

# Renews Spezial

## Ausgabe 37 / Juli 2010

Hintergrundinformationen  
der Agentur für Erneuerbare Energien

# Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien

[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)



**Autor:**

Bernward Janzing  
Stand: Juni 2010

**Herausgegeben von:**

**Agentur für Erneuerbare  
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18  
10117 Berlin  
Tel.: 030-200535-3  
Fax: 030-200535-51  
[kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

ISSN 2190-3581

**Schirmherr:**

„deutschland hat  
unendlich viel energie“  
Prof. Dr. Klaus Töpfer

**Unterstützer:**

Bundesverband Erneuerbare Energie  
Bundesverband Solarwirtschaft  
Bundesverband WindEnergie  
Geothermische Vereinigung  
Bundesverband Bioenergie  
Fachverband Biogas  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

## Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| • <b>Zusammenfassung</b>   | <b>4</b>  |
| • <b>Windkraft</b>   | <b>4</b>  |
| – Neue Generatorkonzepte   | 7         |
| – Sonstige Weiterentwicklungen   | 7         |
| – Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung   | 8         |
| • <b>Photovoltaik</b>  | <b>8</b>  |
| – Die Preisrückgänge wurden erzielt durch eine Vielzahl von Faktoren   | 8         |
| – Weitere erzielte Verbesserungen  | 9         |
| – Ertragsgewinn und Kostensenkung der Photovoltaik hängen nicht alleine an den Modulen, sondern auch am Wechselrichter | <b>10</b> |
| – Photovoltaikanlagen erbringen auch Netzdienstleistungen  | 10        |
| – Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung   | 10        |
| • <b>Solarthermie</b>  | <b>10</b> |
| – Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung   | 12        |
| • <b>Biogas</b>  | <b>12</b> |
| – Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung   | 13        |
| • <b>Feste Biomasse (Holzkraftwerke und Holzpellettheizungen)</b>  | <b>13</b> |
| – Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung   | 13        |
| • <b>Fazit</b>   | <b>13</b> |

## Zusammenfassung

In diesem Hintergrundpapier aus der Reihe "Renews Spezial" werden die Fortschritte in den verschiedenen Segmenten der erneuerbaren Energien nacheinander dargestellt, wobei sich der Überblick auf jene Energieformen beschränkt, die seit Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und des Marktanzreizprogramms (MAP) für Erneuerbare Wärme einen breiten Markt erobert haben. Bewusst außen vor gelassen wurde die tiefe Geothermie, die erst in Einzelprojekten genutzt wird, und damit noch keine auf breiter Basis abgesicherten Fortschritte vorweisen kann. Zudem wird die Wasserkraft nicht behandelt, die aufgrund ihrer Verbreitung seit über 100 Jahren längst eine technische Reife erlangt hat, die nunmehr relativ wenig Spielraum für Verbesserungen bietet.

Anfang des Jahres 1991 wurde die Forschungsförderung der erneuerbaren Energien erstmals durch ein wirkungsvolles Instrument der Markteinführung ergänzt: Das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) verpflichtete fortan die Gebietsmonopolisten im damals noch nicht liberalisierten Strommarkt, die erzeugten Kilowattstunden von Wasserkraftwerken, sowie von Windkraft-, Solar- und Biogasanlagen ins Netz aufzunehmen und nach einem definierten Schlüssel zu vergüten.

Im April 2000 wurde das StrEG schließlich durch das noch wirksamere Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ersetzt, dessen Ziel es war, durch kostendeckende Vergütung allen Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Entsprechend der Vielfalt der Energiequellen wurden auch die Vergütungssätze individuell gestaffelt, um einerseits einen rentablen Betrieb der Erzeugungsanlagen zu ermöglichen, andererseits eine Überförderung zu vermeiden. Zu den Erfolgen des EEG liegt ein separates Hintergrundpapier aus der Reihe „Renews Spezial“, Ausgabe 27 vor, das im Internet unter [www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de) bezogen werden kann.

Obwohl mit dem StrEG und dem EEG keine explizite Forschungsförderung verbunden war, so hatten sie dennoch erhebliche Innovationen in den betreffenden Branchen zur Folge. Denn die Technologien wurden durch die langfristig garantierten Vergütungen aus den Nischenmärkten heraus geholt - es wurden jeweils Massenmärkte geschaffen. Diese langfristigen Perspektiven ermöglichten den Unternehmen den Aufbau eigener Forschungs- und Entwicklungsabteilungen. Vor allem durch die im EEG definierten jährlichen Absenkungen der Einspeisevergütungen und durch den Wettbewerb unter den Anlagenbauern wurde die Industrie ermuntert, durch eigene Entwicklungsleistungen ihre Produkte zu verbessern - was sie im Rückblick auch auf beeindruckende Weise taten. So konnten technologische Entwicklungen vorangebracht werden, die durch die Forschungsförderung alleine kaum möglich gewesen wären.

Das zeigte sich sehr deutlich am Beispiel der Windkraft: Nachdem in den achtziger Jahren die Großwindkraftanlage Growian mit 3 Megawatt Leistung an technischen Problemen gescheitert war, begann mit dem StrEG und später dem EEG eine harmonische Entwicklung, die noch größere Maschinen zur Serienreife brachte. Heute sind Anlagen der Growian-Klasse längst etablierte Technik.

