDE. Mit dem Ausstoß von Spurengasen bei der Energieerzeugung aus Fossilen Energieträgern – insbesondere des Reaktionsproduktes CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung – wird der Lebensraum merkbar gestört und ein rasanter Klimawandel deutet sich an. Mit schwerwiegenden Folgen für die Menschheit.

Der Umgang mit ENERGIE hat somit nicht nur zu Verbesserungen geführt, sondern hat auch negative Auswirkungen für die Menschheit gebracht. Gewissermaßen wurden wir in „Geiselnhaft“ der Fossilen Energieträger genommen.

## 5. Energie und Umwelt

Die Energieversorgung – Aufbringung, Verarbeitung, Transport und Speicherung von Energieträgern sowie deren Umwandlung in Nutzenergie – hat Einfluss auf die Umwelt: Durch Produktion von Emissionen und Abfall. Unsere Gesundheit, unserer Lebensraum und das Ökosystem und Klima werden bedroht – zusätzlich zu den natürlichen Emissionen.

Die in den letzten Jahrzehnten rasant ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist insbesondere auf die Energieversorgung mit Fossilen, aber auch mit Biogenen Brennstoffen zurückzuführen: CO<sub>2</sub> als Verbrennungsprodukt. Die bei der Verbrennung von Biogenen Energieträgern aus einer nachhaltigen Forstwirtschaft entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden als „*umwelt-neutral*“ und damit als *nicht-klimarelevant* eingestuft.

Wir verbrauchen derzeit an einem Tag mehr fossile Brennstoffe, als die Erde in 1000 Jahren erzeugt hat.

Die Entstehung des „Treibhaus-Effektes“ – als Ursache für die globale Erwärmung – ist darauf zurückzuführen, dass durch die in der Atmosphäre absorbierten CO<sub>2</sub>-Partikel die eindringende kurzweilige und intensive Sonnenstrahlung zwar nur unwesentlich abgeschwächt, die Abstrahlung der langwelligeren Wärmestrahlung durch Reflexion jedoch

reduziert wird und damit zu einer Erderwärmung nach dem Prinzip des „Glashaus-Effektes“ führt.

Die möglichen Folgen einer raschen Klimaänderung – ohne Chance auf eine Anpassung des Menschen an einen neuen Lebensraum – sind vielfältig: Extreme Änderungen im Wettergeschehen, Zunahme der Intensität von Unwetter-Katastrophen, Rückgang der Gletscher mit Zunahme der Gefahren in den Alpen, Abschmelzen der Polkappen mit Anstieg der Meeresoberfläche, noch unvorhersagbare Auswirkungen auf Flora und Fauna: Auftauen von Perma-Frostboden, Dürre und Brände, Sintfluten und Stürme, Artenverlust, Ausdehnung der Wüsten.

Die Signale für eine rasche Klimaänderung mit einem hohen Gefahrenpotential für deutliche Veränderungen im Lebensraum und verbunden mit hohen volkswirtschaftlichen Schäden erfordern möglichst rasche und zielorientierte Maßnahmen. Es ist erforderlich, die heutige Energieversorgung im Hinblick auf den „Treibhauseffekt“ grundlegend zu überdenken und Möglichkeiten bzw. Realisierungswege zu finden, um die negativen Folgewirkungen von Emissionen für Mensch und Natur zu minimieren oder zu beseitigen. Nur fundierte und wirksame, langfristig angelegte Handlungsstrategien auf nationaler und internationaler Ebene können zur Lösung dieses Problems beitragen.

## **6. Die Elemente der Energieversorgung**

Die Energieversorgung stellt ein komplexes System mit Rohstoff-Förderung, Transport, Speicherung und Erzeugung von Nutzenergie über Umwandlungstechniken dar. Unser heutiges Energieversorgungssystem ist weltweit aufgebaut, mit großen Abhängigkeiten zwischen Energie-Produzenten und Energie-Verbrauchern. Die Energieversorgung von HEUTE stellt ein stark vernetztes System von der Bereitstellung von Energieträgern bis zu deren Nutzbarmachung dar: Vom Energie-Rohstoff/Energie-Träger über Zwischenspeicherung, Transport zur Energie-Umwandlung und weiter über die Energie-Verteilung zur Energie-Nutzung/Energie-Einsatz.

Für die Energie-Erzeugung werden *zentrale und dezentrale* Energiesysteme eingesetzt. Zentrale Systeme sind gekennzeichnet durch große Umwandlungseinheiten, weitläufige Verteilungsnetze, hohe Effizienz bei Energieumwandlung, aber auch durch hohe Wärmeverluste in nicht voll genutzten Wärmenetzen sowie durch Versorgungsprobleme bei Ausfall des Energieerzeugers. Dezentrale Systeme mit kleineren Versorgungseinheiten erfordern einen erhöhten Aufwand bei dem Energie-Management und verursachen im Allgemeinen höhere Investitionskosten, allerdings auch bei höherer Versorgungssicherheit.

Die Wirkungsgrade bei der Wärmeerzeugung in Kraftwerken und Heizkesseln konnten in den letzten Jahren durch verbesserte Verbrennungstechnik (z.B. Brennwerttechnik) wesentlich verbessert werden. Die Wirkungsgrade bei der thermischen Stromerzeugung liegen in konventionellen Kraftwerken noch unter 50%, in modernen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen wird ein Gesamtwirkungsgrad (Wärme und Strom) von über 80% erzielt. Ziel derzeitiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es, den Wirkungsgrad von fossil gefeuerten Kraftwerken auf über 70% zu steigern.

Ein großes „Energie-Potential“ liegt im Bereich Energie-Effizienz und Energie-Sparen. Eine Energieeinsparung über Energieeffizienz von bis zu 50% wäre in der EU bis 2050 zu realisieren. Energie-Einsparpotentiale in Europa werden für die Einsatzbereiche wie folgt

abgeschätzt (mit derzeit verfügbarer Technik): Transport-Sektor 20% bis 30%, Gebäude-Sektor über 60% und Industriesektor 40% – 60%.

## 7. Bewertung von Energiesystemen

Auf der Suche nach einem „Energiesystem der Zukunft“ sind die Vor- und Nachteile der denkbaren Optionen, auch im Hinblick auf eine Realisierung miteinander abzuwägen. Die Auswahlkriterien sind vielseitig und umfassen neben der Verfügbarkeit der Energieträger wirtschaftliche, energetische, umweltbezogene und soziale Aspekte.

Die Bewertung von Energiesystemen nach wirtschaftlichen Kriterien erfolgt mit der Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Diese ist eine Vergleichsmethode: Es werden zwei oder mehrere Energiesysteme unter vergleichbaren Randbedingungen und betriebswirtschaftlichen Kriterien miteinander verglichen. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung eignet sich insbesondere für eine Varianten-Analyse mit Risikoabschätzung für eine Investition: *Risikoabschätzung und Sensitivitätsanalyse*.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung kann nach betriebswirtschaftlichen Kriterien und nach volkswirtschaftlichen Kriterien erfolgen. Bei der betriebswirtschaftlichen Bewertung werden Aspekte des Umweltschutzes, der Versorgungssicherheit, der Risiken, der Wertschöpfung etc. nicht berücksichtigt. Eine volkswirtschaftliche Bewertung führt zu einer gesamtheitlichen Bewertung von Energiesystemen.

In der Praxis ist die betriebswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen für den Investor bzw. Betreiber von größerem Interesse, die volkswirtschaftliche Bewertung dient als Entscheidungsgrundlage für energiepolitische Entscheidungen bzw. Maßnahmen.

Die Energieversorgung auf Basis Fossiler Energieträger ist Ursache für ungedeckte Schäden im Bereich der Gesundheit, Vegetation, der Gebäude, und bringt außerdem ein großes Gefahrenpotential für eine rasante Klimaänderung. Eine konkrete Abschätzung der tatsächlichen Kosten der Umweltschäden ist sehr schwierig und kann nur eine Hilfestellung für eine volkswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen sein.

Mit der wirtschaftlichen Bewertung kann illustriert werden, dass Solaranlagen zur Warmwasserbereitung, sowie Pelletskessel und Wärmepumpen mit heute noch höheren Investitionskosten im Vergleich zu Öl- und Gas-Heizkesseln zu akzeptablen Amortisationszeiten führen können.

Kenngrößen für die energetische und umweltbezogene Bewertung von Energieträgern bzw. Energiesystemen sind: Primärenergie (abgeleitet aus dem Brennstoff-/Strom-Einsatz), umweltrelevante CO<sub>2</sub>-Emission, Anteil Erneuerbarer Energieträger am Energieeinsatz. Mit diesen Kenngrößen lassen sich Energiesysteme „neutral“ nach energetischen und umweltbezogenen Kriterien miteinander vergleichen und bilden damit eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für eine Investition.

Zur energetischen Bewertung eines Energiesystems mit Nutzung eines solaren Energieträgers wird die energetische Amortisationszeit herangezogen: Der Energieeinsatz (mit konventioneller Energie) zur Herstellung des Energiesystems wird mit dem solaren Ertrag bei der Energieerzeugung verglichen. Ist der Anteil des solaren Beitrages zur Energieerzeugung (Solarwärme, Solarstrom) während der Lebensdauer der Solaranlage größer als der Energie-Einsatz zu dessen Erzeugung, Betrieb und Entsorgung, dann ergibt sich eine positive

Energiebilanz. Die energetischen Amortisationszeiten von thermischen Solartechniken liegen um 1 bis 2 Jahre, von elektrischen Solartechniken (Photovoltaischen Systemen) – je nach Einsatzort und Anwendung – zwischen 3 und 8 Jahren.

## **8. Ansätze für die zukünftige Energieversorgung**

Die Fakten der Energieversorgung von heute – in den Vorräten begrenzte Energieressourcen, zunehmende Umweltprobleme durch Emissionen und radioaktives Gefahrenpotential, zunehmender Energiebedarf in den Ländern der Dritten Welt – fordern nach einem neuen Energiesystem, basierend auf den Kriterien der „Nachhaltigkeit“.

Die folgenden Kriterien bestimmen die zukünftigen Energie-Versorgungssysteme: Verfügbarkeit des Energieträgers, Versorgungssicherheit, Preis, Effizienz und Qualität der Energielieferung, Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Gefahrenpotential und Risiken bei Erzeugung, Transport, Einsatz sowie Entsorgung. Beim Aufbau eines neuen Energiesystems müssen neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale und kulturelle Aspekte Berücksichtigung finden.

Ein nachhaltiges Energiesystem der Zukunft wird das Ergebnis von technischen Innovationen in Verbindung mit einer Reihe von zum Teil drastischen Änderungen in Energiewirtschaft und Gesellschaft sein. Eine langfristig wirksame nachhaltige Wirtschaftsentwicklung erfordert: Reduktion des Energiebedarfes durch energiesparende Maßnahmen, verstärkte Nutzung Erneuerbarer lokal anfallender Energieträger und Kombination von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energieträgern. Wesentliche Argumente für einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger sind die Vorteile einer Verbesserung der Versorgungssicherheit, langfristige Verfügbarkeit, lokale und regionale Wertschöpfung, und Beitrag zur Emissionsreduktion und damit Umweltschonung. Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um adäquate Lösungen zu finden.

Ein ernstzunehmendes Problem beim Aufbau eines neuen Energiesystems stellt die längere Markteinführungszeit neuer Energieträger/Energietechniken dar. Von der Umstellung von Holz auf Kohle und später auf Erdöl und Erdgas weiß man, dass für die Markteinführung neuer Energieträger bzw. neuer Energiesysteme längere Zeitperioden erforderlich sind: Um beispielsweise 10% Anteil eines neuen Energieträgers am Markt zu erreichen sind 30 bis 50 Jahre erforderlich.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems erfordert aber auch einen hohen Kapitalbedarf. Neue Investitionen betreffen den Ausbau Erneuerbarer Energieträger und Technologien, mit denen CO<sub>2</sub> aufgefangen und gespeichert werden kann.

Mit Erneuerbaren Energieträgern wird das Gefahrenpotential für eine dramatische Klimaänderung reduziert. Mit zunehmender Marktdurchdringung werden Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger effizienter und in der Investition billiger. Mit zunehmendem Erfolg am Markt wird die Bereitschaft der Konsumenten zum Umstieg von Fossilen auf Erneuerbare Energieträger verbessert.

Erneuerbare Energieträger haben Vorteile in dezentralen Energiesystemen. Diese bringen aber auch eine höhere Versorgungssicherheit.

Mit Erneuerbaren Energieträgern könnte die weltweite Energienachfrage weitgehend abgedeckt werden. Eine massive Marktdurchdringung Erneuerbarer Energieträger hat aber

auch Einfluss auf die Umwelt und die öffentliche Akzeptanz. Beim Aufbau eines neuen auf Erneuerbaren Energieträgern basierenden Energiesystems müssen deshalb neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale Aspekte Berücksichtigung finden. Umfangreiche Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um zu marktkonformen Lösungen zu kommen.

Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert: Entwicklung der Weltbevölkerung, Verfügbarkeit von Energieträgern, Entwicklung der Energiepreise, Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern, zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*), tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger. Damit gestalten sich auch Energieprognosen schwierig bzw. können nicht aussagekräftig sein: Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes und dessen Abdeckung gibt es deshalb keine klaren Antworten.

Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt, Erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen. Wasserstoff, erzeugt über Erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel: „*Wunsch-Szenario*“. Wasserstoff als Sekundär-Energieträger weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: Er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle.

Ist das Szenario „Erneuerbare Energie und Wasserstoff“ ein „Wunsch-Szenario“, so ist ein „Katastrophen-Szenario“ nicht auszuschließen, wenn (1) fossile Energiequellen den zukünftigen Energiebedarf nicht mehr decken können, (2) die globale Klimabedrohung eine weitere Verwendung fossiler Energiequellen nicht mehr zulässt, (3) der weitere Ausbau der Atomkraft aufgrund von Kraftwerksunfällen und/oder Terrorattacken eingestellt wird, (4) die Technik der Kernfusion nicht realisierbar ist und (5) die Weiterentwicklung von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger nicht in dem Ausmaß stattgefunden hat, dass ein wesentlicher Beitrag zum Energieaufkommen geleistet werden kann. Folge dieses „Katastrophen-Szenario“ wäre, dass eine wirtschaftliche Weiterentwicklung nicht mehr möglich ist. Die Folgen für die Menschheit sind vorhersehbar.

## **9. Voraussetzungen zum Aufbau eines zukunftsorientierten Energiesystems**

Die Sicherstellung der zukünftigen Energieversorgung stellt eine große Herausforderung für die Menschheit dar: Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind in gleicher Weise gefordert. Zur Realisierung eines „Nachhaltigen“ Energiesystems der Zukunft sind große Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Marktumsetzung erforderlich.

Die Rahmenbedingungen der Energieversorgung werden in den Staaten durch die Energiepolitik, in Verbindung mit staatlicher Förderung der Energieforschung sowie durch Gesetze, Vorschriften und Investitionsförderungen vorgegeben.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems, welches die derzeit nach den Regeln des freien Marktes funktionierende Energiewirtschaft ablösen soll – und dies in einer relativ kurzen Zeitperiode –, ist ohne energiepolitische Rahmenbedingungen nicht zu erreichen. Die Forderung nach mehr Energie-Effizienz, Substitution Fossiler Energieträger, Ergänzung zentraler Energiesysteme mit dezentralen Einheiten, verbessertes Energiemanagement, höhere

Umweltverträglichkeit u.a. bedeuten wesentliche Eingriffe in die derzeitige Energie-Infrastruktur und in die Kosten der Energieversorgung.

Maßnahmen der Energiepolitik betreffen die Erhöhung der Effizienz bei der Energiebereitstellung und Energieanwendung, die Unterstützung eines verstärkten Einsatzes von Erneuerbaren Energieträgern (*unter besonderer Berücksichtigung der Randbedingungen für hohe Effizienz*), die Überwindung von Marktbarrieren für „neue“ Energiesysteme, z.B. durch Berücksichtigung externer Kosten bei Aufbringung und Einsatz (*volkswirtschaftliche Gesamtrechnung*), Angebot von Finanzierungsmodellen für eine raschere Marktdurchdringung.

Energieforschung ist nur eines von mehreren erforderlichen Instrumenten zur Umsetzung des energiepolitischen Zieles. Für die Markteinführung innovativer Produkte und Lösungen zur Energie-Aufbringung und Energie-Anwendung sind staatliche Initiativen (Legistische Maßnahmen und Förderungen) zur Überwindung der Marktbarrieren erforderlich:

*Wettbewerbsfähigkeit und Vertrauen in neue Techniken.* Als geeignete Maßnahmen haben sich in den letzten Jahrzehnten einerseits Förderungsmaßnahmen als auch gesetzliche Rahmenbedingungen für Energie-Effizienz und Erneuerbare Energieträger, insbesondere im Wohnbereich (*über die Wohnbauförderung*) bewährt.

Staatliche Energieforschung ist ein wesentliches Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele. Staatliche Energieforschung bezieht sich vorrangig auf Grundsatzfragen der Energieversorgung und soll innovative Lösungen entwickeln. Innovative Lösungen im Energiebereich fördern Entwicklungen in der Industrie und erleichtern private Investitionen in neue Techniken.

Forschungsschwerpunkte nationaler und internationaler Energie-Forschungsprogramme (Internationale Energieagentur, IEA/OECD, und EU-Forschungsprogramm) sind derzeit: Energie-Effizienz, Kernfusion, Erneuerbare Energie, Nachhaltige Energiesysteme, CO<sub>2</sub>-Separation und -Speicherung („Aktives“ CO<sub>2</sub>-Management), Wasserstoff als Sekundärenergieträger, Brennstoffzellen. Weiters gefördert werden Projekte zur Kostenreduktion bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern (Ökostrom-Anlagen), zur Weiterentwicklung und Kostenreduktion bei der Erzeugung von umweltneutralen Treibstoffen (Bio-Treibstoffe und Wasserstoff), zum Strom-Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen (Windkraft, Photovoltaik).

## **10. Energieszenarien**

Energieszenarien haben vorrangig die Aufgabe, den Trend in der Energieversorgung abzuzeichnen und auf Probleme der zukünftigen Energieversorgung aufmerksam zu machen, um eine öffentliche und politische Auseinandersetzung mit den Problemen der zukünftigen Energieversorgung zu initiieren. Energieszenarien bauen auf der Entwicklung des Energiemarktes der letzten Jahrzehnte auf, einerseits unter Annahme gleicher Randbedingungen („Business as usual“) und andererseits mit Vorgabe von Zielvorstellungen in Bezug auf verbesserte Energie-Effizienz bei Aufbringung und Verwendung sowie auf einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger: „Nachhaltiges“ Energiesystem.

Die Vision für ein zukünftiges Energiesystem ist der Aufbau eines vorrangig auf Erneuerbaren Energieträgern basierenden „Nachhaltigen“ Energiesystems in einer Kreislaufwirtschaft, in Verbindung von höchstmöglicher Energie-Effizienz bei Erzeugung und Nutzung und – wenn realisierbar – mit Nutzung der Kernfusion.

Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert: Entwicklung der Weltbevölkerung, Verfügbarkeit von Energieträgern, Zuverlässigkeit der Versorgung, Entwicklung der Energiepreise, Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern, zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*), tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger.

Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes gibt es somit keine klaren Antworten: Damit können Energieszenarien nur Anhaltspunkte für eine mögliche Entwicklung des Energiemarktes und für Möglichkeiten/Probleme bei der Abdeckung des zukünftigen Energiebedarfes geben.

Unter Annahme einer mittleren Jahreszuwachsrate im Energieverbrauch von 2%/Jahr bzw. 1%/Jahr (Klammerwerte) und einer mittleren Jahreszuwachsrate der aktuellen Jahreskapazität zur Erzeugung von Erneuerbarer Energie von 5%/Jahr werden die folgenden Anteile an Erneuerbarer Energie am gesamten Energieverbrauch im Jahre 2050 ermittelt:

Österreich: 77,3% (=90%), OECD: 11,9% (19%), Welt: 35,1% (56%).

Die Energieszenarien belegen die Möglichkeit zur Steigerung des Anteiles Erneuerbarer Energieträger in Verbindung mit Maßnahmen zur Energie-Effizienz.

## **11. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die Entwicklung der Energietechniken im letzten Jahrhundert – und damit auch der Energiewirtschaft – war auf eine möglichst wirtschaftliche Bereitstellung von Energie durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Energieumwandlungssysteme gekennzeichnet. Es wurde nach immer leistungsfähigeren Geräten und Systemen gesucht. Viele Systeme wurden durch kostengünstigere, aber auch energieintensivere Systeme verdrängt. Beispiele hierfür sind im Transportbereich der Ersatz von Segelschiffen bzw. Pferdekutschen durch Dampf- und Motorschiffe, Eisenbahn und Flugzeuge. Die für den Einsatz dieser Techniken erforderliche Energie konnte von den traditionellen lokalen und damit auch Erneuerbaren Energieträgern der Vergangenheit nicht mehr bereitgestellt werden. Aus diesem Grunde wurden auch die Fossilen Energieträger – zunächst Kohle, dann Erdöl und später Gas – die dominierenden Energieträger.

Auch die Verfügbarkeit von Energievorräten konnte die Energieprobleme auf unserer Erde nicht lösen. Mehr als 70% der Energieressourcen werden von nur 30% der Weltbevölkerung in Anspruch genommen.

Mehr als 90% der heute eingesetzten – Fossilen und Nuklearen – Energieträger sind in ihren Vorräten zeitlich begrenzt. Es geht hier nicht so sehr um die Frage, ob die Reserven fossiler und nuklearer Brennstoffe noch für 50, 100 Jahre oder sogar noch mehrere Jahrhunderte reichen werden, um den Energiebedarf der Menschheit abdecken zu können. Die entscheidende – insbesondere ethische – Frage ist es, ob es unserer Generation – und vielleicht auch einigen noch nachkommenden – vorbehalten sein soll, die Energieschätze der Erde in einer für die Menschheitsgeschichte sehr kurzen Zeitperiode zu verbrauchen oder krasser ausgedrückt, auszubeuten. Heute wird um ein Vielfaches mehr an Energierohstoffen verbraucht, als die Natur nachzuliefern in der Lage ist.

Die heutige Energieversorgung stellt eine ernstzunehmende und rasant zunehmende Umweltbelastung mit Klimabedrohung dar und die derzeitige Energieversorgung stößt bereits an Grenzen, insbesondere im Verkehrsbereich.

Die Fakten der Energieversorgung von heute – in den Vorräten begrenzte Energieressourcen, zunehmende Umweltprobleme durch Emissionen und radioaktives Gefahrenpotential, zunehmender Energiebedarf in den Ländern der Dritten Welt – fordern nach einem neuen Energiesystem, basierend auf den Kriterien der „Nachhaltigkeit“ mit Nutzung von Energieträgern in einer Kreislauf-Wirtschaft.

Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt, Erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen. Wasserstoff, erzeugt über Erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel. Wasserstoff als Sekundär-Energieträger weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: Er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle.

Ist das Szenario „Erneuerbare Energie und Wasserstoff“ ein „Wunsch-Szenario“, so ist ein „Katastrophen-Szenario“ nicht auszuschließen, wenn (1) fossile Energiequellen den zukünftigen Energiebedarf nicht mehr decken können, (2) die globale Klimabedrohung eine weitere Verwendung fossiler Energiequellen nicht mehr zulässt, (3) der weitere Ausbau der Atomkraft aufgrund von Kraftwerksunfällen und/oder Terrorattacken eingestellt wird, (4) die Technik der Kernfusion nicht realisierbar ist und (5) die Weiterentwicklung von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger nicht in dem Ausmaß stattgefunden hat, dass ein wesentlicher Beitrag zum Energieaufkommen geleistet werden kann. Folge dieses „Katastrophen-Szenario“ wäre, dass eine wirtschaftliche Weiterentwicklung nicht mehr möglich ist. Die Folgen für die Menschheit sind vorhersehbar: Das fossile Zeitalter war nur eine kurze Periode in der Entwicklung der Zivilisation.

Ob es gelingen wird, die Energieversorgung auch in fernerer Zukunft sicherzustellen, bleibt offen. Ohne rasches Handeln bleibt ein „Energiesystem der Zukunft“ allerdings eine Vision.



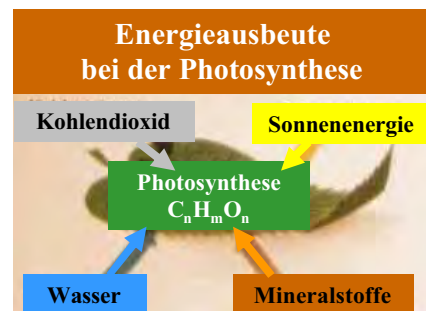
# ENERGIE – Eine Einführung

## ENERGIE:

### *Grundlage des Lebens und Überlebens*

**ENERGIE** ist eng mit der Entstehungsgeschichte des Planeten ERDE verbunden:

Unter Einwirkung der Sonnenstrahlung werden aus Kohlendioxid in der Atmosphäre und Wasser energiereiche organische Moleküle  
– Kohlenwasserstoffe – aufgebaut, welche als Nahrung und Energieträger für Mensch und Tier die Lebensgrundlage darstellen.



**Energie ist Grundlage des Lebens und Voraussetzung für das Überleben.**

ENERGIE ist eng mit der Entstehung und Entwicklung sowohl unseres Planeten ERDE als auch mit der Menschheit verbunden: Energie bestimmt Geburt und Evolution des Planeten ERDE und ist in Form von Nahrung Grundlage des Lebens und Voraussetzung fürs Überleben. Unter Einwirkung der Sonnenstrahlung werden aus Kohlendioxid in der Atmosphäre und Wasser auf der Erde energiereiche organische Moleküle – Kohlenhydrate – aufgebaut, welche unseren Lebensraum bilden und als Nahrung und Energieträger für Mensch und Tier die Lebensgrundlage darstellen.

ENERGIE ist die Fähigkeit Arbeit zu leisten: Erzeugung von *Nutzenergie* in Form von Wärme, Arbeit und Strom.

ENERGIE ist der Motor der Wirtschaft und damit der wirtschaftlichen (Weiter-) Entwicklung. Mit Energie wurde die industrielle Revolution eingeleitet – mit allen Vorteilen, aber auch mit negativen Einflüssen auf unser Leben.

ENERGIE hat unsere Umwelt verändert. Die heutige Energieversorgung mit überwiegend Fossilen und Nuklearen Energieträgern stellt ein großes Gefahrenpotential für unseren Lebensraum dar.

ENERGIE kann nicht „gewonnen“ werden, sondern wird durch Umwandlung einer Energieform in eine andere „erzeugt“, z.B.:

- Umwandlung der „potentiellen“ Energie (Energieinhalt) von Fossilen und Biogenen Energieträgern in Wärme und Strom,
- Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in Wärme und Strom,
- Umwandlung der potentiellen und kinetischen Energie der Wasserkraft (Speicher- und Flusskraftwerke) in elektrischen Strom,
- Umwandlung der kinetischen Energie der Windkraft in mechanische und elektrische Energie, etc.

Voraussetzung für Energie-Angebote (*Nutzenergie/Energiedienstleistungen und Nahrung für Mensch und Tier*) ist die Verfügbarkeit von Energieressourcen/Energieträgern. Fossile Energieträger aber auch Nukleare Energieträger über Kernspaltung genutzt sind in ihren Vorräten begrenzt. Deren Nutzung erfolgt nicht in einer Kreislaufwirtschaft und steht somit späteren Generationen nicht mehr zur Verfügung. Erneuerbare Energie-Ressourcen – in einer Kreislaufwirtschaft genutzt („nachhaltig“) – sowie – nach menschlichen Maßstäben gemessen – „unerschöpfliche“ Energieträger (z.B. Kernenergie über Kernfusion) haben das Potential, die Energieversorgung auch in fernerer Zukunft für die Menschheit sicherzustellen.

# 1. Der Planet ERDE

*Seine Entstehung und Evolution. Die solare Strahlungsenergie.  
Lebensraum und Lebensbedingungen.  
Der Kohlendioxid- und Biomasse-Kreislauf.  
Die natürlichen Energieträger der Erde.*

## Der Planet ERDE



# Der Planet ERDE

## Seine Entstehung und Evolution

Seit dem „Urknall“ vor geschätzten 15 Milliarden Jahren und der Entwicklung des Sonnensystems aus der kosmischen Materiewolke vor etwa 5 Milliarden Jahren hat sich der Planet ERDE weiterentwickelt, mit zum Teil dramatischen Änderungen des Lebensraumes, gekennzeichnet durch *Kontinentverschiebungen* und – bedingt durch den Kohlendioxid-Kreislauf mit Anreicherung der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre – durch *Temperaturänderungen*. Mit dem Erreichen eines *ökologischen Gleichgewichtes* war es möglich, dass erste Lebensformen am Planet ERDE vor etwa 3,5 Milliarden Jahren erscheinen. Das Auftreten des ersten Menschen erfolgte vor etwa 500.000 Jahren; Bildtafel 1.1.

Die Evolution des Planeten ERDE ist noch nicht abgeschlossen und weitere Änderungen im Lebensraum sind zu erwarten. Treibende Kraft des Planeten Erde ist das Wechselspiel mit der Sonne als Energielieferant.

## Die solare Strahlungsenergie

Die von der Sonne abgestrahlte Strahlungsenergie entsteht durch die kontinuierliche Kernfusion in der Sonne – Verschmelzung von Kernbauteilen mit Massenverlust – und der damit frei werdenden Energie in Form von Strahlung (elektromagnetische Wellen). Die auf die Erdoberfläche einfallende Sonnenstrahlung (Gesamtstrahlung, Globalstrahlung) besteht aus einem direkten und einem indirekten (diffusen, Himmelsstrahlung) Anteil. Die maximale Strahlungsleistung bei Eintritt in die Atmosphäre (äußerer Rand der Erdatmosphäre, um 20.000 m von der Erdoberfläche entfernt) beträgt 1,34 kW/m<sup>2</sup>. Die maximale Strahlungsleistung auf der Erdoberfläche (horizontale Ebene, ohne Bodenreflexion) erreicht Werte von bis zu 1,1 kW/m<sup>2</sup> im Süden, bis 0,9 kW/m<sup>2</sup> in Mitteleuropa und bis 0,8 kW/m<sup>2</sup> im Norden. Die von der Erdoberfläche (horizontale Fläche) im Jahr absorbierte Sonnenstrahlung (Strahlungsenergie) liegt je nach Klimazone zwischen 800 und 2.200 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr). Als Jahresmittelwert kann von 1.000 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) ausgegangen werden; Bildtafel 1.2.

## Lebensraum und Lebensbedingungen

Die Sonneneinstrahlung als primäre Energiequelle der Erde bestimmt *Wetter* und *Klima* und damit den Lebensraum. Das Wetter beschreibt den jeweiligen Zustand der Lufthülle über einem Punkt der Erdoberfläche und wird bestimmt durch Wind, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Strahlung, Bewölkung, Niederschlag. Das Klima charakterisiert den Zustand der Atmosphäre über ein Gebiet, bestimmt durch Temperatur, Luftdruck, Windrichtung und Windstärke, Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Sonnenscheindauer. Der *Lebensraum* der Erde wird durch Klimazonen beschrieben: Man unterscheidet zwischen gemäßigten, tropischen Zonen und Polarzonen. Die Klimazonen haben sich im Laufe der Evolution verschoben und eine weitere Änderung kündigt sich an („*Klimawandel*“); Bildtafel 1.3.

## Der Kohlendioxid- und Biomasse-Kreislauf

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein wichtiger Bestandteil zur Bildung von Kohlenwasserstoffen auf der Erde und damit zur Aufrechterhaltung des Lebensraumes. Entscheidend ist das

Abstrahlung: Bindung (Fixierung) und Emission; Bildtafel 1.4. Große Mengen an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre wurden in vielen Millionen Jahren in den fossilen Ressourcen Kohle, Erdöl und Erdgas über den photosynthetischen Prozess gebunden. Damit wurde das CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht auf der Erde hergestellt und die Entwicklung von Lebensformen möglich gemacht. Die Fossilen Energieträger sind viele Jahrtausende der Menschheit verborgen geblieben und erst vor 150 Jahren in den Tiefen der Erde entdeckt worden. Heute sind diese Kohlenhydrate die Hauptenergieträger unserer Energieversorgung. Zu den natürlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen somit auch die vom Menschen verursachten zusätzlichen („anthropogenen“) CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Verbrennung Fossiler Energieträger hinzu. Ein zu hoher Kohlendioxid-Anteil in der Atmosphäre durch zu starke Emissionen führt zu einem „Treibhaus-Effekt“ und damit zu einer globalen Erwärmung, mit Einleitung eines beschleunigten Klimawandels. Damit hat sich der Lebensraum auf der Erde spürbar geändert: Mit der heutigen Energieversorgung beeinträchtigt der Mensch in bedrohlichem Maße die Lebensbedingungen auf dem Planeten Erde; Abschnitt 5.

Die natürliche Produktion von Kohlenwasserstoffen als Energieträger in Form von Biomasse im Rahmen eines CO<sub>2</sub>-Kreislaufes ist weiterhin beachtlich: um 3.000 EJ pro Jahr werden gebildet; Bildtafel 1.5.

## **Die natürlichen Energieträger der Erde**

Aus der *Energiebilanz der Erde* – als Wechselwirkung zwischen Sonneneinstrahlung, Atmosphäre und Erdoberfläche – wird nicht nur der Lebensraum bestimmt, es werden auch die für das Leben erforderlichen Energie-Ressourcen gebildet; Bildtafel 1.6. Neben der Erwärmung der Lufthülle und der Bodenoberfläche, inklusive Flüsse, Grundwasser, Seen und Meere, als Grundlage des Lebensraumes ist der vorrangige Prozess die photosynthetische Umwandlung der Strahlungsenergie – in Verbindung mit dem Kohlendioxid in der Atmosphäre und Wasser sowie Mineralsstoffen auf der Erdoberfläche – in Kohlenwasserstoffe, welche Mensch und Tier als Nahrung dienen. Durch die photosynthetische Bildung von Kohlenwasserstoffen werden aber auch Energie-Ressourcen gebildet, wie Pflanzen, Wald, aber auch fossile Brennstoffe in Form von Kohle, Erdöl und Erdgas. Biogene Energieträger (Biomasse) kommen aus einer nachhaltigen Forst- und Landwirtschaft: „Gespeicherte Sonnenenergie“ und „Erneuerbar“. Fossile Energieträger (Kohle, Erdöl und Erdgas) sind Ressourcen aus erdgeschichtlicher Vergangenheit: „Gespeicherte Sonnenenergie“, aber „Nichterneuerbar“. Erdöl und Erdgas sind in Zwischenräumen von Sedimentgesteinen oder von porösem Gestein in Millionen Jahren aufgesaugte Kohlenwasserstoffe. Entstanden durch Ablagerung von Kleinlebewesen und deren Umwandlung in Faulschlamm und bakterielle Zersetzung. Kohle und Torf sind unter hohem Druck und unter Luftabschluss chemisch umgewandelte Pflanzenreste und Wälder.

Von der Sonneneinstrahlung werden weitere Energieträger bzw. Energieformen (Nutzenergie) auf direktem oder indirektem Wege abgeleitet: Wasserkraft, Windenergie, Solarwärme, Solarstrom, Umweltwärme, Gezeiten- und Meeres-Energie. Dazu kommt noch Geothermie aus dem Erdinneren.

Zu den natürlichen Energiequellen der Erde kommt noch die Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckte Energie aus Materie hinzu ( $E = m \cdot c^2$ ): Energie über Kernspaltung und Kernfusion; Bildtafel 1.7.



*Entstehungs-  
geschichte  
unseres  
Planeten  
ERDE*



**Geburtsstunde  
des  
Universums**



**Der  
Urknall**

*Vor 15 Milliarden  
Jahren ?*



*Geburtsstunde  
des  
Sonnensystems*



**Das  
Sonnensystem**

vor etwa 5 Milliarden  
Jahren aus einer  
kosmischen  
Materiewolke  
entwickelt.

**Leben auf der Erde**

Erste Lebensformen am Planet Erde erscheinen vor 3,5 Milliarden Jahren.	Das Auftreten des ersten Menschen erfolgte vor ca. 500.000 (0,0005 Milliarden) Jahren vor unserer Zeit.
	

**Bildtafel 1.1: Die Evolution des Planeten ERDE**

## Sonneneinstrahlung



## Sonneneinstrahlung

Die auf die Erdoberfläche einfallende Sonnenstrahlung (**Gesamtstrahlung, Globalstrahlung**) besteht aus einem **direkten** und einem **indirekten** (**diffusen, Himmelsstrahlung**) Anteil.

## Strahlungsleistung

Maximaler Wert bei Eintritt in die Atmosphäre:

**1.340 W/m<sup>2</sup>**

**Solarkonstante**

Äußerer Rand der Erdatmosphäre:  
Um 20.000 m von der Erdoberfläche

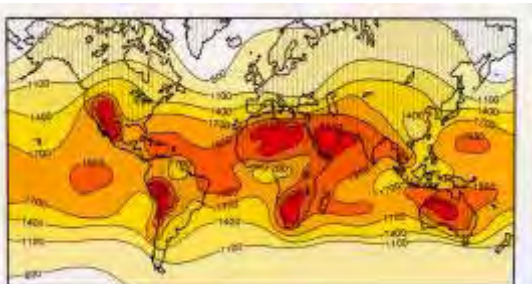
## Strahlungsleistung

**Strahlungsleistung, W/m<sup>2</sup>**

(auf die horizontale Ebene, ohne Bodenreflexion)

- Norden: bis 800 W/m<sup>2</sup>
- Mitteleuropa: bis 900 W/m<sup>2</sup>
- Süden: bis 1.100 W/m<sup>2</sup>

## Globale Solareinstrahlung



Solareinstrahlung auf die horizontale Ebene in kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr)

## Solare Strahlungsenergie

- Die von der Erdoberfläche (horizontale Fläche) im Jahr absorbierte Sonnenstrahlung (**Strahlungsenergie**) liegt je nach Klimazone zwischen 800 und 2.200 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr).
- Als Jahresmittelwert kann von **1.000 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr)** ausgegangen werden.

Bildtafel 1.2: Die Solare Strahlungsenergie



## Das WETTER

... jeweiliger Zustand der Lufthülle über einem Punkt der Erdoberfläche.

Bestimmt durch Wind, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Strahlung, Bewölkung, Niederschlag.

## Das Wetter:

Rascher Wechsel von Wolken zu Regen zu bewölkt und zu sonnig.



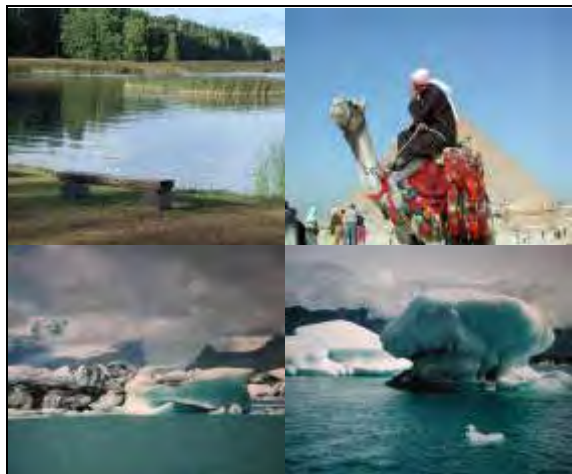
## Das KLIMA

... Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet.

Bestimmt durch Temperatur, Luftdruck, Windrichtung und Windstärke, Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Sonnenscheindauer.

## KLIMA-ZONEN

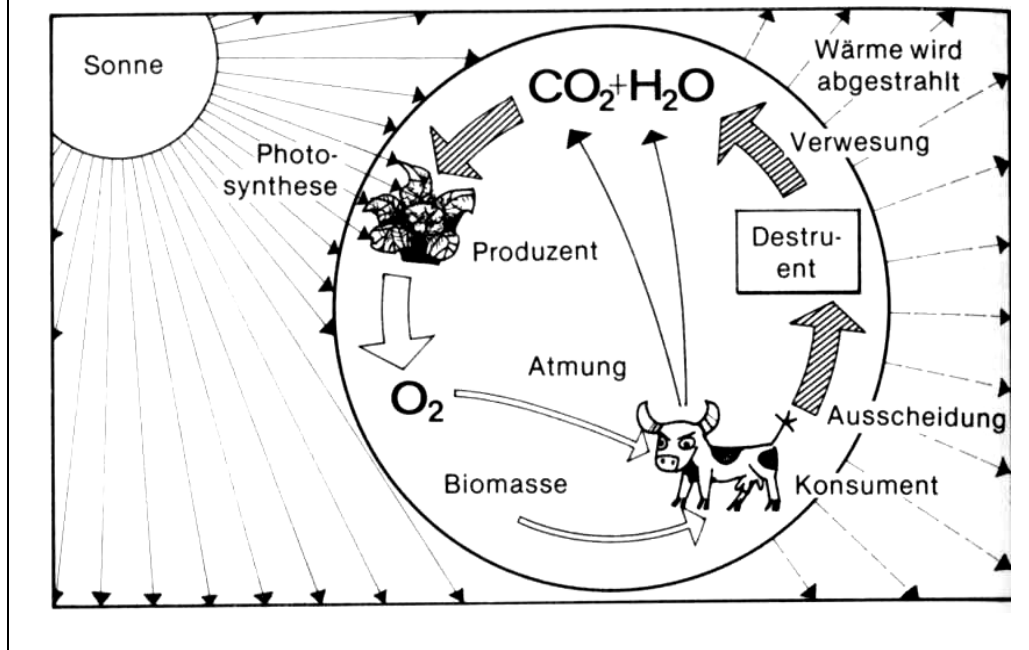
... gemäßigte Zonen, tropische Zonen, Polarzonen.



Bildtafel 1.3: Wetter und Klima



## Der Kohlendioxid Kreislauf



## Die chemischen Grundreaktionen des Kohlendioxid-Kreislaufes

### Emission und Fixierung von Kohlendioxid

#### EMISSION:

Verwitterung, Verfaulung und Verbrennung

*Abführung von Wärmeenergie*

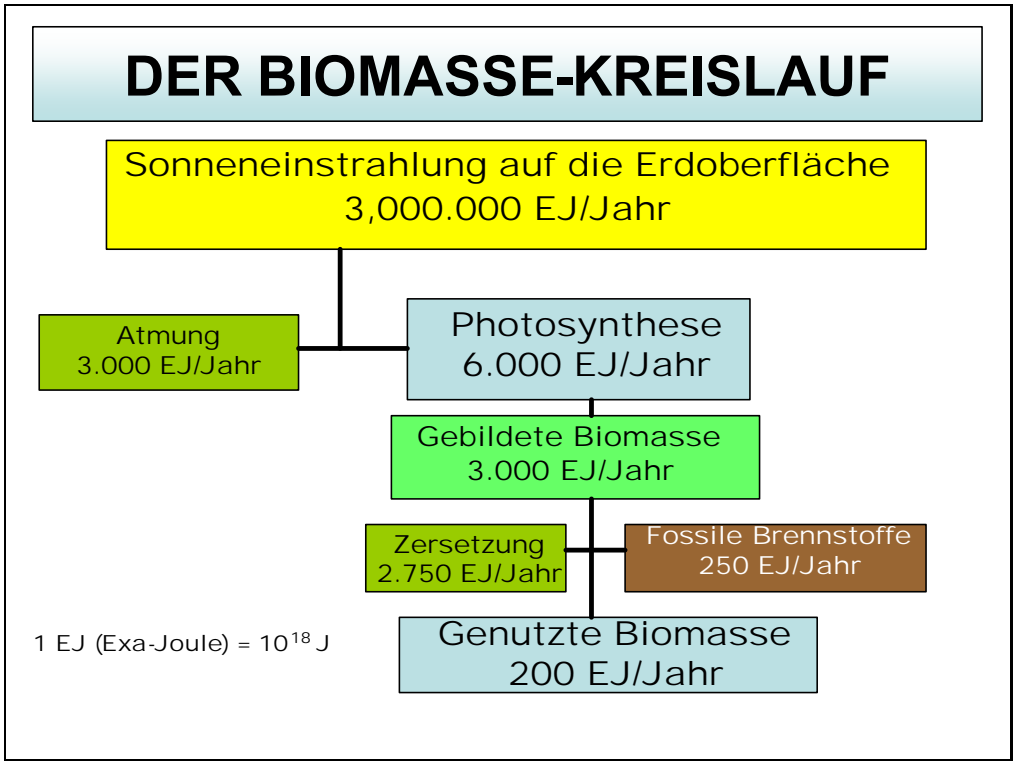


#### FIXIERUNG: Photosynthese

*Zuführung von Lichtenergie*



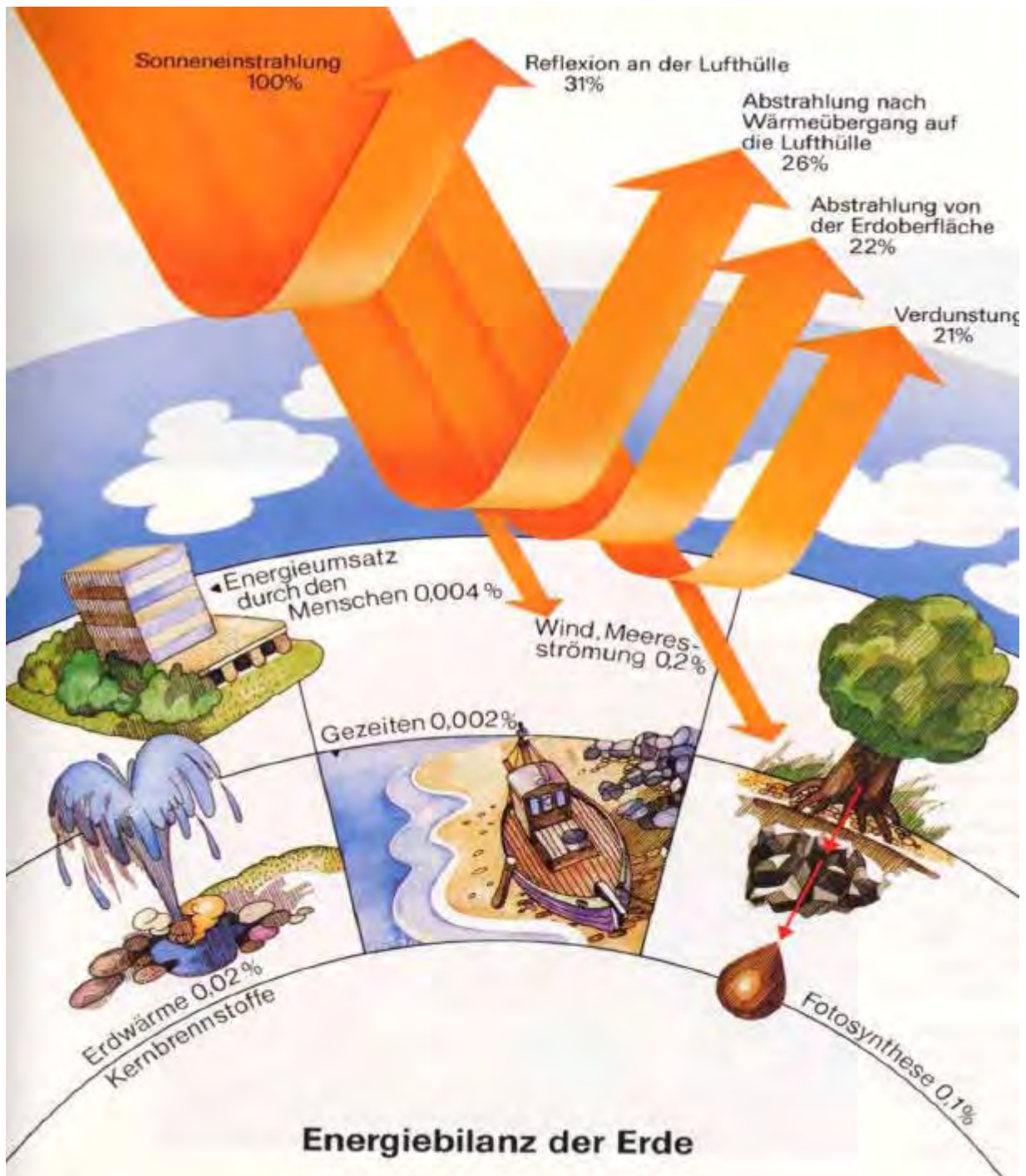
**Bildtafel 1.4: Der Kohlendioxid-Kreislauf**



SONNENENERGIE UND ENERGIETRÄGER	
Umwandlung von Sonnenstrahlung in Energieträger durch physikalisch-chemische Prozesse	
LANGFRISTIGE UMWANDLUNG (Speicherung)	KURZFRISTIGE UMWANDLUNG (Kurzfristige Speicherung sowie direkte und indirekte Umwandlung)
Kohle Erdöl Erdgas TORF	Pflanzen, Wald Windenergie Wasserkraft Solarthermik Solarelektrik (Photovoltaik)
NICHT-ERNEUERBARE ENERGIETRÄGER	ERNEUERBARE ENERGIETRÄGER

Bildtafel 1.5: Der Biomasse-Kreislauf

# Die Energiebilanz der Erde



Bildtafel 1.6: Die Energiebilanz der ERDE

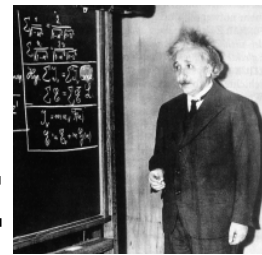
# Energie aus Materie

Zu den natürlichen Energiequellen der Erde kommt noch die Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckte Energie aus Masse hinzu:



$$E = m \cdot c^2$$

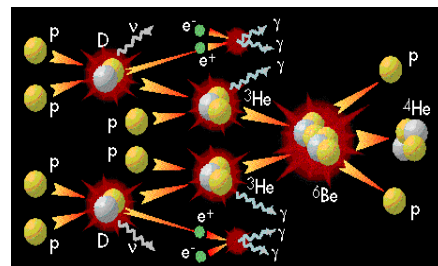
**KERNENERGIE**



## Energetische Nutzung der Kernenergie



**Kernspaltung**

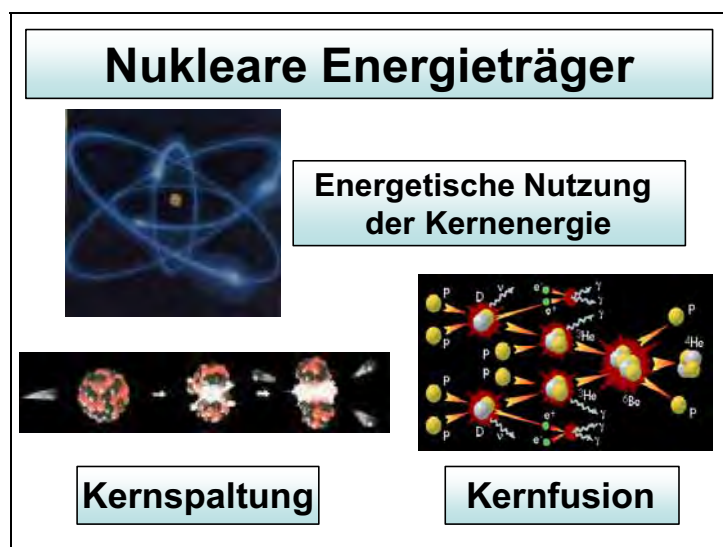


**Kernfusion**

Bildtafel 1.7: Energie aus Materie

## 2. Fossile und Nukleare Energie-Ressourcen

*Klassifizierung der Energie-Ressourcen.  
Fossile Energieträger: Erdöl, Erdgas und Kohle.  
Zukunftsperspektiven für Fossile Energieträger.  
Nukleare Energieträger: Kernenergie. Uran-Bedarf und Uran-Reserven 2005. Kernspaltung in Atomkraftwerken.  
Entsorgung radioaktiver Materialien. Wirtschaftliche Faktoren von Atomkraftwerken. Neue Generation von Atomkraftwerken in Entwicklung. Zukunftsperspektiven für Nukleare Energieträger.  
Kernfusion als Energieoption.*



# Fossile und Nukleare Energie-Ressourcen

## Klassifizierung der Energie-Ressourcen

Als Energie-Ressourcen zur Erzeugung von Nutz-Energie stehen dem Menschen zur Verfügung:

- Fossile Energieträger.
- Nukleare Energieträger.
- Erneuerbare Energieträger.

Nach der Verfügbarkeit werden Energieressourcen klassifiziert als „Nichterneuerbar“ und „Erneuerbar“. Nichterneuerbare Energieträger sind in den Vorräten begrenzt: *Kohle, Erdöl, Erdgas*. Erneuerbare Energieträger werden in einer Kreislaufwirtschaft genutzt: *Nachhaltige Energieträger*. Diese kommen direkt (*Strahlungsenergie, Geothermie, Gezeiten- und Wellenenergie*) oder indirekt (*Wasserkraft, Windkraft, Umweltwärme, Biogene Energie aus einer „Nachhaltigen“ Forstwirtschaft*) zum Einsatz; Bildtafel 2.1.

## Fossile Energieträger

Kohle, Torf, Erdöl und Erdgas sind Ressourcen aus erdgeschichtlicher Vergangenheit: „Gespeicherte Sonnenenergie“, aber „Nichterneuerbar“. Kohle und Torf sind unter hohem Druck und unter Luftabschluss chemisch umgewandelte Pflanzenreste und Wälder. Erdöl und Erdgas sind in Zwischenräumen von Sedimentgesteinen oder von porösem Gestein in Millionen Jahren aufgesaugte Kohlenwasserstoffe. Entstanden durch Ablagerung von Kleinlebewesen und deren Umwandlung in Faulschlamm und bakterielle Zersetzung. Fossile Energieträger tragen derzeit vorrangig zum Energieaufkommen bei, sowohl weltweit als auch in Europa; Bildtafel 2.2.

## Erdöl und Erdgas

Nach dem *IEA-World Energy Outlook 2004* betragen die nachgewiesenen weltweiten Erdöl-Reserven 494 Milliarden Barrel (mit 95% Wahrscheinlichkeit) bzw. 1.588 Milliarden Barrel (mit 5% Wahrscheinlichkeit). Ab 2030 wird die Erdölförderung von noch nicht erschlossenen Erdölfeldern zu erfolgen haben. Der Aufbau neuer Erdöl-Förderkapazitäten ist zu finanzieren, die Kosten für Förderung und Weiterverarbeitung sind ungewiss; Bildtafel 2.3.

Die nachgewiesenen weltweiten Erdgas-Reserven können den weltweiten Gasverbrauch unter Annahme einer jährlichen Steigerungsrate von 2,3% noch etwa 40 Jahre abdecken; Bildtafel 2.4.

Die Versorgungslage bei Erdöl und Erdgas ist kritisch. Es wird davon ausgegangen, dass die Förderungsquoten für Erdöl und Erdgas ab dem Jahre 2030 zurückgehen werden, bei Erdöl wahrscheinlich schon früher.

Die Versorgungssicherheit ist für Erdöl und Erdgas aufgrund politischer Instabilitäten in den Förderländern schon heute problematisch. Wichtige Förderländer liegen in geopolitischen Krisenzonen. Außerdem ist die Kapazität zur Erdölverarbeitung (Raffinerien) zu gering und teilweise veraltet, die Transportleitungen für Erdöl und Erdgas teilweise desolat und Leckage



anfällig und es existieren keine ausreichenden Speicherkapazitäten. Die von der EU koordinierten Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdgasversorgung in Europa beziehen sich auf die Kapazitätserweiterung bei den bestehenden Erdgasleitungen, die Errichtung neuer Erdgasspeicher und neuer Transportrouten sowie die zusätzliche Versorgung mit verflüssigtem Erdgas. Mit der *Nabucco-Erdgas-Pipeline* sollen Erdgasquellen der Kaspischen Region und des Mittleren Ostens für Europa erschlossen werden. Die Pipeline hat eine Länge von 3.300 km, die Förderkapazität liegt bei 31 Mrd. m<sup>3</sup>/Tag, Die Investition beträgt 4,6 Mrd. Euro, die Fertigstellung ist für 2014 vorgesehen.

Aufgrund politischer und technischer Einflüsse auf die Versorgung sowie Spekulationen am Energiemarkt sind die Preise am Erdöl- und Erdgas-Sektor starken Schwankungen unterworfen. Eine Prognose der zukünftigen Preisentwicklung ist problematisch, da neben dem zu erwarteten Rückgang der Förderungsraten politische und spekulative Faktoren die Preisentwicklung wesentlich mitbestimmen.

### **Kohle**

Die nachgewiesenen weltweiten Kohle-Reserven werden auf 907 Milliarden Tonnen geschätzt. Unter Annahme des derzeitigen Kohle-Aufkommens würden die Reserven noch für 200 Jahre reichen; Bildtafel 2.5. Der weitere Einsatz von Kohle ist eine Kostenfrage und wird vom CO<sub>2</sub>-Problem wesentlich beeinflusst. Kohle weist die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen von allen Fossilen Energieträgern bei der energetischen Nutzung/Verbrennung auf.

Die einfachste Möglichkeit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht in der Effizienzsteigerung bei der Verbrennung in Heizkesseln und Kraftwerken. Weitere Möglichkeiten sind über Abtrennung, Bindung und Speicherung des Reaktionsproduktes CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung möglich: Entwicklungen sind im Gange; Abschnitt 5.

### **Zukunftsperspektiven für Fossile Energieträger**

Begrenzte Vorräte, offene Fragen der Versorgungssicherheit aufgrund politischer Instabilitäten in den Förderländern, hoher Investitionsbedarf für die Erweiterung und Erneuerung der Infrastruktur (Transportleitungen, Speicher, Raffinerien) sowie das Gefahrenpotential von klimarelevanten Emissionen belasten die Zukunftsoptionen für Fossile Energieträger.

Der weitere Einsatz von in einigen Ländern (z.B. China) noch reichlich vorhandenen Kohle-Lagerstätten ist eine mit dem CO<sub>2</sub>-Problem zusammenhängende Kostenfrage.

### **Nukleare Energieträger: Kernenergie**

Zu den natürlichen Energiequellen der Erde kommt noch die Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckte Energie aus Materie hinzu: Kernenergie. Die Nutzung der Kernenergie ist über *Kernspaltung* und *Kernfusion* möglich; Bildtafel 2.5 und Bildtafel 2.6..

Bei einer **Kernspaltung** entstehen zwei neue Atome und zwei bis drei Neutronen. Diese freien Neutronen spalten automatisch weitere Kerne. Eine Kettenreaktion entsteht, bei der sehr viel Energie freigesetzt wird. Die bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte sind radioaktiv, kontaminieren Reaktormaterialien und Kühlwasser, und zerfallen unter Aussendung von radioaktiver Strahlung mit Strahlungsdauern über 1.000 Jahre.

Bei der **Kernfusion** werden mehrere Kernteilchen zusammengebracht, beispielsweise zwei Protonen und zwei Neutronen. Das Endprodukt – in dem Fall ein Heliumkern – hat dann weniger Masse als die Summe der vier Einzelteilchen. Der Grund ist die Bindungsenergie, die freigesetzt wird, wenn die Teilchen sich verbinden. Ein Fusionsprozess ist mit einem Massenverlust verbunden und Energie wird freigesetzt. Wasser und Gestein (bzw. dessen Bestandteil Lithium) – praktisch überall verfügbar und unerschöpflich – liefern die Brennstoffe der Fusion: Deuterium und Tritium.

Das Prinzip der Kernfusion wird in der Sonne realisiert und ist die Quelle für die solare Strahlungsenergie. Im Fusionsprozess der Sonne herrscht eine Temperatur von etwa 10 Millionen Grad Celsius und ein Druck, der mindestens dem 200 Milliardenfachen des Erdatmosphärendrucks entspricht. Da dieser hohe Druck auf der Erde nicht zu erreichen ist, wird in einem Kernfusionsreaktor zum Ausgleich eine Temperatur von 100 Millionen Grad Celsius benötigt, was hohe Anforderungen an die Reaktor-Materialien, insbesondere an die Wandbeschichtung der Reaktoren stellt.

Im Gegensatz zur Kernspaltung tritt bei der Kernfusion keine Radioaktivität auf: Das Endprodukt Helium ist nicht radioaktiv. Dagegen bilden sich in den Wandmaterialien wegen des starken Neutronenbeschusses radioaktive Stoffe. Durch geeignete Wahl der Materialien lässt sich die Halbwertszeit dieser Stoffe auf 100 Jahre begrenzen, sodass diese zwischengelagert und wieder verwendet werden können.

### **Kernspaltung in Atomkraftwerken**

Derzeit ist die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung nur über den Prozess der Kernspaltung möglich: *Atomkraftwerke*. In Kernkraftwerken wird das Element Uran-235, Uran mit der Masse 235, gespalten, da es die meisten Protonen aller in der Natur vorkommenden Elemente hat.

Weltweit sind derzeit um 450 Kernkraftwerke in Betrieb. 13 der 25 EU-Mitgliedsstaaten nutzen derzeit (2006) die Kernenergie zur Stromerzeugung und sind mit einem Anteil von 36% an der weltweiten Stromerzeugung aus Atomkraftwerken der größte Atomstromproduzent, gefolgt von den USA mit 30%, Japan mit 9%, Russland mit 6% und Südkorea mit 5%. Asien ist der derzeitige Wachstumsmarkt für Atomkraftwerke: 20 von 29 AKW im Bau befinden sich in asiatischen Staaten, voran China und Indien. In Russland sind bis zum Jahre 2030 weitere 40 neue AKW in Planung, die Finanzierung ist jedoch noch offen.

Derzeit werden jährlich etwa 9.500 Tonnen Kernbrennstoff abgebrannt. Der dabei entstehende radioaktive Abfall enthält Elemente, die Hunderttausend Jahre lang radioaktive Strahlung abgeben und damit eine potentielle Gefahr für die Umwelt darstellen – sofern ihr Endlager nicht von der Umwelt abgeschottet bleibt. Radioaktiver Abfall in Atomkraftwerken enthält zwei Arten von Stoffen: Die eine entsteht im Reaktor durch den Beschuss von Neutronen, der die Atomkerne des Brennstoffs spaltet. Diese Spaltprodukte zerfallen vergleichsweise schnell. Manche Atomkerne des Brennstoffs haben dagegen Neutronen eingefangen und weisen eine sehr lange wirksame Radioaktivität auf: Die vier so entstandenen Elemente Neptunium, Plutonium, Americium und Curium sind für das langfristige Gefährdungspotenzial des nuklearen Abfalls verantwortlich.



## **Uran-Bedarf und Uran-Reserven 2005**

Der derzeitige Uran-Bedarf liegt bei 66.000 t/Jahr. Die derzeitige Uran-Produktion beträgt: 40.000 t/Jahr, sodass die Differenz von 26.000 t/Jahr aus Sekundärquellen gedeckt werden muss: z.B. rezykliertes Material aus militärischen Vorräten.

Die sicheren Uran-Vorkommen werden mit 3 Millionen Tonnen geschätzt. Die günstigen Reserven bis 40 Dollar pro kg Uran werden bis spätestens 2025 erschöpft sein.

## **Entsorgung radioaktiver Materialien**

Voraussetzung für eine sichere nukleare Abfallwirtschaft ist eine über 1.000 Jahre sichere Lagerung hochradioaktiver Abfälle in Edelstahlbehältern und Keramiken, so dass die Endlagerung unabhängig von den Bedingungen des Endlagerstandorts ist. In Wiederaufbereitungsanlagen wird schon heute Plutonium aus den abgebrannten Brennelementen getrennt und erneut als Kernbrennstoff eingesetzt. Die anderen radioaktiven Elemente *Neptunium, Americium und Curium* müssen noch von den Spaltprodukten abgetrennt und dann über kernphysikalische Prozesse umgewandelt werden. Dieses Problem ist noch nicht gelöst. Die Radioaktivität der Spaltprodukte von Brennelementen ist nach weniger als 1.000 Jahren soweit abgeklungen, dass sie der von natürlich vorkommenden Uran-Erzen entspricht. Derzeitige Bemühungen in Forschung und Entwicklung beziehen sich auf einen alternativen Brennstoff-Kreislauf, bei dem die Radioaktivität des anfallenden Atommülls schon nach 1.000 Jahren auf das Niveau einer natürlichen Uranerzlagerstätte fällt.

## **Wirtschaftliche Faktoren von Atomkraftwerken**

Auch die Kosten für Uran sind in den letzten Jahren stärker angestiegen. Neue Kernkraftwerke weisen hohe Investitionskosten auf. Der neue finnische 1.600 MW AKW-Block kostet beispielsweise 3 Mrd. Euro, ein modernes 1.600 MW Erdgas GuD-Kraftwerk kommt mit einem Drittel dieser Investition aus. Die Errichtung von Kernkraftwerken verursacht sehr lange Bauzeiten (inklusive Genehmigungsverfahren über 10 Jahre).

Der technische Zustand der in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke ist besorgniserregend. Die der Planung zugrunde gelegte Lebensdauer von 30 Jahren wird von mehreren Atomkraftwerken bereits überschritten. Im Jahre 2006 waren zwei Drittel der AKW älter als 20 Jahre, und 20% älter als 30 Jahre. Derzeitige Bemühungen konzentrieren sich auf Nachrüstungen zur Verlängerung der Lebensdauer auf 60 Jahre. Es bleibt das Problem der Gefahr von Betriebs-Unfällen durch Materialermüdung.

## **Neue Generation von Atomkraftwerken in Entwicklung**

Neue Generationen von Atomkraftwerken, zunächst Generation III, sollen höhere Sicherheitsstandards mit günstigeren Stromerzeugungskosten und längere Lebensdauererwartung (60 Jahre) aufweisen. Das erste AKW der Generation III wird derzeit in Finnland errichtet. Erwartungen in diese neue Generation sind in der Praxis noch zu erbringen.

Generation IV als Weiterentwicklung soll dann noch weitere Verbesserungen hinsichtlich Sicherheit und Ökonomie aufweisen. Erste Vorentwicklungen sind in den USA und in weiteren 11 Staaten im Gange. Die Projektlaufzeit wird mit 15 bis 20 Jahren angenommen.

## **Zukunftsperspektiven für Nukleare Energieträger**

Die Nutzung der Kernenergie ist derzeit und in den nächsten Jahrzehnten nur über die Kernspaltung möglich. Als Brennstoff kommt Uran (Isotop U235) zum Einsatz. Nur etwa 5% des Energiepotentials kann mit derzeitiger Technik (Leichtwasser-Kraftwerke) zur Stromerzeugung genutzt werden. Die Vorräte von Uran sind begrenzt und würden nur für einige Jahrzehnte reichen. Für einen längerfristigen Einsatz von Atomkraftwerken müssten neue technische Lösungen gefunden werden, einerseits zur Verbesserung der Effizienz bei der Stromerzeugung (z.B. „Schnelle Brüter“), Brennstoff-Recycling, neue Ausgangsmaterialien für die Kernspaltung (wie z.B. Thorium) und andererseits zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle.

Zwei Drittel der AKW sind älter als 20 Jahre, 20% älter als 30 Jahre. Die der Planung zugrunde gelegte Lebensdauer beträgt 30 Jahre. Es besteht somit die Gefahr von Betriebsunfällen durch Materialermüdung.

Derzeit werden jährlich etwa 9.500 Tonnen Kernbrennstoff abgebrannt. Der dabei entstehende radioaktive Abfall enthält Elemente, die Hunderttausend Jahre lang radioaktive Strahlung abgeben und damit eine potentielle Gefahr für die Umwelt darstellen.

Das große radioaktive Gefahrenpotential durch Kraftwerksunfälle, Erdbeben und Terrorattacken bleibt weiterhin bestehen. Mit dem weiteren Ausbau der Kernenergie-Nutzung ist auch eine militärische Nutzung der Kernenergie (Plutonium, Atombombe) nicht auszuschließen.

## **Kernfusion als Energieoption**

Die Nutzung der Kernenergie über Kernfusion ist derzeit erst am Beginn einer Entwicklung, verbunden mit noch offenen Fragen betreffend eine Realisierung. Lässt sich die Kernfusion zur Energieversorgung überhaupt technisch realisieren? Prinzipiell möglich (Sonne), jedoch nur bei sehr hohen Temperaturen und gleichzeitig hohem Druck. Bisherige Versuche in Forschung und Entwicklung (seit 1950) waren ohne entscheidenden Erfolg in Bezug auf eine Realisierung im Kraftwerksbau. Mit dem neuen Forschungsprojekt ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) der EU in Kooperation mit Japan, Russland, China, Südkorea und USA soll die Möglichkeit einer technischen Realisierung in den nächsten 10 bis 15 Jahren beantwortet werden. Von einer technischen Realisierung der Kernfusion bis zur Errichtung des ersten Pilotprojektes und darauf aufbauend des ersten Demonstrations-Kraftwerkes werden noch mehrere Jahrzehnte erforderlich sein, um ein erstes kommerzielles Fusionskraftwerk zu errichten.

- ? Planung und Errichtung eines Pilot-Kraftwerkes: um 2015 bis 2020 (sofern ITER-Projekt erfolgreich abgeschlossen werden konnte),
- ? Planung und Errichtung eines Demonstrations-Kraftwerkes: um 2030.

Technische Weiterentwicklungen, auch nach ökonomischen und sicherheitstechnischen Kriterien:

- ? Generation I: um 2050, ? Generation II: um 2070, ? Generation III: um 2080,
- ? Beginn der Markteinführung: ab 2090 ?

# Energie-Ressourcen

Die Grundlage für  
Energieressourcen am Planeten  
Erde ist die

Wechselwirkung zwischen  
**SONNE** und **ERDE**  
mit der



**Strahlungsenergie als  
Primärenergie.**

## Energiebilanz der ERDE: *Bildung von Energie-Ressourcen*

- Wasserkraft, Wind, Meeresströmung: 0,2%
- Photosynthese  
(biogene und fossile Energieträger): 0,1%
- Erdwärme/Geothermie: 0,02%
- Gezeiten: 0,002%

**ERNEUERBARE Energieträger** werden in einer  
Kreislaufwirtschaft direkt oder indirekt genutzt:  
*Nachhaltige Energieträger.*

**NICHT-ERNEUERBARE Energieträger** sind in den  
Vorräten begrenzt: *Kohle, Erdöl, Erdgas.*

Bildtafel 2.1a: Energie-Ressourcen  
*Wechselwirkung zwischen SONNE und ERDE*

## Von der solaren Strahlungsenergie abgeleitete Energieformen

### Elektromagnetische Wellen

#### Direkte Umwandlung

Direkte Wärmeerzeugung  
(Lufthülle, Boden, Wasser)

Photosynthese  
(Kohlenwasserstoffe:  
Fossile und Biogene Ressourcen)

Solaranlagen  
Thermisch und Elektrisch  
(Wärme- und Stromerzeugung)

#### Indirekte Umwandlung

**Wasserkraft,  
Windkraft,  
Meeresenergie,  
Umweltwärme  
(über Wärmepumpen)**

## Die Energiequellen der Erde

### (1) Von der Sonnenstrahlung direkt und indirekt abgeleitete Energieträger

(Solarwärme, Solarstrom, biogene und fossile Energie,  
Wasserkraft, Windenergie, oberflächennahe-Geothermie,  
Gezeiten- und Meeresenergie)

### (2) Geothermie aus größeren Tiefen (Hochtemperatur-Geothermie)

### (3) Planetarische Bewegung des Sonnensystems Energie von Gezeiten

### (4) Kernenergie (Energie über Kernspaltung und Kernfusion)

Bildtafel 2.1b: Energie-Ressourcen  
Von der Sonnenenergie abgeleitete Energieträger

## Die Energiequellen der ERDE



Sonnenenergie



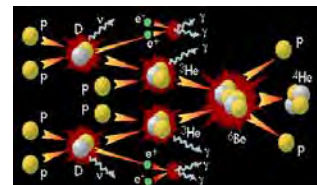
Primärenergie SONNE



Geothermische Energie



Meeresenergie



Kernenergie

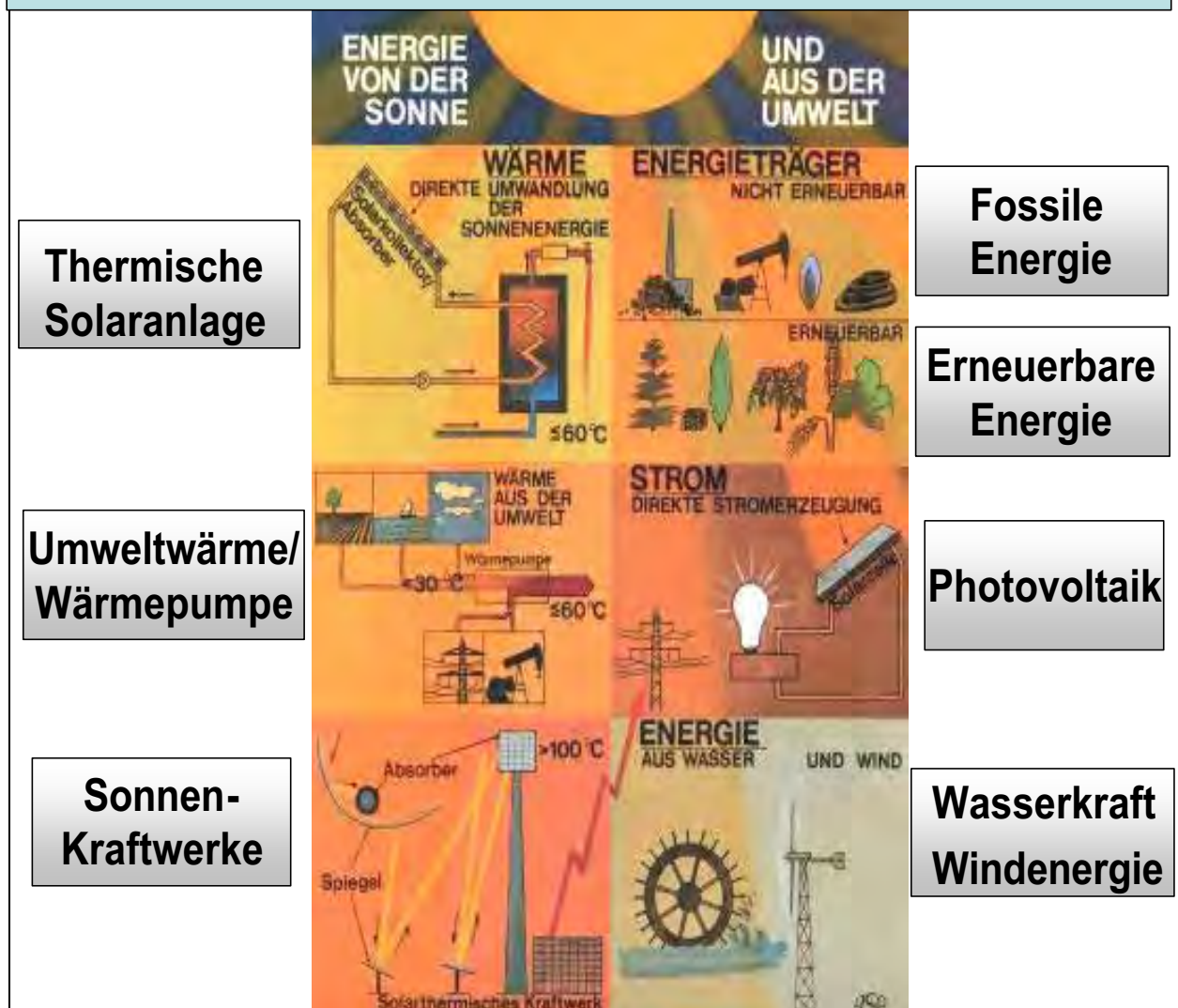
**Fossile Energieträger:**  
Kohle, Erdöl, Erdgas

**Nukleare Energieträger:**  
Kernspaltung und Kernfusion (?)

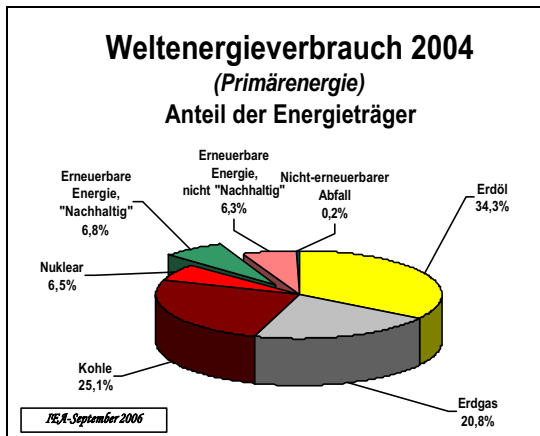
**Erneuerbare Energieträger:**  
Biomasse, Wasserkraft, Solarenergie,  
Windenergie, Geothermie,  
Gezeitenenergie, Meeresenergie

Bildtafel 2.1c: Energie-Ressourcen  
*Energiequellen der ERDE*

# Energie von der Sonne und aus der Umwelt



**Bildtafel 2.1d: Energie-Ressourcen**  
*Energie von der Sonne und aus der Umwelt*



*Fossile Energieträger*

**Kohle, Erdöl und Erdgas.**  
Ressourcen aus  
erdgeschichtlicher Vergangenheit

*Gespeicherte Sonnenenergie*  
*Nicht-erneuerbar*

*KOHLE, TORF*

... durch hohen Druck  
verdichtete und unter  
Luftabschluss chemisch  
umgewandelte Pflanzenreste  
und Wälder.

*ERDÖL, ERDGAS*

... in Zwischenräumen von  
Sedimentgesteinen oder von porösem  
Gestein in Millionen Jahren aufgesaugte  
Kohlenwasserstoffe.

Entstanden durch Ablagerung von  
Kleinlebewesen und deren Umwandlung  
in Faulschlamm und bakterielle  
Zersetzung.

**Zukunftsperspektiven für  
fossile Energieträger**

**Hoffnungsmarkt  
Ölsande und Ölschiefer**

**Ölsande / Teersande**  
Geschätzte Reserven:  
Schwerölmenge von 480 Milliarden Tonnen.

**Ölschiefer**  
Reserven:  
Ca. 320 Milliarden Tonnen Schieferöl.

**Bildtafel 2.2: Fossile Energieträger**

## Erdöl-Reserven

*IEA-World Energy Outlook 2004*

### Nachgewiesene weltweite Reserven:

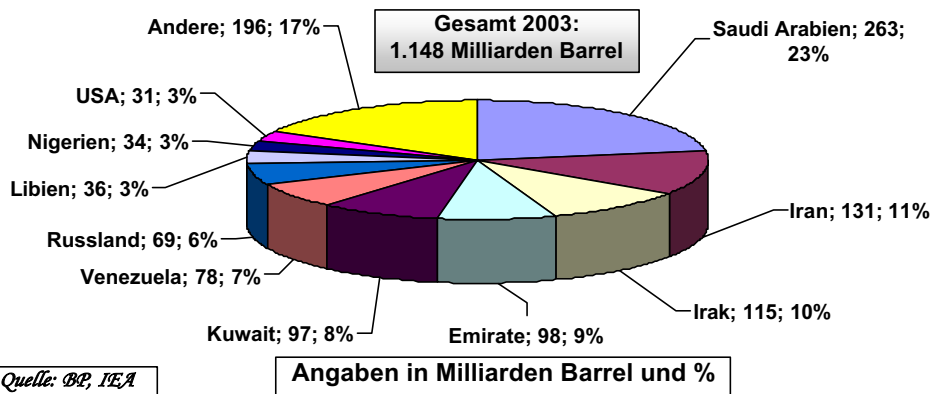
**494 Milliarden Barrel**  
(mit 95% Wahrscheinlichkeit)

**1.588 Milliarden Barrel**  
(mit 5% Wahrscheinlichkeit).

Ab 2030 wird die Erdölförderung von heute noch nicht erschlossenen Erdölfeldern zu erfolgen haben.

Der Aufbau neuer Erdöl-Förderkapazitäten ist zu finanzieren, die Kosten für Förderung und Weiterverarbeitung sind ungewiss.

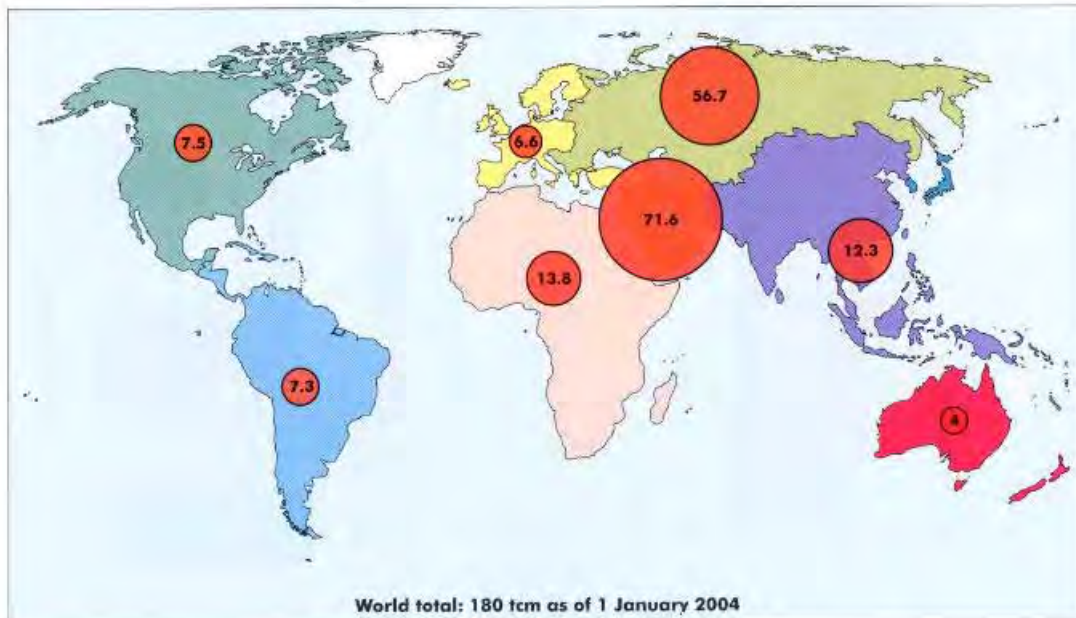
### Nachgewiesene Ölvorräte, inklusive Ölschiefer in Kanada, Ende 2003 Die TOP-10 Länder



Bildtafel 2.3: Versorgungslage bei Erdöl



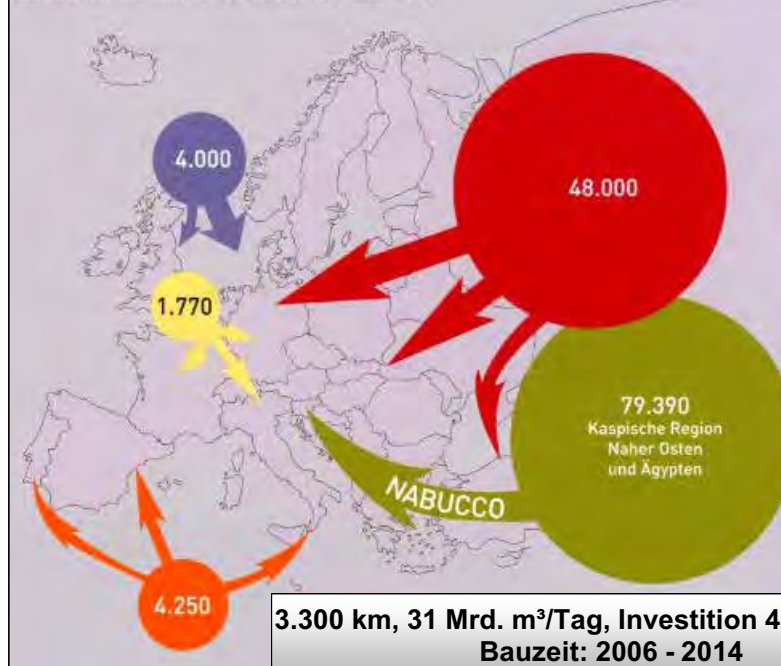
## Nachgewiesene weltweite Erdgas-Reserven 2004



Source: Cedigaz (2004)

## Projekt „Nabucco-Pipeline“ zur Erdgasversorgung der EU

Gasreserven in Mrd m<sup>3</sup> aus BP Statistical Review 2005



Bildtafel 2.4: Versorgungslage bei Erdgas

## **Kohle-Reserven**

*IEA-World Energy Outlook 2004*

**Nachgewiesene weltweite  
Kohle-Reserven:  
907 Milliarden Tonnen.**

**Unter Annahme des derzeitigen  
Kohle-Aufkommens würden die Reserven  
noch für 200 Jahre reichen.**

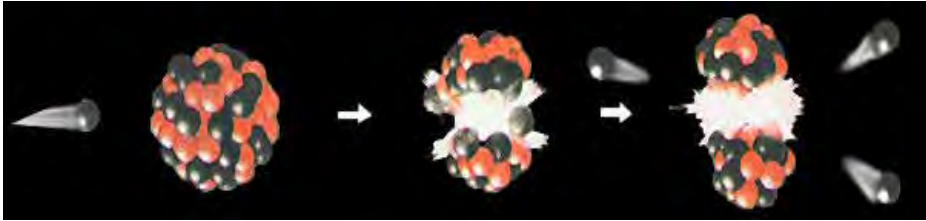
**Der weitere Einsatz von Kohle ist eine Kostenfrage  
und wird vom CO<sub>2</sub>-Problem wesentlich beeinflusst.**

## **Reine Kohle / Clean Coal**

- Kohle weist die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen von allen fossilen Energieträgern bei der energetischen Nutzung/Verbrennung auf.
- Die einfachste Möglichkeit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht in der Effizienzsteigerung bei der Verbrennung in Heizkesseln und Kraftwerken.
- Weitere Möglichkeiten sind über Abtrennung, Bindung und Speicherung des Reaktionproduktes CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung möglich: Entwicklungen sind im Gange.

**Bildtafel 2.5: Versorgungslage bei Kohle**

## Energetische Nutzung der Kernenergie über Kernspaltung



Bei einer Kernspaltung entstehen zwei neue Atome und zwei bis drei Neutronen. Diese freien Neutronen spalten automatisch weitere Kerne. Eine Kettenreaktion entsteht, bei der sehr viel Energie freigesetzt wird.

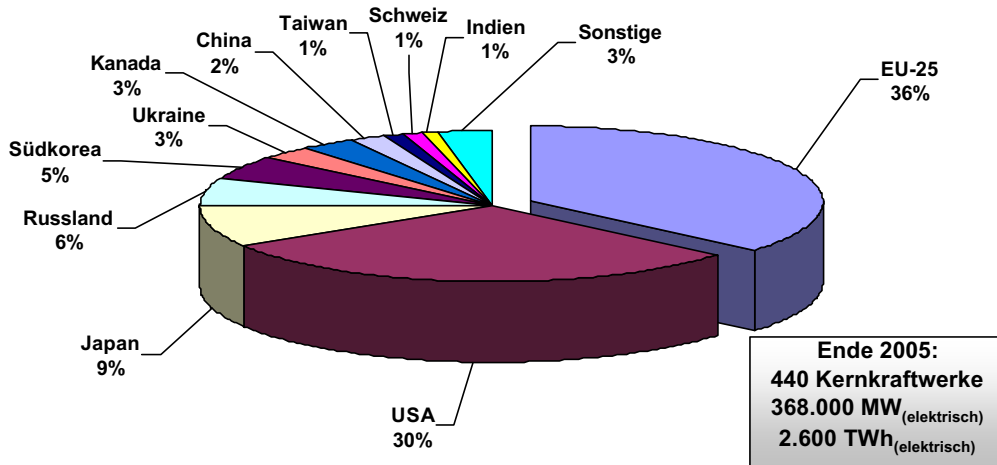
## Spaltprodukte in Atomkraftwerken



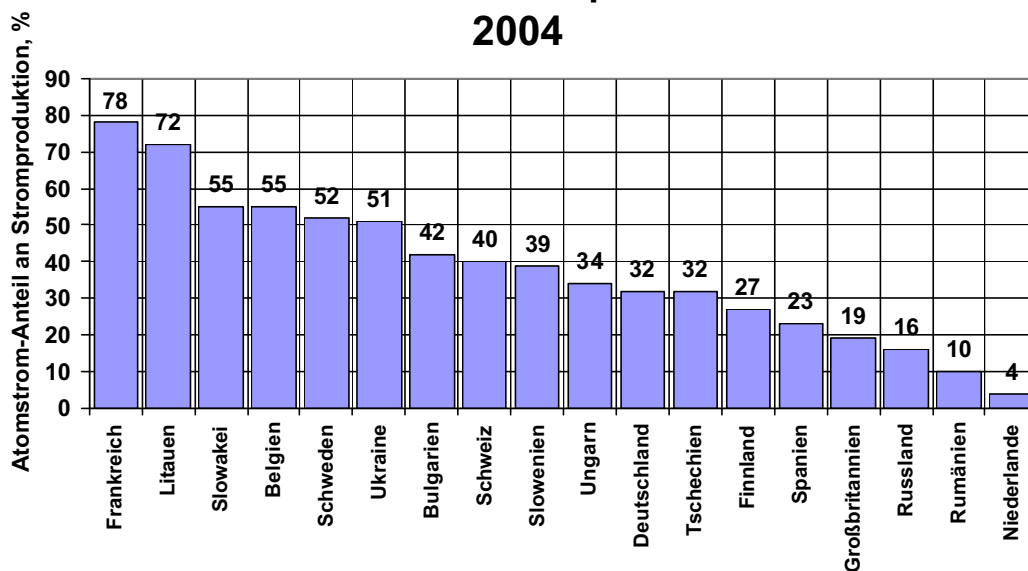
Die bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte sind radioaktiv, kontaminieren Reaktormaterialien und Kühlwasser, und zerfallen unter Aussendung von radioaktiver Strahlung mit Strahlungsdauern über 1.000 Jahre.

Bildtafel 2.6a: Nutzung der Kernenergie über Kernspaltung

## Anteile der weltweiten Stromproduktion aus Kernkraftwerken im Jahre 2005



## Atomstrom-Anteil in Europäischen Ländern 2004



**Bildtafel 2.6b: Nutzung der Kernenergie über Kernspaltung  
 Stromproduktion: Weltweit und in Europa**

## Uran-Bedarf und Uran-Reserven 2005

- **Uran-Bedarf: 66.000 t/Jahr**

- **Uran-Produktion: 40.000 t/Jahr**

*Die Differenz von 26.000 t/Jahr wird aus Sekundärquellen gedeckt: z.B. rezykliertes Material aus militärischen Vorräten.*

- **Sichere Vorkommen: 3 Mio Tonnen**

*Die günstigen Reserven bis 40 Dollar pro kg Uran werden bis spätestens 2025 erschöpft sein.*

## Uran-Produzenten 2005:

Kanada, Australien, Niger, Russland, Kasachstan.

## Neue Generationen von Atomkraftwerken

### Generation III:

**Höhere Sicherheitsstandards**

**Günstigere Stromerzeugungskosten**

**Längere Lebensdauererwartung (60 Jahre).**

*Erstes AKW der Generation III wird derzeit in Finnland errichtet. Erwartungen in diese neue Generation sind in der Praxis noch zu erbringen.*

### Generation IV:

**Weiterentwicklung von Generation III, von USA und weiteren 11 Staaten derzeit vorangetrieben.**

**Projektlaufzeit: 15 – 20 Jahre.**

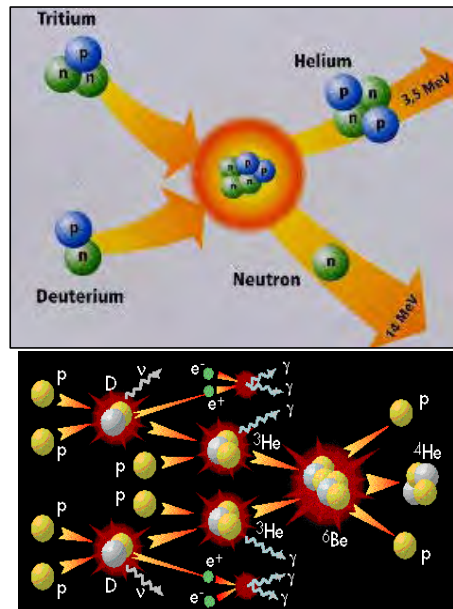
**Weitere Verbesserungen bei Sicherheit und Ökonomie.**

**Bildtafel 2.6c: Nutzung der Kernenergie über Kernspaltung  
*Uranbedarf und neue Entwicklungen***

## Kernfusion in der Sonne als Basis für die Entwicklung von Fusionsreaktoren



Sonne mit Protuberanz



## Das Prinzip der Kernfusion

Werden mehrere Kernteilchen zusammengebracht – beispielsweise zwei Protonen und zwei Neutronen – dann hat das Endprodukt – in dem Fall ein Heliumkern – weniger Masse als die Summe der vier Einzelteilchen. Der Grund ist die Bindungsenergie, die freigesetzt wird, wenn die Teilchen sich verbinden.

Ein Fusionsprozess ist mit einem Massenverlust verbunden und Energie wird freigesetzt.

Im Fusionsprozess der Sonne herrscht eine Temperatur von etwa 10 Millionen Grad Celsius und ein Druck, der mindestens dem 200 Milliardenfachen des Erdatmosphärendrucks entspricht.

Da dieser hohe Druck auf der Erde nicht zu erreichen ist, wird in einem Kernfusionsreaktor zum Ausgleich eine Temperatur von 100 Millionen Grad Celsius benötigt, was hohe Anforderungen an die Wandbeschichtung der Reaktoren stellt.

Bildtafel 2.7a: Nutzung der Kernenergie über Kernfusion  
*Das Prinzip der Kernfusion*

## Brennstoffe für die Kernfusion

### Deuterium und Lithium:

- Zwei Liter Wasser enthalten 75 Milligramm Deuterium.
- Einige Kilogramm Gestein enthalten 225 Milligramm Lithium, aus dem im Reaktor Tritium entsteht.

Damit werden 1.000 Liter Öl ersetzt.

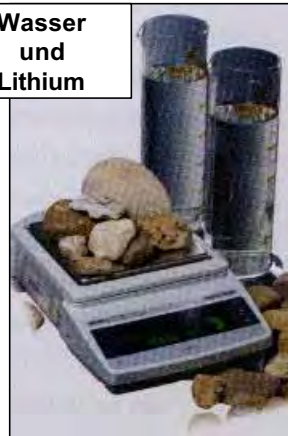
## Brennstoffe für die Kernfusion

„Brennstoff“ für Kernfusion

2 Liter Wasser  
+ einige kg Gestein  
?

Ersetzen 1.000 Liter Öl

Wasser  
und  
Lithium



Wasser und Gestein (bzw. dessen Bestandteil Lithium)  
– praktisch überall verfügbar und unerschöpflich –  
liefern die Brennstoffe der Fusion:

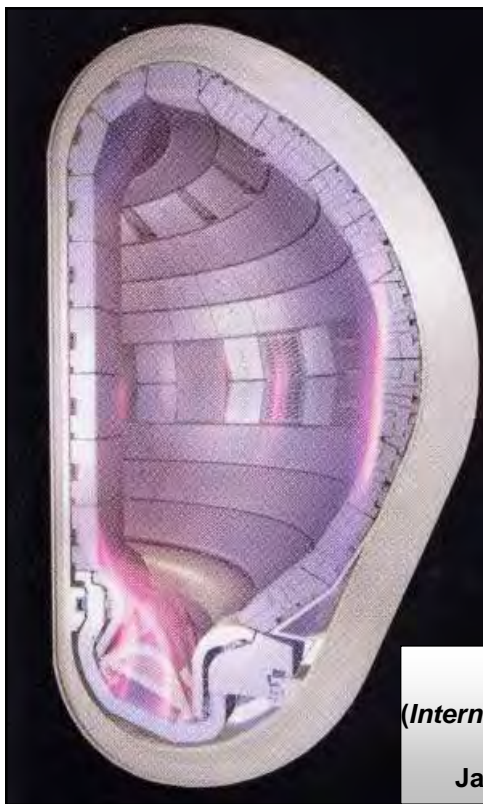
**Deuterium und Tritium.**

**Bildtafel 2.7b: Nutzung der Kernenergie über Kernfusion**  
*Brennstoffe der Kernfusion*



## Schwerpunkt Kernfusionsforschung

- Mit dem Bau und der Inbetriebnahme des internationalen Experimentes ITER in Cadarache, Südfrankreich, soll ab 2016 erstmals ein brennendes Fusionsplasma eine Leistung von mindestens 500 Millionen Watt liefern.
- Darauf aufbauend – vorausgesetzt, das Forschungsprojekt kann erfolgreich abgeschlossen werden – soll ein erstes Fusionskraftwerk (als Pilotkraftwerk) im Jahre 2035 Strom in das Netz liefern.



