

Der Weg zum Energieland Hessen

Das Ziel:

**100% erneuerbare Energien im Strommarkt
in Hessen bis 2025**



Herausgeber: EUROSOLAR e.V., unter der Mitarbeit von Fabio Longo, Matthias Willenbacher, Christian Hinsch, Peter Glasstetter und Stephan Grüger

Copyright-Hinweis:

Vervielfältigung und Weitergabe an Dritte – auch auszugsweise – nur nach schriftlicher Freigabe des Herausgebers!

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Zielsetzung

1 Der gegenwärtige Stromsektor in Hessen – von atomaren und fossilen Energiequellen geprägt

1.1 Die „Drei E“ – Strategie zum Wandel in der Energiewirtschaft:

- 1.1.1 Energie sparen**
- 1.1.2 Energieeffizienz steigern**
- 1.1.3 Erneuerbare Energien ausbauen**

1.2 Kriterien für die Zusammensetzung eines erneuerbaren Energiemixes

2 Ausbaupotenziale und Netzintegration erneuerbarer Energien

2.1 Windenergie – Ausbaupotenziale in Hessen

2.2 Solarstrom – Ausbaupotenziale in Hessen

2.3 Bioenergie – Ausbaupotenziale in Hessen

2.4 Wasserkraft – Ausbaupotenziale in Hessen

2.5 Geothermie – Ausbaupotenziale in Hessen

2.6 Hessische Ausbaupotenziale bis 2025 – Zusammenfassung

2.7 Die Preisentwicklung bei der erneuerbaren Energie

2.8 Netzintegration erneuerbarer Energien

- 2.8.1 Nutzung bestehender Energiespeicher**
- 2.8.2 Intelligentes Energiemanagement**
- 2.8.3 Ausbau virtueller Kraftwerke**
- 2.8.4 Weiterentwicklung von vorhandenen Speichertechnologien**
- 2.8.5 Das regenerative Kombikraftwerk – ein Beispiel aus der Praxis**
- 2.8.6 Energieautarke Einheiten**
- 2.8.7 Zusammenfassung**

3 Vorreiter der Energiewende: Die wirtschaftliche Bedeutung

- 3.1 Erneuerbare Energien - Motor für den Arbeitsmarkt**
- 3.2 Regionale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien**
- 3.3 Referenzobjekte im Bereich erneuerbare Energien**
- 3.4 Wer wird die Nummer Eins?
Die Landesliga für nachhaltige Entwicklung**

4 Ausblick und Zukunftsoptionen

Herausgeber: EUROSOLAR e.V.

Autoren: Fabio Longo, Matthias Willenbacher, Christian Hinsch, Peter Glasstetter und Stephan Grüger

Stand: 15. Januar 2008, Version 1.0

Vorwort

„Auf dem Weg zum Energieland Hessen“

Das Bundesland Hessen ist gegenwärtig Schauplatz eines politischen Konfliktes um die Stromversorgung, in dem sich zwei konträre Positionen gegenüberstehen: die eines weitgehenden Festhaltens an den überkommenen Strukturen der Stromerzeugung auf der Basis von Atomkraftwerken und Kohlekraftwerken, die auf zwei Standorte konzentriert sind, und die einer Umorientierung auf erneuerbare Energien bei zeitnahe Verzicht auf Atomstromproduktion und eine Ablehnung neuer fossiler Großkraftwerke.

Was die Konfliktlage in Hessen von anderen Bundesländern, in denen es durchaus ähnliche Konflikte gibt, unterscheidet, ist der von den jeweiligen Konfliktseiten gewählte Zeitrahmen: Während die Protagonisten der konventionellen Stromversorgung auf eine Verlängerung der Laufzeiten der Atomkraftwerke von durchschnittlich 32 Jahren, so wie es das Gesetz zur Beendigung der Atomenergienutzung von 2001 vorsieht, auf bis zu 60 Jahre setzt, plädieren die Protagonisten für einen deutlich schnelleren und vollständigen Umstieg auf erneuerbare Energien als es andernorts der Fall ist.

Das folgende Szenario zeigt, dass die Wende zu erneuerbaren Energien tatsächlich bis etwa 2025 möglich ist. Sie beschreibt im einzelnen, in welcher Weise – das heißt, durch welchen Mix aus erneuerbaren Energien – sich dieses vollziehen kann, unter Berücksichtigung vorhandener wirtschaftlich-technischer Mittel und der finanziellen Erfordernisse. Voraussetzung ist ein darauf bezogener politischer Handlungswille mit politischer Konsequenz.

Nachfolgend zeigen wir für den Stromsektor ein Szenario am Beispiel des Landes Hessen auf, wie nicht nur eine saubere Stromerzeugung realisiert werden kann, sondern diese auch zu mehr Unabhängigkeit und mehr regionaler Wertschöpfung sowie vielen neuen Arbeitsplätzen verhilft. Diese praktische Vision lebt bereits in Anfängen und kann in einem Zeitraum von weniger als zwei Jahrzehnten umgesetzt werden. Es handelt sich um einen Grundriss eines mit verfügbaren Technologien erreichbaren Strukturwandels.

Wir bitten ausdrücklich um weitere Anregungen und Verbesserungsvorschläge. Auch wir werden dieses Papier kontinuierlich ergänzen, aktualisieren und überarbeiten, weil laufend mehr praktische Realisierungschancen mit verbesserten Technologien und neuen Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden.

Zielsetzung

1972 hat der Club of Rome erstmals die „Grenzen des Wachstums“ aufgezeigt. Viele weitere Berichte, Kommissionen sowie Konferenzen folgten. Spätestens seit dem „Erdgipfel“ der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro ist der Begriff **„Nachhaltige Entwicklung“** etabliert und definiert: als eine Entwicklung, die die Bedürfnisse gegenwärtiger Generationen befriedigt, ohne die Handlungsmöglichkeiten zukünftiger Generationen einzuschränken.

Mehr als *15 Jahre* sind seit Rio vergangen, und zahlreiche Akteure aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft versuchen seitdem, das Motto dieser Konferenz umzusetzen: **think global, act local!** Spätestens nach der Veröffentlichung der jüngsten Berichte der Vereinten Nationen zum weltweiten Klimawandel dürfte jedem klar sein: Wir müssen schnell handeln, wenn wir das Klima und somit unsere Lebensgrundlagen sichern wollen!

Heute ist in weiten Teilen der Gesellschaft die Einsicht vorhanden, dass schnelles Handeln notwendig ist. Die Klimaveränderungen, die wir in den nächsten Jahren noch stärker spüren werden, haben ihre Ursache in dem seit Jahrzehnten ansteigenden Ausstoß klimaschädigender Treibhausgase. Ein „Weiter so“ darf es nicht geben. **Der Klimawandel würde nicht nur zahlreiche Regionen unbewohnbar machen, viele Menschen zur Migration zwingen und neue Völkerwanderungen auslösen. Er wäre auch für uns – in den gemäßigten Regionen – mit immensen wirtschaftlichen Folge- und Anpassungskosten verbunden.**

Bei allen Bekenntnissen zum Ausbau der erneuerbaren Energien sind die aktuellen Entwicklungen und Diskussionen im Energiesektor von stark konkurrierenden Ausbauszenarien geprägt: Sollen wir an der Atomenergie festhalten und einen „Ausstieg vom Ausstieg“ einleiten? Oder bauen wir neue Kohlekraftwerke und nutzen so weiterhin überwiegend fossile Brennstoffe mit den bekannten Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Natur? Stellen wir heute die falschen Weichen für die künftige Struktur des Kraftwerkparcs, so zementieren wir für mehrere Jahrzehnte auch die Struktur des künftigen Energiemixes. Notwendige Investitionen in neue, saubere Energiequellen werden somit blockiert.

Nachfolgend möchten wir für den Stromsektor ein Szenario aufzeigen, welches in Hessen **eine saubere Energieerzeugung** gewährleistet, zu **mehr Unabhängigkeit** und **mehr regionaler Wertschöpfung** führt sowie **viele neue Arbeitsplätze** schafft.

Das Ergebnis: Schon im Jahr 2025 könnte der komplette Strombedarf in Hessen aus erneuerbaren Energien erzeugt werden: mit modernsten Windturbinen und Photovoltaik-Anlagen, mit Bioenergie- und Geothermie-Projekten sowie mit neuen Wasserrädern. Mit einem intelligenten Energiemix kann sich das Land Hessen autonom versorgen – was wir ohnehin spätestens dann tun müssen, wenn fossile und nukleare Rohstoffe verbraucht sind.

Die praktische Vision für Hessen: 100 Prozent Strom aus erneuerbaren Energiequellen bis zum Jahr 2025

Dieses Szenario ist ein realistisches Ziel, das sich in Zusammenarbeit mit Kommunen und Landespolitik, mit Unternehmen und Verbänden sowie den Einwohnern von Hessen umsetzen lässt und dem Land und seinen Bürgern **eine weltweite Vorreiterrolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien** sichern kann.

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für einen konsequenten Ausbau von Sonne, Wind & Co. sind gegeben. Die gesellschaftliche Unterstützung für einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien – das zeigen alle Umfragen – ist ebenfalls vorhanden. Die Energietechniken sind verfügbar und werden kontinuierlich effizienter. Die bestehenden Energiemanagementsysteme – dazu zählen Regelsysteme, Speichertechnologien und so genannte „virtuelle Kraftwerke“ – entwickeln sich stetig weiter. Das Zusammenspiel von effizienter Energienutzung und Energieeinsparung mit einem intelligenten Energiemix aus allen möglichen erneuerbaren Energiequellen lässt sich optimieren. Altbewährtes lässt sich verbessern, Erfindungen und Innovationen werden hinzukommen. Immer wieder jedoch wird bestritten, dass eine Vollversorgung mittels erneuerbarer Energien möglich sei.

Wie wenig stichhaltig dieser Einwand ist, lässt sich leicht verdeutlichen, wenn man die durch Solarstrahlung eingebrachte Energiemenge auf der Erdoberfläche betrachtet.

Die Sonne ist die mit Abstand bedeutendste Energiequelle für unseren Planeten. Letztlich beruhen auch Wind- und Wasserenergie sowie die in der Biomasse gespeicherte Energie auf der Solarstrahlung, da die in ihnen enthaltene Energie auf die durch physikalische oder biologische Prozesse umgewandelte Sonnenenergie zurückgeht. Jährlich erreicht die Erdoberfläche per Sonneneinstrahlung eine Energiemenge von etwa $3,9 \cdot 10^{24}$ Joule, was $1,08 \cdot 10^{12}$ Gigawattstunden (GWh) oder dem 10.000fachen des jährlichen Weltprimärenergiebedarfs entspricht. Zurzeit liegt der globale Primärenergiebedarf bei 107.000.000 GWh ($= 1,07 \cdot 10^{14}$ kWh) pro Jahr. Der Weltstrombedarf besitzt daran mit ca. 18.000.000 GWh ($= 0,18 \cdot 10^{14}$ kWh) pro Jahr einen Anteil von etwa 17%. In Deutschland werden zum Vergleich jährlich rund 4.100.000 GWh Primärenergie und 540.000 GWh (540 Mrd. Kilowattstunden) elektrischer Strom nachgefragt.

In Deutschland beträgt die jährliche solare Strahlungsenergie etwa 1.000 kWh pro Quadratmeter. **Daraus ergibt sich, dass allein die auf der hessischen Landesfläche einfallende Solarenergie etwa dem 600fachen des derzeitigen Stromverbrauchs entspricht.** Selbst der gesamte deutsche Stromverbrauch wird von der in Hessen eingestrahlten Energiemenge noch um nahezu das 40fache übertroffen.

	Fläche	Jährlich eingestrahlte Sonnenenergie	Verhältnis Sonnenenergie zu Stromverbrauch	Stromverbrauch
Hessen	21.114 km ²	21.000.000 GWh	600:1	35.000 GWh
Deutschland	357.092 km ²	357.000.000 GWh	660:1	540.000 GWh
Welt	510.000.000 km ²	1.080.000.000.000 GWh	60.000:1	18.000.000 GWh

Mit dem derzeitigen technischen Entwicklungsstand ist es nicht möglich, 100% der eingestrahlten Solarenergie nutzbar zu machen. Die angeführten Zahlen verdeutlichen aber, dass es nur um die Erschließung eines minimalen Teils der eingestrahlten Sonnenenergie geht, der mittels unterschiedlicher Techniken – Wind- und Wasserkraftanlagen, Photovoltaikmodule oder Biogas- und Biomassekraftwerke – in Sekundärenergie (z.B. elektrischer Strom) umgewandelt werden muss. Ausgehend von einem Wirkungsgrad von 15% bei der Stromerzeugung würde z.B. im Falle Hessens etwas mehr als 1 % der eingestrahlten Energie zur Deckung des gegenwärtigen Strombedarfs ausreichen.

Die Politik kann mit entsprechenden Maßnahmen den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien flankieren. Das heißt beispielsweise, durch entsprechende Anreize und vereinfachte, unbürokratische Genehmigungsverfahren die benötigten Flächen für den Aufbau regenerativer Kraftwerke bereitzustellen oder die Nutzung dieser Flächen zu ermöglichen und zu fördern. Zusätzlich könnte ein Wettbewerb zwischen den Landkreisen oder Gemeinden dazu beitragen, möglichst schnell das 100-Prozent-Ziel zu erreichen.

Dass wir – bei weltweit steigender Energienachfrage und schwindenden Ressourcen – irgendwann unseren kompletten Energiebedarf mit erneuerbaren Energien decken müssen, steht außer Frage. **Bestimmt werden muss das Tempo und entschieden werden muss, ob man zu den Vorreitern oder den Nachzügler gehören will.**

Ein Umstieg von der heute noch weitgehend zentralen, überwiegend auf Importen basierenden Energieversorgung hin zu einer dezentralen und auf einheimischen regenerativen Energieträgern aus der Region basierenden Energieerzeugung würde zahlreiche volkswirtschaftliche Vorteile mit sich bringen. Wird die Vorreiterrolle gewählt und Hessen zum „Kompetenzzentrum für erneuerbare Energien“, so ergeben sich daraus im Jahr 2025 in mehrfacher Hinsicht folgende Vorzüge:

- **eine saubere Energieversorgung**
- **dauerhaft stabile Strompreise mit Erzeugungskosten von wenigen Cent pro kWh, deutlich unterhalb der zu erwartenden Erzeugungskosten konventioneller Kraftwerke**
- **eine Unabhängigkeit von Energieimporten**
- **mehr Versorgungssicherheit durch viele dezentrale Kraftwerke**
- **Investitionen von 22 Milliarden Euro im Land Hessen**
- **jährliche Umsatzerlöse aus dem Betrieb regenerativer Kraftwerke von rund zweieinhalb Mrd. Euro und damit eine Erhöhung der regionalen Wertschöpfung**
- **weit über 60.000 neue Arbeitsplätze**
- **gute Chancen auf dem wachsenden Weltmarkt für die Techniken**
- **neue Attraktionen im Land, da sich das Ergebnis auch touristisch vermarkten lässt.**

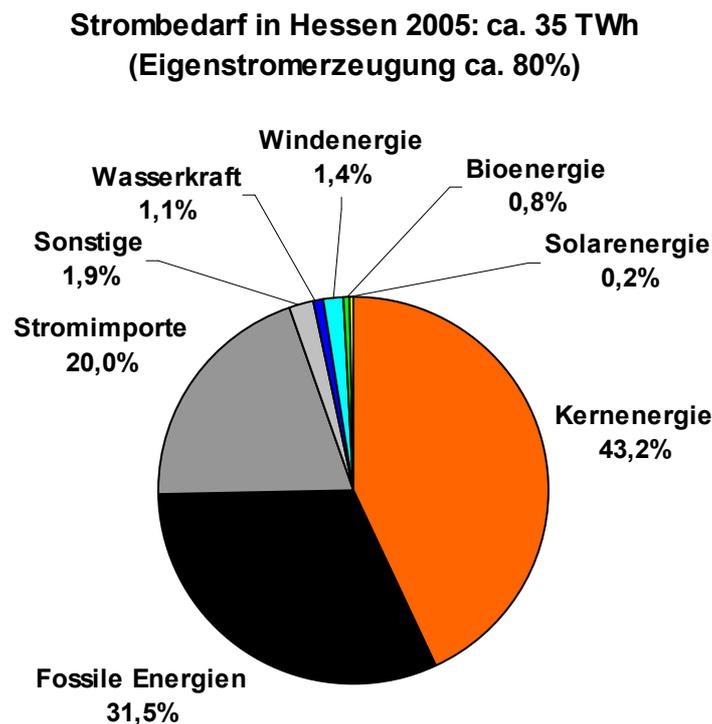
Mit den folgenden Überlegungen zeigen wir die Entwicklung in dieser Richtung auf, stellen neue **Informationen und Erkenntnisse bereit und bauen** vor allem manches **Vorurteil ab**. Auch wollen wir die **Vorstellungskraft erweitern**: Als das erste Auto über die Straßen rollte, hielten es viele für eine „Höllmaschine“. Die erste Eisenbahn wurde ebenso belächelt wie der erste Computer für den Hausgebrauch. Und heute? Fast jeder Haushalt hat einen PC und einen PKW, jeder nutzt ganz selbstverständlich die Bahn – warum sollten ausgerechnet erneuerbare Energien nicht schon in Kürze „Dinge des Alltags“ sein?