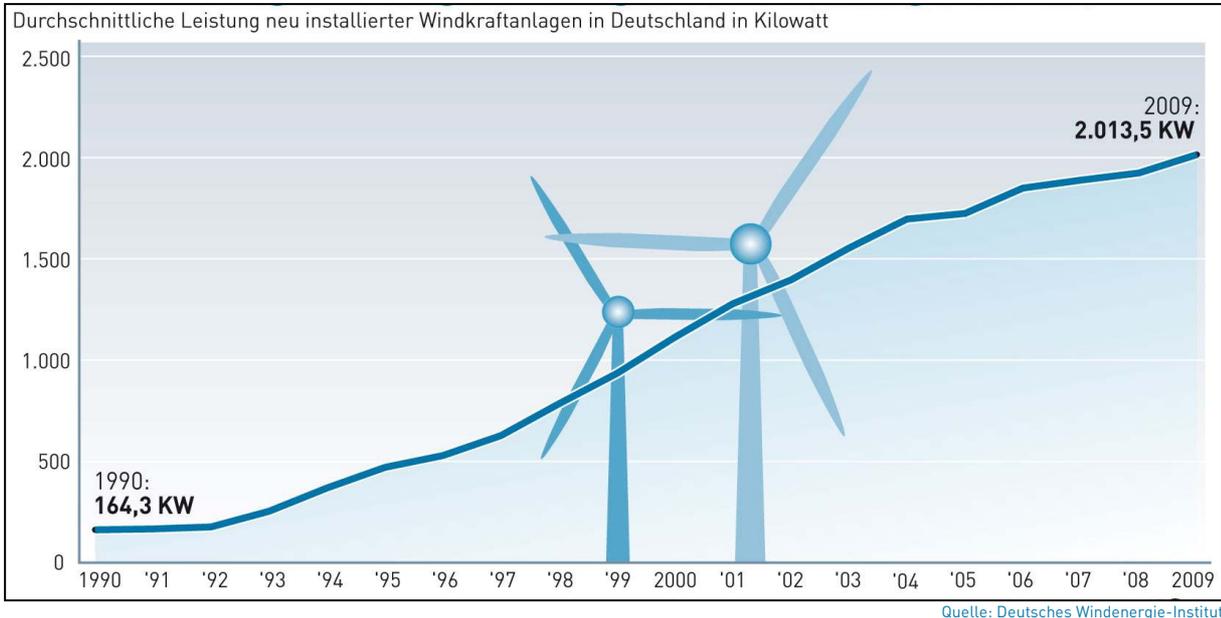
## Windkraft

Der am besten sichtbare Fortschritt der Windkraft ist die stetige Zunahme der Anlagengröße:

Anfangen mit Anlagen der 100-Kilowatt-Klasse um das Jahr 1990 entwickelte sich die Technik stetig fort. So leisteten neu installierte Turbinen in Deutschland Mitte der neunziger Jahre rund 500 Kilowatt, im Jahr 2000 waren es bereits gut 1100 Kilowatt, und im Jahr 2009 lag die durchschnittliche

Leistung von Neuanlagen sogar erstmals knapp über 2 Megawatt. Inzwischen sind Serienanlagen mit 5-Megawatt Leistung etabliert.

### Verzölfachung der Anlagenleistung in der Windenergie seit 1990



Aber es wurden nicht nur die Rotoren größer und die Türme höher, auch die Erträge nahmen durch verbesserte Technik zu, wie sich am Beispiel der Firma Enercon zeigt:

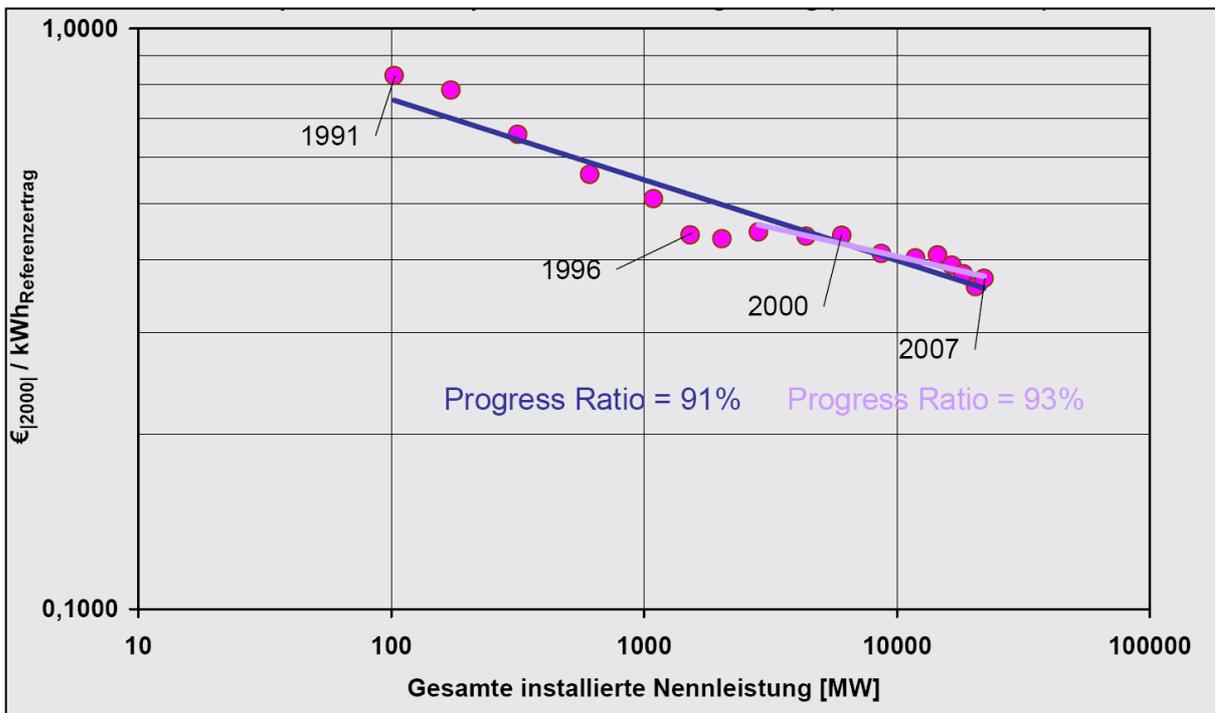
| Anlagentyp           | Rotordurchmesser in m | Nennleistung in kW | Nabenhöhe in m | Jahresenergieertrag* pro Rotorkreisfläche in kWh/a*m <sup>2</sup> |
|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------|---|
| Enercon E-66         | 66,0                  | 1.500              | 67             | 886   |
| Enercon E-66/18.70-2 | 70,4                  | 1.800              | 65             | 907   |
| Enercon E-66/18.70-3 | 70,4                  | 1.800              | 65             | 948   |
| Enercon E-70 E4      | 71,0                  | 2.000              | 64             | 1.069   |
| Enercon E-70 E4      | 71,0                  | 2.300              | 64             | 1.101   |

