

## Technologien für zukünftige Energiesysteme

J. Mayrhuber

MayrhuberJ@verbund.at

VERBUND-Austrian Hydro Power AG

Kohldorfer Straße 98, A-9020 Klagenfurt; Österreich

### Kurzfassung

Der steigende globale Energieverbrauch und vor allem der prognostizierte steigende Stromverbrauch (+2,7% p.a. von 1999 bis 2020) stellt für die Energieversorgung eine große Herausforderung dar. Eine Fortsetzung des bisherigen Kapazitätsaufbaus mit dem bestehenden Brennstoffmix auf Basis fossiler Energieträger stößt an Grenzen. Umwelt- und Klimaprobleme, die steigende Abhängigkeit von Importen und geänderte Rahmenbedingungen für die Energiewirtschaft in vielen Teilen der Welt erfordern innovative Ansätze.

Im Bereich der Stromerzeugung zeigen sich folgende technologische Trends:

- Weitere Optimierung der großen zentralen Kraftwerke  
Diese „reifen“ Technologien werden weiterhin den Hauptteil des Kapazitätsbedarfes decken. Durch weitere Steigerung der Wirkungsgrade und damit der Brennstoffausnutzung besonders bei erdgasbetriebenen Anlagen, durch eine Erweiterung des verwertbaren Brennstoffspektrums und durch spezifisch günstige Investitionskosten werden diese Kraftwerkstechnologien weiterhin den Markt dominieren.

- Abnehmende Rolle der Kernenergie

Die Bedeutung der Kernenergie im Gesamtsystem wird weiterhin abnehmen und es scheint ungewiß, ob neue Konzepte je realisiert werden. Die Kernfusion befindet sich weiterhin im Stadium der Grundlagenforschung und wird in absehbarer Zeit keinen Beitrag zur Energieversorgung leisten können.

- Entwicklung dezentraler Kraftwerkskonzepte

Kundennahe und maßgeschneiderte Kleinanlagen, die sich für eine kombinierte Strom- und Wärmeversorgung eignen, werden in der Zukunft einen steigenden Beitrag zur Energieversorgung leisten. Der Ausbau der Erdgasnetze bietet günstige Voraussetzungen für neue Technologien wie gasbetriebene Brennstoffzellen und Mikrogasturbinen. Konzepte von „virtuellen Kraftwerken“ durch eine Vernetzung vieler dezentraler Anlagen scheinen zukünftig möglich.

- Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie

Die Nutzung der erneuerbaren Energien stößt noch immer an technologische und/oder wirtschaftliche Grenzen.

Etablierte Technologien wie die Wasserkraftnutzung werden weiterhin wachsen, wobei deren Potentiale in den Industrieländern weitgehend erschöpft sind.

Biomasse ist im industriellen Bereich vielfach etabliert. Ein höherer Beitrag zur Stromerzeugung scheidet weniger an technologischen als an wirtschaftlichen Faktoren.

Windenergie befindet sich in einer stabilen Wachstumsphase, die vor allem durch den massiven Einsatz von Fördermitteln zulasten der konventionellen Energien, möglich wurde.

Die direkte Nutzung der theoretisch im Überfluß vorhandenen Sonnenenergie befindet sich weiterhin im Entwicklungsstadium.

Ein gesamthafter Überblick über die vorhandenen Stromerzeugungs-Technologien, deren Entwicklungsstand und Entwicklungspotentiale sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Sicht wird dargestellt und mit Beispielen dokumentiert.

### I EINLEITUNG

Trends in den Technologien zur Erzeugung elektrischer Energie, die das zentrale Thema für die E-Wirtschaft darstellt, können nicht isoliert vom Gesamtsystem der globalen Energieversorgung gesehen werden.

Ausgangspunkt der Untersuchungen sind daher

Recherchen über aktuelle Entwicklungen auf den Weltenergiemarkt hinsichtlich Bedarfsentwicklung und Aufbringung und Ergebnisse auf dem Gebiet der Forschung und technologischen Entwicklung im Energiebereich.

Die heute verfügbaren Technologien und erfolgversprechende Entwicklungsansätze werden mit ihren wesentlichen Kenndaten dargestellt und ihr Entwicklungspotential beschrieben.

Die Zusammenführung der Ergebnisse

- zukünftiger Marktbedürfnisse (Energiebedarf und -verbrauch im allgemeinen sowie für elektrische Energie in besonderen) mit den
  - verfügbaren Technologien zur Energiegewinnung und Umwandlung unter
  - Berücksichtigung von externen Faktoren (globale und regionale Energie- und Klimapolitik, Liberalisierung der Energiemärkte, Konsumentenverhalten)
- stellt die Basis für eine längerfristige Prognose zu Technologietrends dar.

Dabei wird deutlich, dass Trends nur in Zusammenhang mit bestimmten Marktszenarios gesehen werden können. Änderungen der Grundlagen in diesen Szenarios (wie beispielsweise Mengen und Preise fossiler Energie-Ressourcen wie Erdgas) haben erhebliche Auswirkungen auf den Einsatz von Technologien.

Dieser Beitrag soll weniger ein bestimmtes Zukunftsszenario der technologischen Entwicklung propagieren, sondern er soll die Haupteinflußgrößen darstellen, von denen die zukünftige Entwicklung beeinflußt wird.

### II DAS SYSTEM DER GLOBALEN ENERGIEVERSORGUNG

Der globale Energieverbrauch betrug im Jahr 1999 9.600 Mio t Röhöleinheiten (Mt RÖE), das entspricht einem Primärenergieeinsatz von 112.000 TWh<sup>1/</sup>.

Der Verbrauch elektrischer Energie bildet mit einem Anteil 13.000 TWh oder 12 % global einen erheblichen Anteil, der jedoch nach Region und Kontinent unterschiedlich ausgeprägt ist, wie die Tabelle 1 zeigt. Prognostiziert wird ein Verbrauchszuwachs bis 2020 auf 22.000 TWh wobei aufgrund des steigenden Gesamtenergieverbrauches (auf insgesamt 178.000 TWh

im Jahr 2020) der prozentuelle Anteil von 12% gleich bleibt.

Tabelle 1 zeigt, dass sowohl der Gesamtverbrauch der Energie als auch der Anteil der elektrischen Energie stark divergiert. Bezogen auf den globalen Durchschnitt sind die Ressourcen sehr unterschiedlich verteilt.

Tabelle 1 Anteil elektrischer Energie am Gesamtenergieverbrauch

Daten: 1999

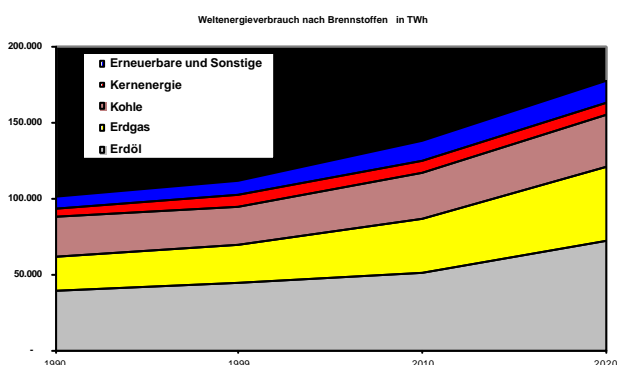
|                 | Bevölkerung<br>Mio | Gesamtenergie<br>TWh | Elektrische Energie |      |              |
|-----------------|--------------------|----------------------|---------------------|------|--------------|
|                 |                    |                      | TWh                 | in % | kWh/<br>Kopf |
| Industrieländer | 942                | 61.398               | 7.517               | 12%  | 7.980        |
| Nordamerika     | 401                | 33.879               | 3.904               | 12%  | 9.736        |
| Westeuropa      | 388                | 19.343               | 2.435               | 13%  | 6.276        |
| Asien           | 153                | 8.177                | 1.178               | 14%  | 7.699        |
| Osteuropa GUS   | 413                | 14.829               | 1.452               | 10%  | 3.516        |
| Entwicklungsl.  | 4.628              | 35.725               | 3.863               | 11%  | 835          |
| Summe Welt      | 5.983              | 111.952              | 12.832              | 11%  | 2.145        |

Dass eine Steigerung des Ressourcenverbrauches nicht ohne weiteres möglich ist, darauf hat der „Club of Rome“ mit dem Bericht „Grenzen des Wachstums“ bereits 1972 eindrücklich hingewiesen.