Wir zeigen, dass schon heute mit den bestehenden Potenzialen und Techniken ein rein erneuerbarer Energiemix in Hessen erreichbar ist. Dabei dürfen allerdings die Ansprüche an die erneuerbaren Energien nicht unverhältnismäßig höher sein als an konventionelle Energien. Weder heute noch morgen können zentrale Großkraftwerke, wie der lange Stillstand des Atomkraftwerks Biblis in Südhessen beispielhaft zeigt, eine komplette Selbstversorgung sichern. Auch diese Großkraftwerke werden immer wieder für Wartungs- und Reparaturzeiten ihren Betrieb – geplant und ungeplant – einstellen müssen und sind somit auf ein funktionierendes Verbundnetz angewiesen. Deshalb wäre es unredlich, vom Ausbau der erneuerbaren Energien in Hessen zu verlangen, dass dieser das Land unbedingt zu einer autarken „Energieinsel“ machen müsste.

Im Gegensatz zu anderen Zukunftsszenarien setzen wir vor allem auf bestehende Techniken, auch im Bereich der Energiespeicherung. Denn neben der Tatsache, dass Biomasse, Wasserkraft und Geothermie zur Grundlastversorgung dienen, haben sie den Vorteil, dass sie gleichzeitig auch als direkte Speichertechnologien verwendet werden können. Vor allem die Biomasse und Wasserspeicher an Laufwasserkraftwerken haben einen großen Vorteil gegenüber allen anderen indirekten Speichern, wie beispielsweise Batterien und Wasserstoff: Da bei ihrer Nutzung als Speicher **keine zusätzlichen Umwandlungsverluste** wie beispielsweise beim Wasserstoff auftreten, sind Biomasse und Wasserkraft gegenüber anderen Technologien die kostengünstigste und effektivste Form der Speicherung. Biogasanlagen beispielsweise können in zweifacher Art und Weise als Speichertechnologie dienen: Zum einen kann der Rohstoff gespeichert werden, bevor er dem Vergärungsprozess zugeführt wird, zum anderen kann das erzeugte Biogas gespeichert werden, bevor es in einem Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt wird. Ähnlich verhält es sich mit Wasserkraftwerken, die über ein ausreichend dimensioniertes Speicherbecken verfügen: Bei viel Wind und/oder Sonnenschein wird der Abfluss (und damit die Turbinenleistung) des Wasserkraftwerks reduziert, und das auflaufende Wasser füllt den Speicher. Bei Windstille und dunklem Himmel fließt mehr Wasser aus dem Becken über die Turbinen ab, und der Pegel im Speicherbecken sinkt. Ergänzen lassen sich diese Systeme durch Pumpspeicher- und Druckluftkraftwerke.

1 Der gegenwärtige Stromsektor in Hessen – von atomaren und fossilen Energiequellen geprägt

Hessen gehört zu den Bundesländern, die den größten Teil ihres allgemeinen Strombedarfs von rund 35 TWh (entspricht 35 Milliarden Kilowattstunden) aus Kernenergie und fossilen Energien gewinnen. Etwa 28 TWh werden im Land erzeugt, der Rest (ca. 7 TWh) wird importiert.

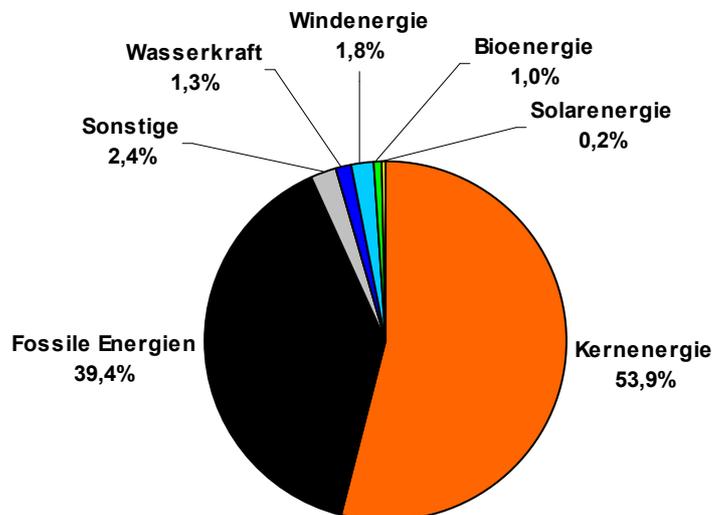


Situation 2005: Bei der Eigenstromerzeugung in Hessen hängt derzeit noch nahezu der komplette Markt von zu importierenden Energie-Rohstoffen ab. Ein Fünftel des Strombedarfs wird direkt durch Stromimporte gedeckt.

Der Anteil der Stromerzeugung im Land Hessen beträgt rund 80 Prozent. Hiervon basieren wiederum fast 95% auf Rohstoffen (Uran, Gas, Kohle), die ins Bundesland importiert werden müssen. Daraus folgt: **Hessen ist in großem Maße abhängig von Brennstoff- und Energieimporten.** Wer die Entwicklung an den weltweiten Rohstoffmärkten verfolgt, muss daher feststellen: **Von Versorgungssicherheit kann unter diesen Umständen keine Rede sein!**

Die Aufteilung der eigenen Stromerzeugung im Land (Kraftwerke der allgemeinen Versorgung, Industriekraftwerke und regenerative Energien) ist derzeit wie folgt:

**Eigenstromerzeugung in Hessen 2005: ca. 28 TWh
(Strombedarf ca. 35 TWh)**



Struktur der Stromerzeugung im Land Hessen 2005

Den größten Anteil steuern derzeit noch atomare und fossile Brennstoffe bei, wobei Steinkohle gegenüber Erdgas mit einem Anteil von etwa 60% bei den fossilen Energieträgern überwiegt. Unter den erneuerbaren Energien spielt die Windkraft mit 1,8% die größte Rolle. Ihr folgt die Wasserkraft mit 1,3%. Bioenergieanlagen (1%) oder Solarenergie (0,2%) spielen heute nur eine marginale, die Geothermie (0,0%) überhaupt noch keine Rolle.

Insgesamt trugen 2005 die erneuerbaren Energien in Hessen nur knapp 4,5% zur Eigenstromerzeugung bei; das entspricht einer Energiemenge von rund 1,2 Mrd. kWh. Bezogen auf den Stromverbrauch beträgt ihr Anteil etwa 3,5%. Das ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von mittlerweile fast 15% beschämend wenig.

Um den Anteil der erneuerbaren Energien im Stromsektor deutlich zu erhöhen, bedarf es entsprechend vieler Standorte für Wind-, Solar- und Bioenergie-Anlagen. Die Antwort auf den dafür erforderlichen Flächenbedarf gibt ein kurzer Blick in die Statistik über Bodenflächen in Hessen. Das Land Hessen verfügt über eine Gesamtfläche von über zwei Millionen Hektar (exakt: 2.111.494 Hektar), verteilt über 5 kreisfreie Städte und 21 Landkreise. Die Aufteilung der Bodenfläche in Hessen ist dabei wie folgt:

Landwirtschaftsfläche (42,6%)	899.318 ha
Waldfläche (40,0%)	845.480 ha
Siedlungs- und Verkehrsfläche (15,1%)	319.670 ha
„sonstige Flächen“ (2,3%)	47.026 ha
Summe	2.111.494 ha

Wie wir in den nachfolgenden Kapiteln zeigen werden, reichen Bruchteile dieser Flächen aus, um eine hundertprozentig regenerative Stromversorgung in Hessen zu erreichen.

Ein Umstieg von der heute hochgradig zentralen, überwiegend atomaren und fossilen Energieversorgung hin zu einer dezentralen und auf regenerativen Energieträgern aus der Region basierenden Energieerzeugung würde zahlreiche volkswirtschaftlichen Vorteile mit sich bringen, die wir an dieser Stelle wie folgt zusammenfassen möchten:

- 1. keine teuren Rohstoff- und Energieimporte mehr
-> die Wertschöpfung bleibt im Inland vor Ort**
- 2. mehr Arbeitsplätze in den Regionen**
- 3. durch die Vielzahl von Anbietern entsteht mehr Wettbewerb; der zu geringeren Energiepreisen als bei monopolähnlichen Strukturen führt**
- 4. Die Beschäftigung mit der Energieerzeugung führt zu einem anderen Umgang mit dem Thema Energie und damit auch zu mehr „Energiebewusstsein“**
- 5. Dezentrale Kombikraftwerke erzeugen neben Strom auch Wärme und tragen so zu mehr Effizienz in der Energieversorgung bei.**

Eine konsequente „100%-Erneuerbare-Energien-Strategie“ ergibt die Möglichkeit, vom Atomstrom- und Stromimporteur-Land zum Selbstversorger oder sogar zum Strom- und Technologieexporteur zu werden. Warum jedes Jahr Milliardenbeträge in die Kassen großer Energiekonzerne zahlen und in fernen Ländern wie Russland die Taschen von Oligarchen füllen? Warum behalten wir nicht die Wertschöpfung vor Ort? So verringern wir unsere Abhängigkeit, die derzeit – siehe Grafik – in ganz Deutschland sehr hoch ist.

Abhängigkeit Deutschlands von Energieimporten	
Nettoimporte von Energieträgern 2004	
Kernenergie (Uran)	100 %
Mineralöl	96,1 %
Naturgase	83,2 %
Steinkohle	60,7 %

1.1 Die „Drei-E“-Strategie zum Wandel in der Energiewirtschaft

Im Mix der regenerativen Energien lässt sich schon in wenigen Jahren **ein sicheres, umweltfreundliches, von Importen unabhängiges und preisstabiles Energieversorgungssystem** auch in einer Industrienation wie Deutschland aufbauen. Das Erneuerbare Energien Gesetz ist neben Anstrengungen zum Energiesparen und zur effizienten Energienutzung das zentrale Instrument zur Umsetzung dieser Strategie. **Energie sparen, Energieeffizienz steigern und Erneuerbare Energien ausbauen.**

1.1.1 Energie sparen

Die Verringerung des Energiebedarfs kann sowohl in Industrie und Gewerbe als auch tagtäglich im eigenen Heim verwirklicht werden. Beispiele hierfür gibt es viele: Energiesparlampen, der Stand-By-Betrieb vieler Geräte, wie PC, Fernseher etc., Haushaltsgeräte mit positiven Effizienzklassen, usw. Zusätzlich kann man durch die Verwendung eines Strommessgeräts anderen bisher nicht wahrgenommenen Stromverbräuchern auf die Spur kommen. Durch die Senkung des Energieverbrauchs senken die Verbraucher zudem auch ihre Kosten und durch die verminderte Nachfrage auch die Kosten für Energie allgemein. Das gilt natürlich nicht nur für den Stromsektor, sondern auch für den Wärme- und Verkehrsbereich.

Ein weiterer Punkt ist die Beachtung von Energieeffizienzklassen beim Kauf von Haushaltsgeräten. So können immense Einsparungen beim Stromverbrauch erzielt werden, die die Mehrkosten bei der Anschaffung mehrfach auffangen. Ein gutes Beispiel sind Energie-Sparlampen, die nicht nur eine höhere Lebensdauer besitzen, sondern auch weniger Strom benötigen. Insbesondere beim Einsatz in öffentlichen Gebäuden, auf Gehwegen und sonstigen öffentlichen Einrichtungen kann die öffentliche Hand bewusst eine Vorbildfunktion für die Gesellschaft übernehmen.

1.1.2 Energieeffizienz steigern

In zahlreichen Bereichen der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs lassen sich ungenutzte Potenziale zur Effizienzsteigerung aufzeigen. So führt die bislang vorherrschende Stromerzeugung in zentralen Großkraftwerken allein durch lange Übertragungswege zum Verbraucher zu Leitungsverlusten. Diese addieren sich in Deutschland auf einen Anteil von 4,3% an der Stromproduktion. Je näher also der Produktionsort an den Ort des Energieverbrauches rückt, umso niedriger fallen die Leitungsverluste aus. Der Ausbau einer dezentralen Energieversorgung, deren Merkmal die breite räumliche Streuung von Windturbinen als auch Solar-, Biomasse-, Biogas-, Wasser- und Geothermie-Kraftwerken ist, zeichnet sich daher prinzipiell durch eine höhere Effizienz aus.

Während bei der herkömmlichen Energieerzeugung in fossil oder nuklear befeuerten Kraftwerken, die nur für Stromerzeugung ausgelegt sind, die Wärme ungenutzt verloren geht, wird bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nicht nur der Strom, sondern auch die Wärme verwendet. Dadurch wird ein wesentlich höherer Nutzungsgrad (bis zu 95%) bei gleichzeitiger Einsparung von Brennstoffen erreicht. Auch bei Bioenergie- und Geothermie-Kraftwerken lässt sich die Stromerzeugung mit der Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung kombinieren.

Im Wohnbereich lohnt sich in der Regel eine energetische Sanierung, bei der nicht nur Fragen der Wärmedämmung, wie z.B. bei einem Passivhaus, berücksichtigt werden, sondern auch gleichzeitig effiziente Formen der Heizung und Energieversorgung mit eingebracht werden. So kann ein Mini-Blockheizkraftwerk im Eigenheim einen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 90 Prozent erreichen. Das bedeutet nicht nur ein Höchstmaß an Energieeffizienz, sondern vor allem auch verringerte CO₂-Emissionen zum Wohle der Umwelt. Zum Vergleich: Bei der zentralen Stromerzeugung gehen im Kraftwerk und beim Stromtransport bis zu zwei Drittel der Primärenergie verloren.

Nicht nur im privaten Bereich lassen sich Effizienzsteigerungen erzielen, sondern auch im öffentlichen Bereich. Darunter fallen zum Beispiel Büro- und Verwaltungsgebäude, Bildungseinrichtungen, Verkaufsstätten, Sportgebäude, Krankenhäuser, Seniorenheime, Hotels und Gaststätten. Diese Gebäude benötigen

- zum einen Haustechnik: Beleuchtung, Lüftung, Klimatisierung, diverse Technik wie Aufzug, Fahrtreppen, Pumpen
- zum anderen Betriebstechnik: Arbeitshilfen wie Computertechnik, Kopierer, Telefone und zentrale Dienste wie Küchen, Telefonanlagen, Server.