\*) Jahresenergieertrag auf Basis des EEG-Referenzertrags

Quelle: www.wind-fgw.de

Zugleich sank der Preis pro erzeugter Kilowattstunde seit 1990 um mehr als die Hälfte:

### Lernkurve Windenergie, WEA-Preis pro kWh Jahresenergieertrag (Referenzstandort)



Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) Windenergiereport Deutschland 2008

Die gestiegenen Erträge und gesunkenen Preise hängen mit einer Vielzahl von Verbesserungen zusammen, die erst jeweils durch den zigtausendfachen Einsatz der Anlagen in der Praxis möglich wurden:

Ein wichtiger Punkt ist die Höhe der Anlagen. Nabenhöhen von bis zu 160 Meter sorgen heute dafür, dass die Rotoren in Luftschichten mit stabileren Windverhältnissen vordringen. Denn nicht nur die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu, auch die Turbulenzen werden geringer. Zudem wurden durch die Entwicklung spezieller Schwachwindanlagen, die sich durch eine große Rotorfläche im Vergleich zum Generator auszeichnen, auch an mittelmäßigen Binnenlandstandorten die Erträge gesteigert.

Auch das Design der Anlagen wurde in den vergangenen Jahren erheblich verbessert. Neue Flügelprofile erhöhen heute die Ausbeute und senken die Strömungsgeräusche. Dass die Vermeidung von Strömungsgeräuschen und die Ertragssteigerung Hand in Hand gehen, liegt nahe: Luftgeräusche sind immer die Folge von verlustbringenden Turbulenzen. Enercon zum Beispiel hat die Spitzen der Flügel abgewinkelt, wodurch die Rotorblätter weniger anfällig für Turbulenzen werden. Damit wird eine gleichmäßigere Umströmung auf der ganzen Länge des Blattprofils sichergestellt, was zu Mehrerträgen von bis zu zwölf Prozent führt.<sup>1</sup> Dieser Mehrertrag spiegelt sich auch im cp-Wert der Anlagen wider, der sich immer weiter verbessert. Der Leistungsbeiwert cp ist das Verhältnis zwischen der Primärenergie (der Wind, der durch die Rotorfläche hindurchweht) und der produzierten Endenergie (die Elektrizität). Er gibt also an, wie effizient eine Windkraftanlage ist. Der theoretisch mögliche Höchstwert liegt bei 0,59. Moderne Anlagen erreichen heute einen Wert um 0,5. Vor drei Jahren lagen die meisten Anlagen am Markt noch bei 0,43 bis 0,47.<sup>2 3</sup>

<sup>1</sup>Quelle: Enercon: [http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/veranstaltungen/Windenergie\\_in\\_Deutschland/Entwicklung%20der%20Windenergie-technik.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/veranstaltungen/Windenergie_in_Deutschland/Entwicklung%20der%20Windenergie-technik.pdf)

<sup>2</sup>Quelle: <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/groesser-geht-nicht-effizienter-schon;1351780>

Zugleich sind die Maschinen heute drehzahlvariabel konzipiert. Die Anbindung an das Stromnetz erfolgt damit über einen Frequenzumrichter, womit die Anlagen über keine fixe Drehzahl mehr verfügen müssen, die sich an der Netzfrequenz bemisst. In der Folge können sich die Windräder auch schon bei geringen Windgeschwindigkeiten drehen und sie können durch kurzfristige Beschleunigung Böen besser ausnutzen.

Solche Optimierungsprozesse am Gesamtsystem wurden zum Teil nur möglich, weil die Hersteller der Anlagen - anders als in den Anfängen - heute die wesentlichen Komponenten selbst fertigen. Sie sind daher besser aufeinander abgestimmt, was die Erträge und die Haltbarkeit verbessert.

Auch die Datenkommunikation verbessert die Stromausbeute. Denn durch die Fernüberwachung sinken die Ausfallzeiten, und es steigen die Erträge. Die Schalldiagnose ist in den Anlagen als Instrument der Betriebsüberwachung heute etabliert. Und der Blitzschutz der Anlagen wurde verbessert - etwa durch integrierte Blitzableiter in den Flügeln.