Das damals prognostizierte Ende der Erdölvorräte beispielsweise wurde bisher nicht erreicht. Technologische Entwicklungen auf allen Ebenen von der Auffindung, der Gewinnung bis zur Nutzung haben die Reichweite der verfügbaren Ressourcen deutlich erhöht.

Aktuelle Prognosen (Abbildung 1) gehen von einem weiteren Verbrauchswachstum aller verfügbaren Energiequellen aus<sup>1</sup>.

Abbildung 1 Weltenergieverbrauch nach Deckung (Prognose bis 2020 laut DOE/EIA)



<sup>1</sup> Im Gesamtenergieverbrauch sind auch Transport- und Umwandlungsverluste, wie beispielsweise die Umwandlungsverluste von Kohle in Strom enthalten.

### III EXTERNE FAKTOREN FÜR DIE ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DES ENERGIESYSTEMS:

#### A Kohlenstoffintensität

Sowohl die Diskussion über einen globalen Treibhauseffekt als auch über den Beitrag der Emission des fossilen CO<sub>2</sub> zum „global warming“ lassen erwarten, dass die Kohlenstoffintensität der Energieerzeugung und –umwandlung in Zukunft ein wesentlicher Parameter bei der Beurteilung neuer Prozesse und Anlagen sein wird.

Vor dem Hintergrund der Umsetzung des Kyoto-Zieles gewinnt dieser Faktor in Zukunft besondere Aktualität.

Die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden beim Verbrauchsszenario nach Abbildung 1 in Zukunft deutlich ansteigen, da in der zugrundeliegenden Prognose noch keine Sanktionen bei Nichterreichen des Kyoto-Zieles berücksichtigt wurden.

Tabelle 2 Zunahme der globalen CO<sub>2</sub>-Emission  
Globale Kohlendioxid-Emissionen

| in Mt CO <sub>2</sub> | 1990  | 1999  | Prognose |       |
|-----------------------|-------|-------|----------|-------|
|                       |       |       | 2010     | 2020  |
| Industrieländer       | 2.843 | 3.123 | 3.620    | 4.043 |
| Osteuropa GUS         | 1.337 | 810   | 940      | 1.094 |
| Entwicklungsländer    | 1.641 | 2.158 | 3.276    | 4.624 |
| Global                | 5.821 | 6.091 | 7.836    | 9.761 |

Das Ziel des Kyoto-Protokolls (für die Annex I-Staaten, das sind im wesentlichen die Industrieländer und die Übergangstaaten Osteuropas) lautet in Summe minus 5,2% der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Basis 1990 oder in absoluten Zahlen rund 3.700 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2010 und ist aus heutiger Sicht nur sehr schwer zu erreichen.

Mögliche Wege zur Erreichung des Zieles sind:

- Reduktion des Verbrauches fossiler Energieträger,
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger,
- Brennstoffänderungen „Fuel-switching“ hin zu CO<sub>2</sub>-ärmeren Brennstoffen
- CO<sub>2</sub>-Rückgewinnung und Speicherung
- Einsatz von CO<sub>2</sub>-Senken (Landwirtschaft, Aufforstungen)
- Einsatz flexibler Kyoto-Mechanismen (JI - Joint Implementation, CDM - Clean Development Mechanism, ET - Greenhouse Gas Emissions Trading)

Im Bereich der Stromerzeugung führen diese Ziele zur Forderung nach einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Intensität der Erzeugungstechnologien. Ideale Prozesse der Energieversorgung sind zukünftig jene, die ohne oder mit sehr geringem Kohlenstoffeinsatz durchzuführen sind. Prozesse und Verfahren mit hoher C-Intensität, die zu einer Emission von klimawirksamen Gasen (CO<sub>2</sub> u.ä.) in die Atmosphäre führen, werden durch legislative Steuerungsmassnahmen (CO<sub>2</sub>-, Öko- oder Energiesteuern) begrenzt oder zurückgedrängt.

Ein wesentlicher Parameter bei der Beurteilung neuer Technologien wird eine geringst mögliche C-Intensität bei Herstellung und Betrieb bzw. im gesamten Lebenszyklus sein. Der Erntefaktor ist eine Maßzahl für die

Rückgewinnung des eingesetzten Kohlenstoffes über den Lebenszyklus einer Anlage Ein niedriger Erntefaktor von 2 für die Photovoltaik bedeutet, daß die für die Herstellung der Anlage verwendete Energie über den Lebenszyklus der Anlage nur 2 fach wiedergewonnen wird.

Tabelle 3 Beispiele für C-Intensitäten für Anlagen-Lebenszyklen<sup>2/</sup>

|                                  | Erntefaktor | CO <sub>2</sub> -Emission<br>kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub> |
|----------------------------------|-------------|--|
| <b>a) Erneuerbare Energie</b>    |             |  |
| Wasserkraft                      | 80          | 0,003  |
| Windenergie                      | 20          | 0,005  |
| Biomasse                         | 10          | (0,300)  |
| Solarthermik                     | 3           | 0,004  |
| Photovoltaik                     | 2           | 0,007  |
| <b>b) Konventionelle Quellen</b> |             |  |
| Erdgaskraftwerk (GuD)            |             | 0,3 – 0,5  |
| Ölkraftwerk                      | 25          | 0,7 – 0,8  |
| Kohlekraftwerk                   | 60          | 0,8 – 1,0  |
| <b>c) Nuklear</b>                |             |  |
| Kernkraftwerk                    | 100         | 0,008  |

### B Investitionen in liberalisierten Energiemärkten

In vielen Teilen der Welt ist die Energiewirtschaft von den Trends der Liberalisierung und Privatisierung geprägt. Die Prämissen für neue Anlagen und Investitionen verändern sich grundlegend. Die E-Wirtschaft wird immer weniger als öffentliche Infrastrukturaufgabe wahrgenommen sondern wird als „business“ angesehen.

Die Risiken aus Investitionen in Stromerzeugungsanlagen, die ein privater Betreiber, der seinen Shareholdern Rechenschaft geben muss, in einem marktwirtschaftlichen System eingehen kann, sind begrenzt. Damit sinkt die Bereitschaft, in sehr kapitalintensive Anlagen mit langen Amortisationszeiten zu investieren.

Die „stranded costs“, die viele Unternehmen beim Übergang in den freien Markt abschreiben mussten, sind eine deutliche Warnung vor langfristigen Kapitalbindungen.