Hier lassen sich durch den konsequenten Ausbau von neuen, energieeffizienteren Geräten trotz anfänglich evtl. höherer Investitionskosten erhebliche Effizienzsteigerungen und damit Einsparungen erzielen.

In der Industrie lassen sich ebenfalls viele Prozesse energieeffizienter durch variable Prozessparameter betreiben. So lässt sich allein im Bereich der elektrischen Antriebstechnik durch den Einsatz von Drehstrommotoren im Bremsbetrieb elektrische Energie zurückgewinnen, wie dies z.B. schon seit Jahren bei einer Vielzahl von elektrischen Lokomotiven der Deutschen Bahn der Fall ist. Darüber hinaus lassen sich nicht benötigte Nebenprozesse in der Industrie zeitweise ganz abschalten oder ganze Prozesse in ihrem Ablauf energetisch optimieren.

1.1.3 Erneuerbare Energien ausbauen

Bundesweit steuern die erneuerbaren Energien heute knapp 15 Prozent zur Stromerzeugung bei. Die Windenergie ist mittlerweile zur wichtigsten erneuerbaren Energiequelle aufgestiegen.

In vielen Regionen Deutschlands wird es möglich sein, schon in kurzer Zeit den Anteil an regenerativen Energien im Strommix deutlich zu steigern. So geht etwa eine aktuelle Prognose des Verbandes der Netzbetreiber (VDN) davon aus, dass der Anteil der erneuerbaren Energien 2013 bereits ein Viertel des deutschen Strombedarfes decken wird. Kommunen, Landkreisen und Bundesländern bietet sich hier die Möglichkeit, durch eine konsequente Umsetzungspolitik eine Vorreiterrolle einzunehmen und sich so auf Jahre hinaus ein großes Stück vom Zukunftsmarkt „Umweltfreundliche Energiewirtschaft“ zu sichern.

Ein gängiger Einwand gegen den zügigen Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung lautet, dass er die Strompreise massiv in die Höhe treiben werde. Richtig ist, dass Strom aus erneuerbaren Energien ohne den Vergütungsrahmen nach dem EEG gegenüber der konventionellen Stromerzeugung auch heute noch nicht konkurrenz- und wettbewerbsfähig ist. Allerdings muss dabei hervorgehoben werden, dass bei einer Einpreisung aller negativen externen Kosten der konventionellen Energieerzeugung (z.B. die Folgekosten durch CO₂-Emissionen) die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien schon heute gegeben wäre. Dies trifft insbesondere auf die Windkraft an Land zu, die sogar ohne Berücksichtigung der externen Kosten voraussichtlich bis 2010 die Wettbewerbsfähigkeit erreichen dürfte.

Bei der Betrachtung und Beurteilung der durch die Erneuerbaren Energien entstehenden Kosten sind nicht die Vergütungszahlungen nach dem Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) entscheidend, sondern vor allem die im EEG gesetzlich definierten Differenzkosten. Sie geben den Wert an, der sich aus dem Unterschied zwischen den von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) an die Betreiber von Erneuerbare-Energie-Anlagen gezahlten Vergütungen und dem durchschnittlichen Strombezugspreis des EVU ergibt, der ohnehin von jedem Stromverbraucher über die Stromrechnung zu begleichen ist. Die Differenzkosten werden in der Praxis in Form der EEG-Umlage von den EVU über den Strompreis auf den Stromkunden übertragen. Im Jahr 2006 beliefen sich die Differenzkosten laut EEG-Erfahrungsbericht auf etwa 3,3 Mrd. Euro. Im Durchschnitt lag die EEG-Umlage für den privaten Stromverbraucher im Jahr 2006 bei etwa 0,7 Cent pro Kilowattstunde.

Bei steigenden konventionellen Strompreisen ist jedoch damit zu rechnen, dass die Differenzkosten mittelfristig sinken und bei Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien schließlich gänzlich entfallen.

Mehrere Faktoren sprechen dafür, dass die Erzeugung konventionellen Stroms in den kommenden Jahren deutliche Kostensteigerungen erfahren wird. Dazu gehören in erster Linie die Investitionen, die bei der Errichtung neuer konventioneller Kraftwerke amortisiert werden müssen, und steigende Brennstoffkosten. Angesichts der Endlichkeit und der im weltweiten Maßstab räumlich stark konzentrierten Lagerstätten von Gas- und Ölreserven werden die Importpreise für diese Energieträger zwangsläufig steigen. Einhergehend mit dem stark wachsenden Energiebedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer steigt bereits gegenwärtig der Preis für Kohle. Zudem haben auch die Preise für konventionelle Kraftwerkstechnik aufgrund der hohen Nachfrage angezogen. Nicht zuletzt wird die Einpreisung der externen Kosten der konventionellen Stromerzeugung, die im Zuge des Emissionshandels über die teilweise Versteigerung von CO₂-Zertifikaten ab 2008 beginnen wird, zu einer weiteren Erhöhung der Erzeugerkosten führen.

Demgegenüber kann der Strom aus erneuerbaren Energien in den kommenden Jahren immer günstiger produziert werden, denn mit Ausnahme der Bioenergie fallen dabei nur Technikkosten und keine Brennstoffkosten an. Die Technikkosten sinken zudem bei wachsender industrieller Anlagenproduktion (Maßstabsvorteile oder *economies of scale*) sowie durch Technologiesprünge, die bei jungen Technologien größer ausfallen als bei schon lange etablierten Technologien. Insgesamt ergibt sich daraus, dass eine übermäßige Kostensteigerung auch bei einem beschleunigten und vermehrten Ausbau nicht zu erwarten ist. Vielmehr wird nur der Ausbau erneuerbarer Energien zur Stabilisierung der Strompreise beitragen.

1.2 Kriterien für die Zusammensetzung eines erneuerbaren Energiemixes

Ein Szenario für Hessen mit dem Ziel, bis 2025 den Jahresstrombedarf zu 100 Prozent mit Strom aus erneuerbaren Energien zu decken, muss die Fragen beantworten: **Welche regenerativen Energiequellen werden das sein? Welches sind die Kriterien für den Strommix der Zukunft? Für die Antwort darauf beziehen wir uns auf die aus heutiger Sicht, technisch machbaren und wirtschaftlichen Optionen nach folgenden Kriterien**

- **Kostenstruktur**
- **Rohstoffabhängigkeit**
- **Flächenbedarf**
- **Stand der technologischen Entwicklung**
- **Vermeidung einer Überproduktion von Strom**

Gegenüber konventionellen Energiequellen haben allein erneuerbare Energien – wie die nachfolgende Grafik zeigt – energetische Amortisationszeiten. Während in fossilen und atomaren Kraftwerken Ressourcen für immer verloren gehen, stehen uns Sonne, Wind und Wasser nahezu unbegrenzt zur Verfügung. Deshalb haben diese Kraftwerke schon nach wenigen Monaten die Energiemenge erzeugt, die für Planung, Bau, Betrieb und spätere Entsorgung benötigt werden.

Energiebilanz von Kraftwerken	
Energieträger	Energetische Amortisationszeit (für Herstellung, Betrieb und Entsorgung)
Windkraft	4 bis 7 Monate
Wasserkraft	9 bis 13 Monate
Photovoltaik	2 bis 5 Jahre
Konventionelle Kraftwerke	nie

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Dass die Windenergie mittlerweile bundesweit eine führende Rolle unter den erneuerbaren Energien erlangen konnte, liegt vor allem an ihrer Effizienz und ihrer günstigen Kostenstruktur. Für Anlagen, die im Jahr 2008 in Betrieb gehen, erhalten Betreiber regenerativer Kraftwerke folgende Vergütungssätze (für 20 Jahre fest):

**Energieform Vergütung bei Inbetriebnahme im Jahr 2008
(in Cent pro kWh)**

Windenergie	ca. 5 (Basisvergütung); ca. 8 (erhöhte Vergütung)
Wasserkraft	ca. 10 (bis 500 kW)
Bioenergie	ca. 11 (Grundvergütung bis 150 kW)
Geothermie	ca. 15 (bis 5 MW)
Photovoltaik	ca. 47 (Dachanlage bis 30 kW); ca. 36 (Freiflächenanlagen)

Das EEG sieht für die einzelnen regenerativen Energieträger unterschiedliche Degressionsraten für Neuanlagen vor. Im Einzelnen betragen diese Absenkungsraten des Vergütungssatzes:

Energieform Jährliche Degression für Neuanlagen

Windenergie	2,0%
Wasserkraft	0,0%
Bioenergie	1,5%
Geothermie	1,0% (erstmalig zum 01.01.2010)
Photovoltaik	5,0% (Dachanlagen); 6,5% (Freiflächenanlagen)

Daraus ergeben sich – unter der Annahme einer weitgehend unveränderten Fortsetzung des EEG – folgende Vergütungssätze für Neuanlagen, die im Jahr 2025 in Betrieb genommen werden:

**Energieform Vergütung bei Inbetriebnahme im Jahr 2025
(in Cent pro kWh)**

Windenergie	ca. 3,5 (Basisvergütung); ca. 5,5 (erhöhte Vergütung)
Wasserkraft	ca. 10,0 (bis 500 kW)
Bioenergie	ca. 9,0 (Grundvergütung bis 150 kW)
Geothermie	ca. 12,0 (bis 5 MW)
Photovoltaik	ca. 19,5 (Dachanlage bis 30 kW); ca. 11,5 (Freiflächenanlagen)

Einen Vergleich der **Flächeneffizienz** der Energieträger zeigt die folgende Übersicht:

**Energieform jährlicher Flächenertrag
(in Kilowattstunden pro Hektar)**

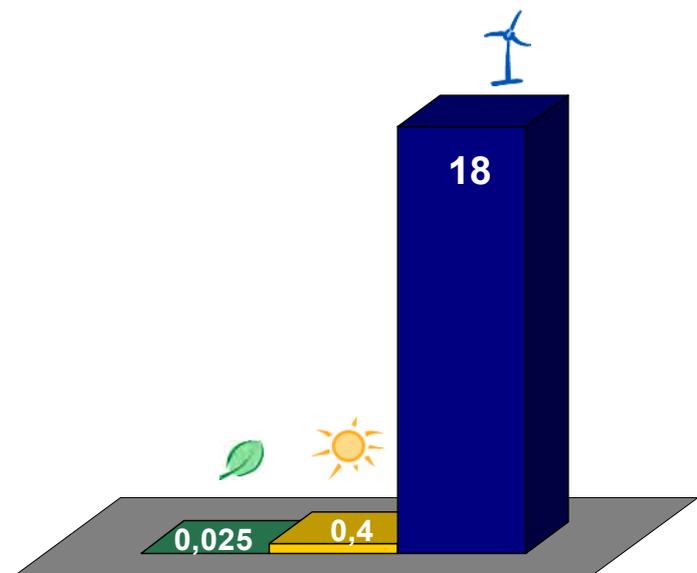
Windenergie	ca. 18,0 Mio. (Einzelanlage der 6-MW-Klasse) ca. 6,0 Mio. (5er Windpark der 6-MW-Klasse)
Photovoltaik	ca. 1,0 Mio. (Schrägdach); ca. 0,4 Mio. (Freifläche)
Biogas	ca. 0,025 Mio. (inkl. Anbaufläche)

Wie zu sehen liefert die Windenergie die mit Abstand größten Erträge. Im Verhältnis zur Stromerzeugung mit nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen beträgt das Verhältnis etwa 720 zu 1.

Windenergie:
Einzelanlage der 6-Megawatt-Klasse

Photovoltaik (PV):
Freiflächenanlage

Bioenergie:
landwirtschaftliche Biogasanlage



Spezifischer Energieertrag in Millionen Kilowattstunden pro Hektar

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Bioenergie aus pflanzlichem Anbau eine besondere Rolle spielt, da sie jederzeit verfügbar ist und damit die natürlichen Angebotstäler von Windstrom (vor allem in Sommerzeiten) und von Solarstrom (vor allem in Winterzeiten) ausgleichen kann. Hinzu kommt die Doppelnutzung von Freiflächen sowohl für die Windkraftnutzung, als auch für den Pflanzenanbau, der auch in einem Windfeld weiter möglich ist – ebenso wie die Doppelnutzung von Flächen zum einen für aufgeständerte Solaranlagen wie z.B. für Graskulturen zur Biogasgewinnung.

Weitere Potenziale sind die Stromerzeugung aus Wasserkraft, die der organischen Abfälle und die der Geothermie. Deren Erschließung ist allerdings – wie wir später noch zeigen werden – mit einigen Fragezeichen versehen. Sie werden jedoch in einem künftigen Energiemix eine wichtige Rolle spielen, vor allem auch als speicherfähige Medien in Ergänzung zur Wind- und Solarenergie.

Bei der Bioenergie müssen diejenigen Ansätze in den Vordergrund gerückt werden, die nicht zu einem mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrierenden Flächenbedarf führen. Dies ist möglich durch den Anbau von Zwischenkulturen für Energiepflanzen, womit eine zweite Ernte eingefahren und gleichzeitig ein Fruchtwechsel vollzogen werden kann. **Die Abhängigkeit von Rohstoffen ist der große Unterschied der Bioenergie gegenüber der rohstofffreien Wind- und Solarenergie.** Diese Abhängigkeit macht den Strom aus Bioenergie-Anlagen über einen langen Zeitraum schwerer kalkulierbar als Strom aus Windgeneratoren und Photovoltaik-Anlagen; weil der Einkaufspreis für die Biomasse nicht über 20 Jahre konstant bleiben kann.

Aufgrund der weltweit zunehmenden Nachfrage kam es 2007 zu unerwartet hohen Preisanstiegen – ausgelöst durch einen Ursachenkomplex aus globalem Bevölkerungswachstum, veränderten Konsumgewohnheiten in den aufsteigenden Schwellenländern, Verlusten von Anbauflächen und regionalen Ernteausschlägen wie etwa 2006 in Australien oder dieses Jahr in der Ukraine. Eine Verteuerung der Verstromung von Biomasse für die Anlagenbetreiber ist die Folge. Umso wichtiger ist es, für die Biogasoption die Verwertung organischer Abfälle stärker als bisher voranzutreiben.

Mit dem zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien wird **ein wachsendes Bewusstsein in der Bevölkerung für Energiefragen** entstehen. Deshalb wird es parallel auch zu einer Steigerung der Energieeffizienz und damit verbunden zu Einsparungen im Stromverbrauch kommen. Entsprechende Initiativen und Kampagnen wurden von der Bundes- und Landespolitik initiiert. Bis 2025 halten wir ein Einsparpotenzial von 30 bis 40 Prozent für erreichbar – für die vorliegenden Betrachtungen gehen wir allerdings konservativ von einer Einsparung von rund 20 Prozent aus. Der Stromverbrauch in Hessen würde dann im Jahr 2025 bei rund 28 Milliarden Kilowattstunden liegen.

Regenerativ erzeugter Strom könnte auch in den Bereichen Wärme und Mobilität eine bedeutende Rolle spielen! Die vorliegende Studie beschränkt sich jedoch auf die Möglichkeiten und den Umbau im Stromsektor und orientiert sich an dem gegenwärtigen Bedarf und Einsparpotenzialen.

Fazit:

Unter Berücksichtigung der genannten Ansätze und insbesondere der Flächenpotenziale in Hessen halten wir eine zu 100 Prozent auf regenerativen Energien basierende Stromerzeugung bis zum Jahr 2025 für erreichbar.