Querschnitt durch ITER  
mit animiertem Plasma:  
ein Forschungs-Fusionsreaktor  
in Entwicklung

**Forschungsprojekt ITER**  
(*International Thermonuclear Experimental Reactor*)  
der EU in Kooperation mit  
Japan, Russland, China, Südkorea und USA

**Bildtafel 2.7c: Nutzung der Kernenergie über Kernfusion**  
*Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung*



### 3. Erneuerbare Energieträger

*Kriterien für Erneuerbare Energieträger.*

*Erneuerbare Energieträger: Gestern und Heute.*

*Ressourcen für Erneuerbare Energie:*

*Wasserkraft, Geothermische Energie, Biogene Energieträger/Biomasse,  
Solarwärme, Solare Hochtemperatur Anlagen, Solarstrom/Photovoltaik,  
Umweltwärme und Wärmepumpen, Windenergie, Meeresenergie.*

*Abschätzung des Potentials „Erneuerbare Energieressourcen“.*

*Zukunftsoptionen für Solaranlagen, Wärmepumpen  
und Bio-Treibstoffe.*



# Erneuerbare Energieträger

## Kriterien für Erneuerbare Energieträger

Gemäß der Klassifizierung von Energie-Ressourcen/Energie-Trägern werden Erneuerbare Energieträger in einer Kreislaufwirtschaft genutzt: *Nachhaltige Energieträger*. Diese kommen direkt (*Strahlungsenergie, Geothermie, Gezeiten- und Wellenenergie*) oder indirekt (*Wasserkraft, Windkraft, Umweltwärme, Biogene Energie aus einer „Nachhaltigen“ Forstwirtschaft*) zum Einsatz.

Erneuerbare Energieträger sind Produkte der Energiebilanz der Erde; Bildtafel 3.1, Bildtafel 3.2 und Bildtafel 3.3 (a bis d).

## Erneuerbare Energieträger: Gestern und Heute

Bis zur Industrialisierung Ende des 19. Jahrhunderts standen der Menschheit für die Energieerzeugung nur lokal anfallende „Erneuerbare“ Energieträger in Form von Holz zur Wärmeerzeugung und teilweise Klein-Wasserkraft und Windenergie für mechanische Einsatzbereiche zur Verfügung. Mit der Entdeckung von Kohle, später Erdöl und Erdgas wurde die Industrialisierung mit einer neuen Form der Energieversorgung eingeleitet, der Erneuerbare Energieträger Holz wurde zurückgedrängt, die meisten Windkraftwerke eingestellt, aber andererseits mit dem Bau von größeren Wasserkraftanlagen begonnen.

Mit der Ölpreis-Krise im Jahre 1973 wurde den Erneuerbaren Energieträgern wieder größere Aufmerksamkeit geschenkt. Seit 1975 wurde ein Markt für solarthermische Anlagen, Biomasse-Heizungsanlagen und etwas später auch für solarelektrische (Photovoltaik)-Anlagen und Windkraft-Anlagen aufgebaut. Seit Ende des 20. Jahrhunderts konnte der Beitrag Erneuerbarer Energieträger am Energieaufkommen weltweit und insbesondere in den heutigen Industriestaaten erhöht werden, mit positiven Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft. Da der Energieverbrauch in den letzten Jahren stark zugenommen hat und in einigen Ländern über dem Zuwachs an Erneuerbaren Energieträgern lag, ist der Anteil Erneuerbarer Energieträger am Energieaufkommen und Energieverbrauch allerdings zum Teil zurückgegangen.

Mit der erwarteten weiteren Marktdurchdringung Erneuerbarer Energieträger werden in Verbindung mit einer effizienteren Energienutzung merkbare Erfolge bei der Substituierung Fossiler Energieträger am zukünftigen Energiemarkt erwartet. Mehrere Jahrzehnte werden allerdings erforderlich sein, um die Vielzahl von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger auch wettbewerbsfähig zu machen.

In Zukunftsoptionen ist auf die erforderlichen Zeitperioden für die Überführung eines Pilotprojektes in ein kommerzielles Projekt zu achten.

Erneuerbare Energieträger haben grundsätzlich das Potential, einen entscheidenden Beitrag zum Energieaufkommen zu leisten, sowohl weltweit als auch in Europa. Abschätzungen des technisch umsetzbaren Potentials sind schwierig, da sehr komplex: Unterschiedliche Einsatzbereiche, geographische Unterschiede, zeitliche Schwankungen des Angebotes; siehe Bildtafel 3.13.

## **Ressourcen für Erneuerbare Energie**

Erneuerbare Energie kommt von verschiedenen Ressourcen:

- (1) Wärme aus Solarenergie, Geothermie und Biomasse.
- (2) Strom erzeugt aus Solarenergie, Windkraft, Biomasse, Geothermie, Wasserkraft, Meeres-Energie.
- (3) Bio-Kraftstoffe und Wasserstoff, erzeugt aus Erneuerbaren Energieträgern; Bildtafel 3.2.

Neben den traditionellen Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger wie Wasserkraftanlagen, geothermische Anlagen und Windkraft-Anlagen konnten sich in den letzten Jahren thermische und elektrische (photovoltaische) Solaranlagen, Wärmepumpen-anlagen und Biomasseanlagen am Markt bewähren; Bildtafel 3.4 (a bis d).

*Ungenutzte Energie der Erde* sind Wärme aus dem Erdinneren (*tiefe „Geothermie“, unter 3.000 m Tiefe*), Wellenenergie der Meere, Energie von Blitzen. Diese Energiequellen sind aus insbesondere technischen Gründen nur begrenzt – wenn überhaupt – zur Energieaufbringung nutzbar.

### **Wasserkraft**

Die Nutzung der Wasserkraft erfolgt über die kinetische Energie in Flüssen (Flusskraftwerke) sowie über die potentielle Energie in Wasserspeichern (Speicherkraftwerke); Bildtafel 3.4 (a bis c).

Die Energie von Wasserkraft hat ihren Ursprung in der Sonneneinstrahlung: Verdunstung und Niederschläge.

Die Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung begann in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts in Nordamerika und später in Europa. Bis Ende 2005 wurden weltweit um 45.000 Dämme für Wasserkraftwerke errichtet, mit größeren Eingriffen in die Natur.

Wasserkraft stellt heute die effizienteste Form der Stromerzeugung aus Erneuerbarer Energie dar: Mit 80% am weltweiten Energieaufkommen aus Erneuerbarer Energie ist Wasserkraft führend im Bereich genutzter Erneuerbarer Energieträger.

In den letzten Jahrzehnten wurden die Wasserkraftwerke modernisiert und weiter ausgebaut, ein Neubau von großen Wasserkraftwerken erfolgt heute in China, Indien, Türkei, Kanada und Südamerika.

Der weitere Ausbau von Groß-Wasserkraftwerken in Verbindung mit großen Dämmen steht mit den Kriterien der „Nachhaltigkeit“ nicht im Einklang: zu große Eingriffe in die Natur – Fauna und Flora – , einschließlich negativer Einflüsse auf Grundwasserversorgung und Landwirtschaft, Risiken durch Dammbüche, erforderliche Aussiedlungen, wie z.B. in letzter Zeit in China.

Während das Potential für Groß-Wasserkraftwerke in Europa praktisch – unter ökologischen Kriterien – schon ausgeschöpft ist, besteht für Klein-Wasserkraftwerke (Leistungen unter 10 kW) noch ein größeres ungenutztes Potential.

Prioritäten für die weitere Entwicklung im Bereich der Wasserkraft werden in weiteren Effizienz-Verbesserungen von in Betrieb befindlichen Wasserkraftwerken gesehen.

Ein weiterer Ausbau wird sich in Europa auf Klein-Wasserkraftwerke unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Aspekte konzentrieren.

## **Geothermische Energie**

Definitionsgemäß bedeutet Geothermische Energie Wärme unter der Erdoberfläche. Man unterscheidet zwischen Niedertemperaturwärme bis in Tiefen von 200 m, Thermalwärme in Zonen mit Thermalwasser (bis 40°C) und Hochtemperaturwärme in Form von Wasserdampf aus Tiefen von mehr als 1.000 m; Bildtafel 3.5 (a bis d).

Quelle für die Geothermische Energie ist die noch flüssige Materie im Inneren der Erde, welche durch radioaktiven Zerfall aufrechterhalten wird. In den oberen Erdschichten wird primär die einfallende und von der Erdoberfläche absorbierte Strahlungsenergie thermisch gespeichert („Niedertemperatur-Wärme“).

Geothermische Zonen mit Wasserdampf über 60°C befinden sich in Europa in Island, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Polen, Slowakei. Die Geothermie wird in diesen Gebieten zur Wärmeerzeugung und zur thermischen Stromerzeugung genutzt.

Geothermische Energie wird derzeit in 71 Ländern energetisch genutzt, davon in 24 Ländern auch zur Stromerzeugung. Ressourcen für geothermische Quellen sind in 80 Ländern nachgewiesen.

Geothermische Anwendungen zur Wärmeerzeugung betreffen in Europa Warmwasserbereitung und Raumheizung, die Wärmeversorgung von Glashäusern in der Landwirtschaft und im Bereich der Fischzucht. Ein Großteil der Geothermischen Energie wird heute in Form von Niedertemperatur-Wärme über erdgekoppelte Wärmepumpen genutzt. Da in den oberen Erdreichsschichten die Wärmereneration im Wesentlichen über von der Erdoberfläche absorbierte Sonneneinstrahlung und das Grundwasser erfolgt, sind Erdreich-Wärmepumpen nicht an geothermische Zonen gebunden.

Von der weltweiten Stromerzeugung entfallen um 0,4% auf geothermische Kraftwerke.

Das Potential an Geothermischer Energie ist weltweit sehr hoch, insbesondere wenn größere Tiefen – um 3.000 m – in Betracht gezogen werden.

## **Biogene Energieträger / Biomasse**

Biogene Energieträger sind über photosynthetische Prozesse unter Sonneneinstrahlung gebildete Kohlenwasserstoffe, welche zum Unterschied der fossilen Brennstoffe in kürzeren Zeitperioden aufgebaut werden. Biogene Energieträger stellen somit chemisch gespeicherte Sonnenenergie in „nachwachsenden“ landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Produkten dar; Bildtafel 3.6 (a bis e).

Zu den Biogenen Energieträgern zählen Holz und landwirtschaftliche Produkte, welche im festen Zustand vorliegen, und in gasförmige (Biogas) und flüssige (Biotreibstoff) Biomasse umgewandelt werden können. Zu diesen Ressourcen kommen Abfälle aus der Forstwirtschaft

(Hackgut aus Wald und Holzindustrie, Pellets aus der Sägeindustrie) sowie aus dem kommunalen Bereich dazu.

Holz als Brennstoff war über Jahrhunderte der dominierende Energieträger der Menschheit und wird auch heute noch zu einem beachtlichen Teil zum Energieaufkommen herangezogen. In Entwicklungsländern ist Holz heute noch der wichtigste Energieträger, allerdings nur selten in einer – nachhaltigen – Kreislaufwirtschaft genutzt.

Das bei der energetischen Nutzung von Biomasse freiwerdende Reaktionsprodukt CO<sub>2</sub> wird in einer „nachhaltigen“ Forstwirtschaft als umweltneutral eingestuft: Gleichgewicht in der CO<sub>2</sub>-Bilanz bei Bildung und energetischer Nutzung; Bildtafel 3.6b.

Mit den heute bekannten und in Erprobung befindlichen Verfahren zur Herstellung von flüssigen Biomasse-Produkten (Bio-Treibstoffe) lassen sich bereits Produktionskosten erzielen, welche im Vergleich zu einem Erdölpreis von 70 US\$/Barrel konkurrenzfähig sind; Abschnitt 7.

Das noch ungelöste Problem ist die Aufbringung von Biogenen Energieträgern für eine großtechnische Nutzung, bei Beachtung einer möglichst positiven Energiebilanz und umweltbezogener Aspekte.

### **Biogene Treibstoffe: Energetische und umweltbezogene Bewertung**

Treibstoffen aus Biogenen Treibstoffen wird heute weltweit Priorität in Forschung und Entwicklung beigemessen. Zahlreiche Länder sind bereits mit der Herstellung von Bio-Treibstoffen (*Biosprit*) befasst. Ressourcen für Bio-Treibstoffe sind landwirtschaftliche Produkte wie Raps (für Biodiesel) und Getreide, Mais, Zuckerrüben, Erdäpfel sowie Holz oder Stroh (Bioethanol); Bildtafel 3.6e.

In Brasilien wird Bioethanol aus Zuckerrohr und in den USA aus Mais hergestellt. In Europa sind Frankreich (aus Zuckerrüben und Weizen), Schweden (Pilotanlage mit Weizen und Holz) und Spanien mit Gerste und Weizen die größten Produzenten (2006).

In Österreich lag der Anteil der Ackerflächen für die Herstellung von Bio-Treibstoffen im Jahre 2006 bei 5,8% für Bioethanol und von 1,8% für Biodiesel.

Die Produktion von Bio-Treibstoffen hat sich in den letzten Jahren drastisch verändert: Der Produktionszuwachs von 2006 auf 2007 lag bei Biodiesel in Österreich bei +37,5%, in der EU bei +29,5% und weltweit bei +60,6%. Der Jahreszuwachs 2006/2007 bei Bioethanol lag weltweit bei +25,4% und in der EU bei +37,5%; Bildtafel 3.6f.

Die Rohstoff-Mengen für die Bioethanol-Erzeugung sind: Für die Erzeugung von 1 Liter Bioethanol benötigt man rund 2,6 kg Getreide, oder 2 kg Maiskörner, oder 8 kg Zuckerrüben, oder 8,2 kg Erdäpfel oder 2,5 kg Holz oder Stroh; Bildtafel 3.6g.

Zuckerhaltige Pflanzen können direkt vergoren werden. Bei Getreide, Mais und Kartoffeln muss die Stärke zunächst in Zucker umgewandelt werden: Vermahlen, Verflüssigen, Umwandlung in Zucker, Alkoholgärung und Destillation.

Im Jahre 2006 wurden schätzungsweise 100 Millionen Tonnen Getreide zu Biosprit verarbeitet. Andererseits ist aber auch der weltweite Getreideanbau stark gewachsen, von rund

65 Millionen auf 2,1 Milliarden Tonnen. Die Nachfrage an Getreide ist insbesondere auch durch den erhöhten Fleischkonsum in China und Indien angestiegen. Für eine Kalorie aus Fleisch muss man vier Kalorien Getreide einsetzen.

Der derzeitige Biosprit-Boom hat Anbauflächen und Nachfrage erhöht.

Mit der Zunahme an Getreideflächen gehen Weideflächen verloren. Angebot und Nachfrage an landwirtschaftlichen Produkten bestimmen damit auch den Weltpreis für Nahrungsmittel, verbunden mit einer globalen Rohstoffspekulation. Die Preise für Grundnahrungsmittel wie Mais, Reis, Weizen und andere Getreidesorten sind seit 2007 Jahr stark angestiegen, insbesondere in den Entwicklungsländern wurden die Nahrungsmittel knapp oder können von den Menschen nicht mehr erworben werden. Hungerrevolten sind nicht auszuschließen.

Die Weltproduktion von Bioethanol ist von 17,3 Milliarden Litern im Jahre 2000 auf knapp 50 Milliarden Litern im Jahre 2007 angestiegen. Im Vergleich dazu stieg der Welthandelspreis für Weizen von 107 Dollar/Tonne im Jahre 2000 auf 258 Dollar/Tonne im Jahre 2007.

Im Vergleich zu Benzin verbrennt Bioethanol rußfrei und emittiert weniger Kohlenwasserstoff, Kohlenmonoxid und Stickoxid. Bei Bioethanol aus Mais entstehen um 30% weniger Treibhausgase als bei herkömmlichem Benzin.

Die Erzeugung von Biosprit steht heute politisch auf dem Prüfstand. Biosprit-Ziele (beispielsweise der EU mit 10% Treibstoffanteil im Jahre 2020) werden hinterfragt. Heute fehlt es noch an überzeugenden Kriterien und international abgesicherten politischen Regelungen betreffend die „Nachhaltigkeit“ der Biosprit-Erzeugung. Sicherzustellen wäre die Priorität für die Nahrungsmittel-Erzeugung, der Nachweis der tatsächlichen Einsparungen an CO<sub>2</sub> und die Energiebilanz, sowie die Abklärung möglicher Auswirkungen auf die biologische Vielfalt.

## **Solarwärme**

Die Erzeugung von Solarwärme erfolgt über solarthermische Systeme; Bildtafel 3.7 (a bis o). Über den Sonnenkollektor wird die solare Strahlungsenergie nach dem physikalischen Prinzip der Absorption in Wärme umgewandelt und meist in Verbindung mit einem Wärmespeicher dem Verbraucher zugeführt; Bildtafel 3.8a und 3.8b.

Es kommen nicht-konzentrierende Kollektor-Typen (Flachkollektor und Vakuumrohr-Kollektor) sowie konzentrierende Kollektoren (Paraboloid, Zylinderwanne, Flachspiegel / Heliostat) zum Einsatz. Nicht-konzentrierende Kollektoren nutzen die Gesamtstrahlung, konzentrierende Kollektoren nutzen nur die Direktstrahlung und müssen dem Sonnenstand nachgeführt werden.

Nicht-konzentrierende Kollektoren werden in solarthermischen Anlagen zur Erzeugung von Niedertemperatur-Wärme (Warmwasser, Heizung) eingesetzt. Die solare Warmwasserbereitung und Raumheizungs-Unterstützung sind heute Standard bei der Errichtung von neuen Wohngebäuden. Auch im Rahmen der Heizungsrenovierung im Altbau sind thermische Solaranlagen attraktiv. Insbesondere nicht effektive Heizungsanlagen zur Warmwasserbereitung außerhalb der Heizsaison werden durch Solaranlagen unterstützt bzw. ersetzt.

Mit thermischen Solaranlagen lassen sich in Europa (Norden bis Süden) um 70% bis 80% der Warmwasserbereitung im Jahresdurchschnitt abdecken – auch unter wirtschaftlichen

Aspekten – , in Niedrigenergiegebäuden tragen Solaranlagen um bis zu 50% zur Abdeckung des gesamten Wärmebedarfes bei (Warmwasser und Heizung).

Solarsysteme zur Raumklimatisierung, Kühlung, und Erzeugung von Prozesswärme bis Temperaturen von 250°C stehen in Erprobung.

Weiter Entwicklungen betreffen eine effizientere Langzeitspeicherung von Solarwärme, den Einsatz von fortgeschrittenen Kollektoren zur Klimatisierung/Kühlung, und die Erzeugung von höheren Temperaturen für die Bereitstellung kostengünstiger Prozesswärme im industriellen Bereich.

Neben Kostenreduktionen bei Herstellung und Installation wird derzeit an weiteren innovativen/effizienten Lösungen zur Einbindung von solarthermischen Anlagen in bestehende Heizungssysteme und Wärmenetze gearbeitet.

## **Solare Hochtemperatur Anlagen**

Die solare Erzeugung von Wärme auf einem höheren Temperaturniveau (über 200 °C) ist über konzentrierende Kollektoren zu erreichen: Dezentrale Systeme mit Zylinder- und Parabolspiegel sowie zentrale Systeme mit Flachspiegel und Turm (Turmkraftwerke); Bildtafel 3.8 (a bis c).

Konzentrierende Kollektorsysteme lassen sich unter ökonomischen Kriterien nur in Zonen mit hoher direkter Sonneneinstrahlung einsetzen: Sonnenscheinstunden über 2.000 pro Jahr, direkte Sonneneinstrahlung über 1.800 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr). Bevorzugte Gebiete sind der „Sonnengürtel“ der Erde, in Europa in Südspanien, Süditalien, Portugal, Griechenland sowie Länder in Nordafrika, in den Südstaaten der USA, in Mexiko, in Israel und in Australien.

Solarthermische Kraftwerke werden in Südspanien (Almeria) und in den USA (Barstow, Kalifornien) seit 1980 getestet, ein Sonnenkraftwerk zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme befindet sich seit 1970 in Südfrankreich in Betrieb (Sonnenofen von Odeillo).

Mehrere konventionelle thermische Sonnenkraftwerke sind in den USA bereits in Betrieb, in bivalenter Betriebsweise mit Gas-Kraftwerken.

Derzeitige Weiterentwicklungen beziehen sich auf die Markteinführung von Sonnenkraftwerken mit elektrischen Leistungen um 300 MW.

Solaranlagen zur Erzeugung von Hochtemperaturwärme werden weiters auch zur Erzeugung von Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau sowie für photochemische Prozesse in Betracht gezogen: Solarchemie zur chemischen Speicherung von Sonnenenergie, thermochemische Herstellung von Wasserstoff mit Dissoziation/Spaltung von Wasser.

## **Solarstrom / Photovoltaik**

Grundlage der solaren Stromerzeugung ist der photovoltaische Prozess als Wechselwirkung zwischen Licht und Materie. Strahlungsquanten (*Photonen*) rufen in bestimmten Materialien (Halbleitermaterialien) einen Spannungsimpuls und in weiterer Folge einen Stromfluss hervor; Bildtafel 3.9 (a bis j).

Bevorzugte Halbleiter-Materialien für Solarzellen sind derzeit Silizium-Solarzellen, welche in drei verschiedenen metallischen Strukturen hergestellt werden: einkristalline (monokristalline), vielkristalline (polykristalline) und amorphe (Dünnschicht-) Solarzellen; Bildtafel 3.9b und 3.9c.

Die derzeit erreichbaren Wirkungsgrade von Solarzellen liegen zwischen 11% (terrestrische Anwendungen) und 18% (Einsatz in der Raumfahrt, besonders hohe Reinheit der Ausgangsmaterialien – verbunden mit einem bei der Herstellung sehr hohem Energieeinsatz). Unter dem Wirkungsgrad einer Solarzelle versteht man das Verhältnis zwischen erzeugtem Strom und auf die Solarzelle einfallende Strahlung. Der Wirkungsgrad einer Solarzelle hängt wesentlich vom Solarzellentyp, d. h. von der Gitterstruktur und deren Energieverhältnissen (*Bandabstand*) ab.

Höhere Wirkungsgrade von Solarzellen mit akzeptabler energetischer Amortisation möchte man dadurch erreichen, dass man in *Mehrschichtzellen* – hergestellt über Dünnschichtzellen – Halbleitermaterialien mit verschiedenen Bandabständen hintereinander anordnet, um damit das Sonnenlicht besser ausnutzen zu können. Mit derartigen „Tandemzellen“ sind theoretisch Wirkungsgrade bis 40% denkbar.

Entwicklungsperspektiven für Solarzellen illustriert Bildtafel 3.9d. Solarzellen-Wirkungsgrade über 30% werden angestrebt, bei deutlich sinkenden Produktionskosten.

Mit aus Solarzellen aufgebaute *Solargeneratoren* liefern Gleichstrom und müssen, wenn damit ein auf Wechselstrom aufgebautes Leitungsnetz versorgt werden soll, in Wechselstrom umgeformt werden: Wechselrichter bzw. Stromwandler bzw. Inverter; Bildtafel 3.9e.

Photovoltaik-Anlagen können autark – in Verbindung mit einem elektrischen Speicher (Batterie) – oder gekoppelt mit dem elektrischen Netz (netzgekoppelte PV-Anlagen) betrieben werden.

### **Photovoltaik-Module für die Gebäudeintegration**

Um das hohe Potential der Gebäudehüllen für die energetische Nutzung von Solarstrom zu erschließen, sind Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Module in Entwicklung und Erprobung, welche zusätzlich zur Stromerzeugung auch Aufgaben der Gebäudehülle wie Wärme- und Witterungsschutz und auch Verschattung übernehmen können; Bildtafel 3.9f und 3.9g.

Mit einem neuen Produktionsverfahren werden die kristallinen Solarzellen mit einer speziellen Verbundtechnik alterungsbeständig zwischen zwei Glasplatten eingekapselt. Dieses Verfahren ist nicht neu und wird zur Herstellung von Verbundsicherheitsglas für den Gebäudebereich und in der Automobilindustrie für die Herstellung von Windschutzscheiben eingesetzt. Die Module werden mit einer PVB-Folie (Poly-Vinyl-Butryl) laminiert, welche sich durch hohe Reißfestigkeit, Bruchdehnung, Resttragfähigkeit und ein gutes Langzeitverhalten auszeichnet. Die Modulrückseite wird mit einer zweiten Glasplatte versehen, wodurch semitransparente Module gefertigt werden können. Damit wird auch die Alterungsbeständigkeit erhöht. Derzeit lassen sich Modulflächen bis 12,5 m<sup>2</sup> herstellen.

Beispiele für Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Module illustrieren Bildtafel 3.9h und 3.9i.



Mit Photovoltaik-Anlagen lassen sich unter den meteorologischen Bedingungen in Österreich etwa 900 bis 950 kWh pro installierte Spitzenleistung von 1 kW<sub>(peak)</sub> als Jahreswert erzielen. Die Fläche von 1 kW<sub>(peak)</sub> installierter Photovoltaik-Leistung entspricht etwa 9,8 m<sup>2</sup>.

Von dem mit einer Photovoltaik-Anlage produzierten Strom können 40% bis 60% im Gebäude direkt genutzt werden. Der Rest (z.B. während der Nachtstunden) wird aus dem Netz bezogen und der Überschuss in das Netz eingespeist.

Mit der derzeitigen Technik lassen sich wettbewerbsfähige Stromerzeugungskosten nur außerhalb der elektrischen Infrastruktur mit autarken Systemen erreichen: dezentral und in Verbindung mit kleinen Netzen. Bevorzugte Einsatzbereiche sind alpine Bereiche in den industrialisierten Ländern, sowie insbesondere die Stromversorgung in den vielen Millionen Dörfern in Entwicklungsländern ohne elektrische Infrastruktur. Mit dezentralen und regionalen PV-Systemen könnte ein wesentlicher Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung in den noch nicht industrialisierten Ländern geleistet werden; Bildtafel 3.9j.

In der Raumfahrt sind heute Solarzellen selbstverständlich: Bildtafel 3.9k.

Umfangreiche Entwicklungsarbeiten sind noch erforderlich, um die effiziente Einbindung von netzgekoppelten PV-Anlagen in bestehende Netze zu erreichen, verbunden mit einem „intelligenten“ Energiemanagement mit Sicherstellung der Verfügbarkeit.

Sollen PV-Anlagen in Verbindung mit dem bestehenden Netz sich gegenüber konventionellen Stromerzeugungsanlagen durchsetzen können, dann muss eine neue Generation von Solarzellen mit um ein Mehrfaches geringeren Herstellungskosten und höherer Effizienz entwickelt werden. Anstelle von monokristallinen, polykristallinen und amorphen Silizium-Solarzellen könnten organische Dünnschichtzellen zu dem gewünschten Erfolg führen.

## **Umweltwärme und Wärmepumpen**

Unter Umweltwärme wird die in unmittelbarer Umgebung vorhandene Wärme aus Luft, Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, Seen) sowie im Erdreich gespeicherte Wärme bezeichnet. Umweltwärme ist thermisch gespeicherte Sonnenenergie; Bildtafel 3.10 (a bis d).

Die Nutzbarmachung der Umweltwärme erfolgt über den *Wärmepumpen-Prozess*, mit dem die Temperatur der Umweltwärme auf die Temperatur der Nutzwärme angehoben („gepumpt“) wird.

Die mit der Wärmepumpe erzeugte Nutzwärme setzt sich zusammen aus der „Umweltwärme“ und der Antriebsenergie für den Wärmepumpen-Prozess. Das Verhältnis von Heizwärme/Stromeinsatz wird als Arbeitszahl bezeichnet, als Mittelwert über den Jahreswert als Jahresarbeitszahl. Die Jahresarbeitszahl gibt somit das Verhältnis von erzeugter Nutzwärme zu eingesetztem Strom an und ist die Kennzahl für die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe.

Die Jahresarbeitszahl wird im Wesentlichen von den Randbedingungen des Einsatzes bestimmt: Temperatur der Wärmequelle und Temperatur der Nutzwärme. Je höher die Temperatur der Wärmequelle und je tiefer die Temperatur der Nutzwärme ist, umso höher liegt die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Heute lassen sich mit Wärmepumpen-Heizungen Jahresarbeitszahlen von über 4 erzielen.

Für die energetische Bewertung einer Wärmepumpe ist die *Primärenergie* für den Antrieb der Wärmepumpe und die Erzeugung von Nutzwärme entscheidend, d.h. es muss die Erzeugung von Strom als Sekundärenergieträger Berücksichtigung finden.

Die Wärmeregenerierung der Umweltwärme erfolgt über die Sonneneinstrahlung, im Falle von Erreich-gekoppelten Wärmepumpen in tieferen Erdschichten auch über Grundwasser und Geothermische Wärme aus tieferen Erdschichten.

Wärmepumpenanlagen mit Nutzung der erneuerbaren und lokal anfallenden Wärmequelle „Umweltwärme“ besitzen ein hohes Potential, Fossile Energieträger bei der Wärmeversorgung (Warmwasserbereitung und Raumheizung) zu substituieren und die energiebedingten umweltrelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

Um eine möglichst hohe Effizienz von Wärmepumpenanlagen bei der Wärmeversorgung zu erreichen, sind bestimmte Randbedingungen für die Einsatzbereiche zu beachten: *Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperaturheizung*.

Als „*nachhaltiges*“ Energiesystem bietet die Wärmepumpe die folgenden Vorteile: Reduktion des Primärenergie-Einsatzes bei der Wärmeerzeugung, keine Emissionen am Standort – auch kein Feinstaub, Potential zur CO<sub>2</sub>-Reduktion verbunden mit hohem Heizkomfort und bessere Kalkulierbarkeit der Betriebskosten (Strom) im Vergleich zu fossilen und biogenen Brennstoffen.

## **Windenergie**

Atmosphärischer Wind wird verursacht durch die mit der Sonneneinstrahlung bedingte Luftströmung, vorrangig am Meere und damit in Küstennähe. Aber auch in Binnenländern liegen Zonen mit bevorzugten Windverhältnissen vor, wie z.B. im Osten von Österreich.

Über Jahrhunderte wurde die Windenergie über Windmühlen für mechanische Arbeit genutzt: Getreidemühlen und Wasserpumpen. Mit Entdeckung der Fossilen Energieträger und den dazugehörigen Energietechniken sind die „Windmühlen“ – in Europa waren es bereits um 40.000 – vom Markt verschwunden.

Seit der Ölpreiskrise im Jahre 1973 wird der Entwicklung von Windkraftanlagen wieder Bedeutung zugemessen. Der Markt konnte kontinuierlich ausgebaut werden. Windkraftanlagen sind heute vorrangig Horizontal-Läufer mit 3 Rotorblättern und einem Durchmesser um 40 m und einer Höhe von über 60 m. Der Leistungsbereich liegt bei 600 kW elektrischer Spitzenleistung, ein 4,5 MW großes Windkraftwerk mit einem Rotordurchmesser von 120 m und einer Achsenhöhe von 100 m befindet sich in der Bauphase; Bildtafel 3.11 (a bis c).

75% der weltweit bisher errichteten Windkraftanlagen befinden sich in Europa, vorrangig in Dänemark, Deutschland und Spanien. Strom aus Windkraftanlagen trägt derzeit zum Stromaufkommen in Europa mit 2% bei.

Windkraftanlagen konnten ihren Markt in den letzten Jahren weltweit und in Europa deutlich verbessern; Bildtafel 3.11 (d bis f). Ende 2007 waren weltweit insgesamt 94.123 MW<sub>(elektrisch)</sub>, in EU-17 56.535 MW<sub>(elektrisch)</sub>, in Europa gesamt 57.136 MW<sub>(elektrisch)</sub> installiert (kumulierte Leistung). Nach der Ende 2007 installierten Leistung von Windkraftanlagen liegt Deutschland mit 23,6% an der Spitze, gefolgt von USA mit 17,9%, Spanien mit 16,1%, Indien mit 8,5%,

China mit 6,4%, Dänemark mit 3,3%, Italien mit 2,9%, Frankreich mit 2,6%, Großbritannien mit 2,5%, Portugal mit 2,3% und der Rest der Welt mit 13,8%. Der weltweite Zuwachs an der installierten Leistung von 2000 bis 2007 liegt bei 76.723 MW<sub>(elektrisch)</sub>, entsprechend einer Zunahme von 441% in 7 Jahren.

Die installierte Leistung von Windkraftanlagen lag in Österreich Ende 2007 bei 982 MW<sub>(elektrisch)</sub>, wobei die jährlich installierte Leistung in den letzten Jahren stagnierte, begründet durch die derzeit für Investoren nicht attraktiven Einspeisetarife sowie auch durch negative Bescheide der Naturschutzbehörden. Günstige Windverhältnisse in Österreich liegen im Alpenvorland und in den Hügellgebieten nördlich der Donau vor.

Für Windkraftanlagen günstige Gebiete befinden sich in Küstennähe, mit mehr als 3.000 Volllaststunden pro Jahr. Im Osten von Wien wurden bis 2.000 Volllaststunden gemessen. Für Windkraftwerke am Meer (off-shore) werden Volllaststunden über 4.200 erwartet.

Das technische Potential für Windkraftanlagen ist weder weltweit noch in Europa voll ausgenutzt. Für Europa wird ein technisch nutzbares Windenergie-Potential von 4.800 TWh/Jahr und weltweit von 53.000 TWh/Jahr abgeleitet. Für off-shore Windkraftwerke bis etwa 30 km Entfernung vom Land und Meerestiefen weniger als 30 m wird für Europa ein nutzbares Potential für die Stromerzeugung von 630 TWh/Jahr angenommen.

Der mögliche Beitrag von Windenergie zum weltweiten Stromaufkommen im Jahre 2020 wird mit 12%, und für Europa mit 10% an der Stromerzeugung geschätzt.

Entwicklungsbedarf ist für die Errichtung von Windkraftanlagen im Meer gegeben: Materialien, Installation, Wartung und Erneuerung.

Für die effiziente Integration von Windkraftanlagen in bestehende elektrische Netze sind noch Lösungen zu finden.

## **Meeresenergie**

Das Energiepotential in den Meeren lässt sich 5 Gruppen zuordnen: Gezeitenenergie (Tidal Energy), Wellenenergie (Wave Energy), Energie von Salzgradienten („Salinity Power“), (*osmotischer Druckunterschied zwischen Süßwasser von Flüssen und Seen und dem salzhaltigen Meerwasser*), „Marine Current“ (*thermisch bedingte Zirkulation in Verbindung mit dem Gezeiten-Effekt, genutzt über Unterwasser-Konverter*), und Energie vom thermischen Gradienten (OTEC-Energie, *Temperatur an der Meeresoberfläche und in Tiefen von mehr als 200 m*); Bildtafel 3.12.

In der Praxis angewandt wird derzeit die Energie von Gezeiten, für die Nutzbarmachung der anderen Energieressourcen aus dem Meer bestehen nur Konzepte und Pilotprojekte im Bereich Meereswellen und *Salinity-Power*.

Weltweit sind derzeit Gezeitenkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 260 MW installiert. Für die Nutzung der Wellenenergie existiert derzeit eine Demonstrationsanlage mit einer Leistung von 750 kW. Ein erstes Pilotkraftwerk mit einer Leistung von 2,25 MW ist an der Nordküste von Portugal in Planung.

Das Energiepotential in den Meeren ist theoretisch sehr groß. Wie viel davon in Zukunft wirklich genutzt werden kann, lässt sich heute nicht beantworten, es fehlt an Versuchsergebnissen und Erfahrungswerten.

### **Abschätzung des Potentials „Erneuerbarer Energieressourcen“**

Das Potential an Erneuerbaren Energieträgern lässt sich den Bereichen „Theoretisches Potential“, „Technisch umsetzbares Potential“, „Realistisch umsetzbares Potential“ und letztlich „Wirtschaftlich umsetzbares Potential“ zuordnen. Eine klare Trennung ist kaum möglich; Bildtafel 3.13.

Grundsätzlich würde das weltweite Potential an Erneuerbaren Energieträgern in der Lage sein, den derzeitigen Energiebedarf weltweit abzudecken. Für die praktische Realisierung müssen allerdings Fragen der Langzeitspeicherung und des Transportes noch gelöst werden. Ein besonderes Problem für eine großtechnische Lösung ist die Finanzierung der Anlagen und die entstehenden Betriebskosten – im Vergleich zu den derzeitigen Energiesystemen.

### **Zukunftsoptionen für Solaranlagen, Wärmepumpen und Bio-Treibstoffe**

Aus der bisherigen Markteinführung Erneuerbarer Energieträger haben neben Wasserkraft, Geothermie und Windkraft insbesondere auch Solaranlagen zur Wärme- und Stromerzeugung, Biomasseanlagen zur Wärme- und Strom-Erzeugung sowie zur Herstellung von Bio-Treibstoffen sowie Wärmepumpen mit Nutzung der Umweltwärme ein hohes Potential für die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung.

(A) Solarwärme, Biowärme und Umweltwärme: Um 50% des Endenergieeinsatzes in Europa entfällt auf die Wärmeversorgung von Gebäuden. Ein Großteil könnte mit Erneuerbaren Energieträgern abgedeckt werden: Mit solarthermischen Anlagen, Biowärme-Heizungssystemen mit Hackgut und Pellets, und Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung in Gebäuden.

(B) Niedertemperatur-Geothermie: Genutzt über Wärmepumpen oder direkt als Thermalwasser bietet ebenfalls die Möglichkeit, Fossile Energieträger bei der Wärmeversorgung zu substituieren.

(C) Bio-Treibstoffe: Die Erzeugung von Bio-Treibstoffen aus Biogenen Energieträgern – auch Hackgut – ist ein großer Hoffungsmarkt für die Substitution Fossiler Energieträger im Verkehr, mit neuen Aspekten für die landwirtschaftliche Nutzung brach liegender Agrarflächen.

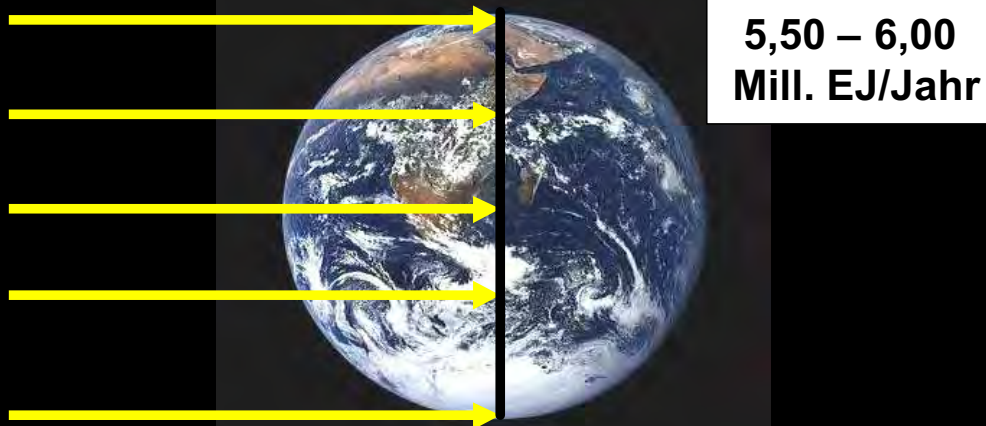
(D) Solarelektrische Anlagen zur Stromerzeugung: Photovoltaikanlagen stellen heute bereits wirtschaftlich interessante Einsatzbereiche in Gebieten ohne elektrische Infrastruktur dar: *autarke Systeme im alpinen Bereich, Warmanlagen, Parkuhren etc.* Dezentrale Photovoltaikanlagen bieten sich zum Aufbau einer elektrischen Infrastruktur in Entwicklungsländern an, mit Millionen Dörfern ohne Strom. Die Einbindung dezentraler photovoltaischer Systeme in bestehende Verteilnetze erfordert noch die Lösung von Integrationsproblemen, inklusive effizientes Energiemanagement.

Der Einsatz von Solartechniken bietet sich insbesondere für Entwicklungsländer mit dezentraler Siedlungsstruktur und noch fehlender Infrastruktur für eine zentrale Wärme- und Stromversorgung an. Beispiele sind sowohl *solarthermische Anlagen* für Warmwasser, Heizung und Klimatisierung, Kochen (mit Vermeidung von Abholzungen), Trocknung von

Lebensmitteln als auch *solarelektrische Anlagen* (PV Systeme) für Beleuchtung und Elektrifizierung von Dörfern, Kühlung von Medikamenten und Lebensmitteln, Wasserpumpenanlagen und Bewässerung, Stromversorgung von Gebäuden.

# Die Energiebilanz der Erde

Auf die Erdoberfläche auftreffende  
Solarstrahlung



## Bildung von Energie-Ressourcen

- Wind, Meeresströmung: 0,2%
- Photosynthese: 0,1%  
(*Biogene und Fossile Energieträger*)
- Erdwärme/Geothermie: 0,02%
- Gezeiten: 0,002%

## Nutzung von Energie-Ressourcen

- ⇒ Absorbierte Solarstrahlung:  
*Solarthermische und Solarelektrische Anlagen*
- ⇒ Verdunstung: *Wasserkraft*
- ⇒ Photosynthese: *Biomasse-Nutzung*
- ⇒ Wind, Meeresströmung: *Windkraft, Meeresenergie*
- ⇒ Erdwärme: *Geothermische Energie*
- ⇒ Gezeiten: *Gezeitenkraftwerke*

Bildtafel 3.1: Solare Strahlungsenergie und Energie-Ressourcen

## Erneuerbare Energieträger und Formen von Nutzenergie

- **Wärme** aus Solarenergie, Geothermie und Biomasse
- **Strom** erzeugt aus Solarenergie, Windkraft, Biomasse, Geothermie, Wasserkraft, und Meeres-Energie
- **Bio-Kraftstoffe** und **Wasserstoff**, erzeugt aus erneuerbaren Energieträgern



## Erneuerbare Energieträger am Markt



- **Wasserkraft**
- **Geothermische Energie**
- **Solarenergie**
- **Bioenergie**
- **Windenergie**

Bildtafel 3.2: Erneuerbare Energieträger und Formen von Nutzenergie





**Bildtafel 3.3a: Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger**  
*Wasserkraft- und Geothermische Anlagen*





**Bildtafel 3.3b: Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger**  
*Solarthermische Anlagen (Niedertemperatur- und Hochtemperatur)*



**Bildtafel 3.3c: Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger**  
*Solarelektrische- und Windkraft-Anlagen*





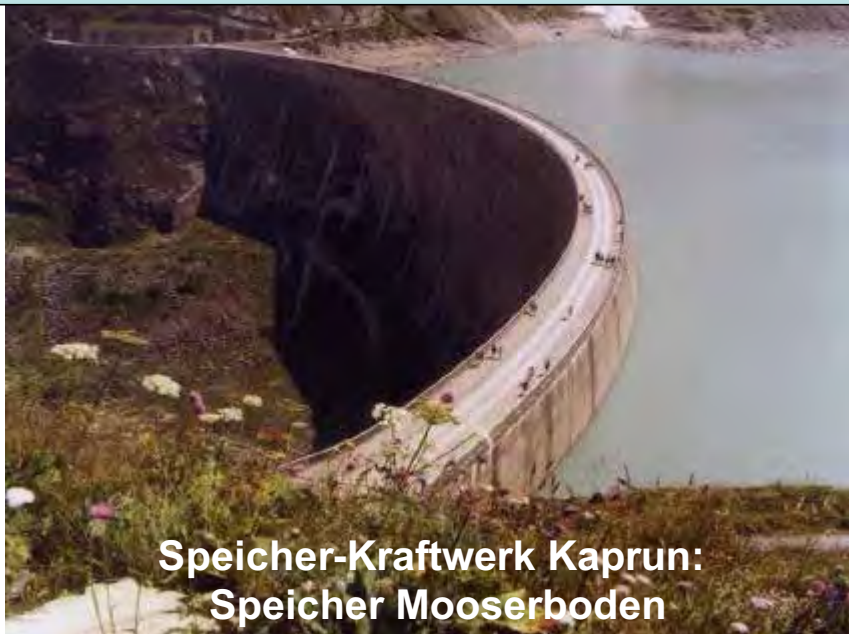
**Bildtafel 3.3d: Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger  
*Biomasse-Anlagen und Meeresenergie***

## **Wasser-Kraftwerke** *Flusskraftwerke*



**Donaualtarm-Kraftwerk Altenwörth**

## **Wasser-Kraftwerke** *Speicherkraftwerke*



**Speicher-Kraftwerk Kaprun:  
Speicher Mooserboden**

## **Nutzung der Wasserkraft**

- Die Nutzung der Wasserkraft erfolgt über die kinetische Energie in Flüssen (**Flusskraftwerke**) sowie die potentielle Energie in **Wasserspeichern (Speicherkraftwerke)**.
- Die Energie von Wasserkraft hat ihren Ursprung in der **Sonneneinstrahlung: Verdunstung und Niederschläge**.
- Die Nutzung der Wasserkraft zur **Stromerzeugung** begann in den **30er Jahren des 20. Jahrhunderts** in Nordamerika und später in Europa.
- Bis Ende 2005 wurden weltweit um **45.000 Dämme** für Wasserkraftwerke errichtet, mit größeren Eingriffen in die Natur.
- **Wasserkraft** stellt heute die **effizienteste Form der Stromerzeugung** aus erneuerbarer Energie dar.

## **Wasserkraftwerke im Betrieb**

- Mit **80%** am weltweiten Energieaufkommen aus erneuerbarer Energie ist **Wasserkraft** führend im Bereich genutzter erneuerbarer Energieträger.
- In den letzten Jahrzehnten wurden die **Wasserkraftwerke modernisiert** und weiter ausgebaut, ein **Neubau** von großen Wasserkraftwerken erfolgt heute in **China, Indien, Türkei, Kanada und Südamerika**.
- Der weitere Ausbau von **Groß-Wasserkraftwerken** in Verbindung mit großen Dämmen steht mit den Kriterien der „**Nachhaltigkeit**“ nicht im Einklang: zu große Eingriffe in die Natur – **Fauna und Flora** – , einschließlich negativer Einflüsse auf **Grundwasserversorgung** und **Landbewirtschaftung**, Risiken durch **Dammbürche**, erforderliche **Aussiedlungen**, wie z.B. in letzter Zeit in **China**.

**Bildtafel 3.4b: Wasserkraft**  
*Entwicklungsstand*

## Wasserkraft - Potential

- Während das Potential für Groß-Wasserkraftwerke in Europa praktisch – unter ökologischen Kriterien – schon ausgeschöpft ist, besteht für **Klein-Wasserkraftwerke** (Leistungen unter 10 kW) noch ein größeres ungenutztes Potential.
- Prioritäten für die weitere Entwicklung im Bereich der Wasserkraft werden in weiteren Effizienz-Verbesserungen von in Betrieb befindlichen Wasserkraftwerken gesehen.
- Ein weiterer Ausbau wird sich in Europa auf Klein-Wasserkraftwerke unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Aspekte konzentrieren.

## Wasser-Kraftwerke *Klein-Wasserkraftwerke*

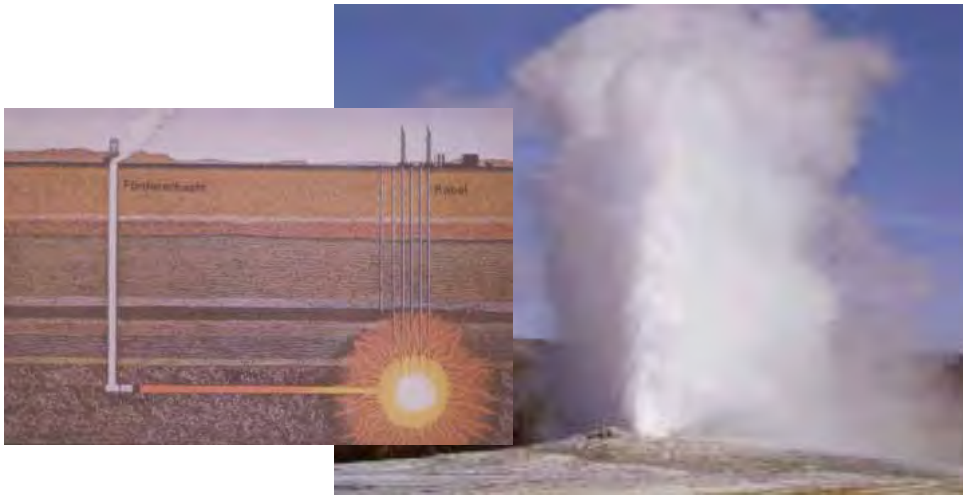


**Weltweit noch  
ausbaufähiges  
Potential**

**Bildtafel 3.4c: Wasserkraft  
*Potential***



## Geothermische Energie



## Geothermische Quellen

### Oberflächen-Geothermie

Oberflächennahe Wärme für

- Geothermische Wärmepumpen  
(*Erdreich und Grundwasser*)
  - Thermalwasser

### Tiefen-Geothermie

Für direkte Wärmeerzeugung und  
kalorische Stromerzeugung  
(*bis 3.000 m Tiefe*)

Bildtafel 3.5a: Geothermische Energie  
*Geothermische Quellen*

## Geothermische Energie

- Definitionsgemäß bedeutet geothermische Energie Wärme unter der Erdoberfläche. Man unterscheidet zwischen Niedertemperaturwärme bis in Tiefen von 200 m, Thermalwärme in Zonen mit Thermalwasser (bis 40°C) und in Hochtemperaturwärme in Form von Wasserdampf aus Tiefen von mehr als 1.000 m.
- Quelle für die geothermische Energie ist die noch flüssige Materie im Inneren der Erde, welche durch radioaktiven Zerfall aufrechterhalten wird.
- In den oberen Erdschichten wird primär die einfallende und von der Erdoberfläche absorbierte Strahlungsenergie thermisch gespeichert („Niedertemperatur-Wärme“).



**Bildtafel 3.5b: Geothermische Energie**  
*Geothermische Quellen*



## Geothermische Zonen

- Geothermische Zonen mit Wasserdampf über 60°C befinden sich in Europa in Island, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Polen, Slowakei. Die Geothermie wird in diesen Gebieten zur Wärmeerzeugung und zur thermischen Stromerzeugung genutzt.
- Geothermische Energie wird derzeit in 71 Ländern energetisch genutzt, davon in 24 Ländern auch zur Stromerzeugung. Ressourcen für geothermische Quellen sind in 80 Ländern nachgewiesen.
- Die weltweit installierte Leistung geothermischer Kraftwerke lag Ende 2005 bei 8.900 MW (elektrisch), mit denen 57 TWh/Jahr Strom produziert wurden, entsprechend 0,4% des weltweiten Stromverbrauches.



**Bildtafel 3.5c: Geothermische Energie**  
*Geothermische Zonen*

## Geothermische Anwendungen

- Geothermische Anwendungen zur Wärmeerzeugung betreffen in Europa Warmwasserbereitung und Raumheizung, die Wärmeversorgung von Glashäusern in der Landwirtschaft und im Bereich der Fischzucht.
- Ein Großteil der geothermischen Energie wird heute in Form von Niedertemperatur-Wärme über erdgekoppelte-Wärmepumpen genutzt.
  - In den oberen Erdreichsschichten erfolgt die Wärmeabsorption bzw. Regeneration zum Teil über von der Erdoberfläche absorbierte Sonneneinstrahlung. Erdreich-Wärmepumpen sind somit nicht an geothermische Zonen gebunden.
- Das Potential an Geothermischer Energie ist weltweit sehr hoch, insbesondere wenn größere Tiefen – um 3.000 m – in Betracht gezogen werden.



**Bildtafel 3.5d: Geothermische Energie**  
*Geothermische Anwendungen*



## Biomasse-Anlagen

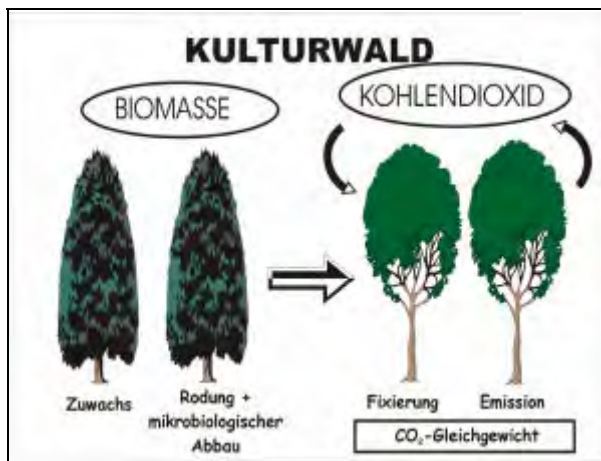
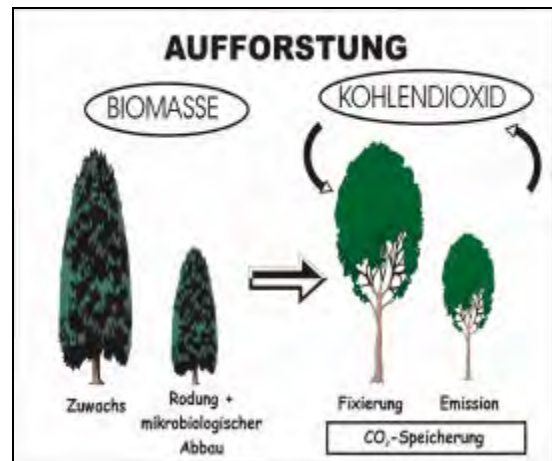
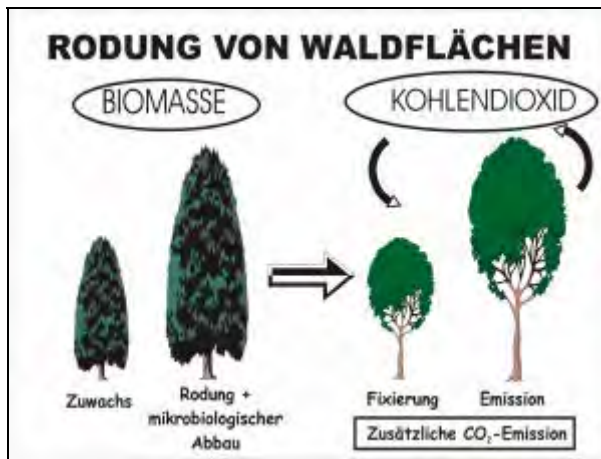
## Biogene Energieträger

**Biogene Energieträger sind über photosynthetische Prozesse unter Sonneneinstrahlung gebildete Kohlenwasserstoffe, welche zum Unterschied der fossilen Brennstoffe in kürzeren Zeitperioden aufgebaut werden. Biogene Energieträger stellen somit chemisch gespeicherte Sonnenenergie in „nachwachsenden“ landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Produkten dar.**

**Zu den biogenen Energieträgern zählen Holz und landwirtschaftliche Produkte, welche im festen Zustand vorliegen, und in gasförmige (Biogas) und flüssige (Biotreibstoff) Biomasse umgewandelt werden können. Zu diesen Ressourcen kommen Abfälle aus der Forstwirtschaft (Hackgut aus Wald und Holzindustrie, Pellets aus der Sägeindustrie) sowie aus dem kommunalen Bereich dazu.**

**Bildtafel 3.6a Biomasse-Anlagen**  
*Biogene Energieträger*





CO<sub>2</sub>-neutrale Verbrennung von Holz und Holzprodukten (Biomasse)

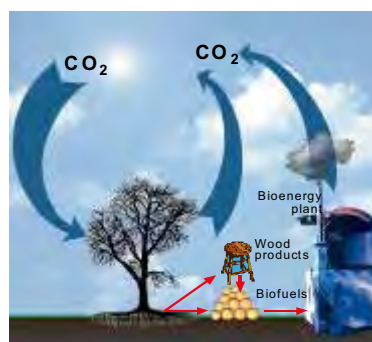
**Nachhaltige Nutzung:**

Zuwachs =  
Nutzung + mikrobiologischer Abbau

**Kohlendioxid-Gleichgewicht:**

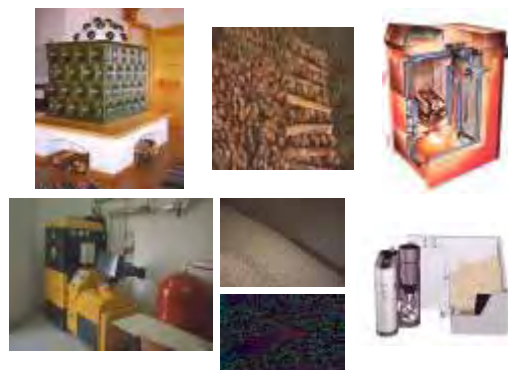
Fixierung = Emission

**Bioenergie und Kohlendioxid-Kreislauf**



Biomasse-Kraftwerk  
Brennholz, Hackgut, Pellets  
Bio-Brennstoffe

**Brennholz und Pellets als Energieträger**



**Bildtafel 3.6b: Biomasse-Anlagen**  
*Biomasse aus einer „Nachhaltigen“ Forstwirtschaft*

## Biomasse (Pellets)-Heizungen im Wohnbau



## Biomasse-Nahwärmeversorgung *Heizkessel und Hackgut-Lagerung*



**Bildtafel 3.6c: Biomasse-Anlagen**  
*Heizkessel-Anlagen*

## Solar unterstützte Biomasse-Nahwärmeversorgung



## Biomasse-Wärme-Kraftanlagen

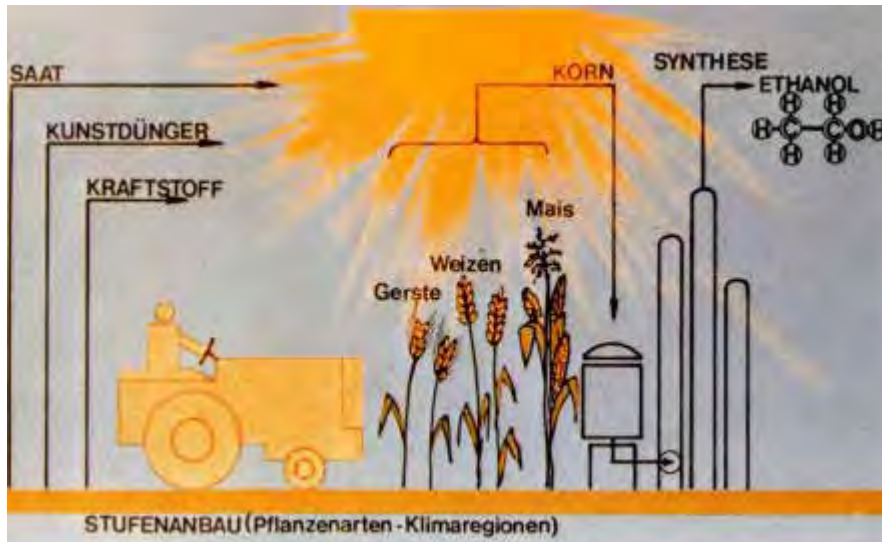


Zum Teil auch Mitverfeuerung von Biomasse  
in einem Kohle-Kraftwerk (links)

**Bildtafel 3.6d: Biomasse-Anlagen**  
*Biomasse Heizwerke und Kraftwerke*



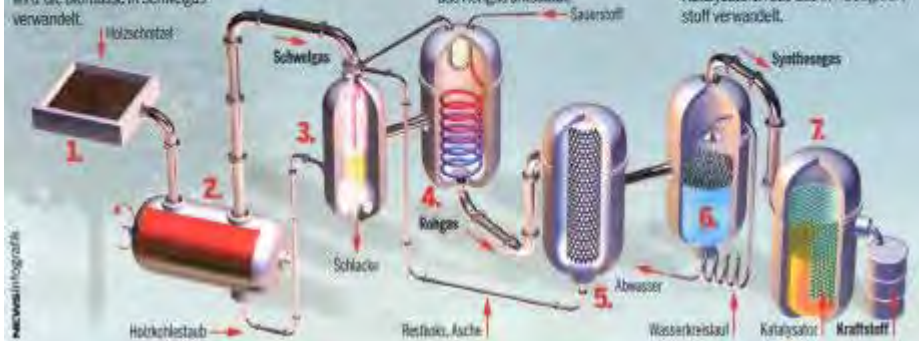
## Biogene Treibstoffe



## Sonnen-Diesel

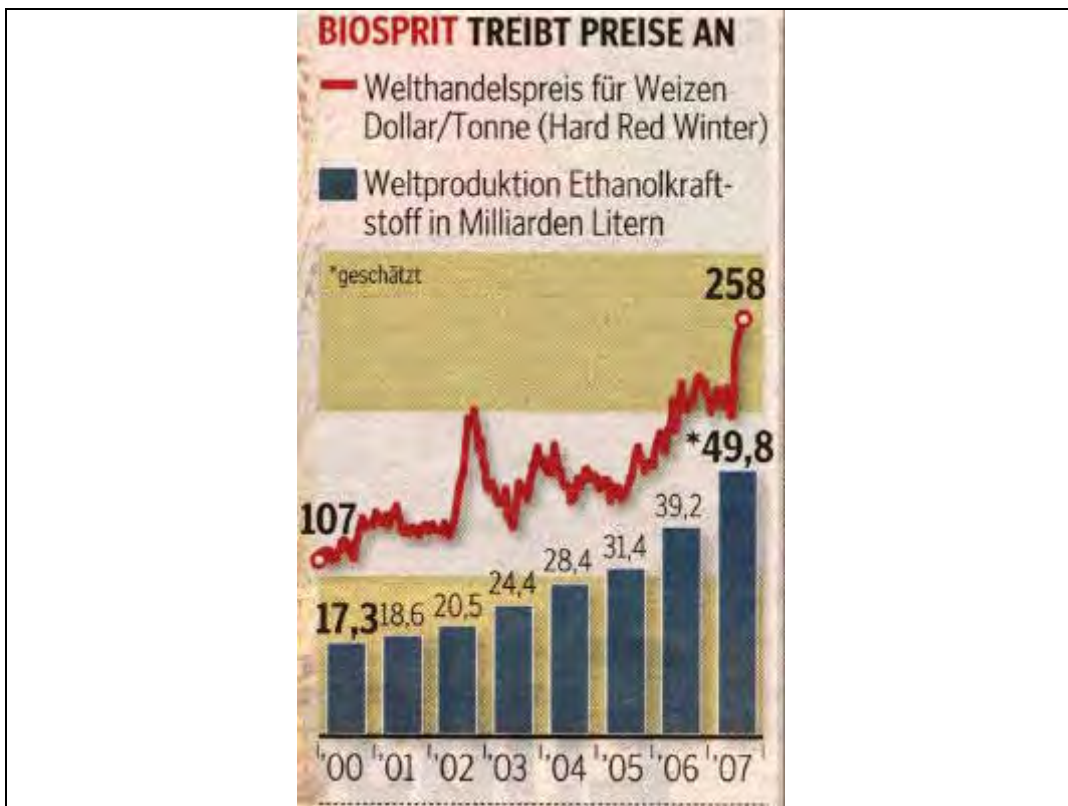
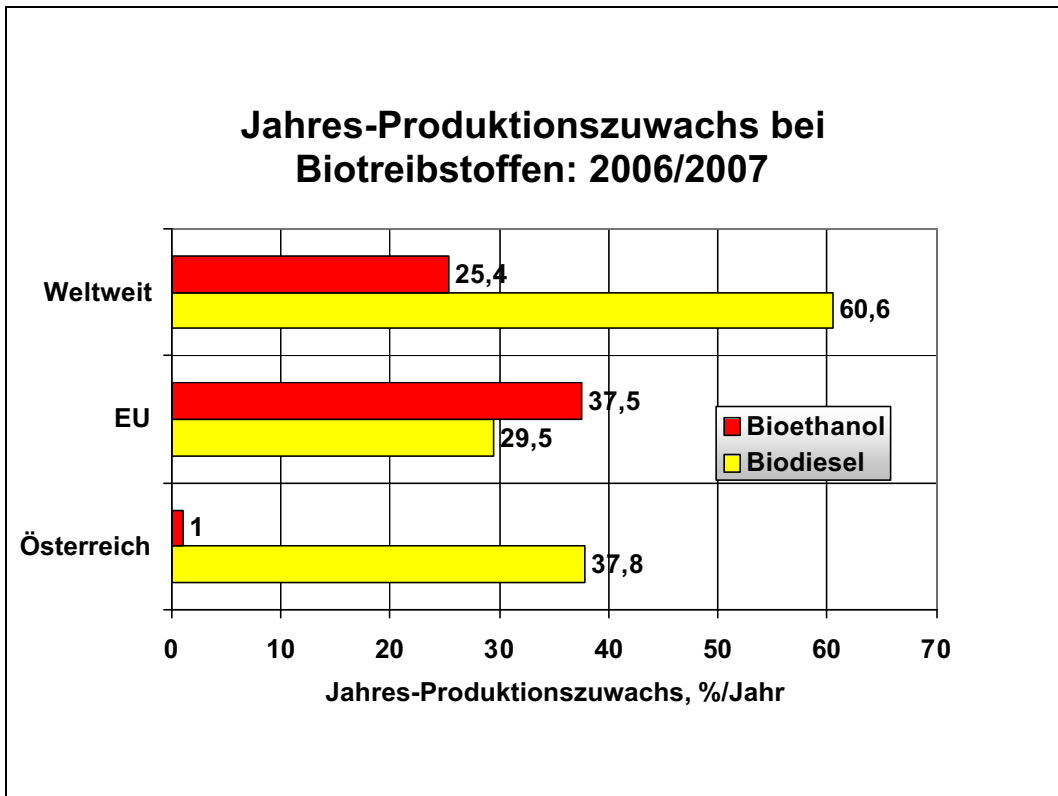
### Sonnendiesel: So wird aus Holz wertvoller Biosprit

1. Hackschnitzel sind die Basis für die Gewinnung von Ethanol.
2. Im Niedrigtemperaturvergaser wird die Biomasse in Schwelgas verwandelt.
3. In der Brennkammer wird das feerhaltige Schwelgas bei Temperaturen von über 1.400 °C verbrannt.
4. Im Rekuperator wird das Rohgas abgekühlt um es weiter zu verarbeiten.
5. Nach dem Verbrennen wird das Rohgas ertstaubt.
6. In der Gasreinigung werden Schadstoffe wie Chlor und Schwefel beseitigt.
7. Im Fischer-Tropsch-Reaktor wird über Katalysatoren das Gas in Flüssigkraftstoff verarbeitet.



Wird erzeugt aus Hackgut für die Herstellung von Ethanol und dessen weitere Umwandlung in Flüssigkraftstoff im Fischer-Tropsch-Reaktor.

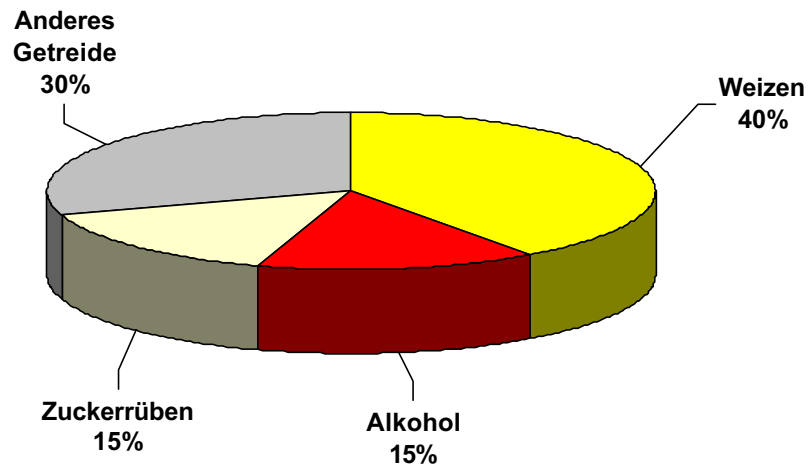
**Bildtafel 3.6e: Biomasse-Treibstoffe**  
*Biogene Treibstoffe und „Sonnen-Diesel“*



Bildtafel 3.6f: Jahresproduktion und Preisentwicklung bei Biotreibstoffen



## Rohstoffe für die Produktion von Bioethanol Schätzwerte für EU 2007



### Rohstoff-Mengen für die Bioethanol-Erzeugung

Für die Erzeugung von 1 Liter Bioethanol sind erforderlich:

- 2,6 kg Getreide, oder
- 2 kg Maiskörner, oder
- 8 kg Zuckerrüben, oder
- 8,2 kg Erdäpfel oder
- 2,5 kg Holz oder Stroh.

*Zuckerhaltige Pflanzen können direkt vergoren werden. Bei Getreide, Mais und Kartoffeln muss die Stärke zunächst in Zucker umgewandelt werden: Vermahlen, Verflüssigen, Umwandlung in Zucker, Alkoholgärung und Destillation.*

Bildtafel 3.6g: Rohstoffe für die Produktion von Bioethanol



## Solarthermische Anlagen

	<h3>Einsatzbereiche für solarthermische Anlagen</h3> <hr/> <div data-bbox="687 1267 1251 1406"> <p><b>Solare Schwimmbaderwärmung</b></p> </div> <div data-bbox="687 1429 1251 1568"> <p><b>Solare Warmwasserbereitung</b></p> </div> <div data-bbox="687 1599 1251 1738"> <p><b>Solare Raum-Zusatzheizung</b></p> </div>
--	--

**Bildtafel 3.7a: Solarthermische Anlagen**  
*Einsatzbereiche*

## Kollektoren als Dach- und Fassaden-Elemente



## Wohngebäude mit Fassaden-Kollektoren



**Bildtafel 3.7b: Solarthermische Anlagen**  
*Kollektor-Montage*

## Solaranlagen für Freibäder *Kunststoff-Absorber*

### **Unverglaster Kunststoffabsorber für Freibäder:**

- **Wirtschaftlich attraktiv.**
- **Marktpotential bereits weitgehend ausgeschöpft.**



## Solaranlagen für Freibäder



**Bildtafel 3.7c: Solarthermische Anlagen  
*Solaranlagen für Freibäder***



## Thermische Solaranlagen in Ein- und Zweifamilien-Wohngebäuden



**Bildtafel 3.7d: Solarthermische Anlagen**  
*Solaranlagen in Wohngebäuden*

## Thermische Solaranlagen im mehrgeschossigen Wohnbau



## Solar unterstützte Nahwärme für Wohnanlagen



**Solaranteil bei der  
Wärmeversorgung:  
40% - 60%**



**Bildtafel 3.7e: Solarthermische Anlagen  
*Mehrgeschossiger Wohnbau und Wohnanlagen***



## Solaranlagen in Touristenbetrieben



## Solarwärme für Industrie und Gewerbe

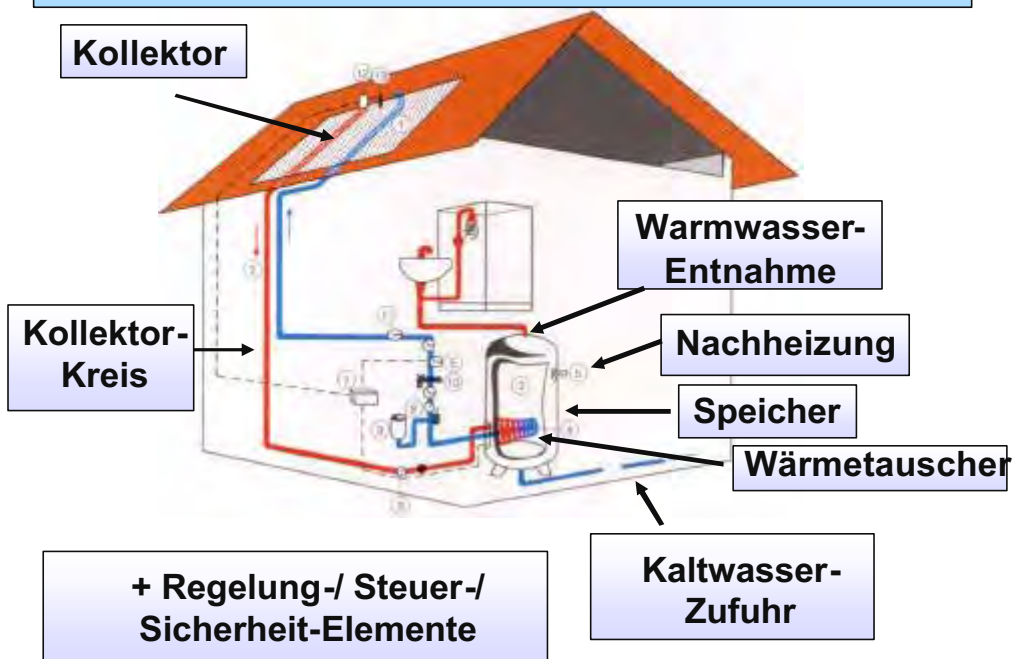


**Bildtafel 3.7f: Solarthermische Anlagen**  
*Solaranlagen in Industrie und Gewerbe*

## Solaranlagen zur Warmwasserbereitung



### Kompaktsystem zur solaren Warmwasserbereitung



**Bildtafel 3.7g: Solarthermische Anlagen**  
*Solaranlagen zur Warmwasserbereitung*



## Solare Warmwasserbereitung: *Empfehlungen für Auslegung*

**1 bis 3 Personen:**

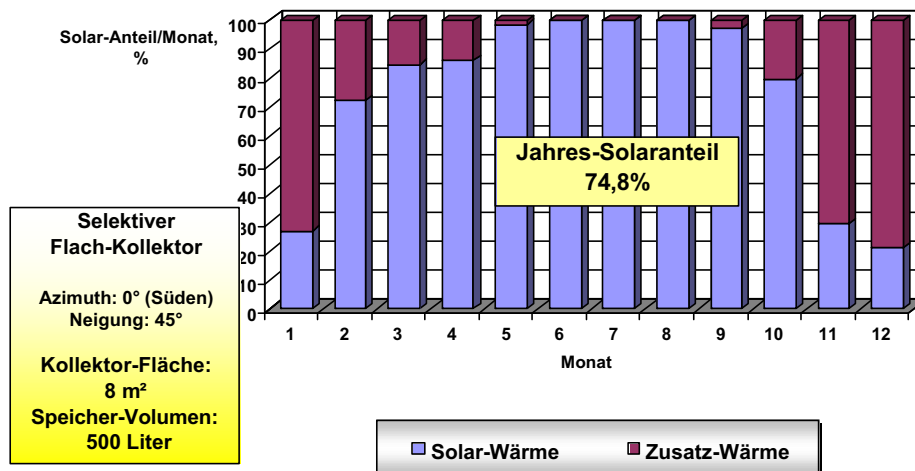
**6 m<sup>2</sup> Kollektorfläche,  
300 Liter Speicher**

**3 bis 6 Personen:**

**8 m<sup>2</sup> Kollektorfläche,  
500 Liter Speicher**

### Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Kompaktsystem für Haushalt, 120 Liter/Tag (50°C), Wien



**Bildtafel 3.7h: Solarthermische Anlagen**  
*Richtwerte zur Auslegung einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung für einen Haushalt in Österreich*

## Teilsolare Heizung von Einfamilien-Wohngebäuden

35% bis 50% Solaranteil für  
Warmwasser und Heizung



Niedrigenergie-  
Bauweise  
und  
Niedertemperatur-  
Wärmeverteilung

**16 m<sup>2</sup> bis 25 m<sup>2</sup>  
Kollektorfläche  
800 Liter bis 2.000 Liter  
Wasser-Speicher**



## Solare Heizung für Einfamilien-Wohnhaus

**90% bis 100% Solaranteil für  
Warmwasser und Heizung**



**80 m<sup>2</sup> Kollektor-Fläche und  
80 m<sup>3</sup> Wasser-Speicher**

**Bildtafel 3.7i: Solarthermische Anlagen  
*Solare Heizungsunterstützung***

## Teilsolare Heizung für Einfamilien-Wohnhaus

60% bis 70% Solaranteil für  
Warmwasser und Heizung



80 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 15 m<sup>3</sup> Wasser-Speicher

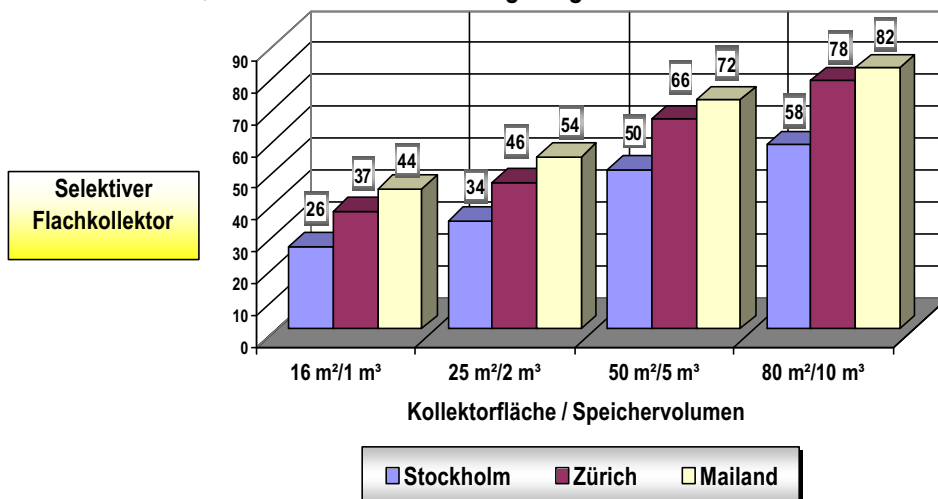
## Dimensionierung von Kollektorfläche und Speichervolumen

### Solar unterstützte Heizung

Solaranteil in Abhängigkeit von Kollektorfläche und Speichervolumen

Solaranteil, %/a

Niedrigenergie-Wohnhaus



Bildtafel 3.7j: Solarthermische Anlagen  
*Solare Heizungsunterstützung: Auslegung der Solaranlage*

## Empfehlungen für eine Heizungseinbindung der Solaranlage

Voraussetzungen für eine Einbindung von thermischen Solaranlagen in das Heizungssystem sind:

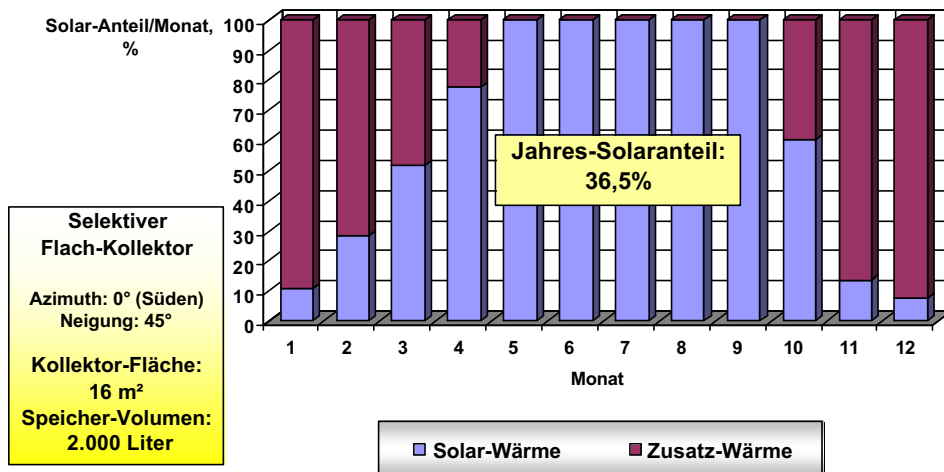
**Sehr geringer Wärmebedarf für Raumheizung**  
**Niedrigenergie-Bauweise**  
**mit einer Heizlast  $<40 \text{ W}/(\text{m}^2, \text{K})$**

**Niedertemperatur-Heizungssystem**  
**Auslegungstemperatur:  $<40^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$**

**Nebelfreier Standort ohne/geringe**  
**Beschattung im Winterhalbjahr**

## Solar Combisystem

Einamilien-Wohnhaus, Passivhaus-Standard, Wien



**Bildtafel 3.7k: Solarthermische Anlagen**  
*Empfehlungen zur Auslegung einer Solaranlage mit Heizungseinbindung für einen Haushalt in Österreich*

## Vakuumrohr-Kollektor



## Vakuum-Rohrkollektoren für alpine Anwendungen



**Sonnenobservatorium am Sonnblick**

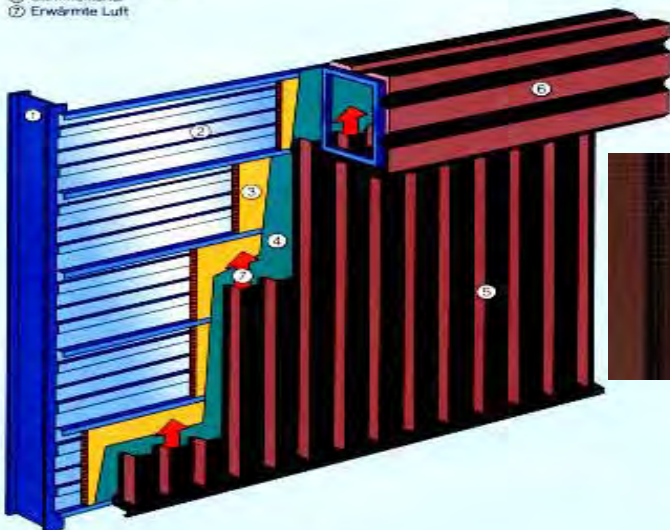
**Bildtafel 3.71: Solarthermische Anlagen  
Vakuumrohr-Kollektoren für höhere Temperaturen**



## Solare Luftheizungssysteme für Produktionshallen

Beispiel für eine SOLARWALL® „Energiesparfassade“

- ① Tragkonstruktion
- ② Innenwand-Kassetten
- ③ Wärmedämmung
- ④ Diffusionsoffene Folie / Konvektionssperre
- ⑤ Perforierte Außenschale
- ⑥ Sammelkanal
- ⑦ Erwärmte Luft



## Luftkollektoren für Biomasse-Trocknung

Klein St. Paul, Kärnten



**Biomasse-  
Trocknung mit  
Luftkollektor  
SolarWall**



**Bildtafel 3.7m: Solarthermische Anlagen  
Solare Luft-Heizungssysteme**

## Solar unterstützte Biomasse-Fernwärme

- Solar-unterstützte Biomasse-Fernwärmeanlagen sind heute attraktive und wirtschaftlich einsetzbare neue Energietechniken, insbesondere bei kommunalen Biomasse-Nahwärmeanlagen.



- Der Solaranteil bei der Wärmeversorgung (Warmwasser und Heizung) liegt nach Betriebsdaten zwischen 9% und 13%.

## Solarwärme für Fernwärmenetz



**Bildtafel 3.7n: Solarthermische Anlagen**  
*Solarwärme für Fernwärme-Netze*

## Solaranlagen zur Kühlung und Raumklimatisierung



## Solaranlage zur Raumklimatisierung



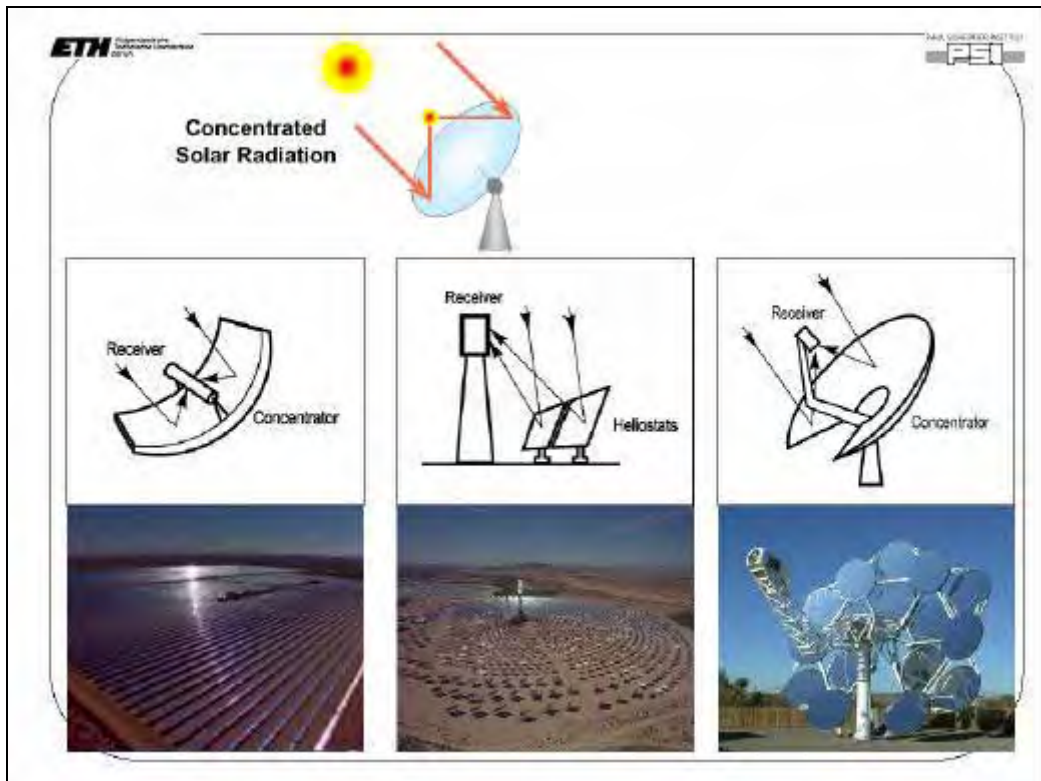
Österreichische Solaranlage zum Einsatz bei den  
Olympischen Spielen 2008 in China / Qingdao: S.O.L.I.D.

**Bildtafel 3.7o: Solarthermische Anlagen**  
*Thermische Solaranlagen für Raumklimatisierung  
und Kühlung*





## Solare Hochtemperatur-Anlagen



**Bildtafel 3.8a: Solare Hochtemperatur-Anlagen**  
*Systeme und Kollektoren*

## Konzentrierende Kollektoren

**Nutzen nur die direkte Sonneneinstrahlung und müssen dem Sonnenstand nachgedreht werden**



**Paraboloide, Zylinderwannen und Heliostate**

## Solar-Ofen Odeillo, Frankreich



**Bildtafel 3.8b: Solare Hochtemperatur-Anlagen  
*Konzentrierende Kollektoren und Solar-Ofen***

## Das Solarkraftwerk in Barstow, USA



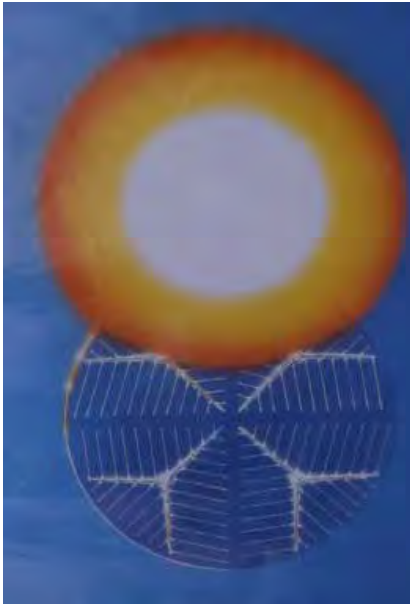
## Das Solarkraftwerk in Almeria, Spanien



**Plataforma Solar**

**Bildtafel 3.8c: Solare Hochtemperatur-Anlagen  
Testanlagen in Barstow, USA, und Almeria, Spanien**

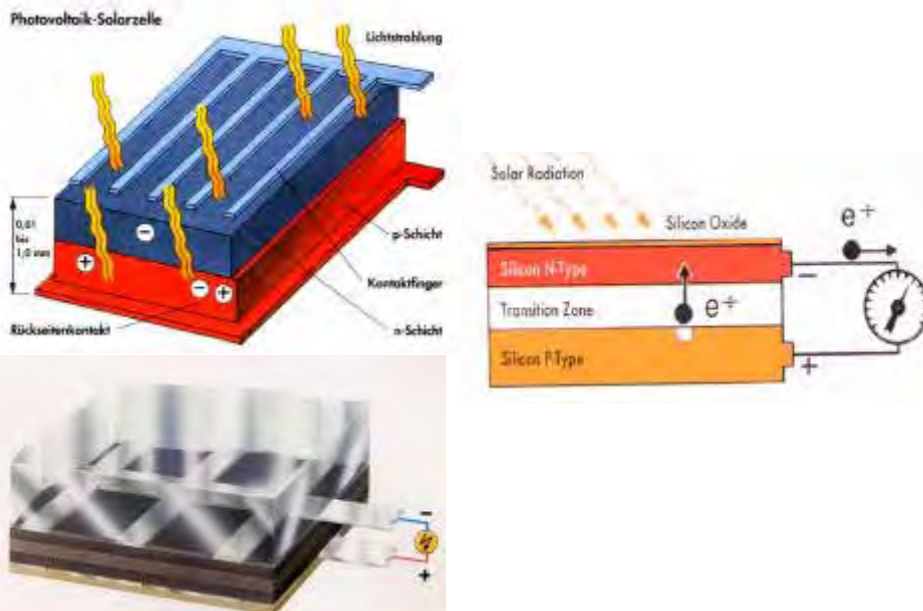
# Photovoltaik und Solarzellen



Unter **Photovoltaik** versteht man die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom mittels der **Solarzelle**.

**Solarzellen** bestehen aus mindestens zwei Schichten von Halbleitern, von denen eine Schicht positiv und die andere negativ geladen ist.

# Der Photoeffekt



**Bildtafel 3.9a: Solar-elektrische Anlagen**  
*Photovoltaik und Photoeffekt*



## Solarzellen-Typen

### **Monokristalline Silizium-Solarzellen:**

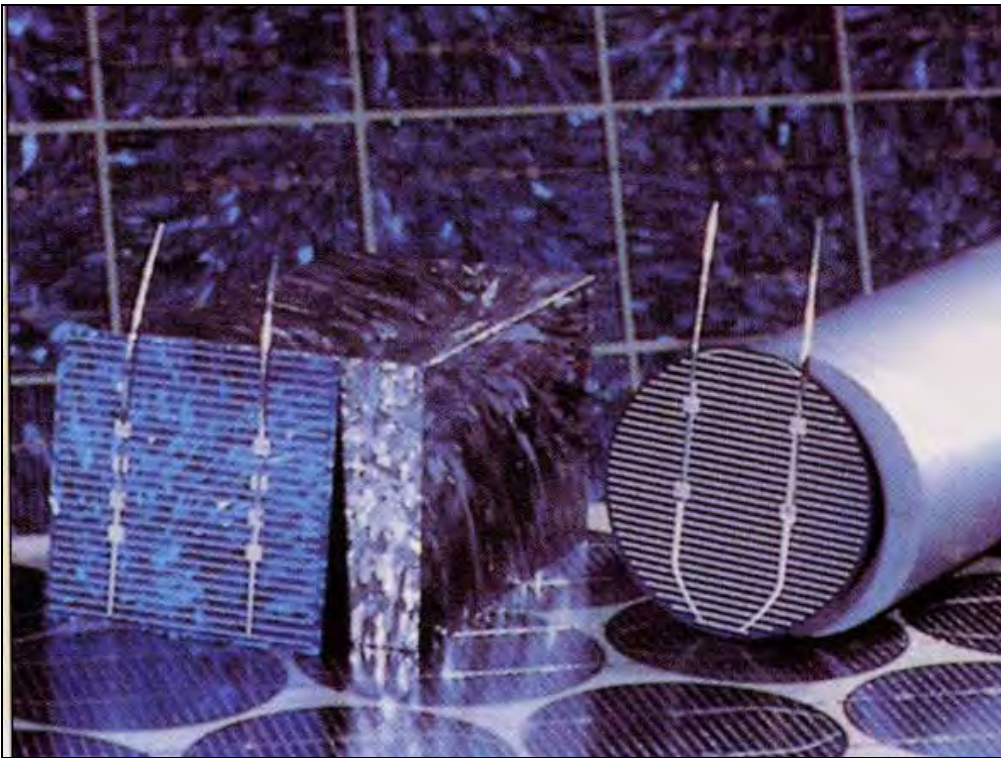
Über die Hälfte der heute eingesetzten Solarzellen sind aus monokristallinem Grundmaterial aufgebaut. Ausgangsmaterial ist Quarz ( $\text{SiO}_2$ ).

### **Polykristalline Silizium-Solarzellen:**

Die Herstellung von polykristallinen Silizium-Solarzellen ist im Vergleich zu monokristallinen Solarzellen einfacher und mit weniger Energieaufwand verbunden. Der Wirkungsgrad dieses Solarzellentyps ist jedoch geringer.

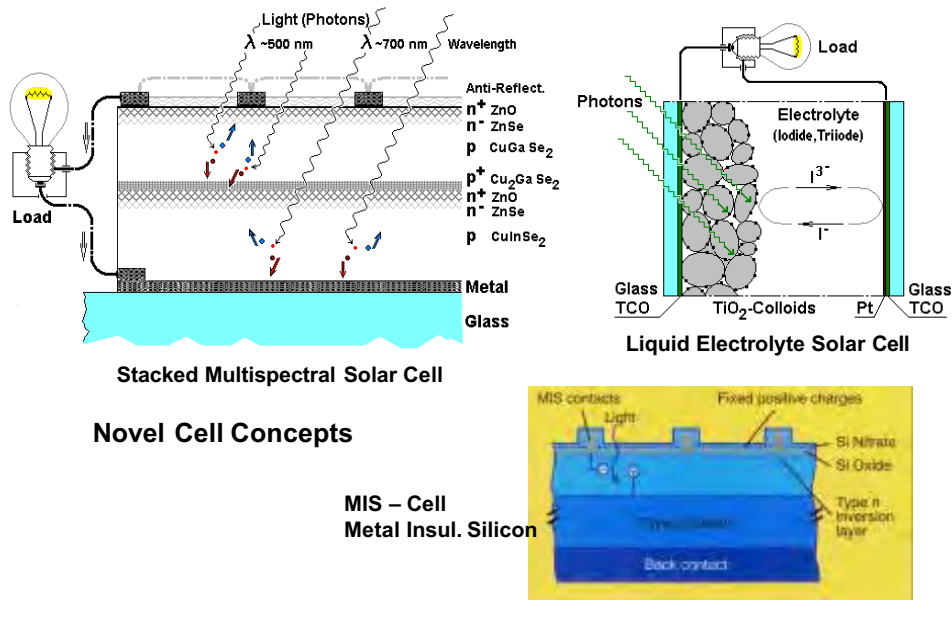
### **Amorphe Silizium-Solarzellen:**

Bei amorphen *Dünnschicht-Solarzellen* sind die einzelnen Siliziumatome willkürlich angeordnet: amorphe Atomanordnung. Amorphes Silizium absorbiert das Sonnenlicht besser als kristallines Silizium. Der Wirkungsgrad von amorphen Silizium-Solarzellen liegt derzeit noch unter 10% und die Lebensdauererwartung unter 15 Jahren.