Nach dem Abbau bestehender Überkapazitäten sind neue Investitionen in Stromerzeugungsanlagen erforderlich. Prognosen für Europa gehen davon aus, dass diese Investitionsentscheidungen ab 2005 bis 2008 erforderlich sein werden<sup>3/</sup>. Zu diesem Zeitpunkt werden eine Reihe von neuen Technologien die Marktreife erreicht haben. Zukünftig werden auch diese neuen Konzepte wie dezentrale Erzeugungsanlagen (KWK-Anlagen, Brennstoffzellenanwendungen, Mikrogasturbinen u.a.) den Energie-Markt und damit Investitionsentscheidungen mit beeinflussen.

### C Trend zur Dezentralität - hin zur massgeschneiderten Versorgung

Bisher waren Wirtschaftlichkeit und Effizienz von Erzeugungs- und Übertragungstechnologien von ihren Grössen-Maßstäben abhängig. Steigende Grösse und Leistung bedeuteten einen Vorteil bei spezifischen Kosten und spezifischer Effizienz. Die laufende Steigerung der Blockgrösse bei den Grosstechnologien, wie bei konventionellen Kraftwerke und Kernkraftwerken, waren

in der Vergangenheit Indikatoren für den technischen Fortschritt.

Zwischenzeitlich ist diese Entwicklung an eine Grenze gestoßen: Neue Anforderungen und eine gesamthafte Betrachtung zeigen, dass es Gegentrends gibt und dass die Optimierung nicht nur in einer Dimension (wie z.B. historisch nach günstigen, spezifischen Erzeugungskosten) stattfinden kann.

Grosse Gas(GuD)-Kraftwerke mit neuester Technologie und den besten Werkstoffen erreichen heute schon Wirkungsgrade bis zu 60 % - bezogen auf die Stromerzeugung.

Andererseits können schon kleine Anlagen mit kombinierter Strom- und Wärmeerzeugung eine Brennstoffausnutzung erreichen, die deutlich darüber liegt und bis zu 80 % gehen kann.

Kleine, massgeschneiderte Anlagen, die dort installiert werden, wo unmittelbarer Bedarf an Strom und Wärme besteht, zeigen Vorteile in Hinblick auf ihre Gesamteffizienz. Der wärmegeführte Betrieb mit dem Ziel einer maximalen Brennstoffausnutzung entspricht auch der Forderung nach Senkung der Kohlenstoffintensität in der Stromerzeugung. Strom ist in diesen Fällen ein Kuppelprodukt und steht nicht mehr im Vordergrund der Überlegungen.

Die konsequente Verfolgung dieser Technologien in Verbindung mit weiteren Schlüsseltechnologien aus dem Bereich der internetbasierten Telekommunikation ergibt faszinierende neue Möglichkeiten. Beispielsweise die Möglichkeit eines „virtuellen Kraftwerkes“, das aus eine Vielzahl von netzgekoppelten dezentralen Kleinanlagen besteht, die durch automatisierte Kommunikation bedarfsgerecht Strom und/oder Wärme produzieren. Pilotanlagen für diese Konzepte befinden sich in Erprobung.

### D Konvergenz der Energieformen

Strom ist für viele Kunden eine von mehreren Energieformen, die für Ihre Bedürfnisse zur Verfügung steht. Gasnetze und Netze zur Wärmeversorgung haben eine beträchtliche Ausdehnung und Anschlußzahl - besonders in dicht besiedelten Gebieten - erreicht. Überschüsse einer Energieform (im speziellen Strom) können in das bestehende Netz rückgeliefert werden. Die weite Verbreitung des Erdgases und seine Umwandlung in elektrische Energie und/oder Wärme stellt ein grosses Potential dar. Die neuen Technologien, die eine dezentrale Umwandlung in Strom nach Bedarf erlauben, können mittel- bis langfristig zu einer Veränderung der klassischen Erzeugungsstruktur führen.

Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass sich der globale Anteil leitungsgebundener Energie von derzeit rund 25 % der Endenergie bis zum Jahre 2100 auf rund 60 % erhöhen wird<sup>4/</sup>.

### E Nachhaltigkeit, soziale Verträglichkeit und Akzeptanz

Die Akzeptanz von Energieformen durch die Verbraucher ist zu einem wichtigen Kriterium geworden.

Technologien, die als umweltgefährdend, als risikoreich, als sozial unverträglich oder als wenig nachhaltig angesehen werden, stoßen in der Umsetzung auf besondere Hindernisse. Als Beispiel kann die Kerntechnik genannt werden, die aufgrund von Akzeptanzproblemen zukünftig nicht so stark wachsen wird, wie die übrigen Energieträger.

Auch Großprojekte im Bereich der Wasserkraft (Große Staudämme mit erheblichen Auswirkungen auf Bevölkerung, Umwelt und Klima) fallen in diese Kategorie.

## IV ALLGEMEINE TRENDS IN DER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

### A Schlüsseltechnologien allgemein:

Die Suche und Prognose von Schlüsseltechnologien wird laufend und nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt, um die Mittel für Forschung und Entwicklung möglichst effizient und zielgerichtet einzusetzen. Diese Erkundung wird sowohl von Unternehmen, von Staaten, aber auch von Staatengemeinschaften, wie der EU, durchgeführt.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Rangordnung werden derzeit beispielsweise den Technologiebereichen

- Informationstechnologie
- Medizin- und Gentechnik
- Neue Materialien und Maschinen

die grössten Entwicklungspotentiale und damit auch der grösste Einfluss auf die zukünftige Form von Wirtschaft und Gesellschaft zugebilligt. Die Fortschritte in diesen Schlüsseltechnologien wirken sich in allen anderen Bereichen aus.

Einige Beispiele für diese Wechselwirkungen können angeführt werden:

### B Informationstechnologie:

Die Leistungsfähigkeit der Mikroprozessortechnik, z.B. die Verdoppelung der Rechengeschwindigkeit alle 18 Monate oder die Erhöhung der Speicherkapazitäten der Bauteile zusammen mit den Leistungen der Datenübertragung – ob in leitungsgebundener Form, in faseroptischen Systemen oder in drahtloser Form in kurzen Reichweiten (drahtlose Local Area Networks = LAN) oder weitreichenden GSM-basierenden Systemen – eröffnen faszinierende Möglichkeiten.

### C Neue Materialien und Maschinen:

So wie auch in der Vergangenheit der Fortschritt der Technologien nur in Zusammenhang mit der Entwicklung massgeschneiderter Materialien und ihrer Verarbeitung möglich wurde, ist zu erwarten, dass neue Impulse auch aus diesem Bereich kommen.

Unter dem Motto „Intelligente Werkstoffe“ werden eine Vielzahl von neuen Eigenschaften beschrieben, die sich zukünftig technisch nutzen lassen können: Während heutige Konstruktionswerkstoffe weitgehend

anisotrop und multikristallin aufgebaut sind (metallische Werkstoffe, Kunststoffe), sind Formen bekannt (und werden diese auch teilweise schon genutzt), welche die Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften von Kristallen nutzen (Beispiel: Gasturbinenschaufeln aus Einkristallen).

Die Fortschritte in Biotechnologie, Gentechnik und Medizin lassen hoffen, dass zukünftig auch biologische Systeme eine stärkere Rolle bei der Nutzung und Umwandlung von Lichtenergie (Sonnenlicht) in nutzbare Energie (Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff oder elektrischer Strom) spielen werden. Hier gibt es die Hoffnung, dass die Gentechnik eine Verbesserung des geringen Wirkungsgrades der pflanzlichen Photosynthese bringen könnte.

## V ENERGIEFORSCHUNG UND - TECHNOLOGIE IN EUROPA

### A Basisdaten der Stromerzeugung in Europa<sup>5/</sup>

Elektrische Energie stellt in der EU einen Anteil von 23 % am gesamten Endenergieverbrauch<sup>2</sup> dar.