*In den nachfolgenden Kapiteln präsentieren wir - unter Berücksichtigung der Flächenstruktur in Hessen - für die einzelnen Energieträger die jeweiligen Möglichkeiten und Ausbauszenarien. Ein Ergebnis können wir bereits jetzt vorwegnehmen: **Es gibt ausreichend Flächen, es gibt zuverlässige Techniken, und insofern keinen Grund, eine Realisierung dieses Ziels für unrealistisch zu halten.***

Die Windenergie wird als die effektivste, kostengünstigste und eine von Rohstoffen unabhängige Energiequelle die wichtigste Rolle spielen.

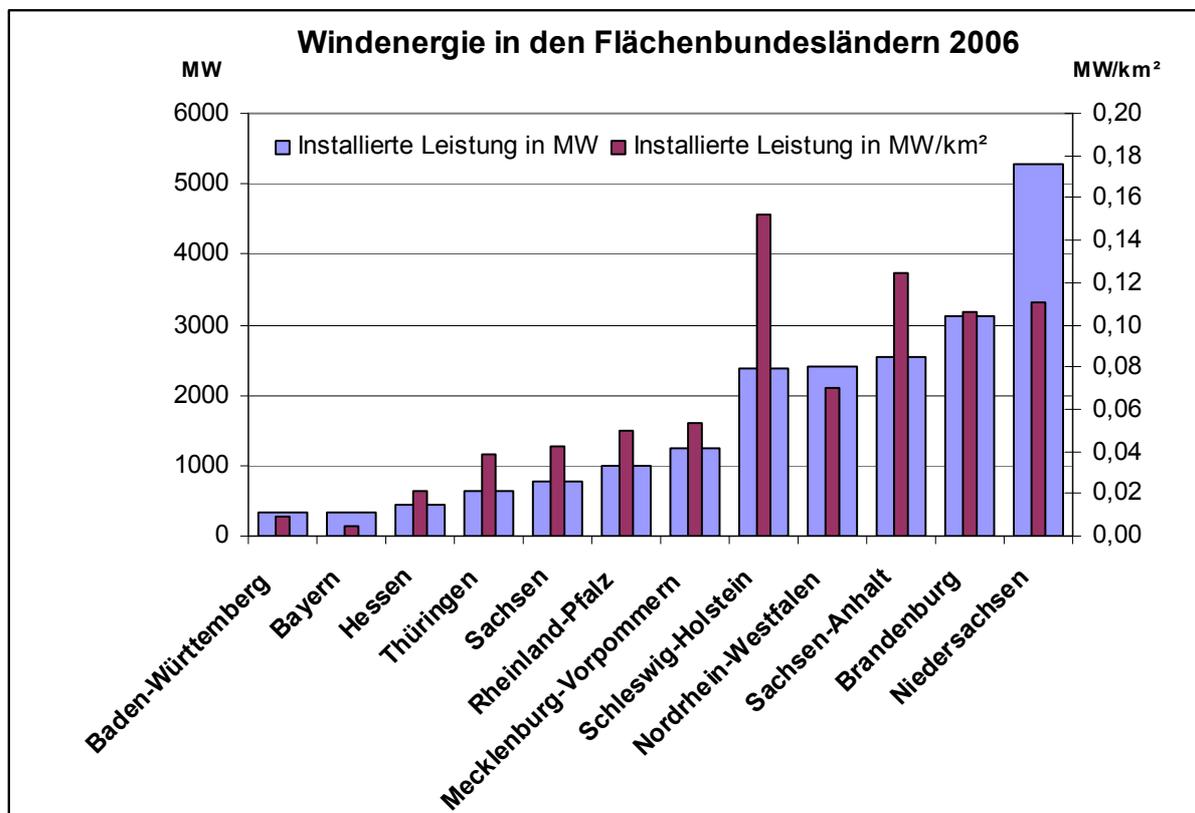
2 Ausbaupotentiale und Netzintegration erneuerbarer Energien

2.1 Windenergie – Ausbaupotentiale in Hessen

In den vergangenen Jahren hat sich Deutschland zum Weltmeister bei der Windenergie-Nutzung entwickelt. Kein anderes Land der Welt produziert mehr Windstrom als Deutschland. Mitte 2007 gab es rund 19.000 Windräder mit einer Gesamtleistung von etwa 21.300 Megawatt. Sie können in einem normalen Windjahr rund 38 Milliarden Kilowattstunden und damit etwa sieben Prozent des deutschen Strombedarfs decken.

Zu den bundesweit führenden Ländern bei der Windenergie-Nutzung zählen Niedersachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein mit zusammen etwa 75 Prozent der installierten Gesamtleistung. In diesen Bundesländern haben sich in den vergangenen Jahren zahlreiche Unternehmen der Windenergie-Branche angesiedelt.

Den größten Windstrom-Anteil im Netz hatte 2007 Sachsen-Anhalt mit 37,5 Prozent, gefolgt von Schleswig-Holstein (ca. 35%) und Mecklenburg-Vorpommern (ca. 33%). Hessen kommt auf weniger als zwei Prozent, obwohl es auch im Mittelgebirgsraum hervorragende Windstandorte – vor allem in Höhenlagen – gibt, die bislang nicht genutzt werden.



Ein Ländervergleich zur Flächenintensität der Windenergienutzung belegt, dass Hessen weit hinter seinem Potenzial zurückbleibt. Selbst den Bundesdurchschnitt von 0,057 MW pro km² installierter Leistung unterschreitet Hessen (0,021 MW/km²) noch deutlich. Nur Baden-Württemberg und Bayern weisen niedrigere Werte auf.

Derzeit stehen in Hessen etwa 550 Windräder mit einer Gesamtleistung von rund 450 MW. Die installierte Windkraft-Leistung pro Anlage beträgt damit im Mittel etwa 820 Kilowatt. Ein Vergleich mit dem bundesdeutschen Durchschnitt (1.120 Kilowatt) verdeutlicht, dass auch die Entwicklung der Windkraft zu höherer Effizienz an Hessen vorbeigegangen ist. Auf dem Markt sind mittlerweile mehrere Anlagen der Fünf- bis Sechs-Megawatt-Klasse verschiedener Hersteller im erfolgreichen Probetrieb. In absehbarer Zeit werden diese Anlagen serienmäßig hergestellt. Sie sind gekennzeichnet durch Nabenhöhen von rund 130 bis 150 Metern sowie Rotorblattlängen von 62 bis 65 Metern. Gegenüber heutigen Anlagen zeichnen sich diese Windräder durch eine geringere Rotordrehzahl aus.

Die Installierung solcher Anlagen kann teilweise an neuen, noch zu erschließenden und besonders windstarken Standorten, teilweise auch im Rahmen des sogenannten Repowerings als Ersatz bestehender, leistungsschwächerer Anlagen erfolgen. Eine Anordnung wäre sowohl als Einzelanlage als auch in Form von Windparks möglich.

Ertragssteigerung durch moderne Windenergie-Technologie

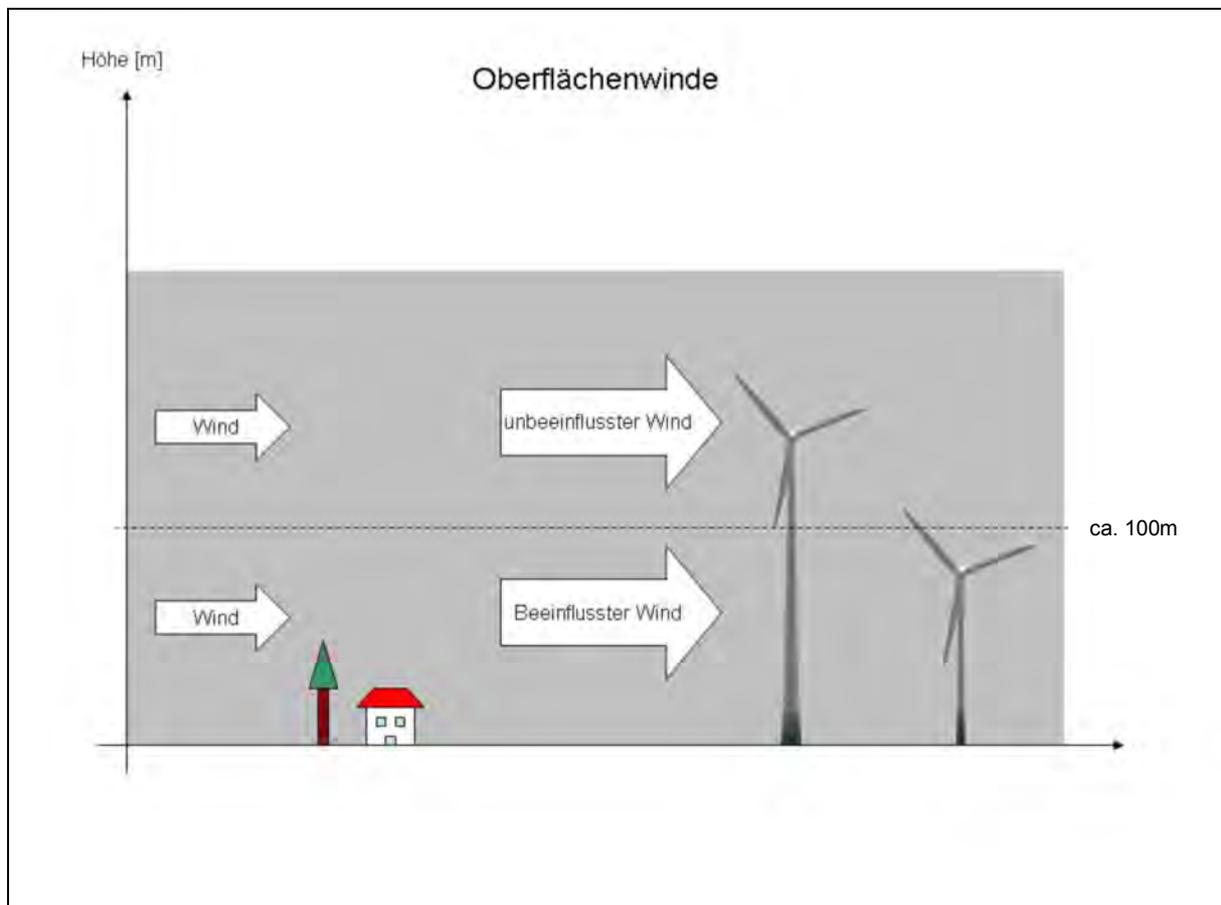
In den letzten 15 Jahren hat sich die Windenergie-Technologie weltweit rasant entwickelt. Während Anfang der Achtzigerjahre ein neues Windrad gerade einmal 35.000 kWh im Jahr erzeugen konnte, sind es heute – rund 25 Jahre später – etwa 500-mal so viel. Die technologische Entwicklung wurde dabei maßgeblich von deutschen Unternehmen und Forschungseinrichtungen geprägt.

Aufgrund dieser verbesserten Technik (höherer Wirkungsgrad, größere Nabenhöhen) wird künftig der durchschnittliche Jahresertrag pro Anlage deutlich gesteigert. Vor allem zwei Aspekte der modernen Windenergie-Technologie, auf die nachfolgend kurz eingegangen werden soll, werden dazu beitragen:

- **höhere Nennleistung & größere Rotoren**
- **höhere Nabenhöhe**

Das wesentliche Kriterium für die Ertragsoptimierung ist eine höhere Nabenhöhe. In der Luftschicht bis ca. 100m, der sogenannten *Prandtschicht*, nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe üblicherweise logarithmisch zu, also zunächst sehr rasch, dann immer langsamer. Ein wichtiger Faktor bei der Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe ist die Rauigkeit der Umgebung. So schwächt eine stark strukturierte Landschaft (z.B. viel Wald und Siedlungen) den Wind tendenziell ab. Auch thermische Effekte (zum Beispiel aufsteigende Warmluft) führen zu eher turbulenten Winden. Oberhalb der Prandtschicht schließt sich die

*Ekman*schiicht an, die kaum oder gar nicht von den genannten bodennahen Effekten beeinflusst wird. Hier herrschen höhere Windgeschwindigkeiten und geringere Turbulenzen. **Da diese starken, konstanten Winde für die Windenergienutzung besonders gut geeignet sind, ist es der effektivste Weg, mit großen Türmen in den unbeeinflussten Luftschichten zu arbeiten.**



Allerdings wird hier die Entwicklung aufgrund der physikalischen Bedingungen nicht grenzenlos weitergehen. Da die Windgeschwindigkeiten oberhalb von 200 m nur noch sehr langsam zunehmen, sind Gesamthöhen der Anlagen von wesentlich mehr als 200 m wirtschaftlich nicht sinnvoll, da eine weitere Erhöhung nur in einem geringen Mehrertrag resultiert. Auch zukünftige Anlagengrößen dürften daher kaum über Turmhöhen von 130 m bis 160 m hinausgehen.

Beispiel Windenergiepark Grebenhain / Hartmannshain

Der erste Windenergiepark Hessens wurde 1991 von der Oberhessischen Versorgungsbetriebe AG (OVAG) zusammen mit dem Land Hessen in Grebenhain - Hartmannshain (Vogelsbergkreis) errichtet und von der gemeinsam gegründeten Windenergiepark Vogelsberg GmbH (WEPV) betrieben. Viele Jahre lang war dieser Windpark ein Test- und Modellprojekt, das Windenergie-Interessierte aus ganz Hessen in den Vogelsbergkreis zog und potentiellen Investoren aus dem In- und Ausland als Anschauungsobjekt diente.

Im Jahr 2003 erhielt die hessenENERGIE GmbH den Auftrag, den Windenergiepark in Hartmannshain-Grebenhain grundlegend zu modernisieren. Im darauffolgenden Jahr konnte dieses für Hessen bisher beispiellose Repowering eines Windparks durchgeführt werden. Sieben leistungsschwächere Altanlagen der ursprünglich acht am Standort vorhandenen Windenergieanlagen mit einem Leistungsspektrum von 30 bis 250 kW, Rotordurchmessern von 4,8 bis 28,5 m und Nabenhöhen zwischen 22,5 und 30 m wurden zurückgebaut. Als Ersatz wurden vier leistungsstarke Anlagen mit 80 Metern Nabenhöhe, Rotordurchmessern von 77 Metern und einer Nennleistung von jeweils 1,5 MW hinzugebaut, die Ende 2004 ihren Betrieb aufnahmen. Verblieben ist außerdem eine 1999 errichtete und technisch modernisierte Windenergieanlage mit 67 Meter Nabenhöhe, einem Rotordurchmesser von 65 Metern und ebenfalls einer Nennleistung von 1,5 Megawatt (MW).

	Hartmannshain A (1991)	Hartmannshain B (1999)	Hartmannshain C (2004)
Anlagentyp	Enercon E 17	Tacke TW 1.5	GE 1.5 sl
Rotordurchmesser	17,2 m	65 m	77 m
Nabenhöhe	30 m	67 m	80 m
Jahresertrag [kWh]	109.420*	1.785.494**	3.185.517**
Jährlicher Ertrag / Rotorfläche	471 kWh/m ²	574 kWh/m ²	684 kWh/m ²

*1999, **2005

Die neuen Anlagen sind technisch so ausgestattet, dass eine wirksame und zuverlässige Drehzahlregelung möglich ist, was die Leistung der Rotoren bei jeder Windgeschwindigkeit optimiert. Eine integrierte Blindleitungsregelung sichert eine konstante Leistungsabgabe mit hohem Wirkungsgrad und guter Netzverträglichkeit. Schon während des ersten Betriebsjahres zeigte sich, dass die neuen Anlagen (C) trotz gleicher Nennleistung **bis zu 78% mehr** Strom als die verbliebene Altanlage (B) produzieren. Die installierte Leistung des Windenergieparks umfasst nun 7,5 MW. Etwa 14 Mio. kWh Strom können jährlich in das Netz der OVAG einspeist werden – das entspricht dem Jahresbedarf von ca. 4.500 Haushalten.