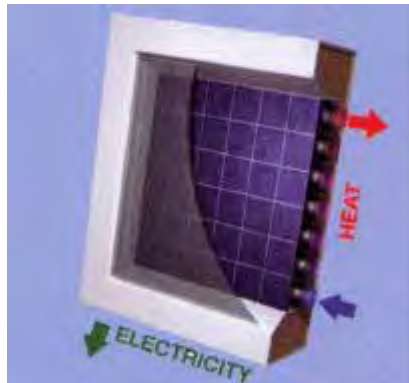


**Bildtafel 3.9b: Solar-elektrische Anlagen**  
*Solarzellen-Typen*

## Neue Konzepte für Solarzellen



## Der PVT-Generator

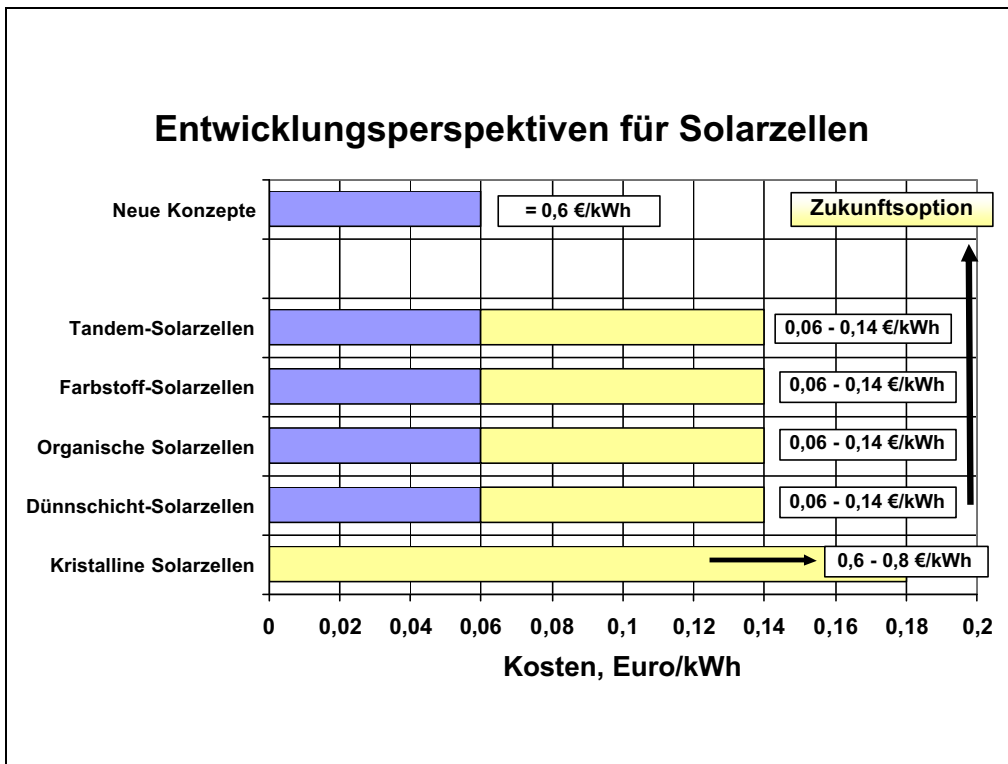
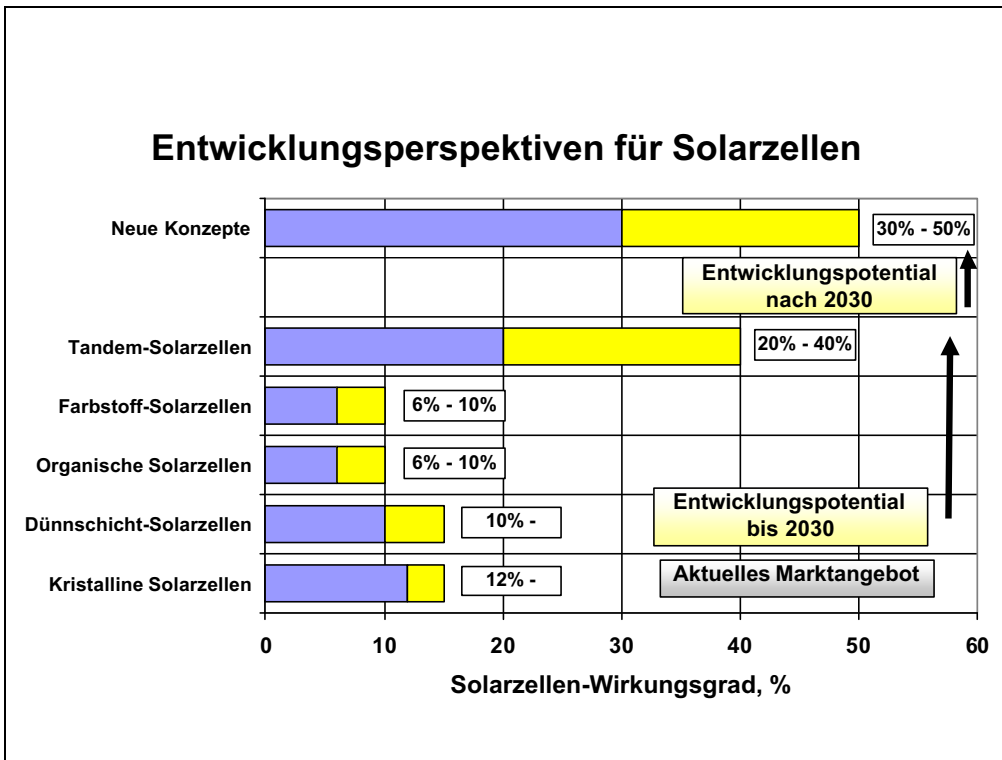


### PVT-Module

enthalten Solarzellen, welche mit einem Wärmetauscher mit Wärmeabgabe verbunden sind.

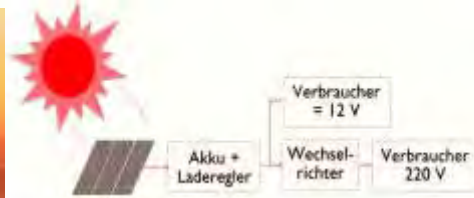
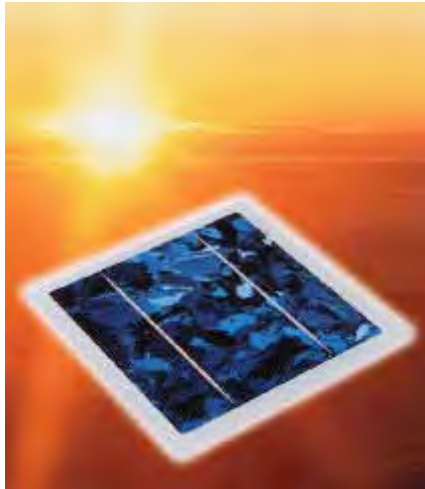
Von der Solarstrahlung werden 10% in Strom und 70% in Wärme umgewandelt.

Bildtafel 3.9c: Solar-elektrische Anlagen  
*Neue Konzepte*



**Bildtafel 3.9d: Solar-elektrische Anlagen**  
*Entwicklungsperspektiven für Solarzellen*

## Solarmodul und Photovoltaische Systeme



Autark



Netzgekoppelt

## Autarke und Netzgekoppelte PV-Anlagen



**Bildtafel 3.9e: Solar-elektrische Anlagen**  
*Solargenerator und Photovoltaische Systeme*



## Photovoltaik-Module für die Gebäudeintegration



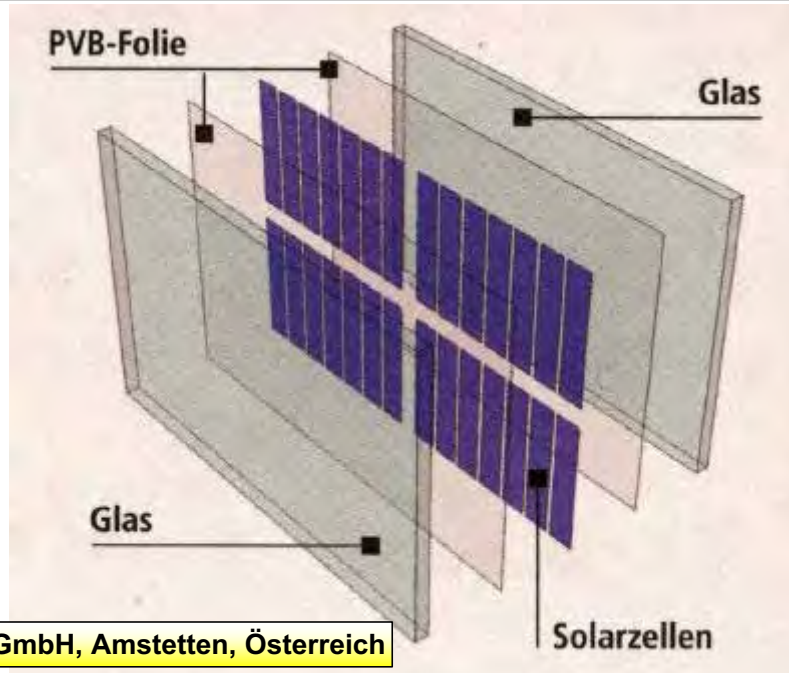
Um das hohe Potential der Gebäudehüllen für die energetische Nutzung von Solarstrom zu erschließen, sind Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Module in Entwicklung und Erprobung, welche zusätzlich zur Stromerzeugung auch Aufgaben der Gebäudehülle wie Wärme- und Witterungsschutz und auch Verschattung übernehmen können.

## Photovoltaik-Module für die Gebäudeintegration

- Die kristallinen Solarzellen werden mit einer speziellen Verbundtechnik alterungsbeständig zwischen zwei Glasplatten eingekapselt. Dieses Verfahren ist nicht neu und wird zur Herstellung von Verbundsicherheitsglas eingesetzt.
- Die Module werden mit einer PVB-Folie (Poly-Vinyl-Butryal) laminiert, welche sich durch hohe Reißfestigkeit, Bruchdehnung, Resttragfähigkeit und ein gutes Langzeitverhalten auszeichnet.
- Derzeit lassen sich Modulflächen bis  $12,5 \text{ m}^2$  herstellen.

Bildtafel 3.9f: Photovoltaik-Module für Gebäudeintegration  
*Neue Entwicklungen*

## Photovoltaik-Module für die Gebäudeintegration



Ertex Solar GmbH, Amstetten, Österreich

## Solardach in Ludesch, Vorarlberg/Österreich



350 m<sup>2</sup> transluzente Photovoltaik-Module  
120 PV-Hochleistungsmodule, Jahres-Stromerzeugung: ca. 16.000 kWh/Jahr

**Bildtafel 3.9g: Photovoltaik-Module für Gebäudeintegration**  
*Konzept und Einsatz*

## Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen



## Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen *Verschattungselemente*



**Bildtafel 3.9h: Solar-elektrische Anlagen**  
*Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Anlagen*



**New York, Dachkonstruktion der Stillwell Avenue Terminal,  
Gebäudeintegrierte Dünnschicht-Photovoltaikanlage**



**Bildtafel 3.9i: Solar-elektrische Anlagen  
*Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Anlagen***

## Photovoltaische Systeme für Dezentrale Anwendungen

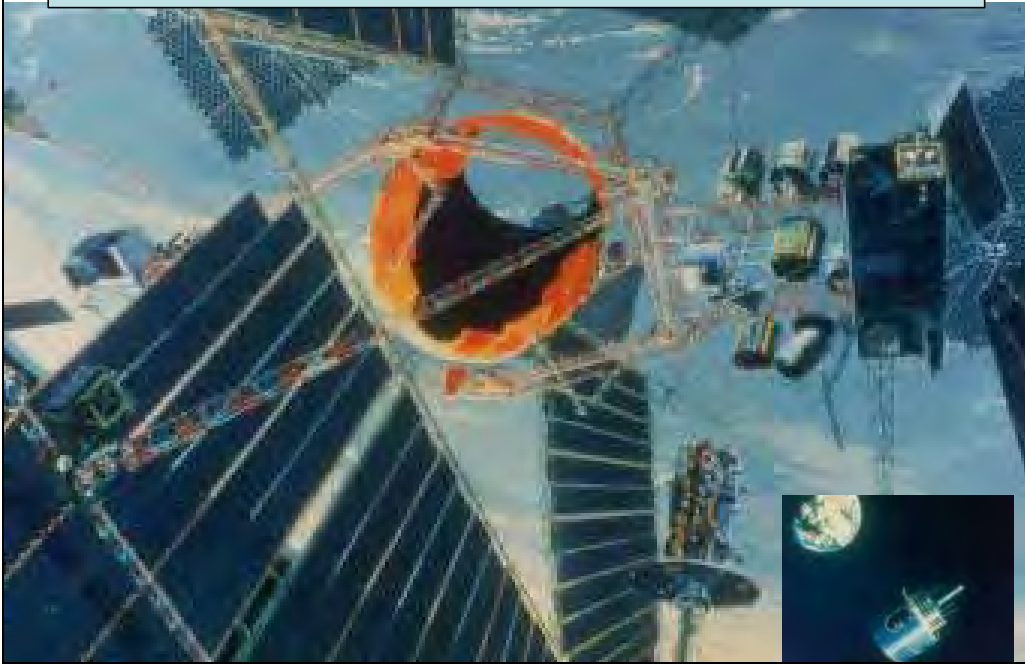
- Mit der derzeitigen Technik lassen sich wettbewerbsfähige Stromerzeugungskosten nur außerhalb der elektrischen Infrastruktur mit autarken Systemen erreichen;  
**dezentral** und in Verbindung mit kleinen Netzen, z.B. in den vielen Millionen Dörfern in Entwicklungsländern ohne elektrische Infrastruktur.
- Damit könnte mit dezentralen und regionalen PV-Systemen ein wesentlicher Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung in den noch nicht industrialisierten Ländern geleistet werden.

## Photovoltaik für dezentrale Anlagen



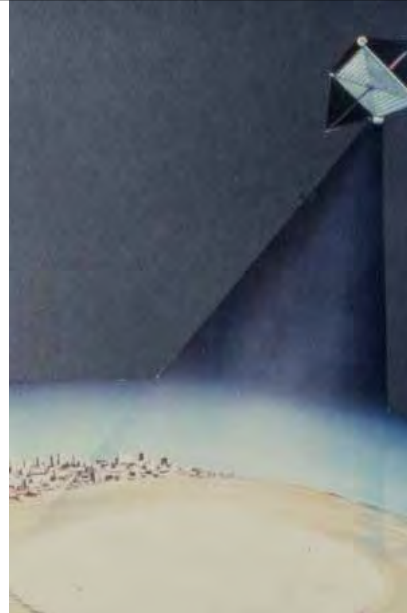
**Bildtafel 3.9j: Solar-elektrische Anlagen**  
*Dezentrale Photovoltaik-Anlagen*

## Photovoltaik im Weltraum



## Photovoltaik

*Stromerzeugung mit Energie-Satelliten?*



**Bildtafel 3.9k: Solar-elektrische Anlagen**  
*Photovoltaik im Weltraum*



## Umweltwärme



Energie von der Sonne  
und  
aus der Erde

Strahlungsenergie  
und  
Geothermische Energie

## Schema der Kompressions-Wärmepumpe

Schema einer Wärmepumpe

Wärmequellen

Luft



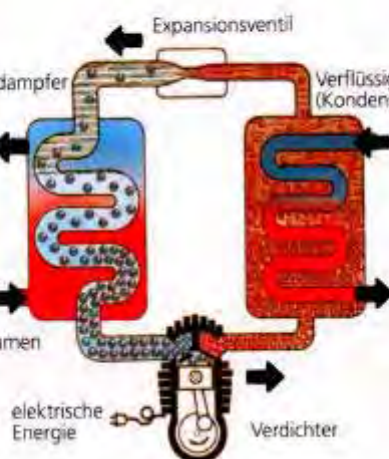
Wasser



Erdreich



Abluft aus Räumen



Nutzwärme

Raumluft



Brauchwasser



Radiatorheizung



Fußbodenheizung



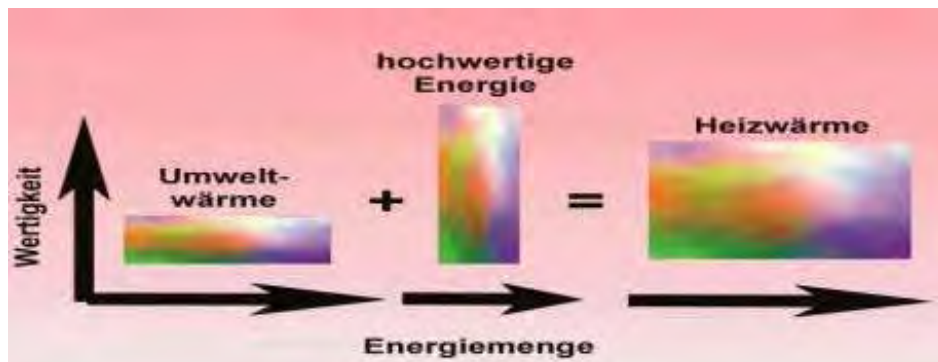
**Bildtafel 3.10a: Wärmepumpen-Anlagen**  
*Umweltwärme und Wärmepumpen*



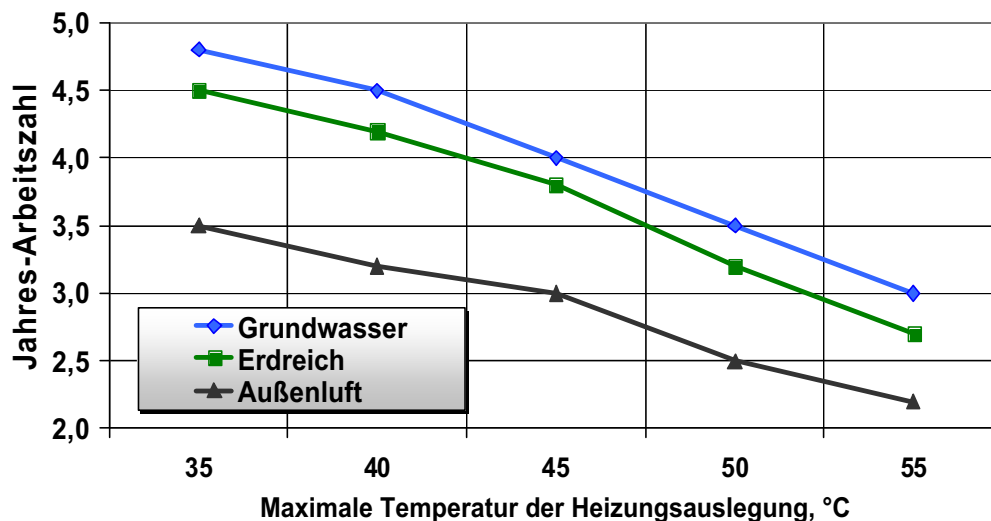
## Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe

Arbeitszahl:

Heizwärme/Antriebsenergie



### Leistungsfähigkeit von Heizungs-Wärmepumpen in Österreich *Abhängigkeit von Wärmequelle und Heizungsauslegung*

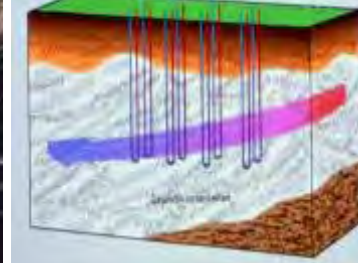
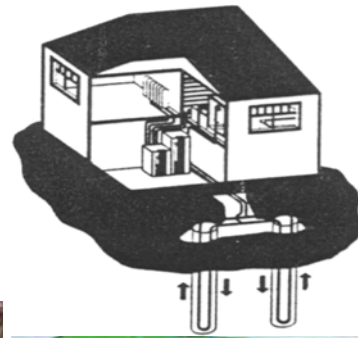
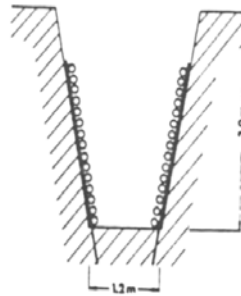


**Bildtafel 3.10b: Wärmepumpen-Anlagen**  
*Leistungs- und Arbeitszahlen*

## Wärmepumpen-Heizungssysteme *Luft-, Wasser- und Erdreich-Wärmepumpen*



## Erdreich-gekoppelte Heizungswärmepumpen



**Flach-Kollektor**

**Graben-Kollektor**

**Erdsonde**

**Bildtafel 3.10c: Wärmepumpen-Anlagen  
*Wärmequellenanlage und Systeme***

## Die Erdreich-Wärmepumpe mit Erdsonde



## Wärmepumpen-Anlagen in der Praxis

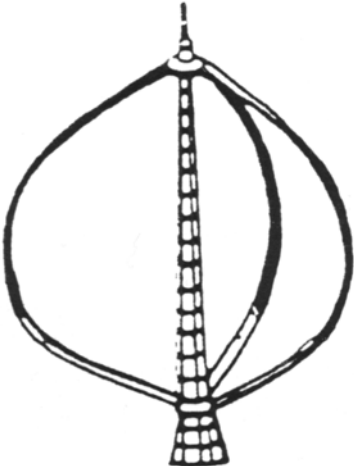
Wärmepumpenanlagen mit Nutzung der erneuerbaren und lokal anfallenden Wärmequelle „Umweltwärme“ besitzen ein hohes Potential, fossile Energieträger bei der Wärmeversorgung (Warmwasserbereitung und Raumheizung) zu substituieren und die energiebedingten umweltrelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

Um eine möglichst hohe Effizienz von Wärmepumpenanlagen bei der Wärmeversorgung zu erreichen, sind bestimmte Randbedingungen für die Einsatzbereiche zu beachten:  
*Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperaturheizung.*

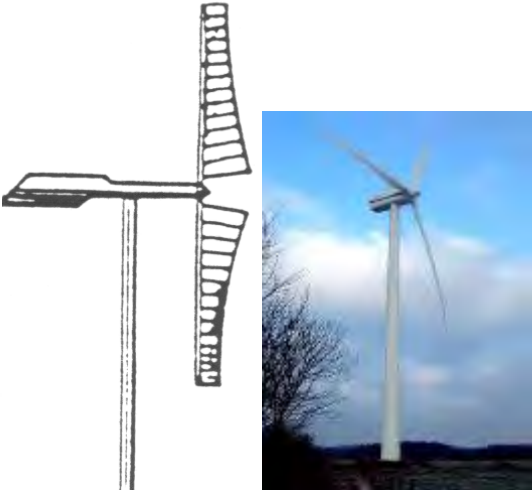
**Bildtafel 3.10d: Wärmepumpen-Anlagen  
Erdreich Wärmepumpe und Ergebnisse aus der Praxis**



## Windkonverter-Typen



**Vertikal-Läufer  
Darrieus**



**Horizontal-Läufer**

**Bildtafel 3.11a: Windkraft-Anlagen**  
*Windkonverter*

## Windkraftwerke

### WIRTSCHAFTLICH / Konkurrenzfähig

- On-Shore Anwendungen  
*insbesondere in Küstengebieten*

### In ENTWICKLUNG / ERPROBUNG

- Off-Shore Anwendungen in  
Küstengebieten

## Windenergie

- Atmosphärischer Wind wird verursacht durch die mit der Sonneneinstrahlung bedingte Luftströmung, vorrangig am Meere und damit in Küstennähe. Aber auch in Binnenländern liegen Zonen mit bevorzugten Windverhältnissen vor, wie z.B. im Osten von Österreich.
  - Über Jahrhunderte wurde die Windenergie über Windmühlen für mechanische Arbeit genutzt: Getreidemühlen und Wasserpumpen. Mit Entdeckung der fossilen Energieträger und den dazu gehörigen Energietechniken sind die „Windmühlen“ – in Europa waren es bereits um 40.000 – vom Markt verschwunden.
- Seit der Ölpreiskrise im Jahre 1973 wird der Entwicklung von Windkraftanlagen wieder Bedeutung zugemessen. Der Markt konnte kontinuierlich ausgebaut werden.

Bildtafel 3.11b: Windkraft-Anlagen  
*Ressourcen und Einsatzbereiche*



## Windkraft-Anlagen

- Windkraftanlagen sind heute vorrangig Horizontal-Läufer mit 3 Rotorblättern und einem Durchmesser um 40 m und einer Höhe von über 60 m. Der Leistungsbereich liegt bei 600 kW elektrischer Spitzenleistung, ein 4,5 MW großes Windkraftwerk mit einem Rotordurchmesser von 120 m und einer Achsenhöhe von 100 m befindet sich in der Bauphase.
- 75% der weltweit bisher errichteten Windkraftanlagen befinden sich in Europa, vorrangig in Dänemark, Deutschland und Spanien.
- Strom aus Windkraftanlagen trägt derzeit zum Stromaufkommen in Europa mit 2% bei.
- Hersteller von Windkraftanlagen schätzen den möglichen Beitrag von Windenergie zum weltweiten Stromaufkommen im Jahre 2020 mit 12%.

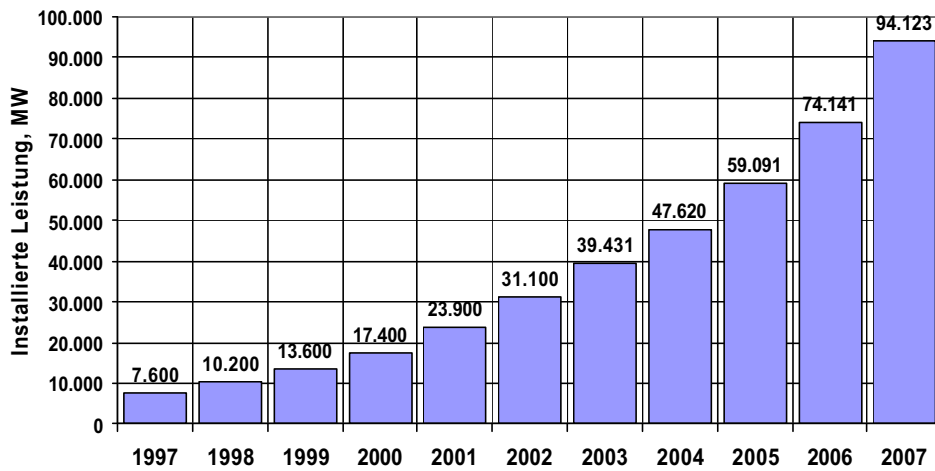
## Potential für Windkraft-Anlagen

- Für Windkraftanlagen günstige Gebiete befinden sich in Küstennähe, mit mehr als 3.000 Volllaststunden pro Jahr. Im Osten von Wien wurden bis 2.000 Volllaststunden gemessen. Für Windkraftwerke am Meer (off-shore) werden Volllaststunden über 4.200 erwartet.
- Das technische Potential für Windkraftanlagen ist weder weltweit noch in Europa voll ausgenutzt. Für Europa wird ein technisch nutzbares Windenergie-Potential von 4.800 TWh/Jahr und weltweit von 53.000 TWh/Jahr abgeleitet. Für off-shore Windkraftwerke bis etwa 30 km Entfernung vom Land und Meerestiefen weniger als 30 m wird für Europa ein nutzbares Potential für die Stromerzeugung von 630 TWh/Jahr angenommen.

Bildtafel 3.11c: Windkraft-Anlagen  
*Potential*

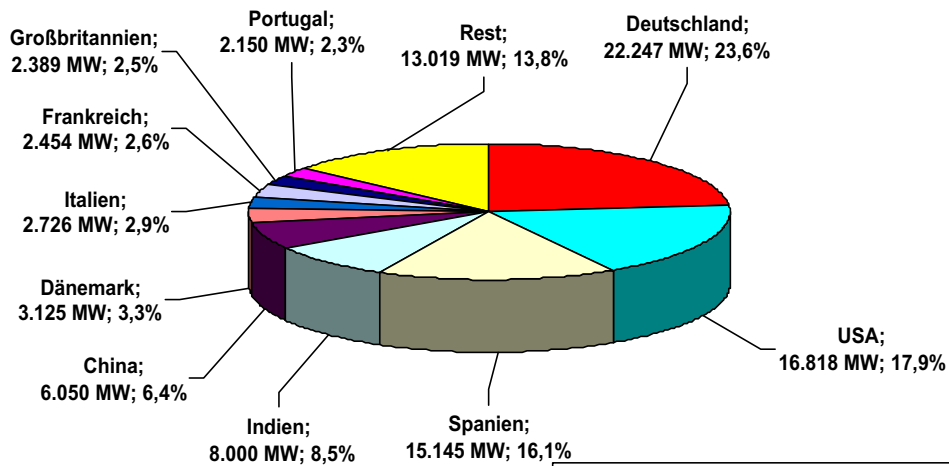


## Weltweite Entwicklung der Windkraftanlagen Installierte Gesamtleistung: 1997 bis 2007



*Quelle: Global Wind Energy Council, GWEC*

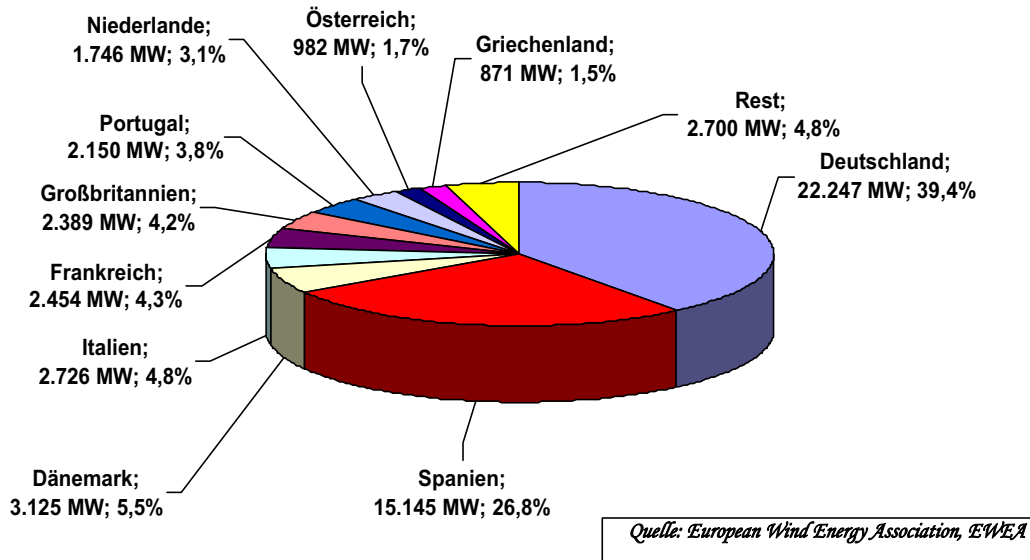
## Weltweite Windkraftanlagen Installierte Gesamtleistung Ende 2007



*Quelle: Global Wind Energy Council, GWEC*

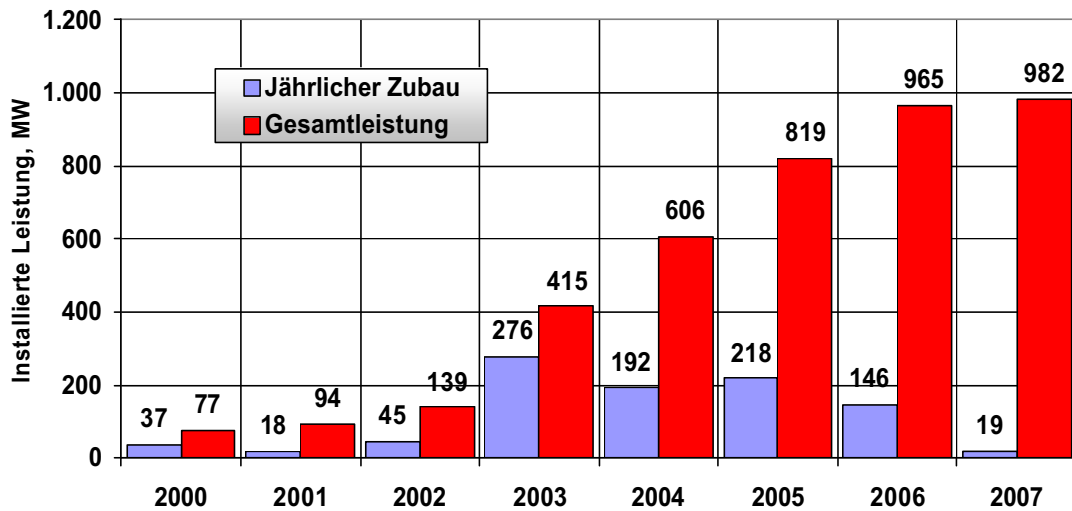
**Bildtafel 11.d: Weltweite Marktentwicklung der Windkraftanlagen bis 2007**

## Windkraftanlagen in EU-27 Kumulierte Gesamtleistung Ende 2007



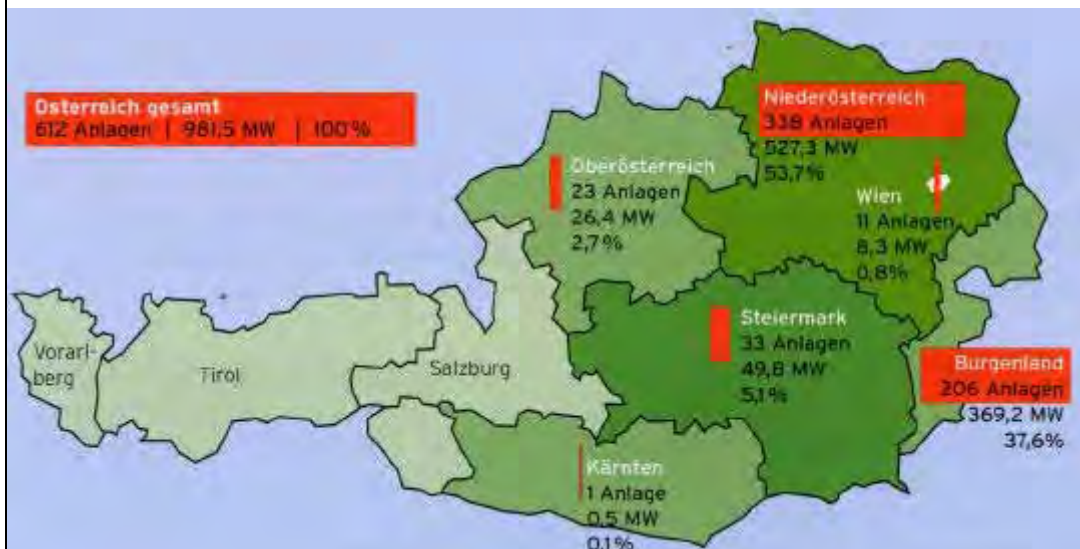
**Bildtafel 11.e: Windkraftanlagen in EU-27 im Jahre 2007**

## Entwicklung der Windkraftanlagen in Österreich: 2000 bis 2007 *Installierte Leistung*



*IG Windkraft, Nr. 48, März 2008*

## Windkraftanlagen in Österreich: Ende 2007



*IG Windkraft, Nr. 48 – März 2008*

**Bildtafel 11.f: Marktentwicklung der Windkraftanlagen in Österreich und Stand 2007**

## Meeresenergie



**WIRTSCHAFTLICH /  
Konkurrenzfähig**

- Gezeiten-Kraftwerke

**In ENTWICKLUNG /  
ERPROBUNG**

- Energie aus  
Meereswellen,
- Energie aus dem  
Thermischen Gradienten  
*OTEC-Kraftwerke*

## Energiepotential in den Meeren

Das Energiepotential in den Meeren lässt sich 5 Gruppen zuordnen:

- Gezeitenenergie (*Tidal Energy*),
- Wellenenergie (*Wave Energy*),
- Energie von Salzgradienten („*Salinity Power*“)  
(*osmotischer Druckunterschied zwischen Süßwasser von Flüssen und Seen und dem salzhaltigen Meerwasser*),
- „*Marine Current*“  
(*thermisch bedingte Zirkulation in Verbindung mit dem Gezeiten-Effekt, genutzt über Unterwasser-Konverter*),
- Energie vom thermischen Gradienten  
(*OTEC-Energy: Temperatur an der Meeresoberfläche und in Tiefen von mehr als 200 m*).

**Bildtafel 3.12: Meeres-Energie  
Ressourcen und Techniken**

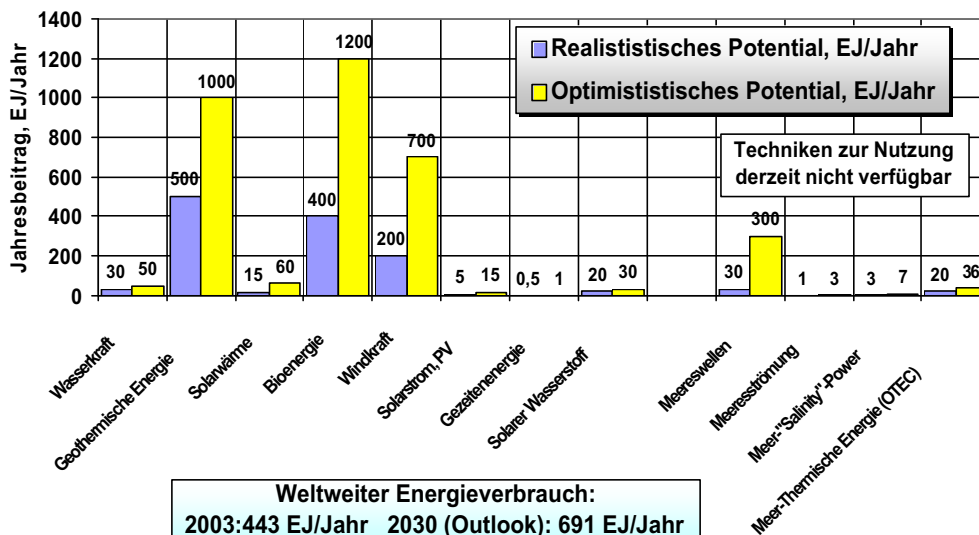
## Potential an Erneuerbaren Energieträgern

- **Theoretisches Potential**
- ⇓
- **Technisch umsetzbares Potential**
- ⇓
- **Realistisch umsetzbares Potential**
- ⇓
- **Wirtschaftlich umsetzbares Potential**

### Entscheidende Kriterien:

Wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen

## Abschätzung des weltweiten technischen Potentials Erneuerbarer Energieressourcen



Bildtafel 3.13: Potential an Erneuerbaren Energiequellen  
Weltweite Abschätzung



## 4. Die Entwicklung der Energiewirtschaft: Rückblick und Ausblick

*Mit Energie in die industrielle Revolution.  
Von dezentralen zu zentralen Energiesystemen.  
Ausbeutung von Energie-Ressourcen: Auch ein ethisches Problem.  
Probleme der derzeitigen Energieversorgung.  
Gefahren und Risiken der Energieversorgung.  
Fakten der Energieversorgung von HEUTE.  
Auf der Suche nach unerschöpflicher und sauberer Energie:  
Vision, Aufgaben und erforderliche Maßnahmen.*





## Die Entwicklung der Energiewirtschaft: Rückblick und Ausblick

### Mit Energie in die industrielle Revolution

Stand vor 150 Jahren dem Menschen praktisch nur Holz als „Erneuerbarer“ Energieträger zur Verfügung, so wurden mit der Entdeckung von Kohle und später von Erdöl und Erdgas diese Fossilen Energieträger zum Aufbau des „*Technischen Zeitalters*“ eingesetzt.

Mit der Verfügbarkeit Fossiler Energieträger konnte eine rasche technische Entwicklung vorangetrieben werden. Das Zeitalter der *Industriellen Revolution* wurde eingeleitet. Energie wurde zur Voraussetzung der wirtschaftlichen (Weiter-) Entwicklung; Bildtafel 4.1 (a und b).

Wie keine andere Technik hat die Energietechnik die Menschheitsgeschichte von nun an geprägt. Energie steht heute im Mittelpunkt des menschlichen Interesses: *Energie wurde zum Welthandelsgut Nummer 1*. Unser heutiges Energieversorgungssystem ist weltweit aufgebaut, mit großen Abhängigkeiten zwischen Energie-Produzenten und Energie-Verbrauchern.

Die Instabilität gegenwärtiger Energiesysteme und die weltweit steigende Nachfrage nach Energie stellen ein ständig zunehmendes Potential für internationale Konflikte dar, mit der Gefahr von Verteilungskämpfen um das knapper werdende Gut „*Energie*“:  
Bildtafel 4.2 (a und b).

Leben wir heute noch in einem Umfeld von einem *Überangebot an Energie*, so ergeben sich für die zukünftige Energieversorgung eine Reihe von Problemen, welche nicht nur die Technik, Wirtschaft und Umwelt betreffen, sondern auch *soziale bzw. gesellschaftspolitische Aspekte* beinhalten. Mit dem Übergang von einer Aufbau- zu einer Wohlstandsgesellschaft hat sich eine gesellschafts- und sozialpolitische Entwicklung vollzogen. Ein Wandel der gesamten Bedürfnisstruktur und ein intensiveres Umweltbewusstsein prägen heute diese Entwicklung. In den meisten westlichen Industriestaaten wurden die energiepolitischen Ziele überdacht. Neben Wirtschaftlichkeit bestimmen heute auch Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Sozialverträglichkeit die Energiepolitik.

Die Entwicklung der Energietechniken im letzten Jahrhundert – und damit auch der Energiewirtschaft – war auf eine möglichst wirtschaftliche Bereitstellung von Energie durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Energieumwandlungssysteme gekennzeichnet. Es wurde nach immer leistungsfähigeren Geräten und Systemen gesucht. Viele Systeme wurden durch kostengünstigere, aber auch energieintensivere Systeme verdrängt. Beispiele hierfür sind im Transportbereich der Ersatz von Segelschiffen bzw. Pferdekutschen durch Dampf- und Motorschiffe bzw. die Eisenbahn. Die für den Einsatz dieser Techniken erforderliche Energie konnte von den traditionellen lokalen und damit auch Erneuerbaren Energieträgern der Vergangenheit nicht mehr bereitgestellt werden. Aus diesem Grunde wurden auch die Fossilen Energieträger – zunächst Kohle, dann Erdöl und später Gas – die dominierenden Energieträger.

Mit dem Eintritt in das "*Fossile Energiezeitalter*" vollzog sich eine tief greifende Änderung in der Energieversorgung, welche weg von einer lokalen, auf regenerierbaren Energieströmen aufbauenden Versorgung hin zu einer überregionalen Versorgung mit einem umfangreichen Transport- und Verteilungssystem führte. Damit ist zwangsläufig eine zentrale Energieversorgung verbunden. So sind die heutigen Energieversorgungsstrukturen durch umfang-

reiche nationale und weltweite Transport- und Verteilungssysteme gekennzeichnet: Die Energieversorgung stellt sich heute als ein arbeitsteiliges, komplexes, weltweit vermaschtes Netzwerk von Gewinnungs- und Umwandlungsanlagen, Transport- und Verteilungs- sowie Speichersystemen dar, dessen zuverlässige Funktion für eine moderne Industriegesellschaft lebensnotwendig geworden ist.

## **Von dezentralen zu zentralen Energiesystemen**

Der Übergang von den lokalen und damit dezentralen Energieversorgungssystemen der vorindustriellen Zeit hin zu den heutigen zentralen Energieversorgungssystemen machte es möglich, dass auch der mit wachsender Bevölkerung steigende Energiebedarf gedeckt werden konnte. Und dies insbesondere in Gebieten mit höherer Energiebedarfsdichte. Nur mit zentralen Systemen wurde es möglich, der Bevölkerung in Ballungsgebieten die neuen Energiequellen Erdöl und Erdgas verfügbar zu machen.

Der Übergang von dezentralen, einfach zu durchschauenden und funktionsautonomen Technologien zur Energieerzeugung mit zentralen Energieversorgungssystemen hatte auch Einflüsse auf soziale und gesellschaftliche Entwicklungen. Daraus ergeben sich neue Aspekte. Mit der Großtechnik verbinden viele Theoretiker nicht nur instrumentale Aspekte, sondern auch ihre Auswirkungen auf soziale Strukturen und politische Entwicklungen. Von den Kritikern werden die heutigen Formen der Großtechnik als Symbole und Mittel zur „Ausbeutung, Naturzerstörung und Fremdbestimmung“ betrachtet.

Bei der Energiediskussion geht es heute um mehr als um Energie: Es stehen auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen sowie Energiepolitik als Hebel für diese Veränderungen zur Diskussion. Neben technisch-wirtschaftlichen Aspekten einer zukünftigen Energieversorgung werden auch gesellschaftspolitische und sozialpsychologische Grundthesen und Zielvorstellungen in die Diskussion miteinbezogen.

Die Frage ob zentrale oder dezentrale Energieversorgung lässt sich nach technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten alleine sicherlich nicht lösen. Unbestritten ist jedoch, dass für die Zukunft ein *rationellerer Energieeinsatz* mit nachhaltig genutzten Energieträgern und bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt erreicht werden muss.

## **Ausbeutung von Energie-Ressourcen: Auch ein ethisches Problem**

Der derzeitige Umgang mit Energieträgern stellt sich aber auch als ein *ethisches Problem* dar. Die heutigen Energierohstoffe, wie Erdöl, Erdgas, aber auch Kohle und Kernbrennstoffe sind in ihren Ressourcen begrenzt. Es geht hier nicht so sehr um die Frage, ob die Energiereserven fossiler und nuklearer Brennstoffe noch für 50, 100 Jahre oder sogar noch mehrere Jahrhunderte reichen werden, um den Energiebedarf der Menschheit abdecken zu können. Die entscheidende – insbesondere ethische – Frage ist es, ob es unserer Generation – und vielleicht auch einigen noch nachkommenden – vorbehalten sein soll, die Energieschätze der Erde in einer für die Menschheitsgeschichte sehr kurzen Zeitperiode zu verbrauchen oder krasser ausgedrückt, auszubeuten. Heute wird um ein Vielfaches mehr an Energierohstoffen verbraucht, als die Natur nachzuliefern in der Lage ist.

## **Probleme der derzeitigen Energieversorgung**

Unsere Umwelt wird neben natürlichen Emissionen in zunehmendem Maße durch Schadstoffemissionen der Energieversorgung belastet. Vordringliche Aufgabe ist es deshalb, die heutige Energieversorgung im Hinblick auf den „Treibhauseffekt“ grundlegend zu überdenken und Möglichkeiten bzw. Realisierungswege zu finden, um die negativen Folgewirkungen für Mensch und Natur zu minimieren oder zu beseitigen. Nur fundierte und wirksame, langfristig angelegte Handlungsstrategien auf nationaler und internationaler Ebene können zur Lösung dieses Problems beitragen; Abschnitt 5.

Mehr als 90% der heute eingesetzten – Fossilen und Nuklearen – Energieträger sind in ihren Vorräten zeitlich begrenzt. Holz ist für viele Entwicklungsländer der einzig verfügbare Energieträger. Dieser kommt jedoch nicht aus einer „Kreislaufwirtschaft“ und trägt damit sowohl zur „Abholzung“ als auch zu klimarelevanten Emissionen bei. Die heutige Energieversorgung stellt eine ernstzunehmende und steigende Umweltbelastung mit Klima bedrohung dar.

Die Energieversorgung von heute steht im Spannungsfeld zwischen Wirtschaft, Umwelt und Bedürfnissen. Länder mit Energieressourcen sind anfällig für politische Krisen.

Auch die Verfügbarkeit von Energievorräten konnte die Probleme auf unserer Erde nicht lösen. Mehr als 70% der Energieressourcen werden von nur 30% der Weltbevölkerung in Anspruch genommen. Nahrungsmittel sind ein wesentlicher Energieträger. An diesem zeigt sich das Verteilungsproblem von Ressourcen: Die derzeitige weltweite Nahrungsmittel-Produktion würde für die doppelte Weltbevölkerung ausreichen, aber jede Sekunde stirbt ein Mensch an Unterernährung.

Die derzeitige Energieversorgung stößt bereits an Grenzen, insbesondere im Verkehrsbereich.

Die Weltwirtschaft und die weltweit organisierte Energiewirtschaft erfüllen nicht die Anforderungen an die Prinzipien des „*Nachhaltigen Wirtschaften*“. Die heutige Energieversorgung besitzt deshalb keine Zukunftsperspektiven. Neue Wege in der Energieaufbringung und im Energieeinsatz müssen gefunden werden. Der Übergang von Fossilen Energieträgern auf Erneuerbare Energieträger ist unausweichlich.

## **Gefahren und Risiken der Energieversorgung**

Die Energieversorgung ist mit Gefahren / Risiken verbunden. Diese umfassen Unfälle mit Schaden für Mensch, Technik und Umwelt, finanzielle Schäden, gesundheitliche Schäden, Umweltschäden (lokal, regional und global); Bildtafel 4.3.

Absolute Sicherheit gibt es nicht. Die Natur lässt es nicht zu. Mensch und Technik sind nicht unfehlbar. Wird auch der aktuelle technische Entwicklungsstand erfüllt – entsprechend den verfügbaren Kenntnissen, inklusive langjähriger Erfahrungen im Betrieb – , so bleibt immer ein Rest-Risiko durch überholte Systemtechnik, Materialermüdung: Höheres Gefahrenpotential bei Ablauf der eingeplanten Lebensdauer, z. B. ab 30 Jahren bei Kernkraftwerken.

Energietechniken werden von Risiken und Ängsten begleitet. Risiken zeigen unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesellschaft. Man kann sich selbst entscheiden: z.B. Risiko im Personalverkehr (*derzeit etwa 60.000 Tote pro Jahr auf den Straßen von Europa*). Die Bedrohung wird vorgegeben: z. B. Reaktorunfall mit der Gefahr einer lokalen / regionalen /

globalen radioaktiven Verseuchung und einer mehrere Jahrhunderte andauernden nuklearen Verstrahlung.

## **Fakten der Energieversorgung von HEUTE**

Das weltweite Energieaufkommen (Primärenergie) lag im Jahre 2004 bei 463 EJ/Jahr. Davon entfielen 34,3% auf Erdöl, 20,8% auf Erdgas, 25,1% auf Kohle, 6,5% auf Kernenergie und 6,8% auf nachhaltig genutzte Erneuerbare Energie und 6,5% auf nicht-nachhaltig genutzte Biogene Energieträger (Holz durch Rodung ohne Aufforstung und nicht-erneuerbarer Abfall); Bildtafel 4.4a.

Der Energieverbrauch – bezogen auf die Einwohner – zeigt große Unterschiede zwischen industrialisierten Ländern und Entwicklungsländern bzw. Ländern der Dritten Welt. Aber auch zwischen den Industriestaaten bestehen deutliche Unterschiede im Energieverbrauch, bestimmt von Produktion und Infrastruktur im Verkehr (Eisenbahn und/oder Straße). Der auf die Einwohnerzahl bezogene Energieverbrauch lag im Jahre 2003 bei 1,6 toe/Einwohner als Welt-Mittelwert, USA weist mit 7,84 toe/Einwohner den größten Energieverbrauch auf, gefolgt von den OECD-Ländern mit 4,47 toe/Einwohner. Afrika liegt mit 0,66 toe/Einwohner am Ende; Bildtafel 4.4a.

Der Anteil Erneuerbarer Energieträger am Weltenergieverbrauch 2004 teilt sich wie folgt auf: Biogene Energieträger „nachhaltig“ 42%, Biogene Energieträger „nicht-nachhaltig“ 39%, Wasserkraft 17%, Solar, Wind, Geothermie 2%; Bildtafel 4.4b.

## **Entwicklung des Energieverbrauches von 1973 bis 2005: Weltweit und OECD**

Im Energiebericht der Internationalen Energieagentur (*IEA World Energy Outlook 2007*) wird der weltweite Energieverbrauch – ausgedrückt durch das Primärenergieaufkommen, *Total Primary Energy Supply-TPES* – für das Jahr 1973 mit 6.128 Mtoe (256,57 EJ) und für das Jahr 2005 mit 11.435 Mtoe (478,75 EJ) ausgewiesen.

Die Anteile der Energieträger am Welt-Primärenergie-Aufkommen für 2005 in Höhe von 11.436 Mtoe (478,76 EJ) teilen sich wie folgt auf: Erdöl 35,0%, Kohle 25,3%, Erdgas 20,7%, Kernenergie 6,3%, Wasserkraft 2,2%, Biogene Energie 10,6% und Geothermie, Solar, Wind u.a. 0,1%. Im Zeitraum 1973 bis 2005 stieg der weltweite Energieverbrauch somit um 5.307 Mtoe (222,19 EJ), entsprechend einem Zuwachs von 86,6% bzw. einem mittleren jährlichen Anstieg von 2,7%/Jahr.

Die Anteile der Energieträger am Primärenergie-Aufkommen 2005 in den OECD-Mitgliedsländern in Höhe von 5.546 Mtoe (232,20 EJ) teilen sich wie folgt auf: Erdöl 40,6%, Kohle 20,4%, Erdgas 21,8%, Kernenergie 11,0%, Wasserkraft 2,0%, Biogene Energie 3,5% und Geothermie, Solar, Wind u.a. 0,7%. Im Zeitraum 1973 bis 2005 stieg der Energieverbrauch in den OECD-Mitgliedsländern um 3.784 Mtoe (74,69 EJ), entsprechend einem Zuwachs von 47,4% bzw. einem mittleren jährlichen Anstieg von 1,5%/Jahr; Bildtafel 4.4d.

Der Anteil von Erdöl am Energieaufkommen ist weltweit von 1973 bis 2005 von 46,2% auf 35,0% und in den OECD Mitgliedsländern von 53,0% im Jahre 1973 auf 40,6% im Jahre 2005 zurückgegangen. Alle anderen Energieträger konnten ihre Anteile erhöhen; Bildtafel 4.4c und d.

Die Anteile der Regionen am weltweiten Primärenergie-Aufkommen illustrieren für das Jahr 1973 und 2005 Bildtafel 4.4e und für die OECD-Mitgliedsländer Bildtafel 4.4f.

Am weltweiten Energieverbrauch waren die OECD-Mitgliedsländer mit 61,3% im Jahre 1973 und mit 48,5% im Jahre 2005 beteiligt.

In OECD-Europa lag der Anteil Erneuerbarer Energieträger am Energieaufkommen im Jahre 2004 bei 6,8%. Den höchsten Anteil Erneuerbarer Energieträger in Europa im Jahre 2004 weist Island mit 70,7% (Geothermie), gefolgt von Norwegen mit 40,1% (Wasserkraft), Schweden mit 24,7% und Österreich mit 21,3% (Wasserkraft und Biomasse).

Einen Vergleich des Primärenergie-Aufkommens im Jahre 2004 weltweit, OECD und Österreich zeigt Bildtafel 4.46.

### **Energieaufkommen in Österreich**

Energiebilanzen spiegeln den Energiefluss durch das sozio-ökonomische System wider, indem Aufkommen und Verwendung einander gegenübergestellt werden.

Nach der derzeit verfügbaren aktuellen Energiebilanz für Österreich lag der Bruttoinlandsverbrauch (gleichzusetzen mit dem Primärenergieaufkommen) in Österreich im Jahre 2006 bei 1,442.249 TJ. Damit ist der Inlandsverbrauch gegenüber dem Vorjahr (2005: 1,433.822 TJ) um 0,6% gestiegen. Als wesentliche Ursache für den gegenüber den Vorjahren gebremsten Anstieg können die Wetterbedingungen gesehen werden, da die Heizgradsummen im Vergleich zu 2005 mit -6,0% deutlich gesunken sind.

In Österreich weist der Bruttoinlandsverbrauch von Strom die größte Zuwachsrate (+ 157,0%) auf. Der Verbrauch Erneuerbarer Energieträger (+ 5,8%), der Erdölverbrauch (+ 0,8%) und der Kohleverbrauch (+1,0%) verzeichnen einen leichten Anstieg, Erdgas einen Rückgang von - 0,8%. Erdöl stellt mit einem Anteil von 42,2% nach wie vor den bedeutendsten Energieträger dar, gefolgt von den Erneuerbaren Energieträgern mit einem Anteil von 22,4%, Naturgas mit einem Anteil von 21,9% und Kohle mit einem Anteil von 11,8%.

Nach der Energiebilanz Österreich 2006 waren die Verbrauchersektoren wie folgt am energetischen Endverbrauch beteiligt: Transport 30,8%, Sachgüterproduktion 29,1%, Private Haushalte 25,3%, Dienstleistungen 12,5% und Landwirtschaft 2,2%. Auf Raumheizung, Klimaanlage und Warmwasser entfallen 29,9% vom Energetischen Endverbrauch 2006; Bildtafel 4.5a.

Im Jahre 2005 lagen die Anteile der Energieträger am Bruttoinlandsverbrauch bei 41,5% für flüssige Fossile Energieträger, 24,6% für gasförmige Fossile Energieträger, 21,4% für Erneuerbare Energieträger und 11,8% für feste Fossile Energieträger. Am Energetischen Endverbrauch waren im Jahre 2005 flüssige Fossile Energieträger mit 44,8%, gasförmige Fossile Energieträger mit 18,4%, Erneuerbare Energieträger mit 11,4%, Elektrische Energie mit 18,4% und Fernwärme mit 4,8% beteiligt; Bildtafel 4.5b.

Im Zeitraum 1970 bis 2003 hat der Energieverbrauch um insgesamt 174 % zugenommen (+5,8%/Jahr); Bildtafel 4.5c.

## **Auf der Suche nach unerschöpflicher und sauberer Energie**

Viele Jahre wurde in den meisten Industriestaaten auf die *Nutzung der Kernenergie als Ersatz für Fossile Energieträger* gesetzt. Die energetische Nutzung der Kernenergie über den Prozess der Kernspaltung stellt aber nur eine kurz- bzw. mittelfristige Lösung dar: Der für die Kernspaltung verwendete Brennstoff (Uran 235) ist im natürlich vorkommenden Uran nur mit 0,7 % enthalten. Die Nutzungsdauer der Brennstoffe für Kernreaktoren hängt in hohem Maße von der angewandten Reaktortechnik ab. Die heutigen Kernkraftwerke, als deren typischer Vertreter der Leichtwasserreaktor als thermischer Konverter anzusehen ist, weisen den größten Bedarf für Brennstoffe auf, selbst dann, wenn eine Aufbereitung der Brennelemente vorgesehen wird. Fortgeschrittene Reaktortypen, wie Schwerwasserreaktor oder Hochtemperaturreaktor, welche noch in Entwicklung sind, sind zwar zukunftssicherer, aber von der Brennstoffbasis her ebenfalls als begrenzt anzusehen. Einen Ausweg bietet der so genannte „Brutreaktor“. Der Vorteil dieses Reaktortyps liegt darin, dass die gesamten Uranvorräte zur Energiegewinnung herangezogen werden können. Brutreaktoren befinden sich noch in der Phase der Erprobung bzw. Markteinführung, haben aber in den letzten Jahren wegen technischer Probleme und hoher Kosten stark an Interesse verloren.

Derzeit sind etwa 450 Kernkraftwerke weltweit in Betrieb. Der Anteil der Kernenergie am Weltenergieverbrauch liegt heute bei etwa 6%.

Ein großes, bisher noch nicht gelöstes Problem der Kernenergietechnik stellt die langfristige Entsorgung der Brennelemente sowie auch der Reaktorbauteile nach Ablauf der technischen Lebensdauer dar. Es sind dies nicht nur technische Probleme, sondern auch – und insbesondere – die fehlende öffentliche Akzeptanz zur Endlagerung radioaktiver Abfallprodukte.

Die heute technisch verfügbare Kernspaltung ist nicht unbegrenzt einsetzbar, da die für die Kernspaltung erforderlichen Ressourcen (Kernbrennstoffe) in ihren Vorräten limitiert sind. Eine – nach menschlichen Maßstäben – unerschöpfliche Nutzung der Kernenergie ist nur über den Prozess der Kernfusion zu erreichen. Dieser Prozess ist auch die Basis für die Entstehung der solaren Strahlungsenergie, erfordert sehr hohe Temperaturen und sehr hohe Drücke, wie diese gleichzeitig auf der Erde noch nicht für eine kontrollierte Kernfusion und damit Energieerzeugung realisiert werden konnten. Es kann heute noch nicht vorausgesagt werden, ob es jemals gelingen wird, die Technik der Kernfusion für eine risikoarme Energieversorgung in absehbarer Zeit zur Verfügung zu haben und es bleibt die Frage offen, inwiefern die Probleme der Radioaktivität, insbesondere auch der Entsorgung zu lösen sein werden.

Die großen Probleme bei der Nutzung der Kernenergie – hohes technisches und menschliches Risiko, keine Erneuerbare Energiequelle und damit keine nachhaltige Energiewirtschaft – konzentrieren die Anstrengungen in Forschung und Technik auf die Nutzung der Sonnenenergie über die vielseitigen Wege der direkten und indirekten Nutzbarmachung. *Sonnenenergie* nach Erdöl und Erdgas ist das Ziel, das sich Wissenschaft und Technik gestellt haben. Das Potential der Sonnenenergie ist sehr groß. Die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche ist jedoch relativ gering und außerdem von Tages- und Jahreszeit sowie vom Standort abhängig und erfordert damit Lösungen für Speicherung und Transport.

Die Sonnenenergie findet sich in den verschiedensten Formen auf unserer Erde wieder: In chemisch-gespeicherter Form in Rohstoffen, aber auch in so genannter meteorologischer Energie wie Windenergie und Energie aus Fluss- und Speicherwasser. Die Energiequellen



Wind- und Wasserkraft sind keineswegs neu. So wurden Windmühlen vor mehr als 4.000 Jahren zum Wasserschöpfen eingesetzt. Die Bedeutung von Windrädern mit der erneuerbaren "Windenergie" ist mit dem Einsatz von Erdöl stark zurückgegangen, erlebt aber heute wieder eine Renaissance. Und auch die Wasserkraft wird schon lange genutzt.

*Sonnenenergie* wird somit in *indirekter Form* schon seit langem genutzt. Zählt man die Fossilen Energieträger als *gespeicherte Sonnenenergie* hinzu, dann ist die Sonnenenergie auch heute die primäre Energiequelle unserer Energiewirtschaft. Da Kohle, Erdöl und Erdgas nicht so schnell mit der Sonnenenergie erneuert werden, wie wir heute diese Energieträger verbrauchen, gilt das Interesse der Wissenschaft und Technik der Entwicklung von Techniken, mit denen es möglich ist, die *Sonnenenergie in einer Kreislaufwirtschaft* nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu nutzen: Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in direkter Form oder indirekt über erneuerbare Energiequellen, d.h. über nachwachsende biogene Rohstoffe als chemisch gespeicherte Sonnenenergie. Eine Reihe von Techniken, welche diesen Anforderungen gerecht werden, wurden entwickelt, Betriebserfahrungen gesammelt und technische Verbesserungen erreicht.

Energiesysteme auf der Basis von erneuerbaren Energiequellen besitzen zwar ein praktisch unbegrenztes Angebotspotential, ihre Nutzung in großem Umfang ist jedoch erst dann denkbar, wenn sie im Vergleich zu bereits eingeführten Energiequellen und Umwandlungssystemen auch wirtschaftlich werden. Dies ist heute nur unter bestimmten Randbedingungen gegeben. Die Solartechniken haben ihre technische Entwicklung noch lange nicht abgeschlossen, sehr groß ist noch ihr Entwicklungspotential.

Die unmittelbare (direkte) Nutzung der *Energiequelle Sonne* mit dem größten Potential ist an einige entscheidende Einschränkungen gebunden:

- Die geringe Strahlungsintensität macht große Empfangsflächen und zum Erreichen von hohen Temperaturen auch Fokussierungseinrichtungen notwendig, die ihrerseits nur den „direkten“ Anteil der gesamten Strahlung (Globalstrahlung) verwerten können.
- Die lang- und kurzfristigen Schwankungen des Strahlungsangebotes machen für die meisten Anwendungen den Einsatz von sekundären Energiespeichern (Tages- bis Saison-Speicher) erforderlich.
- Der weitaus größte Teil des Welt-Energieverbrauches tritt gegenwärtig in Zonen mit vergleichsweise geringem Strahlungsangebot auf.

Ähnliche Gegebenheiten wie bei der Sonnenenergie liegen auch im Falle der Windenergie vor: ungleichmäßiger Anfall, abhängig vom Standort sowie von Tages- und Jahreszeit. Geothermische Energie und Meeresenergie haben nur lokale Bedeutung. Windenergie und Biogene Energieträger sind durch eine geringere Energieintensität gekennzeichnet und damit nicht in der Lage, die Energieversorgung in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte alleine sicherzustellen.

Die technische Realisierbarkeit einer weltweiten, auf Sonnenenergie basierenden Energiewirtschaft ist heute prinzipiell nachgewiesen: *Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft*. Mit solar erzeugtem Wasserstoff als Sekundärenergieträger könnte eine nachhaltige und theoretisch unbegrenzte Energieversorgung aufgebaut werden. Mit Sonnenenergie und Wasser wird Wasserstoff erzeugt, welcher nach der energetischen Nutzung zur Erzeugung von Strom, Wärme und Arbeit wieder zu Wasser umgewandelt wird. Die solare Wasserstoffherzeugung benötigt für Herstellung, Transport, Speicherung und Nutzung nur in

ganz speziellen Fällen die Einführung grundsätzlich neuer Techniken. Vielmehr handelt es sich in der Regel um die Verbesserung bzw. Anpassung bereits heute genutzter Verfahren; Abschnitt 8.

Als besonderer Vorteil einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft wird die Möglichkeit gesehen, das bestehende (funktionierende) Welt-Energiehandelssystem über den Zeitpunkt hinaus fortzusetzen, wenn Öl und Gas zur Neige gehen werden. Mit einer *solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft* wird die Sonnenenergie im großen Stile auch für Industrieländer nutzbar gemacht, da Wasserstoff die in sonnenreichen Ländern anfallende Strahlungsenergie speicherbar und transportierbar macht.

Die Entwicklung und Einführung einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft ist nur in vielen Schritten denkbar. Die Weiterentwicklung von Herstellungstechnologien stellt hierbei wohl einen sehr wichtigen Bereich dar, am schwierigsten wird sich jedoch die *Einführungsstrategie* für Wasserstoff gestalten. Ausschlaggebend für den eigentlichen Einstieg in eine solare Wasserstoff-Energiewirtschaft wird vor allem der Wille potentieller Erzeuger- und Nutzerländer sein, eine derartige Entwicklung in der Energiepolitik zu verankern. Nur eine Umstrukturierung des derzeitigen Energiesystems gibt langfristig dem Wasserstoff die Chance, neben Elektrizität der universell einsetzbare Energieträger einer zukünftigen nicht-fossilen Energiewirtschaft zu werden. Für den Aufbau der solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft sind allerdings auch langfristige internationale Kooperationen erforderlich.

### **Vision, Aufgaben und erforderliche Maßnahmen für ein „Energiesystem der Zukunft“**

Die Aufgabe, bereits in den nächsten Jahrzehnten eine Substitution der Fossilen Energieträger zu erreichen und nicht auf Nukleare Energieträger zurückgreifen zu müssen, ist derart gewaltig, dass nur fundierte und wirksame Langfriststrategien auf nationaler und internationaler Ebene mit entsprechenden Umsetzungsstrategien zur Lösung dieses Problems beitragen können. Insbesondere wird es darauf ankommen, Erdöl als Hauptenergieträger zu ersetzen, zumal dieser Energieträger politischen Faktoren ausgesetzt ist, die von uns nicht beeinflusst werden können; Bildtafel 4.6.

Der Aufbau eines neuen *Weltenergiesystems* scheint unausweichlich. Die erforderlichen Investitionen werden allerdings gigantisch sein und einen bedeutenden Teil der nationalen Produkte sowohl in den Industrieländern als auch in den Entwicklungsländern fordern; Abschnitt 8. Energieversorgungssysteme werden in Zukunft nicht nur nach technischen und wirtschaftlichen, sondern auch nach ökologischen Kriterien zu werten sein. Eine ökologische Bewertung muss stets die gesamte Energie-Umwandlungskette berücksichtigen, d.h., es müssen auch die Einflüsse auf die Umwelt bei Herstellung und Entsorgung der eingesetzten Technik Berücksichtigung finden.

Im Zusammenhang mit einer *Bewertung von Energieversorgungsoptionen* sind Einschränkungen im Hinblick auf die Umweltbelastung und auch auf Sicherheitsanforderungen denkbar. Sollte die globale Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre und anderer energiebedingter Spurengase – wie prognostiziert – schwerwiegende klimatische Veränderungen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts bewirken, so wäre damit eine weitere Zunahme des Verbrauchs von insbesondere kohlenstoffhaltigen Energieträgern auszuschließen. Eine weitere Nutzung der Kernenergie setzt die Lösung der Wiederaufbereitung und Entsorgung sowie der Haftungsfrage für Schadensfälle (etwa durch Erdbeben, technische

Störungen, aber insbesondere auch durch menschliche Eingriffe) voraus. Darüber hinaus bringt eine weltweite „Nuklear-Wirtschaft“ immense Gefahren für die Menschheit. *Schwer lösbare Probleme, die immer stärker die Nutzung erneuerbarer Energiequellen als sinnvollere Lösung zur Diskussion stellt.*

Wenn auch erneuerbare Energiequellen die Fossilen Energieträger in absehbarer Zeit nicht ersetzen können, ist ihr verstärkter Einsatz geeignet, die Vorräte konventioneller Energiequellen zu strecken, die Umwelt zu entlasten und eine Umstrukturierung der Energiewirtschaft in eine nachhaltige Energieversorgung zu ermöglichen.

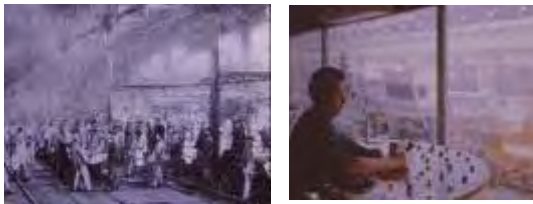
**Mit Energie in die industrielle Revolution:  
Ein kritischer Rückblick**

- Energie ist der Motor der wirtschaftlichen Entwicklung
- Energie ist Welthandelsgut Nr. 1
  - Energie für Wohlstand
- Energie für Macht & Zerstörung ?

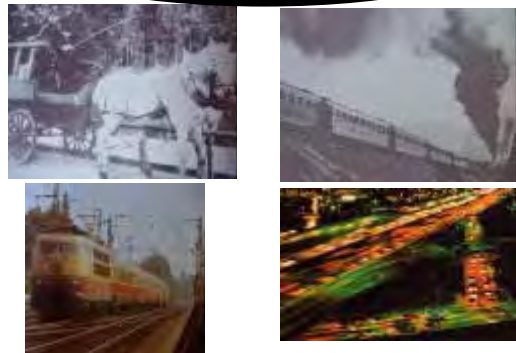
**Abbau der Energievorräte**



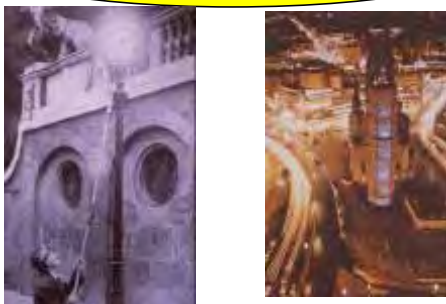
**EVOLUTION IM INDUSTRIE-SEKTOR**



**EVOLUTION IM**



**EVOLUTION IM BELEUCHTUNGS-SEKTOR**



**Energie und Entwicklung**



**Bildtafel 4.1a: Mit Energie in die industrielle Revolution**

## VERKEHR HEUTE



Die derzeitige  
Energieversorgung  
stößt bereits an  
Grenzen,  
insbesondere im  
Verkehrsbereich.



## VERKEHR ALS SPORT UND HERAUSFORDERUNG



## MOBILITÄT IM 21. JAHRHUNDERT

**Flugverkehr für Business,  
internationale Kooperation und Freizeit**

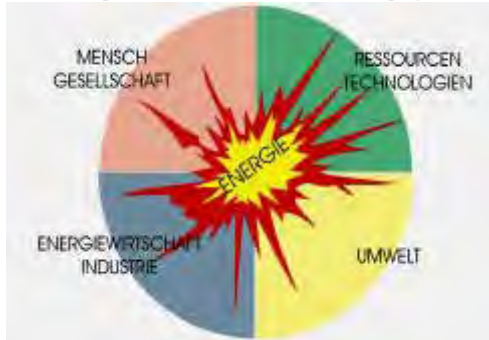


## MOBILITÄT IM 21. JAHRHUNDERT



**Bildtafel 4.1b: Mit Energie in die industrielle Revolution**

## Energie im Spannungsfeld



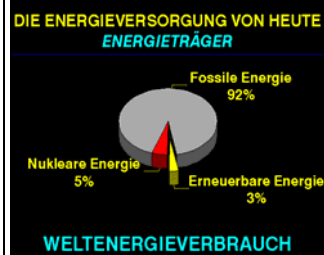
## Energie für Macht und Zerstörung !?



Länder mit  
Energieressourcen  
sind anfällig für  
politische Krisen



## Zeitlich begrenzte Energievorräte



Mehr als 90%  
der heute  
eingesetzten  
Energieträger  
sind in ihren  
Vorräten  
zeitlich begrenzt.

## ERDE bei Nacht:

Gut zu erkennen die energieintensiven Ballungszentren  
in Nordamerika, Asien und Europa.



## Ungelöste Versorgungsprobleme

Auch die Verfügbarkeit  
von Energievorräten  
konnte die Probleme  
auf unserer Erde  
nicht lösen.

Mehr als 70% der  
Energieressourcen  
werden von nur  
30% der Weltbevölkerung  
in Anspruch genommen.



Bildtafel 4.2a: Die Energieprobleme von HEUTE



## Energie und Wirtschaft

**Mit der Entdeckung fossiler Energieträger und der damit verbundenen Entwicklung der Energietechniken mit rasantem Anstieg des Energieverbrauches, hat sich die Weltwirtschaft entscheidend verändert.**



Holz ist für viele Entwicklungsländer der einzig verfügbare Energieträger.  
Der Energieträger Holz kommt jedoch nicht aus einer „Kreislaufwirtschaft“.

## Das Verkehrsproblem von Heute und von MORGEN?



## Das Versorgungsproblem



### Good News:

Weltweite Nahrungsmittel-Produktion für die doppelte Weltbevölkerung

### Bad News:

Jede Sekunde stirbt ein Mensch an Unterernährung

UNO-Welt Ernährungstag 2004

**Zunehmende Umweltbelastung mit Klimabedrohung**

**Das Treibhausproblem**



## Unser Planet ist in Gefahr!



Wann wird nach einer Lösung gesucht ??

Bildtafel 4.2b: Die Energieprobleme von HEUTE

## Gefahrenereinschätzung der Energieversorgung

Risiken der Energie-Aufbringung und Energie-Nutzung

Bedrohung durch den Klimawandel




## Gefahren / Risiken

durch

- Unfälle mit Schaden für Mensch, Technik und Umwelt,
  - Finanzielle Schäden,
  - Gesundheitliche Schäden,
  - Umweltschäden.

Lokal, regional und global

## Sicherheit

- Sicherheit durch „Stand der Technik“.
  - Absolute Sicherheit gibt es nicht!
    - Natur lässt es nicht zu,
    - Mensch und Technik sind nicht unfehlbar.
- Restrisiko durch überholte Systemtechnik und Materialermüdung.
- Höheres Gefahrenpotential bei Ablauf der eingeplanten Lebensdauer:
  - z. B. ab 30 Jahren bei Kernkraftwerken.

## Risiken und Ängste (1)

Risiken zeigen unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesellschaft:

(1) Man kann sich selbst entscheiden:  
z.B. Risiko im Personalverkehr  
(derzeit etwa 60.000 Tote pro Jahr auf den Straßen von Europa).



## Risiken und Ängste (2)

(2) Die Bedrohung kommt von „außen“:  
z. B. Reaktorunfall mit der Gefahr einer **lokalen / regionalen / globalen** radioaktiven Verseuchung und einer mehrere Jahrhunderte andauernde nukleare Verstrahlung,  
z.B. Bedrohung des Klimas.

Wie wird der Planet ERDE auf Radioaktivität und Klimawandel reagieren?

Droht uns eine **KLIMA-KATASTROPHE ?**

Droht uns eine **Gefahr durch Radioaktivität ?**

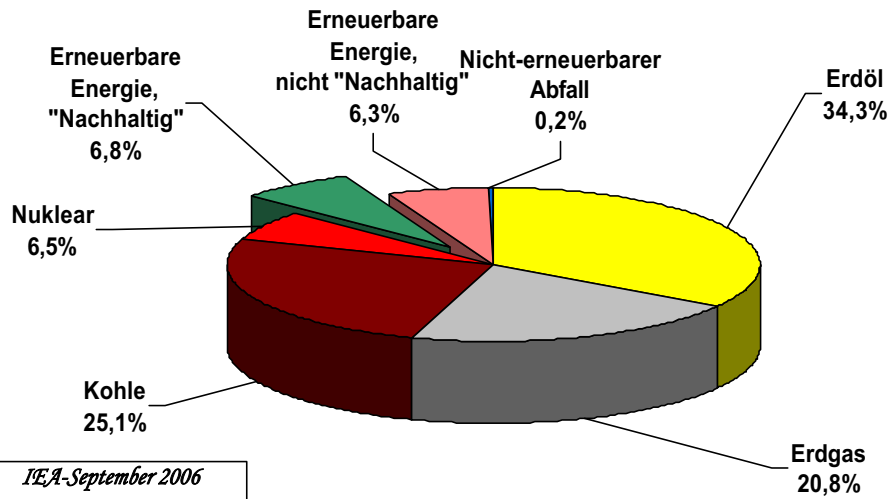



**Bildtafel 4.3: Gefahrenereinschätzung der Energieversorgung**

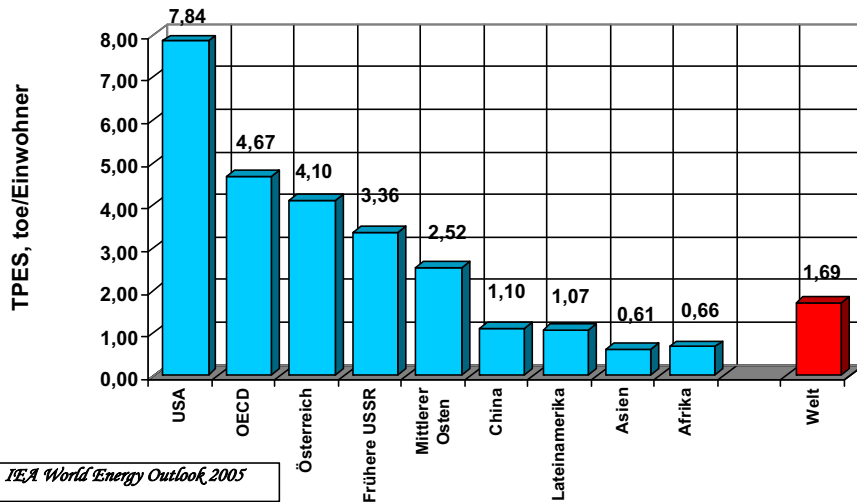
# Weltenergieverbrauch 2004

(Primärenergie)

Anteil der Energieträger

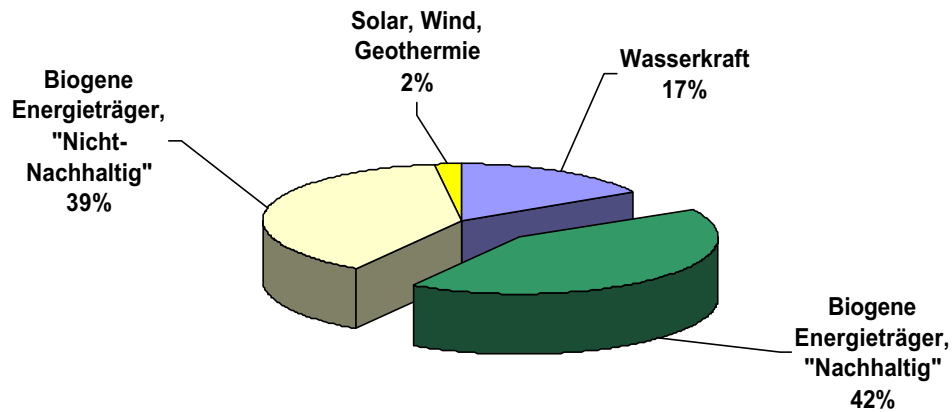


## Primärenergie-Verbrauch pro Einwohner TPES, toe/Einwohner, 2003



Bildtafel 4.4a: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch  
Weltenergie-Verbrauch und Pro-Kopf-Verbrauch

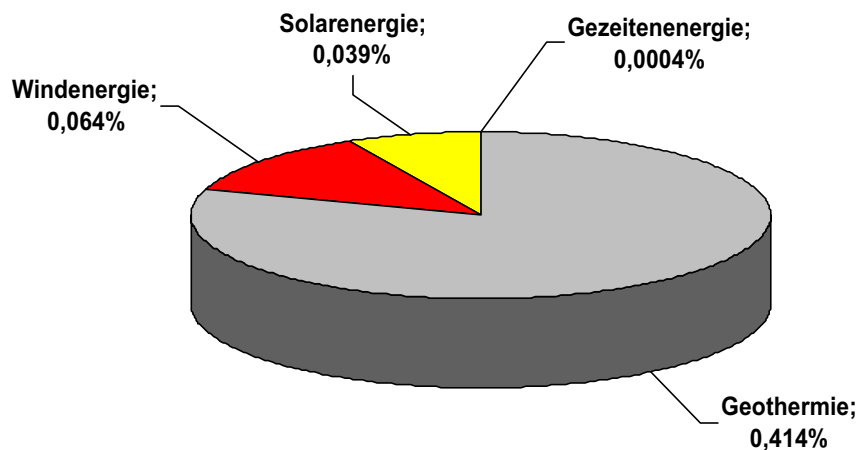
## Anteil Erneuerbarer Energieträger am Weltenergieverbrauch 2004



Erneuerbare Energieträger, gesamt:  
13,1% am Weltenergieverbrauch 2004

IEA-September 2006

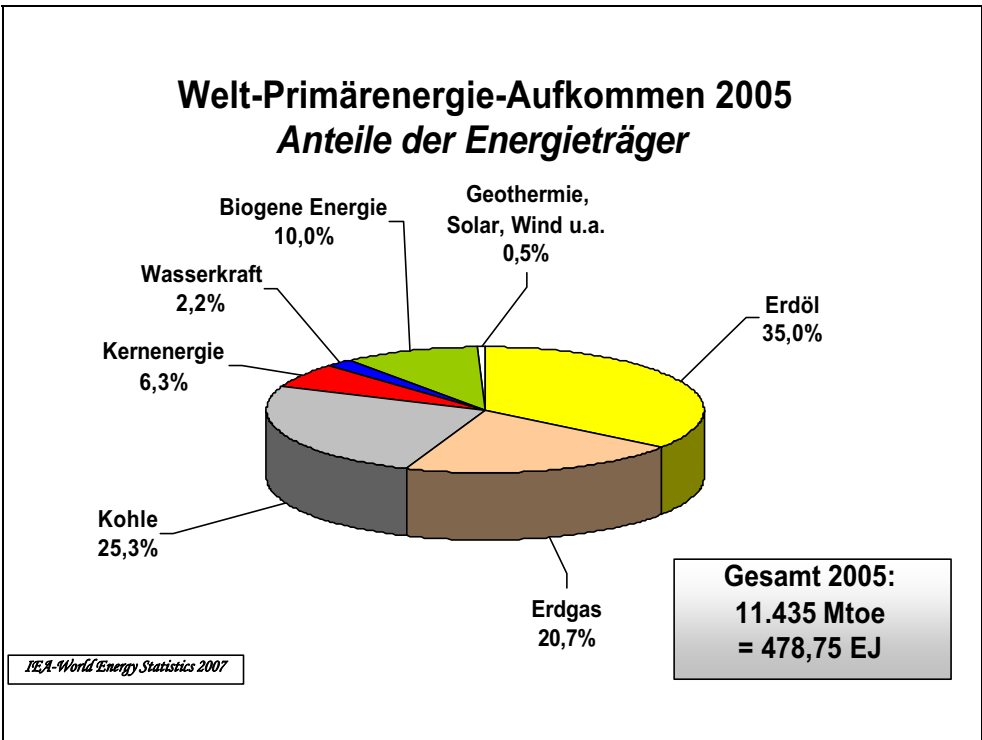
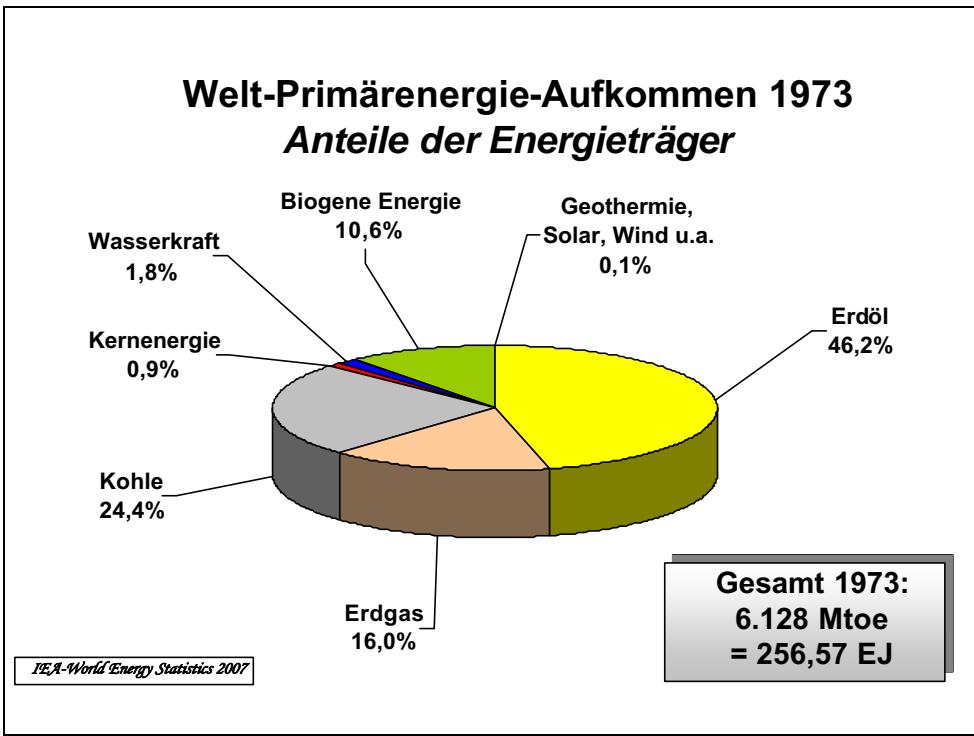
## Anteil "Sonstiger" Erneuerbarer Energieträger am Weltenergieverbrauch 2004



Anteil "Sonstiger" Erneuerbare Energieträger, gesamt:  
0,0517% am Weltenergieverbrauch 2004

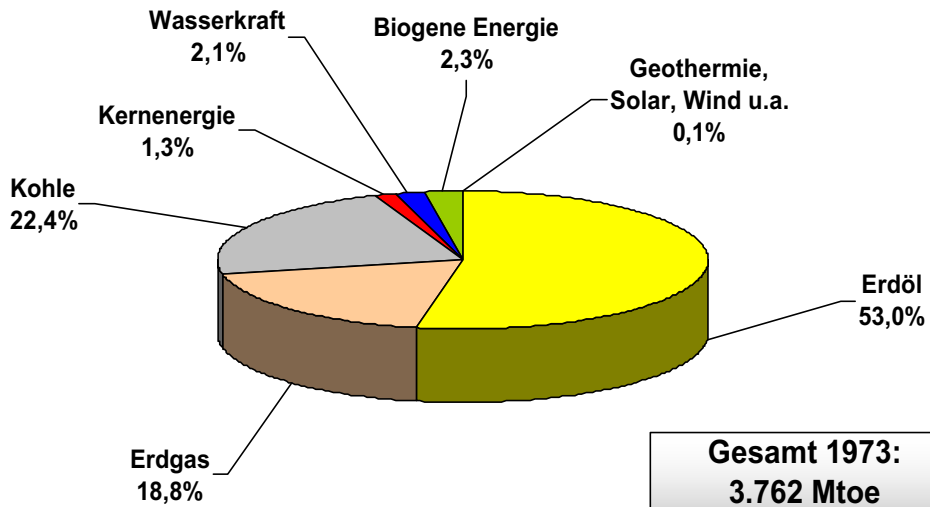
IEA-September 2006

**Bildtafel 4.4b: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch**  
*Anteil Erneuerbarer Energie am Weltenergie-Verbrauch*



**Bildtafel 4.4c: Entwicklung des Welt-Primärenergieaufkommens:  
1973 und 2005  
Anteile der Energieträger**

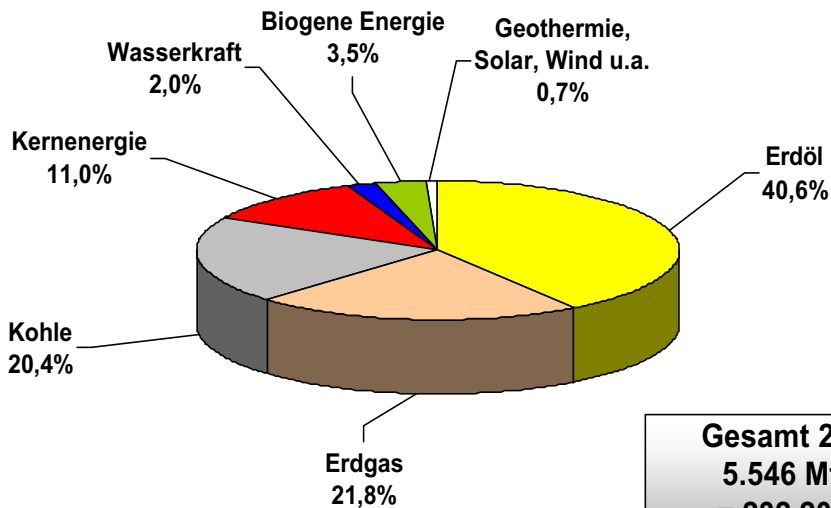
### OECD-Primärenergie-Aufkommen 1973 Anteile der Energieträger



**Gesamt 1973:**  
3.762 Mtoe  
= 157,51 EJ

IEA-World Energy Statistics 2007

### OECD-Primärenergie-Aufkommen 2005 Anteile der Energieträger



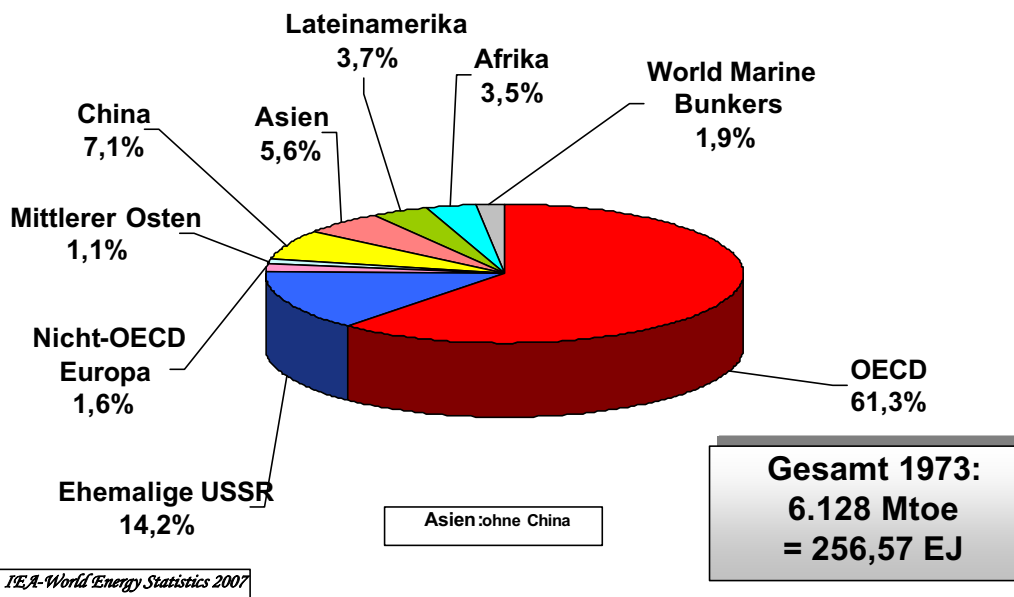
**Gesamt 2005:**  
5.546 Mtoe  
= 232,20 EJ

IEA-World Energy Statistics 2007

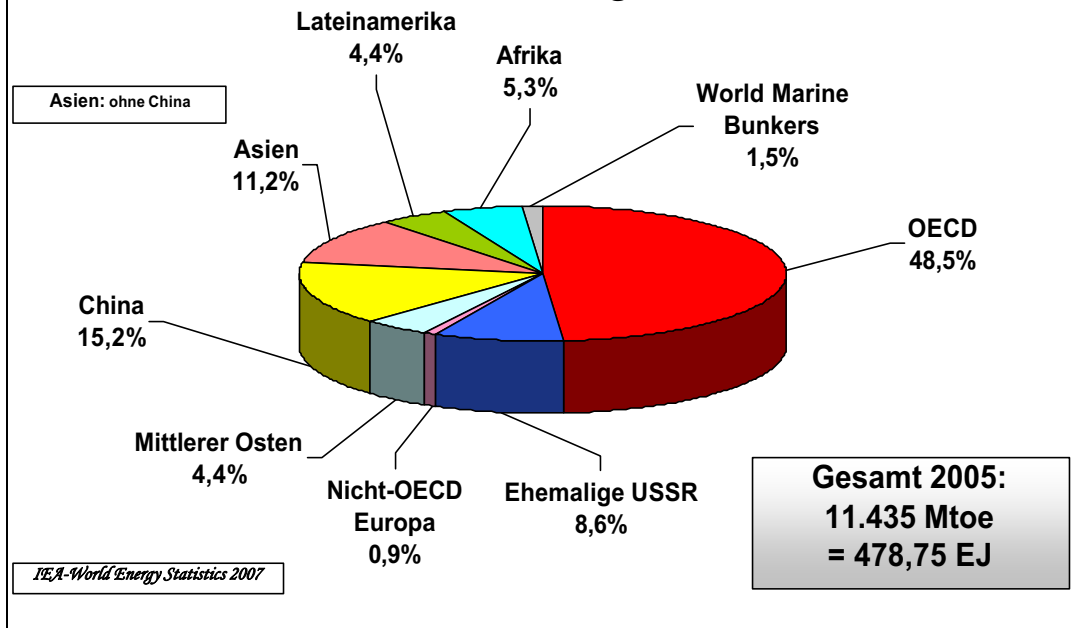
**Bildtafel 4.4d: Entwicklung des Primärenergieaufkommens in OECD-Mitgliedsländern: 1973 und 2005**  
*Anteile der Energieträger*



## Welt-Primärenergie-Aufkommen 1973 Anteile der Regionen

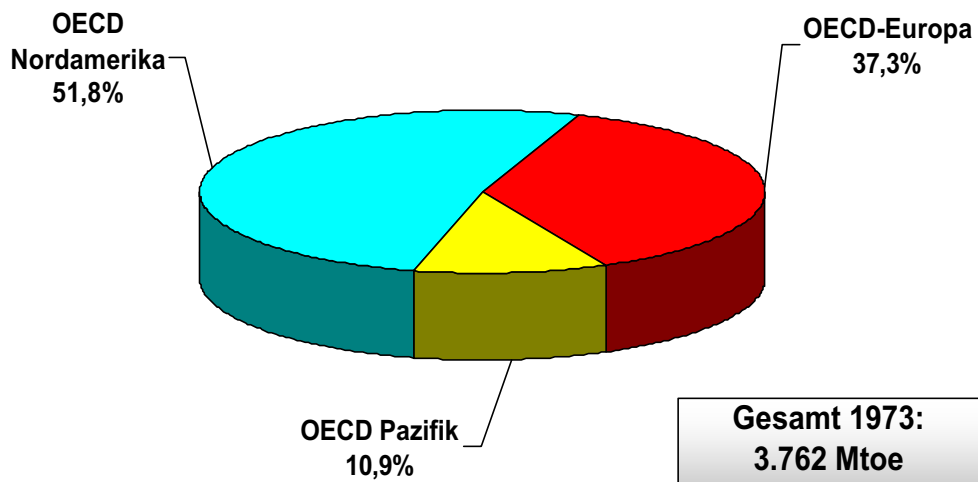


## Welt-Primärenergie-Aufkommen 2005 Anteile der Regionen



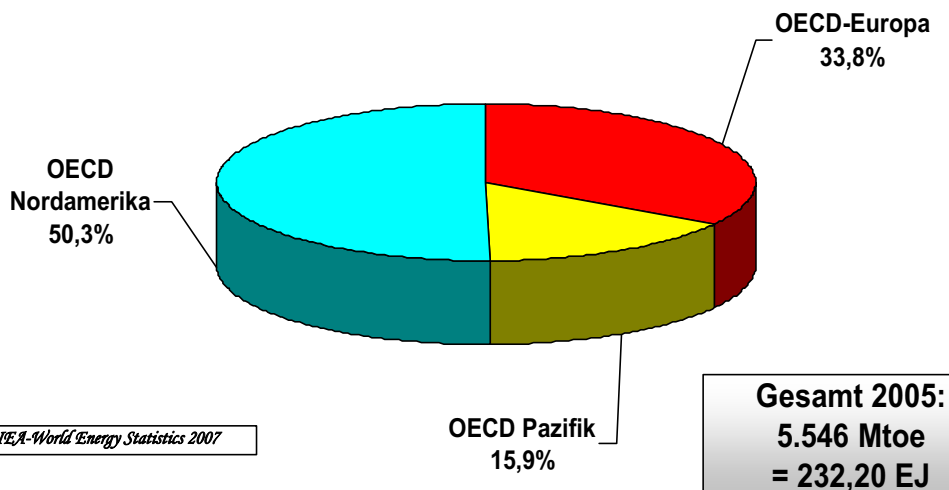
**Bildtafel 4.4e: Entwicklung des Welt-Primärenergieaufkommens:  
1973 und 2005  
Anteile der Regionen**