Tabelle 4 Aufbringungsstruktur in der EU 2000

|                    | EU 2000    |               |
|--------------------|------------|---------------|
|                    | %          | Absolut [TWh] |
| Kernenergie        | 34         | 875           |
| Feste Brennstoffe  | 27         | 675           |
| Erdgas             | 16         | 400           |
| Wasserkraft und EE | 15         | 375           |
| Erdöl              | 8          | 200           |
|                    | <b>100</b> | <b>2.500</b>  |

Der Endenergieverbrauch in der EU 2000 bezogen auf thermische Energie betrug rund 11.000 TWh oder 1.250 Mt RÖE.

Zukünftig soll vor allem der Anteil an erneuerbarer Energie gesteigert werden: Das Ziel des Richtlinienvorschlages zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie ist eine Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energie („EE“) an der Stromerzeugung auf 22 % im Jahr 2010. Die Zielzahlen wurden auf Basis der Zahlen des Jahres 1997 festgelegt. Der Anteil der gesamten erneuerbaren Energie (Wasserkraft und neue EE) in der EU betrug 1997 rund 13,9% oder 338 TWh<sub>el</sub>.

Der absolute Zielwert für Stromerzeugung aus EE hängt direkt vom Stromverbrauch im Jahr 2010 ab.

Bei gleichbleibendem Verbrauch ergibt sich ein jährlicher Bedarf von rund 540 TWh<sub>el</sub> aus EE im Jahr 2010. Ein – anzunehmender - steigender Stromverbrauch würde auch den Bedarf an EE noch größer werden lassen.

### B Entwicklungsrichtungen in Europa

Aus den vorliegenden Zahlen wird klar, dass die konventionellen Technologien noch für einige Zeit die Hauptlast der Stromversorgung tragen müssen. Dies auch im Hinblick auf die Versorgungssicherheit innerhalb der EU und die angestrebte Unabhängigkeit von

<sup>2</sup> Endenergieverbrauch = vom Endkunden genutzte Energie; Gesamtenergieverbrauch minus Transport- und Umwandlungsverluste, wie z.B. Umwandlung Kohle zu elektrischem Strom

Energieimporten. Damit sind die Zielrichtungen für die Energieforschung klar vorgegeben.

Einige der europäischen Schwerpunkte, die in den „Key-Actions“ der Forschung im 5. Rahmenprogramm im Rahmen „Energy, Environment and Sustainable Development = EESD“ abgedeckt werden, sind vorwiegend technologiebezogen:

Technologiebezogene Energieforschung:

- Key Action 5: Clean energy systems including renewables
- Key Action 6: Economic and efficient energy for a competitive Europe

Das Budget für die angeführten Key – Actions im Bereich der konventionellen und erneuerbaren Energie beträgt rund 1 Milliarde Euro oder 50% des EESD-Gesamtbudgets.

Das Budget für Kernenergieforschung wird zusätzlich zum EESD-Programm aufgewendet und dient für:

- Key Action 7: Nuclear Fusion
  - Key Action 8: Controlled Thermo Nuclear Fusion
- Das Gesamtbudget für Kernenergieforschung beträgt rund 980 Mio Euro und ist zum Großteil für die europäische Fusionsforschung vorgesehen.

## VI TECHNOLOGISCHE TRENDS IN DER KONVENTIONELLEN STROMERZEUGUNG IN ZENTRALEN KRAFTWERKEN

### A Stromerzeugung aus festen Brennstoffen

Die Basistechnologie stellt der Dampfturbinenprozeß in kohlestaubgefeuerten Anlagen (Steam Turbine Power Plant =STPP) dar, der seit rund 100 Jahre im Einsatz steht und als eine sehr ausgereifte Technologie bezeichnet werden kann.

Feste Brennstoffe sind zum einen die heimische Braunkohle, die vor allem in Deutschland eine Rolle spielt, aber auch Steinkohle, die vorwiegend importiert wird.

Ziele der Technologieentwicklung in diesem Bereich sind

- die Steigerung der Wirkungsgrade und Brennstoffausnutzung,
- die Senkung der Investitions- und Betriebskosten,
- die Erweiterung des Brennstoffbandes.

#### i. Beispiele für aktuelle Technologien der kohlegefeuerten Anlagen

Die Nettowirkungsgrade der zuletzt geplanten und gebauten Anlagen erreichen bei Braunkohlekraftwerken ca. 45 % /<sup>6</sup>.

#### Beispiel:

| Braunkohle-Kraftwerk | Niederaußem K | der RWE-Energie |
|----------------------|---------------|-----------------|
| FD-Druck             | 269           | bar             |
| FD-/ZÜ-Temperatur    | 580/600       | °C              |
| Kondensationsdruck   | 28/34         | mbar            |
| Wirkungsgrad netto   | 45,2          | %(Bestpunkt)    |

|                  |      |    |
|------------------|------|----|
| Nettoleistung    | 965  | MW |
| Inbetriebsetzung | 2002 |    |

Wesentliche Elemente dieses Konzeptes sind

- überkritische Frischdampfparameter,
- ein Wärmeverschiebungssystem mit Nutzung der Abgaswärme sowie
- Eine optimierte Dampfturbine, Kondensator-kühlung und Speisewasservorwärmung und
- weiters auch die Verringerung des elektrischen Eigenbedarfes durch modernste Elektronik.

Steinkohlegefeuerte Anlagen erreichen Nettowirkungsgrade von 47 %.

#### Beispiel:Steinkohle-Kraftwerk Westfalen, D

|                    |         |              |
|--------------------|---------|--------------|
| FD-Druck           | 290     | bar          |
| FD-/ZÜ-Temperatur  | 600/620 | °C           |
| Kondensationsdruck | 35      | mbar         |
| Wirkungsgrad netto | 47,2    | %(Bestpunkt) |
| Nettoleistung      | 329     | MW           |
| Inbetriebsetzung   | 2003    |              |

Mit den oben angeführten Beispielen ist der aktuelle Stand der Technik beschrieben bzw. sind die Grenzen nach heutiger Sicht erreicht.

#### ii. Entwicklungspotentiale für kohlegefeuerten Anlagen

Weitere Entwicklungsschritte zur Steigerung des Wirkungsgrades, wie

- Braunkohletrocknung mit Niedertemperaturabwärme und
  - Wärmerückgewinnung aus Rauchgas
- bringen ein Wirkungsgradpotential von bis zu 5 %, womit ein Gesamtwirkungsgrad von bis zu 50 % möglich erscheint. Dies allerdings bei einem erheblichen Investitionsaufwand.

Bei den steinkohlegefeuerten konventionellen Anlagen sind weitere Steigerungen möglich, wenn die Spitztemperatur weiter erhöht werden kann. Dies erfordert vor allem den Einsatz höherwertiger Werkstoffe für den Dampfkreislauf, wobei diese Entwicklung mit technischen und wirtschaftlichen Risiken verbunden ist.

Die bisher geschilderten Entwicklungen zielen im wesentlichen auf einen monovalenten Betrieb (nur Stromerzeugung in grossen Anlagen) mit genau definierten Brennstoffen ab.

#### iii. Neue Anlagenkonzepte für Kohleverstromung

Die hohen Anteile von Kohle an der Stromerzeugung und die vorhandenen hohen Reserven machen Kohle weiterhin zu einem wichtigen Element der Energieversorgung. Die spezifisch hohen fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen machen es notwendig, die Effizienz der Prozesse weiter zu steigern und Möglichkeiten zu entwickeln, die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken.