Copyright-Hinweis:

Vervielfältigung und Weitergabe an Dritte – auch auszugsweise – nur nach schriftlicher Freigabe des Herausgebers!

Die positiven Auswirkungen auf die Jahreserträge dank moderner Windenergie-Technologie zeigen sich auch an verschiedenen anderen Standorten in Hessen:

Standorte im Land Hessen	Feldatal/ Windhausen (Vogelsberg- kreis)	Mücke (Vogelsberg- kreis)	Friedewald (B) (Lkr. Hersfeld- Rotenburg)	Friedewald (C) (Lkr. Hersfeld- Rotenburg)	Mücke (Zukunft)
Inbetriebnahme	1993	1994	2003	2004	???
Leistung	150 kW	500 kW	1.000 kW	1.800 kW	6.000 kW
Nabenhöhe	30 m	50 m	89 m	98 m	136 m
Jahresertrag	170 MWh	980 MWh	1.600 MWh	2.600 MWh	19.000 MWh*
Ertragsfaktor (1 = Feldatal)	1	5,8	9,4	15,3	106

* Ertragsprognose berechnet mit einem branchengängigen Programm (windPRO)

Mittlerweile gibt es bei zahlreichen Herstellern Anlagen der 5- bis 6-MW-Klasse im Angebot. Beim führenden deutschen WEA-Hersteller, der Enercon GmbH aus Aurich, sind bereits konkrete Überlegungen für eine Acht-Megawatt-Anlage vorhanden. Ertragsberechnungen zeigen, dass mit modernster Technik bei entsprechend großen Nabenhöhen die Erträge auch an hessischen Standorten zwischen 18 und 25 Mio. Kilowattstunden (kWh) pro Jahr mit einem einzigen Windrad erzeugt werden können.

Geht man konservativ davon aus, dass nicht an allen potenziellen Standorten in Hessen diese Anlagen in der gewünschten Höhe realisiert werden können, **so würden bei einem durchschnittlichen Jahresertrag in Höhe von 18 Mio. kWh rund 550 Windräder – also etwa die Zahl der heute installierten Anlagen – ausreichen, um etwa 10 Milliarden Kilowattstunden Windstrom im Jahr in Hessen zu erzeugen. Bezogen auf den Strombedarf im Jahr 2025 (28 Mrd. kWh) wären das etwa 35 Prozent.**

Setzt man sogar die Maximalerträge (25 Mio. kWh) an, so käme man mit rund 400 Anlagen ebenfalls auf einen Jahresertrag von in der Summe 10 Mrd. kWh. Es ist nicht erkennbar, dass es nicht ausreichend Höhenlagen in Hessen für die Aufstellung dieser Anlagen geben sollte. Da jedoch die Größenklasse der Anlagen den Betreibern nicht vorgeschrieben werden sollte, wäre – zum Vergleich – für einen Ausbau der Windkraftnutzung mit der mittlerweile marktüblichen 2,5 MW-Klasse (durchschnittliche Jahresproduktionsleistung etwa 5 Mio. Kilowattstunden) ein Anlagenbestand von 2000 für die Gesamtstromproduktion in Hessen von 10 Mrd. Kilowattstunden erforderlich. In jedem Fall wird es aber nötig sein, bestehende willkürliche landespolitischen Beschränkungen wie Nabenhöhen außer Kraft zu setzen.

Bei einer Anordnung von jeweils fünf Anlagen der Sechs-Megawatt-Klasse an einem Standort liegt die benötigte Fläche für einen Windpark dieser Größenordnung (30 MW) bei etwa 30 Hektar, wenn die erforderlichen Abstände aufgrund der gegenseitigen Abschattung im Park berücksichtigt werden. Zieht man etwa 110 Standorte á fünf Anlagen in Betracht, so liegt die benötigte Fläche für diese 550 Anlagen bei 3.300 Hektar – eine Fläche, die weiterhin für landwirtschaftliche Nutzung verfügbar bliebe.



Würde man die benötigte Windpark-Fläche von 3.300 Hektar zur Hälfte auf der vorhandenen Landwirtschaftsfläche und zur Hälfte auf Waldflächen unterbringen, so wären dafür jeweils etwas weniger als 0,2 Prozent dieser Flächen notwendig.

Bei einer Nennleistung von 2,5 MW (oder auch 2000 Anlagen) würde demgegenüber bei der Bündelung von fünf Anlagen pro Windpark eine Fläche von etwa 20 Hektar benötigt. Die sich dabei ergebenden 400 Windparks benötigten somit 8.000 Hektar, was weniger als 0,5% der gegenwärtigen Landwirtschafts- und Waldfläche entspräche.

Fazit:

Es stehen genug Flächen zur Verfügung, um rund 35% des Strombedarfs in Hessen mittels Windenergie zu gewinnen.

2.2 Solarstrom – Ausbaupotenziale in Hessen

Auch bei der Nutzung der Solarenergie ist Deutschland mittlerweile in die Weltspitze aufgestiegen. Es ist unter Energieexperten unstrittig, dass die Solarenergie die größten Potenziale aller erneuerbaren Energien hat. Der Wissenschaftliche Beirat „Globale Umweltveränderungen“ der Bundesregierung geht davon aus, dass weltweit die Solarstrom-Erzeugung zum dominierenden Energieträger unter den erneuerbaren Energien wird.

In Deutschland erzeugen die bundesweit weit über 300.000 Photovoltaik-Anlagen (geschätzte Gesamtleistung bis Ende 2007: ca. 4.000 Megawatt) jährlich etwa vier Milliarden Kilowattstunden. Ihr Anteil an der bundesweiten Stromerzeugung liegt damit bei etwa 0,7 Prozent.

In Hessen betrug die installierte Photovoltaik-Leistung 2006 rund 200 Megawatt. Bezogen auf die insgesamt in Deutschland installierte Leistung waren dies etwa acht Prozent. Zu den führenden Bundesländern gehören Bayern (ca. 1.200 MW), Baden-Württemberg (ca. 600 MW) und Nordrhein-Westfalen (ca. 350 MW).

Im Bereich der Photovoltaik sind drei Anwendungsbereiche zu unterscheiden:

- **Privater und Genossenschaftlicher Wohnungsbau:**
Dabei handelt es sich um Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie kleinere Gebäude von Vereinen und Verbänden. Dies sind vor allem Schrägdächer. Auf einer schrägen Dachfläche benötigt man in etwa 10.000 m² (1 ha), um rund eine Million Kilowattstunden Solarstrom im Jahr zu erzeugen.
- **Gewerbe- und Industriebauten:**
Hierzu zählen größere Dachflächen von Speditionen, Produktionshallen und Handwerksbetrieben. Dies sind vor allem Flachdächer. Auf einem Flachdach benötigt man in etwa 30.000 m² (3 ha) für die Produktion von einer Million Kilowattstunden Solarstrom im Jahr.
- **Freiflächen-Anlagen:**
Siedlungs- und Verkehrsflächen sind oft aufgrund ihrer bereits vorhandenen Oberflächenversiegelung gut geeignet für Freiflächen-Solaranlagen. Dazu zählen Deponie- und Konversionsflächen ebenso wie Straßenränder und Parkflächen. Auch der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung entzogene Flächen sind geeignet. Auf Freiflächen benötigt man in etwa 30.000 m² (3 ha) für die Produktion von einer Million Kilowattstunden Solarstrom im Jahr.

In allen drei Anwendungsbereichen ist ein rasanter Ausbau der Photovoltaik möglich. Um etwa 22 Prozent Solarstrom in Hessen im Jahr 2025 bereitzustellen, ist eine installierte Leistung von rund **6.900 Megawatt** nötig; das entspricht in etwa der zweifachen derzeit bundesweit installierten Leistung. Die PV-Stromproduktion in Hessen würde dann nach heutigem Stand der Technik bei rund 6,2 Milliarden Kilowattstunden liegen.

Geht man von einer annähernd gleichmäßigen Verteilung zwischen den drei oben genannten Anwendungsbereichen aus, so liegt die benötigte Fläche für 6,2 Milliarden Kilowattstunden bei rund 14.600 Hektar (146 km²):

- 1.) **Privater und Genossenschaftlicher Wohnungsbau**
Strombeitrag: 2 Mrd. kWh pro Jahr;
entspricht einem Flächenbedarf von 2.000 Hektar.
- 2.) **Gewerbe- und Industriebauten**
Strombeitrag: 2,1 Mrd. kWh pro Jahr;
entspricht einem Flächenbedarf von 6.300 Hektar.
- 3.) **Freiflächen-Anlagen**
Strombeitrag: 2,1 Mrd. kWh pro Jahr;
entspricht einem Flächenbedarf von 6.300 Hektar.

Bezogen auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Hessen (rund 320.000 ha) sind dies lediglich viereinhalb Prozent dieser Fläche.

Nachfolgend beispielhaft einige Anwendungen aus dem Gebäudebereich:



Solares Bürohaus Cölbe/Marburg



Justizzentrum Kassel



Pfarrhaus Niederwalgern



Speditionshalle Bürstadt



Schule in Wiesbaden



Waldstadion Viernheim

Würde **jeder der 21 Landkreise neun und jede der fünf kreisfreien Städte zwei Areale für eine Freiflächen-PV-Anlage mit rund fünf Megawatt** ausweisen, könnten auf Grund der Größe und der günstigen Kostenstruktur von Freiflächen große Mengen relativ günstigen Solarstroms erzeugt werden. Mit einer Realisierung in dieser Größenordnung kämen wir auf eine Solarleistung von rund 1.000 MW. Bei den guten Einstrahlungsbedingungen in Hessen – vor allem in Südhessen – wären allein das knapp eine Mrd. kWh pro Jahr. Würde man diese Strommenge auf umgewandelten landwirtschaftlichen Flächen erzeugen, dann wären hierfür rund 3.000 ha nötig – 0,33% der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Hessen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Wirkungsgrade und die Flächeneffizienz von Solarmodulen kontinuierlich steigen. Ein gutes Beispiel ist die Firma First Solar, die ihr europäisches Vertriebszentrum mit über 30 Mitarbeitern in Mainz hat und in Frankfurt an der Oder in diesem Sommer die weltweit modernste Fabrik zur Herstellung von Solarmodulen auf Basis der Dünnschichttechnologie – mit einer Jahreskapazität von 120 Megawatt – eröffnet hat. First Solar ist es gelungen, die Leistung pro Fläche seit 2002 um zwei Drittel zu erhöhen – bis 2010 wird sogar eine Verdoppelung gegenüber 2002 erwartet.

Gleichzeitig kommt es auf Grund der ausgereiften Unterkonstruktion nur zu einer minimalen Versiegelung, wie das Beispiel der PV-Anlage auf der Rhein-Main-Deponie in Flörsheim-Wicker bei Frankfurt zeigt:



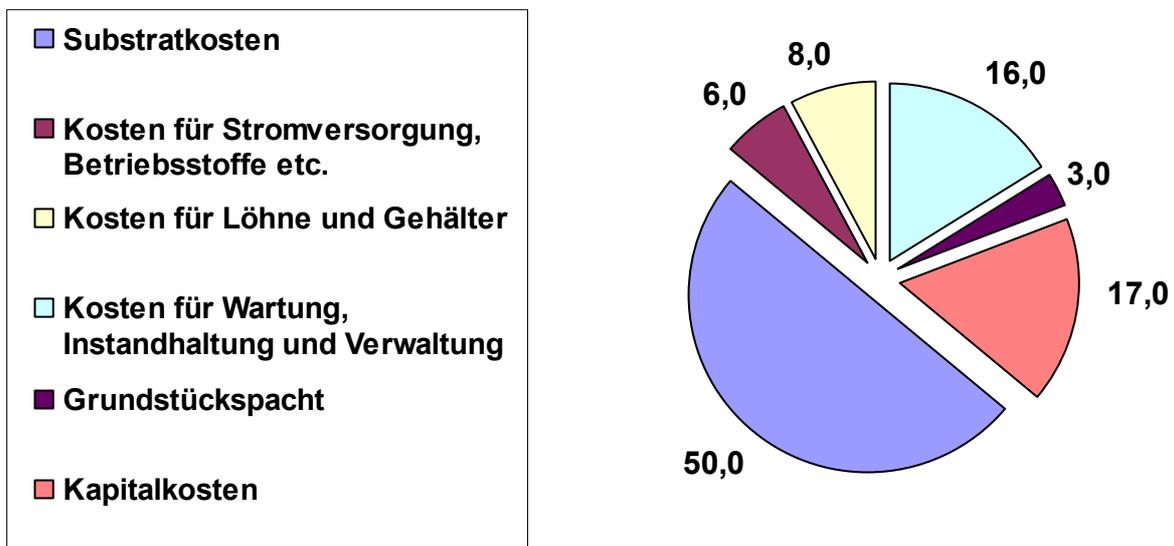
Fazit:

Es stehen genug Flächen zur Verfügung, um die in diesem Szenario anvisierten 22% des Strombedarfs in Hessen mittels Photovoltaik zu gewinnen!

2.3 Bioenergie – Ausbaupotenziale in Hessen

Die Bioenergie lässt sich sowohl im gasförmigen als auch im flüssigen und festen Zustand nutzen. Entsprechend dieser Vielseitigkeit ist die Nachfrage nach Bioenergie allein im Energiesektor groß: Wärme- und Stromanwendungen sind ebenso gefragt wie Biotreibstoffe für den Verkehrssektor.

Bei einer landwirtschaftlichen Biogasanlage macht der Einkauf der Rohstoffe in etwa 40 bis 60 Prozent des Strompreises aus. Wird der Rohstoff also deutlich teurer, so wirkt sich das auch direkt auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage aus. Die Kapitalkosten haben dagegen nur einen geringen Anteil von rund 15 bis 20 Prozent.



*Kostenstruktur einer Biogasanlage auf Basis nachwachsender Rohstoffe
(alle Angaben in Prozent)*

Bioenergie für den Stromsektor

Biomasse kann sowohl als **Grundlast** als auch als **Spitzenlast** eingesetzt werden. Sie stellt damit eine wesentliche Ergänzung für einen großen Anteil von Wind- und Solarenergie dar.

Die Bioenergie-Branche erwartet, dass im Jahr 2030 bundesweit ein Anteil von rund 20 Prozent Bioenergie im Strommix erreicht werden kann.

Im Stromsektor wird es dabei vor allem drei Formen der Bioenergie-Nutzung geben: Biogasanlagen und Heizkraftwerke auf Holzbasis sowie dezentrale Blockheizkraftwerke, die mit Treibstoffen auf Basis von Bioenergie (z.B. Rapsöl) betrieben werden. Allen Systemen gemeinsam ist die parallele Produktion von Strom und Wärme durch **Kraft-Wärme-Kopplung**.

Für das Szenario 2025 für Hessen halten wir einen Anteil von 28 Prozent bis 2025 für realisierbar: Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen, feste und flüssige Biomasse in größeren Kraftwerken und vielen kleinen dezentralen BHKW-Einheiten und Bioenergie aus Altholzverbrennung, Abfallvergärung und Deponiegas. Das entspricht etwa einer jährlichen Stromproduktion von zusammen 7,8 Milliarden Kilowattstunden.

Biogas

Nach Angaben des Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen waren im Mai 2007 64 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 19 MW_{el} in Betrieb. Zusammen erzeugen sie rund 120 Mio. kWh im Jahr, was dem Jahresstromverbrauch von etwa 35.000 Haushalten entspricht. Bundesweit wurden bis Ende 2006 rund 3.500 Biogasanlagen mit einer Leistung von 1.000 MW_{el} errichtet, davon allein 1.500 Anlagen mit 330 MW_{el} installierter Leistung in Bayern.