### **Neue Generatorkonzepte verbessern die Effizienz**

Ein wichtiger Anteil an den Verbesserungen basiert auf der Generatorentwicklung. Ein Beispiel ist der Ringgenerator: Er braucht kein Getriebe, weil der Rotor direkt mit dem Läufer des Generators gekoppelt ist. Die Maschinen werden dadurch nicht nur effizienter, sondern auch leiser und verschleißärmer.

Auch der Einsatz permanenterregter Generatoren ist ein Fortschritt. Denn diese können bei Volllast auf einen Wirkungsgrad von 98 Prozent kommen und liegen damit leicht über den klassischen Synchronmaschinen, die 97 Prozent erreichen. Zudem können Generatoren mit Permanentmagneten um 30 bis 40 Prozent leichter konstruiert werden als vergleichbare Maschinen herkömmlicher Bauart, und sie können auch um ein Viertel kleiner dimensioniert sein.<sup>4</sup>

Seinen größten Vorteil gegenüber dem klassischen Generator weist die Permanentmagnet-Technik bei Teillast auf. Voraussetzungen für den Bau solcher Hochleistungsmagneten waren neue Materialien auf Basis seltener Erden wie Neodym, die überhaupt erst in den vergangenen 15 Jahren hergestellt werden konnten. Erst damit ließen sich Permanentmagneten fertigen, die nicht nur eine ausreichend hohe Energiedichte mitbringen, sondern auch noch ausreichend stabil sind gegen Entmagnetisierung.

### **Sonstige Weiterentwicklungen**

Windkraftanlagen übernehmen zunehmend auch Dienstleistungen im Sinne des Stromnetzes, sie tragen zum Beispiel im Falle von Netzfehlern zur Spannungs- und Frequenzhaltung bei. Das ist inzwischen in der Systemdienstleistungsverordnung geregelt. Antrieb war auch hier in vielen Fällen ein Bonus im EEG, der es für die Betreiber attraktiv machte, die Anlagen aufzurüsten. Das wiederum motivierte die Hersteller zu den nötigen technischen Innovationen.

Die Integration des Windstroms ins Netz wurde außerdem durch verbesserte Windprognosen erleichtert. Inzwischen liegt der durchschnittliche Fehler nur noch bei rund vier Prozent in der

---

<sup>3</sup> Quelle: <http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungsbeiwert/>

<sup>4</sup> Quelle: <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/groesser-geht-nicht-effizienter-schon;1351780>

Vortagesprognose. Dieser sogenannte RMSE-Wert (root mean square error) errechnet sich aus der Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers.<sup>5</sup>

### Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung

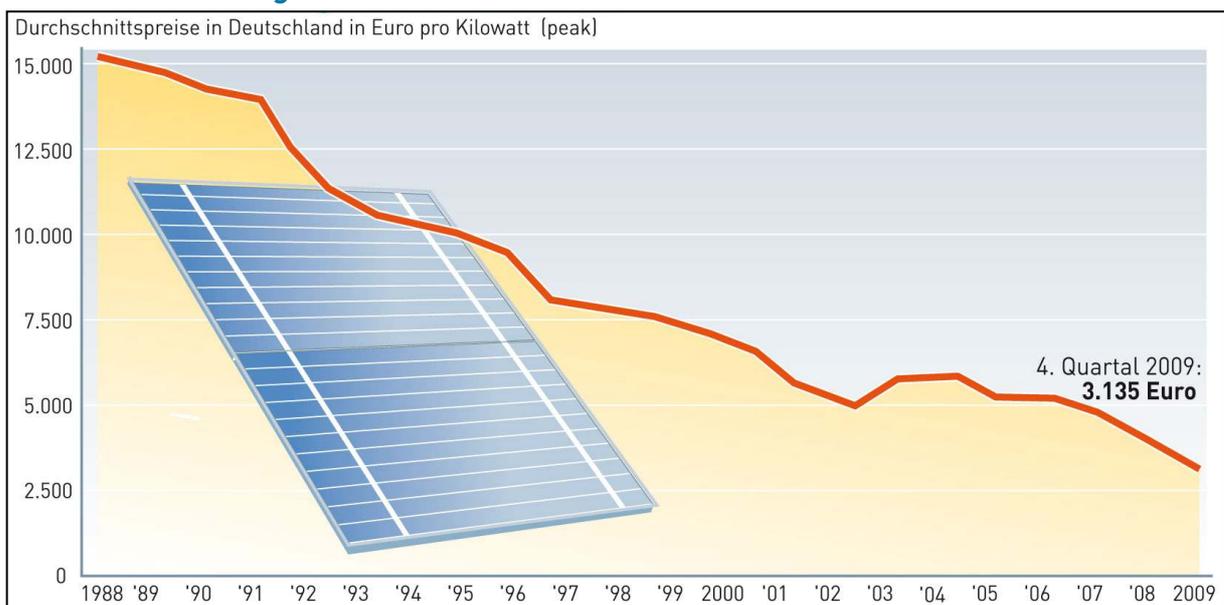
Weitere Erfahrungen sind noch nötig vor allem hinsichtlich der Korrosion bei Offshore-Anlagen und möglicher Schäden durch Sand an Wüstenstandorten. Entwicklungsbedarf besteht heute außerdem noch bei Kleinwindkraftanlagen, die bisher im EEG nicht berücksichtigt werden und daher auch im Markt kaum vertreten sind.

## Photovoltaik

Einer der entscheidenden Fortschritte der Photovoltaik ist der kontinuierliche Preisrückgang, der fast stetig entlang der Lernkurve der Wirtschaftstheorie erfolgte.