- Wirbelschichtfeuerungen

Eine Entwicklungsrichtung zielt darauf ab, ein breiteres Brennstoffspektrum für die Stromerzeugung nutzbar zu machen.

Beispiele dafür sind: -Kraftwerke mit Wirbelschichtfeuerung  
Kraftwerke mit integrierter Vergasung

Beiden technologischen Entwicklungsrichtungen ist gemeinsam, dass sie sogenannte problematische Brennstoffe, die bisher einer Verstromung nicht unmittelbar zugänglich sind, verwerten können.

Wirbelschichtfeuerungen stellen eine - inzwischen vor allem in der Industrie weit verbreitete - Variante dar, die sich besonders für den Einsatz in kleinen bis mittleren Anlagen und auch für Kraft-Wärme-Kopplung („KWK“) gut eignet, wobei die Blockgrösse meist unterhalb von 100 MW<sub>el</sub> liegt. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen meist unter 40 %, die Brennstoffausnutzung bei KWK-Betrieb aber deutlich höher.

- Druckwirbelschichtfeuerungen

Höhere elektrische Wirkungsgrade sind mit druckaufgeladenen Wirbelschicht-feuerungen (Pressurized Fluidized Bed Combustion = PFBC) möglich, die sich in Entwicklung befinden. Die Druckwirbelschichtfeuerung wurde in Leistungsgrößen bis zu 80 MW<sub>el</sub> vor allem in Japan und den USA erprobt.

In Kombination mit einer Gasturbine wird als Wirkungsgradpotential 52-55 % angegeben.

- Vergasungstechnologien

Kraftwerke mit integrierter Vergasung trennen den Verbrennungsprozess in 2 Stufen: eine Teilumsetzung, die zu einem gasförmigen Zwischenprodukt führt, das in einer 2. Stufe über eine Gasturbine abgearbeitet werden kann. Neben Kohle kommen als Brennstoffe Raffinerierückstände, Biomasse und Reststoffe in Frage. Die großtechnische Machbarkeit der Vergasung wurde in mehreren Projekten weltweit demonstriert (in Europa: Buggenum/NL, Puertollano/E), wobei Leistungsgrößen von 250 MW<sub>el</sub> erreicht wurden.

Der Vorteil dieser Konzepte ist, dass nach dem ersten Teilschritt, der Vergasung, also der Umwandlung in ein brennbares Gas, dessen Volumen im Vergleich zu einem Rauchgas klein ist und damit eine Gasreinigung bzw. weitere Gasveredelung möglich wird. Die Wirkungsgradpotentiale werden mit > 52 % erwartet.

- Druckkohlenstaubfeuerung

Große Erwartungen werden in Konzepte einer „Druckkohlenstaubfeuerung“ gesetzt, bei denen die Kohlestaubfeuerung unter Druck erfolgt und eine Entspannung über eine Gasturbine als erste Arbeitsstufe eingesetzt erfolgt, bevor das Abgas einen Dampfprozess betreibt. Die Wirkungsgradpotentiale werden mit 55 % für das Jahr 2015 sowie bis 60 % im Jahr 2020 angegeben.

Die Erreichung dieser Ziele setzt erhebliche Fortschritte in der Gasreinigung von heißen, feststoffbeladenen Gasen voraus und erfordert eine Optimierung von Gasturbinen für diesen Einsatzbereich.

### B *Stromerzeugung auf Basis Erdgas:*

Der Brennstoff Erdgas weist eine Reihe von Vorteilen auf:

- Erdgas ist ein vergleichsweise sauberer Brennstoff mit einer geringen CO<sub>2</sub>-Intensität.

- Die Vorräte an Ergas sind – bezogen auf den Energieinhalt – etwa 1,5- bis 2-mal höher als die für Erdöl.
- Die Reichweite der Erdgasvorräte beträgt – je nach Quelle – 66 bis 15 Jahre.
- Die Ergasvorräte sind weltweit gleichmässiger verteilt als die Ölvorräte, jedoch verfügt die EU nur über < 2 % der weltweiten Vorkommen (mit einer Reichweite von 20 Jahren).

Aufgrund seiner beschriebenen Vorteile erreicht das Erdgas in Europa bereits einen Marktanteil von 22 % mit einer steigenden Tendenz.

Grösster Ergasverbraucher (mit 30 % des Gesamtverbrauches) sind die Haushalte, vor der Industrie (26 %) und der E-Wirtschaft (15 %).

Erwartet wird eine starke Steigerung der Stromerzeugung aus Erdgas; Extrapolationen lassen erwarten, dass 2030 die Hälfte der Elektrizität aus Erdgas erzeugt wird.

Der hohe Anteil des Erdgases an der Energieversorgung und hier die hohe Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten (z.B. 41 % aus Rußland) bergen die Gefahr einer Kartellbildung mit Verknappungen und Preissteigerungen. Die EU schenkt deshalb der Diversifizierung der Gasanbieter und der Steigerung der Transportkapazitäten besondere Beachtung und forciert sowohl den Netzausbau als auch die Einfuhr von verflüssigtem Erdgas.

### *Bestehende technologische Konzepte zur Erdgasverstromung*

Gasturbinen mit Generatoren (Singel Cycle Gas Turbine = SCGT) erreichen Wirkungsgrade von rund 40%. Ihr heißes Abgas kann in einem nachgeschaltetet Dampfprozeß weiter genutzt und der Gesamtwirkungsgrad weiter gesteigert werden.

Gegenwärtig erreichen gasgefeuerte Anlagen (Gas- und Dampfprozess = GuD bzw. als Combined Cycle Gas Turbine = CCGT bezeichnet) Wirkungsgrade von rund 58 – 60 %.

Mittelfristig angestrebt werden elektrische Gesamtwirkungsgrade von 65 % bis zum Jahr 2010 – bei einer Anlagenleistung von 500 MW<sub>el</sub>.

Die variable Einsatzmöglichkeit für Erdgas macht es für die Energieversorgung von Industrieanlagen interessant; kleinere Gasturbinen und GuD-Anlagen können sehr flexibel für die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung nach Bedarf eingesetzt werden.

Die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen wird zum grossen Teil von den Brennstoff- d.h. Erdgaskosten bestimmt, die rund 70 % der Vollkosten bei reiner Stromerzeugung ausmachen.

Steigende Gaspreise der letzten 2 – 3 Jahre in Europa haben das rasante Wachstum der Stromerzeugung aus Erdgas etwas gebremst. Jedoch wird allgemein erwartet, dass sich die Gaspreise vom Ölpreis entkoppeln und aufgrund der Deregulierung des Gasmarktes und des Ausbaus der Förder- und Transportkapazitäten

mittelfristig wieder ein konkurrenzfähiges Niveau erreichen.

## VII NEUE KONZEPTE DER DEZENTRALEN STROMERZEUGUNG

Zwei Entwicklungsrichtungen scheinen aus heutiger Sicht für dezentrale Konzepte besonders aussichtsreich:

- Mikrogasturbinen,
  - Brennstoffzellen,
- sowie Kombinationen aus diesen beiden Technologien.

### A Mikrogasturbinen:

Während die zuvor beschriebenen, klassischen Gasturbinen einen Leistungsbereich von einigen MW bis 500 MW abdecken, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von kleinen Gasturbinen entwickelt - sogenannte „Mikrogasturbinen“ -, die einen Leistungsbereich von wenigen kW bis 250 kW im Dauerbetrieb abdecken und damit für einen Einsatz in zahlreichen kleinen und dezentralen Anlagen geeignet sind.