Biogasanlagen, wie die hier zu sehende Anlage in Brechen (Kreis Limburg-Weilburg) arbeiten heute überwiegend mit landwirtschaftlichen Produkten, in der Regel Gülle aus der Viehhaltung und nachwachsenden Rohstoffen wie beispielsweise Mais. Auf einem Hektar landwirtschaftlicher Fläche lassen sich genug Energiepflanzen anbauen, um aus diesen durch Vergärung in einer Biogasanlage jährlich rund 25.000 Kilowattstunden Strom zu erzeugen.

Für die Produktion von 3,9 Milliarden Kilowattstunden in Biogasanlagen sind folglich rund 156.000 Hektar landwirtschaftliche Fläche erforderlich. Das entspricht knapp 17 Prozent der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Hessen.

Biomasse sowie Deponie- und Biogas aus der Abfallwirtschaft

Weitere Möglichkeiten der regenerativen Stromerzeugung ergeben sich im Bereich der Abfallwirtschaft. So entwickelt zum Beispiel die Rhein-Main Deponie GmbH (RMD) in **Flörsheim-Wicker** seit Jahren innovative Konzepte zum umweltverträglichen Betreiben von Mülldeponien und wendet diese auch erfolgreich an. Die RMD, eine gemeinsame Gesellschaft des Main-Taunus-Kreises und des Hochtaunuskreises, beschränkt ihre Tätigkeit dabei nicht nur auf die intelligente Verwertung von Reststoffen, sondern betätigt sich auch aktiv beim Ausbau erneuerbarer Energien. Im Sinne einer energetischen Kreislaufwirtschaft werden die durch Rohstoffe und vorhandene Infrastruktur bestehenden Synergieeffekte konsequent genutzt, um fossile Energie einzusparen und gleichzeitig grünen Strom und Wärme zu erzeugen.

Mit den vorhandenen Anlagen der RMD – Biomasse-, Agrogas- und Deponiegaskraftwerke sowie Photovoltaikanlagen – werden heute bereits 150 Mio. kWh Strom pro Jahr ins Netz eingespeist. Den Hauptteil liefert dabei das Biomassekraftwerk mit 15 MW Nennleistung, in dem jährlich 90.000 Tonnen Altholz aus der benachbarten Altholz-Aufbereitungsanlage verfeuert und 110 Mio. kWh Strom erzeugt werden. 2008 soll auf dem Deponiegelände Wicker zusätzlich ein Biogaskraftwerk in Betrieb gehen, das für die Verwertung einer jährlichen Inputmenge von 45.000 Tonnen organischer Abfälle ausgelegt ist. Vorgesehene Einsatzmaterialien sind unter anderem getrennt gesammelte Bioabfälle, Pflanzen und Pflanzenbestandteile, Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land- und Forstwirtschaft, überlagerte Nahrungsmittel sowie biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle. Den Kern der Anlage bilden geschlossene Fermenter, in denen die Abfälle vergoren werden. Das Biogaskraftwerk wird rund 10,5 Mio. kWh jährlich erzeugen. Die am Ende der Gasgewinnung verbleibenden Reste können zu Kompost weiterverarbeitet oder wiederum zur Energiegewinnung im deponieeigenen Biomassekraftwerk genutzt werden. Die Rhein-Main Deponie GmbH hat mit ihrem Konzept bewiesen, dass auch im Bereich der Müllwirtschaft enorme Potenziale für erneuerbare Energien nutzbar sind. Dafür erhielt die RMD im Oktober 2007 den Deutschen Solarpreis.

Ähnliche Konzepte können an allen hessischen Deponiestandorten umgesetzt werden. So sind beispielsweise bei der energetischen Nutzung der Bioabfälle noch lange nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Laut Abfallmengenbilanz des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wurden allein im Jahr 2005 etwas mehr als 700.000 Tonnen Bioabfälle erfasst. Dazu gehören sowohl Küchenabfälle wie auch pflanzliche Abfälle aus Gärten und Grünanlagen. Von der Gesamtmenge wurden lediglich 329 Tonnen einer energetischen Nutzung zugeführt. In einigen Gemeinden werden Grünabfälle in mobilen Anlagen zerkleinert und direkt an die Erzeuger bzw. Landwirte zur weiteren Verwertung zurückgegeben. Dennoch wird deutlich, dass hier noch erhebliche Energiepotenziale ungenutzt bleiben, zumal die Bioabfallfänger pro Einwohner erhebliche Unterschiede zwischen den Städten und Landkreisen aufweist, also in Wirklichkeit noch mehr Bioabfälle anfallen.

Bei einer Ausweitung der Bioabfallerrfassung auf etwa 1.200.000 Tonnen könnten daraus jährlich rund 280 Mio. kWh durch die Herstellung und Verstromung von Biogas gewonnen werden. Weitere 280 Mio. kWh lassen sich durch die Verbrennung von Althölzern oder Gärresten aus der Biogasgewinnung sowie durch die Verstromung von Deponiegas erzeugen. Insgesamt stünden zusammen **560 Millionen Kilowattstunden aus der Abfallwirtschaft zur Verfügung.**

Feste Biomasse (Holz)

Hessen als eines der walddreichsten Bundesländer verfügt über riesige Holzvorkommen. Nach Angaben des hessischen Umweltministeriums beträgt der jährliche Zuwachs 9,4 Mio. Kubikmeter, von denen 7,5 Mio. Kubikmeter genutzt werden. Energetisch stehen rund 40% des im Wald anfallenden Holzes zur Verfügung, was jährlich etwa zwei Mio. Tonnen entspricht. Erfahrungen aus anderen Bundesländern (z.B. Brandenburg) zeigen, dass für den Betrieb eines Biomassekraftwerks mit einer elektrischen Leistung von 10 Megawatt und einer thermischen Leistung von 20 Megawatt ein jährlicher Holzbedarf von rund 80.000 Tonnen nötig ist. In solch einem Kraftwerk würden jährlich rund 75 Millionen Kilowattstunden Strom erzeugt.

Um zehn Prozent des Strombedarfs von Hessen im Jahr 2025 durch feste Biomasse zu erzeugen, wären folglich rund 37 Biomasse-Heizkraftwerke der 10-MW-Klasse nötig. Der jährliche Holzbedarf liegt dann bei etwa drei Millionen Tonnen. Für den Betrieb dieser Kraftwerke wäre somit eine Erhöhung der Holzvermarktung nötig, bzw. der Anbau speziell schnell wachsender Hölzer für diese Kraftwerke.



Schnell wachsende Pflanzen (wie z.B. Miscanthus) haben einen Jahresenergieertrag von bis zu 80.000 Kilowattstunden pro Hektar, wovon die Hälfte in elektrische Energie umgesetzt werden kann. Würde man beispielsweise ein Prozent der landwirtschaftlichen Fläche von Hessen dafür bereitstellen, so könnten mit der auf dieser Fläche (ca. 9.000 ha) angebauten Biomasse bis zu 350 Millionen Kilowattstunden erzeugt werden.

Geht man davon aus, dass etwa zwei Mio. Tonnen Holz jährlich zur Verstromung genutzt werden, könnten daraus etwa 1,9 Mrd. Kilowattstunden erzeugt werden. Um 10% oder 2,8 Mrd. Kilowattstunden des angenommenen Strombedarfs durch feste Biomasse zu decken, müsste zusätzlich der Anbau von schnell wachsenden Pflanzen auf einer Fläche von 26.500 ha erfolgen. Das entspricht etwa drei Prozent der landwirtschaftlichen Fläche Hessens.

Biomasse in Klein- und Mikro-Blockheizkraftwerken

Kleine Blockheizkraftwerke (BHKW) auf Basis von Bioenergie (Rapsöl, Holzpellets, Biogas etc.) werden ebenfalls einen Beitrag zum erneuerbaren Energiemix leisten. Würden 2025 rund sechs Prozent des Jahresstrombedarfs der hessischen Haushalte mit Hilfe von Bioenergie-BHKWs gedeckt, dann wären dies unter der Berücksichtigung der angenommenen Einsparpotenziale etwa 560 Mio. Kilowattstunden.

Derzeit ist der Lahn-Dill-Kreis derjenige Landkreis mit dem größten Anteil an Klein- und Mikro-BHKW in ganz Hessen. Bereits in den 1990er Jahren begann dank einer vorausschauenden kommunalen Energiepolitik die Einführung der Technik, die zuerst in 30 Schulen des Kreises Einzug hielt. Mittlerweile werden über 200 Anlagen in kreiseigenen Gebäuden als auch in Privathaushalten betrieben, wobei der Schwerpunkt in der Gemeinde Haiger liegt.

Die Bundesregierung plant derzeit ein neues Förderprogramm für umweltfreundliche Produkte, um die im August 2007 vereinbarten Klimaschutzziele zu flankieren. Insgesamt 400 Millionen Euro sollen bereits 2008 zusätzlich in die Förderung von umweltschonenden Technologien fließen. Angedacht ist unter anderem ein „100.000 Keller-Programm“, das die Anschaffung von Kleinstkraftwerken finanziell unterstützt. Branchenkenner sehen allein für Hessen bis zum Jahr 2020 ein Absatzpotenzial von 30.000-40.000 Anlagen.

Die Wirtschaftlichkeit einer Mikro-BHKW-Anlage hängt nicht nur von der Entwicklung der Strompreise ab, sondern ist umso höher, je konstanter der Wärmebedarf vor Ort ist. Die Laufzeit ist vor allem von der Auslegung der Anlage und von der Wärmenachfrage des Objektes abhängig. Je mehr Wärme auch in den Sommermonaten benötigt wird, etwa durch die Warmwasserbereitstellung zum Duschen und Baden oder durch Nutzung von Prozesswärme für Gewerbe und Industrie, desto länger und damit wirtschaftlicher kann eine BHKW-Anlage betrieben werden. Zu beachten ist dabei vor allem, dass die Anlage nicht überdimensioniert ist, weil sonst schnell überschüssige Wärme anfällt oder die Anlage abgeschaltet werden müsste. Als Faustformel gilt, dass die thermische Leistung des Klein-BHKW 10 bis 15 Prozent der benötigten Wärmeleistung des zu versorgenden Objektes nicht überschreiten sollte, um so eine hohe Laufzeit von jährlich mindestens 5.000 Stunden zu ermöglichen. Um die Wärmenachfrage möglichst konstant zu halten, können mehrere benachbarte Gebäude zusammen an ein BHKW angeschlossen werden. Auch Wärmespeicher fangen Nachfrageschwankungen zu einem gewissen Grad auf und dienen als Puffer. Die Erzeugung von Kälte mit einer Sorptionskälteanlage ist bei bestimmten Anlagen und gegebener Nachfrage – etwa für Kühlhäuser – ebenfalls eine günstige Lösung. Die Auslastung der Anlage kann so auch in den Sommermonaten gewährleistet werden.

Ausgehend von 5.000 Volllaststunden ist für die Erzeugung von 560 Mio. kWh in Hessen eine installierte Leistung von 112 MW nötig, die sich auf mehrere zehntausend Anlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern, Gewerbe- und Industriebetrieben und Liegenschaften der öffentlichen Hand verteilen wird.

Fazit Bioenergie

Die Bioenergie wird ein wichtiger Bestandteil eines regenerativen Energiemixes sein. Aufgrund der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ist ihr Potenzial allerdings – im Gegensatz zur Wind- und Solarenergie – für die Stromerzeugung begrenzt. Ein Anteil von rund 28 Prozent ist ohne weiteres möglich, setzt allerdings ein entsprechendes Management der Stoffströme voraus. Theoretisch könnte auch ein höherer Anteil an Bioenergie im Stromsektor realisiert werden.

2.4 Wasserkraft – Ausbaupotenziale in Hessen

Die Wasserkraft war lange Zeit die erneuerbare Energiequelle Nummer eins. Vor allem die Energiekonzerne im süddeutschen Raum haben – aufgrund der geografischen Gegebenheiten – einen mehr oder weniger großen Anteil Wasserkraft-Strom in ihrem Energiemix. Allerdings stagniert die Stromerzeugung aus Wasserkraft seit Jahren in etwa auf dem Niveau von rund 20 bis 25 Milliarden Kilowattstunden – je nach Niederschlagsmenge. Ihr Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland liegt damit seit Jahren bei rund vier Prozent.

Eine Erschließung neuer Potenziale ist möglich. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft an kleineren Flüssen ist behindert durch naturschutzrechtliche Auflagen, bzw. den damit verbundenen Kosten, die eine wirtschaftliche Erschließung behindern. Einzig die Erweiterung bestehender Großprojekte – wie beispielsweise das Kraftwerk Rheinfelden am Rhein – lassen unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen bundesweit einen Zuwachs an Wasserkraft-Strom erwarten.

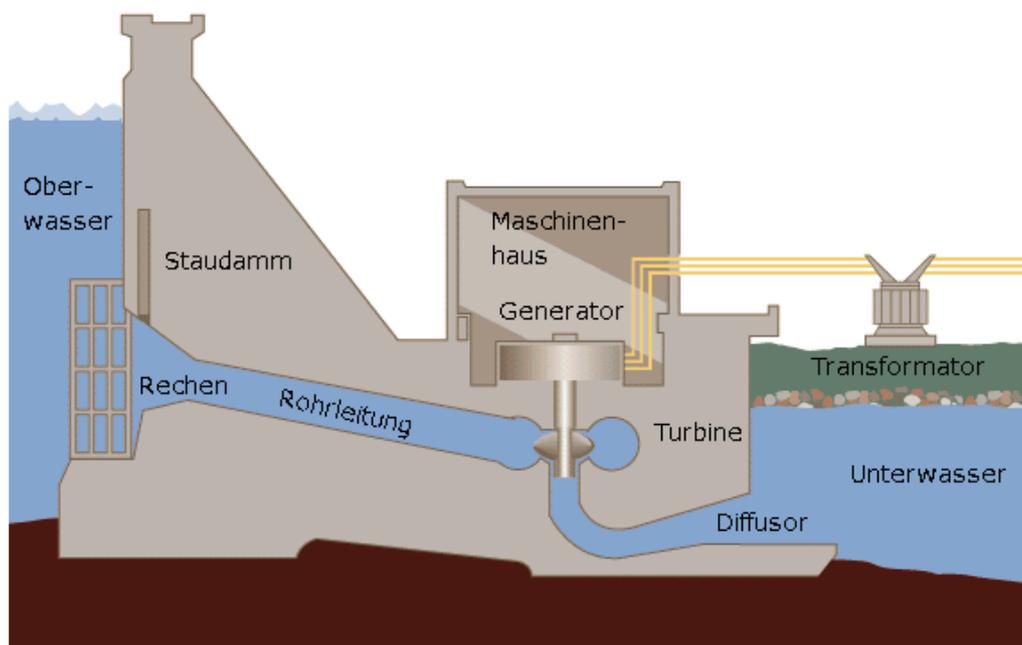


Auch in Hessen stagniert die Stromerzeugung aus Wasserkraft. Über die Anzahl der im Land in Betrieb befindlichen Anlagen gibt es keine genauen Angaben. Statistisch werden vom Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (VDEW) nur Kraftwerke mit einer Leistung von mindestens 1.000 Kilowatt erfasst. Drei größere Anlagen (mehr als 5.000 Kilowatt) werden demnach in Hessen betrieben, hinzu kommen sieben Anlagen mit einer Leistung zwischen 1.000 und 5.000 Kilowatt. Insgesamt kommen diese zehn Kraftwerke auf eine installierte Leistung von 55 MW. Nach Angaben des hessischen Wirtschaftsministeriums beträgt die Bruttoengpassleistung der hessischen Laufwasser- und Speicherwasserkraftwerke insgesamt 98.8 MW.