### OECD-Primärenergie-Aufkommen 1973 Anteile der Regionen



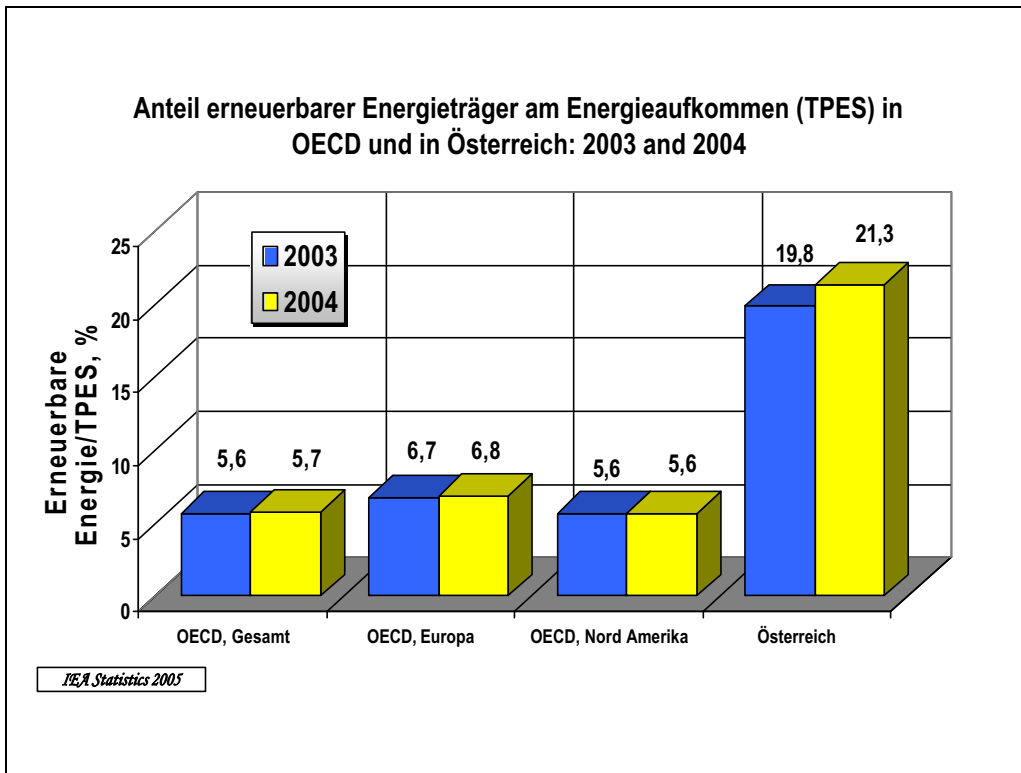
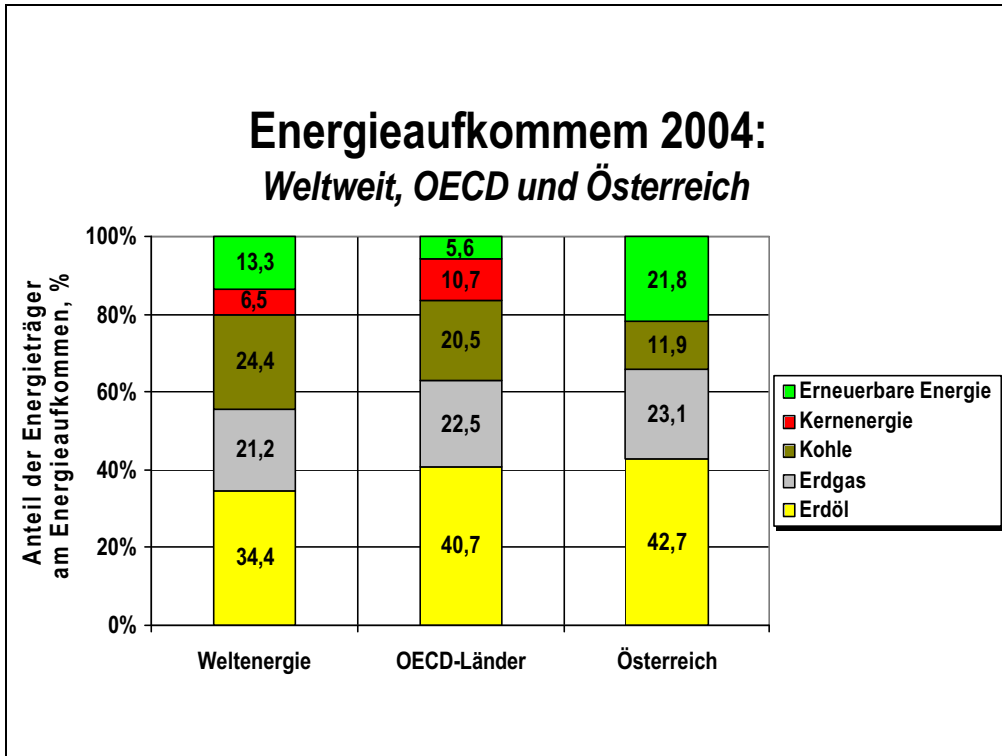
IEA-World Energy Statistics 2007

### OECD-Primärenergie-Aufkommen 2005 Anteile der Regionen



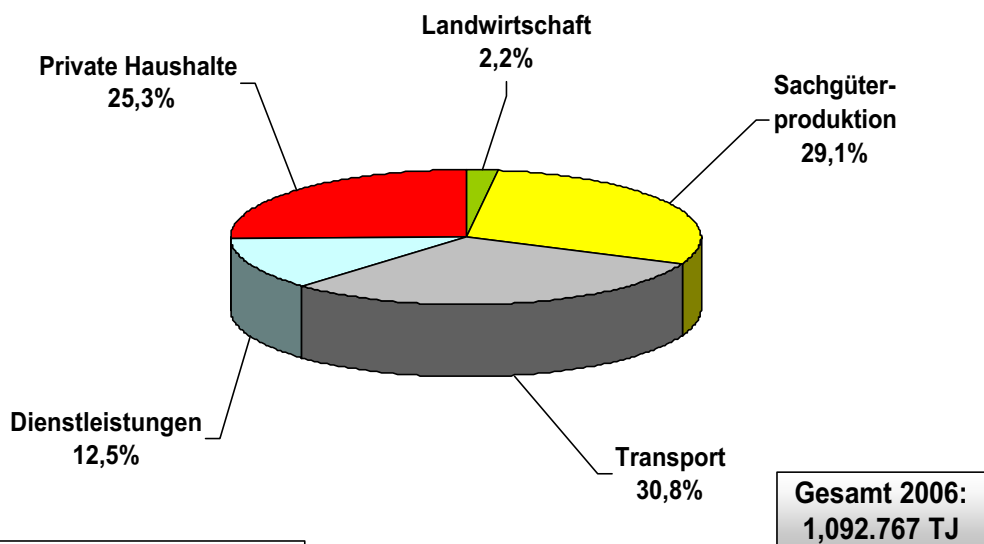
IEA-World Energy Statistics 2007

**Bildtafel 4.4f: Entwicklung des Primärenergieaufkommens in OECD-Mitgliedsländern: 1973 und 2005**  
*Anteile der OECD-Regionen*



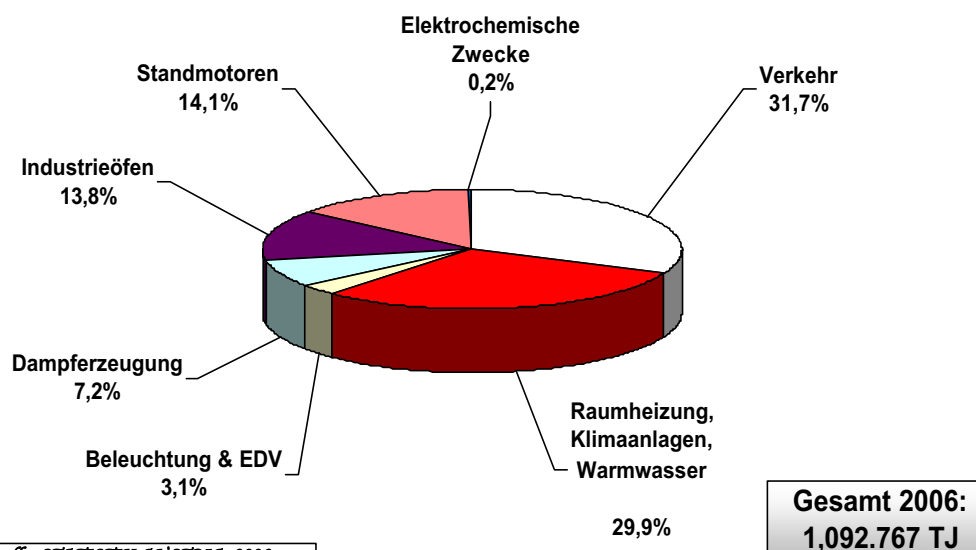
**Bildtafel 4.4g: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch**  
*Energieaufkommen nach Regionen*

### Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahre 2006 Anteile der Verbrauchersektoren



Quelle: STATISTIK AUSTRIA, 2008

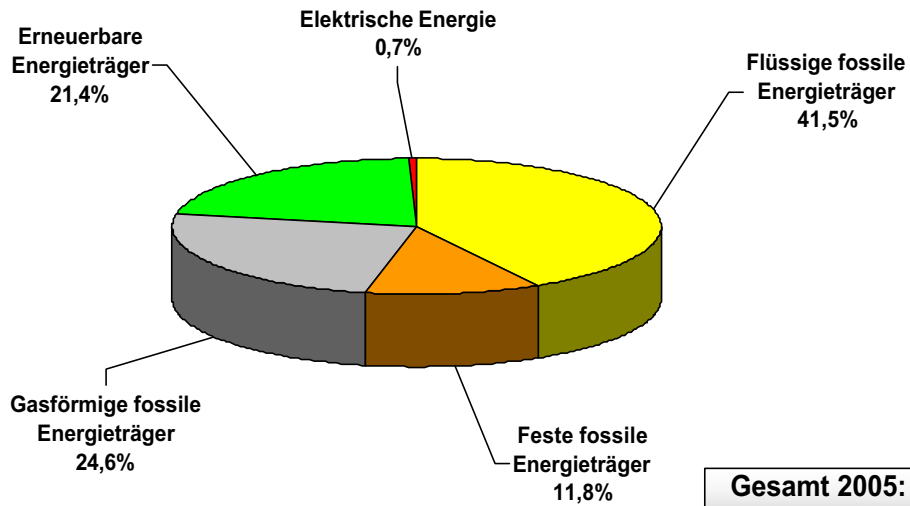
### Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahre 2006 Anteile der Einsatzbereiche



Quelle: STATISTIK AUSTRIA, 2008

Bildtafel 4.5a: Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahre 2006

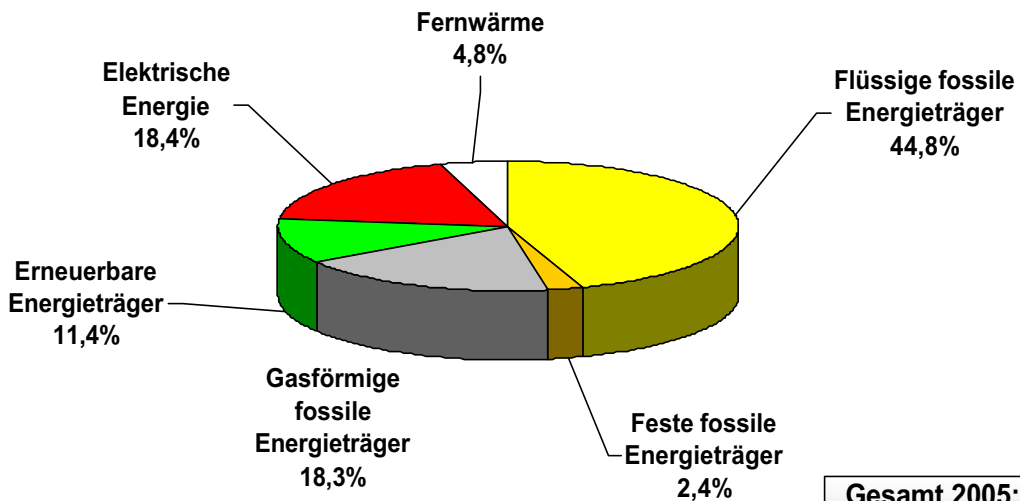
**Bruttoinlandsverbrauch in Österreich im Jahre 2005**  
**Anteile der Energieträger**



Quelle: STATISTIK AUSTRIA, 2008

**Gesamt 2005:**  
**1,433.822 TJ**

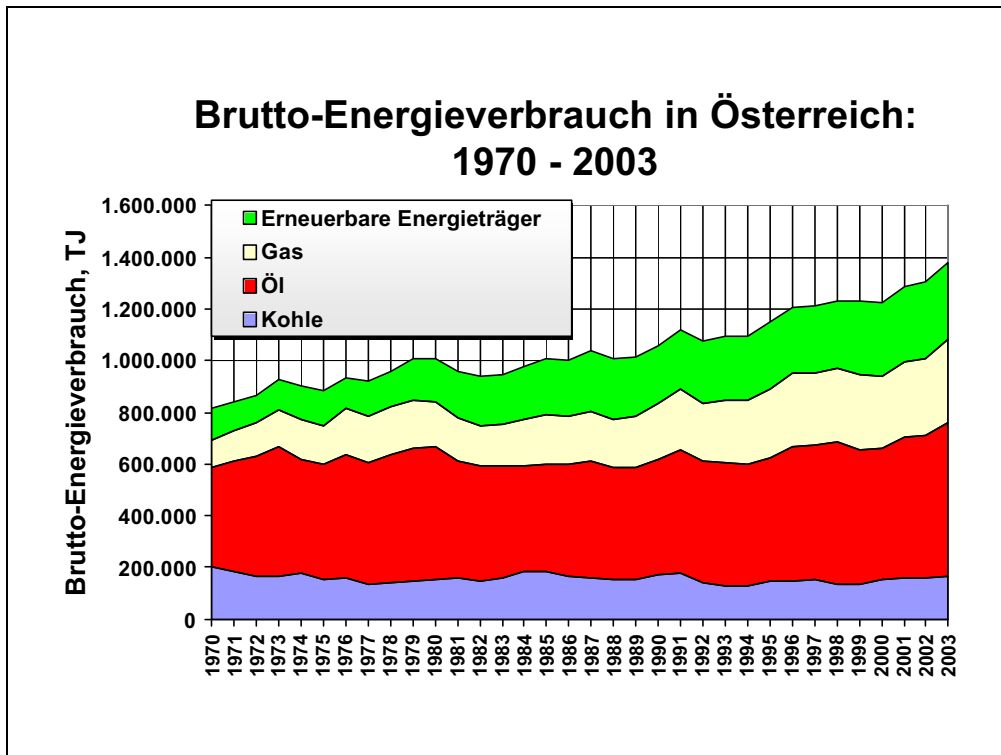
**Energetischer Endverbrauch in Österreich im Jahre 2005**  
**Anteile der Energieträger**



Quelle: STATISTIK AUSTRIA, 2008

**Gesamt 2005:**  
**1,097.870 TJ**

**Bildtafel 4.5b: Energiebilanz Österreich 2005**



**Entwicklung des Energieverbrauches in Österreich**

**Entwicklungstrend im Energieaufkommen  
1970 – 2004**

**Mittlere Jahres-Zuwachsraten:**

**Energieaufkommen: 1,66% pro Jahr**  
**Erneuerbare Energie: 2,68% pro Jahr.**

**IST-Zustand 2004:**

**Energieaufkommen: 1.395 PJ/Jahr**  
**Erneuerbare Energie: 305 PJ/Jahr**  
**Anteil Erneuerbare Energie: 21,9%**

**Bildtafel 4.5c: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch**  
*Energieaufkommen und Energieverbrauch in Österreich*



## Schlussfolgerungen für ein Energiesystem der Zukunft



**Die Weltwirtschaft und die weltweit organisierte Energiewirtschaft erfüllen nicht die Anforderungen an**

**Nachhaltiges Wirtschaften**

**und besitzen deshalb**

**keine Zukunftsperspektiven.**

## **NACHHALTIGE ENTWICKLUNG SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

.... ist eine  
**WIRTSCHAFTS- und ENTWICKLUNGSFORM,**  
die den Bedürfnissen  
gegenwärtiger Generationen entspricht,  
**ohne die Chancen und Möglichkeiten**  
**künftiger Generationen,**  
**ihre Bedürfnisse zu befriedigen,**  
**zu gefährden**

Brundtland Report  
1987

Eine Weiterführung unserer  
heutigen Energieversorgung in die  
Zukunft ist nicht möglich.

**Neue Wege in der  
Energieaufbringung und im  
Energieeinsatz müssen gefunden  
werden.**

## Signale für die Wirtschaft

- Der Übergang von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energieträger ist unausweichlich.
- **Wer früher beginnt hat größere Chancen am Weltmarkt.**

## Energie-Perspektive?



2000

Bildtafel 4.6: Schlussfolgerungen für ein Energiesystem der ZUKUNFT

## 5. Energie und Umwelt

*Natürliche und anthropogene Emissionsprozesse.  
Der Treibhauseffekt.  
Klimawirksame Spurengase.  
Entwicklung der Kohlendioxid-Emissionen in Österreich.  
Kohlendioxid-Emission und Klima.  
Folgen einer raschen Klimaänderung: UNO-Klimabericht 2007.  
Möglichkeiten und Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im  
Energiebereich.  
Resümee und Schlussfolgerungen.*

### Bedrohung der Erde durch Spurengase



### Anthropogene Emissionsprozesse



## Energie und Umwelt

Die Energieversorgung – Aufbringung, Verarbeitung, Transport und Speicherung von Energieträgern sowie deren Umwandlung in Nutzenergie – hat Einfluss auf die Umwelt: Durch Produktion von Emissionen und Abfall. Unsere Gesundheit, unserer Lebensraum und das Ökosystem und Klima werden bedroht – zusätzlich zu den natürlichen Emissionen. Bildtafel 5.1 fasst die Auswirkungen von Emissionen auf Umwelt und Gesundheit zusammen.

### Natürliche und anthropogene Emissionsprozesse

**Natürliche** Emissionsprozesse entstehen durch: Mikrobielle Prozesse (*Verwesung, Vorgänge am Boden*), vulkanische Tätigkeit, Gewitter, Waldbrände, photochemische Abläufe in der Atmosphäre, Erosion, Pflanzenausdünstung, Viehhaltung. Freigesetzte Komponenten durch natürliche Emissionsprozesse sind: Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Kohlenmonoxid CO, Methan CH<sub>4</sub>, Stickoxide NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>, Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>, Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S, unverbrannte Kohlenwasserstoffe C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, organische S-Verbindungen, Ozon O<sub>3</sub>, Staub, diverse organische Verbindungen durch Pflanzenausdünstungen; Bildtafel 5.2 und Bildtafel 5.3.

Mit dem natürlichen CO<sub>2</sub>-Kreislauf wird der Lebensraum des Planeten Erde aufrechterhalten: Unter Einwirkung der Sonneneinstrahlung wird das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zur Bildung von Kohlenwasserstoffen in Form von Pflanzen und Bäumen gebunden und später durch mikrobielle Prozesse (Verwesung) wieder der Atmosphäre abgegeben. Das CO<sub>2</sub> ist demnach ein wichtiger Bestandteil für den Lebensraum: z.B. Nahrung und biogene Energieressourcen.

Die Umwelt und damit die Entwicklung des Klimas der Erde werden zusätzlich durch **anthropogene** Emissionen bei der Energieerzeugung über fossile Brennstoffe mitbestimmt; Bildtafel 5.4. Neben den „klassischen“ Schadstoffemissionen des Verbrennungsprozesses wie Kohlenmonoxid, Schwefel- und Stickoxide, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Staub sind insbesondere die Reaktionsprodukte – als „Spurengase“ – Kohlendioxid und Methan für die globale Erwärmung der Erde über den „Treibhauseffekt“ verantwortlich.

Die in den letzten Jahrzehnten rasant ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist insbesondere auf die Energieversorgung mit fossilen, aber auch mit biogenen Brennstoffen zurückzuführen: CO<sub>2</sub> als Verbrennungsprodukt. Die bei der Verbrennung von Biogenen Energieträgern aus einer nachhaltigen Forstwirtschaft entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden als „*umwelt-neutral*“ und damit als *nicht-klimarelevant* eingestuft; siehe Abschnitt 3.

Wir verbrauchen derzeit an einem Tag mehr fossile Brennstoffe, als die Erde in 1000 Jahren erzeugt hat. Zwischen 1775 und 2006 stieg die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration von 280 ppm (parts per million) auf 380 ppm, und jedes Jahr erhöht sich dieser Wert um 1,5 ppm.

Die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen nehmen mit 1,8 % pro Jahr zu und werden 38 Milliarden Tonnen im Jahr 2030 erreichen – 70% über dem „Kyoto-Ziel“; Bildtafel 5.5.

Die Auswirkungen von Emissionen auf die Umwelt betreffen nicht nur den Treibhauseffekt, sondern sind Verursacher des stratosphärischen Ozonabbaus, der Zerstörung von Phytoplankton, für troposphärische Ozonbildung, für Modifikation der troposphärischen Luftchemie und des Waldsterbens; Bildtafel 5.6.

## Der Treibhauseffekt

Die Entstehung des „Treibhaus-Effektes“ ist darauf zurückzuführen, dass durch die in der Atmosphäre absorbierten  $\text{CO}_2$ -Partikel die eindringende kurzwellige und intensive Sonnenstrahlung zwar nur unwesentlich abgeschwächt wird, die Abstrahlung der langwelligeren Wärmestrahlung durch Reflexion jedoch reduziert wird und damit zu einer Erderwärmung nach dem Prinzip des „Glashaus-Effektes“ führt. Die in der Atmosphäre festgehaltenen „Spurengase“ wirken als „selektive“ Strahler; Bildtafel 5.7:

- ⇒ Kurzwellige Sonnenstrahlung durchdringt die Atmosphäre
- ⇒ Sonnenstrahlung erwärmt die Erde
- ⇒ Anthropogene Emissionen (Verbrennung, Abgase etc.) reichern die Atmosphäre mit Kohlendioxid und klimarelevanten Spurengasen an
- ⇒ Erwärmte Erde sendet die (langwellige) Wärmestrahlung aus
- ⇒ Kohlendioxid und Spurengase in der Atmosphäre werfen vermehrt Wärmestrahlung zurück.

## Klimawirksame Spurengase

Nach neuesten Abschätzungen tragen die Spurengase wie folgt zum „zusätzlichen“ Treibhauseffekt bei: Kohlendioxid mit 50%, Methan mit 19%, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) mit 17%, Ozon in der Troposphäre mit 8%, Distickstoffoxid mit 4% und Wasserdampf in der Stratosphäre mit 2%; Bildtafel 5.8.

Zu den energierelevanten Emissionen, die einen Einfluss auf das Klima haben, sind zu zählen: die direkten Treibhausgase Kohlendioxid und Methan und die indirekt wirkenden Spurengase wie vor allem Stickoxid, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) sowie Schwefeldioxid. Die Emissionen von Methan, welche derzeit mit etwa 19% an dem „Treibhauseffekt“ beteiligt sind, stammen zu etwa 30% aus der Förderung und Bereitstellung fossiler Energieträger. Da Methan ein um den Faktor 32 größeres Treibhauspotential als Kohlendioxid aufweist, muss in Zukunft dafür Sorge getragen werden, dass Methan-Verluste auf ein Minimum reduziert werden.

Die Wirkung der einzelnen Spurengase auf den Treibhauseffekt wird durch das  $\text{CO}_2$ -Emissionsäquivalent ( *$\text{CO}_2$ -Äquivalentfaktor*) ausgedrückt; Bildtafel 5.8. So hat beispielsweise Methan ( $\text{CH}_4$ ) eine um das 21-fache stärkere Treibhauswirkung im Vergleich zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2\text{O}$  ist sogar um 310-fach stärker in der Treibhauswirkung als  $\text{CO}_2$ . Am stärksten ist die Treibhauswirkung von teil- und vollflourierten Kohlenwasserstoffen, insbesondere aus der Kältetechnik.

Verursacher von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  sind Raumwärme und sonstige Kleinverbraucher, die Energieaufbringung (Strom- und Wärmeerzeugung, Raffinerien), die Abfallwirtschaft, der Verkehr, die Industrie und das produzierende Gewerbe. Die Landwirtschaft ist Verursacher von  $\text{N}_2\text{O}$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionen.

Emissionsquellen der Treibhausgase insgesamt sind derzeit (geschätzte Werte): Kraftwerke mit einem Anteil von 24%, gefolgt von Brandrodung mit 18%, Landwirtschaft, Industrie und Verkehr mit jeweils 14%, Heizen mit 8%, Sonstiges mit 5% und Müll mit 3%.

## **Entwicklung der umweltrelevanten Kohlendioxid-Emissionen in Österreich**

Seit dem Jahre 1955 sind die energiebedingten und umweltrelevanten Kohlendioxid-Emissionen stetig angestiegen, von 29,0 Millionen Jahrestonnen im Jahre 1955 auf 79,0 Millionen Jahrestonnen im Jahre 2005. Davon entfallen im Jahre 2005 auf Industrie und Verkehr jeweils 26%, auf private Haushalte 18%, auf die Energieversorgung 17%, auf die Landwirtschaft 8% und auf „Sonstige“ 5%. Im Sektor Verkehr tragen Fahrzeuge (Lkw und Pkw) mit 98% und Flugzeuge mit 2% bei. Der Anteil des Flugverkehrs an der gesamten CO<sub>2</sub>-Emission beträgt somit rund 0,5 %; Bildtafel 5.9 (a bis d).

Seit dem Jahre 1990 werden auch die Emissionen der weiteren klimarelevanten Spurengase CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, PFKW und SF<sub>6</sub> in Form des CO<sub>2</sub>-Äquivalentes ermittelt. Diese lagen im Jahre 1990 bei 17,0 Millionen Jahrestonnen und im Jahre 2005 bei 13,7 Millionen Jahrestonnen.

Die reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen lagen im Jahre 1990 bei 62,0 Millionen Jahrestonnen und im Jahre 2005 bei 79,5 Millionen Jahrestonnen. Dies entspricht im Zeitraum 1990 – 2005 einem Zuwachs von 28,2%. Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) lagen im Jahre 1990 bei 79,0 Millionen Jahrestonnen und im Jahre 2005 bei 93,2 Millionen Jahrestonnen, entsprechend einem Zuwachs von 18,0%.

Der Anteil der „reinen“ CO<sub>2</sub>-Emissionen an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) betrug im Jahre 1990 21,5% und im Jahre 2005 14,7%; Bildtafel 5.9c.

In den Sektoren sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) im Zeitraum 1990 – 2005 mit 90,6% am stärksten im Bereich Verkehr angestiegen, gefolgt mit 16,1% bei der Energieaufbringung und mit 4,7% im Bereich der Raumwärme und sonstiger Kleinverbraucher. Insgesamt haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 18,0% zugenommen.

Das Kyoto-Ziel für Österreich wird mit 77,8 Millionen Jahrestonnen für das CO<sub>2</sub>-Äquivalent und mit 68,8 Millionen Jahrestonnen für CO<sub>2</sub> alleine vorgegeben. Damit erscheint das Kyoto-Ziel unerreichbar.

## **Derzeitige Verursacher Energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen und Zukunftsprognose**

USA ist derzeit der größte Verursacher von energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, gefolgt von China, Russland und Indien; Bildtafel 5.10a.

Derzeit (2002) tragen die OECD-Länder mit 54% zum weltweiten Ausstoß Energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, gefolgt von den Entwicklungsländern mit 36% und den in Entwicklung befindlichen Ländern („*Transition Economies*“) mit 10%.

Die auf die Einwohner bezogene jährliche CO<sub>2</sub>-Emission liegt derzeit bei: 11 Tonnen CO<sub>2</sub> in den OECD-Ländern, gefolgt von 7 Tonnen CO<sub>2</sub> in den „*Transition Economies*“ und 1,5 Tonnen CO<sub>2</sub> in den Entwicklungsländern; Bildtafel 5.10b.

Nach der IEA-Prognose werden im Jahre 2030 die Entwicklungsländer mit 49% Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen die größten Verursacher an energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen

sein, gefolgt von den OECD-Ländern mit 42% und den „Transition Economies“ mit 9%; Bildtafel 5.10c.

Für das Jahr 2030 werden die folgenden Emissionswerte pro Einwohner prognostiziert: OECD-Länder: 12 Tonnen CO<sub>2</sub>, Entwicklungsländer: 2,5 Tonnen CO<sub>2</sub>, „Transition Economies“: 10,5 Tonnen CO<sub>2</sub>.

Die stärkeren CO<sub>2</sub>-Emissionen in „Transition Economies“ werden auf einen zunehmenden Einsatz von Kohle insbesondere in den Ländern China und Indien zurückgeführt, der geringere CO<sub>2</sub>-Anstieg in Entwicklungsländern geht von der Annahme aus, dass in diesen Ländern auch in den nächsten Jahrzehnten Biomasse als Energieträger herangezogen werden wird. Allerdings wäre zu beachten, dass die Nutzung von Biomasse in Entwicklungsländern nicht immer „nachhaltig“ erfolgt und damit auch nicht als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft werden kann.

## **Kohlendioxid-Emission und Klima**

Für die in den letzten Jahrzehnten rasant ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre sind insbesondere die durch die Energieversorgung verursachten zusätzlichen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Damit ist auch eine starke globale Temperaturerhöhung verbunden, die um ein Vielfaches schneller erfolgt als im Falle eines natürlichen Überganges von Kaltzeit in Warmzeit.

Die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen nehmen nach Bildtafel 5.5 mit 1,8 % pro Jahr zu und werden 38 Milliarden Tonnen im Jahr 2030 erreichen – 70% über dem „Kyoto-Ziel“.

Der zunehmende Bedarf an Nutzenergie hat mit den bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe unvermeidlichen Emissionen auch unsere Umwelt in einer Form beeinflusst, welche eine Eigenregulierung durch die Natur nicht mehr zulässt. Emissionen der Verbrennungsprozesse wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Staub und auch Schwermetalle führen in zunehmendem Maße zu einer Umweltbelastung, welche nicht nur negative Auswirkungen auf Pflanzen und Bauwerke haben, sondern auch die Gesundheit von Mensch und Tier gefährden. Dazu kommt das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende Reaktionsprodukt Kohlendioxid, welches zwar für den Menschen nicht giftig ist, jedoch bei höheren Konzentrationen als dies den natürlichen Prozessen entspricht zu einem „Treibhauseffekt“ führt, welcher zu einer globalen Klimaänderung führen kann. Darauf weisen erste Beobachtungen und Analysen des Klimawandels auf der Erde hin. Gerade das Kohlendioxidproblem könnte zu einer Beeinflussung unserer Umwelt führen, welche das Überleben der Menschheit in Frage stellt.

Deutliche Anzeichen für eine Klimaänderung sind: Zunehmende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre, Zunahme der mittleren globalen Lufttemperatur, Zunahme von Naturkatastrophen in Form von Überschwemmungen und Stürmen; Bildtafel 5.11.

## **Folgen einer raschen Klimaänderung: UNO-Klimabericht, Januar 2007**

Die möglichen Folgen einer raschen Klimaänderung – ohne Chance auf eine Anpassung des Menschen an einen neuen Lebensraum – sind vielfältig: Extreme Änderungen im Wettergeschehen, Zunahme der Intensität von Unwetter-Katastrophen, Rückgang der Gletscher mit Zunahme der Gefahren in den Alpen, Abschmelzen der Polkappen mit Anstieg



der Meeresoberfläche, noch unvorhersagbare Auswirkungen auf Flora und Fauna: Auftauen von Perma-Frostböden, Dürre und Brände, Sintfluten und Stürme, Artenverlust, Ausdehnung der Wüsten; Bildtafel 5.12 (a bis c).

Im Januar 2007 wurde von dem UNO-Weltklimarat IPCC der Klimabericht vorgelegt, mit alarmierenden Schlussfolgerungen, welche sowohl in Politik als auch in den Medien große Aufmerksamkeit gefunden haben. Dem Thema „Klimawandel“ wird heute Priorität in der internationalen und nationalen Energiepolitik zugemessen. Der Einfluss des Menschen auf einen raschen Klimawandel wird heute nicht mehr bezweifelt.

Der Befund des im Januar 2007 vom UNO-Weltklimarat IPCC veröffentlichten Klimaberichtes – an dem um 2.500 Forscher sowie Vertreter von mehr als hundert Regierungen mitgewirkt haben – ist alarmierend: Das Tempo der Erderwärmung wird sich dramatisch erhöhen, in 100 Jahren könnten es 6,4 °C sein, sofern in internationaler Zusammenarbeit keine weitreichenden Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase getroffen werden; Bildtafel 5.12 (a und b).

Die Erde hat sich in den vergangenen hundert Jahren um 0,74 °C erwärmt. In den vergangenen 50 Jahren erhöhte sich die Erdtemperatur dabei fast doppelt so schnell wie im Durchschnitt des gesamten Jahrhunderts – und der Temperaturanstieg wird immer rasanter.

Bis zum Jahre 2100 wird sich die mittlere globale Erdtemperatur – je nach Entwicklung des Kohlendioxid-Ausstoßes – zwischen 1,1 °C und 6,4 °C gegenüber den letzten beiden Jahrzehnten steigern. Im UNO-Klimabericht wird als wahrscheinliche Temperaturerhöhung 1,8 °C bis 4 °C – vor allem in den nördlichen Breiten – angenommen.

Mit der globalen Erwärmung werden die Meeresspiegel um 18 bis 58 cm ansteigen und zu Überflutungen in Küstennähe führen. Der Golfstrom wird sich verlangsamen – um etwa 25 Prozent. Damit würde weniger warmes Wasser nach Europa gelangen. Dies dürfte den erwarteten Temperaturanstieg dort sogar abmildern.

Temperatur-Rekorde und Hitzewellen werden ebenso wie schwere Niederschläge und daraus folgende Überschwemmungen zunehmen. Die Zerstörungskraft von Hurrikans und anderen Wirbelstürmen wird steigen, da ihre Windgeschwindigkeiten sich deutlich erhöhen.

Die Schnee- und Eisdecke wird sich deutlich verringern, die Tautiefe in den meisten Permafrost-Gebieten steigt dagegen. Die Menge des Meereises in der Arktis und Antarktis wird sinken. Gegen Ende des Jahrhunderts könnte die Arktis im Spätsommer praktisch eisfrei sein.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dieses Jahrhunderts werden noch lange Folgen für das globale Klima haben. Die in der Atmosphäre angesammelten CO<sub>2</sub>-Moleküle werden voraussichtlich mehr als ein Jahrtausend zur weiteren Erwärmung und zum Anstieg der Meeresspiegel um bis zu sieben Meter beitragen.

Als besondere Gefahrenquellen werden im UN-Klimabericht 2007 – im Falle keiner nennenswerten Reduktion von Treibhausgasen – angesehen, Bildtafel 5.12c:

- (1) Beringsee: Eisschmelze gefährdet Kleinlebewesen und damit die Nahrungsgrundlage von Fischen und anderen Meeresbewohnern.

- (2) Yangtze: Der Fluss ist die Lebensgrundlage für 450 Millionen Menschen in China. Gletscherschmelze gefährdet Zufuhr.
- (3) Himalaja-Gletscher: Sie regulieren den Wasserhaushalt für mehrere hundert Millionen Menschen. Schmelzen die Gletscher, dann droht Dürre.
- (4) Amazonas-Becken: Ein Temperaturanstieg von bis zu drei Grad würde 60 Prozent des Regenwaldes in eine Savanne verwandeln.
- (5) Korallenriffe: Schon bei plus ein Grad verlieren die Korallen ihre Farbe und sterben ab. Bedroht ist das Große Barriereriff in Australien.

## **Rückgang des arktischen Meereises**

Das Eis im Arktischen Meer schmilzt viel schneller als erwartet; der Rückgang des arktischen Meereises erreichte im September 2007 den bisherigen Rekordwert; Bildtafel 5.12d. Die aktuelle Satellitenbildaufnahme der NASA vom 16. September 2007 zeigt das Ausmaß des Rückgangs im Vergleich zu den Jahren zuvor. Das Dunkelblau des offenen Meeres unterscheidet sich deutlich vom Weiß des Meereises. Die bläulichen Übergänge weisen auf das Packeis hin. Der schwarze Punkt zeigt zur Orientierung den Nordpol. Wie rasant der Rückgang vor sich geht, zeigt die gelbe Umrahmung als Grenze des arktischen Eises zwischen 1979 und 2000. Deutlich zu erkennen ist auch die heuer erstmalig völlig offene NW-Passage.

Die Signale für eine rasche Klimaänderung mit einem hohen Gefahrenpotential für deutliche Veränderungen im Lebensraum und verbunden mit hohen volkswirtschaftlichen Schäden erfordern möglichst rasche und zielorientierte Maßnahmen.

Es ist erforderlich, die heutige Energieversorgung im Hinblick auf den „Treibhauseffekt“ grundlegend zu überdenken und Möglichkeiten bzw. Realisierungswege zu finden, um die negativen Folgewirkungen von Emissionen für Mensch und Natur zu minimieren oder zu beseitigen. Nur fundierte und wirksame, langfristig angelegte Handlungsstrategien auf nationaler und internationaler Ebene können zur Lösung dieses Problems beitragen.

## **Möglichkeiten und Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Energiebereich**

Die Signale für eine rasche Klimaänderung mit einem hohen Gefahrenpotential für deutliche Veränderungen im Lebensraum und verbunden mit hohen volkswirtschaftlichen Schäden erfordern möglichst rasche und zielorientierte Maßnahmen. Energiepolitisch soll eine CO<sub>2</sub>-Reduktion in Europa insbesondere durch Maßnahmen zur Steigerung der Energie-Effizienz – sowohl bei Erzeugung als auch beim Einsatz – sowie durch Substitution von Fossilen Energieträgern durch umweltneutrale Energieträger – insbesondere durch Erneuerbare Energieträger – erreicht werden.

Die verschiedenen Energietechniken tragen im Lebenszyklus zu den Treibhausgas-Emissionen unterschiedlich bei. Zu den „Treibhausgas-freien“ Technologien zählen Wasserkraft, Kernenergie, Windenergie, Solarenergie, Bioenergie aus einer nachhaltigen Forstwirtschaft wird als „umweltneutral“ eingestuft und Erdgas, Erdöl, Steinkohle und Braunkohle sind mit zunehmendem Beitrag Verursacher der Treibhausgas-Emissionen; Bildtafel 5.13.

Weltweit wird nach technischen Lösungen gesucht, das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende CO<sub>2</sub> „einzufangen“ (z.B. chemisch zu binden) und zu speichern. Als geeignete Speicher für CO<sub>2</sub> bieten sich aufgelassene Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Lagerstätten

an. Auch der Meeresboden wird in die Überlegungen mit eingebunden; Bildtafel 5.14 und Bildtafel 5.15.

Für das CO<sub>2</sub>-Management von Kraftwerken mit Fossilen Energieträgern (*Decarbonised Fossil Fuels*) werden derzeit mehrere Optionen in Betracht gezogen. Das CCS (*Carbon Capture Storage*)-Konzept wird in der Nordsee (*Miller Field*) getestet. Das CO<sub>2</sub> wird in die Erdöl-Lagerstätte geleitet und dort im Fels gebunden und gespeichert. Mit dem erzeugten Wasserstoff wird über eine H<sub>2</sub>-Turbine Strom erzeugt und in das elektrische Netz eingespeist.

## **Resümee und Schlussfolgerungen**

Die Energieversorgung von heute, die weltweit zu 90% auf Fossilen Energieträgern aufbaut, ist im hohen Ausmaß an der Emission von Schadstoffen beteiligt. Neben den „klassischen“ Emissionen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, flüchtige organische Nicht-Methanverbindungen, Staub) sind vor allem die klimarelevanten Spurengase im Zusammenhang mit der Klimabedrohung durch den „zusätzlichen Treibhauseffekt“ von Interesse.

Die Prognose für die Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist alarmierend. Wenn auch bei dem Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen den vom Menschen verursachten Emissionen und dem Klima noch erhebliche Unsicherheiten bestehen, so ist es unter Experten unbestritten, dass Umwandlung und Nutzung von Energie – insbesondere die Freisetzung von Kohlendioxid – wesentliche Verursacher des erwarteten und in Ansätzen bereits erkennbaren Temperaturanstieges der Atmosphäre sind.

Diese Erkenntnis hat mittlerweile auch auf internationaler Ebene zu Konsequenzen geführt. Obwohl diese bisher nur in Form von Empfehlungen vorliegen (z.B. die Empfehlungen der Toronto-Konferenz 1988, Kyoto-Ziele 1997), ist für alle Länder der Erde ein dringender Handlungsbedarf aufgezeigt worden, mit dem Ziel einer drastischen Reduzierung von energiebedingten Emissionen von „Treibhausgasen“.

Durch technische Maßnahmen ist es in den letzten Jahren gelungen, die Schadstoffemissionen Schwefeldioxid und Stickoxide zu reduzieren, hingegen haben jedoch die atmosphärischen Konzentrationen der Spurengase Kohlendioxid, Methan, Di-Stickstoffdioxid und Ozon in Bodennähe weiter zugenommen, welche – nach Klimamodellrechnungen – weltweite Klimaänderungen befürchten lassen.

Eine Reduzierung von schädlichen Verbrennungsprodukten lässt sich durch eine vollständige Verbrennung technisch realisieren, das Reaktionsprodukt Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) müsste nach der Verbrennung „abgetrennt“ und langfristig gesichert gespeichert werden: CO<sub>2</sub>-Management. Methoden zum CO<sub>2</sub>-Management sind derzeit in Entwicklung/Erprobung.

Die meisten bisher entwickelten und vorgelegten Prognosen und Szenarien der zukünftigen Energieversorgung der Welt gehen davon aus, dass der Bedarf Fossiler Energieträger weiter zunehmen wird, und berücksichtigen somit nicht die Konsequenzen, die sich aus der Zunahme der Treibhausgase ergeben. Waren bis vor kurzem noch Begrenztheit fossiler Ressourcen, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit die bestimmenden Kriterien für die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung, so ist das Kohlendioxidproblem in den letzten Jahren dazugekommen. Möglicherweise könnte dieses Problem die weitere Energieversorgung entscheidend bestimmen.

Die Reduktion der aus dem Energiebereich stammenden Spurengas-Emissionen stellt allerdings eine große Herausforderung an die Technik dar. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand gilt es vor allem, Spurengas-Emissionen zu vermeiden. Dazu bieten sich grundsätzlich die folgenden Möglichkeiten an: Energieeinsparung, umweltbewussteres Verhalten und Konsumverzicht, Reduktion durch Erneuerbare Energie, Reduktion durch Emissionsrückhaltung und Reduktion durch Austausch von fossilen Brennstoffen. Eine Lösung über Kernenergie wird durch das Gefahrenpotential durch radioaktive Strahlung bei Unfällen sowie durch das noch ungelöste Problem der Endlagerung – verbunden mit der Langzeitwirkung radioaktiver Strahlung – in Frage gestellt.

Von den genannten Möglichkeiten zur Reduktion der energiebedingten klimarelevanten Spurengase kommt der Energieeinsparung (effiziente Energienutzung) die höchste Priorität zu. Aber auch die Nutzung Erneuerbarer Energieträger stellt eine Möglichkeit dar, Spurengas-Emissionen bei der Energieversorgung zu vermindern.

## Auswirkungen Energie-bedingter Emissionen auf die Umwelt

**STAUB:** Dieser besteht aus nicht brennbaren Feststoffpartikeln. Diese wiederum wirken auf die Atemwege, wobei die gesundheitliche Belastung von Kerngröße und chemischer Zusammensetzung abhängt. Die Rückhaltung von Staub aus den Rauchgasen ist durch geeignete Filter möglich, wobei bei Großfeuerungen dies heute üblich und auch Stand der Technik ist.

**Feinstaub:** Man unterscheidet zwischen primären (direkt von der Emissionsquelle) und sekundären Partikeln (Sulfate, Nitrate und Kohlenstoff, entstehen in der Atmosphäre aus  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und unverbrannten Kohlenwasserstoffen). Als gesundheitsschädigende Schadstoffe sind „Feinstaub-Emissionen“ mit Partikelgrößen kleiner 10 Mikrometer einzustufen.

**KOHLLENWASSERSTOFFE:** Kohlenwasserstoffe entstehen aufgrund unvollkommener Verbrennung und können krebserregend wirken. Es ist heute jedoch noch nicht wissenschaftlich abgesichert, wo die Grenzen ihrer Gesundheitsschädlichkeit liegen.

**STICKOXIDE:** Stickoxide werden bei hohen Temperaturen gebildet, bei denen sich die in der Luft enthaltenen Sauerstoff- und Stickstoffatome miteinander verbinden. Dies ist eine unvermeidliche Begleiterscheinung von Verbrennungsprozessen, die mit atmosphärischer Luft gespeist werden. Stickoxide verursachen Reizungen der Atemwege, wobei bei höheren Konzentrationen Bronchitis auftreten kann. Photochemische Reaktionen mit Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre können Smog und zu „sauren“ Regen führen.

Vorläufer von Nitrat; fördern auch die Bildung von bodennahem Ozon (greift Pflanzen und Atemwege an).

**SCHWEFELDIOXID:** Schwefel ist in fossilen Brennstoffen mehr oder weniger konzentriert enthalten. Als unmittelbares Verbrennungsprodukt bildet sich Schwefeldioxid. Dieses wirkt als Reizgas insbesondere auf die Schleimhäute der Atemwege und kann Pflanzenerkrankungen verursachen. Der Niederschlag von Schwefelverbindungen kann zu einer Versauerung des Erdbodens und der Gewässer beitragen. Zudem verursacht Schwefeldioxid auch Schäden an Materialien: „Steinfraß“.

Als Vorläufer zu Sulfaten Hauptverursacher chronischer und akuter Krankheiten; verursacht Ernte- und Ökosystemschäden durch saure Böden.

**KOHLLENMONOXID:** Kohlenmonoxid entsteht durch unvollkommene Verbrennung und beeinträchtigt den Sauerstofftransport im Blut. Der dadurch verursachte Sauerstoffmangel kann Beschwerden, wie Kopfschmerzen oder Übelkeit, bei starker Einwirkung sogar tödliche Atemlähmung bewirken. Ökologische Effekte wurden bisher nicht beobachtet.

**KOHLLENDIOXID:** Kohlendioxid ist das „Standardprodukt“ aller Verbrennungsprozesse. Bis heute wurden weder toxische noch ökologisch schädliche Wirkungen bekannt und aus diesem Grunde wird Kohlendioxid auch nicht als Schadstoff betrachtet. Kohlendioxid kann jedoch langzeitige Wirkungen durch Störung des ökologischen Gleichgewichtes der Erde verursachen, z.B. klimatische Effekte bei einer Zunahme des Kohlendioxidgehaltes der Erdatmosphäre: *Treibhauseffekt*.

**AMMONIAK:** Spielt eine zentrale Rolle bei der Bildung von gefährlichen sekundären Partikeln (Ammoniumnitrat und -Sulfat).

**TREIBHAUSGASE:** Kohlendioxid,  $\text{CO}_2$ , Methan,  $\text{CH}_4$ , Di-Stickstoffoxid,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{NO}_x$ , sind wirksame Treibhausgase und verantwortlich für den Treibhauseffekt und damit für den Klimawandel.

**Bildtafel 5.1: Auswirkungen Energie-bedingter Emissionen auf die Umwelt**

## Bedrohung der Erde durch Emissionen



### Natürliche und Anthropogene Emissionen

- **Unsere Umwelt wird neben natürlichen Emissionen in zunehmendem Maße durch zusätzliche Emissionen aus der Energieversorgung belastet: Energierrelevante Emissionen.**
- **Zu den energierelevanten und durch menschliches Handeln verursachten (*anthropogenen*) Emissionen, die einen Einfluss auf Umwelt und Klima haben, sind zu zählen: die direkten *Treibhausgase* Kohlendioxid und Methan und die indirekt wirkenden Emissionen (*Spurengase*) wie vor allem Stickoxide, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen sowie Schwefeldioxid.**

**Bildtafel 5.2: Natürliche und anthropogene Emissionen**



## Natürliche Emissionsprozesse (1)

Natürliche Emissionsprozesse entstehen durch:

- **Mikrobielle Prozesse**  
(*Verwesung, Vorgänge am Boden*),
- **Vulkanische Tätigkeit,**
  - **Gewitter,**
  - **Waldbrände,**
- **Photochemische Abläufe in der Atmosphäre,**
  - **Erosion,**
- **Pflanzenausdünstung,**
  - **Viehhaltung.**

## Natürliche Emissionsprozesse (2)

Freigesetzte Komponenten durch natürliche Emissionsprozesse sind:

Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , Kohlenmonoxid  $\text{CO}$ ,  
Methan  $\text{CH}_4$ , Stickoxide  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_x$ ,  
Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$ , Schwefelwasserstoff  $\text{H}_2\text{S}$ ,  
Unverbrannte Kohlenwasserstoffe  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  
Organische S-Verbindungen, Ozon  $\text{O}_3$ , Staub,  
Diverse organische Verbindungen durch  
Pflanzenausdünstungen.

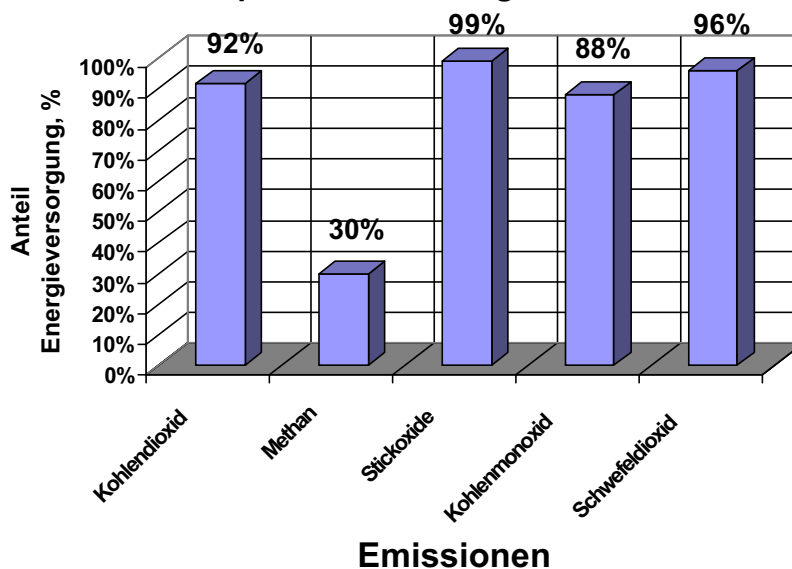
Bildtafel 5.3: Natürliche Emissionsprozesse

## Anthropogene Emissionen

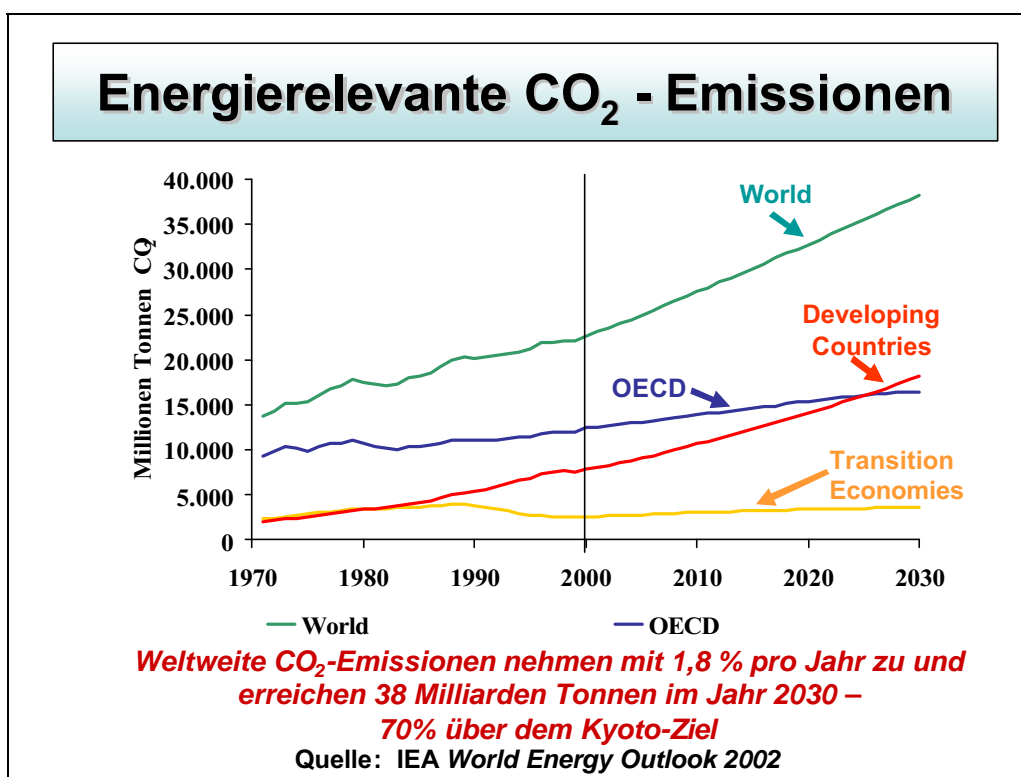
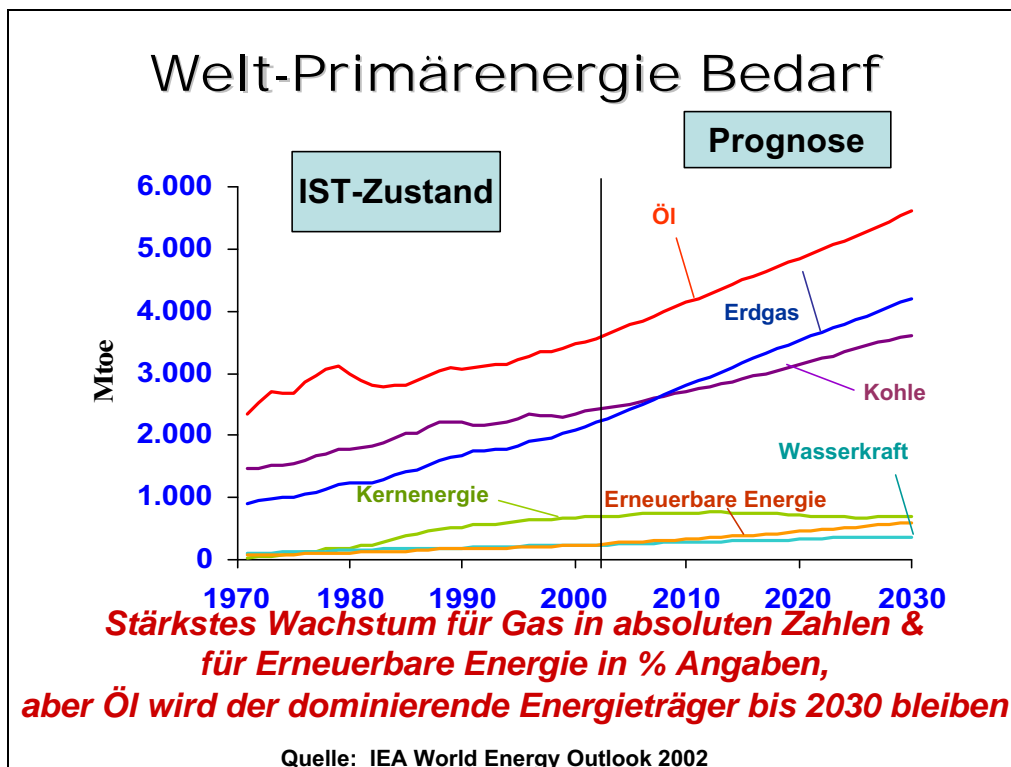
Die Emission von Spurengasen wird wesentlich durch die Energieversorgung verursacht:

- Kohlendioxid, CO<sub>2</sub>: 92%
- Methan, CH<sub>4</sub>: 30%
- Stickoxide, NO<sub>x</sub>: 99%
- Kohlenmonoxid, CO: 88%
- Schwefeldioxid, SO<sub>2</sub>: 96%.

Anteil der Energieversorgung an umweltrelevanten Spuren-/Treibhausgasen

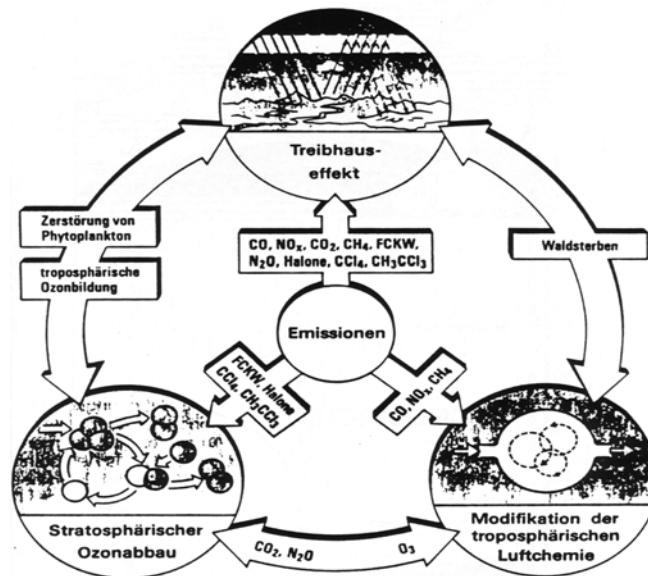


Bildtafel 5.4: Anthropogene Emissionsprozesse



**Bildtafel 5.5: Weltenergie-Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Emission  
Entwicklung und Zukunftsoption**

## Klimabedrohung durch Emissionen



## Bedrohung der Erde durch Spurengase

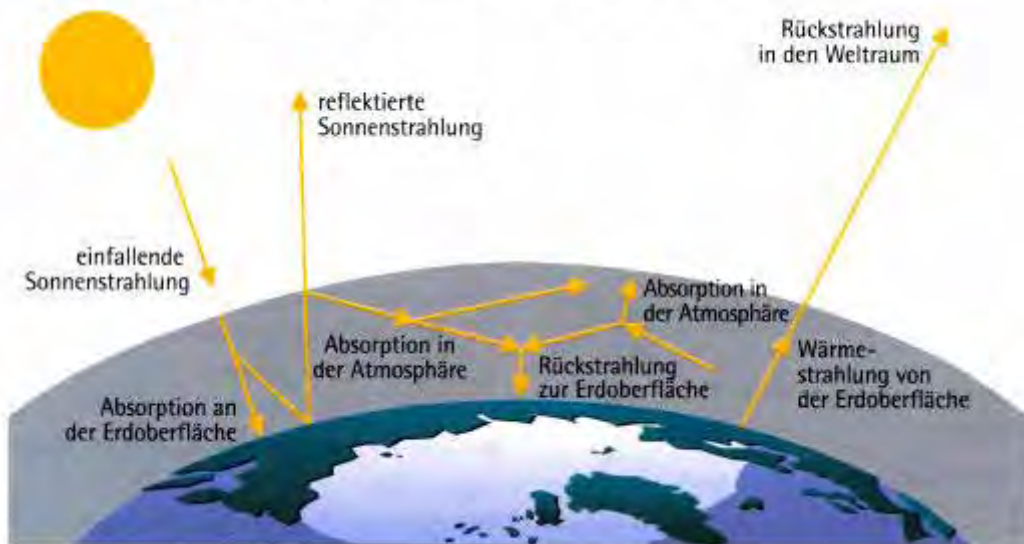
Die Spurengase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , Kohlenwasserstoffe, Fluorkohlenwasserstoffe bedrohen das Klima und das Leben auf der Erde durch:

- **Globale Erderwärmung (Treibhauseffekt),**
  - **Troposphärische Ozonbildung,**
  - **Stratosphärische Ozonbildung mit Ozonabbau in der Atmosphäre,**
  - **Waldsterben.**

Bildtafel 5.6: Bedrohung der ERDE durch Emissionen

## Der Treibhaus-Effekt

Wirkung von Spurengasen auf die Temperatur der Erdoberfläche



## Die Atmosphäre

**Die Atmosphäre sichert den Lebensraum unseres Planeten:**

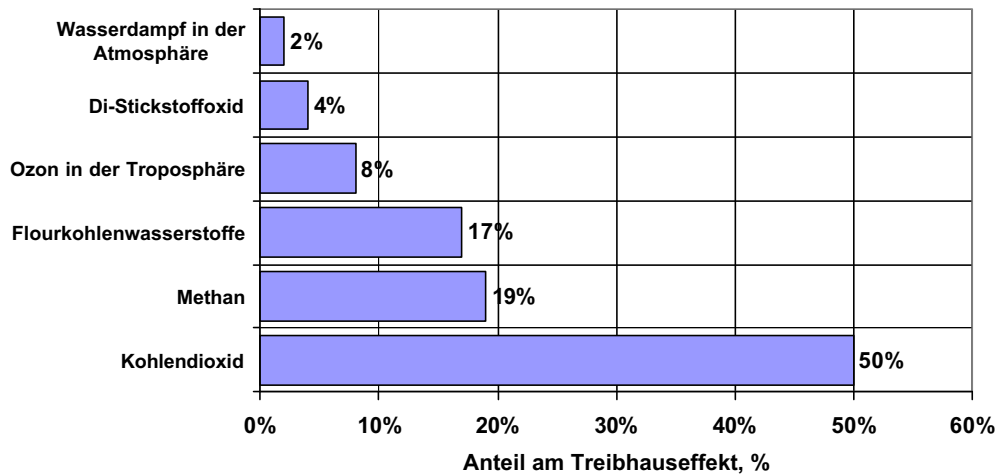
- Kurzwellige und intensive Sonnenstrahlung wird zurückgehalten,
- Die Abstrahlung der langwelligeren Wärmestrahlung wird ermöglicht.

**Störungen in der Atmosphäre gefährden den Lebensraum:**

- In der Atmosphäre absorbierte  $\text{CO}_2$ -Partikel reflektieren die Wärmeabstrahlung und führen damit zu einer Erderwärmung („Treibhauseffekt“).

Bildtafel 5.7: Der Treibhaus-Effekt

## Beitrag von Spurengasen zum "zusätzlichen" Treibhauseffekt



## CO<sub>2</sub>-Emissionsäquivalent

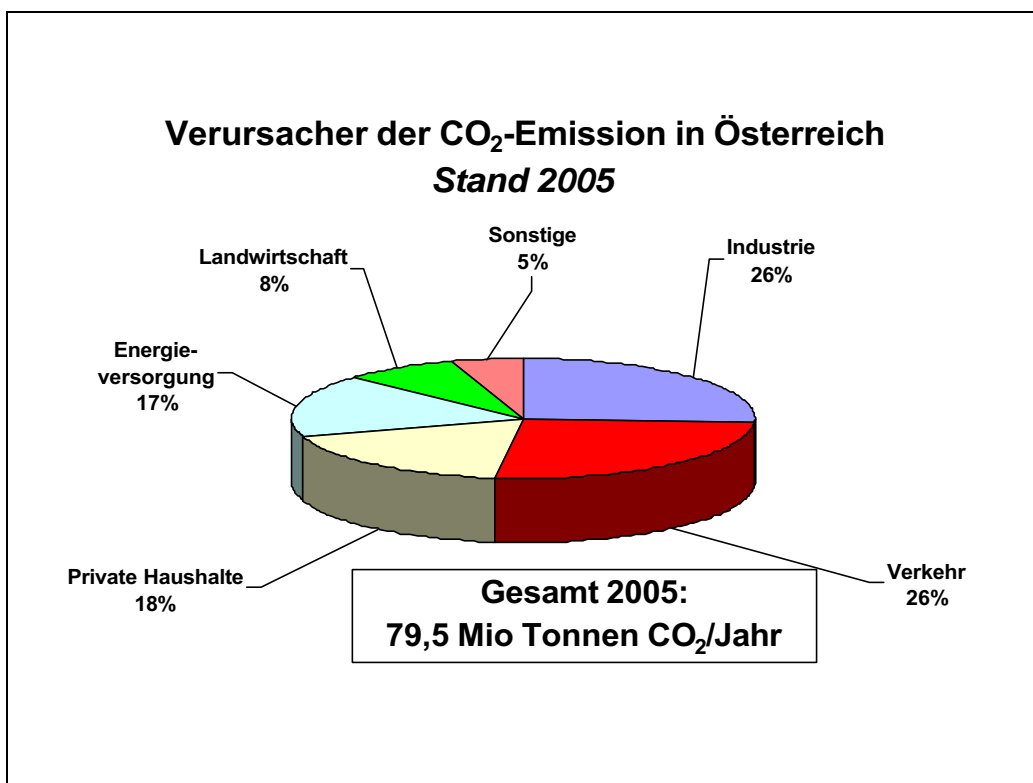
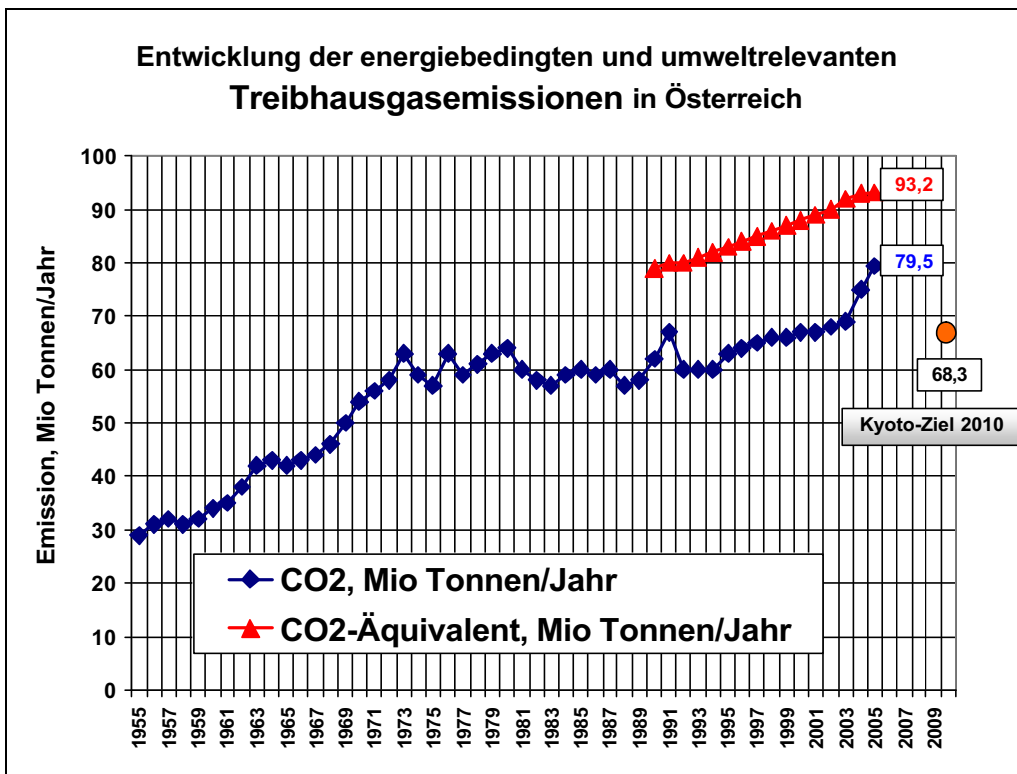
Die Wirkung der einzelnen Spurengase auf den Treibhauseffekt werden durch das **CO<sub>2</sub>-Emissionsäquivalent** ausgedrückt.

*So hat beispielsweise Methan (CH<sub>4</sub>) eine um das 21-fache stärkere Treibhauswirkung im Vergleich zu CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O ist sogar um 310-fach stärker in der Treibhauswirkung als CO<sub>2</sub>.*

CO <sub>2</sub> -Emissionsäquivalent der klimawirksamen Spurengase		
CO <sub>2</sub> -Äquivalenzfaktor		
Gas		Faktor
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	x 1
CH <sub>4</sub>	Methan	x 21
N <sub>2</sub> O	Lachgas	x 310
HFC	teilflourierte Kohlenwasserstoffe	x rd. 14.000
PFC	vollflourierte Kohlenwasserstoffe	x rd. 14.000
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid	x rd. 24.000

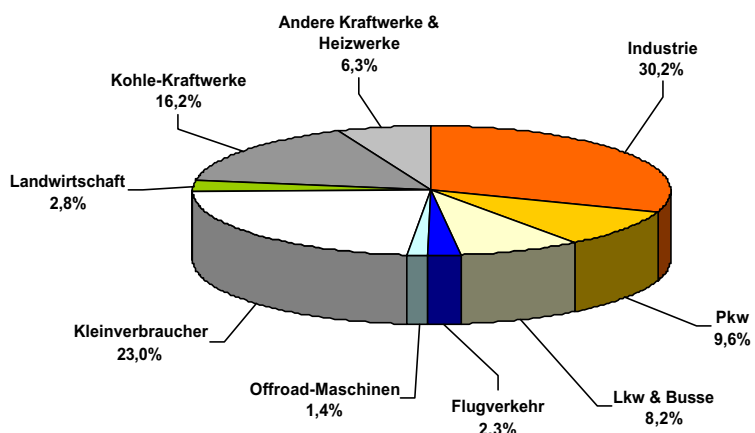
**Bildtafel 5.8: Treibhausgase und CO<sub>2</sub>-Äquivalent**





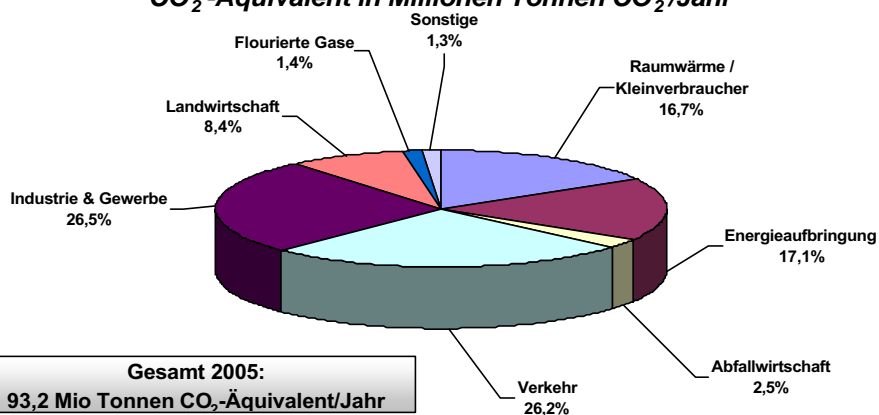
**Bildtafel 5.9a: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich  
Entwicklung und Verursacher**

## Energiebedingter Kohlendioxid-Ausstoß in Österreich im Jahre 2005



Gesamter energiebedingter CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Österreich im Jahre 2005:  
91,7 Millionen Tonnen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

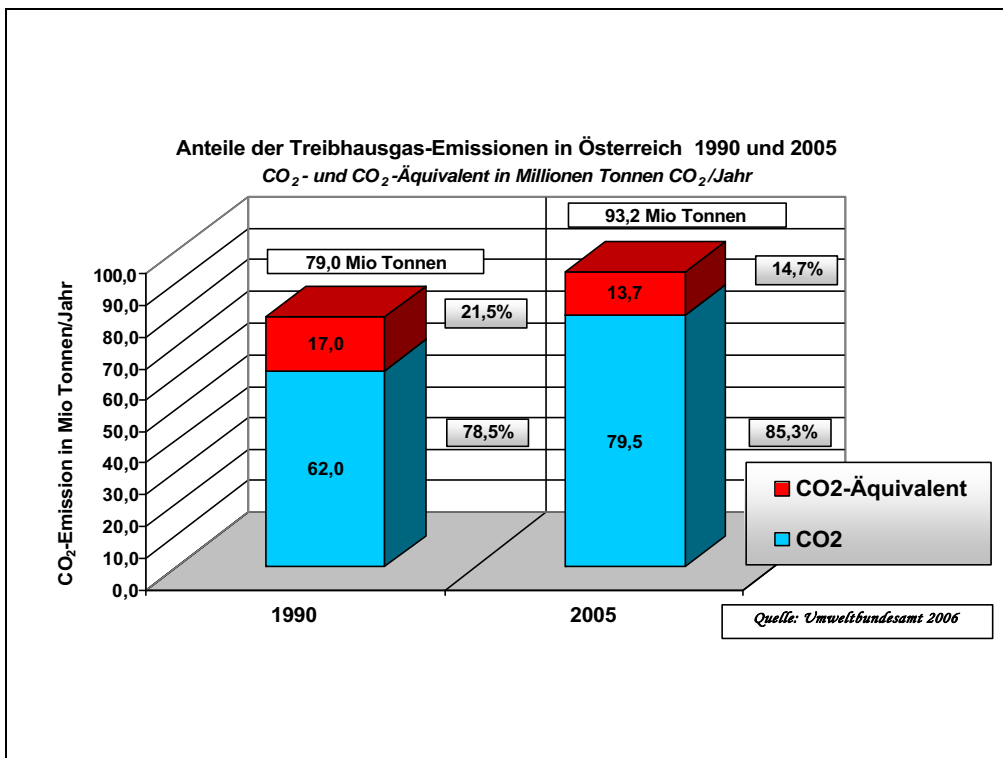
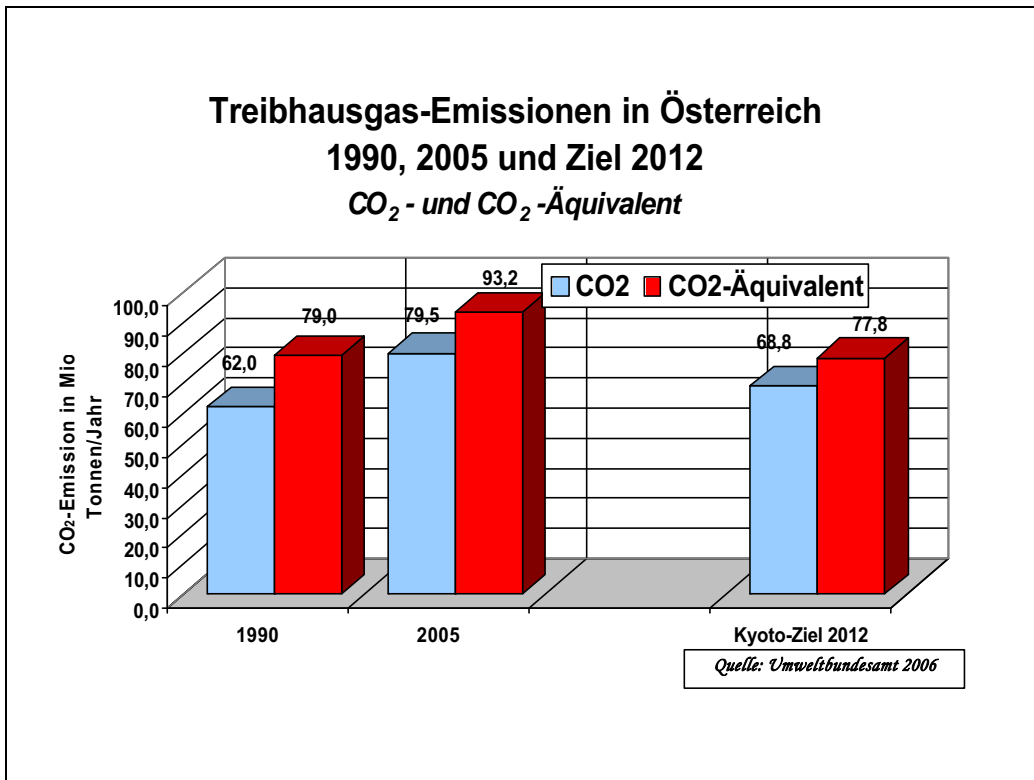
## Treibhausgas-Emissionen in Österreich 2005 CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>/Jahr



Gesamt 2005:  
93,2 Mio Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent/Jahr

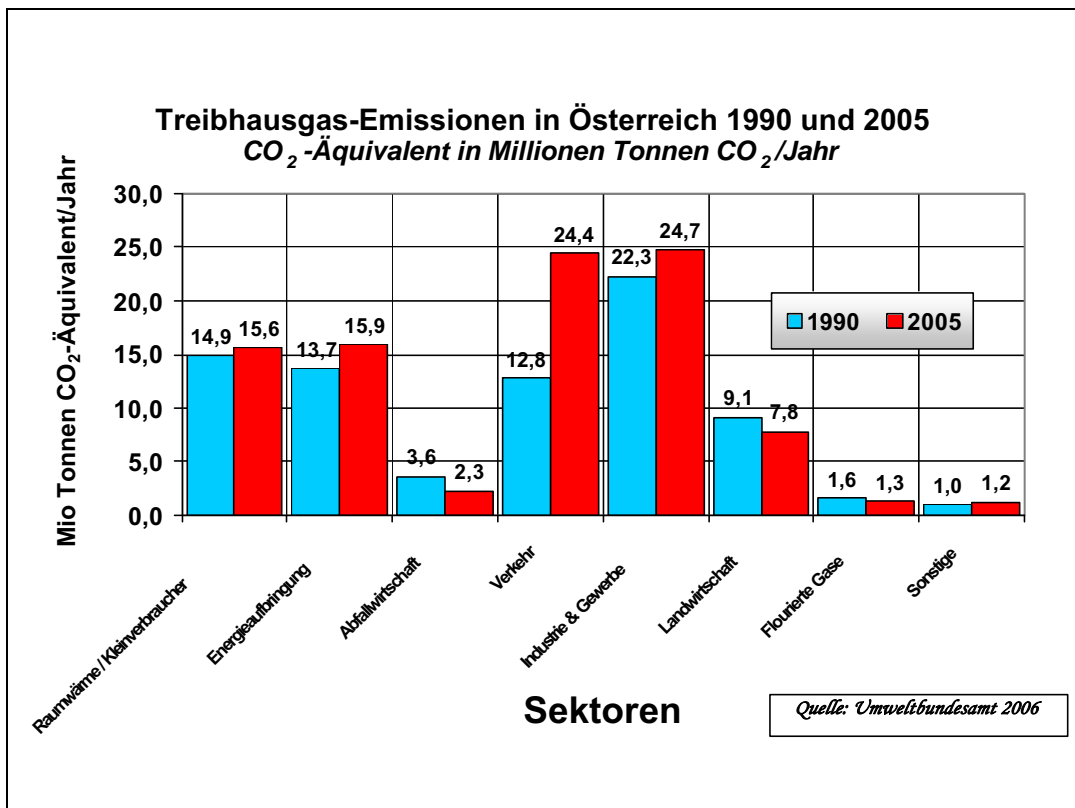
Quelle: Umweltbundesamt 2006

**Bildtafel 5.9b: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich**  
*Aktuelle Treibhausgas-Emissionen*



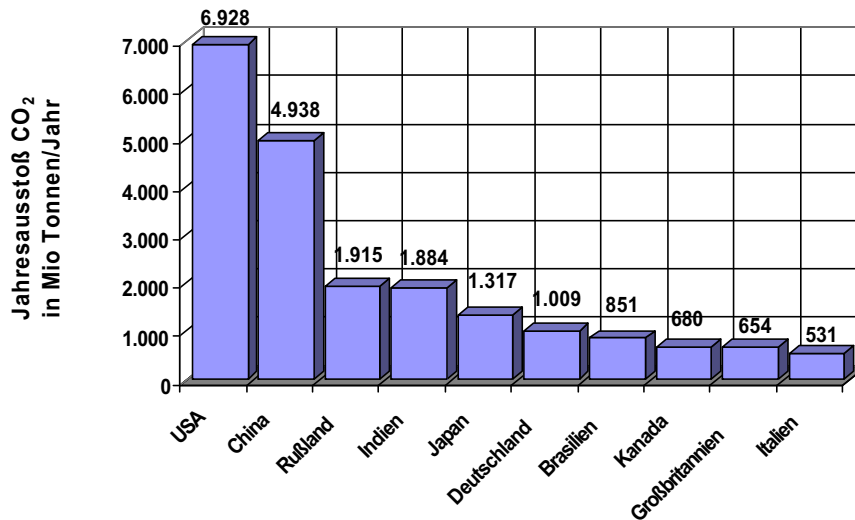
**Bildtafel 5.9c: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich**  
*Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen*

Treibhausgas-Emissionen in Österreich			
1990 und 2005			
Sektorale Emissionen	Emissionen	Mt CO <sub>2</sub> -Äquivalent	
		1990	2005
Raumwärme und sonstige Kleinverbraucher	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	14,9	15,6
Energieaufbringung Strom- und Wärmeerzeugung, Raffinerien	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	13,7	15,9
Abfallwirtschaft	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	3,6	2,3
Verkehr	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	12,8	24,4
Industrie und produzierendes Gewerbe	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	22,3	24,7
"Fluorierte Gase"	H-FKW + PFKW + SF <sub>6</sub>	1,6	1,3
Sonstige CO <sub>2</sub> -, N <sub>2</sub> O- und CH <sub>4</sub> - Emissionen	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	1,0	1,2
Landwirtschaft	N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	9,1	7,8
<b>SUMME</b>		<b>79,0</b>	<b>93,2</b>



**Bildtafel 5.9d: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich**  
*Verursacher*

## Die zehn größten Verursacher von Kohlendioxid-Emissionen 2000



### Prognose für die Entwicklung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen (1)

- Derzeit (2002) tragen die OECD-Länder mit 54% zum weltweiten Ausstoß energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, gefolgt von den Entwicklungsländern mit 36% und den in Entwicklung befindlichen Ländern (*“Transition Economies”*) mit 10%.
- Nach der IEA-Prognose werden im Jahre 2030 die Entwicklungsländer mit 49% Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen die größten Verursacher an energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sein, gefolgt von den OECD-Ländern mit 42% und den *“Transition Economies”* mit 9%.

**Bildtafel 5.10a: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen Verursacher-Länder und Entwicklungsprognosen**

### Prognose für die Entwicklung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen (2)

- Die auf die Einwohner bezogene jährliche CO<sub>2</sub>-Emission liegt derzeit bei:

11 Tonnen CO<sub>2</sub> in den OECD-Ländern, gefolgt von 7 Tonnen CO<sub>2</sub> in den "Transition Economies" und 1,5 Tonnen CO<sub>2</sub> in den Entwicklungsländern.

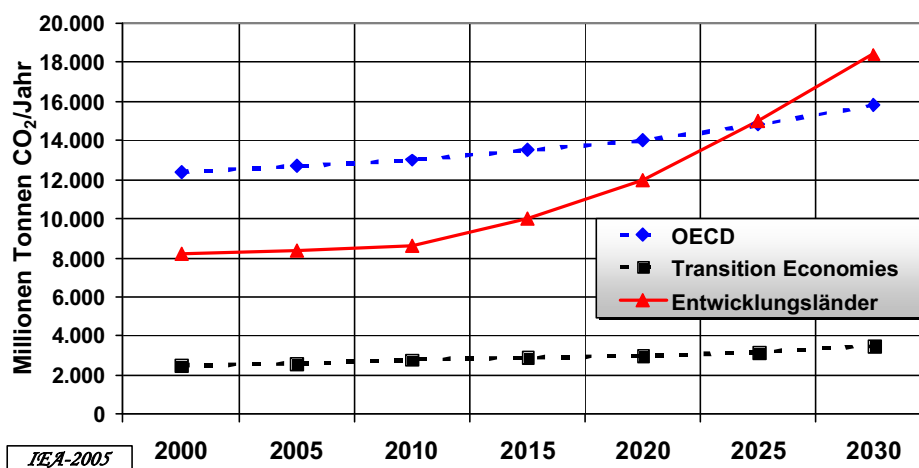
- Für das Jahr 2030 werden die folgenden Emissionswerte pro Einwohner prognostiziert:

OECD-Länder: 12 Tonnen CO<sub>2</sub>,

Entwicklungsländer: 2,5 Tonnen CO<sub>2</sub>,

Transition Economies: 10,5 Tonnen CO<sub>2</sub>.

### Prognose für die weltweite Entwicklung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen



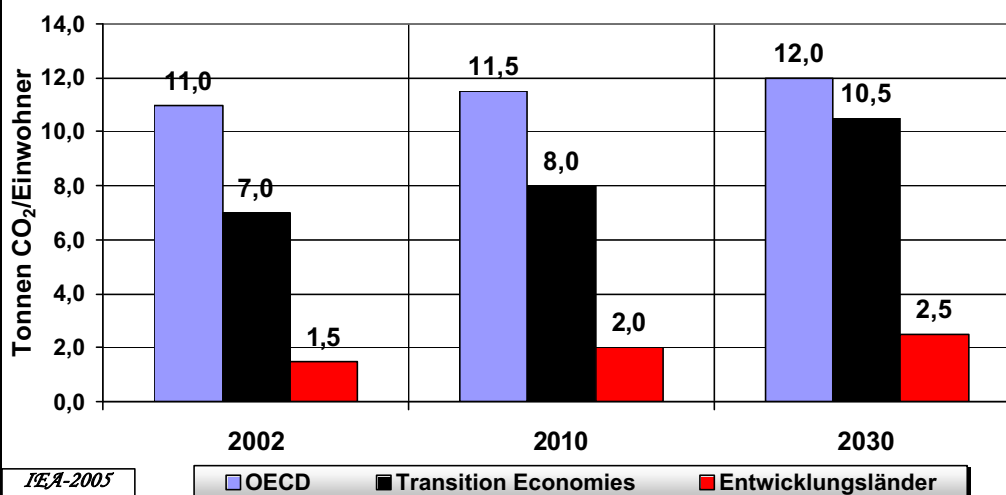
Bildtafel 5.10b: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen  
Weltweite Entwicklungsprognosen



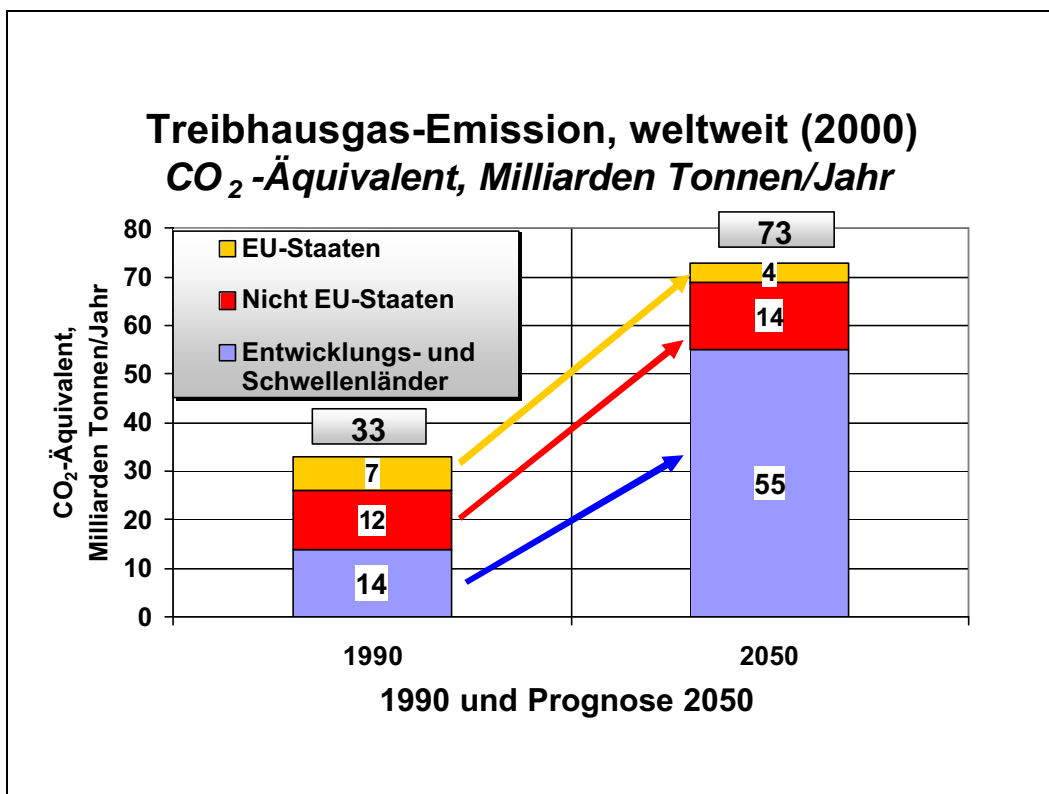
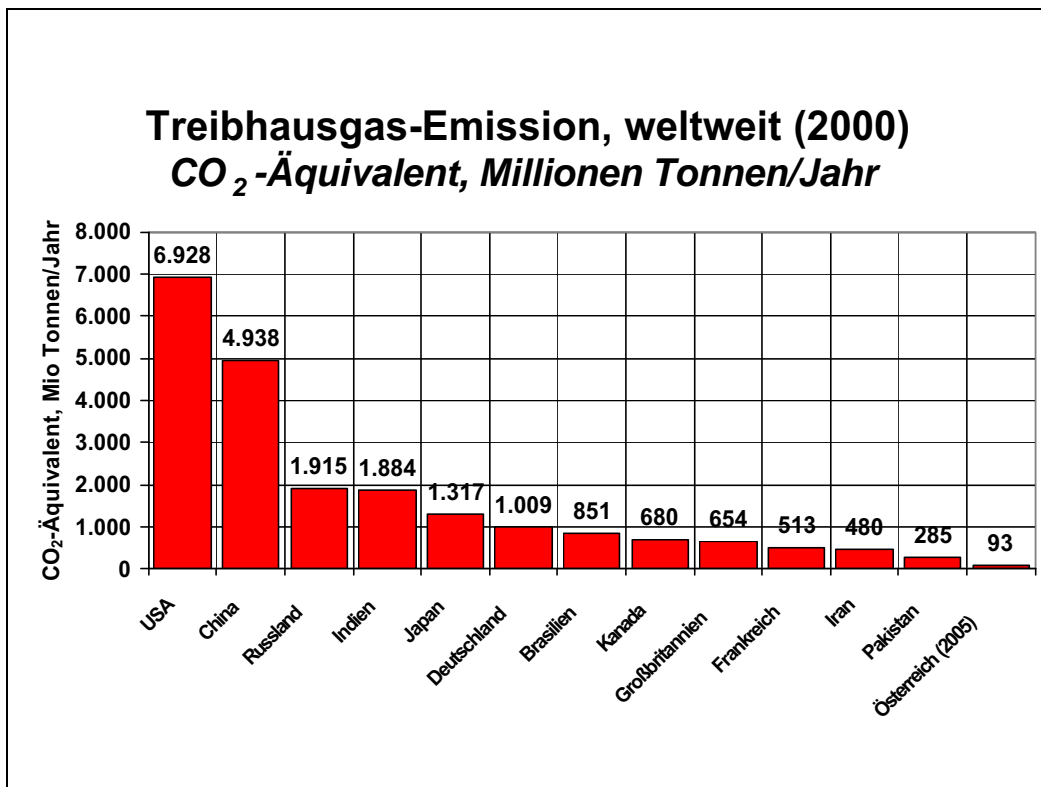
### Prognose für die Entwicklung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen (3)

- Die stärkeren CO<sub>2</sub>-Emissionen in Transition Economies werden auf einen zunehmenden Einsatz von Kohle insbesondere in den Ländern China und Indien zurückgeführt, der geringere CO<sub>2</sub>-Anstieg in Entwicklungsländern geht von der Annahme aus, dass in diesen Ländern auch in den nächsten Jahrzehnten Biomasse als Energieträger herangezogen werden wird.
- Allerdings wäre zu beachten, dass die Nutzung von Biomasse in Entwicklungsländern nicht immer “nachhaltig” erfolgt und damit auch nicht als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft werden kann.

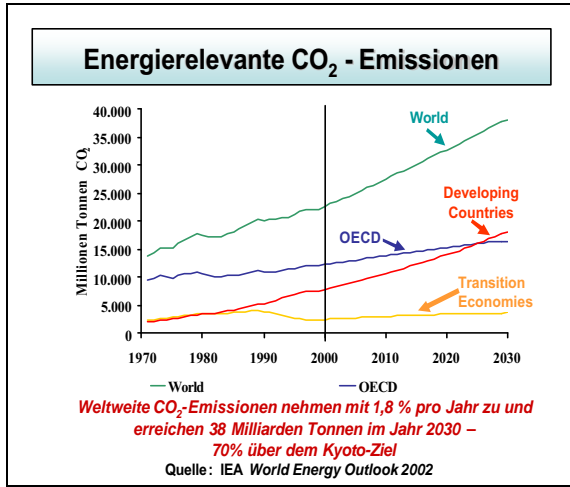
### Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emission pro Einwohner: 2002 bis 2030



Bildtafel 5.10c: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen  
Weltweite Entwicklungsprognosen



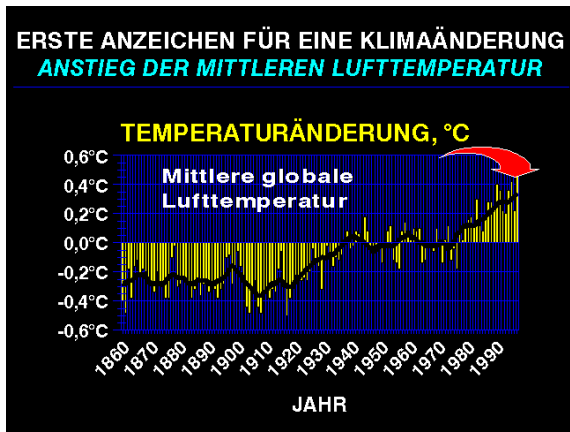
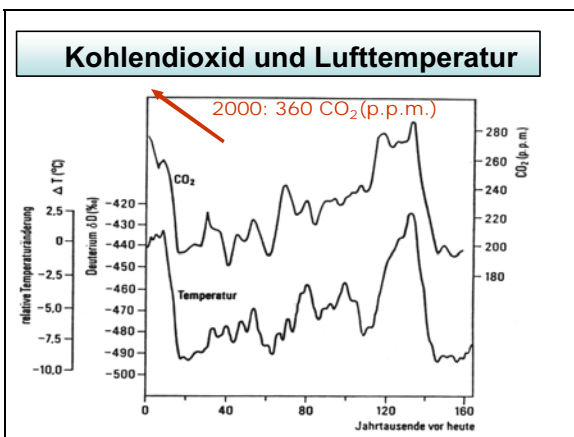
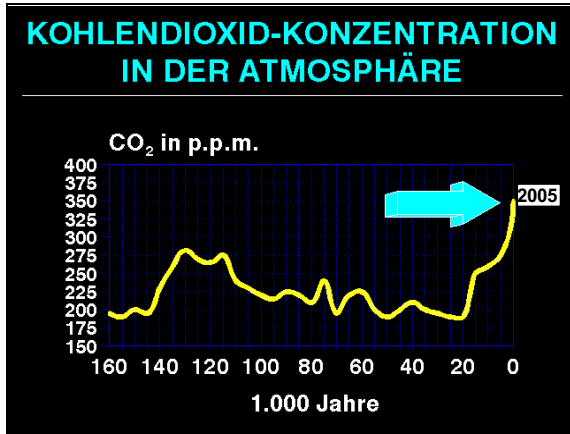
**Bildtafel 5.10d: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen  
IST-Zustand und Prognose**



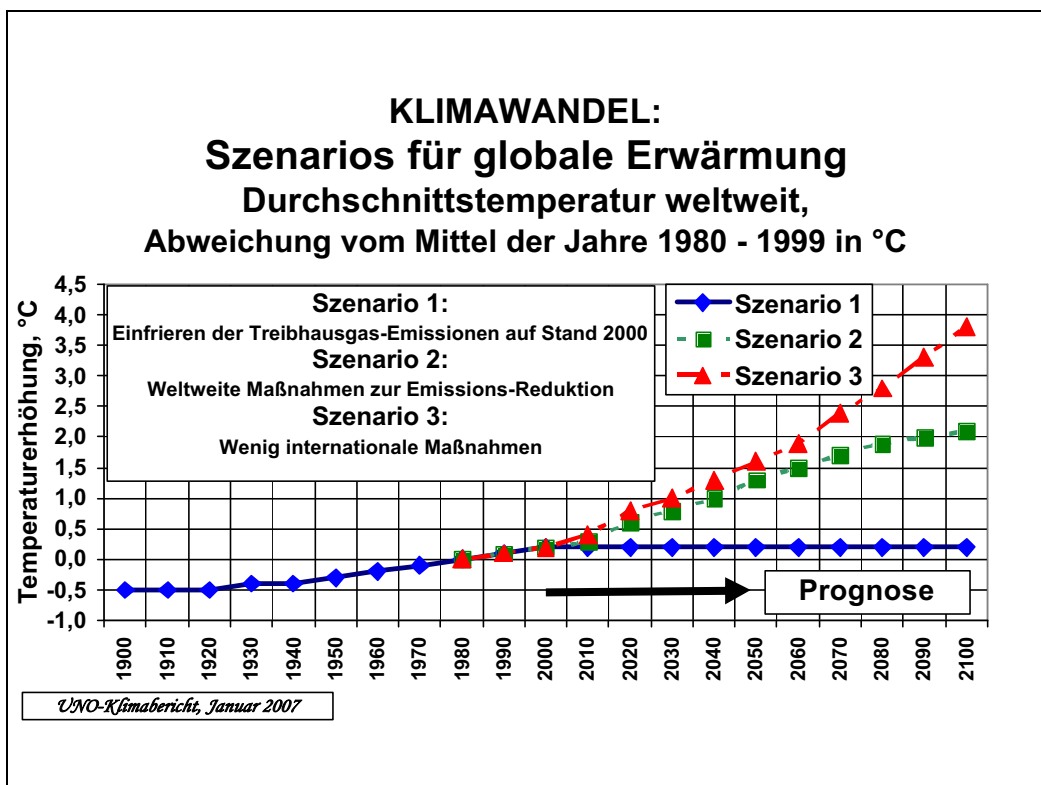
### Anzeichen für eine Klimaänderung

Deutliche Anzeichen für eine Klimaänderung sind:

- Zunehmende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre,
- Zunahme der mittleren globalen Lufttemperatur,
- Zunahme von Naturkatastrophen in Form von Überschwemmungen und Stürmen.