So brachte jede Verdopplung der weltweit produzierten Menge einen Preisrückgang von 15 bis 20 Prozent. Im Jahr 1990 kostete das Kilowatt noch rund 14.000 Euro (Systemkosten), im Jahr 2000 lag der Preis nur noch bei 7000 Euro, und für das letzte Quartal 2009 gibt die Branche nun einen Durchschnittspreis von 3135 Euro an.

### Kostenentwicklung der Photovoltaik



Quellen: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Bundesverband Solarwirtschaft

### Die Preisrückgänge wurden erzielt durch eine Vielzahl von Faktoren

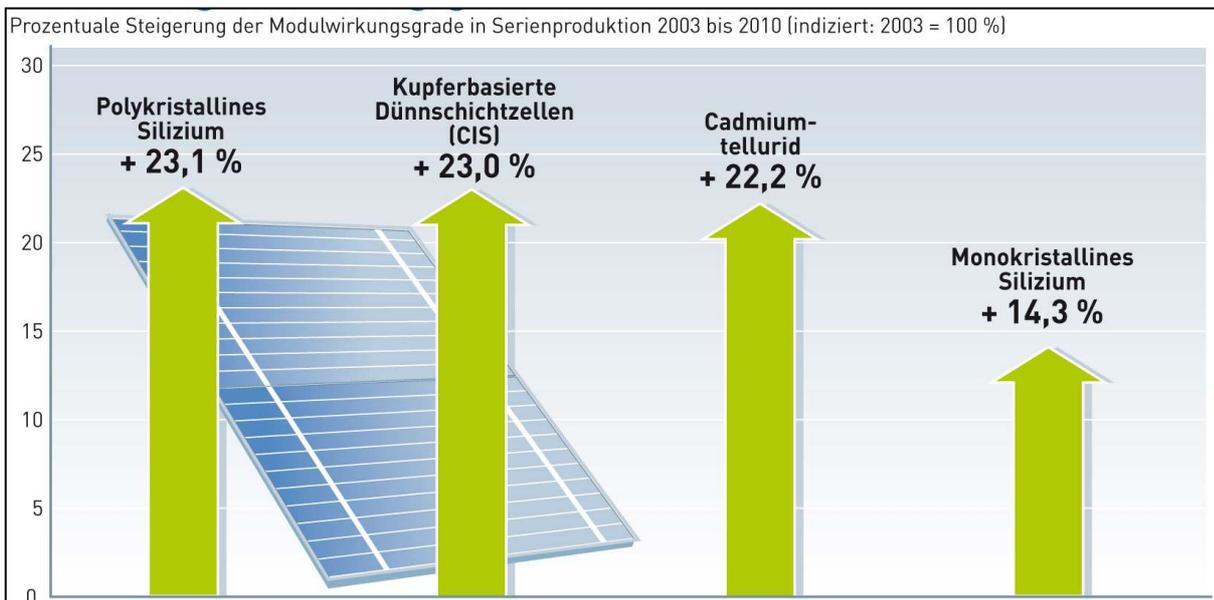
Ein wichtiger Aspekt ist die Materialersparnis: Heute werden für kristalline Siliziumzellen üblicherweise Wafer von rund 200 Mikrometer Dicke genutzt. Vor fünf Jahren noch waren in der Branche 300 Mikrometer üblich. Weitere enorme Materialeinsparungen sind technisch möglich, Forscher haben schon mit 40-Mikrometer-Wafern experimentiert. Doch bislang müssen sie diese herstellen, indem sie dickere Wafer entsprechend schleifen, was weder ökonomisch noch technisch eine praktikable Lösung für eine Massenfertigung ist. Wenn sich dünnere Wafer industriell problemlos fertigen und verarbeiten lassen, sind auch Dicken unter 100 Mikrometer möglich.

<sup>5</sup> Quelle: Auskunft Firma Energy & Meteo Systems, Oldenburg

Entscheidend für die Preisrückgänge war ferner der Ausbau größerer Produktionslinien. Anlagen zur Herstellung von Siliziumzellen werden heute von den Anlagenbauern schlüsselfertig angeboten, sind also keine Einzelfertigung mehr. So ließen sich Skaleneffekte in erheblichem Umfang erzielen.

Außerdem kam den Kosten zugute, dass die Wirkungsgrade der Module durch bessere Zellen gesteigert wurden, was die benötigte Fläche pro Kilowatt reduzierte und damit wiederum den Preis. Denn viele Kostenkomponenten sind flächenproportional. Anfang der achtziger Jahre lagen die Module noch bei rund acht Prozent Wirkungsgrad. Im Jahr 2003 erreichten die klassischen Silizium-Module eine Stromausbeute von 13 Prozent, heute kommen die durchschnittlichen Module am Markt auf 16 Prozent und Spitzenprodukte bis auf fast 20 Prozent. Ausschlaggebend für die Wirkungsgradverbesserungen sind unter anderem immer bessere Dotierungs-, Beschichtungs- und Kontaktierungsverfahren.