Über die Zahl der Kleinanlagen bestehen nur Vermutungen. Nach überschlägiger Schätzung der Arbeitsgemeinschaft Hessischer Wasserkraftwerke werden derzeit 400 bis 500 kleinere Wasserkraftwerke betrieben. Der Beitrag der Wasserkraft zur Stromerzeugung inklusive der großen Pumpspeicherkraftwerke im Land beträgt heute rund dreieinhalb Prozent, was einer Energiemenge von etwa 1 Mrd. Kilowattstunden entspricht. Zieht man den Teil der Leistung ab, der in den Pumpspeicherkraftwerken nicht durch den natürlichen Zufluss gedeckt ist, beträgt die rein regenerativ erzeugte Energiemenge noch etwa 370 Millionen Kilowattstunden (2004). Der Bau neuer Wasserkraftanlagen bzw. die Reaktivierung alter Anlagen sowie die Erweiterung bestehender Wasserkraftwerke und damit die Ausweitung dieses Potenzials ist schon aufgrund der damit verbundenen Kontinuität seiner Stromerzeugungsleistung (nicht zuletzt ihrem Grundlastbeitrag) erforderlich. Schließlich verfügt Hessen mit Rhein, Main, Lahn und Fulda über einige mittlere bis größere Flüsse. Insgesamt gibt es in Hessen etwa 20.000 km Fließgewässer, proportional zur Landesfläche mehr als in jedem anderen Bundesland.

Generell ist durch die Modernisierung der bestehenden Anlagen eine Mehrleistung von 20 bis 30 Prozent möglich. Rein zahlenmäßig bilden die stillgelegten kleineren Wasserkraftwerke ein großes, brachliegendes Potential. Mit der Nutzung der Atomenergie war es in den 1960er und -70er Jahren zu einer Welle von Stilllegung gekommen. Bis 1985 stellten allein im Regierungsbezirk Kassel 1.097 Wasserkraftwerke ihren Betrieb ein. Energieversorgungsunternehmen erwarben zudem teilweise Mühlenrechte, um eine Stromerzeugung in diesen Anlagen auszuschließen. Konservative Schätzungen gehen daher im Falle Hessens von einem technischen Potential der Wasserkraft von 820 Millionen Kilowattstunden aus. Die Arbeitsgemeinschaft Hessischer Wasserkraftwerke erarbeitet derzeit eine Studie über das Potenzial der reaktivierungsfähigen Anlagen. Nach vorläufigen Erkenntnissen könnten 400 bis 500 Anlagen allein im Regierungsbezirk Nordhessen wieder wirtschaftlich betrieben werden. Es ist möglich und somit anzustreben, dass dies zu einer ökologischen Aufwertung der Fließgewässer führt. Weitere reaktivierbare Potenziale aus den beiden weiteren hessischen Regierungsbezirken bestehen, sind aber noch nicht dokumentiert.

Zum entsprechenden Zeitpunkt energetisch genutzt, können Wasserkraftwerke sowohl **Grundlast** als auch **Spitzenlast** liefern. Vor allem Wasserkraftwerke, die über ein ausreichend dimensioniertes Speicherbecken verfügen, stellen eine wesentliche Ergänzung für einen großen Anteil von Wind- und Solarenergie dar: Bei viel Wind und/oder Sonnenschein wird der Abfluss (und damit die Turbinenleistung) des Wasserkraftwerks reduziert, und das auflaufende (oder hoch zu pumpende) Wasser füllt den Speicher. Bei Windstille und dunklem Himmel fließt mehr Wasser aus dem Becken über die Turbinen ab, und der Pegel im Speicherbecken sinkt. Siehe auch nachfolgendes Schema eines Wasserkraftwerkes mit Ober- und Unterbecken.



Fazit:

Die Stromproduktion aus großen und kleinen Wasserkraftwerken in Hessen kann bis zum Jahr 2025 nach unserer Einschätzung bei Ausschöpfung aller Potenziale von heute 370 auf rund 1.400 Millionen Kilowattstunden ansteigen. Ihr Beitrag zum hessischen Energiemix läge dann bei rund 5 Prozent.

2.5 Geothermie – Ausbaupotenziale in Hessen

Eine weitere wichtige Komponente im künftigen regenerativen Energiemix ist die Nutzung der Erdwärme zur Stromerzeugung. Zum entsprechenden Zeitpunkt energetisch genutzt, können Geothermie-Kraftwerke sowohl **Grundlast** als auch **Spitzenlast** liefern.

Nach Angaben des Bundesumweltministeriums (BMU) ist in der Geothermie-Branche in den nächsten Jahren mit einem größeren Wachstum zu rechnen. Das lässt sich aus der Anzahl der Genehmigungen für Geothermie-Kraftwerke schließen. Derzeit sind in Deutschland rund 150 solcher Projekte in der Planung. Das Investitionsvolumen dieser Projekte wird auf vier Mrd. Euro geschätzt. Einige dieser Geothermie-Kraftwerke werden als Demonstrationsvorhaben vom BMU gefördert. Dazu zählen die Projekte in Unterhaching, Landau, Bruchsal und Groß-Schönebeck. Das BMU hat die Forschungsgelder für Geothermie-Kraftwerke in den vergangenen Jahren deutlich erhöht und stellte 2006 knapp 14 Mio. Euro zur Verfügung.

Weltweit sind rund 9.000 Megawatt elektrischer Leistung installiert. Zu den größten geothermischen Stromproduzenten gehören Italien, die USA, die Philippinen, Indonesien und Mexiko. In Deutschland steht die Stromgewinnung aus Erdwärme noch am Anfang. Im Wärmebereich ist die Nutzung von geothermischer Wärme aber bereits eine feste Größe: Rund zwei Mrd. Kilowattstunden Wärme werden aus geothermischen Anlagen jährlich erzeugt. Einen wichtigen Beitrag dazu liefern auch private Haushalte, die Wärmepumpen installiert haben. Rund 100.000 Systeme sind derzeit in Betrieb. Das Marktvolumen für Wärmepumpen in Deutschland hat sich im vergangenen Jahr verdoppelt.

Die Techniken zur geothermischen Stromerzeugung sind bislang allerdings noch nicht im großen Stil einsatzbereit. Die elektrische Leistung der meisten aktuellen Projekte liegt bei rund drei bis fünf Megawatt:

Geothermie zur Stromerzeugung: Anlagen im Bau				
Ort	Typ	Elektr. Leistung in Megawatt	Bohrtiefe in Meter	Inbetriebnahme
Bad Urach	HDR	1	-	Abbruch der Bohrarbeiten im Mai 2004
Bellheim	Kalina	6	3.000	2008
Bruchsal	ORC/Kalina	0,5	2.000+2.500	2007
Groß Schönebeck	ORC	k.A.	4.300	k.A.
Landau	ORC	3	3.000	2007
Offenbach	HDR	4,8	2.500	k.A.
Riedstadt	Kalina	3	2.300	2007
Sauerlach	ORC/Kalina	3 – 6	3.800	2009
Speyer	ORC	5,4	2.900	k.A.
Unterhaching	Kalina	3,4	3.466	2007

Quelle: eigene Recherchen

Quelle: Neue Energie; Ausgabe 12/2006

Südhessen verfügt aufgrund der geologischen Gegebenheiten am Oberrheingraben über gute Rahmenbedingungen. Probebohrungen für die Nutzung der Geothermie in Hessen sollen dieses Jahr in Riedstadt durchgeführt werden, wo die Installation eines Kraftwerks mit der Leistung von drei Megawatt vorgesehen ist. Auch im Gebiet zwischen Langen, Walldorf und Rüsselsheim wurden Genehmigungen für die Suche nach einem geeigneten Standort für ein Erdwärmekraftwerk erteilt.

Das erste Geothermie-Kraftwerk Deutschlands produziert seit November 2003 im mecklenburgischen Neustadt-Glewe erfolgreich Strom. Das Kraftwerk ergänzt das bereits 1994 betriebene Erdwärmeheizwerk und wird ausschließlich aus Erdwärme gespeist. Aus 2.200 Meter Tiefe wird dabei 98 °C heißes Wasser gepumpt, das seine Energie über Wärmetauscher an einen Turbinenkreislauf abgibt. Die installierte Leistung beträgt 230 kW. Aufgrund der für die Stromerzeugung relativ geringen Thermalwassertemperaturen hat während der Wintermonate die Fernwärmeerzeugung Vorrang, so dass der Vollastbetrieb nur während der wärmeren Monate erfolgt. Im ersten Betriebsjahr wurden 500.000 Kilowattstunden erzeugt.



Geothermie-Kraftwerk Neustadt-Glewe (Quelle: Wikipedia)

Der Bau des ersten industriellen Geothermiekraftwerks der Megawatt-Klasse in Deutschland hat Ende Mai 2007 im rheinland-pfälzischen Landau begonnen. Im Jahr 2008 werden dann rund 6.000 Haushalte mit Strom versorgt, der aus 150 bis 170 Grad heißem Wasser gewonnen wird. Das aus 3.000 Metern Tiefe stammende heiße Wasser versorgt darüber hinaus bis zu 300 Haushalte ortsnah mit Heizwärme; das entspricht einer thermischen Leistung von 3 bis 6 Megawatt. Die elektrische Leistung des Kraftwerks wird bei drei Megawatt liegen.



Geothermie-Kraftwerk Landau (Quelle: geo x GmbH)

Fazit:

Wir gehen davon aus, dass sich bis zum Jahr 2025 die Technik weiter entwickeln wird. 35 Kraftwerke der 10-MW-Klasse sollten realisierbar sein. Die geothermische Stromerzeugung würde dann im Jahr 2025 rund drei Milliarden Kilowattstunden betragen. Dies entspräche rund 10 Prozent der Stromerzeugung im Land Hessen.

2.6 Hessische Ausbaupotenziale bis 2025 – Zusammenfassung

Wie wir in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt haben, verfügen die erneuerbaren Energien im Land Hessen über ein Potenzial, das bereits mit Techniken, die heute technologisch weit entwickelt und wirtschaftlich konkurrenzfähig sind (z.B. die Windenergie), und Techniken, deren technologische Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist (z.B. die Geothermie) erschlossen werden kann. Manche Potenziale sind nahezu unbegrenzt (z.B. die Solarenergie), andere aus verschiedensten Gründen eingeschränkt (z.B. die Bioenergie und die Wasserkraft).

Grundlage des von uns vorgeschlagenen Energiemix ist die Berücksichtigung eines aus heutiger Sicht vernünftigen, technisch machbaren und wirtschaftlichen Szenarios.

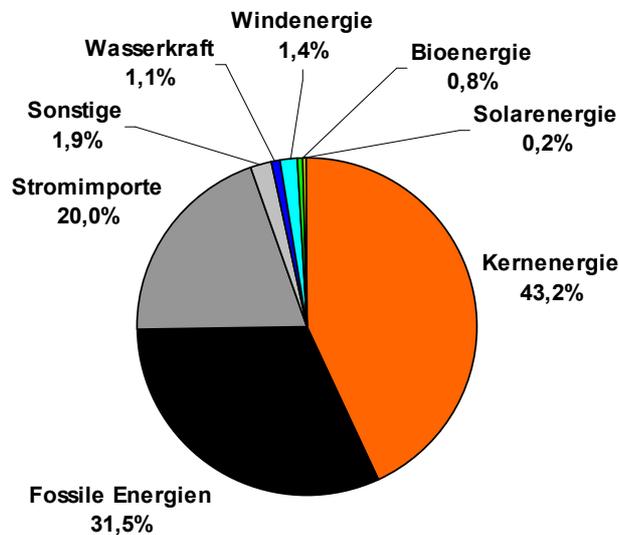
Darauf aufbauend, ergibt sich aus den fünf erneuerbaren Energieträgern ein nachhaltiger und wirtschaftlicher Energiemix, der im Jahr 2025 eine vollständige Stromversorgung Hessens ergibt. Die Realisierung dieses Szenarios und die Geschwindigkeit der Schritte dahin hängen von den Entwicklungen insbesondere in der Raumordnungspolitik des Landes ab. Dabei sind auch Verschiebungen zwischen den einzelnen Energieträgern möglich – je nachdem welche der Techniken sich schneller und preisgünstiger entwickelt.

Energieträger	Stromerzeugung (heute)	Stromerzeugung (2025)	Anteil (2025)
Windenergie	0,50 TWh	9,80 TWh	35,0%
Solarenergie	0,06 TWh	6,16 TWh	22,0%
Bioenergie	0,27 TWh	7,84 TWh	28,0%
Wasserkraft	0,37 TWh	1,40 TWh	5,0%
Geothermie	0,00 TWh	2,80 TWh	10,0%
Summe	1,20 TWh	28,00 TWh	100,0%

Parallel zum Ausbau der erneuerbaren Energien wird es zu umfangreichen Effizienzsteigerungen in der Anwendung und zu Einsparungen beim Stromverbrauch kommen. Wir gehen dabei von einer Größenordnung in Höhe von etwa 20 Prozent bis zum Jahr 2025 aus. Der Strombedarf in Hessen beträgt dann 28 Mrd. Kilowattstunden. Somit wären die erneuerbaren Energien in der Lage, entsprechend der aufgezeigten Entwicklungspfade diesen Bedarf zu 100% zu decken.

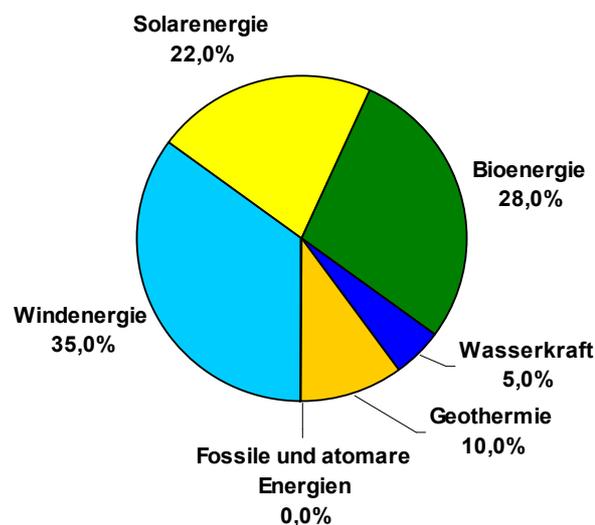
Mit diesem Ausbauszenario wird folglich auch die Importabhängigkeit beim Strom, bzw. von den fossilen Brennstoffen (Öl, Gas, Kohle) verschwinden. Die beiden nachfolgenden Grafiken zeigen den Wandel des hessischen Stromsektors **unter Berücksichtigung einer Energieeinsparung von rund 20 Prozent:**

**Strombedarf in Hessen 2005: ca. 35 Mrd. kWh
(Eigenstromerzeugung ca. 80%)**



Situation 2005 in Hessen: Ein Fünftel des Strombedarfs wird durch Stromimporte gedeckt; und auch bei der Eigenstromerzeugung hängen derzeit noch weit über 90% des Markts von zu importierenden Energie-Rohstoffen ab.

**Eigenstromerzeugung in Hessen 2025: ca. 28 Mrd. kWh
(Strombedarf: ca. 28 Mrd. kWh)**



Situation 2025 in Hessen: Der Strombedarf ist um 20 Prozent gesunken, und er wird ausschließlich durch einheimische regenerative Energien gedeckt.

Die installierte Leistung der erneuerbaren Energieträger wäre dann wie folgt.