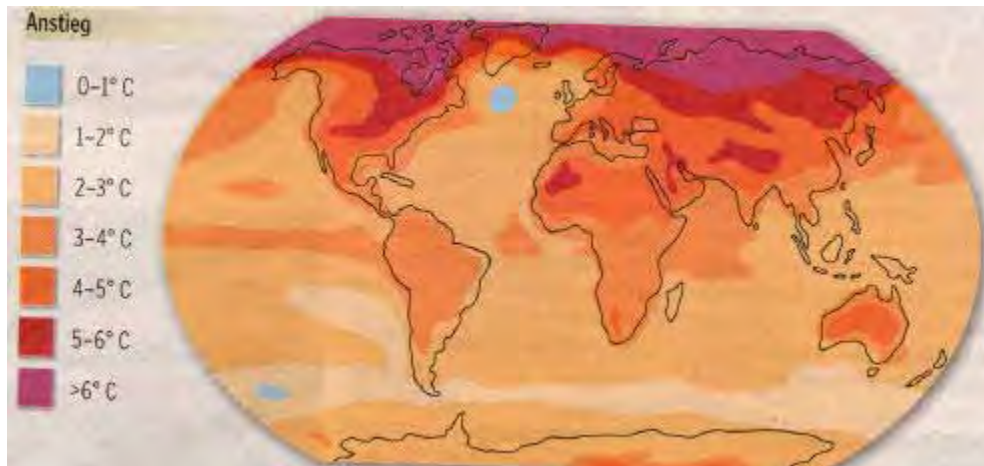


**Bildtafel 5.11: Signale für eine Klimaänderung**



**Bildtafel 5.12a: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimawandel**  
*Szenario für globale Erwärmung*

## Prognostizierter Temperaturanstieg bis 2099



(1) Abschmelzen der Pole, (2) Auftauen von Permafrostboden,  
(3) Dürre und Brände, (4) Sintfluten und Stürme,  
(5) Ozeane in Not, (6) Artenverlust

**Bildtafel 5.12b: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimawandel**  
*Szenario für Folgen der globalen Erwärmung*

## Die Folgen eines Klimawandels



**Als besondere Gefahrenquellen werden im UN-Klimabericht 2007 – im Falle keiner nennenswerten Reduktion von Treibhausgasen – angesehen:**

**(1) Beringsee:**

**Eisschmelze gefährdet Kleinlebewesen und damit die Nahrungsgrundlage von Fischen und anderen Meeresbewohnern.**

**(2) Yangtze:**

**Der Fluss ist die Lebensgrundlage für 450 Millionen Menschen in China. Gletscherschmelze gefährdet Zufuhr.**

**(3) Himalaja-Gletscher:**

**Sie regulieren den Wasserhaushalt für mehrere hundert Millionen Menschen.**

**Schmelzen die Gletscher, dann droht Dürre.**

**(4) Amazonas-Becken:**

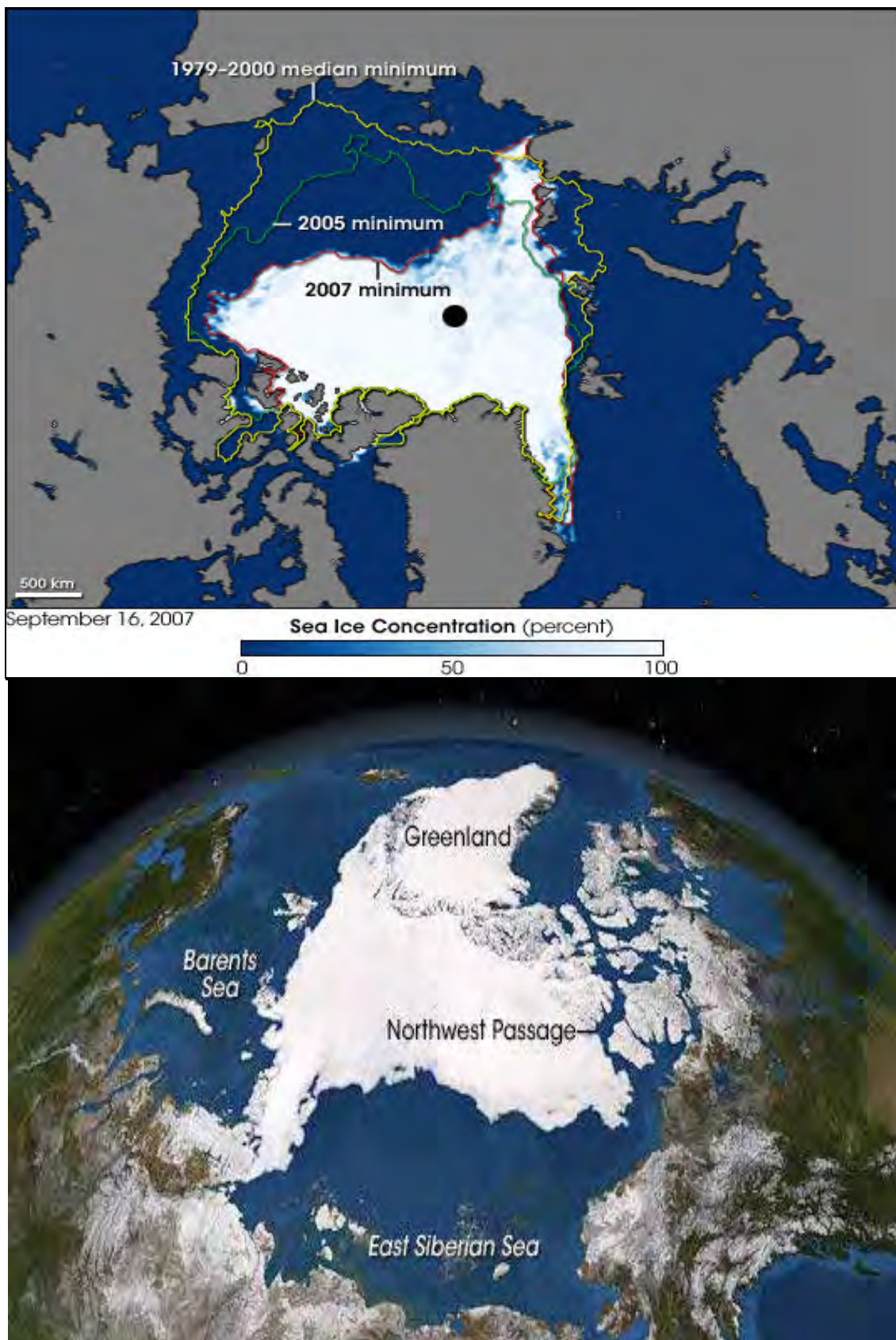
**Ein Temperaturanstieg von bis zu drei Grad würde 60 Prozent des Regenwaldes in eine Savanne verwandeln.**

**(5) Korallenriffe:**

**Schon bei plus ein Grad verlieren die Korallen ihre Farbe und sterben ab. Bedroht ist das Große Barriereriff in Australien.**

**Bildtafel 5.12c: Energierrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimawandel  
*Szenario für Folgen der globalen Erwärmung***





**Bildtafel 5.12d: Klimawandel und mögliche Folgen**  
*Rückgang des arktischen Meereises*

## Möglichkeiten zur Reduktion der Energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen

- Die Signale für eine rasche Klimaänderung mit einem hohen Gefahrenpotential für deutliche Veränderungen im Lebensraum und verbunden mit hohen volkswirtschaftlichen Schäden erfordern möglichst rasche und zielorientierte Maßnahmen.
- Energiepolitisch soll eine CO<sub>2</sub>-Reduktion in Europa insbesondere durch Maßnahmen zur Steigerung der **Energie-Effizienz**
  - sowohl bei Erzeugung als auch beim Einsatz – sowie durch Substitution von fossilen Energieträgern durch **umwelt-neutrale Energieträger**
    - insbesondere durch erneuerbare Energieträger – erreicht werden.

## Treibhausgas-Emissionen der Energietechniken im Lebenszyklus

### Technologie:

*Wasserkraft, Kernenergie*

*Windenergie*

*Solarenergie*

*Bioenergie*

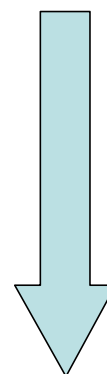
*Erdgas*

*Erdöl*

*Steinkohle*

*Braunkohle*

Gering



Hoch

**Bildtafel 5.13: Möglichkeiten zur Reduktion energierelevanter CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### **Lösungskonzepte für technische Maßnahmen zur Minderung/Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen (1)**

- **Weltweit wird nach technischen Lösungen gesucht, das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende CO<sub>2</sub> „einzufangen“ (z.B. chemisch zu binden) und zu speichern.**
- **Als geeignete Speicher für CO<sub>2</sub> bieten sich aufgelassene Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Lagerstätten an. Auch der Meeresboden wird in die Überlegungen mit eingebunden.**

### **Lösungskonzepte für technische Maßnahmen zur Minderung/Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen (2)**

- **Eine *CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Speicherung* ist insbesondere auch im Zusammenhang mit einer neuerlichen Nutzung von Kohle (z. B. China, Asien) von Bedeutung.**
- **Die Entwicklungen haben erst eingesetzt, es steht aber bereits fest, dass sich dadurch die Kosten für Wärme und Strom aus fossilen Energieträgern deutlich erhöhen würden. Damit wäre eine Wettbewerbsfähigkeit mit derzeitigen Kraftwerken auf der Basis fossiler Energieträger nicht gegeben.**

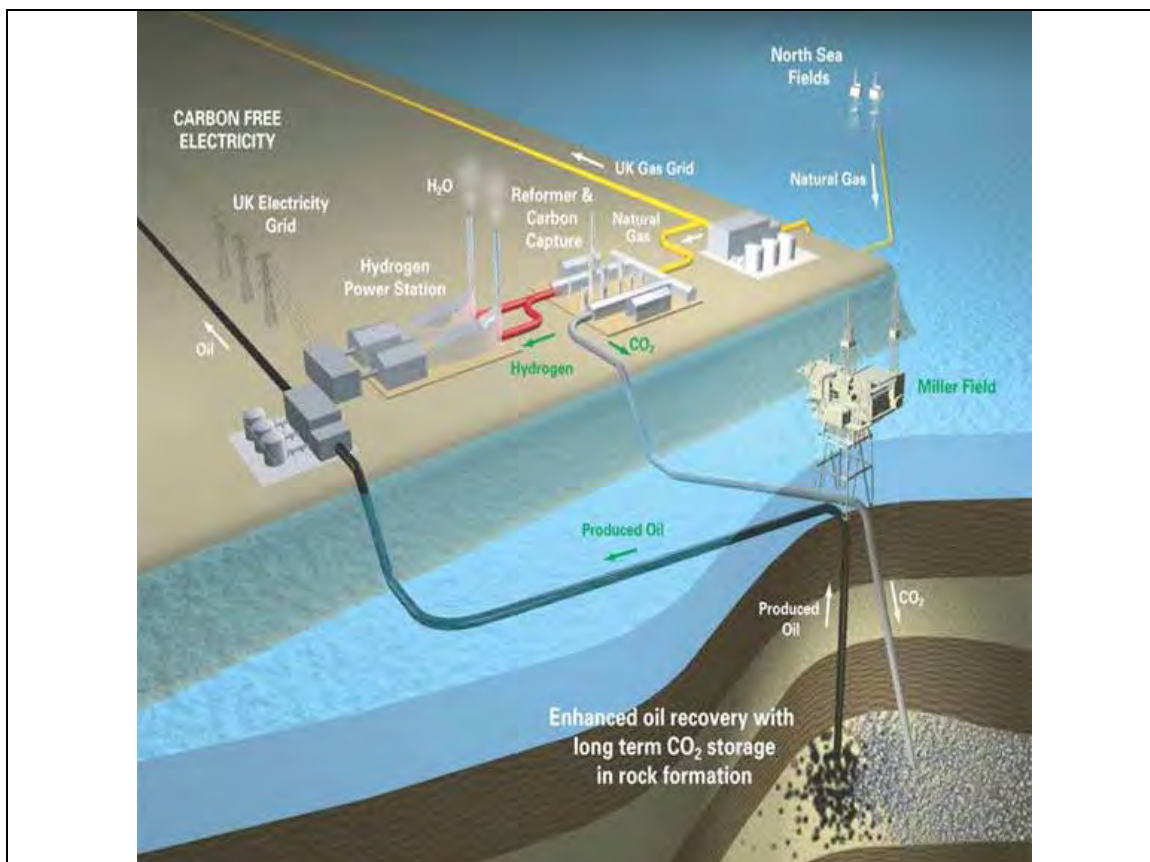
**Bildtafel 5.14: Lösungskonzepte zur Reduktion energierelevanter CO<sub>2</sub>-Emissionen**

## Aktives CO<sub>2</sub>-Management *Decarbonised Fossil Fuels*

- Für das CO<sub>2</sub>-Management von Kraftwerken mit fossilen Energieträgern werden derzeit mehrere Optionen in Betracht gezogen.
- Das CCS (*Carbon Capture Storage*)-Konzept wird in der Nordsee (*Miller Field*) getestet.
- Der Prozess läuft nach der folgenden Reaktion ab:
 

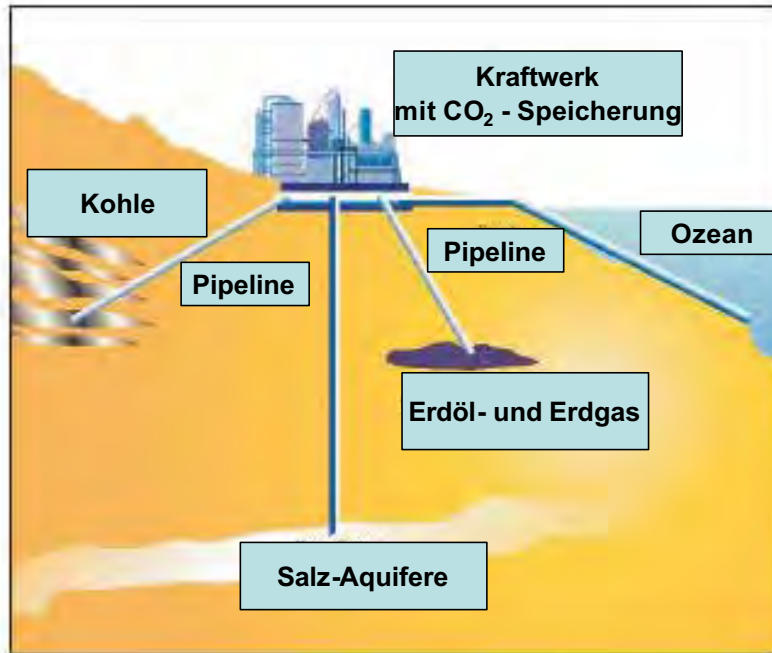
$$\text{C} + \text{Dampf} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$$

$$\text{CO} + \text{Dampf} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$$
- Das CO<sub>2</sub> wird in die Erdöl-Lagerstätte geleitet und dort im Fels gebunden und gespeichert.
- Mit dem erzeugten Wasserstoff wird über eine H<sub>2</sub>-Turbine Strom erzeugt und in das elektrische Netz eingespeist.



**Bildtafel 5.15a: Aktives CO<sub>2</sub>-Management mit CO<sub>2</sub>-Speicherung**

## CO<sub>2</sub>-Speicherung in aufgelassenen Kohle-, Erdöl- und Erdgas-Lagerstätten



**Bildtafel 5.15b: Aktives CO<sub>2</sub>-Management mit CO<sub>2</sub>-Speicherung**



## 6. Die Elemente der Energieversorgung

*Grundlagen der Energieversorgung.  
Das derzeitige Energieversorgungssystem.  
Dezentrale und zentrale Energiesysteme: Vorteile und Nachteile.  
Management der Stromnetze für eine effizientere Strom-Erzeugung  
und Strom-Nutzung.  
Effizienz bei Energie-Erzeugung und Energie-Anwendung.  
EU-Ziele zur Energie-Effizienz und zum Energie-Sparen.*





# Die Elemente der Energieversorgung

## Grundlagen der Energieversorgung

Die Energieversorgung stellt ein komplexes System mit Rohstoff-Förderung, Transport, Speicherung und Erzeugung von Nutzenergie über Umwandlungstechniken dar; Bildtafel 6.1, Bildtafel 6.2 und Bildtafel 6.3.

Für den Transport stehen Verteilnetze für flüssige und gasförmige Energieträger (Pipelines, Verkehrsmittel auf dem See- und Landweg), für die Speicherung Kurzzeit- und Langzeit-Speicher (Wärme- und Wasser-Speicher, Elektro-Speicher und chemische Speicher)), für die Energieerzeugung Heizkessel und Kraftwerke für Wärme- und Stromerzeugung sowie für die Wärme- und Stromverteilung Wärme- und Stromnetze zur Verfügung

Für die Energie-Erzeugung werden *zentrale und dezentrale* Energiesysteme eingesetzt. Zentrale Systeme sind gekennzeichnet durch große Umwandlungseinheiten, weitläufige Verteilungsnetze, hohe Effizienz bei Energieumwandlung, aber auch durch hohe Wärmeverluste in nicht voll genutzten Wärmenetzen sowie durch Versorgungsprobleme bei Ausfall des Energieerzeugers; Bildtafel 6.4. Dezentrale Systeme mit kleineren Versorgungseinheiten erfordern einen erhöhten Aufwand bei dem Energie-Management und verursachen im Allgemeinen höhere Investitionskosten, allerdings auch bei höherer Versorgungssicherheit; Bildtafel 6.5.

## Das derzeitige Energieversorgungssystem

Unser heutiges Energieversorgungssystem ist weltweit aufgebaut, mit großen Abhängigkeiten zwischen Energie-Produzenten und Energie-Verbrauchern.

Die Energieversorgung von HEUTE stellt ein stark vernetztes System von der Bereitstellung von Energieträgern bis zu deren Nutzbarmachung dar: Vom Energie-Rohstoff / Energie-Träger über Zwischenspeicherung, Transport zur Energie-Umwandlung und weiter über die Energie-Verteilung zur Energie-Nutzung / Energie-Einsatz.

Aufgabe der Techniken und der Organisation ist es, den gesamten Bereich der Energieversorgung möglichst effizient und wirtschaftlich – unter Beachtung der Versorgungssicherheit, möglicher Risiken und Gefahren sowie der Umwelt und der sozialen Verträglichkeit (Akzeptanz) zu gestalten.

## Dezentrale und zentrale Energiesysteme: Vorteile und Nachteile

Der Übergang von den lokalen und damit dezentralen Energieversorgungssystemen der vorindustriellen Zeit hin zu den heutigen zentralen Energieversorgungssystemen machte es möglich, dass auch der mit wachsender Bevölkerung steigende Energiebedarf gedeckt werden konnte. Nur mit zentralen Systemen wurde es möglich, der Bevölkerung in Ballungsgebieten die neuen Energiequellen Erdöl und Erdgas verfügbar zu machen.

Der Vorteil von dezentralen Energiesystemen liegt in einer effizienteren Nutzung *Erneuerbarer* Energieträger, im Wegfall einer kostenintensiven Infrastruktur betreffend Verteilungsnetze und Energie-Management, und insbesondere in der Möglichkeit zur Nutzung lokal verfügbarer Energieträger und damit in einer größeren Unabhängigkeit.

Für zukünftige Energiesysteme wird die Kombination von zentralem Energiesystem mit dezentralen Erzeugungseinheiten gefragt sein; Bildtafel 6.6.

## **Management der Stromnetze für eine effizientere Strom-Erzeugung und Strom-Nutzung**

Derzeitige Stromversorgungsnetze basieren im Wesentlichen auf einer zentralen Versorgung durch Großkraftwerke, die in das Hochspannungsnetz einspeisen. Dezentrale Erzeugungsanlagen – insbesondere mit Erneuerbaren Energieträgern (Wind, Sonne, Biomasse) – speisen auch in den unteren Netzebenen (Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz) ein. Damit werden aus den „passiven“ Elementen auf der Verbraucherseite „aktive“ Erzeuger. Bildtafel 6.7 (a und b).

Eine Erhöhung der Energieeffizienz bei der Erzeugung und Anwendung von Strom mit der Zielsetzung eines verstärkten Einsatzes Erneuerbarer Energieträger stellt an das Energiesystem neue technologische und organisatorische Anforderungen. Grundlegende Systemfragen wie Netzmanagement, Kapazitätsplanung, Stabilität, Schutzstrategien, Versorgungsqualität und Optimierung von Energie-Angebot und Energie-Verbrauch treten in den Vordergrund und verlangen intensive Anstrengungen in Forschung und Entwicklung.

Um einerseits die Netzqualität bei der fluktuierenden Erzeugung (z.B. Spannungsschwankungen bei der Einspeisung) und andererseits den Beitrag dezentraler Stromerzeugungsanlagen effizient zu gestalten, ist eine Optimierung der Abstimmung von Angebot und Nachfrage erforderlich. Geeignete Instrumente zur Optimierung des elektrischen Energiesystems bei Integration von dezentraler Stromerzeugung sind Erzeugungs-, Last- und Netzmanagement in Verbindung mit Monitoring. Internationale Forschungsprojekte sollen zu einer Lösung dieses Problems beitragen; Bildtafel 6.2.

## **Effizienz bei Energie-Erzeugung und Energie-Anwendung**

Die Wirkungsgrade bei der Wärmeerzeugung in Kraftwerken und Heizkesseln konnten in den letzten Jahren durch verbesserte Verbrennungstechnik (z.B. Brennwerttechnik) wesentlich verbessert werden. Die Wirkungsgrade bei der thermischen Stromerzeugung liegen in konventionellen Kraftwerken noch unter 50%, in modernen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen wird ein Gesamtwirkungsgrad (Wärme und Strom) von über 80% erzielt. Ziel derzeitiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es, den Wirkungsgrad von fossil gefeuerten Kraftwerken auf über 70% zu steigern.

Die Wärmeverluste bei Transport (Fernwärmeleitungen) und Speicherung (Warmwasserspeicher bei Heizkessel) werden von der Wärmeisolation der Leitungen und Speicher sowie von der Abnehmerdichte bei Fernwärmenetzen bestimmt.

Höhere Energieeffizienz ist heute in allen Einsatzbereichen mit vorhandener Technik, inklusive Energiemanagement erreichbar (z.B. *Heizungsanlagen, Haushaltsgeräte, Transportsektor, industrielle Prozesse u.a.*). Heizkessel mit fossilen Brennstoffen (Öl, Gas mit Brennwert-Technik) und mit biogenen Brennstoffen (Hackgut, Pellets) erreichen heute Jahreswirkungsgrade über 80%.

Ein hohes Energie-Einsparpotential ist im Gebäudebereich gegeben; siehe Abschnitt 9.

## **EU-Ziele zur Energie-Effizienz und zum Energie-Sparen**

Eine Energieeinsparung über Energieeffizienz von bis zu 50% wäre in der EU bis 2050 zu realisieren. Energie-Einsparpotentiale in Europa werden für die Einsatzbereiche wie folgt abgeschätzt (mit derzeit verfügbarer Technik): Transport-Sektor 20% bis 30%, Gebäude-Sektor über 60% und Industriesektor 40% – 60%.

Nach den Plänen der EU-25 soll bis zum Jahre 2020 ein Fünftel der jährlich in Europa genutzten Energie eingespart werden. Bei gleich bleibendem Anstieg des Energieverbrauches würde dieser von 1.750 Millionen Tonnen Öläquivalent im Jahre 2005 auf 1.890 Millionen Tonnen Öläquivalent ansteigen. Dies entspricht einer Zunahme von 7,4%. Nach dem EU-Ziel soll der Energieverbrauch bis zum Jahre 2020 im Vergleich zu 2005 um 20% auf 1.500 Millionen Tonnen Öläquivalent reduziert werden, entsprechend einer Reduktion von 20,6%; Bildtafel 6.8.

Die für die Senkung des Energieverbrauches geplanten Maßnahmen betreffen:

- Neue Energieverbrauchsstandards, Kennzeichnung für Geräte wie Unterhaltungselektronik und Haushaltsgeräte (Kühlschränke, Klimaanlage u.a.).
- EU-Richtlinie für Energie-Effizienz von Gebäuden ab 2009 für neue und renovierte Häuser („Energieausweis“).
- Reduktion der Leitungs- und Transportverluste bei Wärme- und Stromerzeugung.
- Schärfung des Verbraucherbewusstseins.
- Steuerliche Anreize und Förderungsmaßnahmen in den EU-Mitgliedsländern (Empfehlung).

Maßnahmen zur Ausschöpfung des Einsparpotentials sind allerdings schwierig umzusetzen. Rechtliche Maßnahmen in Verbindung mit Förderungen könnten eine Änderung im Energieeinsatz ermöglichen.

## **Energiepreise und Energiesparen**

Mit steigenden Energiepreisen wird die Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Energie-Effizienz gefördert. Dies betrifft insbesondere industrielle Prozesse, zumal die Produktionskosten und damit die Wettbewerbsfähigkeit stark vom Energieeinsatz bestimmt werden.

Im privaten Bereich betragen die Energiekosten für Heizung und Warmwasser im Durchschnitt etwa 5% der jährlichen Haushaltsausgaben; Bildtafel 6.8. Zum Energiesparen fehlen somit wirtschaftliche Anreize. Weit höher liegen die Energieausgaben im privaten Verkehr mit 17% der Haushaltsausgaben.

Nach Erfahrungen aus der Praxis führen im privaten Bereich Maßnahmen zur Erhöhung der Energie-Effizienz und damit zur Verringerung der Energiekosten zu einem höheren Energieverbrauch. *Energie-Effizienz* und *sparsamer Energieeinsatz* müssen deshalb als Einheit gesehen werden.

## Elemente zur Energieversorgung

- **Energie-Rohstoff / Energie-Träger**
  - **Energie-Umwandlung / Energie-Erzeugung**
  - **Energie-Verteilung**
- **Energie-Nutzung / Energie-Einsatz**

## Energieversorgung

- **Energie kann nicht „gewonnen“ werden,**
- **Energie wird durch Umwandlung erzeugt.**

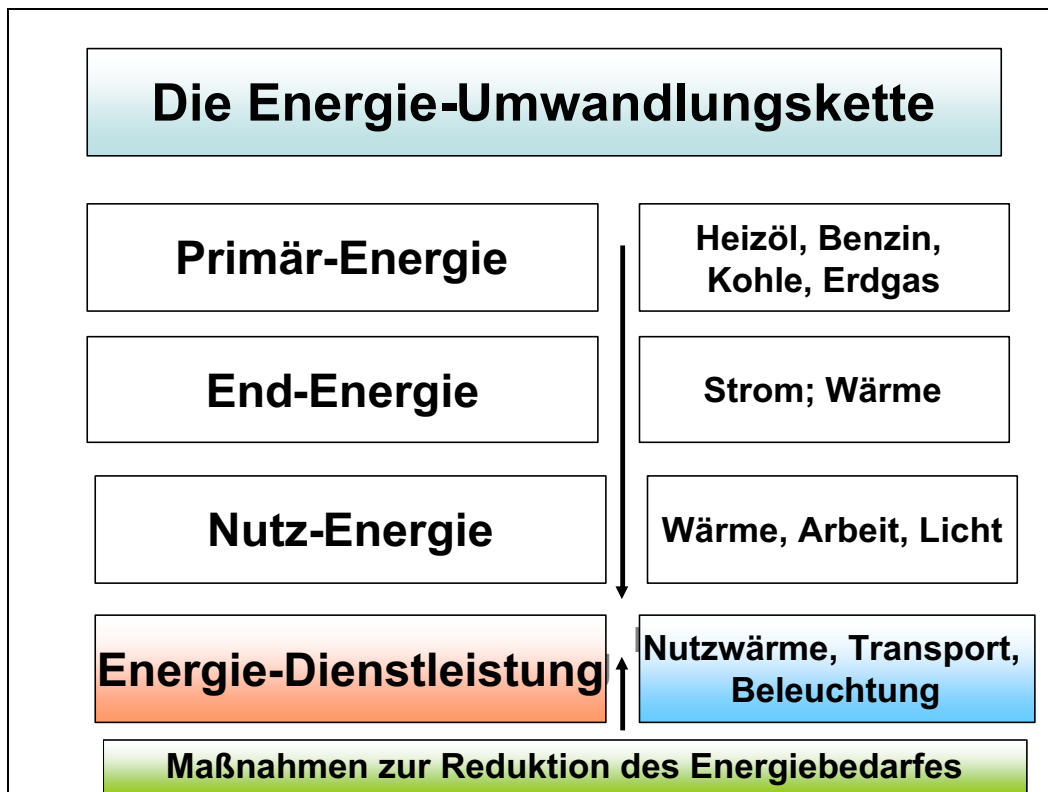
**Energierohstoff** ?

**Nutzenergie**

**Primärenergie** ?

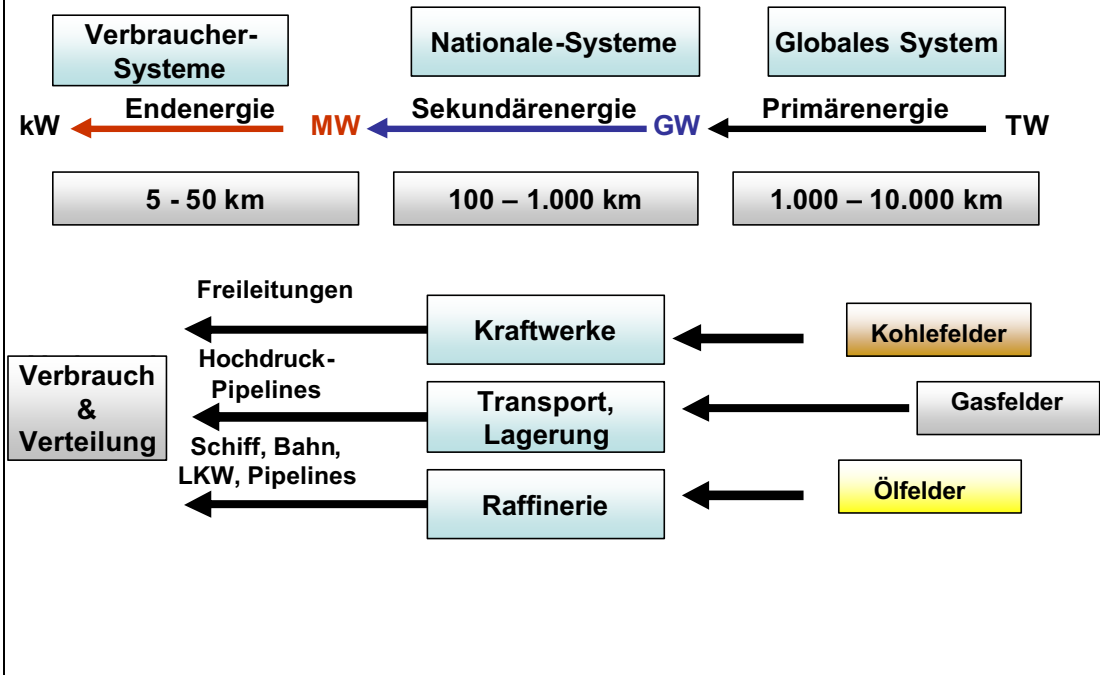
**Wärme, Arbeit, Strom**

**Bildtafel 6.1: Elemente der Energieversorgung**  
*Vom Energierohstoff zur Nutzenergie*

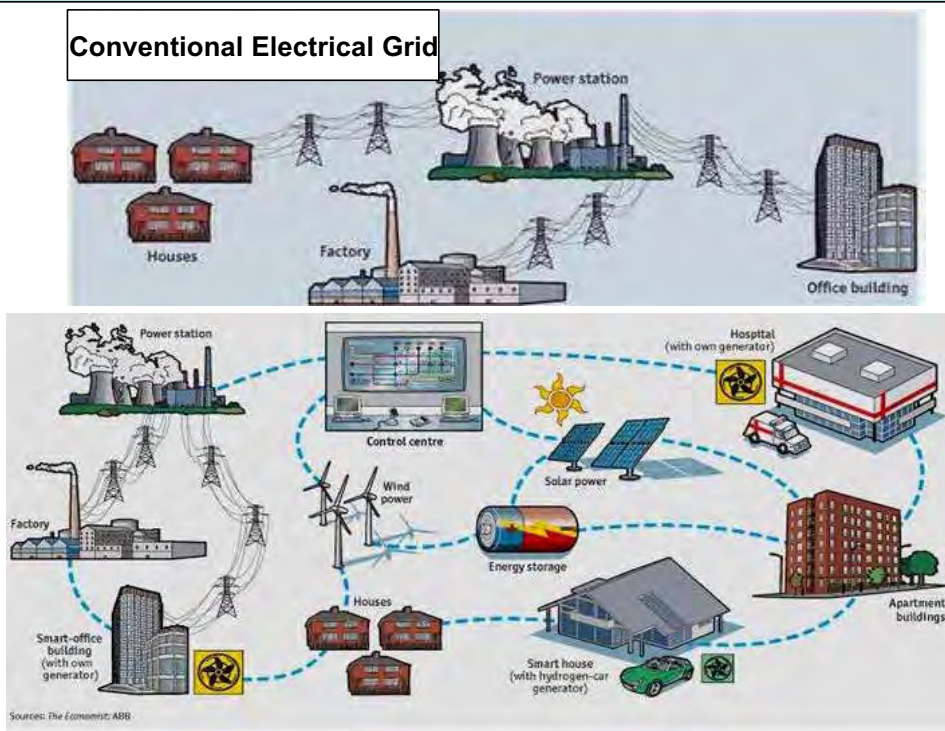


**Bildtafel 6.2: Die Energie-Umwandlungskette**

# Das weltweite Energiesystem fossiler Energieträger



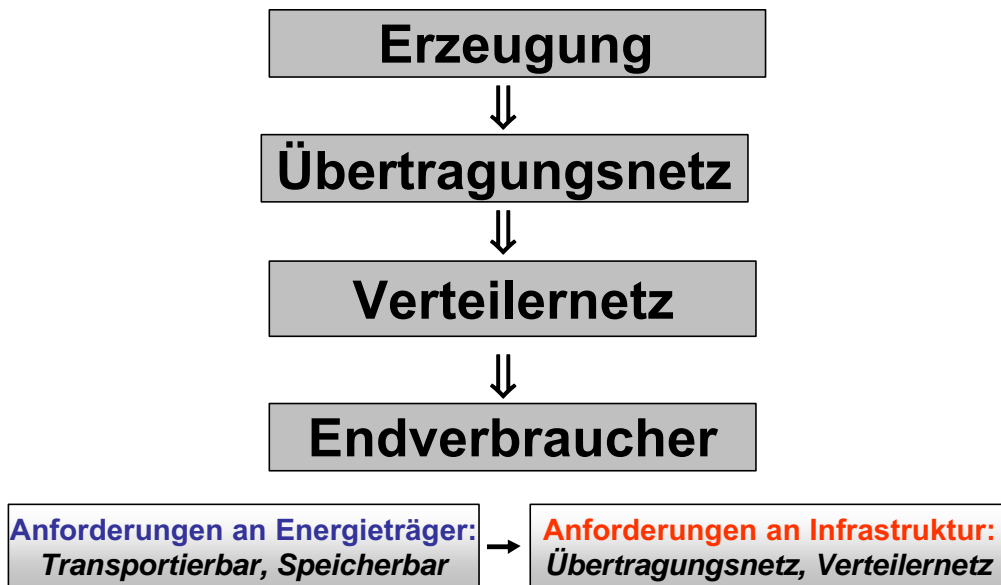
# Zentrale und Dezentrale Energiesysteme



Bildtafel 6.3: Zentrale und dezentrale Energiesysteme



## Zentrale Energie-Erzeugungsstruktur

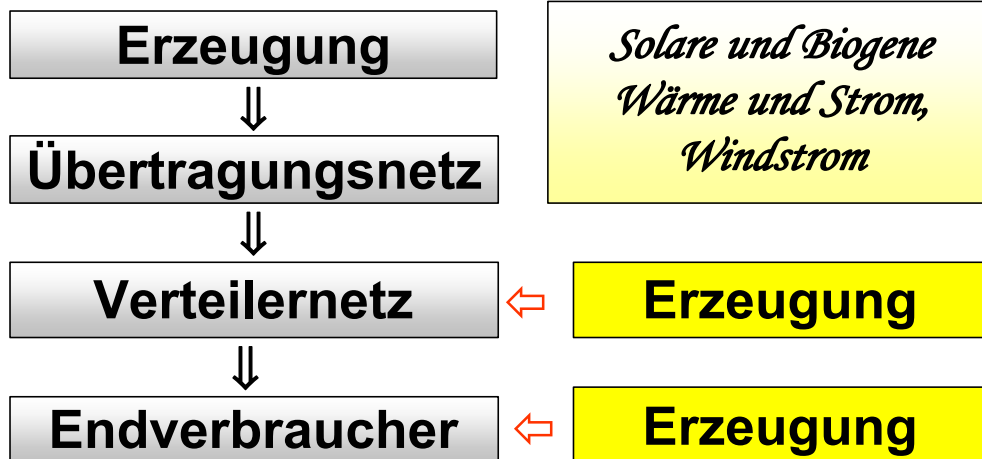


## Zentrales Energiesystem

- **Große Umwandlungseinheiten**
- **Weitläufige Verteilungsnetze**
  - **Hohe Effizienz bei Energieumwandlung**
  - **Hohe Wärmeverluste in nicht-voll genutzten Wärmenetzen**
- **Versorgungsprobleme bei Ausfall des Energieerzeugers**

Bildtafel 6.4: Das Zentrale Energiesystem

## Dezentrale Energie-Erzeugungsstruktur



## Dezentrale Systeme

- Kleine Versorgungseinheiten
  - Erhöhter Aufwand bei Energie-Management
- Höhere Investitionskosten bei höherer Versorgungssicherheit

**Erneuerbare Energieträger** in Form von **Solarwärme und Solarstrom** sowie auch **biogene Energieträger**

bringen Vorteile in dezentralen / kommunalen Energiesystemen.

Bildtafel 6.5: Das Dezentrale Energiesystem

## **Energieträger für Energiesysteme**

**Mit den transportierbaren und  
speicherbaren Energieträgern**

**ERDÖL und ERDGAS**

**wurde es möglich, die Energieversorgung  
von dezentralen Energiesystemen auf  
zentrale Energiesysteme weiter zu  
entwickeln:**

**Große Ballungszentren wurden errichtet,  
dezentrale Energiesysteme wurden  
zurückgedrängt.**

## **„Intelligente“ Energiesysteme**

**Kombination von zentralem System  
mit dezentralen Einheiten:**

**Energetisches und ökonomisches  
Optimum durch optimiertes  
Energie-Management.**

**Bildtafel 6.6: Das „Intelligente“ Energiesystem**

## **Management der Stromnetze (1)**

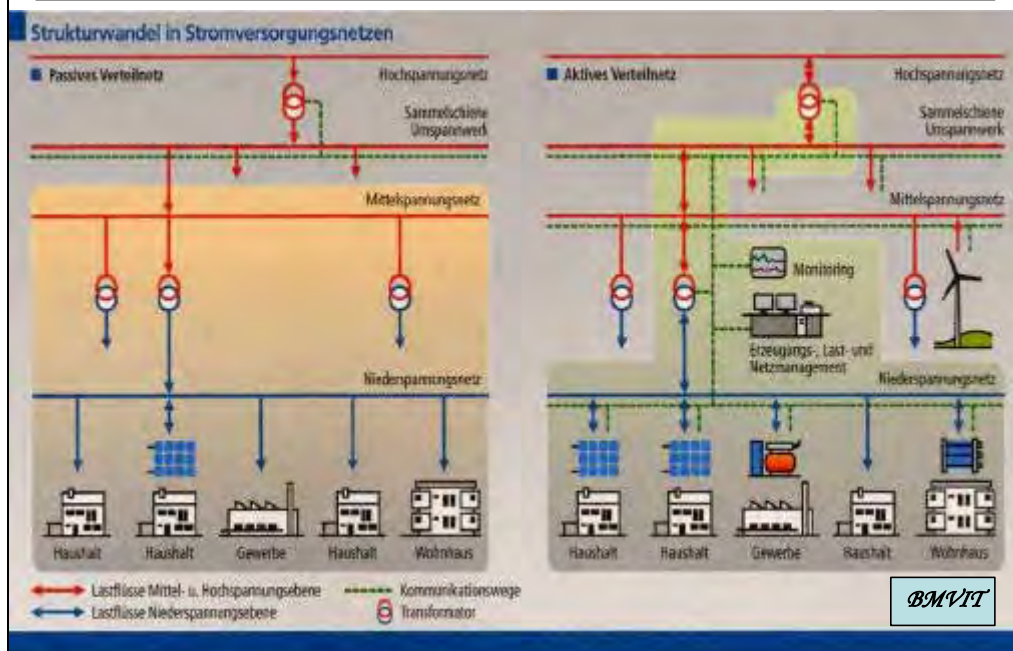
- **Derzeitige Stromversorgungsnetze basieren im Wesentlichen auf einer zentralen Versorgung durch Großkraftwerke, die in das Hochspannungsnetz einspeisen.**
- **Dezentrale Erzeugungsanlagen – insbesondere mit erneuerbaren Energieträgern (Wind, Sonne, Biomasse) – speisen auch in den unteren Netzebenen (Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz) ein. Damit werden aus den „passiven“ Elementen auf der Verbraucherseite „aktive“ Erzeuger.**

## **Management der Stromnetze (2)**

- **Um einerseits die Netzqualität bei der fluktuierenden Erzeugung (z.B. Spannungsschwankungen bei der Einspeisung) und andererseits den Beitrag dezentraler Stromerzeugungsanlagen effizient zu gestalten, ist eine Optimierung der Abstimmung von Angebot und Nachfrage erforderlich.**
- **Geeignete Instrumente zur Optimierung des elektrischen Energiesystems bei Integration von dezentraler Stromerzeugung sind Erzeugungs-, Last- und Netzmanagement in Verbindung mit Monitoring.**

**Bildtafel 6.7a: Management der Stromnetze**

## Management der Stromnetze



## Management der Stromnetze

In internationalen Forschungsprogrammen (Internationale Energieagentur, IEA, und EU-Energieforschungsprogramm) werden derzeit realisierbare Lösungen für das Strom-Management von dezentralen Erzeugern gesucht.

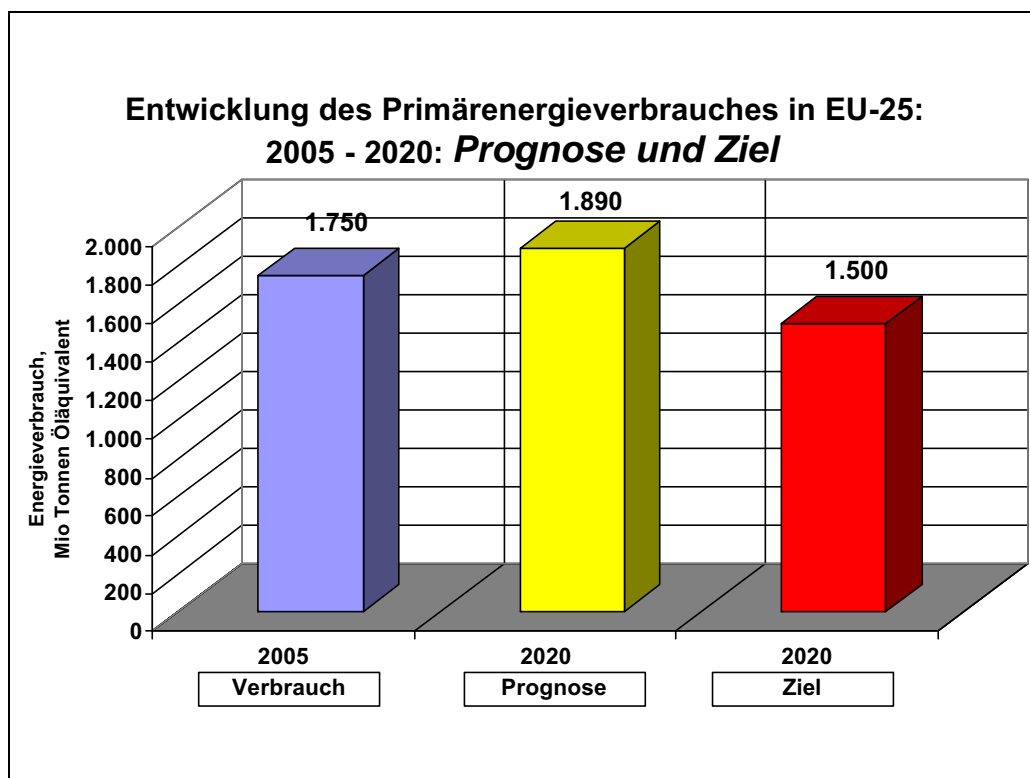


Bildtafel 6.7b: Management der Stromnetze

## EU-Ziele zur Energie-Effizienz

Nach den Plänen der EU-25 soll bis zum Jahre 2020 ein Fünftel der jährlich in Europa genutzten Energie eingespart werden.

- Bei gleich bleibendem Anstieg des Energieverbrauches würde dieser von 1.750 Mio Tonnen Öläquivalent im Jahre 2005 auf 1.890 Mio Tonnen Öläquivalent ansteigen. Dies entspricht einer **Zunahme von 7,4%**.
- Nach dem EU-Ziel soll der Energieverbrauch bis zum Jahre 2020 im Vergleich zu 2005 um 20% auf 1.500 Mio Tonnen Öläquivalent reduziert werden, entsprechend einer **Reduktion von 20,6%**.



Bildtafel 6.8: EU-Ziele zur Energie-Effizienz



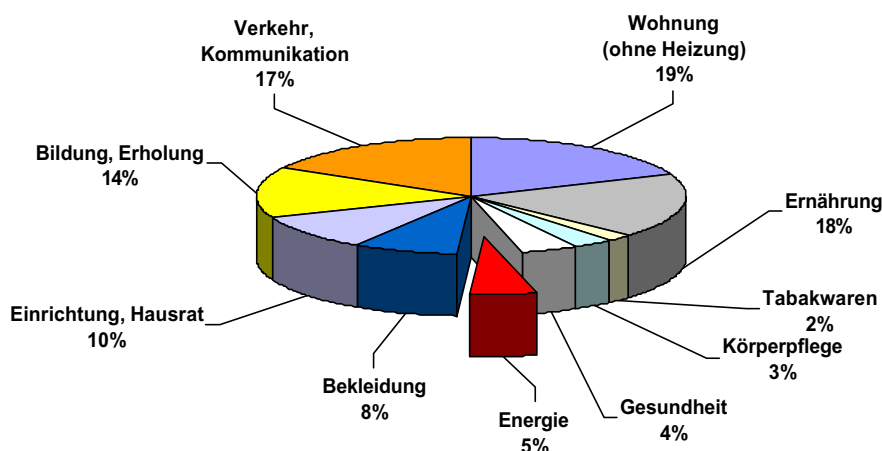
## Energiepreise und Energiesparen (1)

- In einem Haushalt beanspruchen die Energiekosten für Heizung, Warmwasser und Haushaltsgeräte um 5%.
- Im privaten Verkehr liegen die Energiekosten bei 17% der Haushaltsausgaben.
- Nach Erfahrungen aus der Praxis führen im privaten Bereich Maßnahmen zur Erhöhung der Energie-Effizienz und damit zur Verringerung der Energiekosten zu einem höheren Energieverbrauch.

***Energie-Effizienz und sparsamer Energieeinsatz müssen als Einheit gesehen werden.***

## Energiepreise und Energiesparen (2)

Anteile an den Haushaltsausgaben  
*Beispiel: Österreich 2006*



Bildtafel 6.9: Energie-Preise und Energie-Sparen

## 7. Bewertung von Energiesystemen

*Bewertungskriterien.*

*Wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen.*

*Externe Kosten der Energieversorgung.*

*Beispiele: Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungsanlagen,  
Solarthermischen Anlagen, Photovoltaikanlagen und  
von Bio-Treibstoffen.*

*Stromerzeugungskosten aus Erneuerbaren Energieträgern in  
Österreich.*

*Energetische und umweltbezogene Bewertung von  
Energiesystemen.*

*Energetische Amortisationszeit.*

### **Bewertung von Energiesystemen**

**Die Wirtschaftliche Bewertung:  
Betriebswirtschaftlich und Volkswirtschaftlich**

**Die Energetische Bewertung:  
Primärenergie-Einsatz**

**Die Umweltbezogene Bewertung:  
Energiebedingte und umweltrelevante  
CO<sub>2</sub>-Emission**

**Energetische Amortisationszeit**

# **Bewertung von Energiesystemen**

## **Kriterien zur Bewertung von Energiesystemen**

Die Kriterien zur Bewertung der Energieversorgung sind vielfältig und beziehen sich auf:

- Energie-Rohstoff/Energie-Träger:  
Erneuerbar und Nicht-Erneuerbar, Inlandsaufkommen/Import, Speicherbarkeit, Transport, Verfügbarkeit.
- Energie-Umwandlung/Energie-Erzeugung/Energie-Einsatz:  
Effizienz, Umweltverträglichkeit.
- Energie-Kosten/Energie-Preise.

Für die Energie-Umwandlung / Energie-Erzeugung sind von Bedeutung:

- Energie-Techniken (Verfügbarkeit, Effizienz, Kosten);
- Umweltverträglichkeit;
- Soziale Verträglichkeit/Akzeptanz.

Bewertungskriterien für Energie-Nutzung / Energie-Einsatz beziehen sich auf:

- Verfügbarkeit;
- Effizienz;
- Komfort;
- Betriebssicherheit;
- Energie-Kosten und Energie-Preise.

Die am Markt angebotenen Preise für Erdöl-Produkte, Erdgas und Strom beinhalten neben der gesetzlichen Umsatzsteuer noch weitere Abgaben: Mineralölsteuer, Energieabgabe, Kosten für Netz, Anschlussleistung, Messung und Ökostromabgabe bei Strombezug. Umsatzsteuer und Abgaben betragen mehr als die Hälfte der Energiekosten; siehe Bildtafel 7.5.

Energiesysteme werden bewertet nach:

- Wirtschaftlichen Kriterien (betriebswirtschaftlich, volkswirtschaftlich);
- Energetischen Kriterien (Primärenergie);
- Umweltbezogenen Kriterien (CO<sub>2</sub>-Emission).

## **Wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen**

Die Bewertung von Energiesystemen nach wirtschaftlichen Kriterien erfolgt mit der Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Diese ist eine Vergleichsmethode: Es werden zwei oder mehrere Energiesysteme unter vergleichbaren Randbedingungen und betriebswirtschaftlichen Kriterien miteinander verglichen; Bildtafel 7.1.

Da die Randbedingungen mit Vor- und Nachteilen verschiedener Energiesysteme nicht gleich sind, kann eine wirtschaftliche Bewertung keine eindeutige Aussage treffen. Die wirtschaftliche Bewertung ist deshalb nur eine von mehreren Auswahlkriterien.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung eignet sich insbesondere für eine Varianten-Analyse mit Risikoabschätzung für eine Investition: *Risikoabschätzung und Sensitivitätsanalyse*. Bildtafel 7.2.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung kann nach betriebswirtschaftlichen Kriterien und nach volkswirtschaftlichen Kriterien erfolgen. Bei der betriebswirtschaftlichen Bewertung werden Aspekte des Umweltschutzes, der Versorgungssicherheit, der Risiken, der Wertschöpfung etc. nicht berücksichtigt. Eine volkswirtschaftliche Bewertung führt zu einer *gesamtheitlichen Bewertung von Energiesystemen*.

In der Praxis ist die betriebswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen für den Investor bzw. Betreiber von größerem Interesse, die volkswirtschaftliche Bewertung dient als Entscheidungsgrundlage für energiepolitische Entscheidungen bzw. Maßnahmen.

Als Rechenmethoden stehen zur Verfügung: Statische Methoden (ohne Berücksichtigung von zeitabhängigen Kostenfaktoren: nur Kapitalkosten, Energiekosten und Betriebskosten im 1. Jahr) und dynamische Methoden (mit Berücksichtigung zeitabhängiger Kostenfaktoren).

Eine gesamtheitliche volkswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen hat zu berücksichtigen: Kosten/Nutzen-Verhältnis, Volkswirtschaftliche Kriterien, (*Umwelt, Nachhaltigkeit, Import, Wertschöpfung etc.*), Versorgungssicherheit (*Verfügbarkeit, Preisentwicklung*), Risiken (*Betriebsicherheit, Gefahrenpotential etc.*), Lebensqualität (*Komfort, Umwelt, Unabhängigkeit etc.*).

Die in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingehenden Kosten beziehen sich auf Errichtungskosten inklusive Planungskosten (abzüglich Förderungen und zuzüglich Bankzinsen), jährliche Betriebskosten (Brennstoffkosten & sonstige im Betrieb anfallende Kosten), Wartungs- und Erneuerungskosten, sowie Abbruch- und Entsorgungskosten.

Zeitabhängige Kostenfaktoren sind: Kapitalkosten (realer Diskontsatz), Entwicklung der Energiekosten, Entwicklung der Inflationsrate, Entwicklung der Betriebskosten, Entwicklung der Reparatur- und Erneuerungskosten: Jeweils bezogen auf den Betrachtungszeitraum. Zeitabhängige Kosten müssen geschätzt und vorgegeben werden, mit einem großen Unsicherheitsfaktor.

## **Externe Kosten der Energieversorgung**

Die Energieversorgung auf Basis fossiler Energieträger ist Ursache für ungedeckte Schäden im Bereich der Gesundheit, Vegetation, der Gebäude, und bringt außerdem ein großes Gefahrenpotential für eine rasante Klimaänderung; Bildtafel 7.3 (a und b).

Eine volkswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen schließt die „Externen Kosten“ der Energieversorgung (Aufbringung und Anwendung) in die Berechnungen ein. Externe Kosten der Energieversorgung (Erzeugung und Einsatz) sind Kosten, die nicht vom Verursacher (Produzent, Käufer bzw. Nutzer), sondern von der Allgemeinheit (d.h. aus den Steuer- bzw. Abgabeneinnahmen der öffentlichen Hand) getragen werden müssen. Verursacht werden diese Kosten durch Schäden, die durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung von

Produkten entstehen. Im Hochbau werden Schäden und damit externe Kosten vor allem durch atmosphärische Emissionen bei der Produktion der eingesetzten Bau- und Werkstoffe, der Errichtung des Gebäudes, in der Phase des Betriebs, der Wartung und Instandhaltung des Gebäudes, bei Rückbau, Abbruch, (Sonder-) Entsorgung bzw. Recycling verursacht.

Eine konkrete Abschätzung der tatsächlichen Kosten der Umweltschäden ist sehr schwierig und kann nur eine Hilfestellung für eine volkswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen sein.

Mit kalkulatorischen (fiktiven) Energiepreis-Zuschlägen werden die Umweltschäden in der Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt und ermöglichen damit einen Vergleich von Energiesystemen. Die „fiktiven“ Energiepreiszuschläge werden in der Literatur zwischen 1 Cent/kWh (Stückholz) und um 20 Cent/kWh (Heizöl) angesetzt; Bildtafel 7.3b.

### **Beispiel: Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungsanlagen**

Ein wirtschaftlicher Vergleich von Heizungsanlagen in einem Einfamilien-Wohnhaus wird nach der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung in Bildtafel 7.4 (a und b) illustriert: Solaranlage und Elektroboiler zur Warmwasserbereitung, Ölkessel mit Pelletskessel, Ölkessel mit Erdreich-Wärmepumpe. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung gehen Energie-Effizienz der Heizungsanlage (Nutzungsgrad), Investitionskosten und Förderungen sowie Betriebskosten im ersten Betriebsjahr ein. Als Grundlage für eine Kaufentscheidung wird im Allgemeinen die Amortisationszeit eingesetzt. Diese sollte zumindest innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer der Heizungsanlage liegen. Die Berechnung illustriert, dass Solaranlagen zur Warmwasserbereitung, sowie Pelletskessel und Wärmepumpen mit heute noch höheren Investitionskosten im Vergleich zu Öl- und Gas-Heizkesseln zu akzeptablen Amortisationszeiten führen können.

Bildtafel 7.5 dokumentiert die Struktur der Strom- und Gaskosten am Beispiel eines Anbieters.

### **Beispiel: Wirtschaftliche Bewertung von Solarthermischen Anlagen**

Aus Betriebsdaten und Erfahrungswerten lassen sich für die am Markt bereits gut eingeführten solarthermischen Anlagen die folgenden Aussagen zur Wirtschaftlichkeit ableiten: Solaranlagen zur Schwimmbaderwärmung in Freibädern (mit Kunststoff-Kollektoren) sind im Allgemeinen an sonnigen Standorten wirtschaftlicher zu betreiben als mit Öl- oder Gas; Bildtafel 7.6a.

Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Gebäuden (Wohnhäuser, Hotels, Fremdenverkehrsbetriebe, etc.) sollten an sonnenbegünstigten Standorten innerhalb von 10 Jahren amortisiert sein, mit staatlichen Förderungen (bis 30% der Investitionskosten) bereits nach 8 Jahren; Bildtafel 7.6b.

Solaranlagen mit Einbindung in das Heizungssystem erfordern für einen wirtschaftlichen Betrieb die Erfüllung von Voraussetzungen, wie Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperatur-Heizungsauslegung und nebelfreie Standorte.

Für einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb solarthermischer Anlagen ist eine *energieökonomische* Auslegung (Abstimmung von Kollektorfläche und Speichervolumen auf den Wärmebedarf) zwingend erforderlich.

Solaranlagen zur Gebäude-Klimatisierung, für Kühlung und Prozesswärme sind noch in Entwicklung, erste Demonstrationsanlagen bereits in Betrieb und die Zukunftsaussichten sind sehr gut.

### **Beispiel: Wirtschaftliche Bewertung von Photovoltaikanlagen**

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von autarken Photovoltaik-Anlagen außerhalb des elektrischen Netzes wird im Allgemeinen mit einer vor Ort möglichen Alternative wie Dieselaggregat zuzüglich Brennstoffversorgung oder Batteriebetrieb mit Austausch und externer Aufladung oder Anschluss an die nächstgelegene Niederspannungsleitung zu einem positiven Ergebnis führen. Ähnliches trifft auch für Kleingeräte wie Warnanlagen Messstationen, Notrufsäulen etc. zu; Bildtafel 7.7 (a und b).

Für Taschenrechner und mobile Stromversorger sind PV-Systeme heute üblich. In der Raumfahrt die einzige Möglichkeit zur Stromerzeugung, sieht man von einer nuklearen Stromerzeugung ab.

Netzgekoppelte PV-Anlagen in Konkurrenz mit Strom aus konventionellen Kraftwerksanlagen sind heute noch nicht wettbewerbsfähig und benötigen eine besondere Förderung von Seiten der öffentlichen Hand, wie Investitionszuschüsse oder spezielle Einspeisetarife, finanziert über die Stromkunden.

### **Beispiel: Stromerzeugungskosten aus Erneuerbaren Energieträgern in Österreich**

Unter Beachtung der heute am Markt angebotenen Techniken und unter Zugrundelegung eines Betrachtungszeitraumes von 13 Jahren lassen sich Stromerzeugungskosten für die folgenden Techniken ableiten: Windstrom 7 – 8 Cent/kWh, Wasserkraft 6 – 7 Cent/kWh, feste Biomasse 7 – 13 Cent/kWh, Biogas 13 – 17 Cent/kWh, Photovoltaik 73 – 76 Cent/kWh; Bildtafel 7.8 (a und b).

### **Beispiel: Wirtschaftliche Bewertung der Bio-Treibstoffe**

Mit den heute bekannten und in Erprobung befindlichen Verfahren zur Herstellung von flüssigen Biomasse-Produkten (Bio-Treibstoffe) lassen sich bereits Produktionskosten erzielen, welche im Vergleich zu einem Erdölpreis von 70 US\$/Barrel konkurrenzfähig sind. Das noch ungelöste Problem ist die Aufbringung von Biogenen Energieträgern für eine großtechnische Nutzung, bei Beachtung einer möglichst positiven Energiebilanz und umweltbezogener Aspekte; Bildtafel 7.9.

### **Energetische und umweltbezogene Bewertung von Energiesystemen**

Kenngrößen für die energetische und umweltbezogene Bewertung von Energieträgern bzw. Energiesystemen sind: Primärenergie (abgeleitet aus dem Brennstoff-/Strom-Einsatz), umweltrelevante CO<sub>2</sub>-Emission, Anteil Erneuerbarer Energieträger am Energieeinsatz; Bildtafel 7.10.

Der Primärenergie-Bedarf ergibt sich aus dem Brennstoff-Bedarf/Strom-Bedarf und dem Multiplikationsfaktor „Primärenergie-Faktor“ (für Brennstoff bzw. Stromerzeugung).



Bei Fossilen Energieträgern ist auch das Förderland von Bedeutung: Transportweg, Verluste beim Transport. Für den Stromeinsatz ist dessen Erzeugung von Bedeutung: Kalorische Stromerzeugung, abhängig vom Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) und Technik (Kraftwerk oder Wärme-Kraft-Kopplung), Hydraulische Stromerzeugung, Stromerzeugung aus Ökostromanlagen (Windstrom, Biomassestrom, Solarstrom) oder Nukleare Stromerzeugung.

Die energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emission wird aus dem Energiebedarf (kWh) und dem CO<sub>2</sub>-Faktor (ebenfalls als Multiplikationsfaktor, g/kWh) abgeleitet.

Die Primärenergie-Faktoren wurden in internationaler Zusammenarbeit definiert bzw. aus dem Brennstoff/Stromerzeugung abgeleitet.

**Primärenergie-Faktor PEF:** Verhältnis von Primärenergie (kWh<sub>pe</sub>) zu Endenergie (kWh<sub>ee</sub>)

Mit dem Primärenergie-Einsatz werden die Energieträger nach „Erneuerbarkeit“ bewertet, es wird auch der Energieeinsatz zur Förderung, Bearbeitung und Transport berücksichtigt. Die Systemgrenzen der Energiebereitstellung sind derzeit nicht vorgegeben, sodass es verschiedene Ansätze zur Ermittlung der Umrechnungsfaktoren in der Literatur gibt.

In internationalen Forschungsprojekten (z.B. Internationale Energieagentur, Forschungsprogramm „Solar Heating and Cooling“) werden die von GEMIS ausgewiesenen Umrechnungsfaktoren verwendet. GEMIS ist ein im Jahre 1987 entwickeltes und in den laufenden Jahren immer adaptiertes Rechenmodell zur Ableitung von Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Faktoren für Energieträger. GEMIS bedeutet Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Bildtafel 7.9 enthält die von GEMIS ausgewiesenen Konversionsfaktoren.

Die **spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen** (g CO<sub>2</sub> pro kWh Endenergie) hängen vom Brennstoff bzw. im Falle des Sekundärenergieträgers Strom von der Erzeugung ab. Die Daten werden vorgegeben, z.B. Projekt GEMIS.

Ein weiteres Kriterium zur Bewertung der Umweltbelastung sind **Externe Kosten**.

### **Beispiel: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizungsanlagen**

Bildtafel 7.11 (a und b) illustriert die Ergebnisse einer Bewertung von Heizungsanlagen für ein Einfamilien-Wohnhaus. Für den Vergleich von Heizungssystemen im Wohnbereich ist der Beitrag zum Heizwärmebedarf eines Wohnhauses heranzuziehen. Dieser bezieht sich auf Raumheizung und Warmwasserbereitung.

Für ein Einfamilien-Wohnhaus in derzeit üblicher Bauweise kann mit einem Heizwärmebedarf von 12.000 kWh/Jahr und einem Warmwasserbedarf von 3.000 kWh/Jahr gerechnet werden.

Als Heizungssysteme werden im Wohnbau eingesetzt: Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel, Wärmepumpen und Fernwärme. Thermische Solaranlagen kommen derzeit vorrangig zur Warmwasserbereitung zum Einsatz, mit einem Jahres-Anteil von bis zu 70%/Jahr (6 bis 8 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 300 bis 500 Liter Wasserspeicher). In hoch wärmedämmten Wohnhäusern (Niedrigenergie-Bauweise und Passiv-Häuser) könnten in nebelfreien Lagen mit einer Kollektorfläche um 30 m<sup>2</sup> und einem Speichervolumen um 5.000 Liter etwa 30% bis 40% des

gesamten Heizwärmebedarfes (Raumheizung und Warmwasser) auf Jahresbasis abgedeckt werden: Solar-Unterstützte Heizungssysteme (*Solar-Combi-Systeme*).

Wärmepumpen-Heizungssysteme – vorrangig über Erdreich-Wärmetauscher betrieben – erreichen heute Jahres-Arbeitszahlen von über 4. Für einen energie-effizienten Betrieb sollte eine Mindest-Jahresarbeitszahl von 3 vorausgesetzt werden.

Ein energetischer und umweltbezogener Vergleich von Heizungssystemen führt zu dem Ergebnis, dass Wärmepumpen-Heizungen mit einer Jahres-Arbeitszahl von zumindest 3 Vorteile gegenüber Heizkessel-Anlagen – auch solar unterstützten – aufweisen. TAFEL 3 fasst die Vergleichsdaten zusammen: Heizenergie, Primärenergie, umweltrelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen (inklusive CO<sub>2</sub>-Äquivalente), Externe Kosten (als Maß für die Umweltbelastung). Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Nutzbarmachung der lokal anfallenden und ganzjährig verfügbaren Umweltwärme – als Erneuerbare Energiequelle.

In Österreich wirkt sich die Stromerzeugung mit einem hohen Anteil von Wasserkraft sehr positiv für die sowohl energetische Bewertung als auch für die CO<sub>2</sub>-Reduktion einer Wärmepumpe im Vergleich zu Öl- und Gas-Heizkesseln aus. Während der Heizsaison erfolgt die Stromproduktion in Österreich zu etwa 50% und außerhalb der Heizsaison zu über 90% aus Wasserkraft.

### **Beispiel: Energetischer Vergleich Anlagen zur Warmwasserbereitung**

Zur getrennten Warmwasserbereitung in Einfamilien-Wohnhäusern (Haushalten) außerhalb der Heizsaison bieten sich an: Solarthermische Anlage in Verbindung mit Zusatzheizung (E-Boiler, Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel) und Wärmepumpe (Kompaktgerät zur Warmwasserbereitung). Die energetische und umweltbezogene Bewertung erfolgt in Bildtafel 7.12 (a und b). Solarthermische Anlagen in Verbindung mit einer Elektro-Heizpatrone als Zusatzheizung und Wärmepumpen weisen weit günstigere Kenndaten im Vergleich zu Kesselanlagen auf. Das beste Ergebnis würde eine Wärmepumpe gekoppelt mit einer solarthermischen Anlage aufweisen.

Ein energetischer Vergleich einer Solaranlage mit elektrischer Zusatzheizung und einer Brauchwasser-Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung wird in Bildtafel 7.13 vorgenommen.

Mit einer auf den Warmwasserbedarf abgestimmten thermischen Solaranlage (Kollektorfläche und Speichervolumen) lassen sich im österreichischen Durchschnitt um 70% des Jahres-Warmwasserbedarfes abdecken (z.B. 8 m<sup>2</sup> Kollektorflächen, 500 Liter Warmwasserspeicher). Außerhalb der Heizsaison (Mai bis September) liegt der Solaranteil über 85%, auch bedingt durch das größere Speichervolumen (4-fache des Tagesbedarfs) und das Erreichen einer Wassertemperatur im Speicher von 80°C an sonnigen Tagen. Solaranlagen, welche mit dem Heizungssystem gekoppelt sind, weisen aufgrund der anderen Systemtechnik (höhere Einspeisetemperaturen) geringere Nutzungsgrade und damit Solaranteile im Vergleich zu einer von der Heizung getrennten Solaranlage zur Warmwasserbereitung auf. Aus energetischen Gründen wird deshalb empfohlen, die Warmwasserbereitung mit einer von der Heizung getrennten Solaranlage vorzunehmen. Eine Ausnahme wäre eine solar-unterstützte Heizung in einem hoch wärmegeprägten Wohnhaus und Verwendung eines Schichtspeichers mit stratifizierter Wärmeverteilung.

Für die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen kommen Luft/Wasser- und Direktverdampfer-Systeme mit dem Erdreich als Wärmequelle zum Einsatz. Entscheidend für die

erreichbare Arbeitszahl der Wärmepumpe ist die eingestellte Temperatur im Warmwasserspeicher: 50°C oder 55°C. Zu berücksichtigen wäre auch eine in manchen Geräten eingebaute E-Heizpatrone zur Nacherwärmung auf über 55°C. Die Arbeitszahlen von Brauchwasser-Wärmepumpen (getrennt von der Heizungsanlage) werden mit 3 angesetzt, sowohl als Jahresarbeitszahl als auch für die Periode außerhalb der Heizsaison (Mai bis September).

Aus Erfahrungswerten können für einen Haushalt um 120 bis 140 Liter/Tag (50°C) als Warmwasserbedarf, zusätzlich 30% Wärmeverluste im Speicher und Rohrleitungen angesetzt werden. Der Heizwärmebedarf für Warmwasser in einem Haushalt wird im folgenden Vergleich mit 3.000 kWh/Jahr angesetzt.

Die Bewertung führt zu dem folgenden Ergebnis. Mit einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung werden im Jahresdurchschnitt um 69,4% die erneuerbare Energiequelle Solarwärme und mit der Brauchwasser-Wärmepumpe 66,7% die erneuerbare Energiequelle Umweltwärme genutzt. Der Stromeinsatz für Zusatzwärme beträgt bei der Solaranlage 918 kWh/Jahr und bei der Wärmepumpe 1.000 kWh/Jahr. Bei der Solaranlage müsste noch der Stromeinsatz für den Betrieb der Umwälzpumpe im Kollektorkreis (50 Watt bei 1.000 bis 1.200 Stunden, entsprechend um 60 kWh/Jahr) hinzugerechnet werden. Bei der Wärmepumpe ist der Stromeinsatz im Wärmepumpen-Aggregat bereits in der Arbeitszahl enthalten.

Solaranlagen und Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung sind demnach in Bezug auf eine energetische und umweltbezogene Bewertung vergleichbar.

### **Kostenreduktion durch Automatisierung in der Produktion und durch Mehrfachnutzung**

Insbesondere bei solar-thermischen und solar-elektrischen (PV-) Anlagen sind Kostenreduktionen einerseits durch Erhöhung der Produktionszahlen und andererseits durch Automatisierung in der Produktion, bei der Organisation der Installation und durch Mehrfachnutzung zu erreichen; Bildtafel 7.14 (a und b) und 7.15. (a bis c).

### **Energetische Amortisationszeit**

Zur energetischen Bewertung eines Energiesystems mit Nutzung eines solaren Energieträgers wird die energetische Amortisationszeit herangezogen: Der Energieeinsatz (mit konventioneller Energie) zur Herstellung des Energiesystems wird mit dem solaren Ertrag bei der Energieerzeugung verglichen. Ist der Anteil des solaren Beitrages zur Energieerzeugung (Solarwärme, Solarstrom) während der Lebensdauer der Solaranlage größer als der Energieeinsatz zu dessen Erzeugung, Betrieb und Entsorgung, dann ergibt sich eine positive Energiebilanz.

Die energetischen Amortisationszeiten von thermischen Solartechniken liegen um 1 bis 2 Jahre, von elektrischen Solartechniken (Photovoltaischen Systemen) – je nach Einsatzort und Anwendung – zwischen 3 und 8 Jahren; Bildtafel 7.16.

## **Bewertung von Energiesystemen**

- **Die Wirtschaftliche Bewertung:**  
*Betriebswirtschaftlich und Volkswirtschaftlich*
- **Die Energetische Bewertung:**  
*Primärenergie-Einsatz*
- **Die Umweltbezogene Bewertung:**  
*Energiebedingte und umweltrelevante  
CO<sub>2</sub>-Emission*
- **Energetische Amortisationszeit:**  
*Energiebilanz von Solarsystemen*

## **Die Wirtschaftlichkeitsrechnung**

- **Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist eine Vergleichsmethode:** Es werden zwei oder mehrere Energiesysteme unter vergleichbaren Randbedingungen und betriebswirtschaftlichen Kriterien miteinander verglichen.
- **Da die Randbedingungen mit Vor- und Nachteilen verschiedener Energiesysteme nicht gleich sind, kann eine wirtschaftliche Bewertung keine eindeutige Aussage treffen.**
- **Die wirtschaftliche Bewertung ist nur eine von mehreren Auswahlkriterien.**

**Bildtafel 7.1: Bewertung von Energiesystemen**  
*Gesambewertung und wirtschaftliche Bewertung*

## **Risikoabschätzung und Sensitivitätsanalyse**

- Die Wirtschaftlichkeitsrechnung eignet sich insbesondere für eine Varianten-Analyse mit Risikoabschätzung für eine Investition:  
*Risikoabschätzung und Sensitivitätsanalyse.*
- Die Wirtschaftlichkeitsrechnung kann nach *betriebswirtschaftlichen* und nach *volkswirtschaftlichen* Kriterien erfolgen.
- Bei der betriebswirtschaftlichen Bewertung werden Aspekte des Umweltschutzes, der Versorgungssicherheit, der Risiken, der Wertschöpfung etc. nicht berücksichtigt.

## **Gesamtheitliche wirtschaftliche Bewertung**

Eine gesamtheitlichen Bewertung von Energiesystemen hat zu berücksichtigen:

- **Kosten/Nutzen-Verhältnis**
- **Volkswirtschaftliche Kriterien**  
(*Umwelt, Nachhaltigkeit, Import, Wertschöpfung etc.*)
- **Versorgungssicherheit**  
(*Verfügbarkeit, Preisentwicklung*)
- **Risiken**  
(*Betriebssicherheit, Gefahrenpotential etc.*)
- **Lebensqualität**  
(*Komfort, Umwelt, Unabhängigkeit etc.*)

**Bildtafel 7.2: Risikoabschätzung und gesamtheitliche Bewertung**

## Externe Kosten der Energie-Erzeugung und Energie-Anwendung

Die Energieversorgung auf Basis fossiler Energieträger ist Ursache für ungedeckte Schäden im Bereich der:

- Gesundheit,
- Vegetation,
- Gebäude,

und bringt außerdem ein großes Gefahrenpotential für eine

- rasante Klimaänderung.

## Berücksichtigung Externe Kosten bei der Bewertung von Energiesystemen

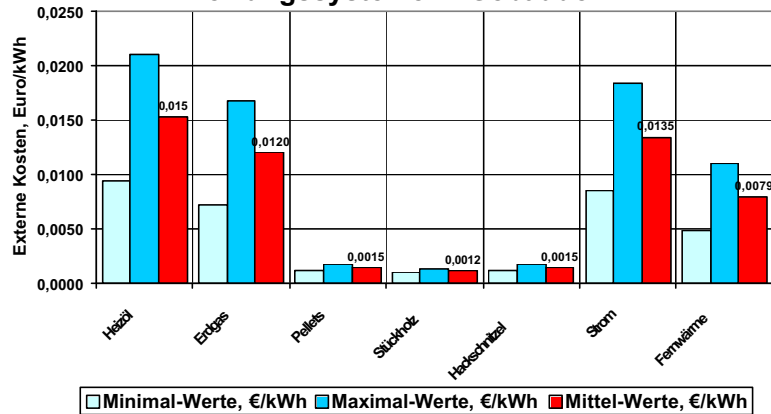
- Externe Kosten sind Kosten, die nicht vom Verursacher (Produzent, Käufer bzw. Nutzer), sondern von der Allgemeinheit (d.h. aus den Steuer- bzw. Abgabeneinnahmen der öffentlichen Hand) getragen werden müssen.
- Die Umweltfolgen eines Energiesystems können in der Wirtschaftlichkeitsrechnung in Form von kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen Berücksichtigung finden: Mit **kalkulatorischen Energiepreiszuschlägen** zur Berücksichtigung externer Kosten lässt sich eine "**erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung**" vornehmen.

Bildtafel 7.3a: Externe Kosten der Energieversorgung



## Externe Kosten für Brennstoffe

### Externe Kosten der Energieträger für Heizungssysteme in Gebäuden



Externe Kosten der Brennstoffe							
Brennstoff	Heizöl	Erdgas	Pellets	Stückholz	Hackschnitzel	Strom	Fernwärme
Minimal-Werte, €/kWh	0,0094	0,0072	0,0012	0,0010	0,0012	0,0085	0,0048
Maximal-Werte, €/kWh	0,0211	0,0168	0,0017	0,0013	0,0017	0,0184	0,0110
Mittel-Werte, €/kWh	0,015	0,0120	0,0015	0,0012	0,0015	0,0135	0,0079

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Österreich, 2002

## Externe Kosten der Energie-Erzeugung und Energie-Anwendung

Für die einzelnen Energieträger werden die folgenden Energiepreis-Zuschläge für die Energieaufbringung in Österreich vorgeschlagen:

- Öl: 9,4 – 21,1 Cent/kWh
- Gas: 7,2 – 16,8 Cent/kWh
- Pellets: 1,2 – 1,7 Cent/kWh
- Stückholz: 1,0 – 1,3 Cent/kWh
- Hackgut: 1,2 – 1,7 Cent/kWh
- Strom: 8,5 -18,4 Cent/kWh
- Fernwärme: 4,8 – 11,0 Cent/kWh

Bildtafel 7.3b: Externe Kosten der Energieversorgung

## Die Wirtschaftlichkeitsrechnung

### *Beispiele*

Im folgenden werden beispielhaft die folgenden Heizungssysteme wirtschaftlich miteinander verglichen. Förderungen werden berücksichtigt.

- Solaranlage und Elektro-Boiler zur Warmwasserbereitung,
- Ölkessel mit Pelletskessel,
- Ölkessel mit Erdreich-Wärmepumpe.

*Der Vergleich von Heizungsanlagen erfolgt nach der „Statischen“ Wirtschaftlichkeitsrechnung.*

<b>Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen</b>	
Beispiel: Haushalt in Einfamilien-Wohnhaus	
Warmwasserbedarf: 180 Liter/Tag, 4.011 kWh/Jahr	
<b>Amortisation einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung</b>	
Statische Berechnung	
(ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
<b>Vergleich Elektro-Boiler mit Solaranlage</b>	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
<b>Elektro-Boiler</b>	<b>Solaranlage</b>
1.100	6.240
Landesförderung, €	1.650
Mehrkosten Solaranlage, €	4.590
Brennstoffkosten, €/Jahr	
682	170
Jahreskosten-Einsparung mit Solaranlage, €/Jahr	512
Amortisationszeit für Solaranlage, Jahre	8,96
Annahmen:	
Strom-Preis: 17 Cent/kWh	
Jahres-Solaranteil: 75%	

**Bildtafel 7.4a: Die Wirtschaftlichkeitsrechnung**  
*Beispiel: Vergleich Elektroboiler mit Solaranlage*

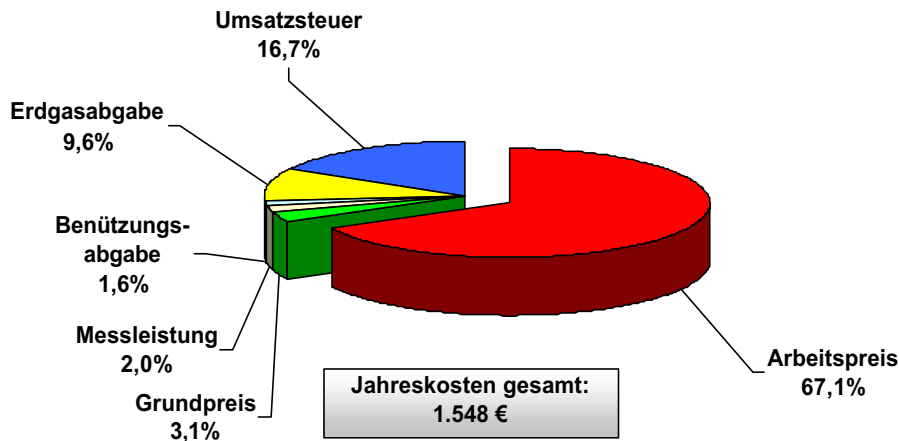
<b>Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen</b>	
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus (Niedrigenergiehaus), 130 m <sup>2</sup>	
Heizwärmebedarf: 50 kWh/(m <sup>2</sup> , Jahr)	
Ohne Warmwasserbereitung	
Statische Berechnung	
(ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
<b>Ölkessel, neu</b>	<b>Pelletsessel</b>
9.090	10.570
Landesförderung, €	
Mehrkosten Pelletsessel, €	1.480
Brennstoffkosten, €/Jahr	
524	268
Jahreskosten-Einsparung mit Pelletsessel, €/Jahr	256
Amortisationszeit für Pelletsessel, Jahre	5,78
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 68,5 Cent/Liter Heizöl	
Pellets-Preis: 16,5 Cent/kg Pellets	

<b>Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen</b>	
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus (Niedrigenergiehaus), 130 m <sup>2</sup>	
Heizwärmebedarf: 50 kWh/(m <sup>2</sup> , Jahr)	
Ohne Warmwasserbereitung	
Statische Berechnung	
(ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
<b>Ölkessel, neu</b>	<b>Erdreich-Wärmepumpe</b>
9.090	15.090
Landesförderung, € (Land & E-Wirtschaft)	3.000
Mehrkosten Wärmepumpe, €	3.000
Brennstoffkosten, €/Jahr	
524	268
Jahreskosten-Einsparung mit Wärmepumpe, €/Jahr	256
Amortisationszeit für Wärmepumpe, Jahre	11,72
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 68,5 Cent/Liter Heizöl	
Strom-Preis: 13 Cent/kWh	

**Bildtafel 7.4b: Die Wirtschaftlichkeitsrechnung**  
*Beispiel: Ölkessel, Pelletsessel und Wärmepumpe*

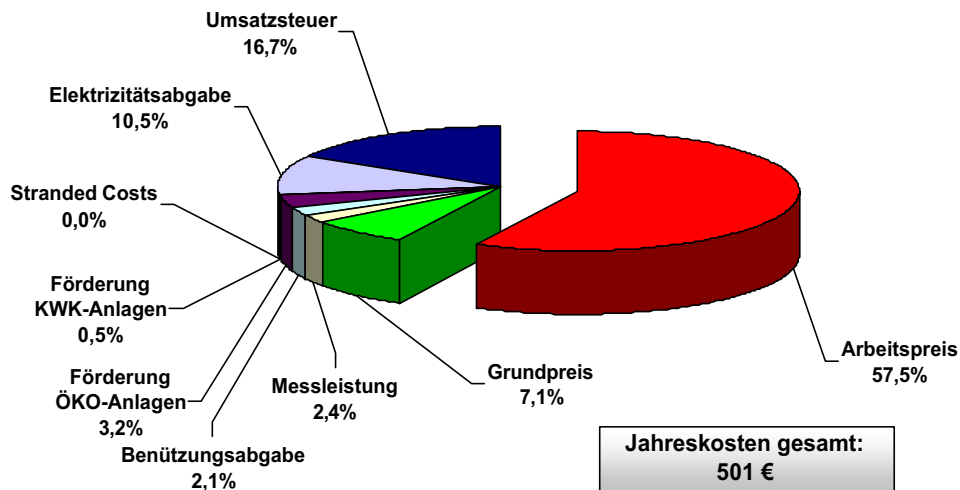
## Struktur der Gas-Preise für Haushalte

### Gas-Preise für Haushalte Beispiel: Jahresmenge: 15.000 kWh Energie Klagenfurt, EKG September 2006



## Struktur der Strom-Preise für Haushalte

### Strom-Preise für Haushalte Beispiel: Jahresmenge: 3.500 kWh Energie Klagenfurt, EKG September 2006



**Bildtafel 7.5: Struktur der Gas- und Stromkosten  
Beispiel für Haushalte, Österreich**



## Wirtschaftlichen Bewertung von solarthermischen Anlagen

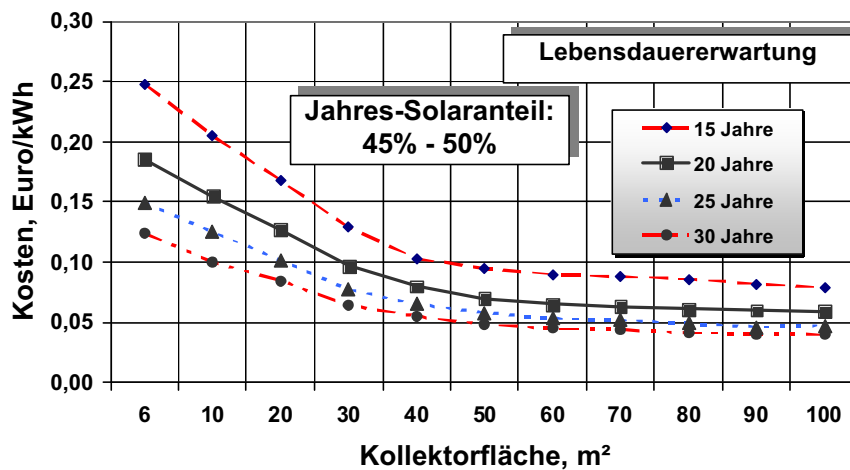
### Solaranlagen für Freibäder und Warmwasserbereitung

**Aus Betriebsdaten und Erfahrungswerten lassen sich für die am Markt bereits gut eingeführten solarthermischen Anlagen die folgenden Aussagen zur Wirtschaftlichkeit ableiten:**

- **Solaranlagen zur Schwimmbaderwärmung in Freibädern (mit Kunststoff-Kollektoren) sind im allgemeinen an sonnigen Standorten wirtschaftlicher zu betreiben als mit Öl oder Gas.**
- **Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Gebäuden (Wohnhäuser, Hotels, Fremdenverkehrsbetriebe, etc.) sollten an sonnen-begünstigten Standorten innerhalb von 10 Jahren amortisiert sein, mit staatlichen Förderungen (bis 30% der Investitionskosten) bereits nach 8 Jahren.**

**Bildtafel 7.6a: Die wirtschaftliche Bewertung von Solaranlagen**

## Solaranlage zur Warmwasserbereitung Wärmeerzeugungskosten



## Solaranlagen mit Heizungseinbindung

- Solaranlagen mit Einbindung in das Heizungssystem erfordern für einen wirtschaftlichen Betrieb die Erfüllung von Voraussetzungen, wie Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperatur-Heizungsauslegung und nebefreie Standorte.
- Für einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb ist eine energie-ökonomische Auslegung (Abstimmung von Kollektorfläche und Speichervolumen auf den Wärmebedarf) zwingend erforderlich.

Bildtafel 7.6b: Die wirtschaftliche Bewertung von Solaranlagen



## **Solaranlage zur Warmwasserbereitung in einem Haushalt (1)**

**Thermische Solaranlage für einen Haushalt  
8 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 500 Liter Wasser-Speicher**

- Investitionskosten: 4.651 €,
- Jährliche Wärmeerzeugung: 2.800 kWh/a

**Zum Vergleich Elektro-Boiler:**

- Investitionskosten: 872 €

**Mehrkosten für Solaranlage: 3.779 €**

## **Solaranlage zur Warmwasserbereitung in einem Haushalt (2)**

**Thermische Solaranlage für einen Haushalt**

**Betrachtungszeitraum: 20 Jahre**

**Wärmeproduktion in 20 Jahren:  $20 * 2.800 \text{ kWh} = 56.000 \text{ kWh}$**

**Mittlere Wärmeerzeugungskosten über den  
Betrachtungszeitraum:**

**Investitionskosten/Wärmeproduktion:  
 $4.651 \text{ €} / 56.000 \text{ kWh} = 0,083 \text{ €/kWh}$ ,**

**Zum Vergleich mit Elektro-Boiler:**

**Mehrkosten für Solaranlage: 3.779 €**

**Investitionskosten/Wärmeproduktion:  
 $3.779 \text{ €} / 56.000 \text{ kWh} = 0,067 \text{ €/kWh}$**

**Bildtafel 7.6c: Die wirtschaftliche Bewertung von Solaranlagen**

## Wirtschaftliche Bewertung von solarelektrischen Anlagen Photovoltaik-Anlagen



## Systemkosten für Photovoltaikanlagen

Die Systemkosten für photovoltaische Systeme liegen in Österreich derzeit bei:

**Autarke Systeme (mit Batteriebetrieb):**

= 1 kW : 15 bis 20 Euro/Watt

1 – 3 kW: 10 bis 15 Euro/Watt

> 3 kW: 10 Euro/Watt

**Netzgekoppelte Systeme (mit Wechselrichter):**

> 3 kW: 5 – 6 Euro/Watt

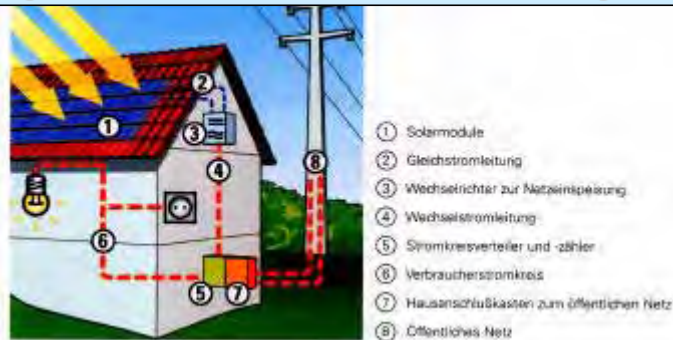
= 3 kW: 6 – 7 Euro/Watt

**Bildtafel 7.7a: Die wirtschaftliche Bewertung von PV-Anlagen**

## Wirtschaftliche Bewertung von Autarken Photovoltaikanlagen

- Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von autarken Photovoltaik-Anlagen außerhalb des elektrischen Netzes wird im allgemeinen mit einer vor Ort möglichen Alternative wie Dieselaggregat zuzüglich Brennstoffversorgung oder Batteriebetrieb mit Austausch und externer Aufladung oder Anschluss an die nächst gelegene Niederspannungsleitung zu einem positiven Ergebnis führen.
- Ähnliches trifft auch für Kleingeräte wie Warnanlagen Messstationen, Notrufsäulen etc. zu.
- Für Taschenrechner und mobile Stromversorger sind PV-Systeme wie in der Raumfahrt die einzige Möglichkeit zur Stromerzeugung.

## Wirtschaftliche Bewertung von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen



### Netzgekoppelte PV-Anlagen

in Konkurrenz mit Strom aus dem öffentlichen Netz (konventionellen Kraftwerksanlagen) sind heute noch nicht wettbewerbsfähig und benötigen eine besondere Förderung von Seiten der öffentlichen Hand, wie Investitionszuschüsse oder spezielle Einspeisetarife, finanziert über die Stromkunden.