### Entwicklung der Wirkungsgrade von Solarzellen



Quelle: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie

Auch der Energieverbrauch bei der Herstellung sinkt immer weiter. Heute liegt die energetische Amortisationszeit einer Solaranlage inklusive aller Systemkomponenten wie Wechselrichter bei Einsatz kristalliner Siliziummodule unter den deutschen Einstrahlungsbedingungen etwa bei 3,5 Jahren. Anlagen mit Dünnschichtmodulen liegen noch weitaus darunter.<sup>6</sup>

### Weitere erzielte Verbesserungen

Auch die Lebensdauer der Module wurde verbessert: Bis in die frühen neunziger Jahren hinein gab es noch Module am Markt, die deutliche Leistungseinbußen bis hin zum Totalausfall nach einigen Jahren zeigten. Eindringende Feuchte war das Hauptproblem. Doch die Branche hat seither viel gelernt. Die Qualität wird heute durch harte Tests gesichert, denen die Hersteller ihre Produkte unterziehen. Es sind Verfahren zur beschleunigten Alterung. Beim "Damp-Heat-Test" zum Beispiel werden die Module über einen Zeitraum von 1000 Stunden (also rund sechs Wochen) einer Umgebung von 85 Grad Celsius und 85 Prozent Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Ein weiterer Test ist der Stresstest, der Temperaturschwankungen zwischen 85 Grad und minus 40 Grad umfasst. Diese Testverfahren sind

<sup>6</sup> Quelle: Auskunft Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V. (FEE)

bereits in einer Norm festgeschrieben. So zeigen Feldtests auch in der Praxis, dass die Anlagen, die nach der Jahrtausendwende installiert wurden, in der Regel höhere Jahreserträge pro installiertem Kilowatt bringen, als die Anlagen aus der Frühzeit der Photovoltaik.

### **Ertragsgewinn und Kostensenkung der Photovoltaik hängen nicht alleine an den Modulen, sondern auch am Wechselrichter**

Auch die Konverter haben einen deutlichen Preisrückgang erlebt: Von 1990 bis 2004 hat sich der Preis der Geräte pro Watt halbiert, was fünf Prozent Preisrückgang im Jahr ausmacht. Bis heute ist der spezifische Preis gemessen an 1990 sogar um mehr als 75 Prozent gefallen.<sup>7</sup> Zugleich stieg der Wirkungsgrad: Die Ausbeute netzgekoppelter Wechselrichter ist seit 1990 von rund 90 Prozent bis heute auf Spitzenwerte von fast 99 Prozent angestiegen.

Und auch die Lebensdauer – in der Anfangszeit waren Ausfälle der Wechselrichter die häufigste Fehlerquelle – wurde stetig verbessert: Inzwischen sind Wechselrichter so konzipiert, dass sie mindestens zwei Jahrzehnte überstehen sollten. Der so genannte MTBF-Wert, was für Mean Time Between Failures steht, für die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen, liegt inzwischen bei 100.000 Stunden.

### **Photovoltaikanlagen erbringen auch Netzdienstleistungen**

Auch Photovoltaikanlagen sind heute nicht mehr nur Einspeiser, die ungerührt von der Situation im Netz ihre Energie liefern. Sie dienen auch zunehmend der Spannungstabilisierung: Anlagen, die Solarstrom ins Mittelspannungsnetz einspeisen, müssen sich nach der novellierten Mittelspannungsrichtlinie "während der Netzeinspeisung an der Spannungshaltung beteiligen können"; das wird dann "statische Spannungshaltung" genannt. Ziel ist es, im normalen Betriebsfall "die langsamen Spannungsänderungen im Verteilungsnetz in verträglichen Grenzen" zu halten.

Photovoltaikanlagen können auch helfen, Zusammenbrüche des Netzes zu verhindern: Unter dem Stichwort "dynamische Netzstützung" sollen die Anlagen zudem bei Spannungseinbrüchen im Hoch- und Höchstspannungsnetz einem Netzzusammenbruch entgegen wirken. Früher konnten Spannungseinbrüche dazu führen, dass die Solaranlagen kaskadenartig abschalteten, und damit den Spannungseinbruch noch verstärkten.

Und schließlich können die Anlagen auch Blindleistung liefern: Als nächster Schritt ist nun auch eine Novelle der Niederspannungsrichtlinie in Arbeit. Es ist davon auszugehen, dass damit alle neuen Solaranlagen, die ins Niederspannungsnetz speisen, an der Spannungshaltung beteiligt werden. Sie werden nach Bedarf auch kapazitive oder induktive Blindleistung bereitstellen müssen.

### **Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung**

Sowohl bei der Erhöhung der Wirkungsgrade durch neue Verfahren und neue Halbleiter, als auch bei der Senkung der Produktionskosten sind weitere Anstrengungen erforderlich. Die zunehmenden Aufgaben zugunsten des Stromnetzes erfordern einige Anpassungen an der Hard- und Software der Wechselrichter.