Rund eine Handvoll Anbieter weltweit bieten modulare Anlagen (z.B. Einheitsgröße 28 kW<sub>el</sub> von Fa. Capstone) an, die in über hundert Einzelanlagen schon eine Gesamtlaufzeit von rund 350.000 Stunden erreicht haben.

Die elektrischen Wirkungsgrade liegen bei 27 – 30 %. Mit kombinierter Abgaswärmenutzung sind Gesamtnutzungsgrade von rund 70 – 80 % erreichbar. Die Emissionswerte gasbetriebener Mikrogasturbinen „MGT“ unterschreiten die relevanten Grenzwerte (NO<sub>x</sub> und CO) deutlich.

Die Anwendungen reichen von stationären Anwendungen für

- Cogeneration
- Peak-Shaving (Abdeckung von Spitzenenergie)
- Ausfallssicherung (Stand-by Power)

bis hin zu mobilen Anwendungen in Fahrzeugen.

### B Brennstoffzellen:

Brennstoffzellen erlauben die direkte Umsetzung der im Brennstoff gebundenen chemischen Energie in elektrische Energie durch einen elektrochemischen Prozeß.

Verschiedene Technologien befinden sich in Entwicklung und Demonstration. Die gegenwärtig verfügbaren Technologien arbeiten auf Basis der Brennstoffe Wasserstoff und Sauerstoff. Wasserstoff kann durch Reformierung aus Erdgas (Methan) oder anderen Kohlenwasserstoffen hergestellt werden.

Neben dem Kernelement der Brennstoffzelle sind eine Reihe von Zusatzaggregaten (Gasaufbereitung, Wechselrichter, Nebenaggregate) erforderlich, um die Brennstoffzelle für die Stromerzeugung einsetzen zu können.

Tabelle 5 Übersicht über Brennstoffzellen-Typen

| Kurzbezeichnung      | PEM                                    | SOFC                                    |
|----------------------|--|---|
| Zelltyp              | Proton-Exchange Membrane (Polymer)     | Solid Oxide Fuel Cell (Festkeramik)     |
| Brenngas             | Wasserstoff extern reformiert          | Wasserstoff intern reformiert           |
| Betriebs-temperatur  | 80°C                                   | 900°C                                   |
| el. Wirkungsgrad     | 35 - 55%                               | 35 - 55%                                |
| Leistungsgrößen      | bis 500 kW                             | bis 10 MW                               |
| Anwendungs-beispiele | mobil (Auto) und stationär (Micro-KWK) | stationär (dezentrale und zentrale KWK) |
| Status:              | Pilotprojekte in kW-Maßstab            | Pilotprojekte bis 1 MW                  |

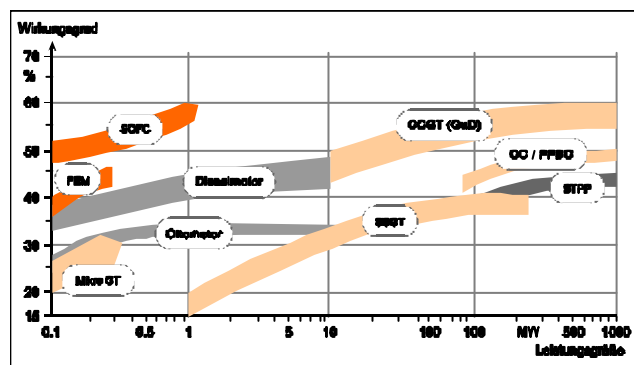
Die Anwendungskonzepte reichen von Micro-Anwendungen wie Brennstoffzellen-Heizgeräten in Haushalten bis zu Kraftwerkskonzepten im MW-Maßstab. Ein wesentliches Hindernis für einen Durchbruch dieser Technologie stellen die hohen spezifischen Investitionskosten dar. Durch eine Serienfertigung sollte eine weitere Kostensenkung möglich werden.

Kombinationen von Brennstoffzellen mit Mikrogasturbinen werden entwickelt, um durch eine druckaufgeladene Brennstoffzelle höhere Leistungsdichten und spezifisch geringere Kosten zu erreichen.

Zusatzvorteile sind die flexible Einsatzweise zur kombinierten Strom -Wärmeerzeugung sowie die niedrigen Emissionen insbesondere der Niedertemperaturzellen, die dieses System auch für die Automobilindustrie interessant macht.

Gegenwärtig stellt Wasserstoff den bevorzugten Brennstoff dar, es werden jedoch Untersuchungen auch für andere Brenngase angestellt.

Abbildung 2 Zusammenfassende Darstellung der aktuellen und zukünftigen Stromerzeugungstechnologien auf fossiler Basis <sup>7/</sup>



## VIII ERNEUERBARE ENERGIEFORMEN

Der Trend zur nachhaltigen globalen Entwicklung zusammen mit dem Druck zum Schutz des globalen Klimas haben in allen Teilen der Erde zu einer verstärkten Förderung der erneuerbaren Energie geführt. Die EU plant eine Erhöhung der Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie (=EE) von rund 14% im Jahr 1997 auf 22% bis zum Jahr 2010. Dies erfordert die Erzeugung von zusätzlich rund 200 TWh aus EE pro Jahr ab dem Jahr 2010 in der EU.

Die Technologien stehen zum Teil bereits zur Verfügung

- in reifen Technologien wie der Wasserkraft,
- in Bereichen mit Wachstumspotentialen wie on-shore Windkraftwerken und Biomasse,
- sowie in den Entwicklungsbereichen wie off-shore-Windkraft und Photovoltaik.

### A Wasserkraft

Die Stromerzeugung aus Wasserkraft beträgt in der EU [Daten 1998 für EU(15) laut Europrog 2000] rund 324 TWh, das sind rund 13,1% der Gesamterzeugung. Die Wasserkraft-Quote liegt in Österreich bei 70% und im Verbund bei größer 90%.

Das Ausbaupotential für Wasserkraft in Europa (EU) liegt bei etwa 100 TWh.

Die Wasserkrafttechnologie ist nach über 100 Jahren Einsatz prinzipiell ausgereift.

Neue technologische Ansätze zielen in folgende Richtungen:

- Senkung der Investitionskosten neuer Anlagen durch modulare Turbinen- und Generatorenkonzepte;
- Spezielle Entwicklung von kostengünstigen modularen Kleinturbinen und Kleinkraftwerken;
- Wirkungsgradsteigerungen bei Erneuerung alter Anlagen durch Weiterverwendung der baulichen Anlagen und den Einsatz moderner Maschinen;
- Einsatz moderner Mikroelektronik für Steuerung und Regelung unter Einbeziehung von Betreiber-Know-How z.B mittels Fuzzy-Logic.

Da der Großteil der wirtschaftlichen Wasserkraft-Ausbaupotentiale in Europa in der Vergangenheit bereits erschlossen wurde, sind in diesem Markt nur geringe Wachstumspotentiale vorhanden. Größere Potentiale liegen noch in den Entwicklungsländern, in Asien sowie in den mittel- und südamerikanischen Staaten.

Für den Verbund-Konzern stellt die Wasserkraft-Nutzung das zentrale Kerngeschäft dar. Ständige Forschung und Entwicklung in diesem Bereich, die zusammen mit Partner aus der Industrie durchgeführt wird, stellt eine Weiterentwicklung in verschiedenen Teilbereichen sicher.

Auf ein aktuellen Forschungs- bzw. Demonstrationsprojekt soll hingewiesen werden: Eine Restwasser (Schleusenwasser) – Turbine in modularer

Bauform (Matrixturbine) befindet sich seit 1999 im Donaukraftwerk Freudenu in Erprobung<sup>8/</sup>.