Bildtafel 7.7b: Die wirtschaftliche Bewertung von PV-Anlagen

## **Wirtschaftliche Bewertung von Netzgekoppelten Photovoltaikanlagen**

*Statische Bewertung einer 1 kW PV-Anlage nach  
dem österreichischen Ökostromgesetz*

**Netzgekoppelte PV-Anlage, 1 kW<sub>(peak)</sub>**

- Investitionskosten: 6.000 €,
- Jährliche Stromerzeugung: 930 kWh

### **Zum Vergleich:**

- Ökostrom-Einspeisetarif in das öffentliche Netz:  
0,550 €/kWh
- Einsparung an Stromkosten mit der PV-Anlage:  
512 €/Jahr

## **Wirtschaftliche Bewertung von Netzgekoppelten Photovoltaikanlagen**

### **Kosten/Nutzen-Verhältnis:**

**Investitionskosten/Eingesparte Jahreskosten:  
6.000 €/512 € = 11,7 Jahre**

**Die PV-Anlage würde sich unter diesen  
Annahmen in 12 Jahren amortisieren.**

**Anmerkung: In Österreich wird der  
Ökoeinspeistarif für 13 Jahre garantiert.**

**Bildtafel 7.7c: Die wirtschaftliche Bewertung von PV-Anlagen**

## Stromerzeugungskosten aus erneuerbaren Energieträgern in Österreich

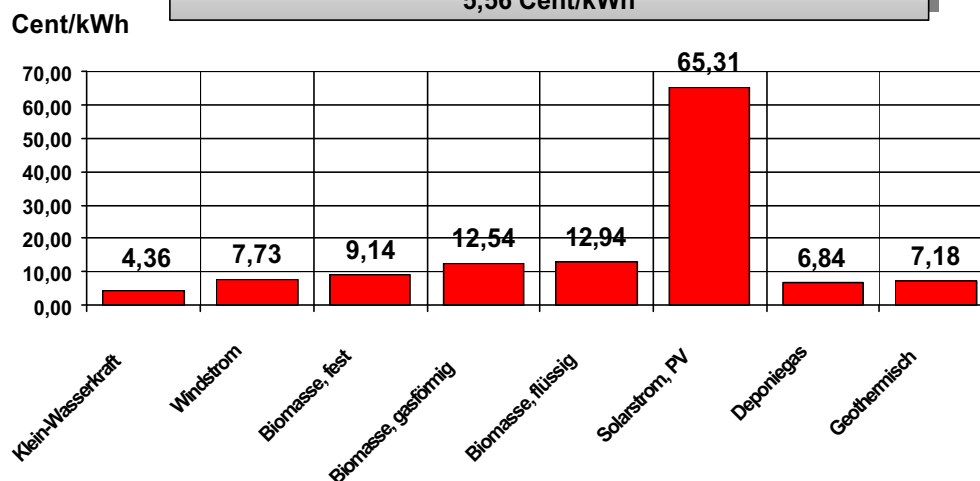
Die sich aus den Investitionskosten für Techniken zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern abgeleiteten Stromerzeugungskosten ergeben sich zu:

- Windstrom: 7 – 8 Cent/kWh,
- Wasserkraft: 6 – 7 Cent/kWh,
- Biomasse: 7 – 13 Cent/kWh,
- Biogas: 13 – 17 Cent/kWh,
- Photovoltaik: 73 – 76 Cent/kWh

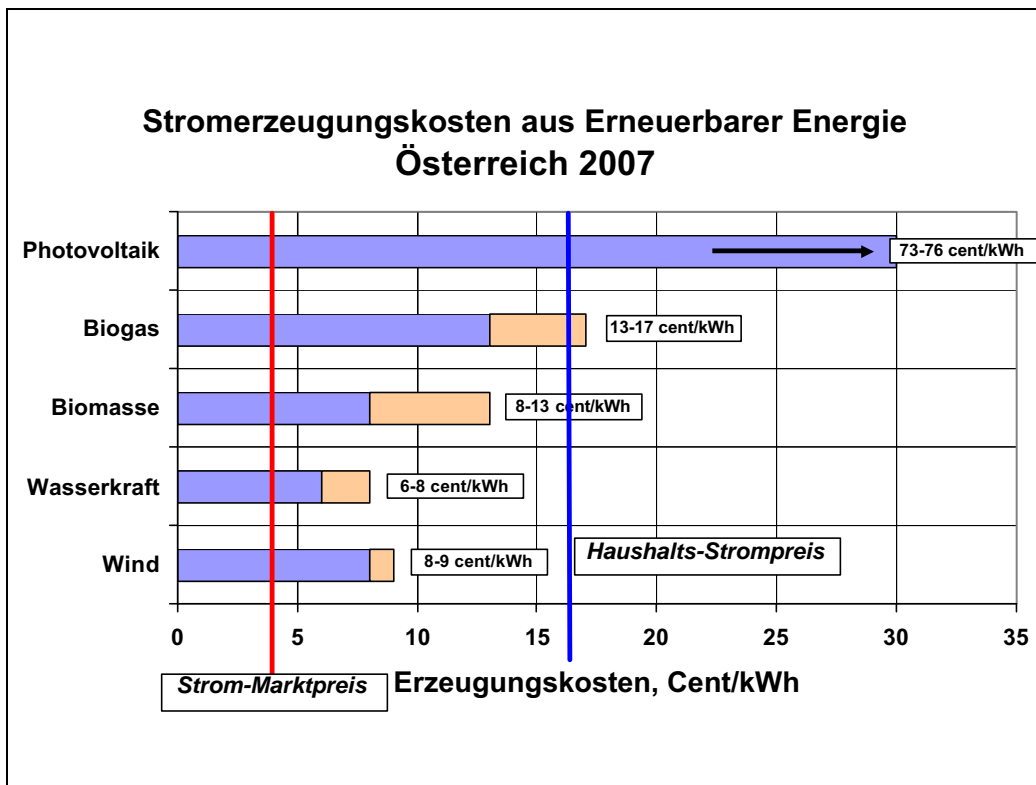
## Wirtschaftliche Bewertung von Ökostrom-Anlagen: 2006

### Ökostrom-Einspeisetarife in Österreich

Durchschnittlicher Einspeisetarif für alle Ökostrom-Anlagen :  
5,56 Cent/kWh



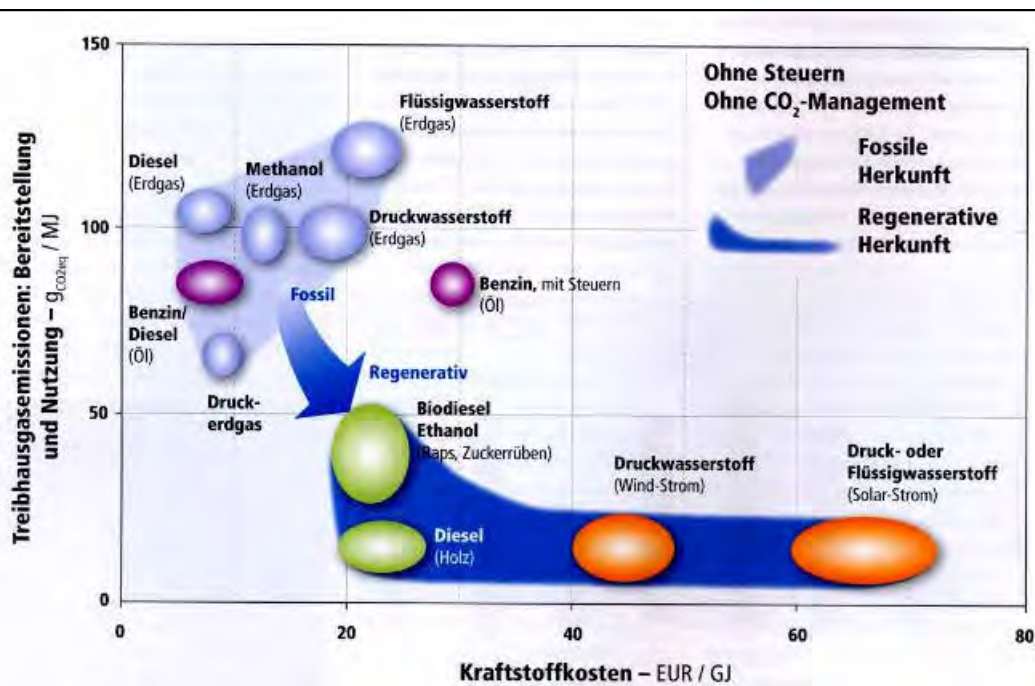
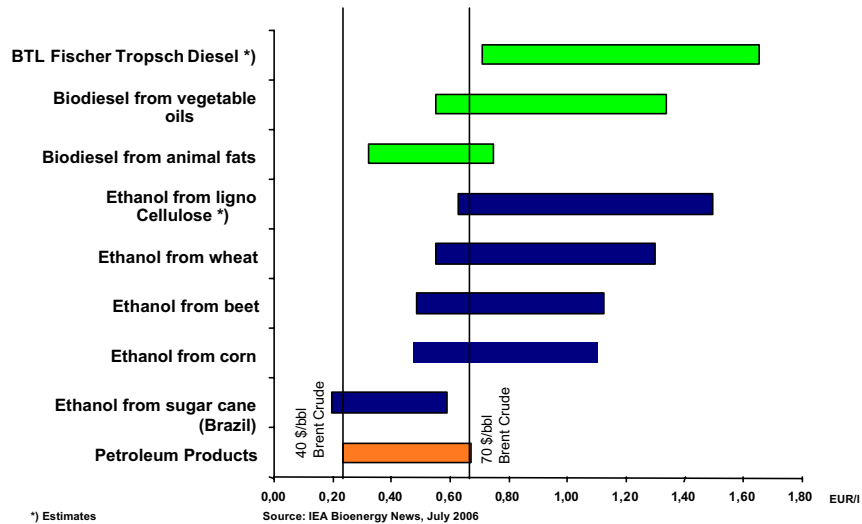
Bildtafel 7.8a: Stromerzeugungskosten aus Erneuerbarer Energie



Stromerzeugungskosten aus Erneuerbarer Energie		
Derzeitige Erzeugungskosten an geeigneten Standorten in Europa und Zielvorgaben für 2020		
Angaben in Euro/kWh		
Energieträger	Derzeit	Ziel für 2020
Biomasse	0,05 bis 0,08	= 0,04
Wind	0,04 bis 0,09	= 0,04
Geothermie	0,08 bis 0,15	= 0,05
Solar-elektrisch (PV)	0,25 bis 0,65	0,10 bis 0,25
Solar-thermisch	0,016 bis 0,20	= 0,05
Meeresenergie	0,08 bis 0,20	= 0,05

**Bildtafel 7.8b: Stromerzeugungskosten aus Erneuerbarer Energie**

## Preisvergleich Rohöl und Bio-Treibstoffe

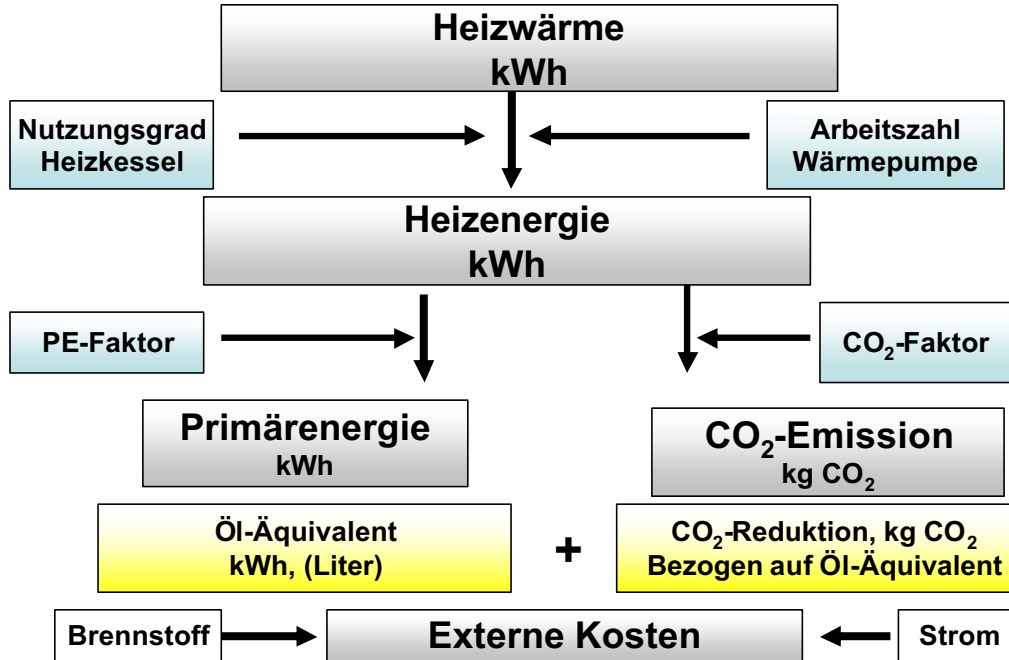


## Treibhausgas-Emissionen und Kraftstoff-Kosten

**Bildtafel 7.9: Erzeugungskosten von Bio-Treibstoffen**  
*Preisvergleich mit Rohöl und Treibhausgas-Emissionen und Kraftstoff-Kosten*



## Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen



Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO <sub>2</sub> -Emissionen Brennstoffe, Strom und Fernwärme		
Energieträger/ Energiedienstleistung	Primärenergie-Faktor, PEF kWh <sub>primär</sub> /kWh <sub>end</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent g/kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Heizöl	1,13	311
Erdgas	1,14	247
Steinkohle	1,08	439
Braunkohle	1,21	452
Scheitholz	0,01	6
Holz-Hackgut	0,06	35
Holz-Pellets	0,14	43
<b>Elektrischer Strom</b>		
Stromkennzeichnung Österreich 2005	1,12	256
UCTE-Mix 2005	1,86	446
EU-17	2,35	430
Deutschland	2,70	613
PV-Strom, zentral	0,40	130
Windstrom, zentral	0,04	20
<b>Fernwärme</b>		
70%Kohle, 30%ÖL	0,77	241
35% Kohle, 65% Öl	1,12	323
100 % Öl	1,48	406
<b>Nahwärme</b>		
35% Kohle, 65% Öl	1,10	127
100% Öl	1,47	323
<b>Solar, dezentral (Gebäudeintegriert)</b>		
Solar thermisch	0	0
Solar elektrisch (Photovoltaik, PV)	0	0
<b>Anmerkung: Primärenergie: kWh<sub>primär</sub>; Endenergie: kWh<sub>end</sub></b>		
<b>Quelle: Datensätze von GEMIS 2004</b>		
Daten für Stromerzeugung in Österreich: Gerhard Faninger		

**Bildtafel 7.10: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizsystemen**

## Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen

- Ölkessel
- Ölkessel & Solar

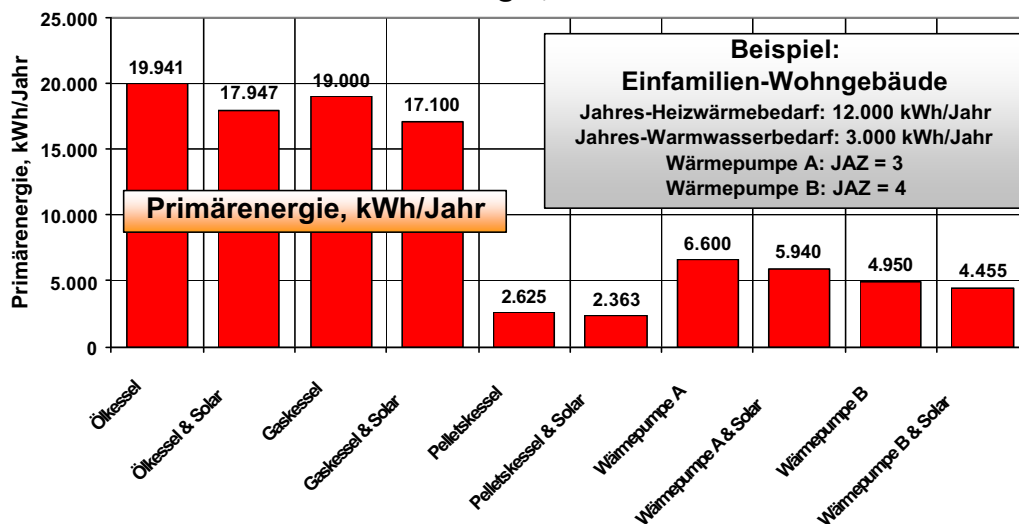
- Gaskessel
- Gaskessel & Solar

- Pelletskessel
- Pelletskessel & Solar

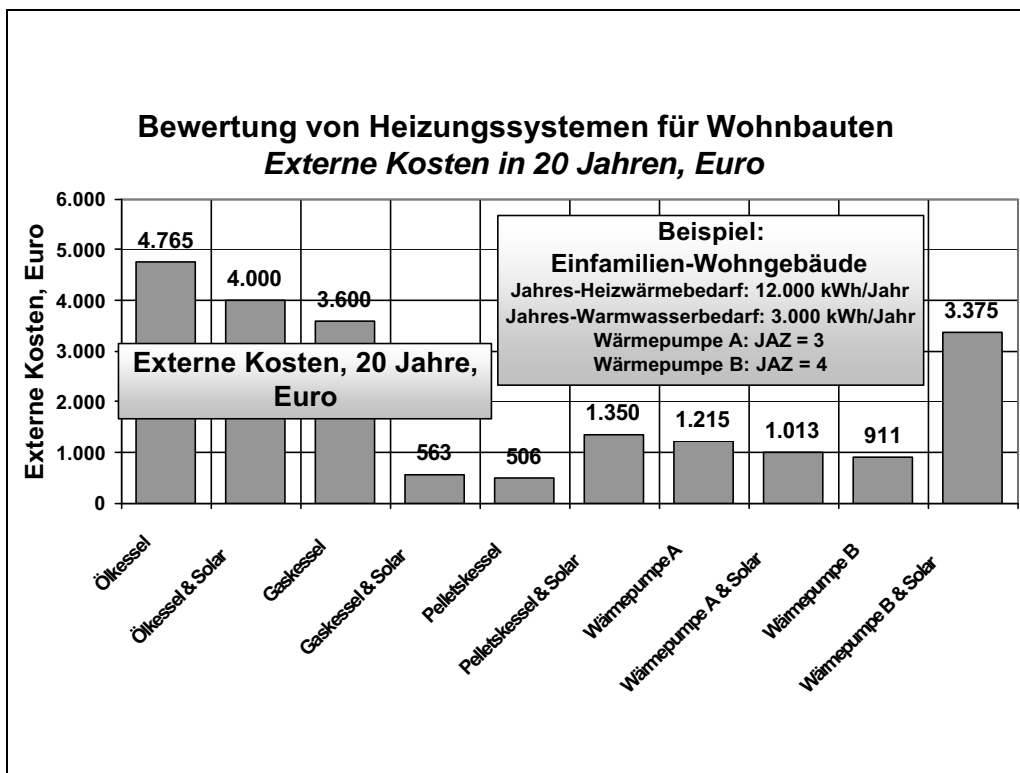
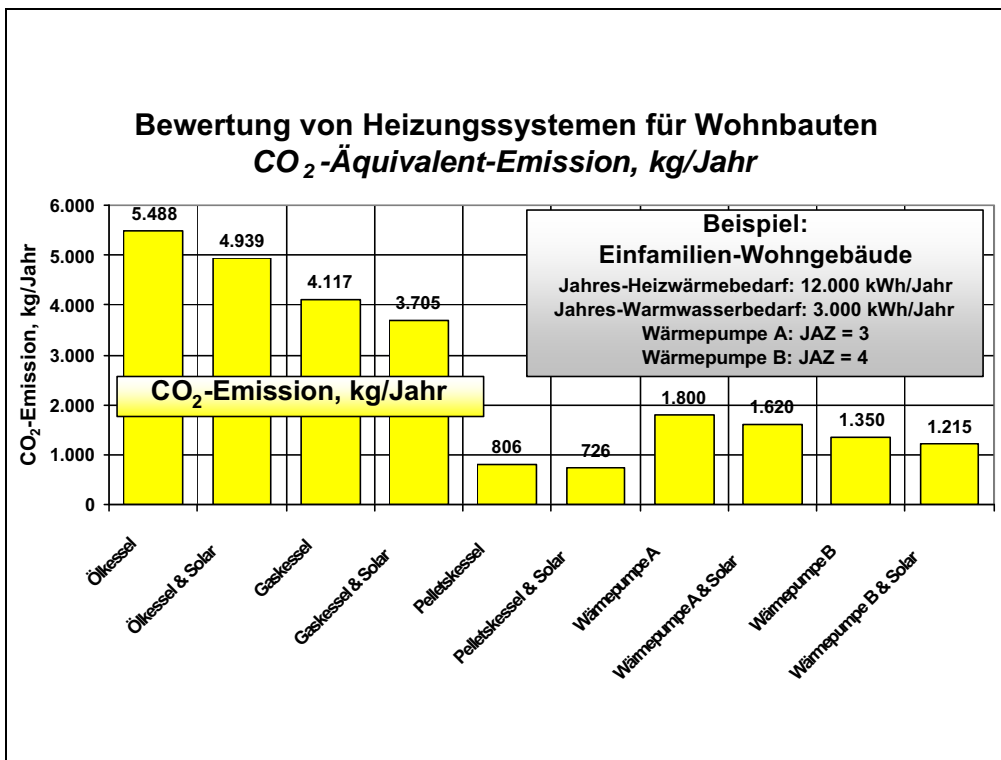
- Wärmepumpe, JAZ 3 und JAZ 4
- Wärmepumpe (JAZ 3/JAZ 4) & Solar

*Solaranlage mit 50% Jahresanteil bei Warmwasserbereitung*

### Bewertung von Heizungssystemen für Wohnbauten Primärenergie, kWh/Jahr



Bildtafel 7.11a: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen: *Primärenergie*



**Bildtafel 7.11b: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizsystemen: CO<sub>2</sub>-Emission und Externe Kosten**

## Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen zur Warmwasserbereitung *Ganzjahresbetrieb*

**Ölkessel  
Ölkessel & Solar**

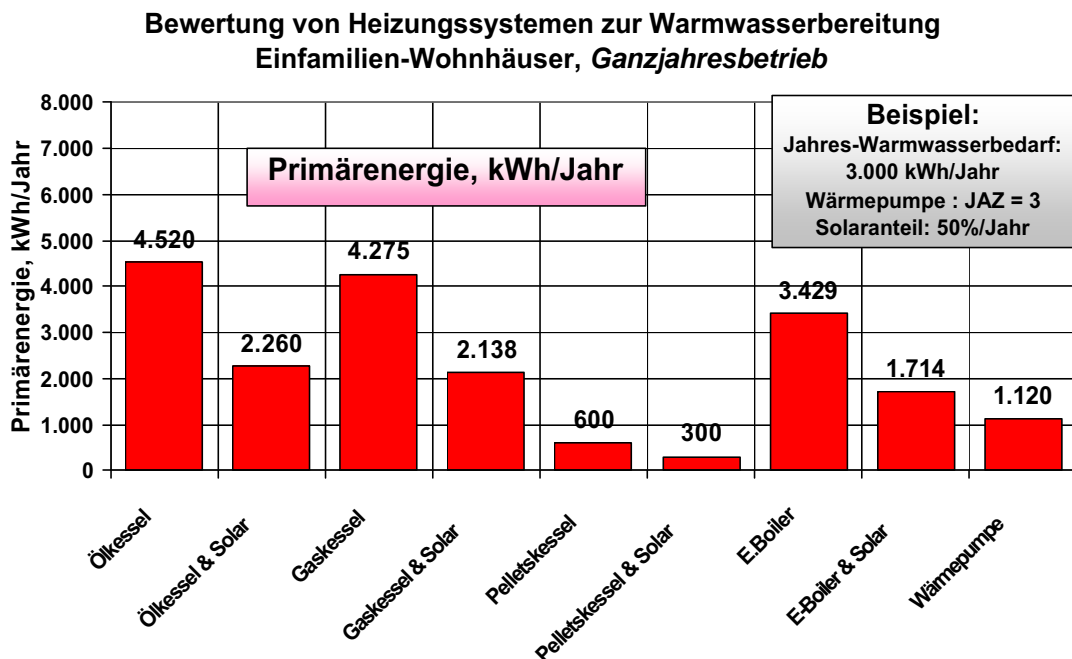
**E-Boiler  
E-Boiler & Solar**

**Gaskessel  
Gaskessel & Solar**

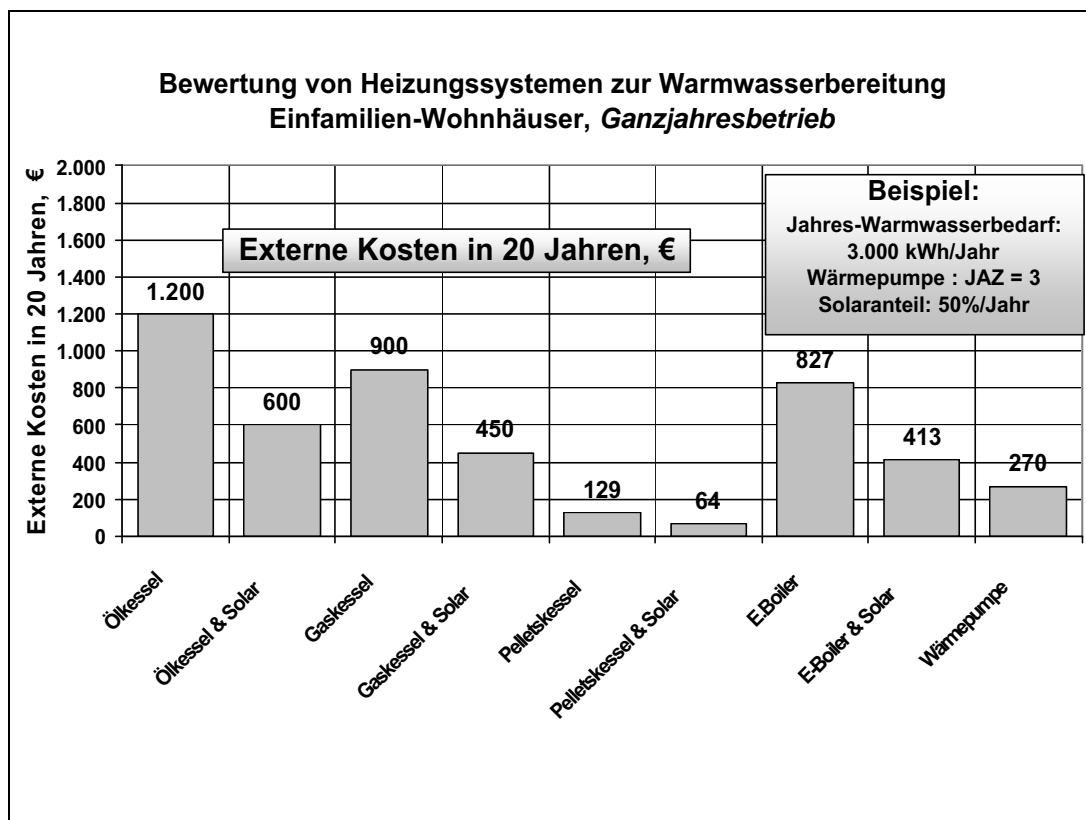
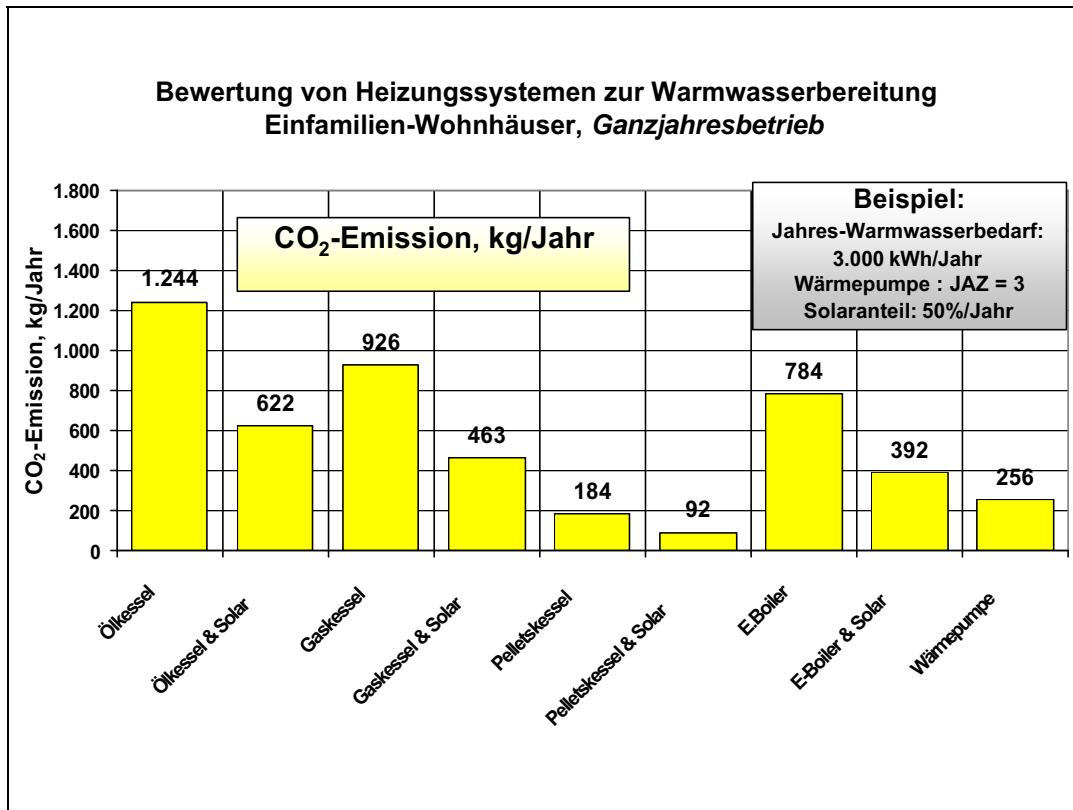
**Wärmepumpe**

**Pelletsessel  
Pelletsessel & Solar**

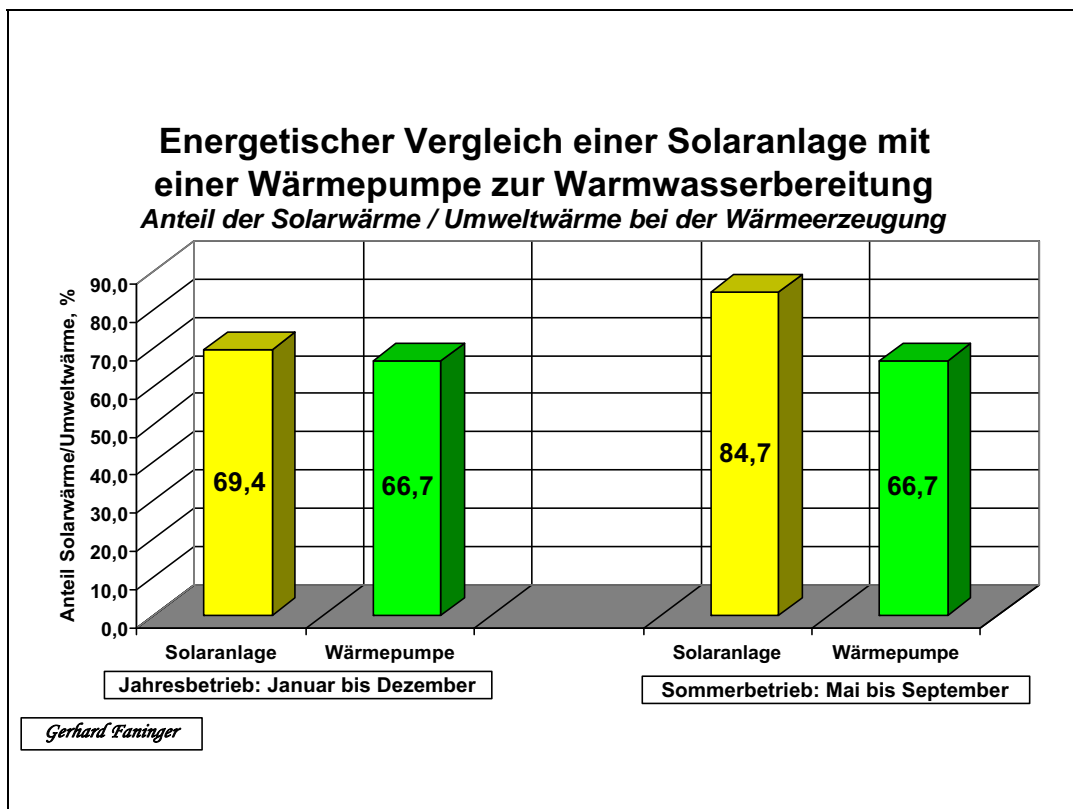
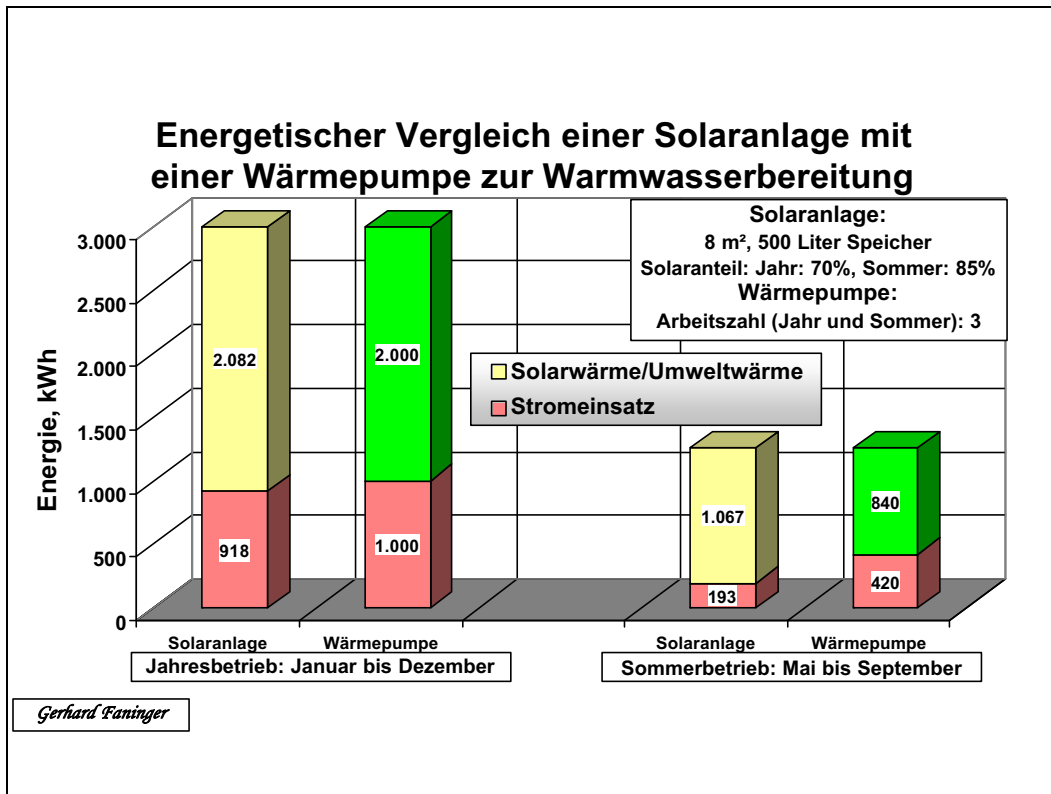
**Solaranlage mit 50% Anteil bei  
Warmwasserbereitung**



**Bildtafel 7.12a: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizsystemen zur Warmwasserbereitung: *Primärenergie***



**Bildtafel 7.12b: Energetische und umweltbezogene Bewertung von Heizsystemen zur Warmwasserbereitung: *CO<sub>2</sub>-Emission und Externe Kosten***



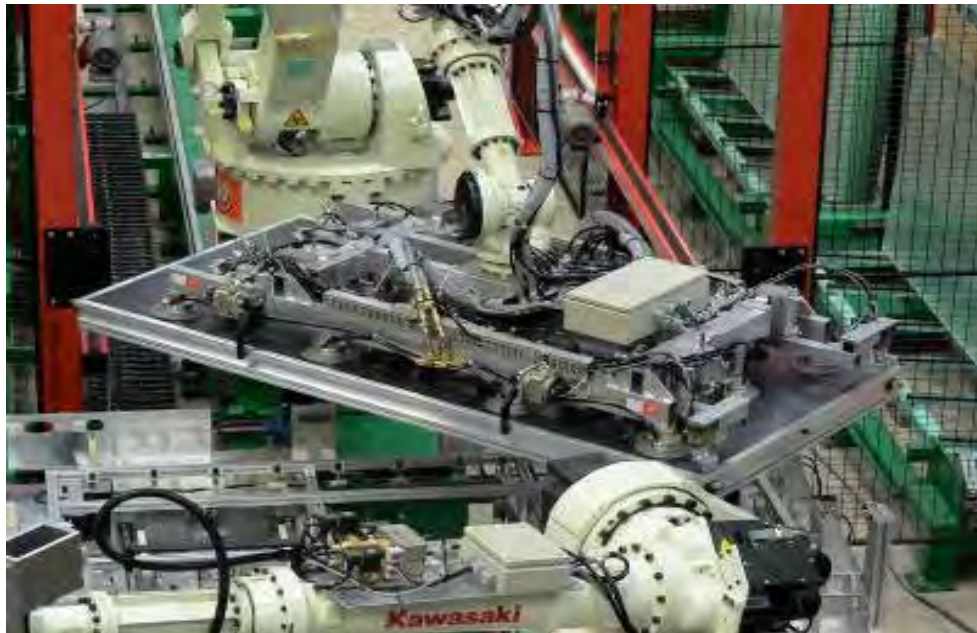
**Bildtafel 7.13: Energetischer Vergleich einer Solaranlage mit einer Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung: Anteil Strom, Solarwärme und Umweltwärme**

**Wege zur Kostenreduktion  
neuer Energietechniken:  
*Beispiel thermische Solaranlagen***



**Mehrfachnutzung, höhere Produktionszahlen,  
koordinierte Planung und Ausführung**

**Industrielle Fertigung von Kollektoren**



**Bildtafel 7.14a: Wege zur Kostenreduktion solarthermischer Anlagen:  
*Automatisierung in der Produktion***



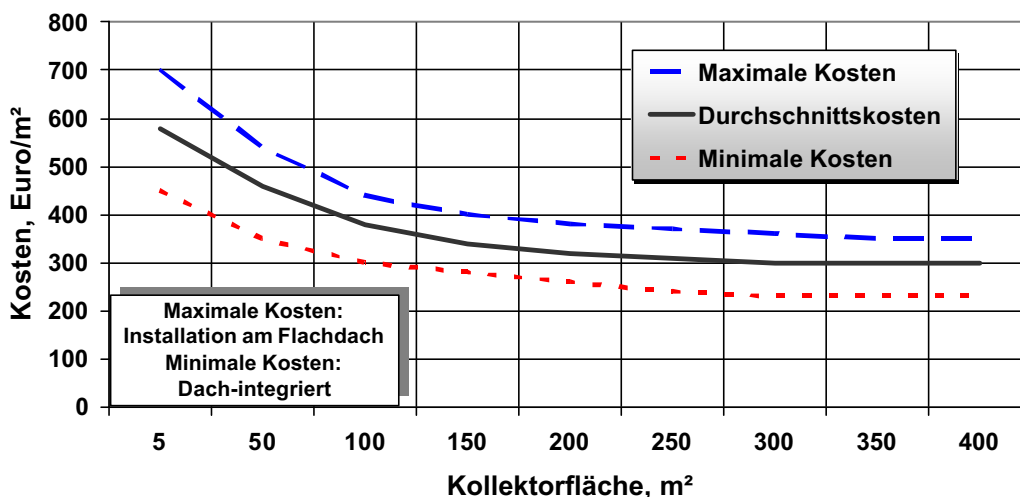
## Zusatznutzen von Solar-Kollektoren



Dach- und Fassaden-Ersatz



### Kollektorfläche und Kollektorkosten Kosten für installierte Kollektorfläche



**Bildtafel 7.14b: Wege zur Kostenreduktion solarthermischer Anlagen:  
Zusatznutzen von Kollektoren als Dach- und Fassadenelemente  
sowie Großanlagen**

**Wege zur Kostenreduktion  
neuer Energietechniken:  
*Beispiel elektrische Solaranlagen***



**Mehrfachnutzung, höhere Produktionszahlen,  
koordinierte Planung und Ausführung**

**Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen  
*Verschattungselemente***



**Bildtafel 7.15a: Wege zur Kostenreduktion solarelektrischer Anlagen:  
*Koordinierte Planung und Ausführung im Gebäudebereich***

## Zusatznutzen von PV-Anlagen (1)

### PV mit Zusatznutzen

- architektonisches Gestaltungselement
- Verschattung
- Fassadengestaltung

### Entscheidungskriterien

- Investitionskosten € / kW<sub>peak</sub>
- Investitionskosten € / kWh
- Jahresertrag kWh / kW<sub>peak</sub>
- Jahresertrag kWh / m<sup>2</sup>
- € / m<sup>2</sup> (auch) als Gestaltungselement
- Bewertung des Zusatznutzens
- ...

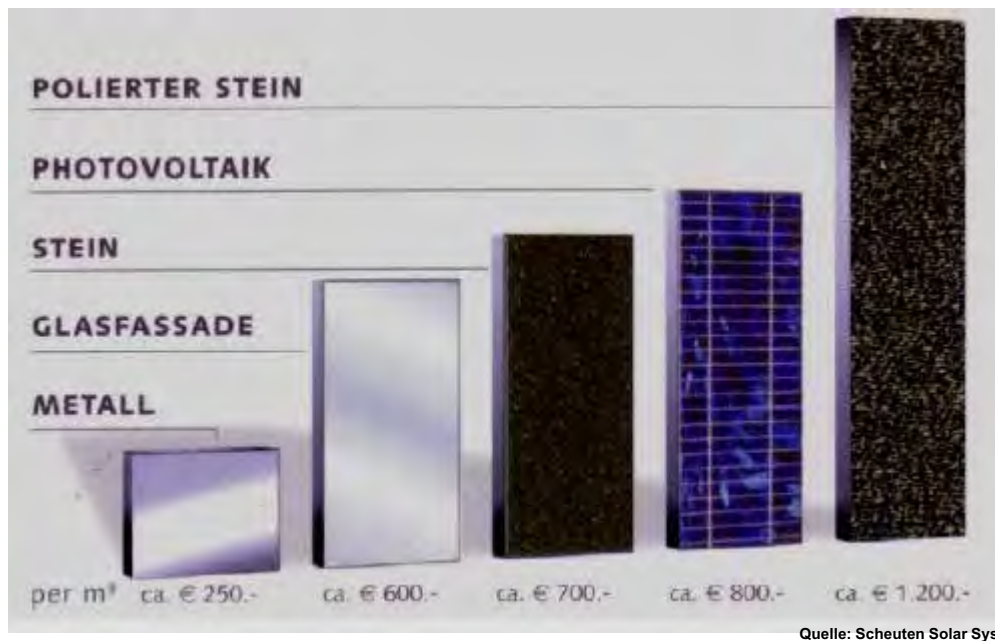


New York, Dachkonstruktion der Stillwell Avenue Terminal,  
größte Gebäudeintegrierte Dünnschicht-Photovoltaikanlage der Welt.

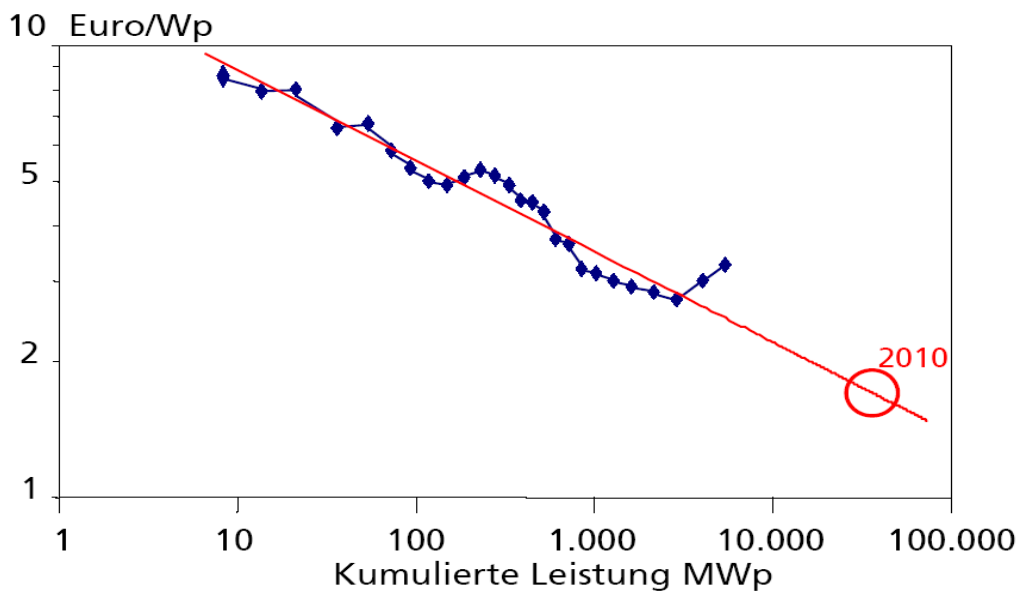


**Bildtafel 7.15b: Wege zur Kostenreduktion solarelektrischer Anlagen:  
*Gebäudeintegration mit Zusatznutzen***

## Zusatznutzen von PV-Anlagen (2)



## Preisentwicklung der Silizium-Solarzellen



**Bildtafel 7.15c: Wege zur Kostenreduktion solarelektrischer Anlagen: Spezielle Fassadenelemente und zunehmende Produktionskapazität**



## **Energetische Amortisationszeit**

Zur energetischen Bewertung eines Energiesystems mit Nutzung eines solaren Energieträgers wird die **energetische Amortisationszeit** herangezogen.

Vergleich des Einsatzes an konventioneller Energie zur Herstellung der Energietechnik mit der Energie-Erzeugung auf Basis erneuerbarer Energie.

### **Positive Energiebilanz:**

Energie-Erzeugung während der Lebensdauer ist größer als Energie-Einsatz zur Erzeugung, Betrieb und Entsorgung.

## **Energetische Amortisationszeit**

**Die energetischen Amortisationszeiten**

- von thermischen Solartechniken liegen um 1 bis 2 Jahre,
- von elektrischen Solartechniken (Photovoltaischen Systemen) – je nach Einsatzort und Anwendung – zwischen 3 und 8 Jahren.

*Für die Bewertung ist der Energieträger für die Erzeugung von Bedeutung.*

**Bildtafel 7.16: Energetische Amortisationszeit**

## 8. Ansätze für die zukünftige Energieversorgung

*Zielvorgaben und Anforderungen.*

*Wege zu einer Nachhaltigen Energieversorgung.*

*Argumente für eine Energie-Strategie mit Erneuerbarer Energie.*

*Entwicklungsstand und Marktsituation von Techniken zur Nutzung  
Erneuerbarer Energieträger.*

*Bevorzugte Einsatzbereiche für Erneuerbare Energieträger.*

*Optionen / Visionen für zentrale solare Energieversorgungssysteme:*

*Der Energie-Satellit und die Solare Weltenergie-Wirtschaft.*

*Option für „Wasserstoff in dezentralen Anwendungen“.*

*Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung.*

*Energie-Perspektiven mit Prioritäten.*

*Wunsch-Szenario und Katastrophen-Szenario.*

### Anforderungen an eine „nachhaltige“ ökonomische Entwicklung

- **Voraussetzung für die weitere wirtschaftliche Entwicklung ist das Angebot von Energiedienstleistungen.**
- **Das heutige Energiesystem ist nicht auf eine längerfristige nachhaltige Entwicklung ausgelegt.**
- **Mit erneuerbaren Energieträgern könnte die weltweite Energienachfrage weitgehend abgedeckt werden.**



# Ansätze für die zukünftige Energieversorgung

## Zielvorgaben

Die Fakten der Energieversorgung von heute – in den Vorräten begrenzte Energieressourcen, zunehmende Umweltprobleme durch Emissionen und radioaktives Gefahrenpotential, zunehmender Energiebedarf in den Ländern der Dritten Welt – fordern nach einem neuen Energiesystem, basierend auf den Kriterien der „Nachhaltigkeit“. Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wurde erstmals im Jahre 1987 bei einer UN-Konferenz erwähnt und damit in die internationale Diskussion eingebracht (Brundtland-Report). *„Nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development) ist eine Wirtschafts- und Entwicklungsform, welche den Bedürfnissen gegenwärtiger Generationen entspricht, ohne die Chancen und Möglichkeiten zukünftiger Generationen, ihre Bedürfnisse zu befriedigen, zu gefährden.“* Die ökonomische Kultur von HEUTE ist auf Wachstum ausgerichtet, es ist deshalb schwierig, eine vernünftige Nachhaltigkeit zu erreichen.

Die Zielvorgaben an ein zukünftiges „nachhaltiges“ Energiesystem lassen sich heute – auf der Basis umfangreicher Erfahrungswerte und wissenschaftlich belegter Argumente – gut definieren; Bildtafel 8.1. Für Lösungen bieten sich unterschiedliche Wege an; Bildtafel 8.2. Entscheidend ist der Zeithorizont. Will man eine längerfristige Sicherstellung der Energieversorgung auch unter umweltbezogenen Aspekten erreichen (bis etwa 2100) oder soll eine wirtschaftlich vertretbare Lösung nur für die nächsten 20 bis vielleicht auch 50 Jahre angestrebt werden?

Die folgenden Kriterien bestimmen die zukünftigen Energie-Versorgungssysteme:

Verfügbarkeit des Energieträgers, Versorgungssicherheit, Preis, Effizienz und Qualität der Energielieferung, Umweltverträglichkeit, Sicherheit, Gefahrenpotential und Risiken bei Erzeugung, Transport, Einsatz sowie Entsorgung. Beim Aufbau eines neuen Energiesystems müssen neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale und kulturelle Aspekte Berücksichtigung finden.

Bei der Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung muss auch der zu erwartende steigende Energiebedarf (Nachholbedarf in heutigen Entwicklungsländern, Zunahme der Weltbevölkerung) einbezogen werden. Faktoren, welche sich nur schwer quantifizieren lassen.

Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um adäquate Lösungen zu finden. Ein nachhaltiges Energiesystem der Zukunft wird das Ergebnis von technischen Innovationen in Verbindung mit einer Reihe von zum Teil drastischen Änderungen in Energiewirtschaft und Gesellschaft sein. Eine langfristig wirksame nachhaltige Wirtschaftsentwicklung erfordert: Reduktion des Energiebedarfes durch energiesparende Maßnahmen, verstärkte Nutzung erneuerbarer lokal anfallender Energieträger und Kombination von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energieträgern. Wesentliche Argumente für einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger sind die Vorteile einer Verbesserung der Versorgungssicherheit, langfristige Verfügbarkeit, lokale und regionale Wertschöpfung, und Beitrag zur Emissionsreduktion und damit Umweltschonung.

Die noch verfügbare Zeit für den Aufbau ein neues Energiesystem ist kurz und verlangt nach raschem Handeln.



## Anforderungen

Die Anforderungen an ein zukünftiges Energiesystem werden von der Natur vorgegeben: Energie kann nicht gewonnen werden, sondern wird von einer Energieform in eine andere umgewandelt – mit physikalischen, biologischen und chemischen Prozessen. Voraussetzung ist das Vorhandensein von Energie-Ressourcen bzw. Energie-Trägern. Langfristig lässt sich der weltweite Energiebedarf nur mit Energieträgern sicherstellen, welche entweder nachhaltig genutzt werden oder – nach menschlichen Maßstäben – unerschöpflich sind. Zur ersten Kategorie zählt die Sonnenenergie, welche direkt oder indirekt genutzt werden kann. Zur zweiten Kategorie zählt die D-D Kernfusion.

Der Aufbau neuer Energiesysteme stellt hohe Anforderungen an die Umsetzung;  
Bildtafel 8.3:

- (1) Hoher Entwicklungsstand durch Forschung, Entwicklung und Demonstration sowie über Markterprobung und Markteinführung.
- (2) Lange Perioden zur Markteinführung (10% Marktanteil in 30 bis 50 Jahren).
- (3) Kapitalbedarf.
- (4) Langfristige Finanzierungsmodelle.
- (5) Zusätzlicher Bedarf an Ressourcen: Rohstoffe, Energieträger, Landschaft.
- (6) Zusätzliche Emissionen durch den Energieeinsatz.

Zur Umsetzung der Anforderungen ist eine strategische und langfristige Planung nach Zielvorgaben in Verbindung mit einem Maßnahmenkatalog erforderlich.

Ein ernstzunehmendes Problem beim Aufbau eines neuen Energiesystems stellt die längere Markteinführungszeit neuer Energieträger/Energietechniken dar. Von der Umstellung von Holz auf Kohle und später auf Erdöl und Erdgas weiß man, dass für die Markteinführung neuer Energieträger bzw. neuer Energiesysteme längere Zeitperioden erforderlich sind: Um beispielsweise 10% Anteil eines neuen Energieträgers am Markt zu erreichen sind 30 bis 50 Jahre erforderlich.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems erfordert aber auch einen hohen Kapitalbedarf. Nach Schätzungen der Internationalen Energieagentur beträgt der Investitionsbedarf für ein nach Klimaschutz-Kriterien neu orientiertes weltweites Energiesystem bis zum Jahre 2030 um 432 Milliarden US\$ (Internationale Energieagentur, 2007); Bildtafel 8.3. Neue Investitionen betreffen den Ausbau Erneuerbarer Energieträger und Technologien, mit denen CO<sub>2</sub> aufgefangen und gespeichert werden kann.

## Wege zu einer *Nachhaltigen* Energieversorgung

Eine langfristig wirksame Energieversorgung in Verbindung mit einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung erfordert, Bildtafel 8.4:

- (1) Reduktion des Energiebedarfes durch energiesparende Maßnahmen.
- (2) Nutzung erneuerbarer lokal anfallender Energieträger  
(*Biomasse, Sonnenenergie und Umweltwärme, Wasserkraft, Windenergie, Geothermische Energie*).
- (3) Kombination von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energieträgern.

Eine besondere Bedeutung kommt der Organisation der Energieversorgung zu: Dezentrale und zentrale Energiesysteme.

## **Argumente für eine Energie-Strategie mit Erneuerbarer Energie**

Eine Zukunftsstrategie für Energiesysteme muss Erneuerbare Energie mit einschließen; Bildtafel 8.5. Die Zukunftsperspektiven für Fossile und Nukleare Energieträger sprechen nicht für eine Weiterführung der derzeitigen Energiewirtschaft: Begrenzte Vorräte, Unsicherheit in der Versorgung und Umweltbedrohung durch Emissionen und radioaktive Strahlung beim Einsatz fossiler und nuklearer Energieressourcen; Bildtafel 8.6 und Bildtafel 8.7. Erneuerbare Energieträger tragen zu einer Verbesserung der Versorgungssicherheit mit langfristiger Verfügbarkeit, lokaler und regionaler Wertschöpfung sowie zur Reduktion energiebedingter umweltrelevanter Emissionen bei; Bildtafel 8.8.

Mit Erneuerbaren Energieträgern wird das Gefahrenpotential für eine dramatische Klimaänderung reduziert. Mit zunehmender Marktdurchdringung werden Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger effizienter und in der Investition billiger. Mit zunehmendem Erfolg am Markt wird die Bereitschaft der Konsumenten zum Umstieg von Fossilen auf Erneuerbare Energieträger verbessert.

Erneuerbare Energieträger haben grundsätzlich das Potential, einen entscheidenden Beitrag zum Energieaufkommen zu leisten, sowohl weltweit als auch in Europa; Bildtafel 8.9. Abschätzungen des technisch umsetzbaren Potentials sind schwierig, da sehr komplex: Unterschiedliche Einsatzbereiche, geographische Unterschiede, zeitliche Schwankungen des Angebotes.

Erneuerbare Energieträger haben Vorteile in dezentralen Energiesystemen. Diese bringen aber auch eine höhere Versorgungssicherheit.

Mit Erneuerbaren Energieträgern könnte die weltweite Energienachfrage weitgehend abgedeckt werden. Eine massive Marktdurchdringung Erneuerbarer Energieträger hat aber auch Einfluss auf die Umwelt und die öffentliche Akzeptanz. Beim Aufbau eines neuen auf Erneuerbaren Energieträgern basierenden Energiesystems müssen deshalb neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale Aspekte Berücksichtigung finden. Umfangreiche Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um zu adäquate Lösungen zu kommen.

## **Zukunftsoptionen für Erneuerbare Energieträger**

In den letzten Jahren konnte sich eine Reihe von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger am Markt bewähren, mit zunehmenden jährlichen Zuwachsraten, welche über den steigenden Verbrauchszuwächsen lagen: Solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und Raum-Zusatzheizung, Biogene Energieträger zur Erzeugung von Wärme, Strom und in zunehmendem Maße auch für Treibstoffe, Windkraftwerke in Küstennähe, aber auch in Binnenländern mit günstigen Windverhältnissen (z.B. der Osten von Österreich), Geothermische Anlagen, wie für Thermalwasser und Wärmequelle für Erdreich-Wärmepumpen, solarelektrische Anwendungen (photovoltaische Systeme), insbesondere zum Einsatz außerhalb der elektrischen Infrastruktur (autarke Anlagen).

## **Entwicklungsstand und Marktsituation von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger**

Eine Reihe von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger haben lange Tradition (Wasserkraft, Windkraft, Geothermie, Biomasseverbrennung) und sind am Markt bereits gut eingeführt, einige Techniken stehen mit konventionellen Energietechniken im wirtschaftlichen Wettbewerb (Solarenergie, Oberflächen-Geothermie – Wärmepumpen) und weitere Techniken sind in Entwicklung und am Beginn einer viel versprechenden Markteinführung – derzeit allerdings nur wettbewerbsfähig mit staatlicher Unterstützung; z.B. Ökostromanlagen.

Mit der Markteinführung von Techniken zur Nutzbarmachung Erneuerbarer Energieträger werden einerseits Kosteneinsparungen bei Herstellung und Installation und andererseits Effizienzsteigerungen im Betrieb erreicht. Als Indikator für technische Weiterentwicklungen dienen die so genannten „*Learning Curves*“: Energieerzeugungskosten in Abhängigkeit vom Marktanteil, ausgedrückt über die installierte Leistung pro Einwohner; Bildtafel 8.10. Die Wirtschaftlichkeit von solarthermischen und solarelektrischen (photovoltaischen) Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung in Gebäuden wird durch Mehrfachnutzung verbessert: Ersatz von Dachziegeln und Gebäude-Fassaden; siehe Abschnitt 7.

Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energie konnten in mehreren Ländern zu einem „Wirtschaftsfaktor“ werden, mit Jahreszuwachsraten um mehr als 20%. In Österreich sind es vorrangig thermische Solaranlagen, Biomasse- und Wärmepumpen-Anlagen; Bildtafel 8.11.

Das Entwicklungspotential von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger ist aber noch lange nicht ausgeschöpft und weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung sind erforderlich (Dünnschicht-Solarzellen, Tiefen-Geothermie, Meeresenergie).

### **Bevorzugte Einsatzbereiche für Erneuerbare Energieträger**

Bevorzugte Einsatzbereiche für Erneuerbare Energieträger mit guten Zukunftsaussichten sind:

(A) Solarwärme, Biowärme und Umweltwärme: Um 50% des Endenergieeinsatzes in Europa entfällt auf die Wärmeversorgung von Gebäuden. Ein Großteil könnte mit Erneuerbaren Energieträgern abgedeckt werden: Mit solarthermischen Anlagen, Biowärme-Heizungssystemen mit Hackgut und Pellets, und Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung in Gebäuden.

(B) Niedertemperatur-Geothermie: Genutzt über Wärmepumpen oder direkt als Thermalwasser bietet ebenfalls die Möglichkeit, Fossile Energieträger bei der Wärmeversorgung zu substituieren.

(C) Bio-Treibstoffe: Die Erzeugung von Bio-Treibstoffen aus Biogenen Energieträgern – auch Hackgut – ist ein großer Hoffungsmarkt für die Substitution Fossiler Energieträger im Verkehr, mit neuen Aspekten für die landwirtschaftliche Nutzung brach liegender Agrarflächen.

(D) Solarelektrische Anlagen zur Stromerzeugung: Photovoltaikanlagen stellen heute bereits wirtschaftlich interessante Einsatzbereiche in Gebieten ohne elektrische Infrastruktur dar: *autarke Systeme im alpinen Bereich, Warnanlagen, Parkuhren etc.* Dezentrale Photovoltaikanlagen bieten sich zum Aufbau einer elektrischen Infrastruktur in Entwicklungsländern an, mit Millionen Dörfern ohne Strom. Die Einbindung dezentraler photovoltaischer Systeme in

bestehende Verteilnetze erfordert noch die Lösung von Integrationsproblemen, inklusive effizientes Energiemanagement.

## **Optionen / Visionen für zentrale solare Energieversorgungssysteme**

Für den Aufbau eines neuen weltweiten/zentralen Energiesystems existieren zwei Vorschläge: Energieversorgung über „Energie-Satelliten“ und „Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft“.

### **Option „Energie-Satellit“**

Das Konzept für „**Energie-Satelliten**“ wurde Ende 1970 in den USA (*Department of Energy, NASA*) in Zusammenarbeit mit Europa (*ESA, ESTEC*) entwickelt. Mit der Produktion von solarem Strom (über Solargeneratoren) im Weltraum soll im Vergleich zu einer solaren Stromerzeugung auf der Erdoberfläche eine größere Stromausbeute über das Jahr erzielt werden; Bildtafel 8.12.

Über ein Shuttle-System sollen Personal und Materialien in den Weltraum gebracht werden. Der Zusammenbau der Solarsysteme erfolgt im Weltraum. Der solar erzeugte Strom wird in Mikrowellen umgewandelt und auf die Erdoberfläche gestrahlt. Mit Antennen erfolgt an der Erdoberfläche die Umwandlung der Mikrowellen in elektrischen Strom.

Der solar betriebene Energie-Satellit erzeugt in den für den Umlauf vorgesehenen Bahnen nahezu unabhängig von Tages- und Jahreszeit Strom und die auf die Erdoberfläche abgestrahlten Mikrowellen werden beim Durchgang durch die Atmosphäre nur unwesentlich geschwächt.

Auch unter Berücksichtigung der Verluste im Umwandlungsprozess in der Größenordnung von 40% werden von Energie-Satelliten – bei einem Systemwirkungsgrad von etwa 6,8% – das etwa 5-fache an Strom produziert, als dies über Solargeneratoren auf der Erdoberfläche – auch in sonnenreichen Zonen – möglich wäre. Im Rahmen einer Energiebilanzierung müsste allerdings auch der Energieaufwand für den Transport der Solargeneratoren in die Umlaufbahn („Space Shuttles“) Berücksichtigung finden.

Für die Stromproduktion mit Energie-Satelliten stehen allerdings nur wenige günstige Weltraumbahnen zur Verfügung.

Das für drei Jahre angesetzte Forschungsprogramm wurde im Jahre 1981 beendet, mit dem Ergebnis, dass mit Energie-Satelliten aus technischer Sicht zwar günstig solarer Strom zu erzeugen ist, ökonomische, soziale und internationale sowie insbesondere umweltbezogene Aspekte eine Realisation nicht erwarten lassen.

### **Option „Solare Welt-Energiewirtschaft“**

Die Option „**Solare Energiewirtschaft**“ verfolgt das Ziel, das fossile Zeitalter in ein „Sonnen-Zeitalter“ überzuführen. Wasserstoff kommt in der Natur nur in Verbindung mit anderen Elementen vor: mit Sauerstoff in Wasser und mit Kohlenstoff in biogenen und fossilen Brennstoffen (Kohlenhydrate). Eine Abtrennung über physikalische und/oder chemische Prozesse ist erforderlich. Wasserstoff ist demnach ein „Sekundärenergieträger“; Bildtafel 8.13 und 8.14.

Wasserstoff als Sekundär-Energieträger weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle. Wasserstoff kann allerdings auch mit Luft ein explosives Gemisch ergeben.

Wasserstoff wird derzeit in der chemischen Industrie eingesetzt, als Energieträger für die Erzeugung von Wärme und Strom sowie zum Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen existieren bereits die für die Umsetzung in der Praxis erforderlichen Techniken.

Die Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser durch Elektrolyse (Strom) und/oder durch thermochemische Zersetzung/Spaltung über Hochtemperaturwärme kann über alle Energieträger erfolgen. Zunächst wird für die Wasserstoffherzeugung insbesondere Erdgas in Betracht gezogen, später sollte es Solarenergie sein, um die Kriterien für eine nachhaltige Energieversorgung zu erfüllen: photovoltaische Stromerzeugung für Elektrolyse und/oder photochemische Erzeugung von Wasserstoff über solare Hochtemperaturanwendungen.

Wasserstoff als Energieträger kann gespeichert und transportiert werden und weist somit die besondere Attraktivität des derzeit aus Erdöl und Erdgas gut funktionierenden Energiesystems auf. Eine ideale Fortsetzung einer globalen Energieversorgung.

Eine globale solare Energiewirtschaft baut auf der solaren Erzeugung von Wasserstoff und dessen Transport über Pipelines und/oder Tankwagen/Tankschiffe auf. Einer raschen Markteinführung von Wasserstoff in der Energiewirtschaft stehen derzeit einerseits wirtschaftliche Faktoren und andererseits eine fehlende Infrastruktur entgegen.

Im Falle einer solaren Wasserstoff-Produktion in den sonnenreichsten Ländern – wie z.B. Sahara mit einer Sonneneinstrahlung von bis zu 2.200 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) – beträgt der Nutzungsgrad um 60 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr). Zum Vergleich werden in gemäßigten Klimazonen (z.B. Österreich) mit einer solarthermischen Anlage um 350 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) Wärme und mit einer Photovoltaikanlage um 100 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) Strom erzeugt.

Für einen Vergleich einer zentralen Energieversorgung mit einer dezentralen Energieversorgung sind allerdings auch die Kosten für Herstellung, Vertrieb und erforderliche Infrastruktur zur Nutzung (z.B. auch Tankstellen für mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge oder Brennstoffzellen für die Strom- und Wärmeerzeugung) zu berücksichtigen.

Die Attraktivität von Wasserstoff liegt im Bereich des Einsatzes: Wasserstoff lässt sich in alle Formen von Nutzenergie umwandeln: *Wärme, Strom und Arbeit*. Bei der Nutzung von Wasserstoff entsteht kein CO<sub>2</sub> und auch die anderen Schadstoff-Emissionen werden nahezu vermieden: das Verbrennungsprodukt ist Wasser.

Herstellung und Transport von Wasserstoff sind allerdings nicht besonders vorteilhaft: Die Produktion von Wasserstoff aus fossilen Energieträgern verursacht CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche – je nach Verfahren – zum Teil über denen bei direkter Nutzung fossiler Energieträger liegen. Mit Wasserkraft und Kernenergie kann Wasserstoff CO<sub>2</sub>-frei produziert werden, für eine zukünftige große Nachfrage müssten jedoch Kapazitäten neuer Kraftwerke geschaffen werden.

Die optimale Erzeugung von Wasserstoff wäre über Solarenergie (elektrisch oder thermisch) zu erreichen, die Kosten wären aber sehr hoch und möglicherweise höher als im Falle des dezentralen Einsatzes der Solartechniken. Auch die solare Erzeugung von Wasserstoff

erfordert zusätzliche Kapazitäten von thermischen oder elektrischen Solarkraftwerken, die erst aufgebaut werden müssen.

Für den Transport von Wasserstoff per Laster, Pipeline oder Tanker muss dieser komprimiert oder verflüssigt werden. Dies bedeutet Energieverluste. Über lange Distanzen können – abhängig von der Wasserstoff-Technologie – die Energieverluste eine dezentrale Produktion am Ort des Verbrauches sinnvoller machen.

Das globale Potential für eine solare Wasserstoffproduktion in sonnenreichen Zonen ist grundsätzlich vorhanden, von einer weltweiten Wasserstoff-Produktion im Sinne der vor mehreren Jahrzehnten zur Diskussion gestellten „Solaren Wasserstoff-Wirtschaft“ als Kooperationsvorhaben von sonnenreichen (Entwicklungs-) Ländern und Industrieländern mit Aufbau eines weltweiten Verteilnetzes wird heute eher abgegangen: Zu groß sind die Probleme für eine globale Zusammenarbeit und gemeinsame Finanzierung.

Außerdem ist eine Wasserstoff-Produktion in Wüstengebieten unsicher, da das Wasser für die Elektrolyse oder photochemische Behandlung erst bereitzustellen ist und als Meerwasser entsalzt werden müsste. Auch Sandstürme sind ein Problem für die technischen Einrichtungen (Sonnenkraftwerke).

### **Option für „Wasserstoff in dezentralen Anwendungen“**

Heute wird den solaren Energietechniken Vorzug für dezentrale Anwendungen zugeordnet, und dies würde auch auf die Wasserstoff-Produktion zutreffen. Bei dezentralen Anwendungen (z. B. in *Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen*) ist Wasserstoff effizient. Andererseits ist zu prüfen, ob es Vorteile bringt, mit Strom Wasserstoff zu erzeugen und damit wieder Strom. Strom wird effizienter direkt verwendet; Bildtafel 8.14.

Auch aus Erdgas erzeugten Wasserstoff zur Wärmeerzeugung zu verbrennen, kann im Vergleich zur direkten Verbrennung von Erdgas (Brennwerttechnik) ineffizient sein.

Wünschenswert ist der Einsatz von Wasserstoff in Fahrzeugen, im Hinblick auf Luftschadstoffe und Nachhaltigkeit. Aber Wasserstoff muss sich zunächst gegenüber Öl und später auch neben Gas und anderen synthetischen Treibstoffen auf dem Markt behaupten. Insbesondere fehlt es noch an der für eine Wasserstoff-Energieversorgung erforderliche Infrastruktur. Wasserstoff ist leicht und flüchtig. Er erfordert andere Sicherheitsvorkehrungen als Benzin, ist aber nicht generell gefährlicher.

Wasserstoff als (Sekundär-) Energieträger hat ein vielfältiges Potential, ist aber kein Wundermittel, mit dem das Energieproblem der Zukunft alleine zu lösen sein wird.

### **Wasserstoff und Brennstoffzellen**

Brennstoffzellen (*Fuel Cells*) sind Einrichtungen zur Umwandlung der chemischen Energie eines Brennstoffes direkt in Strom, mit Wärme als Abfallprodukt. Brennstoffzellen sind prädestiniert zur Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme; Bildtafel 8.15.

Der Vorteil der bereits im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befindlichen Brennstoffzellen liegt einerseits in der umweltfreundlichen Verbrennung von Wasserstoff ohne die Umwelt belastende Emissionen und andererseits in einer höheren Effizienz bei der

Stromerzeugung im Vergleich zu Dieselaggregaten: 50% bis 60% im Vergleich zu 30% bis 40%.

Brennstoffzellen sind für kleinere Leistungseinheiten prädestiniert: wenige kW bis einige MW und eignen sich damit für den Einsatz in dezentralen Energiesystemen.

Brennstoffzellen werden heute am Markt bereits angeboten, sind jedoch im Vergleich zu konventionellen Stromerzeugungsanlagen noch nicht wettbewerbsfähig und finden deshalb meist Einsatz in Demonstrationsanlagen. Ein für die Zukunft interessanter Einsatzbereich für Brennstoffzellen wird im Transportsektor erwartet.

Derzeit wird Erdgas für die Produktion von Wasserstoff für den Einsatz in Brennstoffzellen herangezogen. Im Kfz-Bereich liefern Brennstoffzellen die erforderliche Energie für Elektromotoren.

## **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung**

Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert: Entwicklung der Weltbevölkerung, Verfügbarkeit von Energieträgern, Entwicklung der Energiepreise, Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern, zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*), tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger. Damit gestalten sich auch Energieprognosen schwierig bzw. können nicht aussagekräftig sein: Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes und dessen Abdeckung gibt es keine klaren Antworten; Bildtafel 8.16a bis 8.16c. Ein großes Problem ist der Zeitbedarf für die Umstrukturierung der Energiewirtschaft (Bildtafel 8.16b und Bildtafel 8.16.c) sowie die Energieversorgung von Ballungszentren (Bildtafel 8.16d).

Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung sind; Bildtafel 17 (a bis c):

(1) Kann Kohle mit noch größeren Reserven (um 200 Jahre) einen höheren Wert zu dem Energieaufkommen liefern?

*Wenn Kohle eine Renaissance in der Energieversorgung erleben sollte, dann wohl nur bei Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems: Entfernung des Reaktionsproduktes CO<sub>2</sub> aus dem Verbrennungsprozess („CO<sub>2</sub>-capture/storage“). Techniken sind in Entwicklung, die Kosten für Kohle als Energieträger würden sich aber deutlich erhöhen.*

(2) Hat die Kernenergie über Kernspaltung eine Zukunft?

*Begrenzte Vorräte an Brennstoffen, Risiken durch lang wirksame radioaktive Strahlung aufgrund von Kraftwerksunfällen, Erdbeben, Terrorattacken, nicht-friedliche Nutzung der Kernenergie und Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung verringern die Chancen zur Realisierung eines Ausbaues der Atomkraftwerke.*

(3) Wird es gelingen, die Kernfusion als längerfristige Energieoption zu realisieren?

*Die Antwort steht noch aus. Mit dem EU-Forschungsprojekt ITER soll die technische Möglichkeit zur Realisierung der Kernfusion in einem Forschungsreaktor bis 2015 geklärt werden.*



(4) Können Erneuerbare Energieträger den zukünftigen weltweiten Energiebedarf abdecken?

*Nach heutiger Erkenntnis können Erneuerbare Energieträger in dezentralen Versorgungsbereichen einen wesentlichen Anteil zum Energieaufkommen leisten. Für dezentrale Energieversorgungskonzepte müssen noch Lösungen zur Integration in bestehende Verteilnetze gefunden werden.*

Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt Erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen. Wasserstoff, erzeugt über Erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel.

Für die Organisation/Lösung der zukünftigen Energieversorgung ergeben sich 3 wesentliche noch offenen Fragen: (1) Zusätzlicher Energiebedarf in Ländern der Dritten Welt. (2) Rasant zunehmende Weltbevölkerung. (3) Zeitproblem bei der Marktdurchdringung neuer – alternativer – Energieträger.

## **Energie-Perspektiven mit Prioritäten**

Die Prioritäten für eine zukünftige Energieversorgung werden sich in Industriestaaten, Schwellenländern und Entwicklungsländern unterschiedlich gestalten.

- Industrieländer: Reduktion des Energieverbrauches durch Effizienz bei Erzeugung und Nutzung, sowie verstärkter Einsatz Erneuerbarer Energieträger (Biogene und solare Energie, Windenergie, Geothermie).
- Schwellenländer: Geeigneter Mix aus zentralen und dezentralen Energiesystemen.
- Entwicklungsländer: Aufbau einer auf dezentralen Systemen basierenden Energieversorgung mit Nutzung von vorrangig lokalen Erneuerbaren Energieträgern.

Der Einsatz von Solartechniken bietet sich insbesondere für Entwicklungsländer mit dezentraler Siedlungsstruktur und noch fehlender Infrastruktur für eine zentrale Wärme- und Stromversorgung an. Beispiele sind sowohl *solarthermische Anlagen* für Warmwasser, Heizung und Klimatisierung, Kochen (mit Vermeidung von Abholzungen), Trocknung von Lebensmitteln als auch *solarelektrische Anlagen* (PV Systeme) für Beleuchtung und Elektrifizierung von Dörfern, Kühlung von Medikamenten und Lebensmitteln, Wasser-Pumpenanlagen und Bewässerung, Stromversorgung von Gebäuden.

## **Ein zentrales Energieproblem der Zukunft: Versorgung von Ballungszentren**

Wenn in Zukunft die speicher- und transportierbaren Fossilen Energieträger für die Energieversorgung von Ballungsräumen nicht mehr zur Verfügung stehen sollten, stellt sich die Frage, wie große Städte mit Energie versorgt werden können; Bildtafel 8.16d:

- Aufbau neuer Städte mit dezentralen Energie-Versorgungseinheiten,
- Suche nach neuen Standorten, inklusive Meer und Weltraum?

## **Wunschenergie „SONNE“**

Das Angebot der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche variiert stark, aber Solartechniken haben eine Reihe gemeinsamer Eigenschaften: Unabhängigkeit von begrenzten Ressourcen, weite geographische Verteilung und Nutzbarmachung auch in kleinen Einheiten. Die entscheidende Frage ist nicht die verfügbare Quantität, sondern wie viel weltweit genutzt werden kann; Bildtafel 8.18 (a und b).

## **Wunsch-Szenario und Katastrophen-Szenario**

Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt, Erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen. Wasserstoff, erzeugt über Erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel: „*Wunsch-Szenario*“. Wasserstoff als Sekundär-Energieträger weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle.

Ist das Szenario „Erneuerbare Energie und Wasserstoff“ ein „Wunsch-Szenario“, so ist ein „Katastrophen-Szenario“ nicht auszuschließen, wenn (1) fossile Energiequellen den zukünftigen Energiebedarf nicht mehr decken können, (2) die globale Klimabedrohung eine weitere Verwendung fossiler Energiequellen nicht mehr zulässt, (3) der weitere Ausbau der Atomkraft aufgrund von Kraftwerksunfällen und/oder Terrorattacken eingestellt wird, (4) die Technik der Kernfusion nicht realisierbar ist und (5) die Weiterentwicklung von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger nicht in dem Ausmaß stattgefunden hat, dass ein wesentlicher Beitrag zum Energieaufkommen geleistet werden kann. Folge dieses „Katastrophen-Szenario“ wäre, dass eine wirtschaftliche Weiterentwicklung nicht mehr möglich ist. Die Folgen für die Menschheit sind vorhersehbar; Bildtafel 8.19.

Das fossile Zeitalter war nur eine kurze Periode in der Entwicklung der Zivilisation; Bildtafel 8.20.

## Ziele für ein zukünftiges Energiesystem

**Die Fakten der Energieversorgung von heute:**

- In den Vorräten begrenzte Energieressourcen,
- zunehmende Umweltprobleme durch Emissionen und radioaktives Gefahrenpotential,
- zunehmender Energiebedarf in den Ländern der Dritten Welt

**fordern nach einem neuen Energiesystem, basierend auf den Kriterien der „Nachhaltigkeit“.**

## Anforderungen an eine „nachhaltige“ ökonomische Entwicklung

- *Voraussetzung für die weitere wirtschaftliche Entwicklung ist das Angebot von Energiedienstleistungen.*
- *Das heutige Energiesystem ist nicht auf eine längerfristige nachhaltige Entwicklung ausgelegt.*
- *Mit erneuerbaren Energieträgern könnte die weltweite Energienachfrage weitgehend abgedeckt werden.*



**Bildtafel 8.1: Ziele und Anforderungen zum Aufbau eines „Nachhaltigen“ Energiesystems**

## Optionen für die zukünftige Energieversorgung

Langfristig lässt sich der weltweite Energiebedarf nur mit Energieträgern sicherstellen, welche entweder **nachhaltig** genutzt werden oder

– nach menschlichen Maßstäben –  
**unerschöpflich** sind.

- Zur ersten Kategorie zählt die **Sonnenenergie**, welche direkt oder indirekt genutzt werden kann.
- Zur zweiten Kategorie zählt die **D-D Kernfusion**.

## Erfordernisse zum Aufbau neuer Energiesysteme

### Hoher Entwicklungsstand

Forschung → Entwicklung → Demonstration →  
Markterprobung → Markteinführung  
Lange Perioden zur Markteinführung  
(10% Marktanteil in 30 bis 50 Jahren).

### • Kapitalbedarf

Langfristige Finanzierungsmodelle.

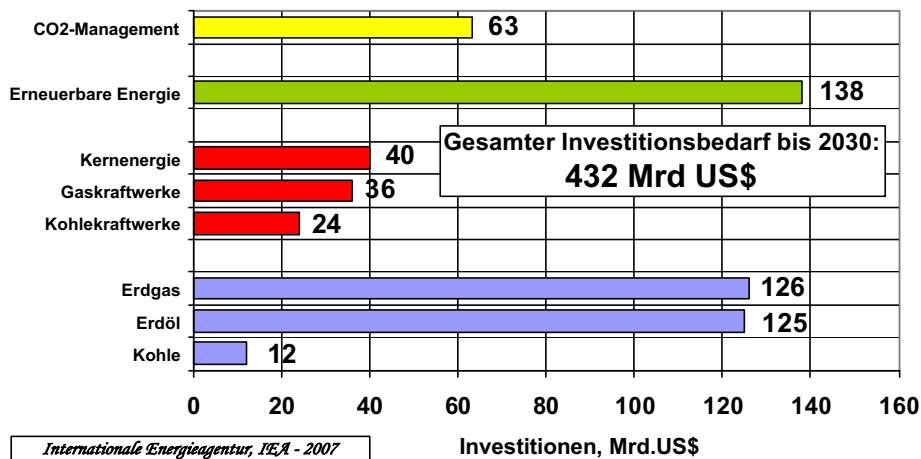
### • Wettbewerbsfähigkeit

Marktkonforme Preise für Wärme und Strom  
Förderungsmaßnahmen, legislative Maßnahmen.

Bildtafel 8.2: Optionen für ein zukünftiges Energiesystem und Erfordernisse zum Aufbau

## Investitionsbedarf für ein Energiesystem mit Klimaschutz

Energieversorgung und Klimaschutz:  
Weltweiter Investitionsbedarf bis 2030



## Ressourcen-Bedarf zum Aufbau neuer Energiesysteme

**Zusätzlicher Bedarf an Ressourcen**

**Rohstoffe, Energieträger, Landschaft**

**Begrenzte Ressourcen, zusätzliche Emissionen  
durch Energieeinsatz (CO<sub>2</sub>, Schadstoffe).**



- **Langfristige Energieplanung.**
- **Strategische Planungsschritte nach Zielvorgaben.**
- **Maßnahmenpaket mit Erfolgskontrolle.**

Bildtafel 8.3: Investitions- und Ressourcenbedarf zum Aufbau  
neuer Energiesysteme

## Wege zu einer *Nachhaltigen* Energieversorgung

Eine langfristig wirksame **nachhaltige  
Wirtschaftsentwicklung** erfordert:

- (1) Reduktion des Energiebedarfes durch energiesparende Maßnahmen.
- (2) **Nutzung Erneuerbarer lokal anfallender Energieträger**  
(*Biomasse, Sonnenenergie und Umweltwärme, Wasserkraft, Windenergie, Geothermische Energie*).
- (3) **Kombination** von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energieträgern.

## Energie-Strategie mit Erneuerbarer Energie

Argumente:

### ***Fossile und nukleare Energieressourcen:***

- Begrenzte Vorräte,
- Unsicherheit in Versorgung,
- Umweltbedrohung durch Emissionen und radioaktive Strahlung.

### ***Erneuerbare Energieträger:***

- Verbesserung der Versorgungssicherheit,
  - Langfristige Verfügbarkeit,
- Lokale und regionale Wertschöpfung,
- Beitrag zur Emissionsreduktion.

Bildtafel 8.4: Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung und Energiestrategie mit Erneuerbarer Energie

## **Zukunftsstrategie für Energiesysteme in Europa und weltweit**

**Eine Zukunftsstrategie für die wirtschaftliche Weiterentwicklung in Europa und weltweit muss Erneuerbare Energieträger einschließen, einerseits um die knapper werdenden Vorräte an fossilen und nuklearen Energieressourcen zu schonen und andererseits um die für den Ausbau Erneuerbarer Energieträger erforderliche industrielle Infrastruktur aufzubauen.**

## **Vision für ein „Nachhaltiges“ Energiesystem**

### **Die Vision:**

**Erneuerbare Energieträger  
– in allen Formen und in einer Kreislaufwirtschaft –  
in Verbindung von höchstmöglicher  
Energie-Effizienz bei Erzeugung und Nutzung und  
– wenn realisierbar –  
Nutzung der Kernfusion  
unter Beachtung sicherheitstechnischer,  
umweltbezogener sowie wirtschaftlicher  
Aspekte.**

**Bildtafel 8.5: Zukunftsstrategie und Vision für zukünftige Energiesysteme**



## Fossile Energieträger: Kohle, Erdöl, Erdgas



### Zukunftsperspektiven für fossile Energieträger (1)

- Die Förderungsquoten für Erdöl und Erdgas werden ab dem Jahre 2030 zurückgehen, bei Erdöl wahrscheinlich früher.
- Ab 2030 wird die Erdölförderung von heute noch nicht erschlossenen Erdölfeldern zu erfolgen haben.
- Der Aufbau neuer Erdöl-Förderkapazitäten ist zu finanzieren, die Kosten für Förderung und Weiterverarbeitung sind ungewiss.

### Zukunftsperspektiven für fossile Energieträger (2)

- Nachgewiesene weltweite Erdgas-Reserven können den weltweiten Gasverbrauch unter Annahme einer jährlichen Steigerungsrate von 2,3% noch etwa 40 Jahre abdecken.
- Die Versorgungssicherheit bei Erdöl und Erdgas ist aufgrund politischer Instabilitäten in den Förderländern problematisch.
- Aufgrund politischer und technischer Einflüsse auf die Versorgung sowie Spekulationen am Energiemarkt sind die Preise am Erdöl- und Erdgas-Sektor starken Schwankungen unterworfen.

### Zukunftsperspektiven für fossile Energieträger (3)

- Eine Prognose der zukünftigen Preisentwicklung ist problematisch, da neben dem zu erwarteten Rückgang der Förderungsdaten politische und spekulative Faktoren die Preisentwicklung wesentlich mitbestimmen.
- Kapazität zur Erdölverarbeitung (Raffinerien) ist zu gering und teilweise veraltet.
- Transportleitungen für Erdöl und Erdgas teilweise veraltet und Leckage anfällig.
  - Nicht ausreichende Speicherkapazitäten.

### Zukunftsperspektiven für fossile Energieträger (4)

- Unter Annahme des derzeitigen Kohle-Aufkommens würden die Reserven von Kohle noch für 200 Jahre reichen.
  - Der weitere Einsatz von Kohle ist eine Kostenfrage und wird vom CO<sub>2</sub>-Problem wesentlich beeinflusst.
- Klimarelevante Emissionen bei der Nutzung stellen ein hohes Gefahrenpotential für den weiteren Einsatz fossiler Energieträger dar.

### Zukunftsperspektiven für fossile Energieträger (5)

#### Hoffnungsmarkt Ölsande und Ölschiefer

#### Ölsande / Teersande

Geschätzte Reserven:  
Schwerölmengende von 480 Milliarden Tonnen.

#### Ölschiefer

Reserven:  
Ca. 320 Milliarden Tonnen Schieferöl.

**Bildtafel 8.6: Zukunftsperspektiven für Fossile Energieträger**

## Nukleare Energieträger: Kernspaltung und Kernfusion (?)



### Zukunftsperspektiven für nukleare Energieträger (1)

- Die Nutzung der Kernenergie ist derzeit und in den nächsten Jahrzehnten nur über die Kernspaltung möglich.
- Als Brennstoff kommt Uran (Isotop U235) zum Einsatz.  
*Nur etwa 5% des Energiepotentials kann mit derzeitiger Technik (Leichtwasser-Kraftwerke) zur Stromerzeugung genutzt werden.*
- Die Vorräte von Uran sind begrenzt und würden nur für einige Jahrzehnte reichen.

### Zukunftsperspektiven für nukleare Energieträger (2)

- Für einen längerfristigen Einsatz von Atomkraftwerken müssten neue technische Lösungen gefunden werden, einerseits zur Verbesserung der Effizienz bei der Stromerzeugung z.B. „Schnelle Brüter“, Brennstoff-Recycling, neue Ausgangsmaterialien für die Kernspaltung z.B. Thorium und andererseits zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle.
- Das große radioaktive Gefahrenpotential durch Kraftwerksunfälle, Erdbeben und Terrorattacken bleibt weiterhin bestehen.

### Zukunftsoption KERNFUSION (1)

- Im Gegensatz zur Kernspaltung tritt bei der Kernfusion keine Radioaktivität auf: Das Endprodukt Helium ist nicht radioaktiv. Dagegen bilden sich in den Wandmaterialien wegen des starken Neutronenbeschusses radioaktive Stoffe. Durch geeignete Wahl der Materialien lässt sich die Halbwertszeit dieser Stoffe auf 100 Jahre begrenzen, sodass diese zwischengelagert und wieder verwendet werden können.
- Ein weiterer Unterschied zur Kernspaltung: Bei der Kernfusion sind keine Kettenreaktionen möglich. Eine Störung im Reaktor führt im schlimmsten Fall zum Erlöschen der Fusion.

### Zukunftsoption KERNFUSION (2)

#### Noch offene Frage:

- Lässt sich die Kernfusion zur Energieversorgung überhaupt technisch realisieren?
- Prinzipiell möglich (Sonne), jedoch nur bei sehr hohen Temperaturen und gleichzeitig hohem Druck.
  - Bisherige Versuche in Forschung und Entwicklung (seit 1950) ohne Erfolg in Bezug auf Realisierung im Kraftwerksbau.

### Zukunftsoption KERNFUSION (3)

Mit dem neuen Forschungsprojekt ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) der EU in Kooperation mit Japan, Russland, China, Südkorea und USA soll die Möglichkeit einer technischen Realisierung in den nächsten 10 bis 15 Jahren beantwortet werden.

**Kosten und Laufzeit des ITER-Projektes:**  
10 Milliarden Euro, 2007 bis 2015.

**Bildtafel 8.7: Zukunftsperspektiven für Nukleare Energieträger**

### Zukunftsperspektiven für erneuerbare Energieträger (1)

- Mit der Entdeckung von Kohle, später Erdöl und Erdgas wurde die Industrialisierung mit einer neuen Form der Energieversorgung eingeleitet, der erneuerbare Energieträger Holz wurde zurückgedrängt, die meisten Windkraftwerke eingestellt, aber andererseits mit dem Bau von größeren Wasserkraftanlagen begonnen.
- Mit der Ölpreis-Krise im Jahre 1973 wurde den erneuerbaren Energieträgern wieder größere Aufmerksamkeit geschenkt.

### Zukunftsperspektiven für erneuerbare Energieträger (2)

- Seit 1975 konnte ein Markt für solarthermische Anlagen, Biomasse-Heizungsanlagen und etwas später auch für solarelektrische (Photovoltaik) – Anlagen und Windkraftwerke aufgebaut werden.
- Seit Ende des 20. Jahrhunderts konnte der Anteil erneuerbarer Energieträger am Energieaufkommen weltweit und insbesondere in den heutigen Industriestaaten erhöht werden, mit positiven Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft.

### Zukunftsperspektiven für erneuerbare Energieträger (3)

- Mit der erwarteten weiteren Marktdurchdringung erneuerbarer Energieträger werden merkbare Erfolge bei der Substituierung fossiler Energieträger am zukünftigen Energiemarkt erwartet.
- Mehrere Jahrzehnte werden allerdings erforderlich sein, um die Vielzahl von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger auch wettbewerbsfähig zu machen. Steigende Energiepreise könnten den eigentlichen Marktdurchbruch für erneuerbare Energieträger beschleunigen.

### Zukunftsperspektiven für erneuerbare Energieträger (4)

- Erneuerbare Energieträger haben grundsätzlich das Potential, einen entscheidenden Beitrag zum Energieaufkommen zu leisten, sowohl weltweit als auch in Europa.
- Abschätzungen des technisch umsetzbaren Potentials sind schwierig, da sehr komplex:
  - Unterschiedliche Einsatzbereiche,
  - Geographische Unterschiede,
  - Zeitliche Schwankungen des Angebotes.

### Potential an Erneuerbaren Energieträgern

- **Theoretisches Potential**
- ↓
- **Technisch umsetzbares Potential**
- ↓
- **Realistisch umsetzbares Potential**
- ↓
- **Wirtschaftlich umsetzbares Potential**

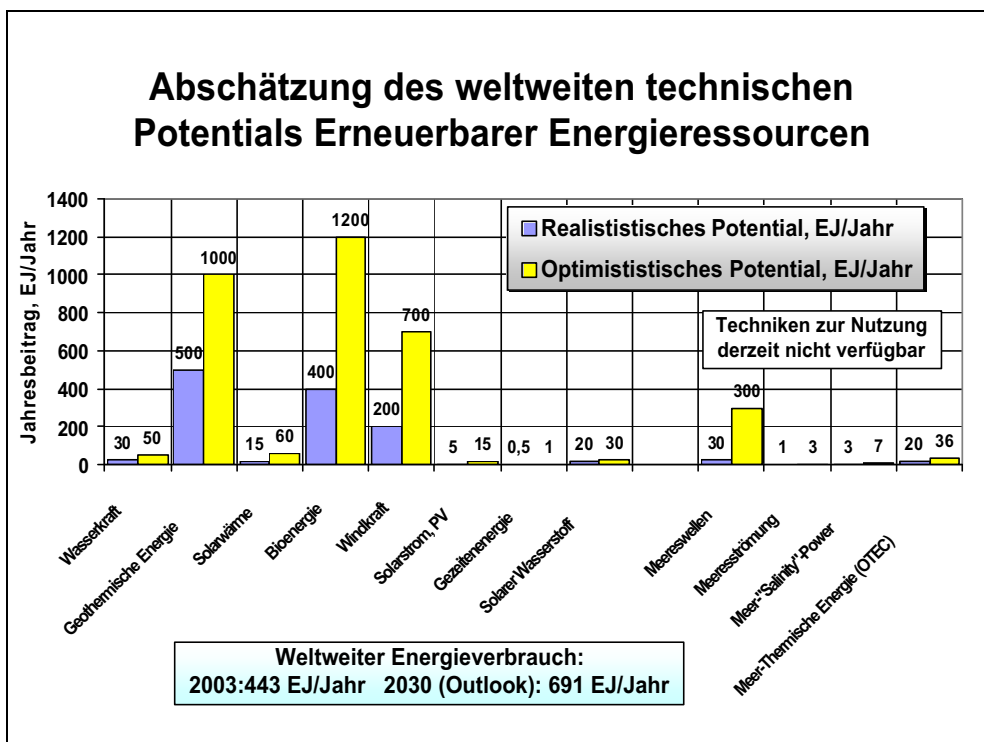
#### Entscheidende Kriterien:

Wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen

### Zukunftsperspektiven für Erneuerbare Energieträger (5)

- Eine massive Marktdurchdringung Erneuerbarer Energieträger hat auch Einfluss auf die Umwelt und die öffentliche Akzeptanz.
  - Beim Aufbau eines neuen Energiesystems müssen deshalb neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale Aspekte Berücksichtigung finden.
  - Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um adäquate Lösungen zu finden.
- Ein nachhaltiges Energiesystem der Zukunft wird das Ergebnis von technischen Innovationen in Verbindung mit einer Reihe von zum Teil drastischen Änderungen in Energiewirtschaft und Gesellschaft sein.*

**Bildtafel 8.8: Zukunftsperspektiven für Erneuerbare Energieträger**



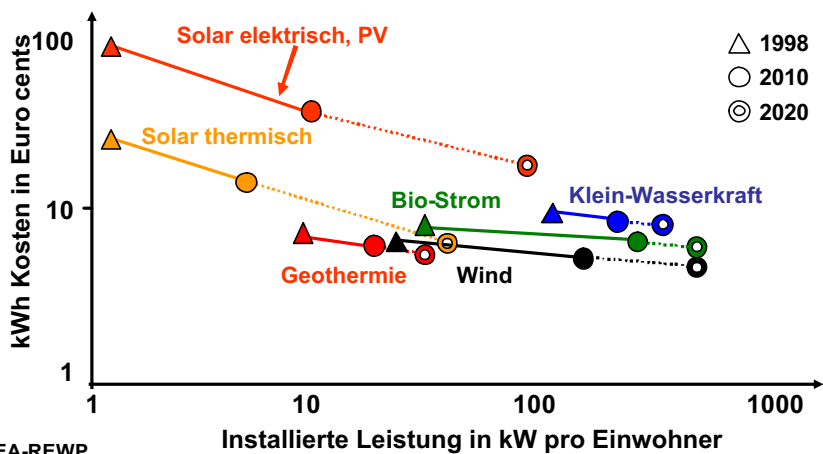
**Bildtafel 8.9: Potential für Erneuerbare Energieträger**

## Wirtschaftliche Bewertung von Techniken mit Nutzung Erneuerbarer Energieträger

### Potential für Kostenreduktion

- Mit der Markteinführung von Techniken zur Nutzbarmachung erneuerbarer Energieträger werden einerseits Kosteneinsparungen bei Herstellung und Installation und andererseits Effizienzsteigerungen im Betrieb erreicht.
- Als Indikator für technische Weiterentwicklungen dienen die so genannten „*Learning Curves*“:  
*Energieerzeugungskosten in Abhängigkeit vom Marktanteil, ausgedrückt über die installierte Leistung pro Einwohner.*

## Technologische „*learning curve*“ & Potential für Kostenreduktion



Bildtafel 8.10: Wirtschaftliche Bewertung von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger



### Erneuerbare Energieträger und Wirtschaft



- Wasserkraft
- Geothermische Energie
- Solarenergie
- Bioenergie
- Windenergie

### Industrielle Fertigung von Solar-Kollektoren



### Vollautomatische Beschickung von Pelletskessel



Mit Förderschnecke und Saugturbine



Fahrbarer Aschebehälter

FROLING

### Biomasse-Kessel für Hackgut



### Biomasse-Wärme-Kraftanlagen

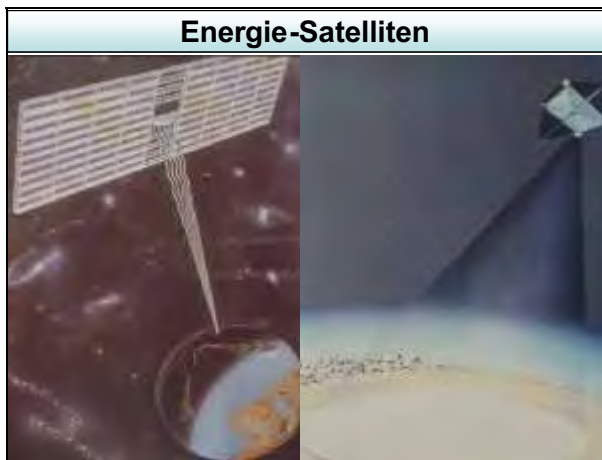


### Industrielle Fertigung von Wärmepumpen



- Heizungs-Wärmepumpen ab ca. 5 kW(thermisch)
- Wärmerückgewinnung-Kompaktgerät für Passivhäuser
- Gas-betriebene Wärmepumpen

Bildtafel 8.11: Wirtschaftsfaktor „Erneuerbare Energie“



## Energie-Satelliten

### Energie-Satelliten (1)

- Ende 1970 wurde in den USA (*Department of Energy and NASA*) in Zusammenarbeit mit Europa (*ESA, ESTEC*) das Konzept eines Energie-Satelliten entwickelt.
- Mit der Produktion von solarem Strom (über Solargeneratoren) im Weltraum soll im Vergleich zu einer solaren Stromerzeugung auf der Erdoberfläche eine größere Stromausbeute über das Jahr erzielt werden.
- Über ein Shuttle-System sollen Personal und Materialien in den Weltraum gebracht werden. Der Zusammenbau der Solarsysteme erfolgt im Weltraum.