---

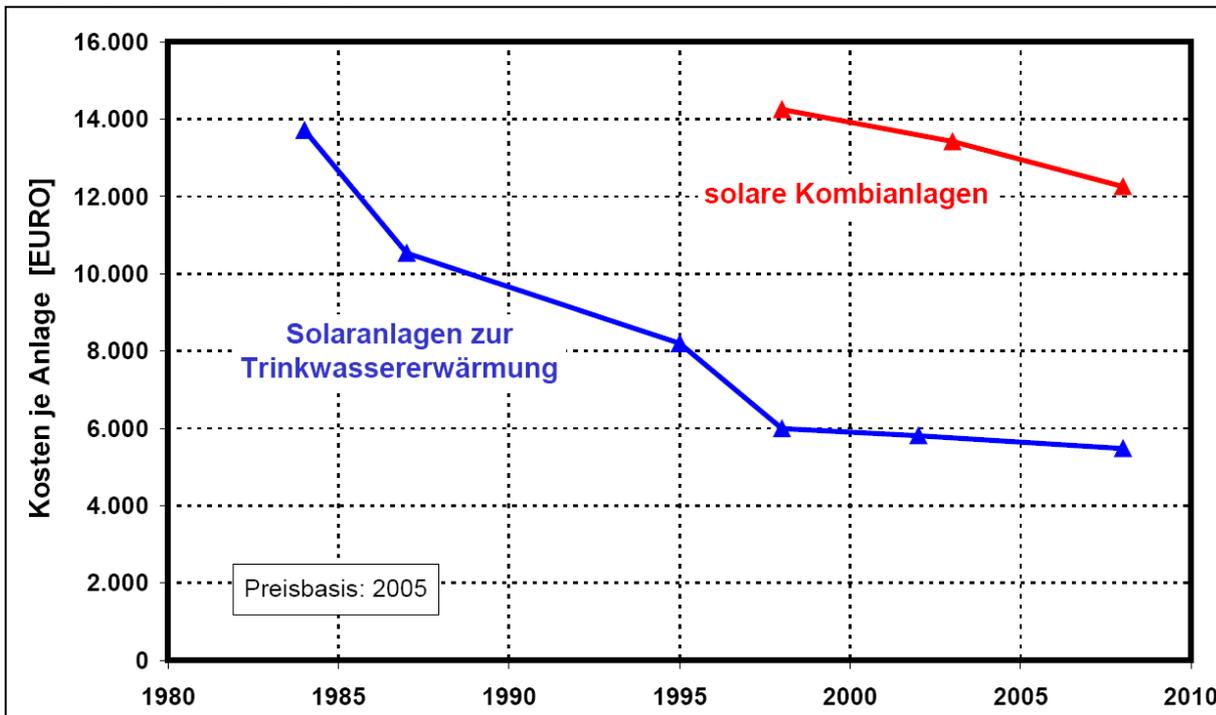
<sup>7</sup> Quelle: Auskunft Firma SMA

## Solarthermie

Solarkollektoren und die zugehörigen Systemkomponenten sind in den letzten Jahren und Jahrzehnten immer günstiger geworden. Gemessen an der Wärmeleistung liegt der nominale Preis einer solarthermischen Anlage heute bei 45 Prozent dessen, was man zwanzig Jahre zuvor bezahlen musste. Es gibt mehrere Gründe für die Kostensenkung: Die Kupferbleche werden dünner gemacht, es werden mitunter alternative Metalle (etwa Aluminium an Stelle von Kupfer) eingesetzt und man nutzt heute neue Schweißverfahren, häufig mit Laser.<sup>8</sup>

### Entwicklung der durchschnittlichen Kosten für thermische Solaranlagen in Deutschland

inkl. MwSt. und Installation



Quelle: Veröffentlichungen der Stiftung Warentest

Die Erträge von Flachkollektoren wurden gleichzeitig verbessert. Branchenkenner gehen von einer Ertragserhöhung von etwa 0,5 Prozent pro Jahr aus.<sup>9</sup> Dies geschieht einerseits durch bessere Isolation und Doppelverglasung, sowie durch verbesserte Gläser (Kalknatrongläser statt Borosilikat). Zudem wurden die selektiven Beschichtungen der Absorberbleche verbessert, die eine möglichst hohe Absorption erreichen müssen. Auch die Antireflexschichten auf den Scheiben spielen eine wichtige Rolle. Sie sind zwar grundsätzlich aus der Fertigung optischer Gläser bekannt, doch die Solarthermie stellt zusätzliche Anforderungen: Die Beschichtungen müssen großflächig im industriellen Maßstab zu fertigen sein, sie müssen preisgünstig sein, und sie müssen den Umweltbedingungen über Jahrzehnte standhalten.

Die Ausbeute von Röhrenkollektoren wurde zudem gesteigert durch dahinter liegende schwache Konzentratoren.

Nicht zuletzt dadurch konnten die Preise der Kollektoranlagen stetig gesenkt werden.

<sup>8</sup> Auskunft Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V. (FEE)

<sup>9</sup> Auskunft Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS), Universität Stuttgart

## Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung

Der Umgang mit Stagnation ist noch eine Herausforderung: In sonnigen Zeiten, wenn keine Wärme abgenommen wird, können die Kollektoren durch Überhitzung beschädigt werden. Besonders bei Großanlagen kann das Probleme bereiten. Eine Möglichkeit sind schaltbare Verglasungen, deren Transparenz bei Gefahr von Überhitzung reduziert werden kann.

Auch am verstärkten Einsatz von Kunststoffen in Kollektoren wird noch geforscht. Sowohl preislich könnten Kunststoffe nämlich attraktiv sein, zudem ließe sich damit bei einer stark zunehmenden Nachfrage nach Solarkollektoren ein möglicher Engpass bei metallischen Ressourcen vermeiden. Die Herausforderung besteht darin, Stoffe zu finden, die sowohl hohen Temperaturen als auch hohem Druck standhalten. In der Theorie denkt man zudem über Absorberschichten nach, die bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur ihr Absorptionsverhalten ändern und die eingestrahlte Energie verstärkt wieder abstrahlen.

Neben den Kollektoren verdienen auch die Wärmespeicher große Aufmerksamkeit. Neben Wassertanks, die etwa durch Vakuum-Dämmung immer effizienter werden, kommen auch Speicher mit Phasenwechselmaterialien (Latentwärmespeicher) und vor allem thermochemische Speicher in Betracht. Vor allem die thermochemischen Speicher, bei denen zwei Substanzen beim Befüllen getrennt werden (endotherme Reaktion) um sie bei Wärmebedarf wieder zusammen zu bringen (exotherme Reaktion), gelten als große Option für die Zukunft.

Zudem gilt es grundsätzlich Großanlagen zur Nutzung von Prozesswärme aus der Nische zu holen. Dies muss unter anderem durch Standardisierung der Technik geschehen.