### B Biomasse

Der Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung stellt in vielen Ländern ein erhebliches Potential dar. Biomasse stellt sowohl einen Speicher für Sonnenenergie und zum anderen auch eine Senke, also einen Speicher für fossiles CO<sub>2</sub> dar.

Eine intensivere Biomassenutzung ist vertretbar, solange sie nur in dem Ausmaß erfolgt, in dem Biomasse nachwächst und der CO<sub>2</sub>-Kreislauf geschlossen bleibt.

Für die Stromerzeugung stehen im Prinzip jene Technologien zur Verfügung, die für fossile Brennstoffe entwickelt wurden. Da die Biomasse dezentral wächst und geerntet wird, der Energieinhalt im Vergleich zu fossilen Energieträgern jedoch niedrig ist, sind nur beschränkte Transportentfernungen wirtschaftlich sinnvoll.

Daher eignen sich für eine Biomasse-Verstromung vor allem kleinere dezentrale Anlagen, die meist auch mit Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden können.

Technologische Entwicklungsziele sind:

- Modulare Anlagen mit geringen Investitionskosten und flexibler Betriebsweise;
- Einsatz von Biomasse als (teilweiser) Ersatz für fossile Brennstoffe;
- Optimierung der gesamten Prozeßkette von der Ernte über Transport, Lagerung bis zur Verwertung.

Verbund ist auch in diesem Bereich an Forschungs- und Demonstrationsaktivitäten aktiv beteiligt. Der Biomasse-Einsatz zur Stromerzeugung wird in den Kraftwerken St. Andrä und Zeltweg demonstriert<sup>9/</sup>. Durch Einsatz eines Verbrennungsrosters oder durch eine neuentwickelte Vergasungstechnologie kann die Biomasse in Kohlefeuerungen mit geringen Zusatzinvestitionen eingesetzt werden. Diese von Verbund entwickelten Technologien bieten ein großes Potential, die geforderten Ziele zur Steigerung des Anteil an erneuerbarer Energie kostengünstig zu erreichen.

### C Windkraft

Der Markt für Stromerzeugung aus Windenergie befindet sich in einer Wachstumsphase, der Zuwachs beträgt jährlich rund 15 bis 20%.

Ende 2000 waren weltweit rund 18.000 MW installiert, davon 10.000 MW in Europa, Deutschland erreicht mit 6.113 MW installierter Leistung<sup>10/</sup> weltweit den Spitzenplatz.

Moderne Anlagen liegen im Leistungsbereich 600 kW bis 1,5 MW bei einem Rotordurchmesser von bis zu 70 m. Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen hängt von der Windintensität (Anzahl Volllaststunden) des Standortes ab. Wirtschaftlich nutzbare Standorte werden im Binnenland bereits knapp und Nutzungskonflikte zeichnen sich ab.

Als aussichtsreicher Weg werden Offshore-Windanlagen in küstennahen Zonen angesehen.

Zahlreiche Pilotprojekte für Offshore-Windfarmen befinden sich im Genehmigungsverfahren und sollen bereits 2004 in Betrieb gehen. Die Standorte befinden sich innerhalb der 12 Meilen-Zone bei Wassertiefen von rund 30 m. Typische Pilotprojekte umfassen Anlagen mit einer Einzelleistung von 3 bis 5 MW mit einer Bauhöhe von 160 m. Um die Aufschließungs- und Infrastrukturkosten dieser Standorte gering zu halten, werden meist eine große Anzahl von Einzelanlagen (bis zu 200 je Windfarm) geplant.

Konventionelle Anlagen bestehen aus Rotor, Getriebe, Wechselrichter und Transformator, die regelmäßige Wartungen benötigen. Für Offshore-Anlagen sind neben den Investitionskosten die Kosten für die Wartung besonders maßgeblich, da die Anlagen im Vergleich zu landbasierten schwerer erreichbar sind. Neue Konzepte, die ohne Getriebe und Transformatoren auskommen (Windformer-Technologie/<sup>11/</sup>) verweisen darauf, dass sie die Lebensdauerkosten der Anlagen halbieren.

Verbund hat die Entwicklung der Windkrafttechnologie unterstützt. Die Entwicklungen einer österreichischen Windkraftfirma waren technisch erfolgreich, Verbund betreibt die 2 Prototyp-Windkraftwerke mit 600kW und 1,5 MW Leistung/<sup>12/</sup>.

#### D Photovoltaik

Die photovoltaische Stromerzeugung, die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom ist vom Prinzip her schon lange bekannt (seit der Entdeckung durch A. Bequerel 1839), hat bisher jedoch den kommerziellen Durchbruch noch nicht geschafft.

Die Gründe dafür liegen zum einen in den hohen Herstellkosten, die im wesentlichen von einem hohen Energieverbrauch verursacht werden, sodass ein Modul für seine energetische Amortisation in Europa rund 5 bis 12 Jahre benötigt.

Zum anderen erfordern solarbetriebene Systeme eine Speicherung oder eine Reserveversorgung mit elektrischen Energie. Beides Faktoren, die ihren Einsatz erschweren.

Die Wirkungsgrade der kommerziell verfügbaren Photovoltaik-Module sind bereits beachtlich:

Tabelle 6 Typische Wirkungsgrade von kommerziellen Photovoltaik-Modulen/<sup>13/</sup>

| Modultype                       | Kurzbezeichnung | Typischer Modul-Wirkungsgrad bei Standard-Testbedingungen | Gemessener maximaler Labor-wirkungs-grad |
|---------------------------------|-----------------|---|--|
| Single crystalline Silicon      | sc-Si           | 12 – 15 %   | 24,5 %                                   |
| Multi crystalline Silicon       | mc-Si           | 11 – 14 %   | 19,8 %                                   |
| Amorphous silicon multijunction | a-Si            | 6 – 7 %   | 13,5 %                                   |
| Cadmium Tellurid                | CdTe            | 7 – 8 %   | 16 %                                     |

PV-Anlagen können für dezentrale nicht netzgekoppelte Systeme, aber auch für die Netzeinspeisung verwendet werden. Von den 1998 in den IEA-Mitgliedsländern installierten rund 400 MW<sub>p</sub> waren rund 50% netzgekoppelt. In den Entwicklungsländern in ländlichen Gebieten ist der Großteil der Bevölkerung nicht an Stromnetze angeschlossen. Für diesen Einsatz sind Solarzellen gut geeignet.

Verbund hat umfangreiche Untersuchungen mit PV durchgeführt. Im Solarzentrum Kanzelhöhe in Kärnten sind seit 1989 netzgekoppelte PV-Systeme im Dauereinsatz/<sup>14/</sup>.

Die bisherigen PV-Technologien haben den beschriebenen Nachteil des hohen Herstell- und Fertigungsaufwandes, da sie mit den Methoden der Halbleitertechnologie auf der Basis von hochreinen, durch Umschmelzprozesse erzeugten Silizium-Kristallen, gefertigt werden.

Weitere Verbesserungen sind vor allem in der Herstellungstechnologie notwendig. Erst kostengünstige und energieeffiziente Herstellungsverfahren bieten die Chance für eine weitere Verbreitung der PV-Systeme:

Es gibt neue und vielversprechende technologischen Ansätze für PV-Anwendungen.

- Durch industrielle Dünnschichttechnologien wie Elektrodeposition oder Spray-Pyrolyse lassen sich kostengünstigere Dünnschichtmodule (beispielsweise CdTe) erzeugen.
- Organische Photovoltaiksysteme können eine Reihe von Vorteilen in Herstellung und Anwendung bringen.