### Energie-Satelliten (2)

- Der solar erzeugte Strom wird in Mikrowellen umgewandelt und auf die Erdoberfläche gestrahlt. Mit Antennen erfolgt an der Erdoberfläche die Umwandlung der rf-Wellen in elektrischen Strom.
- Der solar betriebene Energie-Satellit erzeugt in den für den Umlauf vorgesehenen Bahnen nahezu unabhängig von Tages- und Jahreszeit Strom und die auf die Erdoberfläche abgestrahlten Mikrowellen werden beim Durchgang durch die Atmosphäre nur unwesentlich geschwächt.

### Energie-Satelliten (3)

- Auch unter Berücksichtigung der Verluste im Umwandlungsprozess in der Größenordnung von 40% werden von Energie-Satelliten das etwa 5-fache an Strom produziert, als dies über Solargeneratoren auf der Erdoberfläche – auch in sonnenreichen Zonen – möglich wäre.
- Die entscheidenden Faktoren für den Verzicht auf weitere Entwicklungen waren:
  - Rechtsfragen für die Nutzung des Weltraumes.
  - Für die Stromproduktion mit Energie-Satelliten stehen nur wenige günstige Weltraumbahnen zur Verfügung.

### Energie-Umwandlungskette in einem solar betriebenen Satelliten-Kraftwerk

- |   |      |
|---|------|
| • Strahlungsverluste durch jahreszeitlich bedingte Positionsänderung: | 0,88 |
| • Photovoltaische Umwandlung:   | 0,14 |
| • Leistungsverluste im Bereich der Solarzelle:                        | 0,94 |
| • Leistungsverluste im Bereich der Antenne:                           | 0,96 |
| • Umwandlungsverluste Gleichstrom-Mikrowelle:                         | 0,85 |
| • Verluste Antenne:   | 0,96 |
| • Wechselwirkung Mikrowelle-Atmosphäre:                               | 0,98 |
| • Empfangsverluste:   | 0,88 |
| • Umwandlung Mikrowelle-Strom:  | 0,89 |
| • Einspeisung in Netz:  | 0,97 |
| <b>Gesamt-Wirkungsgrad: 0,068 = 6,8%</b>                              |      |

### Energie-Satelliten (4)

Das für drei Jahre angesetzte Forschungsprogramm wurde im Jahre 1981 beendet, mit dem Ergebnis, dass mit Energie-Satelliten aus technischer Sicht zwar günstig solarer Strom zu erzeugen ist, ökonomische, soziale und internationale sowie insbesondere umweltbezogene Aspekte eine Realisation nicht erwarten lassen.

**Bildtafel 8.12: Das Konzept „Energie-Satellit“**



### Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft



### Wasserstoff als Energieträger (1)

- Wasserstoff kommt in der Natur nur in Verbindung mit anderen Elementen vor: mit Sauerstoff in Wasser und mit Kohlenstoff in biogenen und fossilen Brennstoffen (Kohlenhydrate). Eine Abtrennung über physikalische und/oder chemische Prozesse ist erforderlich.
- Wasserstoff als **Sekundär-Energieträger** weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle. Wasserstoff kann allerdings auch mit Luft ein explosives Gemisch ergeben.

### Wasserstoff als Energieträger (2)

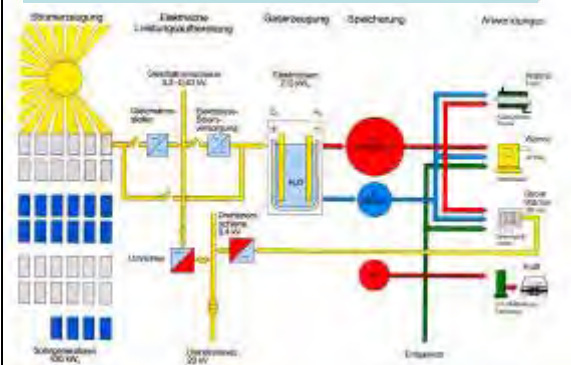
- Wasserstoff als Energieträger kann gespeichert und transportiert werden und weist somit die besondere Attraktivität des derzeit aus Erdöl und Erdgas gut funktionierenden Energiesystems auf. Eine ideale Fortsetzung einer globalen Energieversorgung.
- Einer raschen Markteinführung von Wasserstoff in der Energiewirtschaft stehen derzeit einerseits wirtschaftliche Faktoren und andererseits eine fehlende Infrastruktur entgegen.

### Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft (1)

Eine globale solare Energiewirtschaft baut auf der solaren Erzeugung von Wasserstoff und dessen Transport über Pipelines und/oder Tankwagen/Tankschiffe auf:

- Photovoltaische Systeme und Elektrolyse von Wasser (Elektrochemie).
  - Solare Hochtemperatursysteme mit thermochemischer Zersetzung von Wasser (Thermochemie) und Herstellung von solaren Brennstoffen (Photochemie).

### Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft (2)



### Attraktivität von Wasserstoff als Energieträger

- Die Attraktivität von Wasserstoff liegt im Bereich des Einsatzes: Wasserstoff lässt sich in alle Formen von Nutzenergie umwandeln **Wärme, Strom und Arbeit**.
- Bei der Nutzung von Wasserstoff entsteht kein CO<sub>2</sub> und auch die anderen Schadstoff-Emissionen werden nahezu vermieden: das Verbrennungsprodukt ist Wasser.

Bildtafel 8.13: Das Konzept „Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft“

### Energiebilanz einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft (1)

- Im Falle einer solaren Wasserstoff-Produktion in den sonnenreichsten Ländern – wie z.B. Sahara mit einer Sonneneinstrahlung von bis zu 2.200 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) – beträgt der Nutzungsgrad um 60 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr).
- Zum Vergleich werden in gemäßigten Klimazonen (z.B. Österreich) mit einer solarthermischen Anlage um 350 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) Wärme und mit einer Photovoltaikanlage um 100 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) Strom erzeugt.

### Energiebilanz einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft (2)

- Für einen Vergleich einer zentralen Energieversorgung mit einer dezentralen Energieversorgung sind allerdings auch die Kosten für Herstellung, Vertrieb und erforderlicher Infrastruktur zur Nutzung (z.B. auch Tankstellen für mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge oder Brennstoffzellen für die Strom- und Wärmeerzeugung) zu berücksichtigen.

### Energiebilanz einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft (3)

- Für den Transport von Wasserstoff per Laster, Pipeline oder Tanker muss dieser komprimiert oder verflüssigt werden. Dies bedeutet Energieverluste. Über lange Distanzen können – abhängig von der Wasserstoff-Technologie – die Energieverluste eine dezentrale Produktion am Ort des Verbrauches sinnvoller machen.
- Bei dezentralen Anwendungen (z. B. in Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen) ist Wasserstoff effizient.

### Energie-Umwandlungskette bei der solaren Wasserstoff-Erzeugung mit Photovoltaischen Systemen

- |   |      |
|---|------|
| • Photovoltaische Umwandlung:                       | 0,14 |
| • Leistungsverluste im Bereich der Solarzelle:      | 0,94 |
| • Leistungsverluste im Bereich der Elektrolyse:     | 0,80 |
| • Strom für Meerwasserentsalzung, Wartung etc.:     | 0,85 |
| • Speicherung, Transport:                           | 0,60 |
| • Umwandlung in Nutzenergie (Strom, Arbeit, Wärme): | 0,50 |

Gesamt-Wirkungsgrad Nutzenergie: 0,027 = 2,7%

### Wasserstoff im Verkehr



### Wasserstoff für dezentrale Anwendungen



**Bildtafel 8.14: Konzept „Dezentrale Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft“  
Energiebilanz und dezentrale Anwendungen**

## Wasserstoff und Brennstoffzelle



### Die Brennstoffzelle (1)

- Brennstoffzellen (*Fuel Cells*) sind keine Energieträger, sondern Einrichtungen zur Umwandlung der chemischen Energie eines Brennstoffes direkt in Strom, mit Wärme als Abfallprodukt.
- Brennstoffzellen sind prädestiniert zur Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme.
- Mit Wasserstoff als Energieträger entstehen bei der Stromerzeugung keine die Umwelt belastende Emissionen.

### Die Brennstoffzelle (2)

- Der Vorteil der bereits im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befindlichen Brennstoffzellen liegt in einer höheren Effizienz bei der Stromerzeugung im Vergleich zu Dieselaggregaten: 50% bis 60% im Vergleich zu 30% bis 40%.
- Brennstoffzellen sind für kleinere Leistungseinheiten prädestiniert: wenige kW bis einige MW und eignen sich damit für den Einsatz in dezentralen Energiesystemen.

### Die Brennstoffzelle (3)

- Brennstoffzellen werden heute am Markt angeboten, sind jedoch im Vergleich zu konventionellen Stromerzeugungsanlagen noch nicht wettbewerbsfähig und werden deshalb meist als Demonstrationsanlagen eingesetzt.
- Ein für die Zukunft interessanter Einsatzbereich für Brennstoffzellen wird im Transportsektor erwartet.
- Derzeit wird Erdgas für die Produktion von Wasserstoff für den Einsatz in Brennstoffzellen herangezogen.

### Die Technologie der Brennstoffzelle

- Die Arbeitsweise einer Brennstoffzelle ist mit der Umkehrung der Elektrolyse des Wassers vergleichbar. Während bei der Elektrolyse durch Zufuhr von elektrischer Energie das Wassermolekül in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird, reagieren in einer Brennstoffzelle Wasserstoff und Sauerstoff unter Abgabe von elektrischer und thermischer Energie zu Wasser.
- Brennstoffzellen produzieren aus **Wasserstoff** und **Sauerstoff** auf elektrochemischem Wege **Strom** und **Wärme**.
- Reaktionsprodukt ist reines Wasser.

### Funktionsprinzip der Brennstoffzelle (1)

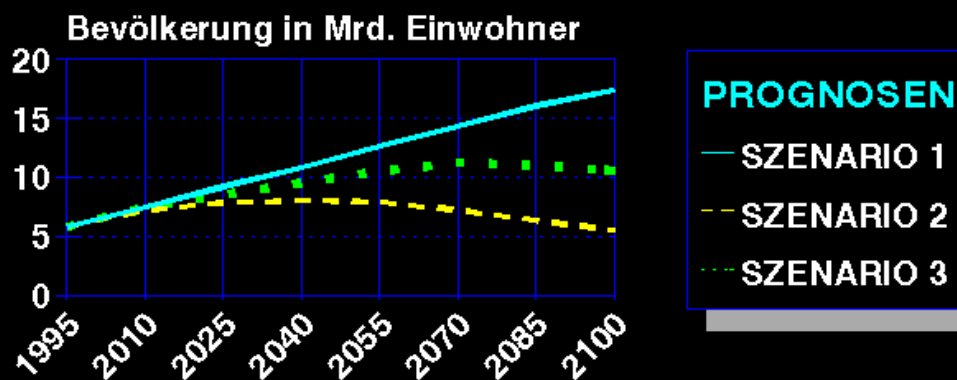


Bildtafel 8.15: Wasserstoff und Brennstoffzelle

## Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung

- Das besondere Problem für eine **gesicherte Energieversorgung in Zukunft** ergibt sich aus der stark **steigenden Bevölkerungszahl in den Entwicklungsländern**.
- Ein weiteres Problem stellt die längere Markteinführungszeit neuer Energieträger / Energietechniken dar.

## PROGNOSEN ZUR ENTWICKLUNG DER WELTBEVÖLKERUNG



**SZENARIO 1: Hohe Fruchtbarkeitsrate, niedrige Sterblichkeit**  
**SZENARIO 2: Niedrige Fruchtbarkeitsrate, hohe Sterblichkeit**  
**SZENARIO 3: Wahrscheinliche Entwicklung**

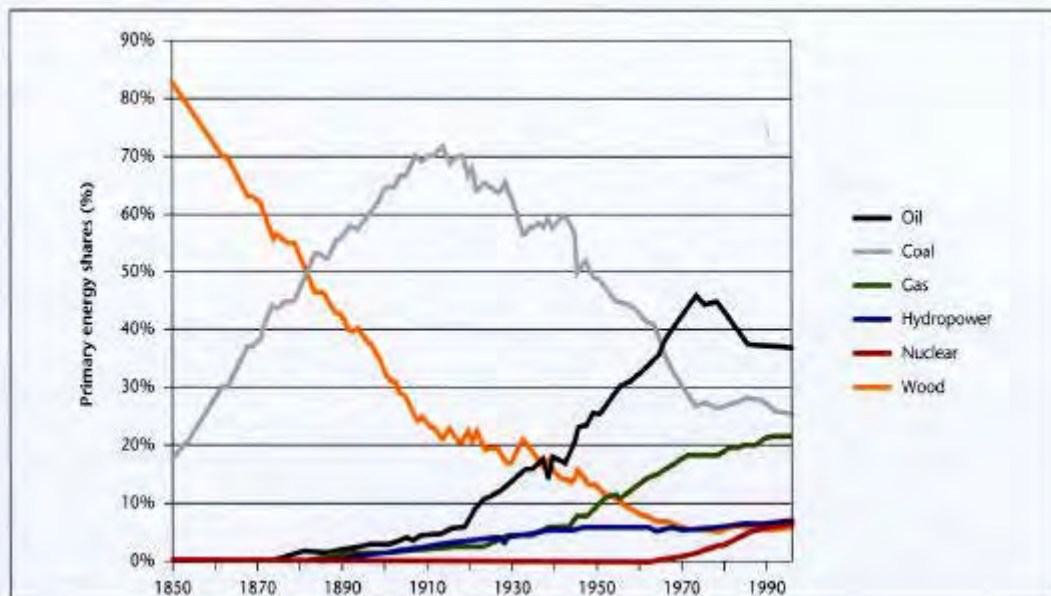
Bildtafel 8.16a: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Entwicklung der Weltbevölkerung*

## Das Zeitproblem bei der Umstrukturierung der Energiewirtschaft

Von der Umstellung von Holz auf Kohle und später auf Erdöl und Erdgas weiß man, dass für die Markteinführung neuer Energieträger bzw. neuer Energiesysteme längere Zeitperioden erforderlich sind: Um beispielsweise 10% Anteil eines neuen Energieträgers am Markt zu erreichen, sind 30 bis 50 Jahre erforderlich.

Holz ? Kohle ? Erdöl ? Erdgas ?  
Erneuerbare Energie

## Markteinführung neuer Energiesysteme



Bildtafel 8.16b: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Das Zeitproblem bei der Umstrukturierung der Energiewirtschaft*

## **Das Zeitproblem der Realisierung der Kernfusion als Energieoption**

### **Vom Pilotprojekt zum kommerziellen Kraftwerk:**

- **Planung und Errichtung eines Pilot-Kraftwerkes:  
um 2015 bis 2020**  
*(Sofern ITER-Projekt erfolgreich erfolgreich war)*
- **Planung und Errichtung eines Demonstrations-  
Kraftwerkes: um 2030**
- **Weiterentwicklungen, auch nach ökonomischen  
und sicherheitstechnischen Kriterien:**  
Generation I: um 2050, Generation II: um 2070, Generation III: um 2080

**Beginn der Markteinführung: ab 2090 ?**

## **Energieversorgung von Ballungszentren ?**

**Wenn in Zukunft die speicher- und  
transportierbaren fossilen Energieträger für die  
Energieversorgung von Ballungsräumen nicht  
mehr zur Verfügung stehen sollten, stellt sich die  
Frage, wie große Städte mit Energie versorgt  
werden können:**

- **Aufbau neuer Städte mit dezentralen  
Energie-Versorgungseinheiten,**
- **Suche nach neuen Standorten,  
inklusive Meer und Weltraum ??**

**Bildtafel 8.16c: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Realisierung der Kernfusion und Energieversorgung von Ballungszentren***





**Bildtafel 8.16d: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung**  
*Optionen für die Energieversorgung von Ballungszentren*



## **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (1)**

**(1) Kann Kohle mit noch größeren Reserven (um 200 Jahre) einen höheren Wert zu dem Energieaufkommen liefern?**

***Wenn Kohle eine Renaissance in der Energieversorgung erleben sollte, dann wohl nur bei Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems: Entfernung des Reaktionsproduktes CO<sub>2</sub> aus dem Verbrennungsprozess („CO<sub>2</sub>-capture/storage“).***

***Techniken sind in Entwicklung, die Kosten für Kohle als Energieträger würden sich aber deutlich erhöhen.***

## **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (2)**

**(2) Hat die Kernenergie über Kernspaltung eine Zukunft?**

***Begrenzte Vorräte an Brennstoffen, Risiken durch lang wirksame radioaktive Strahlung aufgrund von Kraftwerksunfällen, Erdbeben, Terrorattacken, nicht-friedliche Nutzung der Kernenergie und Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung verringern die Chancen zur Realisierung eines Ausbaues der Atomkraftwerke.***

**Bildtafel 8.17a: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Die Zukunft von Kohle und Kernenergie***

### **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (3)**

**(3) Wird es gelingen, die Kernfusion als längerfristige Energieoption zu realisieren?**

*Die Antwort steht noch aus.*

*Mit dem EU-Forschungsprojekt ITER soll die technische Möglichkeit zur Realisierung der Kernfusion in einem Forschungsreaktor bis 2015 geklärt werden.*

### **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (4)**

**(4) Können erneuerbare Energieträger den zukünftigen weltweiten Energiebedarf abdecken?**

- *Nach heutiger Erkenntnis können erneuerbare Energieträger in dezentralen Versorgungsbereichen einen wesentlichen Anteil zum Energieaufkommen leisten.*
- *Für dezentrale Energieversorgungskonzepte müssen noch Lösungen zur Integration in bestehende Verteilnetze gefunden werden.*

**Bildtafel 8.17b: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Die Zukunft von Kernfusion und Erneuerbarer Energie***

## Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (5)

- Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen.
- Wasserstoff, erzeugt über erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel.

## Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung (6)

Für die Organisation / Lösung der zukünftigen Energieversorgung ergeben sich 3 wesentliche noch offenen Fragen:

**(1) Zusätzlicher Energiebedarf in Ländern der Dritten Welt.**

**(2) Rasant zunehmende Weltbevölkerung.**

**(3) Zeitproblem bei der Marktdurchdringung neuer – alternativer – Energieträger.**

*Wie können die unbestrittenen Probleme einer langfristig gesicherten Energieversorgung einer Lösung zugeführt werden?*

Bildtafel 8.17c: Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung  
*Organisation der Energieversorgung*

## Zukunftsoption für „Nachhaltiges“ Energiesystem

Szenarien unter Berücksichtigung der **natürlichen Energieressourcen** und der mit der Energieversorgung zusammenhängenden **Umweltprobleme** führen zu dem Schluss, dass zur Sicherstellung der weltweiten Energieversorgung bis zum Jahre 2060 **zumindest 60% der Energieträger aus dem Bereich erneuerbarer Ressourcen kommen müssen.**

## Wunschenergie „SONNE“

Das Angebot der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche variiert stark, aber Solartechniken haben eine Reihe gemeinsamer Eigenschaften:

- Unabhängigkeit von begrenzten Ressourcen.
- Weite geographische Verteilung.
- Nutzbarmachung auch in kleinen Einheiten.

Die entscheidende Frage ist nicht die verfügbare Quantität, sondern wie viel weltweit genutzt werden kann.

Bildtafel 8.18a: Option für ein „Energiesystem der Zukunft“

## Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie



Solarthermik,  
Photovoltaik



Wasserkraft



Windenergie

## Solare Wasserstoff-Energiewirtschaft

### Elektrochemie (*Photolyse*)



### Thermochemie



**Bildtafel 8.18b: Wunschenergie „SONNE“**  
*Dezentrale und zentrale Solarsysteme*

## **Das Katastrophenszenario zur Energieversorgung (1)**

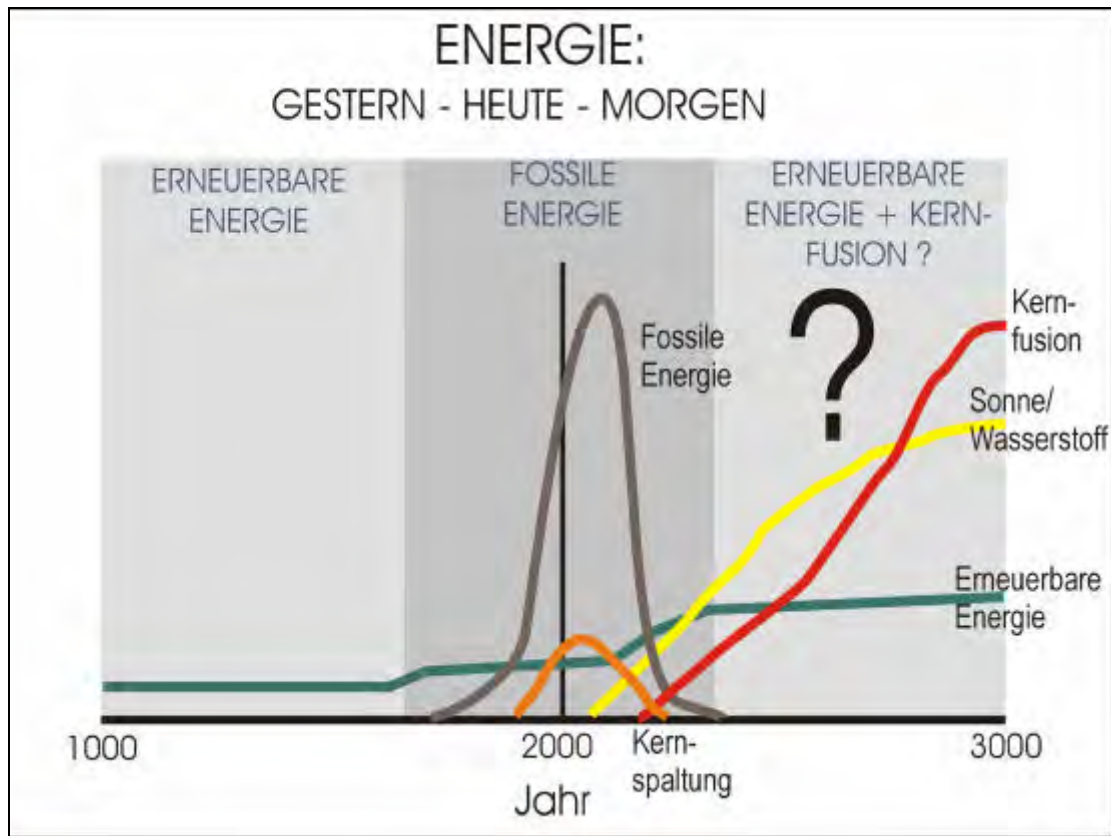
- (1) Fossile Energiequellen können den zukünftigen Energiebedarf nicht mehr decken.**
- (2) Die globale Klimabedrohung lässt eine weitere Verwendung fossiler Energiequellen nicht mehr zu.**
- (3) Der weitere Ausbau der Atomkraft wird aufgrund von Kraftwerksunfällen und/oder Terrorattacken eingestellt.**
- (4) Die Technik der Kernfusion ist nicht realisierbar.**
- (5) Die Weiterentwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energieträger hat nicht in dem Ausmaß stattgefunden, dass ein wesentlicher Beitrag zum Energieaufkommen geleistet wird.**

## **Das Katastrophenszenario zur Energieversorgung (2)**

### **Folgerung:**

- Die wirtschaftliche Weiterentwicklung ist nicht mehr möglich.**
  - Die Folgen für die Menschheit sind vorhersehbar.**
- Das fossile Zeitalter war nur eine kurze Periode in der Entwicklung der Zivilisation.**

**Bildtafel 8.19: Das „Katastrophen-Szenario“ zur Energieversorgung**  
*Die Folgen beim Scheitern einer Umstrukturierung der Energiewirtschaft*



**Bildtafel 8.20: Die Zukunft der Energiewirtschaft**



## 9. Voraussetzungen zum Aufbau eines zukuntorientierten Energiesystems

*Energiapolitische Rahmenbedingungen.  
Aufgaben, Handlungsbedarf und Handlungsmöglichkeiten der Politik  
beim Aufbau eines Nachhaltigen Energiesystems.  
Instrumente zur Umsetzung energiepoltischer Ziele.  
Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik.*

### Voraussetzungen zum Aufbau einer Nachhaltigen Energieversorgung

Politische Rahmenbedingungen mit neuer Gewichtung der Ziele:  
*Nationale Politik und gemeinsame EU-Politik*

Instrumente zur Umsetzung

Strukturwandel der Energiewirtschaft

Änderung bisheriger Strategien in Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft

### Neuorientierung der europäischen Energiepolitik

Investitionen in eine neue Energie-Infrastruktur

Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdöl- und Erdgasversorgung

Aufbau dezentraler Energieversorgungssysteme mit erneuerbaren Energieträgern

Beitrag von Energieeffizienz und Erneuerbare Energie zur CO<sub>2</sub>-Minderung

Aktives CO<sub>2</sub>-Management

Management der Stromnetze

# Voraussetzungen zum Aufbau eines zukunftsorientierten Energiesystems

## Energiepolitische Rahmenbedingungen

Die Sicherstellung der zukünftigen Energieversorgung stellt eine große Herausforderung für die Menschheit dar: Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind in gleicher Weise gefordert. Zur Realisierung eines „Nachhaltigen“ Energiesystems der Zukunft sind große Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Marktumsetzung erforderlich.

Voraussetzungen zum Aufbau einer *Nachhaltigen* Energieversorgung sind; Bildtafel 9.1:

- (1) Politische Rahmenbedingungen mit neuer Gewichtung der Ziele:  
*Nationale Politik und gemeinsame EU- sowie Welt-Politik.*
- (2) Instrumente zur Umsetzung.
- (3) Strukturwandel der Energiewirtschaft.
- (4) Änderung bisheriger Strategien in Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft.

## Aufgaben der Politik beim Aufbau eines Nachhaltigen Energiesystems

Die Sicherstellung der Energieversorgung liegt im Verantwortungsbereich der Regierungen; Bildtafel 9.2.

Die Rahmenbedingungen der Energieversorgung werden in den Staaten durch die Energiepolitik, in Verbindung mit staatlicher Förderung der Energieforschung sowie durch Gesetze, Vorschriften und Förderungen vorgegeben.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems, welches die derzeit nach den Regeln des freien Marktes funktionierende Energiewirtschaft ablösen soll – und dies in einer relativ kurzen Zeitperiode – ist ohne energiepolitische Rahmenbedingungen nicht zu erreichen. Die Forderung nach mehr Energie-Effizienz, Substitution fossiler Energieträger, Ergänzung zentraler Energiesysteme mit dezentralen Einheiten, verbessertes Energiemanagement, höhere Umweltverträglichkeit u.a. bedeuten wesentliche Eingriffe in die derzeitige Energie-Infrastruktur und in die Kosten der Energieversorgung.

## Handlungsbedarf für die Energiepolitik

Eine *nachhaltige* Energieversorgung ist Voraussetzung für eine *nachhaltige* wirtschaftliche (Weiter)-Entwicklung. Die derzeitige Energiewirtschaft erfüllt nicht die Kriterien an eine nachhaltige und damit zukunftsorientierte Energieversorgung. Eine zukunftsorientierte Energieversorgung erfordert deshalb eine Umstrukturierung unserer derzeitigen Energiewirtschaft mit dem Ziel einer höheren Effizienz und einem verstärkten Einsatz „nachhaltiger“ und umweltschonender Energieträger.

Die Probleme zum Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung sind vielseitig und erfordern eine langfristige Planung mit konsequenter Umsetzung.

Eine einzige Energiequelle/Energietechnik wird nicht ausreichen, die Energieversorgung sicherzustellen: Ein geeignetes, auf lokal verfügbaren Energieressourcen basierendes Energiesystem muss gefunden werden.

Die nicht quantifizierbare Entwicklung des Energieverbrauches / Energiebedarfes erschwert eine langfristige Planung.

Auf Grund der längeren Markteinführungszeiten für neue Energiesysteme muss frühzeitig mit der Umsetzung begonnen werden.

### **Handlungsmöglichkeiten für die Energiepolitik**

Die Energiepolitik kann durch Rahmenbedingungen in Verbindung mit politischen Maßnahmen wie Verordnungen, Vorschriften, Steuern und Förderungen die Weiterentwicklung der Energiewirtschaft im Sinne der energiepolitischen Ziele beeinflussen. Staatliche Energieforschung und Förderungsmaßnahmen stellen wesentliche Instrumente zur Umsetzung energiepolitischer Ziele dar; Bildtafel 9.3.

Maßnahmen der Energiepolitik betreffen die Erhöhung der Effizienz bei der Energiebereitstellung und Energieanwendung, die Unterstützung eines verstärkten Einsatzes von Erneuerbaren Energieträgern (*unter besonderer Berücksichtigung der Randbedingungen für hohe Effizienz*), die Überwindung von Marktbarrieren für „neue“ Energiesysteme, z.B. durch Berücksichtigung externer Kosten bei Aufbringung und Einsatz (*volkswirtschaftliche Gesamtrechnung*), Angebot von Finanzierungsmodellen für eine raschere Marktdurchdringung.

Energieforschung ist nur ein von mehreren erforderlichen Instrumenten zur Umsetzung des energiepolitischen Zieles. Für die Markteinführung innovativer Produkte und Lösungen zur Energie-Aufbringung und Energie-Anwendung sind staatliche Initiativen (Legistische Maßnahmen und Förderungen) zur Überwindung der Marktbarrieren erforderlich:

*Wettbewerbsfähigkeit und Vertrauen in neue Techniken.* Als geeignete Maßnahmen haben sich in den letzten Jahrzehnten einerseits Förderungsmaßnahmen als auch gesetzliche Rahmenbedingungen für Energie-Effizienz und Erneuerbare Energieträger, insbesondere im Wohnbereich (*über die Wohnbauförderung*) bewährt.

Mit einer Erhöhung des Beitrages Erneuerbarer Energieträger zur Energieaufbringung soll die weitere Zunahme an Brennstoffen reduziert werden. Ein großes Energie-Einsparpotential ergibt sich im Gebäudebereich bei der Wärmebereitstellung einerseits mit Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle und andererseits mit Einsatz solarthermischer Anlagen: bis zu 40% des derzeitigen Wärmebedarfes.

Als Folge einer Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik (Bildtafel 9.4) soll die Versorgungssicherheit bei der Erdgasversorgung in Europa durch Kapazitätserweiterung bei den bestehenden Erdgasleitungen, neue Erdgasspeicher, neue Transportrouten, Versorgung mit verflüssigtem Erdgas erhöht werden; Bildtafel 9.5.

Mit EU- und nationalen Richtlinien/Verordnungen sollen die Energieeffizienz-Potentiale in Industrie, Verkehr, Haushalten, Gewerbe ausgenutzt bzw. umgesetzt werden: Verdoppelung der derzeitigen jährlichen Zunahme der Energieeffizienz von 1,5% auf 3% (EU-Richtlinie mit Aktionsplan); Bildtafel 9.6.

## **Energieforschung als Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele**

Staatliche Energieforschung ist ein wesentliches Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele. Staatliche Energieforschung bezieht sich vorrangig auf Grundsatzfragen der Energieversorgung und soll innovative Lösungen entwickeln; Bildtafel 9.7. Innovative Lösungen im Energiebereich fördern Entwicklungen in der Industrie und erleichtern private Investitionen in neue Techniken.

Staatlichen Energieforschungsausgaben (national und international) beziehen sich auf technologische Entwicklungen (inklusive Materialien, Lebensdauer, Sicherheit), Verbesserung der Energie-Infrastruktur und Förderung der Markteinführung zukunftsorientierter („nachhaltiger“) Energiesysteme unter besonderer Berücksichtigung ökonomischer, sicherheitstechnischer, umweltbezogener und sozialer Aspekte.

Energieforschungsprogramme im Rahmen der *Internationalen Energieagentur* – als Teilorganisation der OECD – koordinieren die Energieforschungsprogramme in den IEA-Mitgliedsländern und initiieren neue Forschungsprojekte. Die Finanzierung erfolgt ausschließlich über nationale Forschungsbudgets. Energie-Forschungsprogramme der *Europäischen Union, EU*, sollen eine europäische Energiepolitik unterstützen, in Zusammenarbeit mit den EU-Mitgliedsstaaten. Themen und Schwerpunkte inklusive Budget werden von der EU-Kommission in Abstimmung mit den EU-Mitgliedsländern festgelegt; Bildtafel 9.8 und Bildtafel 9.9.

Forschungsschwerpunkte nationaler und internationaler Energie-Forschungsprogramme (Internationale Energieagentur, IEA/OECD, und EU-Forschungsprogramm) sind derzeit: Energie-Effizienz, Kernfusion, Erneuerbare Energie, Nachhaltige Energiesysteme, CO<sub>2</sub>-Separation und -Speicherung, Wasserstoff als Sekundärenergieträger, Brennstoffzellen. Weiters gefördert werden Projekte zur Kostenreduktion bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern (Ökostrom-Anlagen), zur Weiterentwicklung und Kostenreduktion bei der Erzeugung von umweltneutralen Treibstoffen (Bio-Treibstoffe und Wasserstoff), zum Strom-Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen (Windkraft, Photovoltaik), zum „Aktiven“ CO<sub>2</sub>-Management; Bildtafel 9.10.

Der Strombedarf der Weltbevölkerung wächst noch mehr als der Energiebedarf gesamt. Ein Schwerpunkt nationaler und EU-Forschungsprogramme ist deshalb die Entwicklung von kostengünstigen Stromerzeugungsanlagen mit erneuerbarer Energie. Um einerseits die Netzqualität bei der fluktuierenden Erzeugung (z.B. Spannungsschwankungen bei der Einspeisung) und andererseits den Beitrag dezentraler Stromerzeugungsanlagen effizient zu gestalten, ist eine Optimierung der Abstimmung von Angebot und Nachfrage erforderlich. Derzeitige Stromversorgungsnetze basieren im Wesentlichen auf einer zentralen Versorgung durch Großkraftwerke, die in das Hochspannungsnetz einspeisen. Dezentrale Erzeugungsanlagen – insbesondere mit Erneuerbaren Energieträgern (Wind, Sonne, Biomasse) – speisen auch in den unteren Netzebenen (Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz) ein. Damit werden aus den „passiven“ Elementen auf der Verbraucherseite „aktive“ Erzeuger. Um einerseits die Netzqualität bei der fluktuierenden Erzeugung (z.B. Spannungsschwankungen bei der Einspeisung) und andererseits den Beitrag dezentraler Stromerzeugungsanlagen effizient zu gestalten, ist eine Optimierung der Abstimmung von Angebot und Nachfrage erforderlich. Geeignete Instrumente zur Optimierung des elektrischen Energiesystems bei Integration von dezentraler Stromerzeugung sind Erzeugungs-, Last- und Netzmanagement in Verbindung mit Monitoring; siehe Abschnitt 6.

Weltweit wird nach technischen Lösungen gesucht, das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende CO<sub>2</sub> „einzufangen“ (z.B. chemisch zu binden) und zu speichern. Als

geeignete Speicher für CO<sub>2</sub> bieten sich aufgelassene Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Lagerstätten an: Aktives „CO<sub>2</sub>-Management“. Zielvorgabe für Kosten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung im laufenden EU-Energieforschungsprogramm sind Kosten =15 Euro/Tonne CO<sub>2</sub>; Bildtafel 9.11.

Der höchste Nutzen von thermischen Solaranlagen wird in der Wärmeerzeugung in Gebäuden erwartet: Mehr als 60% des Brennstoffeinsatzes für Warmwasser und Heizung könnten in Europa mit thermischen Solaranlagen in Verbindung mit Maßnahmen zur Energieeffizienz am Gebäude (Wärmeschutz) eingespart/substituiert werden. Zielvorgabe für den Einsatz der Solarthermik in Neubauten ist die Bereitstellung der Wärme für Heizung und Warmwasserbereitung von mindestens 60% des Jahresbedarfes, im Rahmen der Gebäudesanierung von zumindest 40%. Der Einsatz solarthermischer Anlagen zur Warmwasserbereitung und zur Unterstützung der Raumheizung ist in allen Klimazonen von Europa zu realisieren; Bildtafel 9.12 (a bis d).

## **Neue Materialien für Solartechniken**

Die technischen Möglichkeiten einer stärkeren Einbindung von thermischen und elektrischen Solaranlagen zur Energieaufbringung in Form von Wärme und Strom sind enorm, sofern es gelingt, die tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen im Energieangebot über geeignete Langzeit-Speicher auszugleichen.

Es sind aber auch die für einen großtechnischen Einsatz erforderlichen Produktionskapazitäten bereitzustellen sowie die Verfügbarkeit der Materialien sicherzustellen. Für Kollektoren werden derzeit vorwiegend Kupfer und Aluminium eingesetzt, für Solarzellen Silizium. Diese Materialien sind nicht unbegrenzt am Markt verfügbar, die Marktpreise sind auch in den letzten Jahren stark angestiegen. Der Materialforschung kommt deshalb die Aufgabe zu, auch andere Materialien – insbesondere spezielle Kunststoff-Sorten – für die Solartechniken weiterzuentwickeln. Schwerpunkte internationaler Forschungsprojekte beziehen sich vorrangig auf langlebige und kostengünstige Kunststoffe.

Grundlage für die Herstellung von Plastik-Solarzellen ist die im Jahre 1992 entdeckte Eigenschaft von bestimmten Polymeren, bei denen die Moleküle abwechselnd Einfach- und Doppelbindungen haben, die Elektronen innerhalb des Moleküls sind beweglich und die Kunststoffe werden dadurch leitfähig. Wenn Licht auf das Plastik trifft, dann gehen Elektronen in einen angeregten Zustand über, das Material kann Elektronen abgeben. Bei Koppelung mit einem passenden „Elektronen-Akzeptor“ wandern die Elektronen und es kommt zu einer Trennung von elektrischen Ladungen, es entsteht eine Fotospannung, die schließlich zur Stromgewinnung genutzt werden kann: Plastik-Solarzellen sind fotoaktiv, analog zu dem „photovoltaischen Effekt“ der Silizium-Solarzellen. Die mit dieser Entwicklung befassten Forscher und Unternehmen sind davon überzeugt, dass der Durchbruch für Plastik-Solarzellen unmittelbar bevorsteht, zunächst für Anwendungen in Kleingeräten. Die Herstellung von Plastik-Solarzellen ist um einiges einfacher im Vergleich zu den monokristallinen und polykristallinen Silizium-Solarzellen, der Energieaufwand deutlich geringer. Als Nachteile sind eine im Vergleich zu den bestens am Markt eingeführten Silizium-Solarzellen weit geringere Lebensdauererwartung (unter derzeit 5 Jahren) und einem deutlich geringeren Wirkungsgrad (derzeit unter 5%) zu erwähnen. Demgegenüber sind die Kosten der Herstellung um ein Vielfaches geringer. Nach heutiger Erkenntnis werden Plastik-Solarzellen die Silizium-Solarzelle für viele Anwendungen nicht ersetzen, sie werden aber den Einsatzbereich der Photovoltaik erweitern – Plastik-Solarzellen sind flexibel und viel dünner als Silizium-Solarzellen.

## **Staatliche Energieforschung im Rückblick**

Die staatlichen Energieforschungsausgaben setzten mit der „Ölpreis-Krise“ im Jahre 1974 ein und erreichten im Jahre 1980 einen Spitzenwert. Mit der Beruhigung am Energiemarkt wurden die staatlichen Forschungsausgaben in allen IEA-Mitgliedsländern zurückgenommen, sind auch mit dem erkannten Umweltproblem der Energieversorgung nicht mehr angestiegen, wengleich in den letzten Jahren eine Stabilität in den Forschungsausgaben festzustellen ist; Bildtafel 9.13.

Die Prioritäten für die Energieforschung liegen in den einzelnen Staaten verschieden. In einigen Ländern (z. B. Österreich) werden der Energie-Effizienz und den Erneuerbaren Energieträgern Priorität zugeordnet.

Auch das Energieforschungsbudget der EU – als Unterstützung der nationalen Energieforschung – ist seit Mitte 1980 zurückgegangen.

## **Kommunale Energieplanung als effizientes Instrument im Energiebereich**

Die kommunale Energieplanung ist Teil der Entwicklungsplanung einer Region und hat Einflüsse auf Wirtschaft, Versorgungssicherheit, Umweltsituation, Lebensqualität. Das übergeordnete Ziel der Energieplanung ist eine weitgehend umweltverträgliche und energieautarke Region: *Klimaschutzgemeinde*. Wesentliche Einflussfaktoren sind betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Aspekte. Für die Umsetzung des Energieplanes ist ein Maßnahmenkatalog zu entwickeln, mit Einbindung aller Beteiligten (Bürger, Verwaltung, Wirtschaft) nach dem *win.win-Prinzip*; Bildtafel 9.14 (a und b).

Die Säulen einer zukunftsorientierten/nachhaltigen Energieversorgung in einer Region sind einerseits sparsamer/effizienter Energieeinsatz in allen Bereichen des Verbrauches (Wärme, Mobilität/Verkehr, Elektrizität) und andererseits die Nutzung erneuerbarer, lokal anfallender Energieträger (Biogene und solare Energieträger, Klein-Wasserkraft und Windenergie, Geothermische Energie, Biogene Abfälle).

Die Anforderungen an eine umweltverträgliche Energieversorgung beziehen sich auf Energieaufbringung, Energienutzung, und Entsorgung.

Die kommunale Energie- und Umweltplanung hat sowohl wirtschaftliche als auch soziale Aspekte zu berücksichtigen. Energieeinsparung und effizienter Energieeinsatz im Gebäudesektor erfolgt nicht nur durch wärmedämmende Baukonstruktionen und rationelle Heizungstechniken, sondern im beachtlichen Ausmaß durch übergeordnete Planungsentscheidungen in der Raum- und Siedlungsplanung. In der Raumplanung durch Raumordnung und großzügige Standortwahl und in der Siedlungsplanung durch Flächenwidmung und kleinräumige Standortwahl.

## Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik

Zusammenfassend lässt sich die Forderung ableiten, dass zum Aufbau eines zukunftsorientierten Energiesystems eine Neuorientierung der europäischen Energiepolitik erforderlich ist. Als wesentliche Aufgabenbereiche wurden bereits definiert: Investitionen in eine neue Energie-Infrastruktur, Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdöl- und Erdgasversorgung, Aufbau dezentraler Energieversorgungssysteme mit Erneuerbaren Energieträgern, Beitrag von Energieeffizienz und Erneuerbare Energie zur CO<sub>2</sub>-Minderung, „Aktives CO<sub>2</sub>-Management“, Management der Stromnetze.

Priorität der derzeitigen Maßnahmen in der EU wird der Sicherstellung der Versorgung mit Erdgas und Erdöl zugemessen. Heute sind es noch politische Faktoren, welche die Versorgungssicherheit bei Fossilen Energieträgern in Frage stellen, in absehbarer Zeit wird aber auch die zu erwartende Verknappung bei den Vorräten und bei Förderquoten in Betracht zu ziehen sein.

Eine weitere Priorität der EU-Energiepolitik bezieht sich auf die Erhöhung der Energie-Effizienz in allen Bereichen des Energie-Einsatzes. Nach den Plänen der EU-25 soll bis zum Jahre 2020 ein Fünftel der jährlich in Europa genutzten Energie eingespart werden. Bei gleich bleibendem Anstieg des Energieverbrauches würde der Energieverbrauch von 1.750 Mio Tonnen Öläquivalent im Jahre 2005 auf 1.890 Mio Tonnen Öläquivalent ansteigen. Dies entspricht einer Zunahme von 7,4%. Nach dem EU-Ziel soll der Energieverbrauch bis zum Jahre 2020 im Vergleich zu 2005 um 20% auf 1.500 Mio Tonnen Öläquivalent reduziert werden, entsprechend einer Reduktion von 20,6%; siehe Abschnitt 6.

Die für die Senkung des Energieverbrauches geplanten Maßnahmen betreffen: Neue Energieverbrauchsstandards, Kennzeichnung für Geräte wie Unterhaltungselektronik und Haushaltsgeräte (Kühlschränke, Klimaanlage u.a.), EU-Richtlinie für Energie-Effizienz von Gebäuden ab 2009 für neue und renovierte Häuser („Energieausweis“), Reduktion der Leitungs- und Transportverluste bei Wärme- und Stromerzeugung, Schärfung des Verbraucherbewusstseins, steuerliche Anreize und Förderungsmaßnahmen in den EU-Mitgliedsländern (Empfehlung).

Konkrete Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz Erneuerbare Energie zum Zwecke der CO<sub>2</sub>-Minderung in EU-25 beziehen sich auf: Gezielte Ausnutzung der Energieeffizienzpotentiale in Industrie, Verkehr, Haushalten, Gewerbe (*Verdoppelung der derzeitigen jährlichen Zunahme der Energieeffizienz von 1,5% auf 3% – EU-Richtlinie mit Aktionsplan*), sowie einer Erhöhung des Beitrages Erneuerbarer Energieträger zur Energieaufbringung. Mit dieser EU-Energiestrategie sollen in den EU-Mitgliedsstaaten bis zum Jahre 2020 die energierelevanten (umweltwirksamen) CO<sub>2</sub>-Emissionen von 3.700 Milliarden im Jahre 2000 auf unter 2.500 Milliarden im Jahre 2020 reduziert werden.

Zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr sollen mit einer EU-Richtlinie die Automobilhersteller veranlasst werden, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahre 2012 auf 120 g/km zu senken. 1999 waren die europäischen, amerikanischen, japanischen und koreanischen Konstrukteure gegenüber der EU die schriftliche Selbstverpflichtung eingegangen, bis zum Jahre 2008 die durchschnittlichen Emissionen um 25% auf 140 g/km zu senken. 2006 war man aber erst bei 12,4% angelangt. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß derzeitiger Fahrzeuge liegt zwischen 110 g/km bis über 300 g/km.



## **Energiepolitische Rahmenbedingungen**

- **Politische Rahmenbedingungen mit neuer Gewichtung der Ziele:**  
*Nationale Politik und gemeinsame EU-Politik.*
- **Instrumente zur Umsetzung.**
- **Strukturwandel der Energiewirtschaft.**
- **Änderung bisheriger Strategien in Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft.**

## **Aufbau eines Nachhaltigen Energiesystems: Aufgaben der Politik**

Der Energiepolitik stehen eine Reihe von Instrumenten zur Verfügung, welche eine Umstrukturierung der Energiewirtschaft erleichtern würden:

- **Energieforschung,**
- **Förderungsinitiativen am Markt,**
- **Gesetze und Vorschriften etc.**

**Bildtafel 9.1: Energiepolitische Rahmenbedingungen zum Aufbau eines neuen Energiesystems**

### **Handlungsbedarf für die Energiepolitik (1)**

- Eine ***nachhaltige*** Energieversorgung ist Voraussetzung für eine ***nachhaltige*** wirtschaftliche (Weiter)-Entwicklung.
- Die derzeitige Energiewirtschaft erfüllt nicht die Kriterien an eine nachhaltige und damit zukunftsorientierte Energieversorgung.
- Eine zukunftsorientierte Energieversorgung erfordert eine Umstrukturierung unserer derzeitigen Energiewirtschaft mit den Zielen
  - höhere Effizienz und
  - verstärkter Einsatz “nachhaltiger” und umweltschonender Energieträger.

### **Handlungsbedarf für die Energiepolitik (2)**

- Die Probleme der Sicherstellung der Energieversorgung auch in Zukunft sind vielseitig und erfordern eine langfristige Planung mit konsequenter Umsetzung.
- Eine einzige Energiequelle/Energietechnik wird nicht ausreichen, die Energieversorgung sicherzustellen:  
*Ein geeignetes, auf lokal verfügbaren Energieressourcen basierendes Energiesystem muss gefunden werden.*

## **Handlungsmöglichkeiten für die Energiepolitik**

- **Erhöhung der Effizienz bei der Energiebereitstellung und Energieanwendung.**
- **Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger**  
*(unter besonderer Berücksichtigung der Randbedingungen für hohe Effizienz).*
- **Überwindung von Marktbarrieren für “neue” Energiesysteme,**  
**z.B. durch Berücksichtigung externer Kosten bei Aufbringung und Einsatz**  
*(volkswirtschaftliche Gesamtrechnung).*
- **Finanzierungsmodelle für eine raschere Marktdurchdringung.**

## **Maßnahmen zur konkreten Umsetzung energiepolitischer Ziele am Energiemarkt**

- **Energieforschung ist nur ein von mehreren erforderlichen Instrumenten zur Umsetzung energiepolitischer Ziele.**
- **Für die Markteinführung innovativer Produkte und Lösungen zur Energie-Aufbringung und Energie-Anwendung sind staatliche Initiativen zur Überwindung der Marktbarrieren erforderlich:**
  - *Legistische Maßnahmen und Förderungen.*
  - *Integration von dezentralen Energiesystemen mit zentralen Erzeugungsstrukturen.*
  - *Europaweite Abstimmung der Maßnahmen.*

**Bildtafel 9.3: Handlungsmöglichkeiten der Energiepolitik**

## **Neuorientierung der europäischen Energiepolitik**

- **Investitionen in eine neue Energie-Infrastruktur.**
  - **Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdöl- und Erdgasversorgung.**
- **Aufbau dezentraler Energieversorgungssysteme mit erneuerbaren Energieträgern.**
- **Beitrag von Energieeffizienz und Erneuerbare Energie zur CO<sub>2</sub>-Minderung in EU-Mitgliedsstaaten.**
  - **Aktives CO<sub>2</sub>-Management.**
  - **Management der Stromnetze.**

## **Derzeitige Maßnahmen in der EU zur Verbesserung der Versorgungssicherheit**

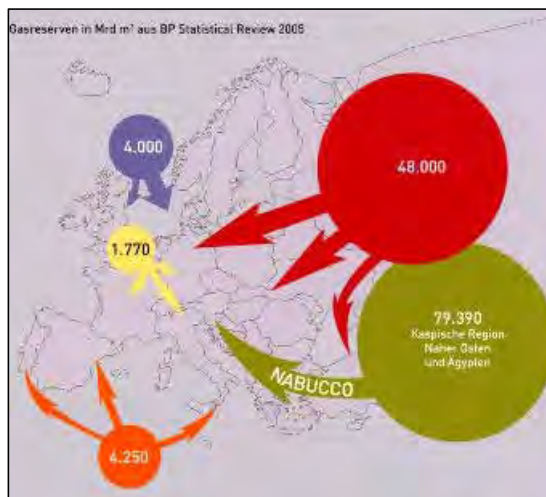
- **Die Priorität in der europäischen Energiepolitik konzentriert sich derzeit auf die Sicherstellung der Versorgung mit Erdgas und Erdöl.**
- **Heute sind es noch politische Faktoren, welche die Versorgungssicherheit bei fossilen Energieträgern in Frage stellen, in absehbarer Zeit wird aber auch die zu erwartende Verknappung bei den Vorräten und bei Förderquoten in Betracht zu ziehen sein.**

**Bildtafel 9.4: Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik**

## Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdgasversorgung in Europa

- Kapazitätserweiterung bei den bestehenden Erdgasleitungen.
  - Neue Erdgasspeicher.
  - Neue Transportrouten.
- Versorgung mit verflüssigtem Erdgas.

### Projekt „Nabucco-Pipeline“ zur Erdgasversorgung der EU



**Nabucco-Erdgas-Pipeline**  
zur Erschließung von Erdgasquellen der Kaspischen Region und des Mittleren Ostens für Europa.

**3.300 km, 31 Mrd. m<sup>3</sup>/Tag,  
Investition 4,6 Mrd. Euro  
Bauzeit: 2006 - 2014**

**Bildtafel 9.5: Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdgasversorgung in Europa**

## **Beiträge zur Energie-Effizienz in der EU (1)**

### **(1) Gezielte Ausnutzung der Energieeffizienzpotentiale in Industrie, Verkehr, Haushalten, Gewerbe**

***Verdoppelung der derzeitigen jährlichen Zunahme  
der Energieeffizienz von 1,5% auf 3%  
(EU-Richtlinie mit Aktionsplan)***

- **Erhöhung des Beitrages erneuerbarer  
Energieträger zur Energieaufbringung**

## **Beiträge zur Energie-Effizienz in der EU (2)**

**Die für die Senkung des Energieverbrauches  
geplanten Maßnahmen betreffen:**

- **Neue Energieverbrauchsstandards, Kennzeichnung für  
Geräte wie Unterhaltungselektronik und Haushaltsgeräte  
(Kühlschränke, Klimaanlage u.a.).**
- **EU-Richtlinie für Energie-Effizienz von Gebäuden ab 2009  
für neue und renovierte Häuser („Energieausweis“).**
  - **Reduktion der Leitungs- und Transportverluste bei  
Wärme- und Stromerzeugung.**
  - **Schärfung des Verbraucherbewusstseins.**
- **Steuerliche Anreize und Förderungsmaßnahmen in den  
EU-Mitgliedsländern (Empfehlung).**

**Bildtafel 9.6: Beiträge zur Energie-Effizienz in EU-Mitgliedstaaten**

## **Energieforschung als Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele**

- Die Sicherstellung der Energieversorgung liegt im Verantwortungsbereich der Regierungen.
- Staatliche Energieforschung ist ein wesentliches Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele.
- Staatliche Energieforschung bezieht sich vorrangig auf Grundsatzfragen der Energieversorgung und soll innovative Lösungen entwickeln.
- Innovative Lösungen im Energiebereich fördern Entwicklungen in der Industrie und erleichtern private Investitionen in neue Techniken.

## **Anforderungen an die Energieforschung *National und international***

- **Technologische Entwicklungen**  
*(inklusive Materialien, Lebensdauer, Sicherheit)*
  - **Energie-Infrastruktur**
  - **Forschungs-Infrastruktur**
  - **Marktdurchdringung**  
*(ökonomische, sicherheitstechnische, umweltbezogene und soziale Aspekte)*

**Bildtafel 9.7: Energieforschung als Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele**



## **Energieforschung im internationalen Bereich**

**Energieforschungsprogramme im Rahmen der  
*Internationalen Energieagentur*  
– als Teilorganisation der OECD –  
koordinieren die Energieforschungsprogramme  
in den IEA-Mitgliedsländern und initiieren neue  
Forschungsprojekte.**

**Die Finanzierung erfolgt ausschließlich über  
nationale Forschungsbudgets.**

## **Energieforschung in der Europäischen Union**

- **Energie-Forschungsprogramme der  
*Europäischen Union, EU,*  
sollen eine europäische Energiepolitik unterstützen,  
in Zusammenarbeit mit den EU-Mitgliedsstaaten.**
- **Themen und Schwerpunkte inklusive Budget  
werden von der EU-Kommission in Abstimmung mit  
den EU-Mitgliedsländern festgelegt.**
- **Derzeitige Forschungsschwerpunkte sind  
Energie-Effizienz, Kernfusion, Erneuerbare Energie,  
Nachhaltige Energiesysteme,  
CO<sub>2</sub>-Separation und -Speicherung, Wasserstoff als  
Sekundärenergieträger, Brennstoffzellen.**

**Bildtafel 9.8: Energieforschung im Internationalen Bereich  
*Internationale Energieagentur, IEA/OECD, und Europäische Union, EU***

## **Schwerpunkte der EU-Forschungsprogramme im Energiebereich 2007-2012**

- **Kostenreduktion bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (Ökostrom-Anlagen),**
- **Weiterentwicklung und Kostenreduktion bei der Erzeugung von umweltneutralen Treibstoffen (Bio-Treibstoffe und Wasserstoff),**
- **Strom-Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen (Windkraft, Photovoltaik),**
- **„Aktives“ CO<sub>2</sub>-Management,**
- **Weiterentwicklung solarthermischer Anlagen.**

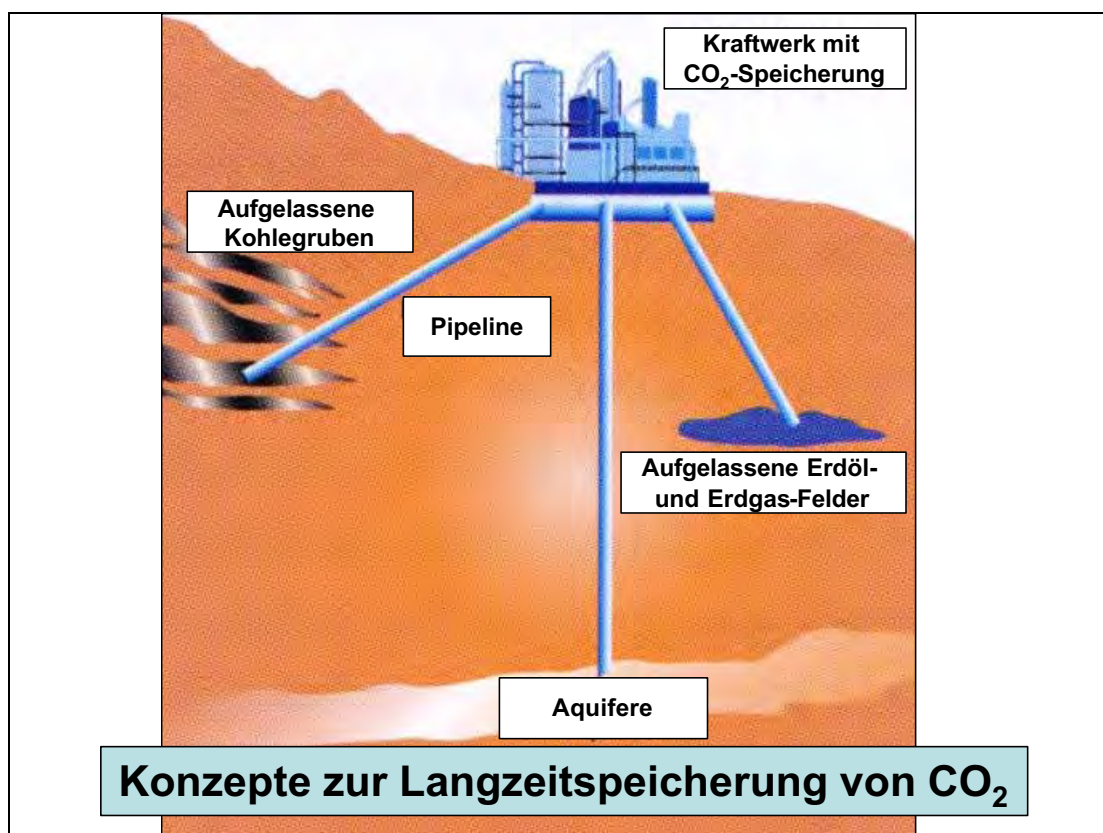
## **Staatliche Energieforschung im Rückblick**

- **Die staatlichen Energieforschungsausgaben setzten mit der „Ölpreis-Krise“ im Jahre 1974 ein und erreichten im Jahre 1980 einen Spitzenwert.**
- **Mit der Beruhigung am Energiemarkt wurden die staatlichen Forschungsausgaben in allen IEA-Mitgliedsländern zurückgenommen, sind auch mit dem erkannten Umweltproblem der Energieversorgung nicht mehr angestiegen, wengleich in den letzten Jahren eine Stabilität in den Forschungsausgaben festzustellen ist.**

**Bildtafel 9.9: Schwerpunkte der Energieforschung und Rückblick**

## Reine Kohle / Clean Coal

- Kohle – mit den weltweit größten Reserven – weist die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen von allen fossilen Energieträgern bei der energetischen Nutzung/Verbrennung auf.
- Die einfachste Möglichkeit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht in der Effizienzsteigerung bei der Verbrennung in Heizkesseln und Kraftwerken.
- Weitere Möglichkeiten sind über Abtrennung, Bindung und Speicherung des Reaktionproduktes CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung möglich.



Bildtafel 9.10: Ziele und Konzepte für „Reine“ Kohle in EU-Mitgliedstaaten

### **Lösungskonzepte für technische Maßnahmen zur Minderung/Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen (1)**

- Weltweit wird nach technischen Lösungen gesucht, das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende CO<sub>2</sub> „einzufangen“ (z.B. chemisch zu binden) und zu speichern.
- Als geeignete Speicher für CO<sub>2</sub> bieten sich aufgelassene Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Lagerstätten an. Auch der Meeresboden wird in die Überlegungen mit eingebunden.
- Zielvorgaben der EU-Forschung für Kosten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung:

**< 15 Euro/Tonne CO<sub>2</sub>**

### **Lösungskonzepte für technische Maßnahmen zur Minderung/Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen (2)**

- Eine *CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Speicherung* ist insbesondere auch im Zusammenhang mit einer neuerlichen Nutzung von Kohle (z. B. China, Asien) von Bedeutung.
- Die Entwicklungen haben erst eingesetzt, es steht aber bereits fest, dass sich dadurch die Kosten für Wärme und Strom aus fossilen Energieträgern deutlich erhöhen würden. Damit wäre eine Wettbewerbsfähigkeit mit derzeitigen Kraftwerken auf der Basis fossiler Energieträger nicht gegeben.

**Bildtafel 9.11: Konzepte zur Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems von Kohle-Kraftwerken**



## Energie-Einsparpotential in Gebäuden

Im Gebäudebereich besteht ein hohes Potential zur Reduktion des **Wärmebedarfes** für Heizung und Warmwasser und zur Reduktion des **Stromeinsatzes** für Haushaltsgeräte und Beleuchtung

## Wärme-Potential für solarthermische Anlagen in Wohnhäusern (1)

Das Wärmepotential für solarthermische Anlagen in Gebäuden ergibt sich im Falle von Wohnhäusern je nach Gebäudestandard für Heizung und Warmwasser zu:

- „Standard-Gebäude“  
(nach derzeit gültigen Bauvorschriften):  
Heizung um 73% und Warmwasser um 27%.
- Hochwärmegedämmte Gebäude  
(„Passivhaus-Standard“):  
Heizung um 41% und Warmwasser um 59%.

Bildtafel 9.12a: Energie-Einsparpotential in Gebäuden  
Wärmepotential für solarthermische Anlagen

# NACHHALTIGES BAUEN UND HEIZEN

## Bauzustand und Wärmeschutz der Gebäudehülle

U-Werte in  $W/(m^2, K)$

Gebäudeteil	Standard-Haus	Energiespar-Haus	Niedrigenergie-Haus	Passiv-Haus	Passiv-Haus +
Außenwand	< 0,40	< 0,25	< 0,20	< 0,15	< 0,11
Oberste Geschossdecke	< 0,25	< 0,20	< 0,15	< 0,10	< 0,10
Unterste Geschossdecke	< 0,50	< 0,30	< 0,20	< 0,13	< 0,10
Außenfenster (Glas und Rahmen)	< 1,80	< 1,30	< 1,10	< 0,70	< 0,70

Wärmedämmung der Außenwand

6–10 cm

10-15 cm

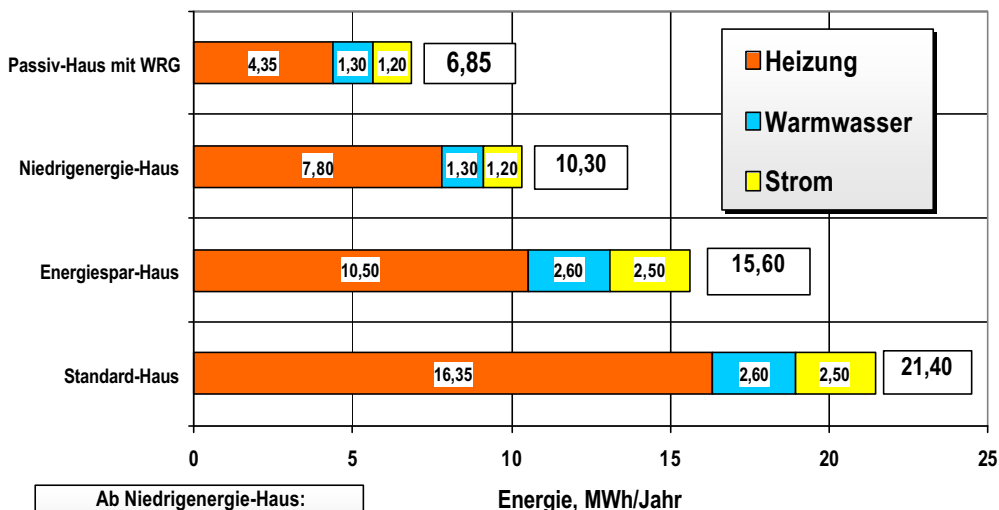
15-20 cm

> 30 cm

> 40 cm

## Energiesparpotential in Gebäuden Einfamilien-Wohnhaus, 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche

Bauzustand



Ab Niedrigenergie-Haus:  
Solaranlage zur Warmwasserbereitung,  
Stromsparende Haushaltsgeräte und  
Beleuchtung

**Bildtafel 9.12b: Energie-Einsparpotential in Gebäuden**  
*Wärmeschutz des Gebäudes und effiziente Energieversorgung*

## Wärme-Potential für solarthermische Anlagen in Wohnhäusern

### Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser

#### Standard-Haus:

- Heizung: 60 kWh/(m<sup>2</sup>, a) 73 %
- Warmwasser: 22 kWh/(m<sup>2</sup>, a) 27 %

#### Passiv-Haus:

- Heizung: 15 kWh/(m<sup>2</sup>, a) 41 %
- Warmwasser: 22 kWh/(m<sup>2</sup>, a) 59 %

## Wärme-Potential für solarthermische Anlagen in Wohnhäusern

### Warmwasser:

Um 50% bis 70% des jährlichen  
Warmwasserbedarfes in einem Haushalt  
kann mit einer solarthermischen Anlage  
abgedeckt werden

### Warmwasser & Heizung:

Bezogen auf den gesamten Wärmebedarf

- Standard-Haus: 14% - 19%
- Passiv-Haus: 30% - 41%

**Bildtafel 9.12c: Energie-Einsparpotential in Gebäuden**  
*Wärmepotential für solarthermische Anlagen (Beispiele)*



## Sonnenenergie-Nutzung in Gebäuden

Photovoltaik

Solarthermik



**Solararchitektur**

**Solaranlagen für  
Warmwasser und  
Raumheizung**

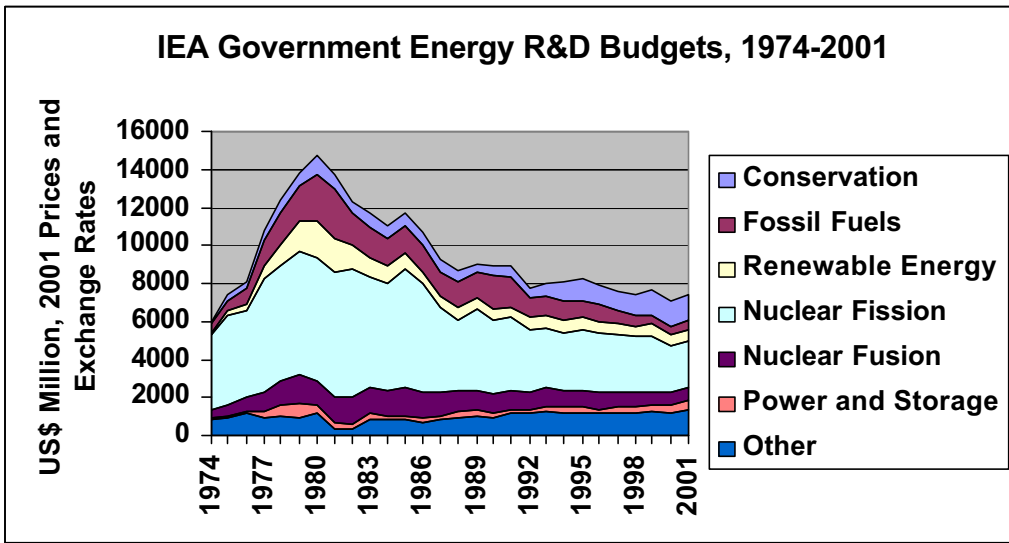
**Solaranlagen zur  
Stromerzeugung**

## Das ideale Solarhaus



Niedrigenergie-Bauweise, integrierter Wintergarten,  
thermische und photovoltaische Solaranlage

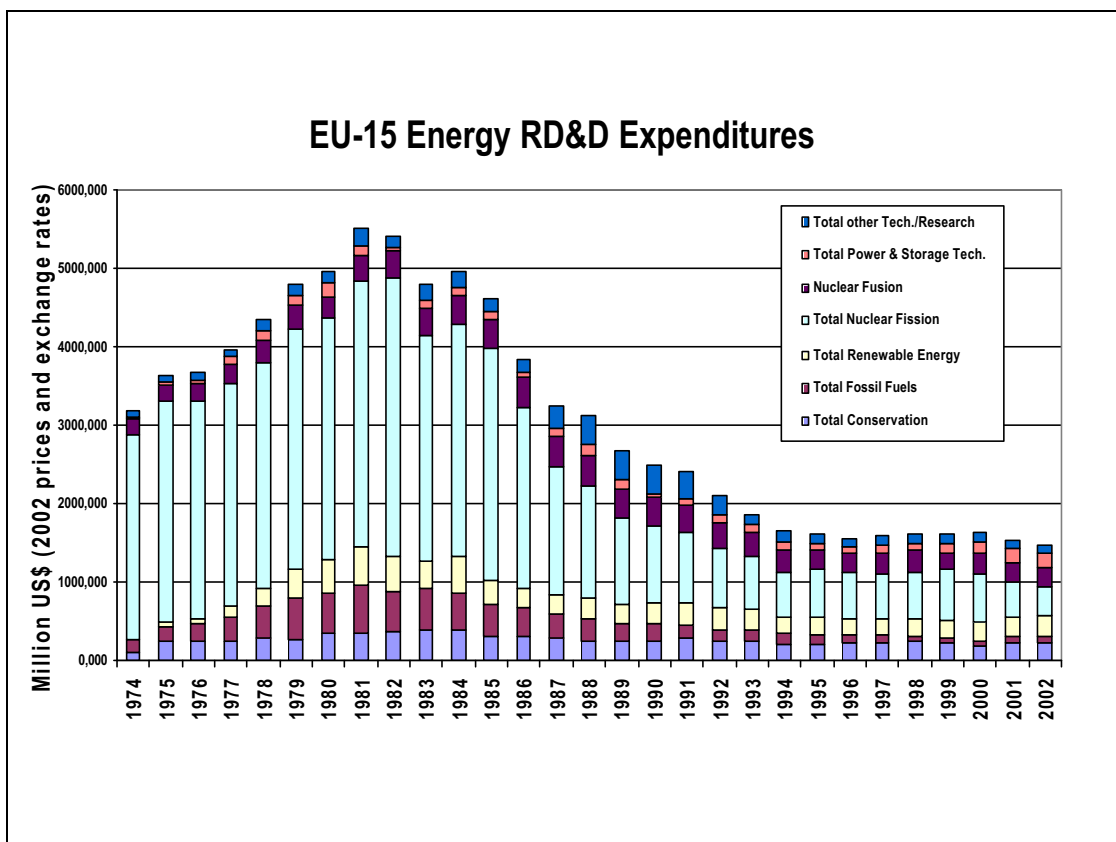
**Bildtafel 9.12d: Energie-Einsparpotential in Gebäuden**  
*Sonnenenergie-Nutzung in Gebäuden*



*Source: Data reported to the IEA by IEA Member countries*

Quelle: IEA-REWP

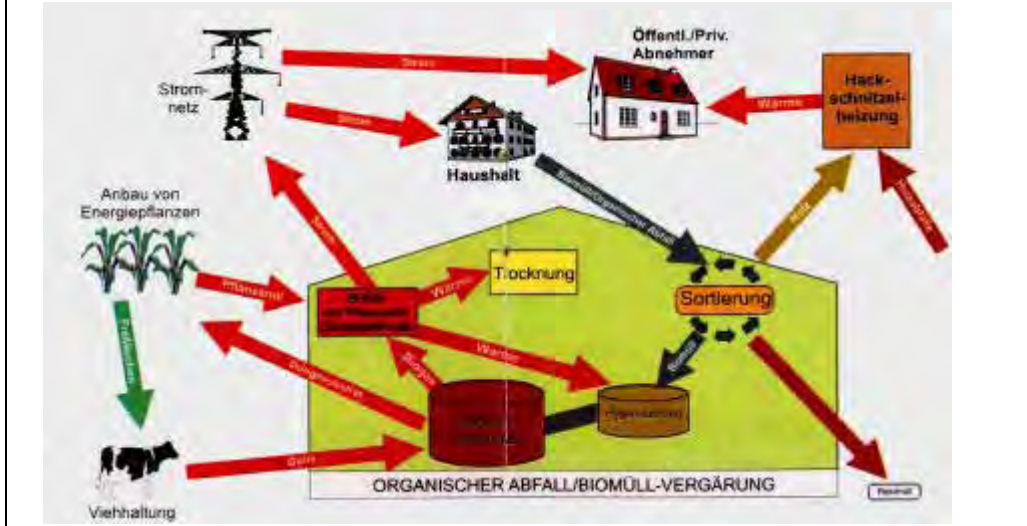
*G. Faninger, 2004*



**Bildtafel 9.13: Staatliche Ausgaben für Energieforschung**

## Kommunale Energie- und Umweltplanung

### Instrument zur *Nachhaltigen Entwicklung*



## Kommunale Energieplanung: Aufgaben und Ziele

- Die kommunale Energieplanung ist Teil der Entwicklungsplanung einer Region und hat Einflüsse auf Wirtschaft, Versorgungssicherheit, Umweltsituation, Lebensqualität.
- Das übergeordnete Ziel der Energieplanung ist eine weitgehend umweltverträgliche und energieautarke Region: ***Klimaschutzgemeinde.***
- Wesentliche Einflussfaktoren sind betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Aspekte.
  - Für die Umsetzung des Energieplanes ist ein Maßnahmenkatalog zu entwickeln, mit Einbindung aller Beteiligten (Bürger, Verwaltung, Wirtschaft).

Bildtafel 9.14a: Kommunale Energie- und Umweltplanung  
*Aufgaben und Ziele*

## **Kommunale Energieplanung: Aufgaben und Ziele**

- Die kommunale Energieplanung ist Teil der Entwicklungsplanung einer Region und hat Einflüsse auf Wirtschaft, Versorgungssicherheit, Umweltsituation, Lebensqualität.
- Das übergeordnete Ziel der Energieplanung ist eine weitgehend umweltverträgliche und energieautarke Region: *Klimaschutzgemeinde*.
  - Wesentliche Einflussfaktoren sind betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Aspekte.
- Für die Umsetzung des Energieplanes ist ein Maßnahmenkatalog zu entwickeln, mit Einbindung

## **Die Säulen der Kommunalen Energieplanung**

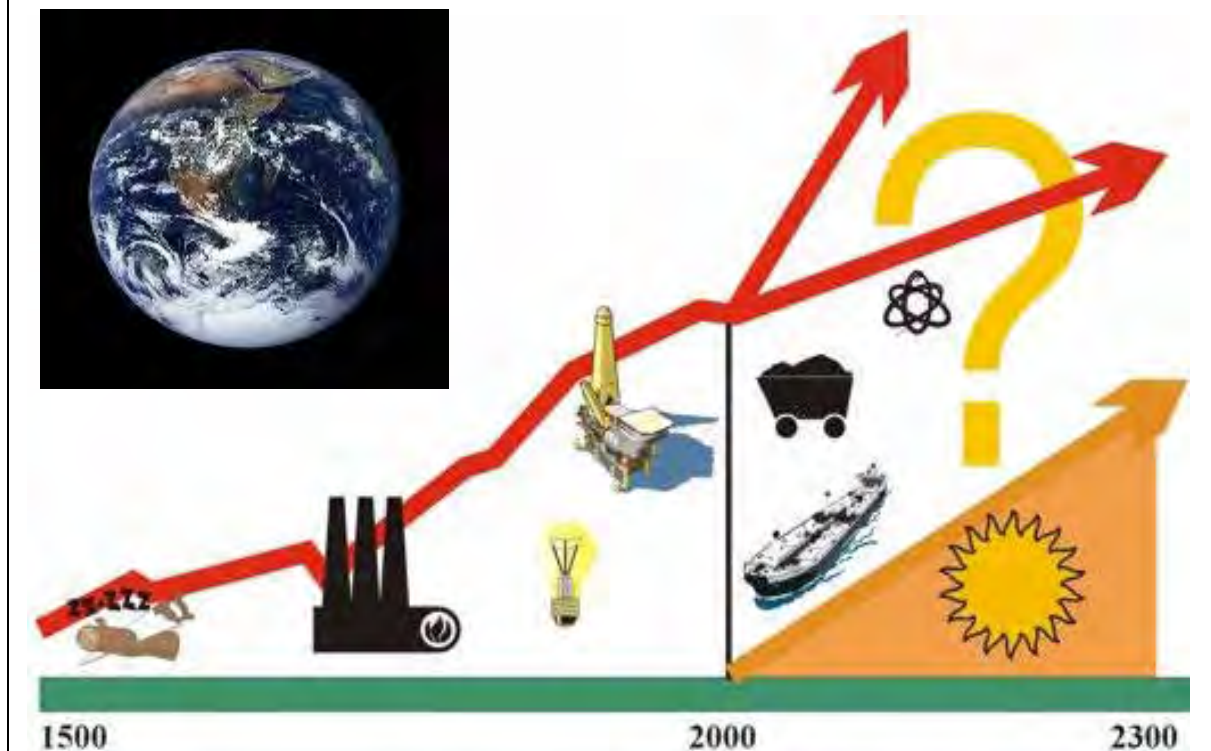
- (1) **Sparsamer/effizienter Energieeinsatz in allen Bereichen des Verbrauches:**  
*Wärme, Mobilität/Verkehr, Elektrizität.*
- (2) **Nutzung erneuerbarer, lokal anfallender Energieträger:**  
*Biogene und solare Energieträger, Klein-Wasserkraft und Windenergie, Geothermische Energie, Biogene Abfälle.*
- (3) **Umweltverträgliche Energieversorgung:**  
*Energieaufbringung, Energienutzung, Entsorgung.*
- (4) **Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Aspekte.**

**Bildtafel 9.14b: Kommunale Energie- und Umweltplanung  
*Maßnahmen***

# 10. Energieszenarien

*Aufgaben und Ziele.  
Grenzen von Energieszenarien.  
Ansätze für Energie-Szenarien.  
Basisdaten für die Erstellung von Energieszenarien.  
Ergebnisse von Energie-Szenarien: Welt, OECD, EU und Österreich.*

## Energie-Optionen



# Energieszenarien

## Aufgaben und Ziele

Energieszenarien haben vorrangig die Aufgabe, den Trend in der Energieversorgung abzuzeichnen und auf Probleme der zukünftigen Energieversorgung aufmerksam zu machen, um eine öffentliche und politische Auseinandersetzung mit den Problemen der zukünftigen Energieversorgung zu initiieren; Bildtafel 10.1.

Energieszenarien bauen auf der Entwicklung des Energiemarktes der letzten Jahrzehnte auf, einerseits unter Annahme gleicher Randbedingungen („*Business as usual*“) und andererseits mit Vorgabe von Zielvorstellungen in Bezug auf verbesserte Energie-Effizienz bei Aufbringung und Verwendung sowie auf einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger: „*Nachhaltiges*“ Energiesystem; Bildtafel 10.2

Eine Zukunftsstrategie für die wirtschaftliche Weiterentwicklung in Europa und weltweit muss Erneuerbare Energieträger einschließen, einerseits um die knapper werdenden Vorräte an Fossilen und nuklearen Energieressourcen zu schonen und andererseits um die für den Ausbau Erneuerbarer Energieträger erforderliche industrielle Infrastruktur auszubauen.

Die Vision für ein zukünftiges Energiesystem ist der Aufbau eines vorrangig auf Erneuerbaren Energieträgern basierenden „*Nachhaltigen*“ Energiesystems in einer Kreislaufwirtschaft, in Verbindung von höchst möglicher Energie-Effizienz bei Erzeugung und Nutzung und – wenn realisierbar – mit Nutzung der Kernfusion.

Energieszenarien werden für einen Zeithorizont von 20 bis 100 Jahren entwickelt. Die Hochrechnung erfolgt in Bezug auf die Entwicklung des Energieverbrauches und der eingesetzten Energieträger.

## Grenzen von Energieszenarien

Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert: Entwicklung der Weltbevölkerung, Verfügbarkeit von Energieträgern, Zuverlässigkeit der Versorgung, Entwicklung der Energiepreise, Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern, zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*), tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger.

Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes gibt es somit keine klaren Antworten: Damit können Energieszenarien nur Anhaltspunkte für eine mögliche Entwicklung des Energiemarktes und für Möglichkeiten/Probleme bei der Abdeckung des zukünftigen Energiebedarfes geben.

## **Ansätze für Energie-Szenarien**

Energieszenarien basieren auf zwei unterschiedlichen Positionen; Bildtafel 10.2:

(1) Fortschreibung der derzeitigen Energieversorgung:

Weitere Nutzung Fossiler Energieträger über neue Ressourcen wie Ölschiefer und Teersande bzw. Gas aus dem Ozean. Massiver Ausbau von Atomkraftwerken. Entwicklung von Reaktoren zur Kernfusion mit möglichst rascher Markteinführung.

(2) Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems mit dem Schwerpunkt Erneuerbare Energie:

Mittelfristige Substitution von Fossilen und Nuklearen Energieträgern durch Erneuerbare Energieträger, zunächst über dezentrale Erzeugungseinheiten und später mit Integration in zentrale Verteilnetze (thermisch und elektrisch). Entwicklung von Langzeit- (saisonalen) Speichern für Erneuerbare Energieträger mit zeitlichen Schwankungen im Angebot. Aufbau eines Energiesystems mit dezentraler Erzeugung und mit einem transportierbaren Sekundär-Energieträger, produziert aus Erneuerbarer Energie (z.B. Wasserstoff).

Der Aufbau eines für die Zukunft „nachhaltigen“ Energiesystems wird durch die verschiedenen Ansätze einerseits und durch die Unsicherheit bei der Abschätzung der Energieressourcen andererseits erschwert.

## **Basisdaten für die Erstellung von Energieszenarien**

Basisdaten für die Erstellung von Energieszenarien sind die Energiedaten des Ausgangsjahres: Energieverbrauch/Energieaufkommen, Aufkommen Erneuerbarer Energie, Anteil Erneuerbarer Energie am Energieverbrauch, Jahreskapazität für Erneuerbare Energie und mittlere Jahreszuwachsrate im Energieverbrauch und im Aufkommen Erneuerbarer Energie in den vergangenen 5 bis 10 Jahren.

## **Ergebnisse von Energie-Szenarien**

In den derzeitigen Energieszenarien wird von keiner dramatischen Verknappung und Verteuerung der Fossilen Energieträger bis 2030 ausgegangen. Den Erneuerbaren Energieträgern wird – zumindest derzeit noch – keine hohe Priorität zugemessen.

Nach der Energieprognose der IEA weisen bis zum Jahre 2030 Gas das stärkste jährliche Wachstum in *absoluten* Zahlen und Erneuerbare Energie in *relativen* Angaben auf, aber Öl wird bis zum Jahre 2030 der dominierende Energieträger sein; Bildtafel 10.3 (a bis d).

Eine Prognose zum Welt-Energieverbrauch (-Energieaufkommen) wird durch den nicht vorhersehbaren Bevölkerungswachstum in Entwicklungsländern, den großen Nachholbedarf an Nutzenergie in den noch nicht entwickelten Ländern sowie durch das rasante Wirtschaftswachstum in den Schwellenländern (z.B. in China und Asien) erschwert.

Im *IEA World Energy Outlook 2004* wird für das Jahr 2030 ein Zuwachs im Welt-Energieverbrauch von 433 EJ im Jahre 2002 auf 690 EJ im Jahre 2030 angenommen, entsprechend einer mittleren Jahres-Zuwachsrate von 1,7% pro Jahr. Das Aufkommen an Erneuerbarer Energie wird von 58,5 EJ im Jahre 2002 auf 93,2 EJ im Jahre 2030 geschätzt.



Werden diese Annahmen bis zum Jahre 2050 weitergeführt, dann würde der Welt-Energieverbrauch im Jahre 2050 984,6 EJ und das Aufkommen an Erneuerbarer Energie 142,1 EJ betragen. Damit würde sich der Anteil Erneuerbarer Energieträger am Energieverbrauch im Jahre 2002 von 13,5 % auf 14,4% im Jahre 2050 erhöhen.

In diesem Szenario wird von einem mittleren Jahreszuwachs im Energieaufkommen von 1,7%/Jahr und im Aufkommen von Erneuerbarer Energie von 3%/Jahr ausgegangen, ausgehend von den Ausgangsdaten im Jahre 2002. Die Jahreskapazität für Erneuerbare Energie lag im Jahre 2002 bei 0,91 PJ/Jahr.

## **IEA-Prognose 2007 für den Energieverbrauch im Jahre 2030**

Im *IEA-World Energy Outlook 2007* werden für das Jahr 2030 zwei Szenarien für den weltweiten Energieverbrauch (Primärenergieaufkommen, Total *Primary Energy Supply*, *TPES*) erstellt. Beide nach dem Modell „*Business as Usual*“. Das „*Referenz-Szenario*“ unter Zugrundelegung der aktuellen (2005) politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und das „*Alternativ-Szenario*“ mit politischen Vorgaben für eine verbesserte Energieeffizienz bei Erzeugung und Verwendung. Vorgaben für einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger werden keine getroffen.

Nach dem Referenz-Szenario ergibt sich für das Jahr 2030 der weltweite Energieverbrauch mit 17.100 Mtoe (715,94 EJ) und nach dem Alternativ-Szenario mit 15.400 Mtoe (644,77 EJ); Bildtafel 10.4a. Der Unterschied beträgt damit 1.700 Mtoe (71,18 EJ).

Nach dem Referenz-Szenario liegt der Zuwachs im Energieverbrauch von 2005 bis 2030 bei 5.665 Mtoe (237,18 EJ), entsprechend einem Anstieg von 49,5% (2,0% pro Jahr), und nach dem Alternativ-Szenario bei 3.965 Mtoe (166,00 EJ) und einem Anstieg von 34,7% (1,4% pro Jahr).

In beiden Szenarien liegt der Energieverbrauch auch im Jahre 2030 in den OECD-Mitgliedsländern mit über 40% am Weltenergieverbrauch am höchsten; Bildtafel 10.4b.

## **Offene Fragen**

Eine Prognose des Energieverbrauches (Energieaufkommen) für einen längeren Zeitabschnitt wird von zahlreichen nicht vorhersehbaren Entwicklungen erschwert bzw. unsicher gemacht. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass der zu erwartende wachsende Energiebedarf in Entwicklungsländern vorrangig mit Kohle (z.B. in China) und erneuerbaren Energiequellen (insbesondere thermische und elektrische Solaranlagen) abzudecken sein wird. Dafür sprechen einerseits die Entwicklung der Kosten von Fossilen Energieträgern und andererseits deren begrenzte Verfügbarkeit. Eine wirtschaftliche Weiterentwicklung kann allerdings nur bei finanzieller Unterstützung derzeitiger Schwellen- und Entwicklungsländer von den bereits entwickelten Ländern erwartet werden.

In den internationalen Energieprognosen (z.B. *IEA World Energy Outlook*) wird das Problem der Verknappung Fossiler Energieträger auch angesprochen. Es werden aber keine Anforderungen an die weitere Entwicklung des Energieverbrauches vorausgesetzt, wie energiepolitische Rahmenbedingungen für sowohl eine verbesserte Energieeffizienz bei Aufbringung und Nutzung als auch betreffend einen verstärkten Einsatz Erneuerbarer, lokal anfallender Energieträger zwecks Substitution Fossiler Energieträger.

Auch von Seiten der international tätigen Mineralölwirtschaft wird eine langfristige Versorgung mit Fossilen Energieträgern in Frage gestellt. Shell U.K. hat bereits mit einem im Jahre 1995 veröffentlichten Szenario darauf hingewiesen, dass spätestens ab 2030 mit einem Engpass an Fossilen Energieträgern gerechnet werden muss. Ab diesem Zeitpunkt müssen die Erneuerbaren Energieträger bereits deutliche Marktanteile am weltweiten Energieaufkommen übernehmen können.

Es erscheint somit sinnvoll, für die weitere Entwicklung des Energieverbrauches bzw. des Primärenergie-Aufkommens von einer verbesserten Energie-Effizienz (geringere Zunahme des Energieverbrauches) und einem verstärkten Einsatz Erneuerbarer Energieträger, ausgehend von der derzeit verfügbaren Jahres-Installationskapazität auszugehen.

## **Energieszenarien mit Priorität Energie-Effizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger**

### **Weltenergie-Szenario**

Bei einem mittleren Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie von 5% der Jahreskapazität würde der Anteil Erneuerbarer Energie im Jahre 2050 bei 55,9% im Falle eines mittleren Jahreszuwachs im Energieverbrauch von 1%, und bei 35,1% im Falle eines mittleren Jahreszuwachs im Energieverbrauch von 2% betragen; Bildtafel 10.5.

### **OECD**

Bei einem mittleren Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie von 5% der Jahreskapazität würde der Anteil Erneuerbarer Energie im Jahre 2050 bei 19,0% im Falle eines mittleren Jahreszuwachses im Energieverbrauch von 1%, und bei 11,9% im Falle eines mittleren Jahreszuwachses im Energieverbrauch von 2% betragen; Bildtafel 10.6.

### **EU-Mitgliedsländer**

Der mögliche Beitrag Erneuerbarer Energieträger zum Energieaufkommen in den EU-Mitgliedsstaaten (EU-25) wird unter den folgenden Annahmen abgeschätzt: Jährliche Zunahme im Primärenergie-Aufkommen: 1%, 3%, 5% und 10%. (*In den letzten Jahren betrug der mittlere jährliche Zuwachs an Erneuerbaren Energieträgern am Primärenergieaufkommen 1,1%*). Unter Annahme eines mittleren jährlichen Zuwachses an Erneuerbaren Energieträgern von 3%, 5% und 10% würde der Anteil der Erneuerbaren Energieträger am Primärenergieaufkommen im Jahre 2050 betragen: 14% bzw. 21% bzw. 37%; Bildtafel 10.7.

### **Österreich**

Bei einem mittleren Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie von 5% der Jahreskapazität würde der Anteil Erneuerbarer Energie im Jahre 2050 bei = 90% im Falle eines mittleren Jahreszuwachses im Energieverbrauch von 1%, und bei 77,3% im Falle eines mittleren Jahreszuwachses im Energieverbrauch von 2% betragen; Bildtafel 10.8 (a bis c).

## **Energieszenario Welt, OECD und Österreich: Zusammenfassung**

Unter Annahme einer mittleren Jahreszuwachsrate im Energieverbrauch von 2%/Jahr bzw. 1%/Jahr (Klammerwerte) und einer mittleren Jahreszuwachsrate der aktuellen Jahreskapazität zur Erzeugung von Erneuerbarer Energie von 5%/Jahr werden die folgenden Anteile an Erneuerbarer Energie am gesamten Energieverbrauch im Jahre 2050 ermittelt:

Österreich: 77,3% (=90%), OECD: 11,9% (19%), Welt: 35,1% (56%).

Bildtafel 10.9 fasst die Ergebnisse zusammen.

Die Energieszenarien belegen die Möglichkeit zur Steigerung des Anteiles Erneuerbarer Energieträger in Verbindung mit Maßnahmen zur Energie-Effizienz.

## **Energie-Szenarien (1)**

### ***Aufgaben und Grenzen***

- Energieszenarien werden für einen Zeithorizont von 20 bis 100 Jahren entwickelt:

**Hochrechnung in Bezug auf die Entwicklung des Energieverbrauches und der eingesetzten Energieträger.**

- Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes gibt es keine klaren Antworten. Damit können Energieszenarien nur Anhaltspunkte für eine mögliche Entwicklung des Energiemarktes und für Möglichkeiten/Probleme bei der Abdeckung des zukünftigen Energiebedarfes geben.

## **Energie-Szenarien (2)**

### ***Aufgaben und Grenzen***

- Energieszenarien haben vorrangig die Aufgabe, den Trend in der Energieversorgung abzuzeichnen, auf Probleme der zukünftigen Energieversorgung aufmerksam zu machen und damit eine öffentliche und politische Auseinandersetzung mit den Problemen der zukünftigen Energieversorgung zu initiieren.
- Die Vision für ein zukünftiges Energiesystem ist „Nachhaltigkeit“ in einer Kreislaufwirtschaft, in Verbindung von höchst möglicher Energie-Effizienz bei Erzeugung und Nutzung.