## Biogas

Die Methanausbeute wurde durch verbesserte Einbringung des Substrates und Prozessüberwachung erhöht. Zudem ermöglichen neue Gärverfahren eine optimale Anpassung der Vergärung an das jeweilige Substrat. Ein Beispiel ist die Feststoffvergärung (auch Trockenfermentation genannt).

Zugleich wurde die Technik der Blockheizkraftwerke fortentwickelt, was zu höheren Wirkungsgraden führte: Otto-Gasmotoren, die 1994 noch einen Vollast-Wirkungsgrad von rund 34 Prozent hatten, kommen heute auf rund 42 Prozent. In gleichem Stil haben sich auch die Wirkungsgrade bei Teillast erhöht. Dabei beruhen die Fortschritte vor allem auf der Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses und der Verkürzung der Brenndauer. Zudem wurde die Ventilsteuerung durch den Miller-Prozess optimiert. Dabei werden die Verschlusszeiten der Ventile variabel gestaltet, wodurch sich neue Spielräume der Leistungs- und Wirkungsgradoptimierung ergeben.<sup>10</sup> Auch die Schadstoffemissionen wurden durch das Magermotorkonzept einerseits und durch die verbesserte Abgasnachbehandlung vermindert. Dabei spielen ausgefeilte Sensorsysteme eine wichtige Rolle.

Ebenso wie die Otto-Gasmotoren erzielen auch die Zündstrahlmotoren heute eine deutlich höhere Ausbeute als noch vor zehn Jahren. Im Jahr 2000 lagen die Wirkungsgrade hier bei 36 bis 38 Prozent, inzwischen ist ein Wirkungsgrad von 47 Prozent möglich, 50 Prozent werden bereits angepeilt. Zugleich konnte der Einsatz von Zündöl in den Motoren reduziert werden: Vor zehn Jahren noch war ein Anteil von 8 bis 10 Prozent für die Stützfeuererzeugung verbreitet. Heute kommen die Anlagen serienmäßig mit zwei bis drei Prozent Zündöl aus, auf dem Prüfstand erzielen sie sogar schon Werte von nur noch 0,5 Prozent.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Präsentation: Jenbacher (GE) „Moderne Motorentechnik“, Apr. 2010

<sup>11</sup> Auskunft Firma Schnell, Amtzell

Große Fortschritte wurden auch erzielt bei der Aufbereitung des Biogases zu Biomethan. Die erste Anlage wurde 2006 gebaut, Ende 2009 waren bundesweit bereits 30 Biogasanlagen am Gasnetz angeschlossen

### **Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung**

Der Gärprozess muss noch weiter entwickelt werden. Bislang wird die Biomasse zumeist in einem Bottich vergoren, künftig soll das Verfahren in zwei bis drei Schritten in verschiedenen Fermentern ablaufen. Auch bei der Verwertung von Bioabfällen besteht noch ein Bedarf zur Optimierung der Prozesse. Die Aufbereitung des Substrates ist oft noch nicht optimal gelöst.

## **Feste Biomasse (Holzkraftwerke und Holzpellettheizungen)**

Bei den großen Biomassekraftwerken hat es die größten Fortschritte bei der Kraftwerkstechnik gegeben. So wurden – angeschoben auch durch den Innovationsbonus im EEG – sogenannte ORC-Anlagen fortentwickelt. Der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) ist eine sehr effiziente Alternative zur Dampfturbine. Er bietet sich vor allem bei relativ niedrigen Verbrennungstemperaturen an, die bei kleinen Holzkraftwerken gegeben sind.

Unter den kleinen Anlagen sind vor allem die Pelletsheizungen fortentwickelt worden; hier wurde vor allem die Betriebsführung verbessert: Die Störungsanfälligkeit der Kessel hat damit deutlich abgenommen. Ausschlaggebend dafür sind mechanische Reinigungsmechanismen, etwa an der Brennerschale und den Wärmetauschern. Diese können Verschlackungen beseitigen, die zu Betriebsstörungen führen können.

Parallel wurden die Emissionen durch präzisere Verbrennungssteuerung und Verbrennungsüberwachung verringert. Auch die Optimierung der Rauchgasführung über den Brennraum sorgt für einen besseren Ausbrand der Abgase (sogenannte primäre Emissionsminderung). Auch bei der sekundären Emissionsminderung (Filtersysteme) hat es Fortschritte gegeben. Und schließlich wurde die Leistung modulierbar, was den Einsatzbereich von Pellettheizungen deutlich erweitert hat

### **Weiterer Bedarf an Forschung und Entwicklung**

Zukünftig müssen die Emissionswerte weiter verbessert werden.

## **Fazit**

Die Erneuerbaren Energien haben durch die Markteinführung im Rahmen des EEG und des MAP nicht nur quantitativ eine stürmische Entwicklung erlebt, sondern auch aus technologischer Sicht Fortschritte erzielt, die vor zehn Jahren kaum absehbar waren. Durch eine Fortsetzung des Marktanzweizes in Form langfristig gesicherter Einspeisevergütungen bei der Stromerzeugung und Investitionsbeihilfen im Wärmesektor kann die Entwicklung in den nächsten Jahren fortgeschrieben werden. Neue technologische Durchbrüche und geringere Kosten der Anlagen werden damit auch in Zukunft zu erzielen sein.

**Agentur für Erneuerbare  
Energien e. V.**

Reinhardtstr. 18  
10117 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

[kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

ISSN 2190-3581

[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)