Die organischen Systeme bestehen aus selbstorganisierenden Dünnschichtstrukturen (mit dem Wirkungsprinzip von Photodioden) die durch Abscheidungen aus organischen Lösungen relativ einfach herstellbar sind. Die Produkte verbinden die elektrischen Eigenschaften von Halbleitern mit der Verarbeitbarkeit von Polymer-Materialien.

Die Ergebnisse neuerer Untersuchungen/<sup>15/</sup> zeigen elektrische Wirkungsgrade von 2% für diese neuen Systeme. Obwohl dies auf den ersten Blick sehr gering erscheint, liegt der Vorteil Technologie in den erwarteten geringen Herstellkosten und der universellen Anwendbarkeit z.B. in Form von Beschichtungen auf diversen Bauten.

## IX SCHLUßFOLGERUNGEN

Der steigende globale Energieverbrauch und vor allem der prognostizierte steigende Stromverbrauch (+2,7% p.a. von 1999 bis 2020) stellt für die Energieversorgung eine große Herausforderung dar. Eine Fortsetzung des bisherigen Kapazitätsaufbaus mit dem bestehenden Brennstoffmix auf Basis fossiler Energieträger stößt an Grenzen. Umwelt- und Klimaprobleme (Stichwort Treibhauseffekt), die steigende Abhängigkeit von Importen und geänderte Rahmenbedingungen für die Energiewirtschaft in vielen Teilen der Welt (Stichwort Liberalisierung) erfordern neue Ansätze.

Das übergeordnete Ziel lautet daher: Deckung der Ansprüche der Energiekonsumenten ohne proportionale Steigerung des Primärenergieeinsatzes und des Energieverbrauches. Global ist eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz der industriellen Prozesse, des Transportes und des Privatkonsums das Hauptziel. Gerade für die Entwicklungsländer liegt hier eine wesentliche Herausforderung und Chance.

Im Bereich der Stromerzeugung zeigen sich folgende technologische Trends:

- Weitere Optimierung der großen zentralen Kraftwerke  
Diese „reifen“ Technologien werden weiterhin den Hauptteil des Kapazitätsbedarfes decken. Durch weitere Steigerung der Wirkungsgrade und damit der Brennstoffausnutzung besonders bei erdgasbetriebenen Anlagen, durch eine Erweiterung des verwertbare Brennstoffspektrums und durch spezifisch günstige Investitionskosten werden diese Kraftwerkstechnologien weiterhin den Markt dominieren.
- Abnehmende Rolle der Kernenergie  
Die Bedeutung der Kernenergie im Gesamtsystem wird weiterhin abnehmen und es scheint ungewiß, ob neue Konzepte je realisiert werden. Die Kernfusion befindet sich weiterhin im Stadium der Grundlagenforschung und wird in absehbarer Zeit keinen Beitrag zur Energieversorgung leisten können.
- Entwicklung dezentraler Kraftwerkskonzepte  
Kundennahe und maßgeschneiderte Kleinanlagen, die sich für eine kombinierte Strom- und Wärmeversorgung eignen, werden in der Zukunft einen steigenden Beitrag zur Energieversorgung leisten. Der Ausbau der Erdgasnetze bietet günstige Voraussetzungen für neue Technologien wie gasbetriebene Brennstoffzellen und Mikrogasturbinen. Konzepte von „virtuellen Kraftwerken“ durch eine Vernetzung vieler dezentraler Anlagen scheinen zukünftig möglich.
- Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie  
Die Nutzung der erneuerbaren Energien stößt noch immer an technologische und/oder wirtschaftliche Grenzen.

Etablierte Technologien wie die Wasserkraftnutzung werden weiterhin wachsen, wobei deren Potentiale in den Industrieländern weitgehend erschöpft sind. Große Potentiale bestehen noch in Asien sowie Zentral- und Südamerika.

Biomasse ist im industriellen Bereich vielfach etabliert. Ein höherer Beitrag zur Stromerzeugung scheidet weniger an technologischen als an wirtschaftlichen Faktoren.

Windenergie befindet sich in einer stabilen Wachstumsphase, die vor allem durch den massiven Einsatz von Fördermitteln zulasten der konventionellen Energien, möglich wurde.

Die direkte Nutzung der theoretisch im Überfluß vorhandenen Sonnenenergie befindet sich weiterhin im Entwicklungsstadium. Die Photovoltaik hat bisher nur in Nischenmärkten Erfolge vorzuweisen und die Gesamtenergiebilanz dieser Systeme ist weiterhin relativ ungünstig.

---

#### REFERENZEN:

- [<sup>1</sup>] International Energy Outlook 2001, March 2001; US Department of Energy; DOE/EIA-0484 (2001)
- [<sup>2</sup>] Becker-Boost, E.; Fiala, E.; Wachstum ohne Grenzen; Springer Verlag 2001, ISBN 3-211-83510-5
- [<sup>3</sup>] Krahl, M.; Chances in Generation Competition; Vortrag bei VGB-Kongreß Kraftwerke, Oktober 2000
- [<sup>4</sup>] Quelle: Laut IASA/WEC in: A. Lovins; P. Hennicke: „Voller Energie“ Campus Verlag 1999, ISBN 3-593-36038-1.
- [<sup>5</sup>] Grünbuch – Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit; Europ. Kommission; KOM(2000) 769; ISBN 92-894-0317-9
- [<sup>6</sup>] H. Bergmann, K. Hannes: Fortschrittliche Brennstoffumwandlungstechniken in zentralen und dezentralen Anlagen; VGB KraftwerksTechnik 4/2000
- [<sup>7</sup>] Riedle, K.; Taud, R.; Research and Development in Power Plant Engineering; VGB PowerTech 1/2001
- [<sup>8</sup>] Verbund-Forschungsbericht 2000; S. 43-46
- [<sup>9</sup>] Tauschitz, J. et al.; Biomassevergasung im Kraftwerk Zeltweg; Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 55, Sept. 1999
- [<sup>10</sup>] Quelle: Deutscher Bundesverband Windenergie
- [<sup>11</sup>] Dahlgren, M. et al.; Windformer-Großtechnische Nutzung der Windenergie; ABB-Technik 3/2000
- [<sup>12</sup>] Krainer, H.; 1,5 MW Windkraftanlage; Schriftenreihe Forschung im Verbund, Band 56, Sept. 1999
- [<sup>13</sup>] Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA Countries between 1992 and 1998; Report IEA-PVPS 1-07:1999
- [<sup>14</sup>] Stögner, H.; Vogt, R.; Solarzentrum Kanzelhöhe; ÖZE, Jg.46, H.3, 1993
- [<sup>15</sup>] Schmidt-Mende, L. et al.; Self-Organized Discotic Liquid Crystals for High-Efficiency Organic Photovoltaics; Science 293, (2001)

#### BIOGRAPHIE

Dr. Josef Mayrhuber ist Fachgruppenleiter in der Verbund-Austrian Hydro Power AG (AHP). Nach seinem Studienabschluß der Verfahrenstechnik an der TU Graz im Jahr 1987 war er als Assistent an Institut für Werkstoffkunde, Schweißtechnik und spanlose Formgebungsverfahren tätig. Er promovierte im Jahr 1992 und ist auch weiterhin in der Lehre tätig. Nach Tätigkeiten in der Anlagenplanung bei Drauconsulting und Draukraft AG war er als Vorstandsassistent des technischen Vorstandes in der Verbund-Holding tätig. Zum Fachgruppenleiter für Maschinenbau in der AHP wurde er mit 06/2001 bestellt.