**Bildtafel 10.1: Energie-Szenarien**  
***Aufgaben und Grenzen***

## **Ansätze für die zukünftige Energieversorgung (1)**

### **Energieszenarien basieren auf zwei unterschiedlichen Positionen:**

#### **(1) Fortschreibung der derzeitigen Energieversorgung**

- *Weitere Nutzung fossiler Energieträger über neue Ressourcen wie Ölschiefer und Teersande bzw. Gas aus dem Ozean.*
- *Massiver Ausbau von Atomkraftwerken.*
- *Entwicklung von Reaktoren zur Kernfusion mit möglichst rascher Markteinführung.*

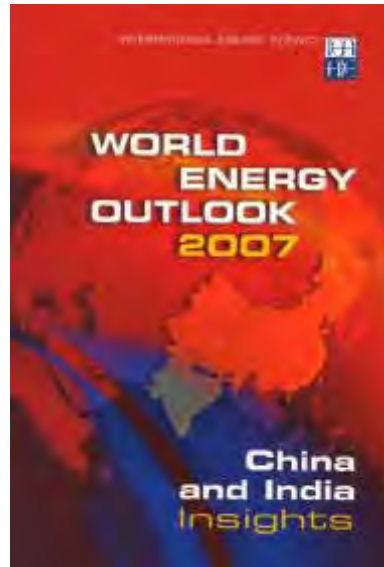
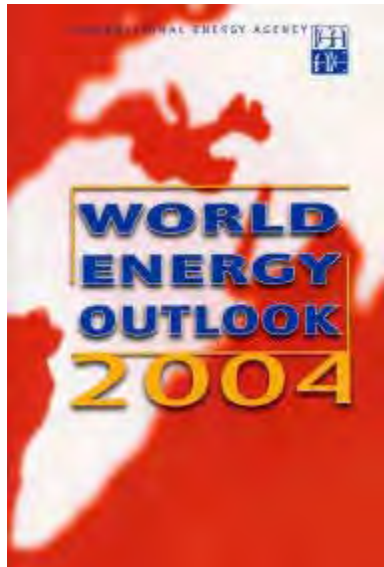
## **Ansätze für die zukünftige Energieversorgung (2)**

### **(2) Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems mit dem Schwerpunkt Erneuerbare Energie**

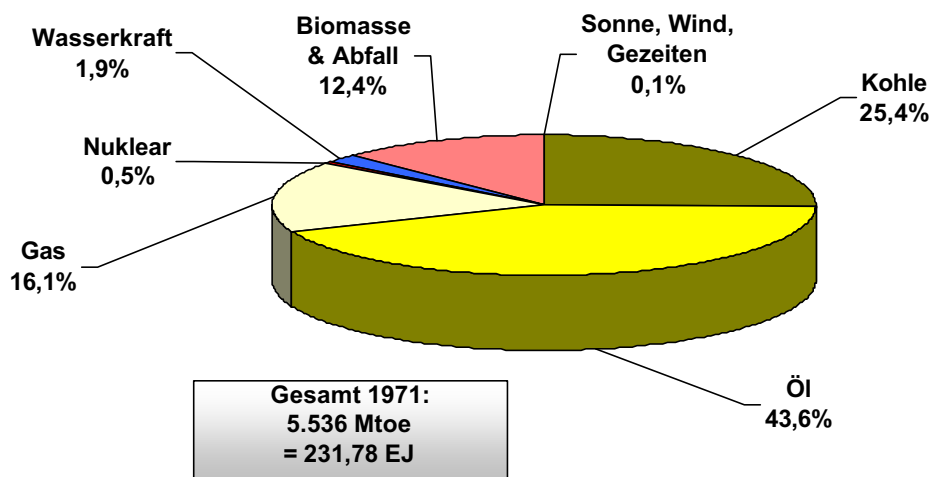
- **Mittelfristige Substitution von fossilen und nuklearen Energieträgern durch erneuerbare Energieträger, zunächst über dezentrale Erzeugungseinheiten und später mit Integration in zentrale Verteilnetze (thermisch und elektrisch).**
- **Entwicklung von Langzeit- (saisonalen) Speichern für erneuerbare Energieträger mit zeitlichen Schwankungen im Angebot.**
  - **Aufbau eines Energiesystems mit dezentraler Erzeugung und mit einem transportierbaren Sekundär-Energieträger, produziert aus erneuerbarer Energie (z.B. Wasserstoff).**

**Bildtafel 10.2: Ansätze für Energie-Szenarien**

## Energie-Szenario der Internationalen Energieagentur, IEA/OECD

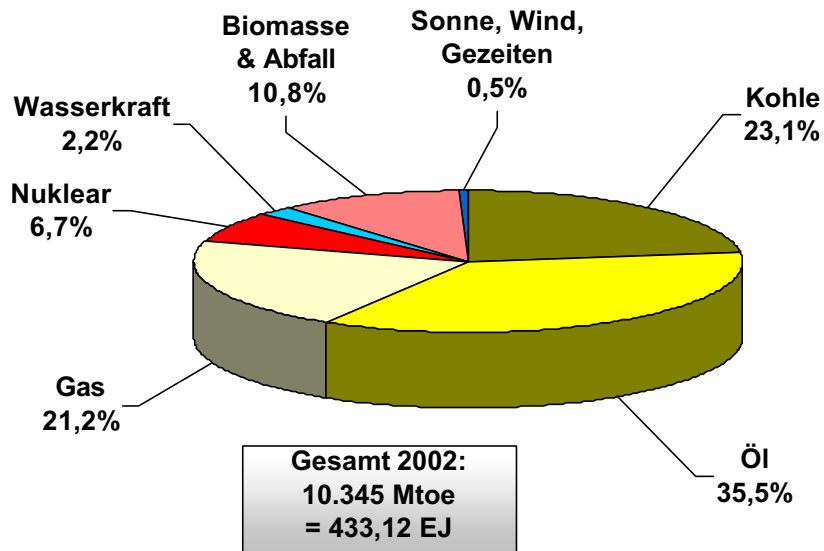


### Welt-Primärenergieverbrauch 1971

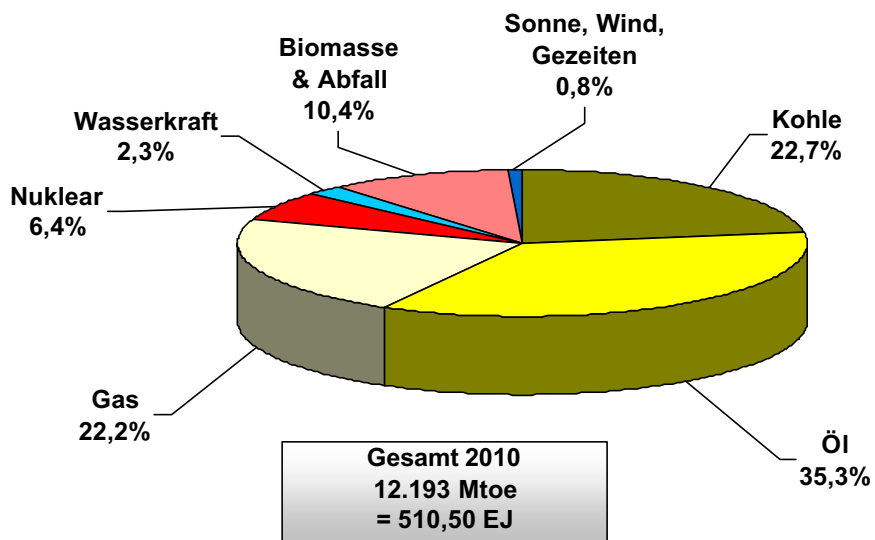


Bildtafel 10.3a: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch  
Weltenergie

## Welt-Primärenergieverbrauch 2002



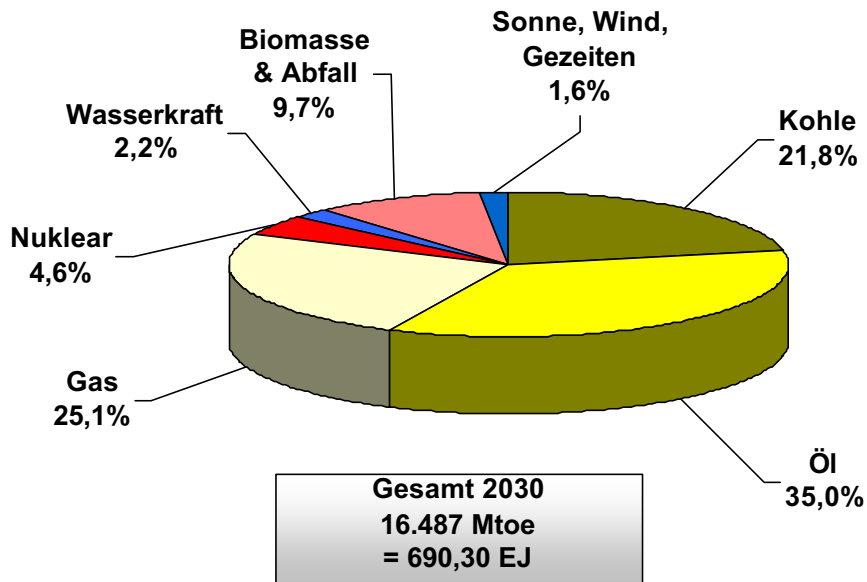
## Welt-Primärenergieverbrauch 2010



**Bildtafel 10.3b: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch  
Weltenergie 2002 und Prognose 2010**

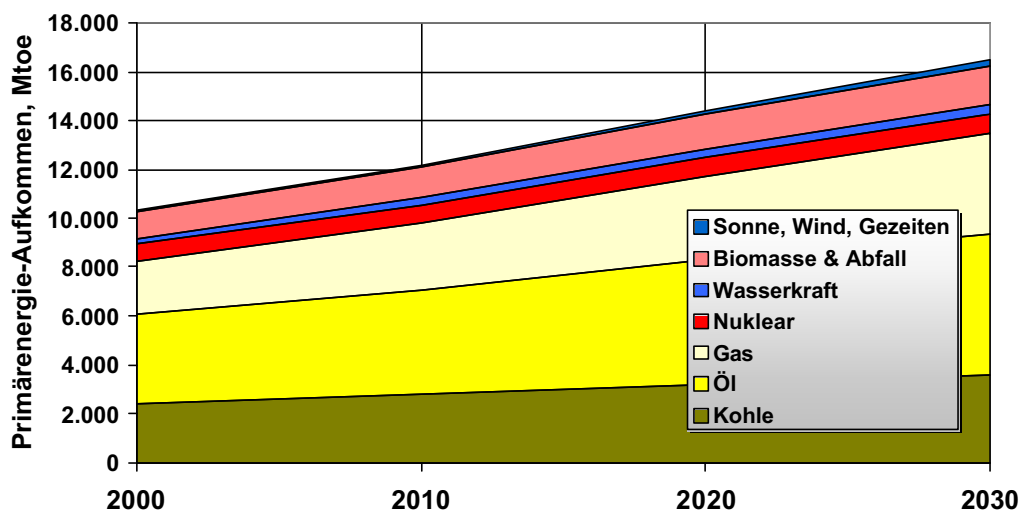


## Welt-Primärenergieverbrauch 2030



## Welt-Primärenergieverbrauch 2000 - 2030

Zugeordnet den Energieträgern  
IEA-World Energy Outlook 2004

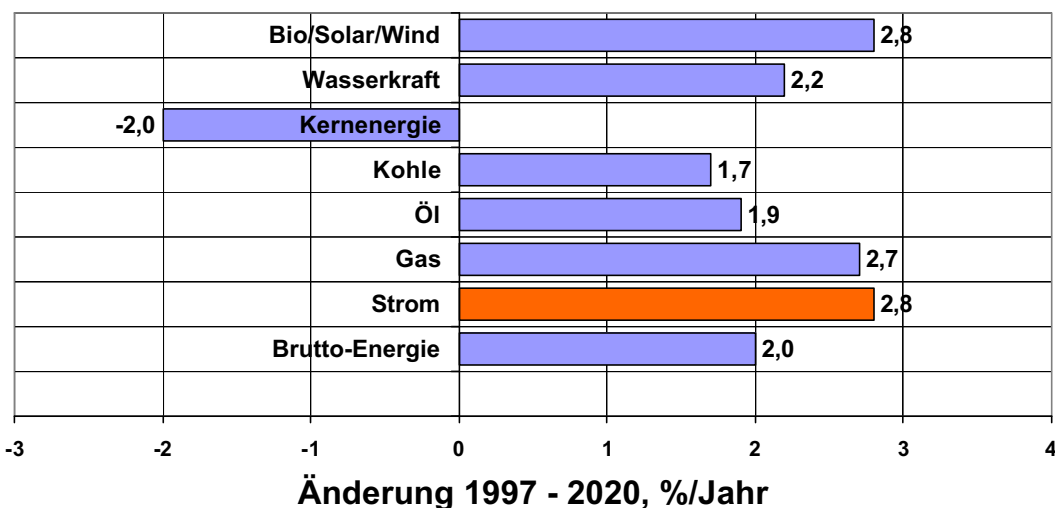


Bildtafel 10.3c: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch  
Weltenergie Prognose 2030

## Änderung im Weltenergieverbrauch und bei den Energieträgern

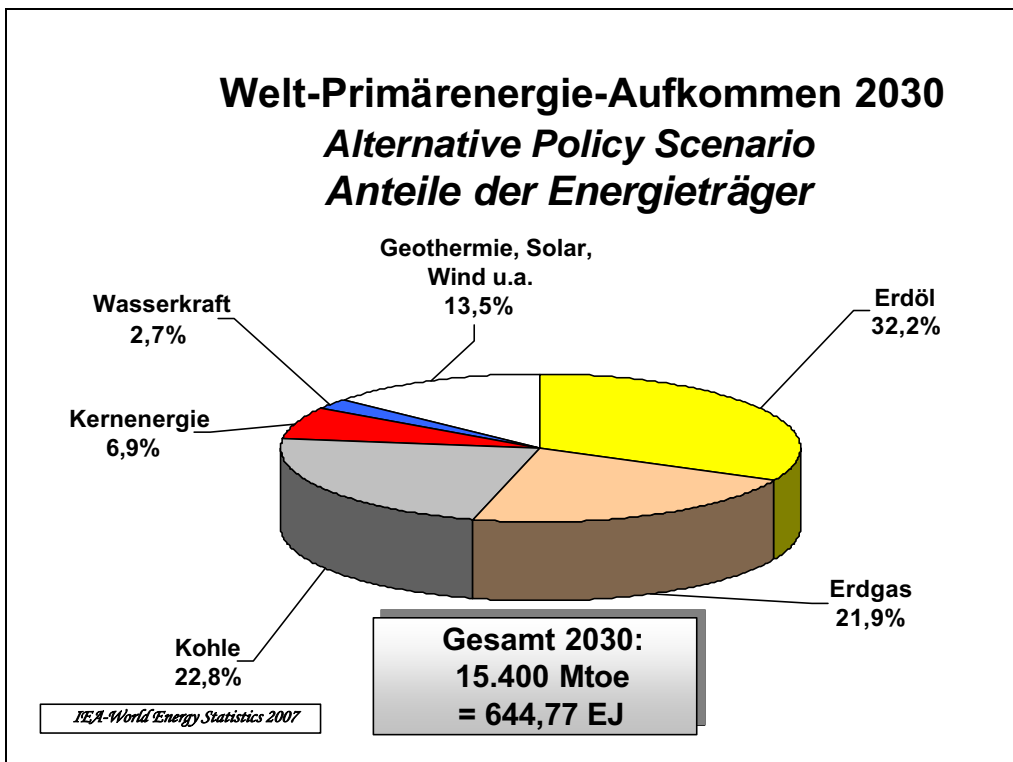
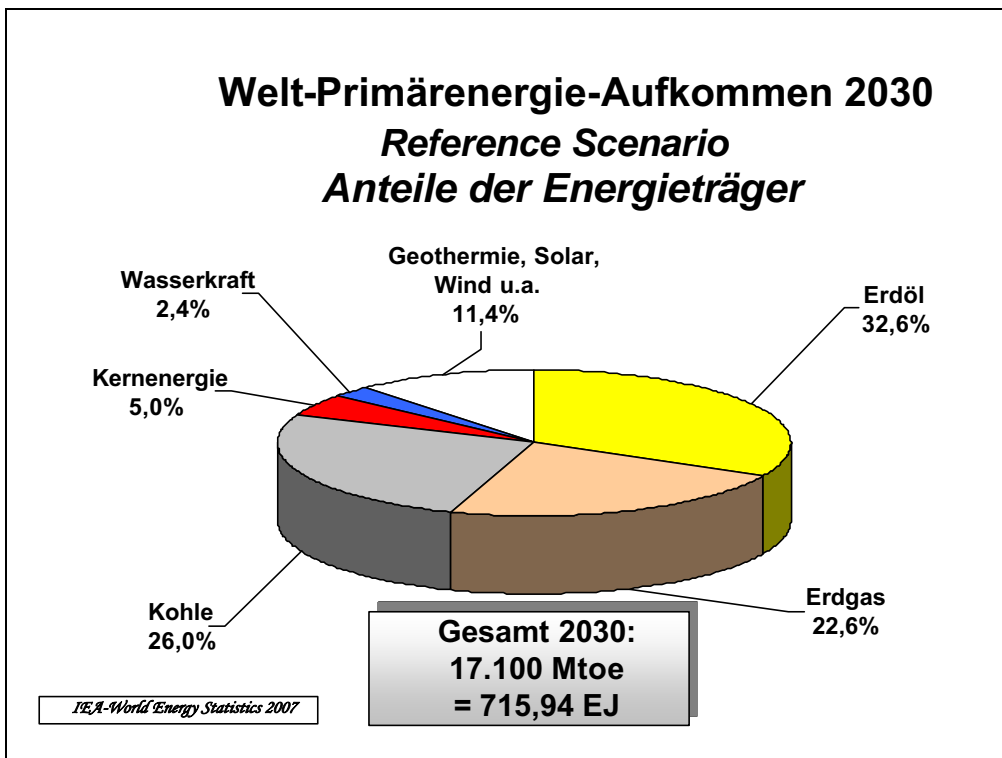
- Der Weltenergieverbrauch ist von 252,63 EJ im Jahre 1973 auf 463,02 EJ im Jahre 2004 angestiegen (+ 183% bzw. + 5,9%/Jahr).
- Für den Zeitraum 1997 bis 2020 werden mit jeweils 2,8% Jahreszuwachs an erneuerbaren Energieträgern und elektrischem Strom gerechnet.

### Änderung im Weltenergieverbrauch und bei den Energieträgern: 1997 - 2020

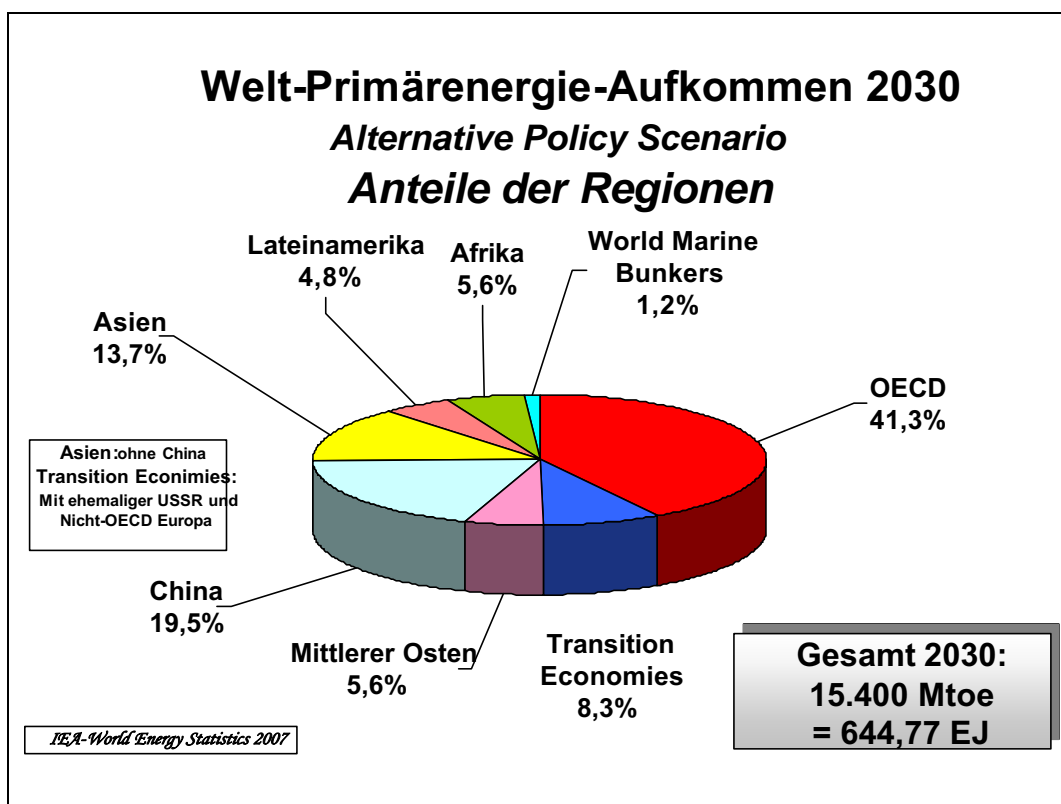
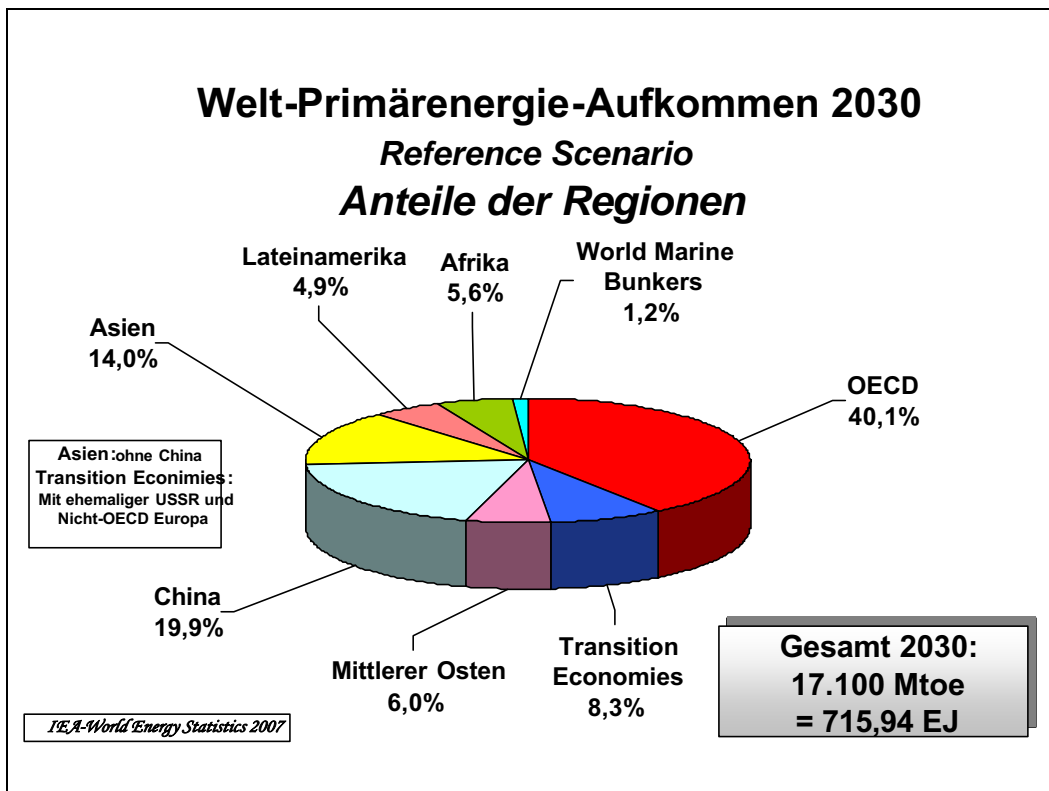


IEA-World Energy Outlook 2002

**Bildtafel 10.3d: Daten zum Energieaufkommen und Energieverbrauch**  
*Änderungen im Weltenergie-Verbrauch 1997 bis 2020 (Prognose)*



**Bildtafel 10.4a: IEA-Energieszenario für 2030:  
Referenz-Szenario und Alternativ-Szenario  
Anteile der Energieträger**



**Bildtafel 10.4b: IEA-Energieszenario für 2030:  
Referenz-Szenario und Alternativ-Szenario  
Anteile der Regionen**

# Energieszenario 2050 Welt-Energie

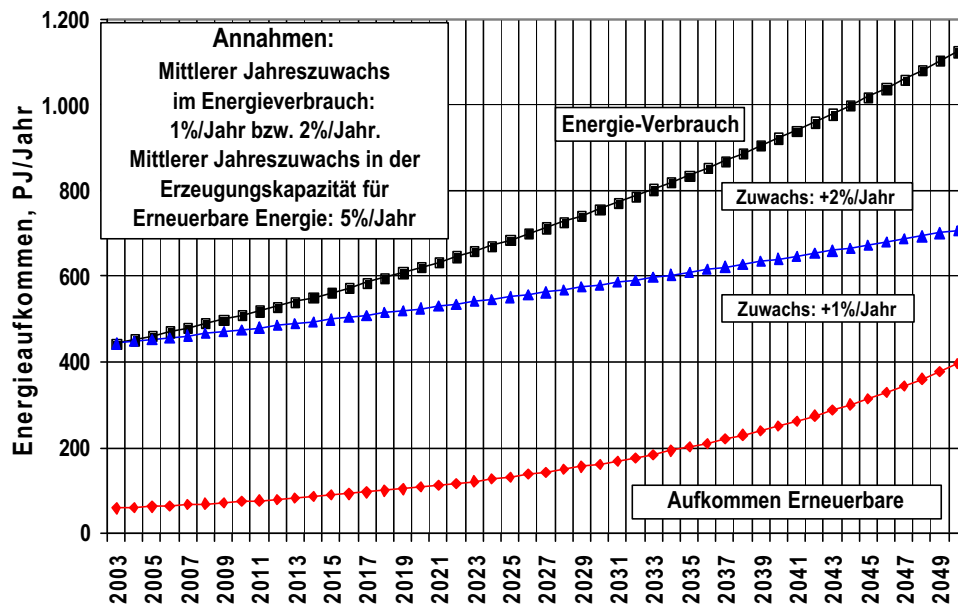
## Ausgangsdaten 2003

Energieverbrauch: 443 EJ  
 Aufkommen Erneuerbare Energie: 59 EJ  
 Anteil Erneuerbare Energie: 13,3%  
 Jahreskapazität Erneuerbare Energie: 1,8 EJ

## Annahmen und Ergebnisse 2050

Mittlerer Jahreszuwachs im Energieverbrauch: 1% und 2%  
 Mittlerer Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie: 5%  
**Anteil Erneuerbare Energie im Jahre 2050:**  
 Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 1%/Jahr: 55,9%  
 Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 2%/Jahr: 35,1%

### Energieszenario für Welt-Energie mit Priorität Erneuerbare Energie und Energie-Effizienz



Bildtafel 10.5: Energieszenario 2050 für Weltenergie

# Energieszenario 2050 OECD-Mitgliedsländer

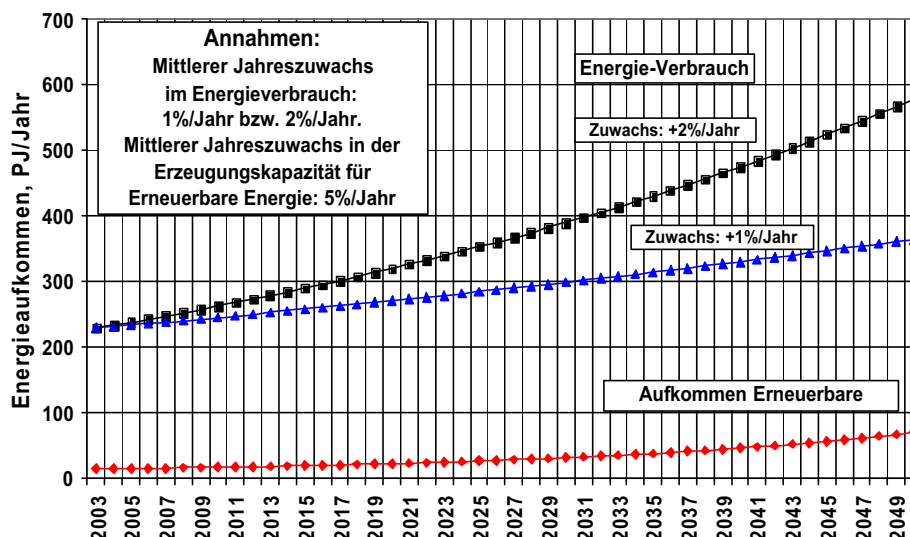
## Ausgangsdaten 2003

Energieverbrauch: 228 EJ  
 Aufkommen Erneuerbare Energie: 13 EJ  
 Anteil Erneuerbare Energie: 5,7%  
 Jahreskapazität Erneuerbare Energie: 0,3 EJ

## Annahmen und Ergebnisse 2050

Mittlerer Jahreszuwachs im Energieverbrauch: 1% und 2%  
 Mittlerer Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie: 5%  
**Anteil Erneuerbare Energie im Jahre 2050:**  
 Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 1%/Jahr: 19,0%  
 Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 2%/Jahr: 11,9%

### Energieszenario für OECD-Mitgliedsländer mit Priorität Erneuerbare Energie und Energie-Effizienz



Bildtafel 10.6: Energieszenario 2050 für OECD-Mitgliedsländer

## Energieszenarien für die Marktdurchdringung erneuerbarer Energieträger in den EU-Mitgliedsländern

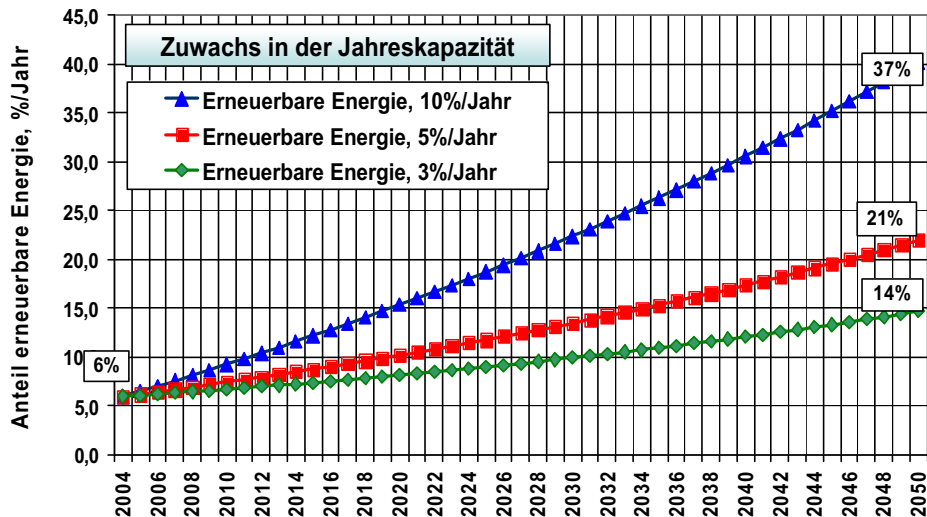
Der mögliche Beitrag erneuerbarer Energieträger zum Energieaufkommen in den EU-Mitgliedsstaaten (EU-25) wird unter den folgenden Annahmen abgeschätzt:

Jährliche Zunahme im Primärenergie-Aufkommen:  
1%, 3%, 5% und 10%.

*In den letzten Jahren betrug der mittlere jährliche Zuwachs an erneuerbaren Energieträgern am Primärenergieaufkommen 1,1%.*

Unter Annahme eines mittleren jährlichen Zuwachses an erneuerbaren Energieträgern von 3%, 5% und 10% würde der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieaufkommen im Jahre 2050 betragen:  
14% bzw. 21% bzw. 37%.

### Anteil erneuerbarer Energieträger zum Energieaufkommen in EU-15



Bildtafel 10.7: Energieszenario 2050 für EU-Mitgliedsländer



# Energieszenario 2050 ÖSTERREICH

## Ausgangsdaten 2003

Energieverbrauch: 1.395 PJ  
Aufkommen Erneuerbare Energie: 305 PJ  
Anteil Erneuerbare Energie: 21,9%  
Jahreskapazität Erneuerbare Energie: 13 PJ

## Annahmen und Ergebnisse 2050

Mittlerer Jahreszuwachs im Energieverbrauch: 1% und 2%  
Mittlerer Jahreszuwachs im Aufkommen Erneuerbare Energie: 5%  
**Anteil Erneuerbare Energie im Jahre 2050:**  
Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 1%/Jahr: = 90%  
Bei Zuwachs im Energieverbrauch von 2%/Jahr: 77,3%

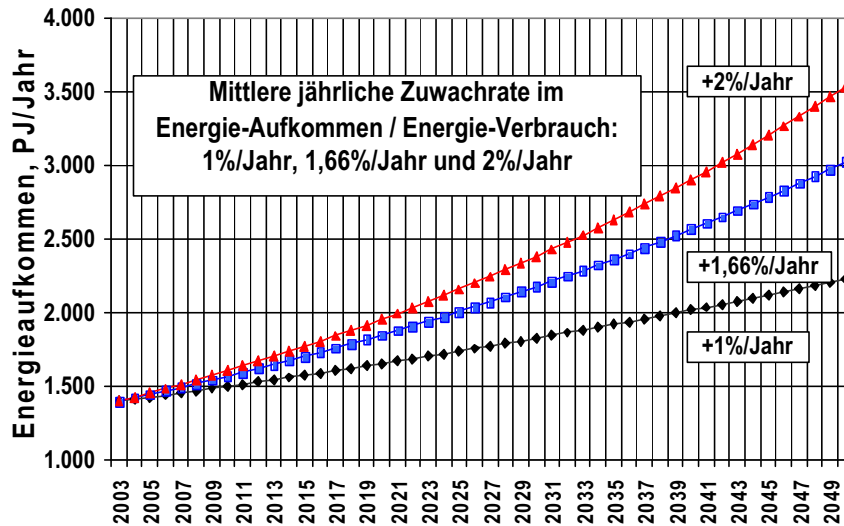
## Energieszenarien: *Annahmen*

### Die Annahmen beziehen sich auf das Ausgangsjahr 2003:

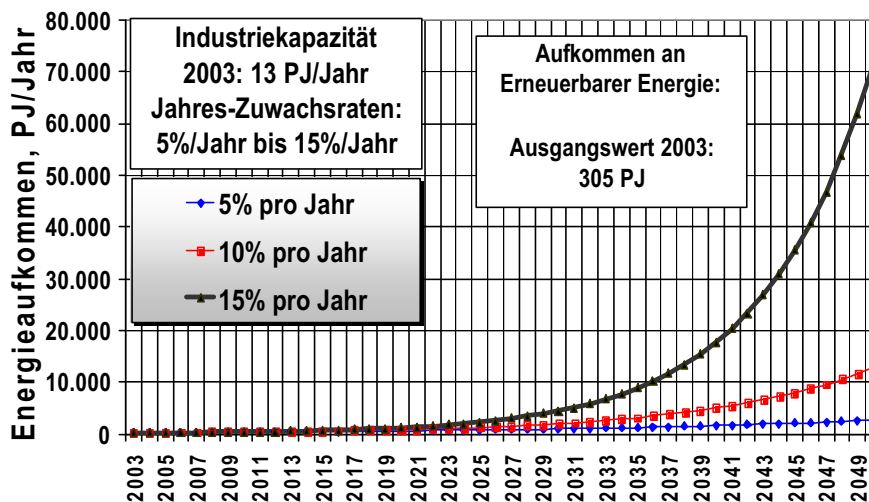
- Energieverbrauch/Energieaufkommen.
- Aufkommen Erneuerbarer Energie.
- Anteil Erneuerbarer Energie am Energieverbrauch.
- Jahreskapazität für Erneuerbare Energie.
- Mittlere Jahreszuwachsrate im Energieverbrauch und im Aufkommen Erneuerbare Energie: 1998-2003.

Bildtafel 10.8a: Energieszenario für Österreich: 2004 – 2050  
*Ausgangsdaten und Annahmen*

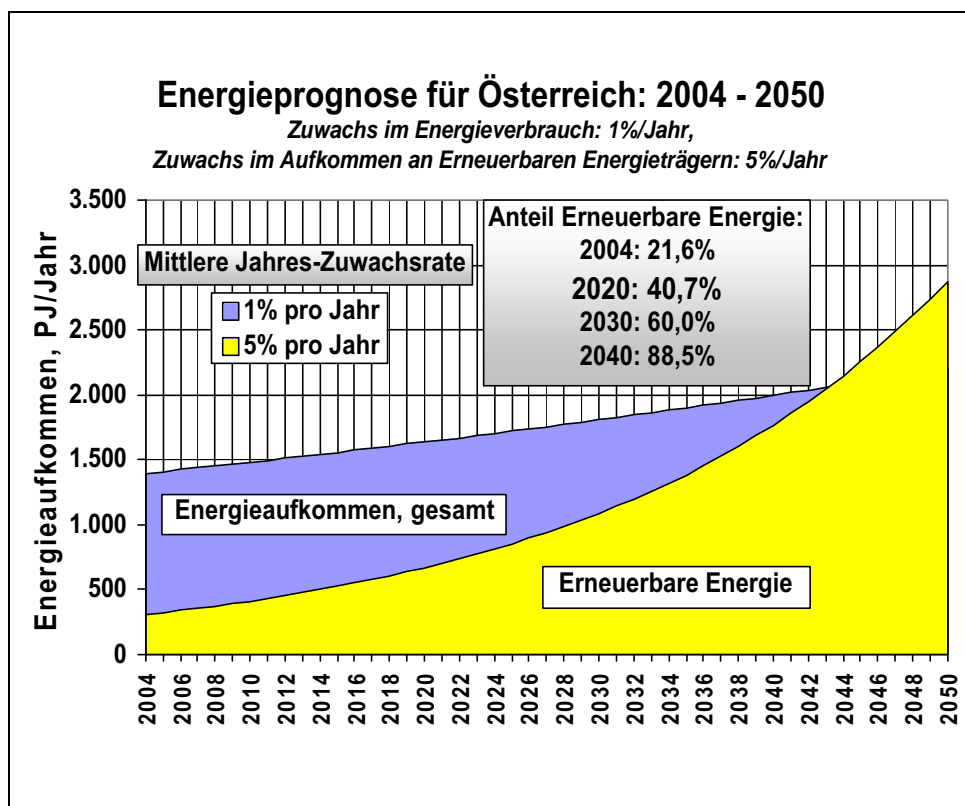
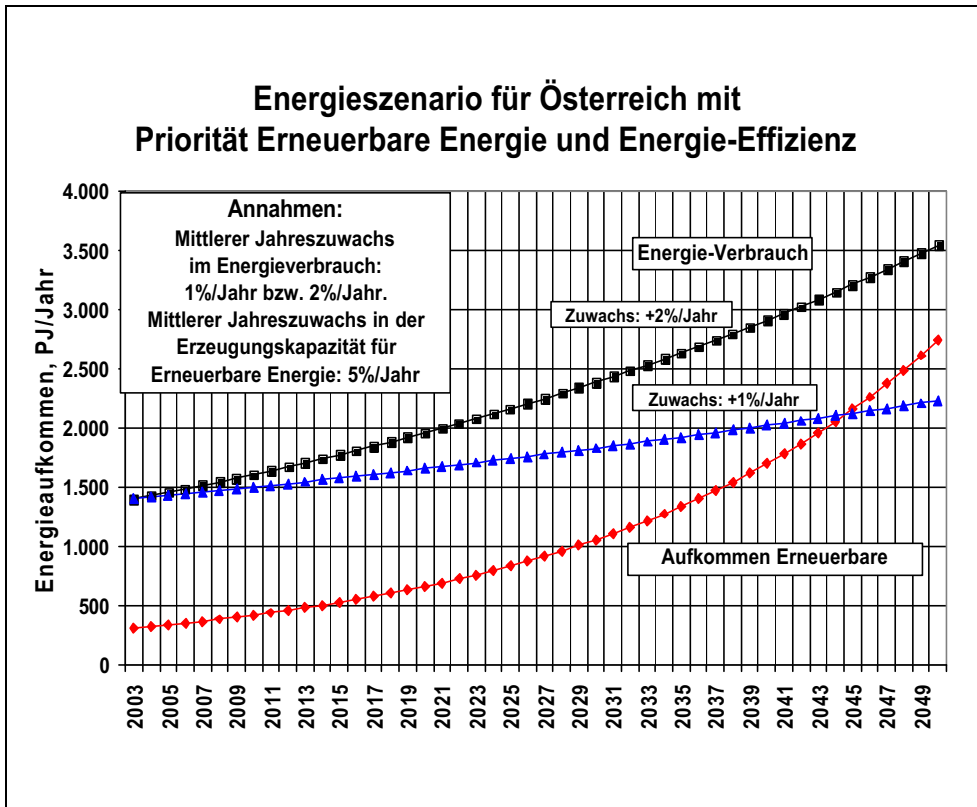
**Entwicklung des Energie-Verbrauches in Österreich  
bei unterschiedlichen Jahres-Zuwachsraten:  
2003-2050**



**Österreich-Prognose für Aufkommen an  
Erneuerbarer Energie: 2003 - 2050  
Annahme: Jahressteigerung der Industriekapazität**



**Bildtafel 10.8b: Energieszenario für Österreich: 2004 – 2050  
*Entwicklung des Energieverbrauchs  
und des Aufkommens an Erneuerbarer Energie***



**Bildtafel 10.8c: Energieszenario für Österreich: 2004 – 2050**  
*Ergebnisse*

Energieszenarien					
Ausgangsdaten und Ergebnisse					
Österreich	Basisdaten 2004	Energieaufkommen gesamt	Aufkommen Erneuerbare Energie	Anteil Erneuerbare Energie	Jahres-Kapazität Erneuerbare Energie
		PJ/Jahr	PJ/Jahr	%	PJ/Jahr
		1.395	305	21,9	13
		Mittlere Jahres-Zuwachsraten 1970 - 2004			
		Energieaufkommen, %/Jahr		Erneuerbare Energie, %/Jahr	
1,66 %/Jahr		2,68 %/Jahr			
Annahmen zur Entwicklung des Energieaufkommens und Ergebnisse					
Mittlere Jahresänderung, %/Jahr		Anteil Erneuerbare Energie am Energieaufkommen, %			
Energieaufkommen	Erneuerbare Energie	2020	2030	2040	2050
1,66%/Jahr	2,68%/Jahr	25,7	28,4	31,4	34,7
	5%/Jahr	36,3	49,1	67,1	92,0
	10%/Jahr	48,8	95,1	100	100

Energieszenarien					
Ausgangsdaten und Ergebnisse					
OECD	Basisdaten 2002	Energieaufkommen gesamt	Aufkommen Erneuerbare Energie	Anteil Erneuerbare Energie	Jahres-Kapazität Erneuerbare Energie
		EJ/Jahr	EJ/Jahr	%	EJ/Jahr
		228	13	5,7	0,3
		Mittlere Jahres-Zuwachsraten 1970 - 2004			
		Energieaufkommen, %/Jahr		Erneuerbare Energie, %/Jahr	
1,0 %/Jahr		um 1,5 %/Jahr			
Annahmen zur Entwicklung des Energieaufkommens und Ergebnisse					
Mittlere Jahresänderung, %/Jahr		Anteil Erneuerbare Energie am Energieaufkommen, %			
Energieaufkommen	Erneuerbare Energie	2020	2030	2040	2050
1%/Jahr	5%/Jahr	7,9	10,1	13,7	19,0
	10%/Jahr	9,8	17,8	37,1	82,6

Energieszenarien					
Ausgangsdaten und Ergebnisse					
Welt	Basisdaten 2003	Energieaufkommen gesamt	Aufkommen Erneuerbare Energie	Anteil Erneuerbare Energie	Jahres-Kapazität Erneuerbare Energie
		EJ/Jahr	EJ/Jahr	%	EJ/Jahr
		443	59	13,3	1,8
		Mittlere Jahres-Zuwachsraten 1970 - 2004			
		Energieaufkommen, %/Jahr		Erneuerbare Energie, %/Jahr	
um 2%/Jahr		0,5 bis 1%/Jahr			
Annahmen zur Entwicklung des Energieaufkommens und Ergebnisse					
Mittlere Jahresänderung, %/Jahr		Anteil Erneuerbare Energie am Energieaufkommen, %			
Energieaufkommen	Erneuerbare Energie	2020	2030	2040	2050
2,0%/Jahr	5%/Jahr	17,4	21,5	27,2	35,2
	10%/Jahr	22,4	40	77,3	100

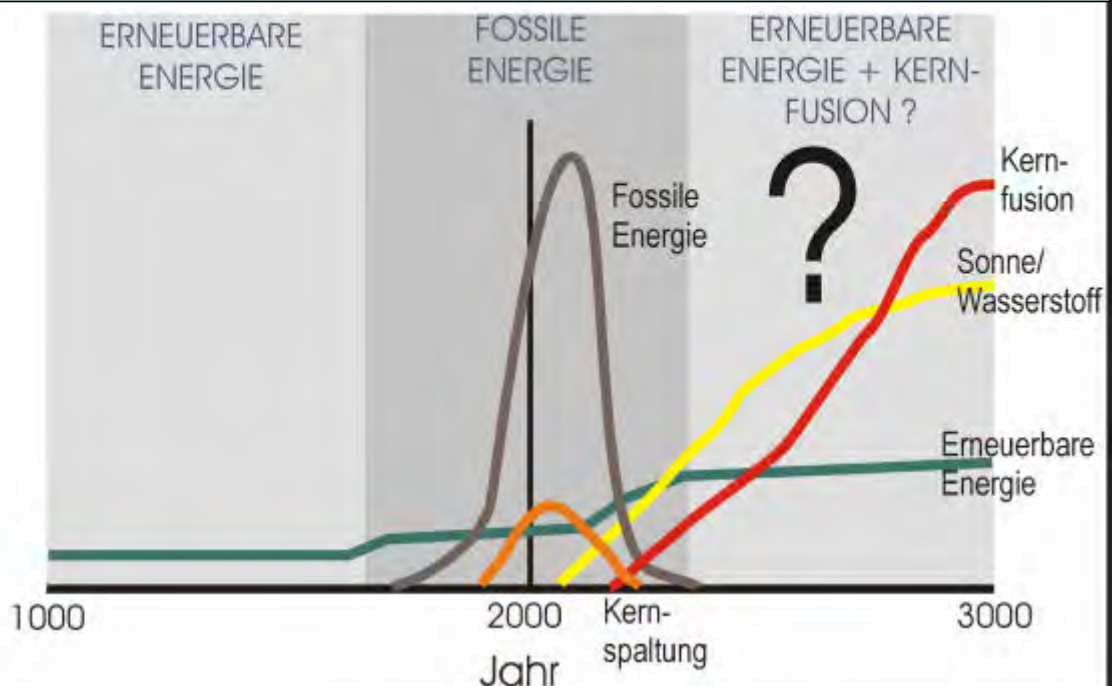
Anmerkung: Die mittleren Jahres-Zuwachsraten für Erneuerbare Energieträger beziehen sich auf den Jahreszuwachs, beginnend mit dem Basisjahr.

**Bildtafel 10.9: Ergebnisse von Energieszenarien**

# 11. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

*Die Energiewirtschaft im Rückblick.  
Die Energieprobleme von HEUTE.  
Energieoptionen.  
Zukunftsoption Erneuerbare Energie.  
Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung.  
Anforderungen an Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.  
Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik.  
Resümee.*

## Zusammenfassung: **ENERGIE - Gestern, Heute und MORGEN?**



# Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

## Die Energiewirtschaft im Rückblick

Mit der Entdeckung der Fossilen Energie-Ressource Kohle und später Erdöl und Erdgas wurde das Zeitalter der „Industriellen Revolution“ eingeleitet, verbunden mit einer tief greifenden Änderung in der Energieversorgung, welche weg von einer lokalen, auf regenerierbaren Energieströmen aufbauenden Versorgung hin zu einer überregionalen Versorgung mit einem umfangreichen Transport- und Verteilungssystem führte. Wie keine andere Technik hat die Energietechnik die Menschheitsgeschichte von nun an geprägt. Energie wurde zur Voraussetzung der wirtschaftlichen (Weiter-) Entwicklung. Die heutigen Energieversorgungsstrukturen sind durch umfangreiche nationale und weltweite Transport- und Verteilungssysteme gekennzeichnet: Die Energieversorgung von heute stellt sich als ein arbeitsteiliges, komplexes, weltweit vermaschtes Netzwerk von Gewinnungs- und Umwandlungsanlagen, Transport- und Verteilungs- sowie Speichersystemen dar, dessen zuverlässige Funktion für eine moderne Industriegesellschaft lebensnotwendig geworden ist.

Energie steht heute im Mittelpunkt des menschlichen Interesses: *Energie wurde zum Welthandelsgut Nummer 1.* Das Energieversorgungssystem ist weltweit aufgebaut, mit großen Abhängigkeiten zwischen Energie-Produzenten und Energie-Verbrauchern. Die Instabilität gegenwärtiger Energiesysteme und die weltweit steigende Nachfrage nach Energie stellen ein ständig zunehmendes Potential für internationale Konflikte dar, mit der Gefahr von Verteilungskämpfen um das knapper werdende Gut „Energie“.

Die Entwicklung der Energietechniken im letzten Jahrhundert – und damit auch der Energiewirtschaft – war auf eine möglichst wirtschaftliche Bereitstellung von Energie durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Energieumwandlungssysteme gekennzeichnet. Es wurde nach immer leistungsfähigeren Geräten und Systemen gesucht. Viele Systeme wurden durch kostengünstigere, aber auch energieintensivere Systeme verdrängt. Beispiele hierfür sind im Transportbereich der Ersatz von Segelschiffen bzw. Pferdekutschen durch Dampf- und Motorschiffe, Eisenbahn und Flugzeuge. Die für den Einsatz dieser Techniken erforderliche Energie konnte von den traditionellen lokalen und damit auch Erneuerbaren Energieträgern der Vergangenheit nicht mehr bereitgestellt werden. Aus diesem Grunde wurden auch die Fossilen Energieträger – zunächst Kohle, dann Erdöl und später Gas – die dominierenden Energieträger.

Heute trägt Erdöl mit 35%, Erdgas mit 21% und Kohle mit 24% zum weltweiten Energieaufkommen bei. Um 6,5% kommen von Atomkraftwerken und Erneuerbare Energieträger sind mit 13% beteiligt. Letztere allerdings zur Hälfte nicht aus einer „Kreislaufwirtschaft“, sondern als Holz von Rodungen ohne Aufforstung.

## Die Energieprobleme von HEUTE

Auch die Verfügbarkeit von Energievorräten konnte die Energieprobleme auf unserer Erde nicht lösen. Mehr als 70% der Energieressourcen werden von nur 30% der Weltbevölkerung in Anspruch genommen.

Mehr als 90% der heute eingesetzten – Fossilen und Nuklearen – Energieträger sind in ihren Vorräten zeitlich begrenzt. Es geht hier nicht so sehr um die Frage, ob die Reserven fossiler

und nuklearer Brennstoffe noch für 50, 100 Jahre oder sogar noch mehrere Jahrhunderte reichen werden, um den Energiebedarf der Menschheit abdecken zu können. Die entscheidende – insbesondere ethische – Frage ist es, ob es unserer Generation – und vielleicht auch einigen noch nachkommenden – vorbehalten sein soll, die Energieschätze der Erde in einer für die Menschheitsgeschichte sehr kurzen Zeitperiode zu verbrauchen oder krasser ausgedrückt, auszubeuten. Heute wird um ein Vielfaches mehr an Energierohstoffen verbraucht, als die Natur nachzuliefern in der Lage ist.

Die Versorgungslage bei Erdöl und Erdgas ist heute bereits problematisch: Wichtige Förderländer liegen in geopolitischen Krisenzonen, die Kapazität zur Erdölverarbeitung (Raffinerien) ist zu gering und teilweise veraltet, die Transportleitungen für Erdöl und Erdgas teilweise veraltet und Leckage anfällig. Es existieren keine ausreichenden Speicherkapazitäten. Dazu kommen noch die nicht kalkulierbaren Preise am Weltmarkt.

Die Energieversorgung von heute steht im Spannungsfeld zwischen Wirtschaft, Umwelt und Bedürfnissen. Länder mit Energieressourcen sind anfällig für politische Krisen.

Die heutige Energieversorgung stellt eine ernstzunehmende und steigende Umweltbelastung mit Klimabedrohung dar und die derzeitige Energieversorgung stößt bereits an Grenzen, insbesondere im Verkehrsbereich.

## **Energieoptionen**

Die Zukunftsperspektiven für Fossile und Nukleare Energieträger sprechen nicht für eine Fortführung der bisherigen Energieversorgung. Die nachgewiesenen weltweiten Erdöl-Reserven werden auf 494 Milliarden Barrel (mit 95% Wahrscheinlichkeit) bzw. 1.588 Milliarden Barrel (mit 5% Wahrscheinlichkeit) geschätzt. Dies bedeutet, dass spätestens ab 2030 die Erdölförderung von heute noch nicht erschlossenen Erdölfeldern zu erfolgen haben wird. Der Aufbau neuer Erdöl-Förderkapazitäten ist zu finanzieren, die Kosten sind ungewiss.

Die nachgewiesenen weltweiten Erdgas-Reserven können den weltweiten Gasverbrauch unter Annahme einer jährlichen Steigerungsrate von 2,3% noch etwa 40 Jahre abdecken.

Wenn die Kohle mit Reserven bis zu 200 Jahren eine Renaissance in der Energieversorgung erleben sollte, dann wohl nur bei Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems: Entfernung des Reaktionsproduktes CO<sub>2</sub> aus dem Verbrennungsprozess („CO<sub>2</sub>-capture/storage“). Techniken sind in Entwicklung, die Kosten für Kohle als Energieträger würden sich aber deutlich erhöhen.

Auch die Zukunftsperspektiven für nukleare Brennstoffe lassen einen Übergang vom fossilen in ein nukleares Zeitalter nicht erwarten. Begrenzte Vorräte an nuklearen Brennstoffen, Risiken durch lang wirksame radioaktive Strahlung aufgrund von Kraftwerksunfällen, fehlende gesicherte Endlagerung radioaktiver Abfälle, Probleme durch Erdbeben, Terrorattacken, sowie die grundsätzliche Möglichkeit für eine militärische Nutzung der Kernenergie und damit auch Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung verringern die Chancen zur Realisierung eines Ausbaues der Atomkraftwerke.

Die Fakten der Energieversorgung von heute – in den Vorräten begrenzte Energieressourcen, zunehmende Umweltprobleme durch Emissionen und radioaktives Gefahrenpotential, zunehmender Energiebedarf in den Ländern der Dritten Welt – fordern nach einem neuen Energiesystem, basierend auf den Kriterien der „Nachhaltigkeit“ mit Nutzung von Energieträgern in einer Kreislauf-Wirtschaft. Eine Lösung der auch in Zukunft gesicherten



Energieversorgung stellt eine hohe Herausforderung für die Menschheit dar; Bildtafel 11.1 und Bildtafel 11.2. Erneuerbare Energie und Kernfusion sind die Optionen; Bildtafel 11.3.

Eine Zukunftsstrategie für Energiesysteme muss Erneuerbare Energie mit einschließen. Erneuerbare Energieträger haben grundsätzlich das Potential, einen entscheidenden Beitrag zum Energieaufkommen zu leisten, sowohl weltweit als auch in Europa. Erneuerbare Energieträger tragen zu einer Verbesserung der Versorgungssicherheit mit langfristiger Verfügbarkeit, lokaler und regionaler Wertschöpfung sowie zur Reduktion energiebedingter umweltrelevanter Emissionen bei. Mit Erneuerbaren Energieträgern wird das Gefahrenpotential für eine dramatische Klimaänderung reduziert. Mit zunehmender Marktdurchdringung werden Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger effizienter und in der Investition billiger. Mit zunehmendem Erfolg am Markt wird auch die Bereitschaft der Konsumenten zum Umstieg von Fossilen auf Erneuerbare Energieträger verbessert.

Eine massive Marktdurchdringung Erneuerbarer Energieträger hat aber auch Einfluss auf die Umwelt und die öffentliche Akzeptanz. Beim Aufbau eines neuen auf Erneuerbaren Energieträgern basierenden Energiesystems müssen deshalb neben energetischen und ökonomischen auch umweltbezogene sowie soziale Aspekte Berücksichtigung finden. Umfangreiche Aktivitäten in Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um zu adäquaten Lösungen zu kommen.

## **Zukunftsoption Erneuerbare Energie**

In den letzten Jahren konnte sich eine Reihe von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger am Markt bewähren, mit zunehmenden jährlichen Zuwachsraten, welche über den steigenden Verbrauchszuwächsen lagen: Solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und Raum-Zusatzheizung, Biogene Energieträger zur Erzeugung von Wärme, Strom und in zunehmendem Maße auch für Treibstoffe, Windkraftwerke in Küstennähe, aber auch in Binnenländern mit günstigen Windverhältnissen (z.B. der Osten von Österreich), Geothermische Anlagen, wie für Thermalwasser und als Wärmequelle für Erdreich-Wärmepumpen, Solarelektrische Anwendungen (photovoltaische Systeme), insbesondere zum Einsatz außerhalb der elektrischen Infrastruktur (autarke Anlagen); Bildtafel 11.4. Das Entwicklungspotential der Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger ist noch lange nicht ausgeschöpft; Bildtafel 11.5.

Mit der Markteinführung von Techniken zur Nutzbarmachung Erneuerbarer Energieträger werden einerseits Kosteneinsparungen bei Herstellung und Installation und andererseits Effizienzsteigerungen im Betrieb erreicht.

Eine langfristige Lösung des Energieproblems wäre möglich, wenn es gelingt, Erneuerbare Energieträger – insbesondere mit Schwankungen im saisonalen Angebot – speicherbar und transportierbar zu machen. Wasserstoff, erzeugt über Erneuerbare Energieträger, wäre das Wunschziel. Wasserstoff als Sekundär-Energieträger weist sowohl energetische als auch ökologische Qualitäten auf: er verbrennt ohne CO<sub>2</sub>-Emission – auch in Kombination mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle; Bildtafel 11.6.

Der Einsatz von Solartechniken bietet sich insbesondere für Entwicklungsländer mit dezentraler Siedlungsstruktur und noch fehlender Infrastruktur für eine zentrale Wärme- und Stromversorgung an. Beispiele sind sowohl *solarthermische Anlagen* für Warmwasser, Heizung und Klimatisierung, Kochen (mit Vermeidung von Abholzungen), Trocknung von Lebensmitteln als auch *solarelektrische Anlagen* (PV Systeme) für Beleuchtung und

Elektrifizierung von Dörfern, Kühlung von Medikamenten und Lebensmitteln, Wasser-Pumpenanlagen und Bewässerung, Stromversorgung von Gebäuden.

## **Die offenen Fragen der zukünftigen Energieversorgung**

Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert: Entwicklung der Weltbevölkerung, Verfügbarkeit von Energieträgern, Entwicklung der Energiepreise, Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern, zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*), tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger. Damit gestalten sich auch Energieprognosen schwierig bzw. können nicht aussagekräftig sein: Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes und dessen Abdeckung gibt es keine klaren Antworten; Bildtafel 11.7.

Ist das Szenario „Erneuerbare Energie und Wasserstoff“ ein „Wunsch-Szenario“, so ist ein „Katastrophen-Szenario“ nicht auszuschließen, wenn (1) fossile Energiequellen den zukünftigen Energiebedarf nicht mehr decken können, (2) die globale Klimabedrohung eine weitere Verwendung fossiler Energiequellen nicht mehr zulässt, (3) der weitere Ausbau der Atomkraft aufgrund von Kraftwerksunfällen und/oder Terrorattacken eingestellt wird, (4) die Technik der Kernfusion nicht realisierbar ist und (5) die Weiterentwicklung von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger nicht in dem Ausmaß stattgefunden hat, dass ein wesentlicher Beitrag zum Energieaufkommen geleistet werden kann. Folge dieses „Katastrophen-Szenario“ wäre, dass eine wirtschaftliche Weiterentwicklung nicht mehr möglich ist. Die Folgen für die Menschheit sind vorhersehbar: Das fossile Zeitalter war nur eine kurze Periode in der Entwicklung der Zivilisation; Bildtafel 11.8.

## **Anforderungen an Politik, Wirtschaft und Gesellschaft**

Die Sicherstellung der zukünftigen Energieversorgung stellt eine große Herausforderung für die Menschheit dar: Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind in gleicher Weise gefordert. Zur Realisierung eines „Nachhaltigen“ Energiesystems der Zukunft sind große Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Marktumsetzung erforderlich; Bildtafel 11.9.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems, welches die derzeit nach den Regeln des freien Marktes funktionierende Energiewirtschaft ablösen soll – und dies in einer relativ kurzen Zeitperiode –, ist ohne energiepolitische Rahmenbedingungen nicht zu erreichen. Die Forderung nach mehr Energie-Effizienz, Substitution Fossiler Energieträger, Ergänzung zentraler Energiesysteme mit dezentralen Einheiten, verbessertes Energiemanagement, höhere Umweltverträglichkeit u.a. bedeuten wesentliche Eingriffe in die derzeitige Energie-Infrastruktur und in die Kosten der Energieversorgung.

Eine einzige Energiequelle/Energietechnik wird nicht ausreichen, die Energieversorgung sicherzustellen: Ein geeignetes, auf lokal verfügbaren Energieressourcen basierendes Energiesystem muss gefunden werden.

Auf Grund der längeren Markteinführungszeiten für neue Energiesysteme muss frühzeitig mit der Umsetzung begonnen werden. Von der Umstellung von Holz auf Kohle und später auf Erdöl und Erdgas weiß man, dass für die Markteinführung neuer Energieträger bzw. neuer Energiesysteme längere Zeitperioden erforderlich sind: Um beispielsweise 10% Anteil eines neuen Energieträgers am Markt zu erreichen sind 30 bis 50 Jahre erforderlich.

Der Aufbau eines neuen Energiesystems erfordert aber auch einen hohen Kapitalbedarf. Nach Schätzungen der Internationalen Energieagentur beträgt der Investitionsbedarf für ein nach Klimaschutz-Kriterien neu orientiertes weltweites Energiesystem bis zum Jahre 2030 um 432 Milliarden US\$ (Internationale Energieagentur, 2007). Neue Investitionen betreffen den Ausbau Erneuerbarer Energieträger und Technologien, mit denen CO<sub>2</sub> aufgefangen und gespeichert werden kann.

Forschung, Entwicklung und Demonstration sind erforderlich, um adäquate Lösungen zu finden. Ein nachhaltiges Energiesystem der Zukunft wird das Ergebnis von technischen Innovationen in Verbindung mit einer Reihe von zum Teil drastischen Änderungen in Energiewirtschaft und Gesellschaft sein. Eine langfristig wirksame nachhaltige Wirtschaftsentwicklung erfordert: Reduktion des Energiebedarfes durch energiesparende Maßnahmen, verstärkte Nutzung Erneuerbarer lokal anfallender Energieträger und Kombination von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energieträgern.

Staatliche Energieforschung ist ein wesentliches Instrument zur Umsetzung energiepolitischer Ziele. Staatliche Energieforschung bezieht sich vorrangig auf Grundsatzfragen der Energieversorgung und soll innovative Lösungen entwickeln. Innovative Lösungen im Energiebereich fördern Entwicklungen in der Industrie und erleichtern private Investitionen in neue Techniken.

Forschungsschwerpunkte nationaler und internationaler Energie-Forschungsprogramme (Internationale Energieagentur, IEA/OECD, und EU-Forschungsprogramm) sind derzeit: Energie-Effizienz, Kernfusion, Erneuerbare Energie, Nachhaltige Energiesysteme, CO<sub>2</sub>-Separation und -Speicherung, Wasserstoff als Sekundärenergieträger, Brennstoffzellen. Weiters gefördert werden Projekte zur Kostenreduktion bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern (Ökostrom-Anlagen), zur Weiterentwicklung und Kostenreduktion bei der Erzeugung von umweltneutralen Treibstoffen (Bio-Treibstoffe und Wasserstoff), zum Strom-Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen (Windkraft, Photovoltaik), zum „Aktiven“ CO<sub>2</sub>-Management.

Waren im vergangenen Jahrhundert vorrangig technische Entwicklungen im Bereich der Energiewirtschaft, so sind in Zukunft Energie-Innovationen gefragt; Bildtafel 11.10.

## **Neuorientierung der Europäischen Energiepolitik**

Zusammenfassend lässt sich die Forderung ableiten, dass zum Aufbau eines zukunftsorientierten Energiesystems eine Neuorientierung der europäischen Energiepolitik erforderlich ist. Als wesentliche Aufgabenbereiche wurden bereits definiert: Investitionen in eine neue Energie-Infrastruktur, Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Erdöl- und Erdgasversorgung, Aufbau dezentraler Energieversorgungssysteme mit Erneuerbaren Energieträgern, Beitrag von Energieeffizienz und Erneuerbare Energie zur CO<sub>2</sub>-Minderung, „Aktives CO<sub>2</sub>-Management“, Management der Stromnetze.

Priorität der derzeitigen Maßnahmen in der EU wird der Sicherstellung der Versorgung mit Erdgas und Erdöl zugemessen. Heute sind es noch politische Faktoren, welche die Versorgungssicherheit bei Fossilen Energieträgern in Frage stellen, in absehbarer Zeit wird aber auch die zu erwartende Verknappung bei den Vorräten und bei Förderquoten in Betracht zu ziehen sein.

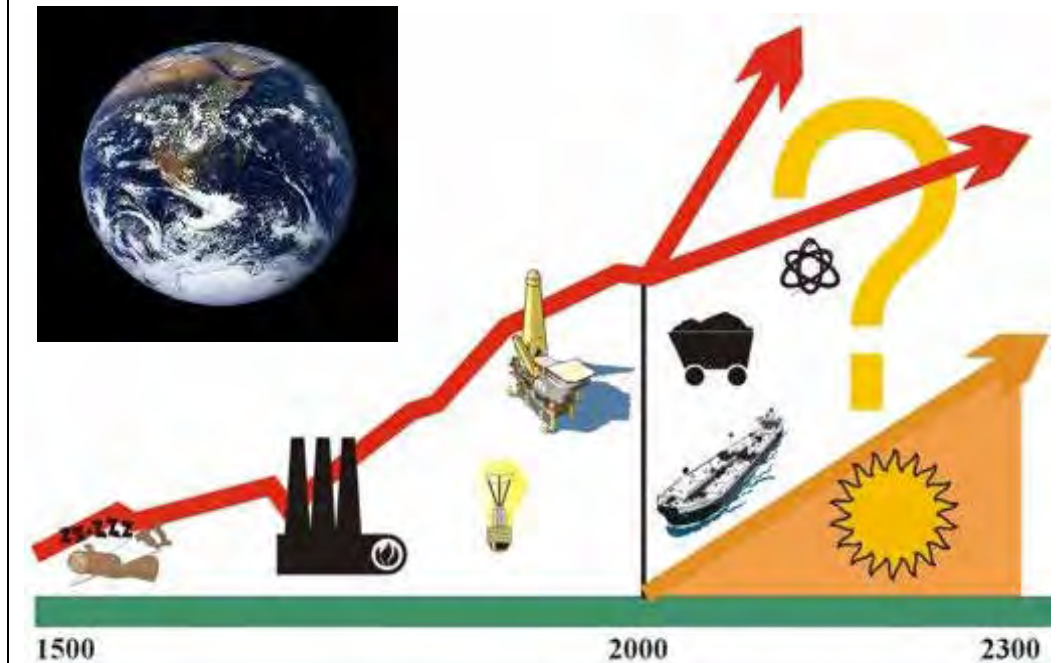
Eine weitere Priorität der EU-Energiepolitik bezieht sich auf die Erhöhung der Energieeffizienz in allen Bereichen des Energie-Einsatzes. Nach den Plänen der EU-25 soll bis zum Jahre 2020 ein Fünftel der jährlich in Europa genutzten Energie eingespart werden. Bei gleich bleibendem Anstieg des Energieverbrauches würde der Energieverbrauch von 1.750 Millionen Tonnen Öläquivalent im Jahre 2005 auf 1.890 Millionen Tonnen Öläquivalent ansteigen. Dies entspricht einer Zunahme von 7,4%. Nach dem EU-Ziel soll der Energieverbrauch bis zum Jahre 2020 im Vergleich zu 2005 um 20% auf 1.500 Millionen Tonnen Öläquivalent reduziert werden, entsprechend einer Reduktion von 20,6%.

Konkrete Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz Erneuerbare Energie zum Zwecke der CO<sub>2</sub>-Minderung in EU-25 beziehen sich auf: Gezielte Ausnutzung der Energieeffizienzpotenziale in Industrie, Verkehr, Haushalten, Gewerbe (*Verdoppelung der derzeitigen jährlichen Zunahme der Energieeffizienz von 1,5% auf 3% – EU-Richtlinie mit Aktionsplan*), sowie einer Erhöhung des Beitrages Erneuerbarer Energieträger zur Energieaufbringung. Mit dieser EU-Energiestrategie sollen in den EU-Mitgliedsstaaten bis zum Jahre 2020 die energierelevanten (umweltwirksamen) CO<sub>2</sub>-Emissionen von 3.700 Milliarden im Jahre 2000 auf unter 2.500 Milliarden im Jahre 2020 reduziert werden.

## **Resümee**

Ob es gelingen wird, die Energieversorgung auch in fernerer Zukunft sicherzustellen, bleibt offen. Ohne rasches Handeln bleibt ein „Energiesystem der Zukunft“ allerdings eine Vision.

# Energie-Optionen



## Fakten zur zukünftigen Energieversorgung

- (1) Die zukünftige Energieversorgung stellt eine große Herausforderung für die Menschheit dar.
- (2) Wird es gelingen ein auf erneuerbaren Energieträgern in einer Kreislaufwirtschaft funktionierendes Energiesystem aufzubauen?
- (3) Wurden in den letzten 150 Jahren alle Energievorräte verbraucht und das fossile Zeitalter war nur ein kurzer Ausschnitt in der Entwicklung der Zivilisation?

Bildtafel 11.1: Energie-Optionen  
*Fakten zur zukünftigen Energieversorgung*

## Das Langzeitproblem der Energieversorgung

Es steht außer Zweifel, dass die heutigen Hauptenergieträger am weltweiten Energieaufkommen – Erdöl und Erdgas – längerfristig zu ersetzen sind:

- Aus Gründen der **Vorräte** spätestens ab 2050.
- Aus Gründen der **Umweltbelastung** (*Klima-Kollaps durch CO<sub>2</sub>-Emissionen*) vielleicht schon früher.

## Optionen für eine langfristige Lösung des Energieproblems

Der Welt-Energiebedarf kann langfristig nur über eine **erneuerbare** und/oder **“unerschöpfliche”** - nach menschlichen Maßstäben gemessen – **Energieressource sichergestellt werden:**

- **D-D Nukleare Fusion**  
und/oder
- **Solarstrahlung.**

Bildtafel 11.2: Das Langzeitproblem der Energieversorgung

## **Sonnenenergie und/oder Kernfusion**

- **Es steht heute nicht fest ob eine technische Realisierung der Kernfusion zur Energieerzeugung auch in fernerer Zukunft möglich sein wird, und außerdem das radioaktive Gefahrenpotential auch bei der Kernfusion gegeben ist, gilt das Hauptinteresse für eine zukünftige Energieversorgung der Sonnenenergie mit ihren vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten.**
- **Auch für die Nutzung der Sonnenenergie in ihren vielseitigen Einsatzbereichen ergeben sich noch offene Fragen.**

## **Erneuerbare Energieträger**

- **Das globale technische Potential erneuerbarer Energieressourcen ist groß und könnte theoretisch den weltweiten Energiebedarf abdecken.**
- **Die tatsächliche Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird aber von zahlreichen Randbedingungen eingeschränkt.**
- **Es stellt sich die Frage, welches Potential unter wirtschaftlichen, institutionellen und ökologischen Aspekten auch tatsächlich einer Nutzung zugeführt werden kann.**

**Bildtafel 11.3: Sonnenenergie und/oder Kernfusion**





### Erneuerbare Energieträger in der Praxis

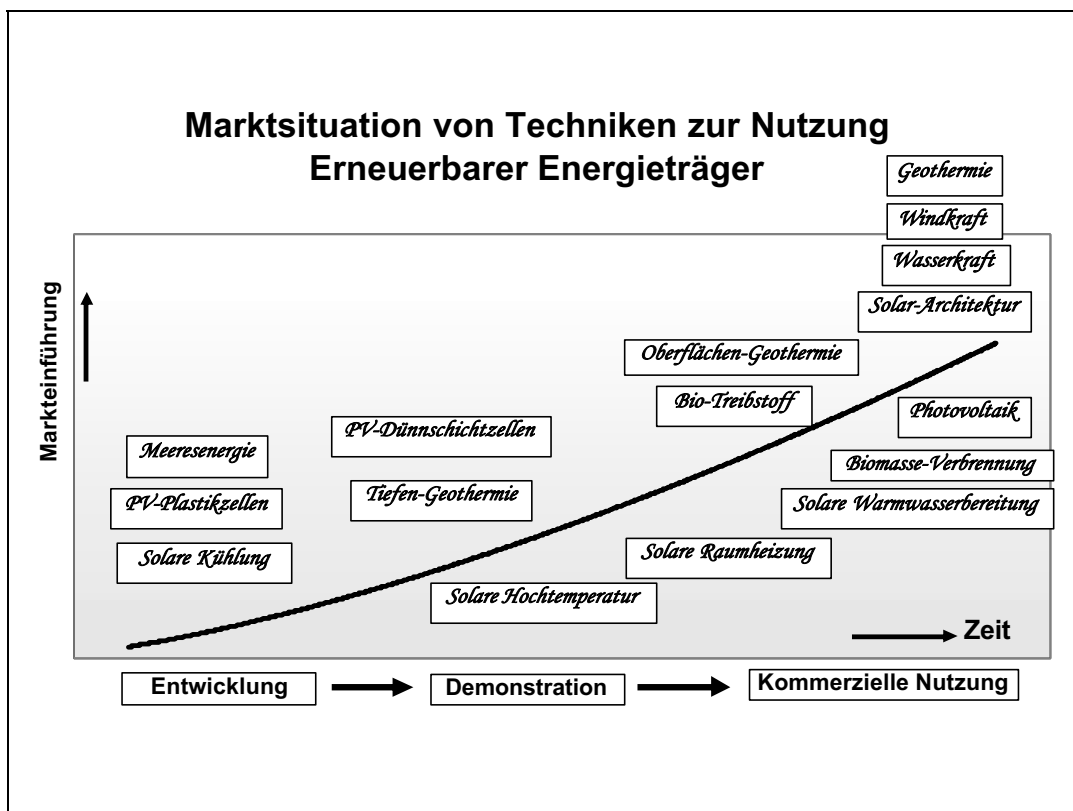
Eine Reihe von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger haben lange Tradition (*Wasserkraft, Windkraft, Geothermie, Biomasseverbrennung*) und sind am Markt bereits gut eingeführt, einige Techniken stehen mit konventionellen Energietechniken im wirtschaftlichen Wettbewerb (*Solarenergie, Oberflächengeothermie – Wärmepumpen*) und weitere Techniken sind in Entwicklung und am Beginn einer viel versprechenden Markteinführung – derzeit allerdings nur wettbewerbsfähig mit staatlicher Unterstützung; *z.B. Ökostromanlagen.*

Bildtafel 11.4: Erneuerbare Energieträger in der Praxis

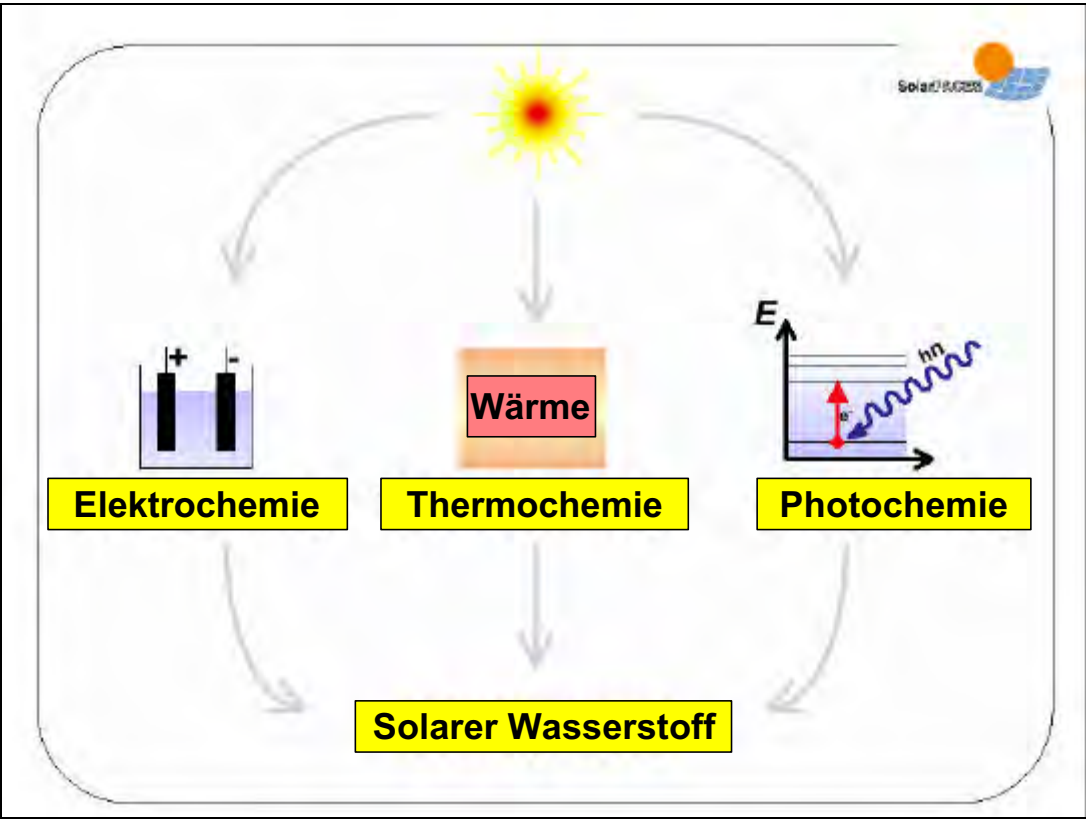
## Erneuerbare Energieträger in Entwicklung

Das Entwicklungspotential von Techniken zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger ist aber noch lange nicht ausgeschöpft und weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung sind erforderlich:

- Dünnschicht-Solarzellen,
- Tiefengeothermie,
- Meeresenergie.



Bildtafel 11.5: Erneuerbare Energieträger in Entwicklung



**Bildtafel 11.6: Energie-Optionen mit solar erzeugtem Wasserstoff**

### **Entscheidende Faktoren für die zukünftige Energieversorgung sind nicht abgesichert**

- Entwicklung der Weltbevölkerung.
- Verfügbarkeit von Energieträgern.
- Entwicklung der Energiepreise.
- **Umweltauswirkungen bei Erzeugung und Einsatz von Energieträgern.**
- **Zusätzlicher Energiebedarf in Entwicklungsländern zum Zwecke der wirtschaftlichen Entwicklung (*Nachholbedarf*).**
  - **Tatsächlich erreichbare Reduktion des Energiebedarfes in Industrieländern durch verbesserte Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energieträger.**

### **Vision für ein zukünftiges Energiesystem**

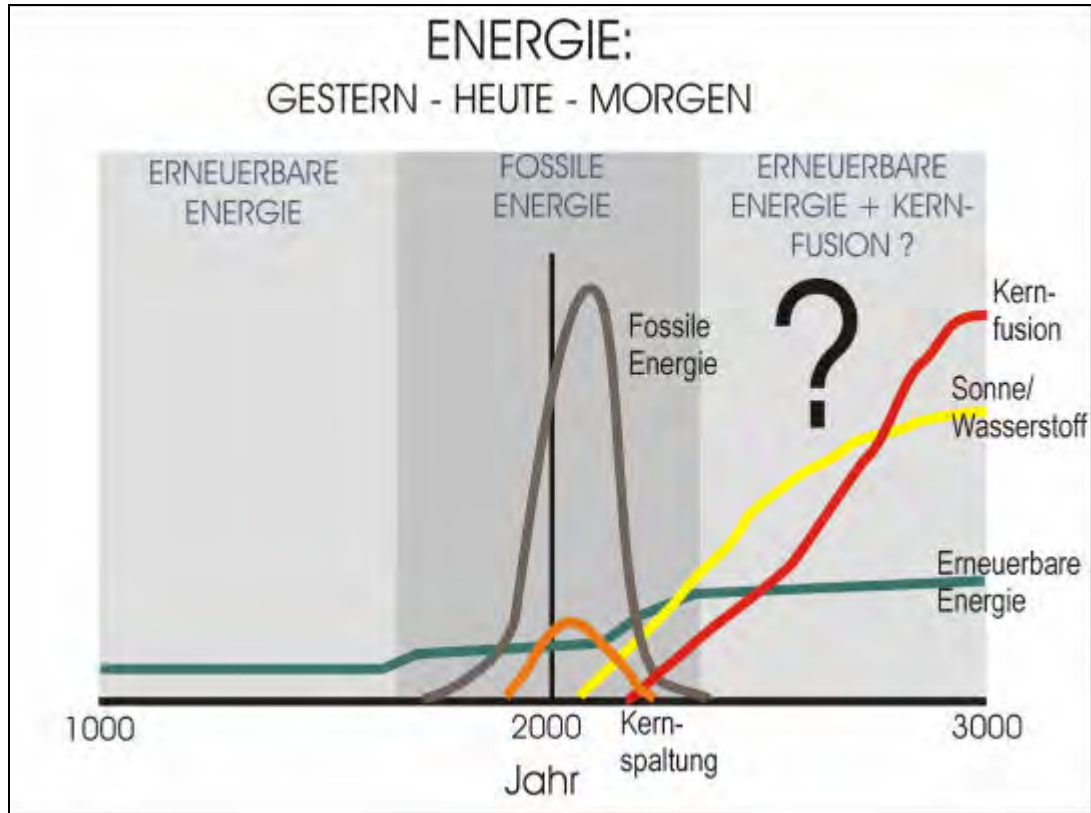
- **Für die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfes gibt es keine klaren Antworten. Damit können Energieszenarien nur Anhaltspunkte für eine mögliche Entwicklung des Energiemarktes und für Möglichkeiten/Probleme bei der Abdeckung des zukünftigen Energiebedarfes geben.**
- **Die Vision für ein zukünftiges Energiesystem ist der Aufbau eines vorrangig auf erneuerbaren Energieträgern basierenden „*Nachhaltigen*“ Energiesystems in einer Kreislaufwirtschaft, in Verbindung von höchst möglicher Energie-Effizienz bei Erzeugung und Nutzung und – wenn realisierbar – mit Nutzung der Kernfusion.**

**Bildtafel 11.7: Offene Fragen und Vision**

## Die offenen Fragen der Energie-Zukunft

- (1) Wie lange reichen noch die Vorräte an nicht-erneuerbaren Energieträgern (*Kohle, Erdöl, Erdgas*)?
- (2) Wie lange ist die derzeitige Energieversorgung mit dem *Ökosystem Erde* noch verträglich?
- (3) Kann die heutige Energieversorgung auf der Grundlage *Fossile Energieträger und/oder Atomenergie* auch in fernerer Zukunft funktionieren?
- (4) Welche Initiativen / Maßnahmen sind erforderlich, um die Energieversorgung in den nächsten Jahrzehnten (bis etwa 2100) sicherzustellen?
- (7) Gibt es überhaupt eine Lösung für die zukünftige Energieversorgung?

**Oder war das fossile Zeitalter nur eine kurze Periode in der Entwicklung der Zivilisation?**



**Bildtafel 11.8: Das Katastrophen-Szenario und seine Folgen**

## **Energie als Herausforderung (1)**

- **Neue Wege in der Energieaufbringung und im Energieeinsatz müssen gefunden werden. Eine Änderung der Energiewirtschaft ist auch zur Erhaltung bzw. zum Schutz des Ökosystems erforderlich.**
- **Eine Zukunftsstrategie für die wirtschaftliche Weiterentwicklung in Europa und weltweit muss erneuerbare Energieträger einschließen, einerseits um die knapper werdenden Vorräte an fossilen und nuklearen Energieressourcen zu schonen und andererseits um die für den Einsatz erneuerbarer Energieträger erforderliche industrielle Infrastruktur auszubauen.**


## **Energie als Herausforderung (2)**

- **Zur Realisierung eines „Nachhaltigen“ Energiesystems der Zukunft sind große Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Marktumsetzung erforderlich.**
- **Die Sicherstellung der zukünftigen Energieversorgung stellt eine große Herausforderung für die Menschheit dar:  
**Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind in gleicher Weise gefordert.****

**Bildtafel 11.9: Energie als Herausforderung**



## Das 20. Jahrhundert: Entwicklung von Energie-Techniken



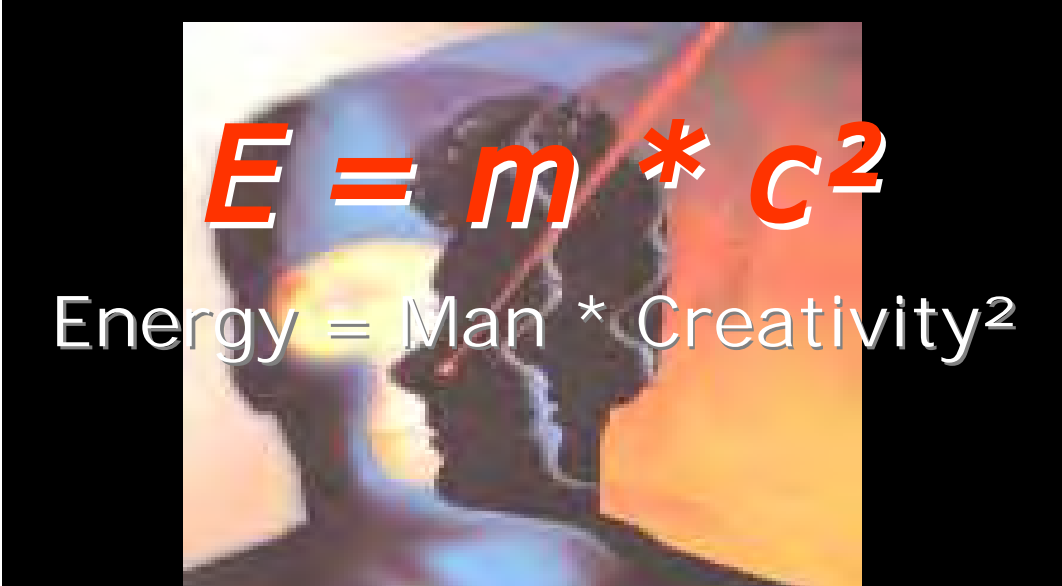
Albert Einstein

$E = m * c^2$

Energie =  
Masse \* Lichtgeschwindigkeit<sup>2</sup>

A black and white photograph of Albert Einstein standing in a classroom. He is wearing a dark suit and tie. To his left is a chalkboard with some mathematical equations written on it. The text 'Albert Einstein' is written in the top right corner. The equation  $E = m * c^2$  is written in large, yellow, stylized letters across the middle. Below it, the German text 'Energie = Masse \* Lichtgeschwindigkeit<sup>2</sup>' is written in a white, cursive font.

## Das 21. Jahrhundert: Sicherstellung der Energieversorgung durch Innovationen



$E = m * c^2$

Energy = Man \* Creativity<sup>2</sup>

A graphic illustration featuring the silhouettes of two people in profile, facing each other as if in conversation. The background is a gradient of colors from blue to red. A red laser line points from the top right towards the center. The equation  $E = m * c^2$  is written in large, red, stylized letters across the middle. Below it, the text 'Energy = Man \* Creativity<sup>2</sup>' is written in a white, sans-serif font.

Bildtafel 11.10: Energie-Innovationen als Lösungsansatz



# ANHANG

## ENERGIE: Definition und Einheiten

### ENERGIE: Definition und Grundlagen

- **ENERGIE** ist die Fähigkeit Arbeit zu leisten:
  - ⇒ Erzeugung von **NUTZENERGIE**: Wärme, Arbeit, Strom.
- **Energie-Umwandlung**: Energie kann nicht „gewonnen“ werden, sondern wird durch Umwandlung einer Energieform in eine andere „erzeugt“, z.B.:
  - ⇒ Umwandlung der „potentiellen“ Energie von fossilen und biogenen Energieträgern in Wärme und Strom,
  - ⇒ Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in Wärme und Strom,
  - ⇒ Umwandlung der potentiellen und kinetischen Energie der Wasserkraft (Speicher- und Flusskraftwerke) in elektrischen Strom,
  - ⇒ Umwandlung der kinetischen Energie der Windkraft in mechanische und elektrische Energie, etc.

# **Energie-Definitionen**

## ***Formen, Leistungs- und Energie-Einheiten***

### **Energie-Formen**

Energie kommt in verschiedenen Formen vor: Bewegungsenergie (kinetische Energie in z.B. Flusskraftwerken, Windströmungen, Meereswellen)), potentielle / gespeicherte Energie (Energie in Speicher-Wasserkraftanlagen, chemische Energie in Brennstoffen), elektromagnetische Wellen (Strahlungsenergie), Wärme (in der Umwelt), Kernenergie (Bindungsenergie der Bausteine der Materie).

### **Energie-Aufbringung (- Erzeugung) und Energie-Einsatz (-Verwendung)**

Energie-Aufbringung und Energie-Einsatz werden wie folgt definiert:

**Brutto-Energie:** Gesamtenergie /Energieaufkommen (Primärenergie):  
Energie oder Energieträger, die (der) keiner Energieumwandlung unterworfen ist

**End-Energie:** Gebrauchsenergie  
Energie oder Energieträger, die (der) dem Nutzer vor der letzten technischen Umwandlung (vor der Umsetzung in Nutzenergie) zur Verfügung gestellt wird.

**Nutz-Energie:**  
Energie oder Energieträger, die (der) dem Nutzer vor der letzten technischen Umwandlung zur Verfügung steht, z.B. die vom Heizkörper abgegebene Wärme oder mechanische Wärme von Maschinen.

### **Leistungs- und Energie-Einheiten**

Die Einheit der **Leistung** ist W.

Die Einheit von **Energie** (Arbeit) ist Wh bzw. Joule.

$$1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ GWh} = 3,6 \text{ TJ}$$

Auch das Öläquivalent wird als Energieeinheit herangezogen:

$$1 \text{ toe: Tonne Öläquivalent} = 41,858 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ GWh} = 3,6 \text{ TJ} = 0,000086 \text{ Mtoe} (8,6 \cdot 10^{-5})$$

$$1 \text{ Mio toe} (1 \text{ Mtoe}) = 0,041858 \text{ EJ}$$

Größeneinheiten für Leistung und Energie sind:

$$\text{Kilo: } k = 10^3, \text{ Mega: } = M = 10^6, \text{ Giga: } = G = 10^9, \text{ Tera: } = T = 10^{12}, \\ \text{Peta: } = P = 10^{15}, \text{ Eta: } = E = 10^{18}$$

## Quellennachweis

Der Ausarbeitung des Berichtes liegen Daten und Studien der Internationalen Energieagentur (*International Energy Agency, IEA*), als Teilorganisation der OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) sowie Dokumente zum Energiebereich der Europäischen Union, EU, zugrunde.

Weiters wurden Daten zur Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Emission für Österreich, herausgegeben von *Statistik Austria* und dem *Umweltbundesamt* verwendet. Auch die Ergebnisse eigener Studien sowie in Kooperation mit Forschungsprogrammen der IEA und EU sowie auch Unterlagen für Vorlesungen an der Technischen Universität Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (Energy Economics Group) fanden Verwendung.

Berücksichtigung fand auch der UNO-Klimabericht von Januar 2007.  
Stern-Report: [www.hm-treasury.gov.uk](http://www.hm-treasury.gov.uk)

### Hinweise zu Dokumenten:

#### Internationale Energieagentur

IEA-Website: [www.iea.org](http://www.iea.org)

IEA-World Energy Outlook: Edition 2006 (April 2007) and 2007 (April 2008)  
Key World Energy Statistics: Edition 2006 (April 2007) and 2007 (April 2008)  
[www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org)

#### Statistics Annual Publications:

- Energy Statistics of OECD-Countries
- Energy Balances of OECD Countries
- Energy Statistics of Non-OECD Countries
- Energy Balances of Non-OECD Countries
- Electricity Information
- Coal Information
- Natural Gas Information
- Oil Information
- Renewables Information
- CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion
- Energy Prices and Taxes (Quarterly Editions)

[www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics)

International Energy Agency Renewable Energy Working Party (IEA/REWP),  
Including the Renewables Implementing Agreements

#### IEA-Solar Heating and Cooling Programme:

Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2005.  
Edition 2007 and 2008

Werner Weiss, Irene Bergmann and Gerhard Faninger

[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)

ON-LINE DATA SERVICES: <http://data.iea.org>

Bezug von IEA-Reports (Bestellungen): [www.iea.org/books](http://www.iea.org/books) und [www.oecdbookshop.org](http://www.oecdbookshop.org)

## **Europäische Union:** Dokumente zur Energiepolitik und Energieforschung

Reports from the DG-RTD's Advisory Group on Energy: 2002 – 2006:  
Vorschläge für Forschungsprioritäten in EU-Mitgliedsländern für eine „Nachhaltige Energieversorgung“ (Aufkommen und Verwendung).

European Commission, Directorate-General for Research  
Key Tasks for future European Energy R&D: A first set of recommendations for research and development by the Advisory Group on Energy AGE-SWOG.  
Community Research: EUR 21352. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm)

European Commission, Directorate-General for Research  
Towards the European Energy Research Area. Recommendation by the ERA Working Group of the Advisory Group on Energy AGE-ERAWOG.  
Community Research: EUR 21353. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm)

European Commission, Directorate-General for Research  
Further Tasks for Future European Energy R&D: A second set of recommendations for research and development by the DG-RDT's Advisory Group on Energy.  
Community Research: EUR 22395. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm)

European Commission, Directorate-General for Research  
Transition to a sustainable energy system for Europe: The R&D perspective. A summary report by the Advisory Group on Energy.  
Community Research: EUR 22394. [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm)

The reports can also be received electronically by logging on the EU-energy research website:  
[http://ec.europa.eu:8082/research/energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu:8082/research/energy/index_en.htm)

European Renewable Energy Council: [www.erec-renewables.org](http://www.erec-renewables.org)

**Eigene Forschungsarbeiten und Dokumente(Gerhard Faninger):**  
[http://www.uni-klu.ac.at/iff/i kn/inhalt/18.htm#energie\\_und\\_umwelt](http://www.uni-klu.ac.at/iff/i kn/inhalt/18.htm#energie_und_umwelt)

### **Quellennachweis zu Grafiken in Abschnitt 3:**

Gerhard Tacke: E...ERINNERUNG: Mensch und Energie im Wandel der Zeiten.  
Verlag W. Girardet, Essen, 1981 ISBN 3-7736-4360-8

## Curriculum Vitae

### Gerhard Faninger,

Univ.- Prof., Dipl.-Ing. Dr. mont.  
Geboren 1937, Klagenfurt/Austria



Absolvent der Montanuniversität Leoben, Studienrichtung Hüttenwesen. Von 1961 bis 1974 Mitarbeiter am Institut für Physik an der Montanuniversität Leoben (zuletzt Universitätsprofessor), 1974 bis 1977 Battelle Institut Frankfurt (Leiter der Hauptabteilung Werkstoffe), 1977 bis 1987 Österreichische Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen, ASSA, Wien, (Leiter des Bereiches „Sonnenenergie“), 1987 bis 1998 Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf (verantwortlich für den Bereich „Erneuerbare Energie und Effiziente Energienutzung“), 1998 bis 2003 Universität Klagenfurt, Fakultät für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, iff, (Arbeitsbereich „Energie und Umwelt“), seit 2004 im Ruhestand und außerordentliches Mitglied des iff.

Gerhard Faninger ist seit dem Jahre 1976 mit Fragen der Sonnenenergie-Nutzung in Forschung, Lehre und Anwendung befasst. Ihm wurde vom damaligen Wissenschaftsministerium die Aufgabe übertragen, den Bereich der Sonnenenergie-Nutzung und auch aller anderen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen für Österreich aufzubereiten, zunächst in Forschung und Lehre und ab Beginn der 80er Jahre auch mit Industrie und Gewerbe. Mit der Gründung der „International Summer School Solar Energy“ im Jahre 1985 wurde die Bedeutung der Solarenergie für die zukünftige Energieversorgung internationalisiert: Heute führende Forscher, Hochschullehrer aber auch leitende Angestellte bei Behörden sind Absolventen dieser insgesamt achtmal abgehaltenen Weiterbildungsveranstaltungen. Weiters wurde das „Hochschulseminar für Energieberater“ erstmals über das iff im Jahre 1988 eingeführt, bis zum Jahre 1998 wurden zehn Veranstaltungen an der Universität Klagenfurt abgehalten und damit die Grundlage für zertifizierte Energieberater an öffentlichen Einrichtungen geschaffen. Zum Zwecke des Know-how und Technologie-Transfers wurde eine Schriftenreihe „Energie und Umwelt“ eingerichtet, und insgesamt wurden bis zum Jahre 2003 mehr als 300 Dokumente erstellt und an Interessenten weitergegeben.

Seit dem Jahre 1976 wurden die Themen „*Erneuerbare Energieträger und Effiziente Energieverwendung*“ in der universitären Lehre (Technische Universität Wien und Universität Klagenfurt) als Lehrbeauftragter von ihm behandelt.

Als österreichischer Delegierter in den Forschungsprogrammen der Internationalen Energieagentur – einer Teilorganisation der OECD – hat er wesentlich mitgeholfen, Energie-Forschungsprogramme auf internationaler Ebene zu definieren und deren Umsetzung im Leitungsgremium zu koordinieren bzw. zu gestalten. Als externer Berater in der EU „Advisory Group on Energy“ wurde ihm in den Jahren 2002 bis 2006 von der EU-Kommission die Möglichkeit geboten, seine Erfahrungen für die Planung der zukünftigen EU-Forschungsprogramme im Bereich der Energieversorgung einzubringen.

Schwerpunkte der Tätigkeit bis Ende 2003 betreffen die Entwicklung und Erprobung neuer Energietechniken, unter besonderer Berücksichtigung erneuerbarer Energiequellen.

Gerhard Faninger ist auch nach Eintritt in den Ruhestand Ende 2003 wissenschaftlich noch aktiv, insbesondere im Rahmen seiner internationalen Tätigkeiten und für Österreich durch seine Marktbeobachtungen. Als Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, sowie an der Universität Klagenfurt, Institut für Geographie und Regionalentwicklung hat er noch Kontakt zu der Jugend und die Universität Klagenfurt bietet ihm weiterhin in der Fakultät für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung die Möglichkeit, seine wissenschaftlichen Arbeiten im Universitätsbereich durchzuführen.