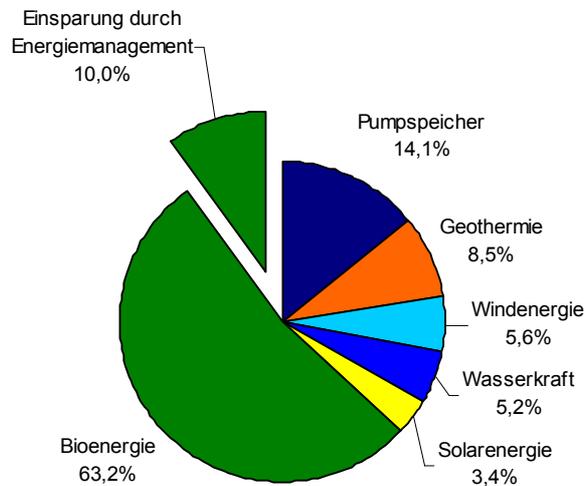
Energieträger	inst. Leistung (heute)	inst. Leistung (2025)	Investment nach heutigem Preisstandard
Windenergie	450 MW	3.300 MW	ca. 2,85 Mrd. €
Solarenergie	200 MW	6.900 MW	ca. 15,50 Mrd. €
Bioenergie*	71 MW	1.000 bis 2.600 MW*	ca. 2,00 Mrd. €
Wasserkraft	98 MW	215 MW	ca. 1,25 Mrd. €
Geothermie	0,0 MW	350 MW	ca. 0,50 Mrd. €
Summe	819 Megawatt	12.345 Megawatt	ca. 22,10 Mrd. €
+ Pumpspeicher	580 MW	580 MW	

*: Bei der Bioenergie ist folgendes zu berücksichtigen: Da Biomasse ein hervorragender Speicher ist, sollte die Anlagendimensionierung derart angepasst werden, dass zu Höchstlastzeiten mehr Biomasse genutzt wird als im Jahresmittel. Zu anderen Zeiten (bei viel Wind und/oder Sonnenschein) wird die Biomasse nicht genutzt, sondern für eine spätere Nutzung (bei wenig Wind und wenig Sonnenschein) gelagert.

Der Höchstwert der maximal benötigten Leistung in ganz Hessen liegt nach unserer Abschätzung heute zwischen rund 3.700 Megawatt (Sommer) und rund 5.150 Megawatt (Winter). Es ist zu erwarten, dass diese Spitzenlasten unter anderem durch Effizienzsteigerungen um bis zu 20 Prozent reduziert werden können: Die Werte würden dann zwischen 2.950 MW und 4.100 MW liegen.

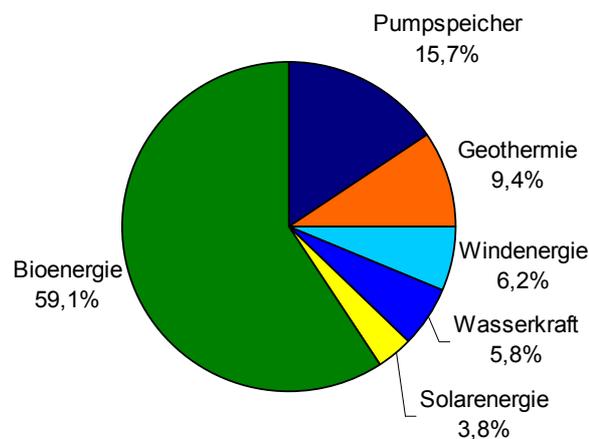
Wind- und Solarenergie sind zwar aufgrund ihrer Abhängigkeit von den natürlichen Ressourcen Sonne und Wind schwankend. Zusätzlich kann auch – je nach Tages- und Jahreszeit – ein Teil der Windenergie und der Solarenergie als Grundlast angesehen werden; entsprechende Untersuchungen (z.B. der Stadtwerke Emden) belegen dies. Bioenergie, Wasserkraft, Pumpspeicherkraftwerke und Geothermie sind mehr oder weniger rund um die Uhr verfügbar und können 2025 bis zu 3.745 MW bereitstellen. **Zusammen mit den bereits bestehenden Pumpspeicherkraftwerken kommen alle erneuerbaren Energien auf 100 Prozent der gesicherten Leistung.**

Anteile der Kraftwerke an der gesicherten Leistung in Prozent



Je nach Jahres- und Tageszeit wird der Beitrag von Wind- und Solarenergie zur Grundlast auch deutlich höher sein. Mit ihrem Beitrag zur gesicherten Leistung ergeben sich in der Summe rund 4.100 MW. Durch ein intelligentes Energiemanagement könnten rund 10% der nachgefragten Leistungsspitzen wegfallen. Weitere Einzelheiten dazu finden sich im Abschnitt 2.8 (Intelligentes Energiemanagement). Unter Berücksichtigung dieser Einsparungspotentiale sähe die Verteilung der gesicherten Leistung dann folgendermaßen aus:

Anteile der Kraftwerke an der gesicherten Leistung in Prozent (Einsparung durch Energiemanagement berücksichtigt)



2.7 Die Preisentwicklung der erneuerbaren Energien

Die Vergütungssätze nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sind dabei in der nachfolgenden Tabelle beispielhaft für einige ausgesuchte Anlagen – jeweils für das entsprechende Jahr der Inbetriebnahme (IB) – angegeben:

Energiequelle	2007	2010	2020	2025	Ertrag in TWh / Jahr (2025)
Windenergie (niedrig)	5,17	4,87	3,98	3,60	4,9
Windenergie (hoch)	8,19	7,71	6,30	5,69	4,9
Wasserkraft (bis 500 kW)	9,67	9,67	9,67	9,67	0,7
Wasserkraft (bis 5 MW)	6,65	6,65	6,65	6,65	0,7
Biogas (NaWaRo, bis 500 kW)	15,46	15,04	13,77	13,20	2,52
Biogas (Abfall)	9,56	9,14	7,85	7,28	0,56
Biomasse (bis 20 MW)	8,03	7,67	6,60	6,12	4,76
Solarenergie (Aufdach)	49,21	42,19	25,26	19,55	3,08
Solarenergie (Freifläche)	37,96	31,03	15,84	11,32	3,08
Geothermie (bis 10 MW)	14	13,86	12,53	11,92	2,8
				Summe:	28,0
Börsenpreis (+3,0% p.a.)	5,5	6,01	8,08	9,37	
Endkundenpreis (+1,0% p.a.)	18	18,55	20,49	21,54	
Endkundenpreis (+3,0% p.a.)	18	19,67	26,43	30,64	
Endkundenpreis (+5,0% p.a.)	18	20,84	33,94	44,32	
Endkundenpreis (Alternativszenario)*	18	20,84	28,00	29,43	
mittlere Vergütung (Neubau)				9,00	Cent / kWh

(alle Angaben für die Jahre 2007, 2010, 2020 und 2025 in Cent pro Kilowattstunde)

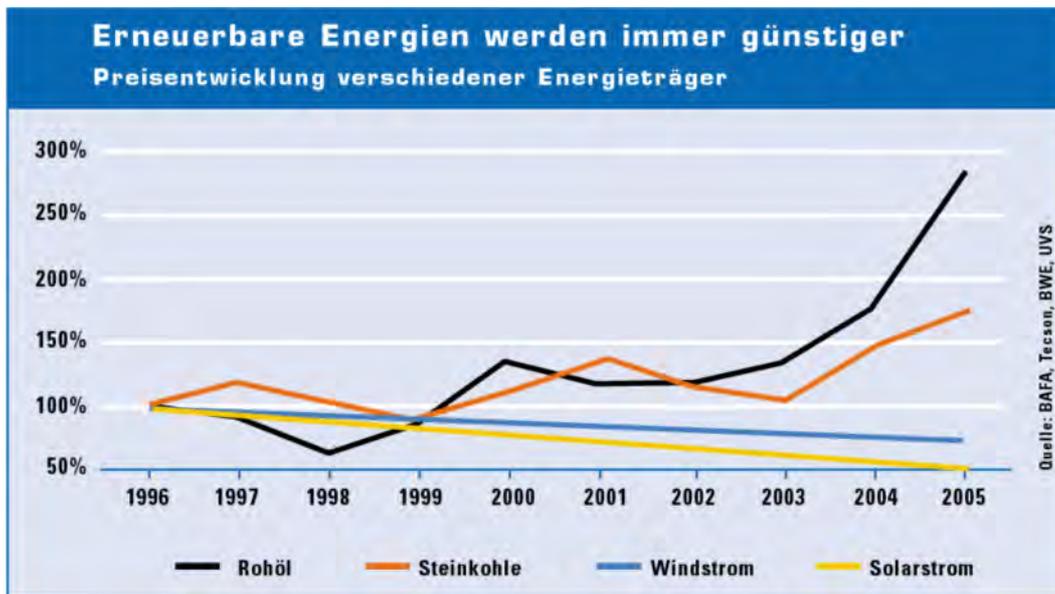
(*: das Alternativszenario für den Endkundenpreis berücksichtigt folgende Preissteigerungen: 5% (für drei Jahre), 3% (für zehn Jahre) und 1% (für fünf Jahre); dabei wird die 1%-Steigerung nur bei einem konsequenten Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen sein.)

Würde die gesamte erneuerbare Energiemenge im Jahr 2025 durch Neuanlagen aus dem Jahr 2025 erzeugt werden, würde die mittlere Vergütung – entsprechend der Anteile der regenerativen Energieträger – bei 9 Cent pro Kilowattstunde liegen. **Deshalb gehen wir davon aus, dass der mittlere Vergütungssatz aller im Jahr 2025 produzierenden regenerativen Kraftwerke zwischen zehn und zwölf Cent pro Kilowattstunde liegen wird.**

Demgegenüber steht ein Strompreis der konventionellen Energieträger, dessen langfristige Entwicklung erheblich ansteigen wird. Auf Grund der knapper werdenden Rohstoffe und der steigenden Nachfrage wird auch der Börsenpreis so lange weiter steigen, wie er überwiegend von fossilen und nuklearen Kraftwerken bestimmt wird.

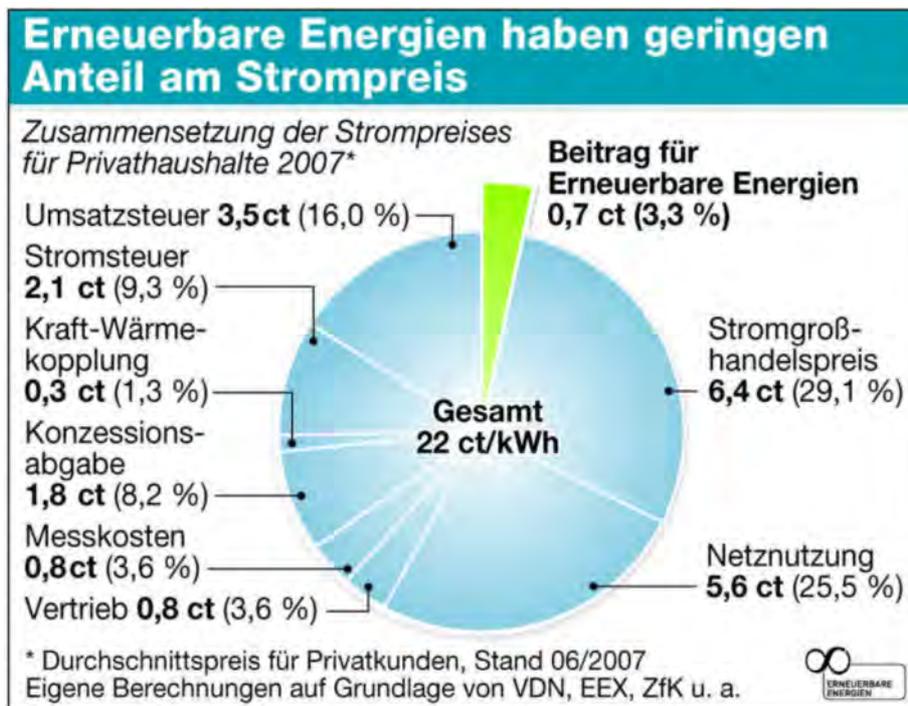
Copyright-Hinweis:

Vervielfältigung und Weitergabe an Dritte – auch auszugsweise – nur nach schriftlicher Freigabe des Herausgebers!



Neben steigenden Rohstoffpreisen sind vor allem die oligopolistischen Strukturen auf dem deutschen Strommarkt für die erheblichen Preissteigerungen der letzten Jahre verantwortlich. Zusammen kontrollieren die vier Konzerne E.ON, Vattenfall; EnBW und RWE 80% der Stromerzeugung und 100% der überregionalen Netze. Von Seiten der traditionellen Stromwirtschaft wird zwar immer wieder auf die steigenden staatlichen Abgaben und die angeblich stark steigenden Mehrkosten für erneuerbaren Energien verwiesen, doch laut Spiegel-Online sehen auch die Energieexperten vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) und vom Hamburgischen Weltwirtschaftsinstitut (HWI) die Gründe für die Preisaufschläge im Oktober dieses Jahres in der Preispolitik der Konzerne selbst begründet. So machen etwa die Mehrkosten durch die im Erneuerbare-Energie-Gesetz festgelegte Umlage nur 3,3% (0,7 Cent pro kWh) des Strompreises von gegenwärtig 22 Cent pro Kilowattstunde aus.

Auch im kommenden Jahr dürfte die Umlage nach Angaben des Bundesverbandes Erneuerbarer Energien nur um 0,1 Cent pro Kilowattstunde steigen. Die angekündigten Preiserhöhungen liegen jedoch bis um das 15-fache darüber. Die Energieexperten der Wirtschaftsinstitute fordern daher neue Kraftwerke, die sich im Besitz neuer Anbieter befinden, und damit mehr Wettbewerb auf dem deutschen Strommarkt initiieren – eine Forderung, der durch den Ausbau der dezentralen erneuerbaren Energien Kraftwerke nachgekommen werden kann. Studien haben zudem nachgewiesen, dass an windreichen Tagen bereits heute durch das Angebot der Windenergie ein Preis senkender Effekt an der deutschen Strombörse EEX auftritt. **Erst die erneuerbaren Energien wirken somit dämpfend auf den Börsenpreis.**



Zusätzliche Preissenkungseffekte bei einer steigenden Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien ergeben sich durch geringe Entgelte für die Netznutzung. Dies gilt insbesondere für die Stromangebote aus Anlagen von Stadtwerken, die innerhalb ihres Verteilungsgebietes eine dezentrale Stromerzeugung vornehmen und liefern. In diesem Fall entfallen die Übertragungskosten und fallen nur Verteilerkosten an, was einen Kostenvorteil von etwa 3 Cent ausmacht. Durch eine dezentrale Energieproduktion wird außerdem die Wertschöpfung in der Region gehalten, so dass der Kapitalabfluss beim Import von Energie oder Brennstoffen gestoppt und die Wirtschafts- und Kaufkraft vor Ort zusätzlich gestärkt werden.

Die Stromgestehungskosten konventioneller Kraftwerke werden im Jahr 2025 mit Sicherheit deutlich über zehn Cent pro Kilowattstunde liegen, wenn man die Entwicklung der Vergangenheit fortschreibt. Dabei ist noch nicht einmal berücksichtigt, dass der Strompreis künftig auch durch eine wirkliche **Einpreisung der externen Kosten** (z.B. durch CO₂-Zertifikate) deutlich weiter steigen wird. So haben Bundestag und Bundesrat erst im Juni die teilweise Versteigerung von CO₂-Zertifikaten ab dem Jahr 2008 beschlossen.

Fazit:

Die Energiewende ist machbar und führt zu niedrigeren Strompreisen im Verhältnis zu denen, die ohne den Ausbau erneuerbarer Energien kommen würden. Hessen kann im Jahr 2025 seinen Strombedarf zu 100 Prozent aus regenerativen Energien bereitstellen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist nicht nur umweltfreundlich, sondern er garantiert langfristig auch einen stabilen Strompreis!

2.8. Netzintegration erneuerbarer Energien

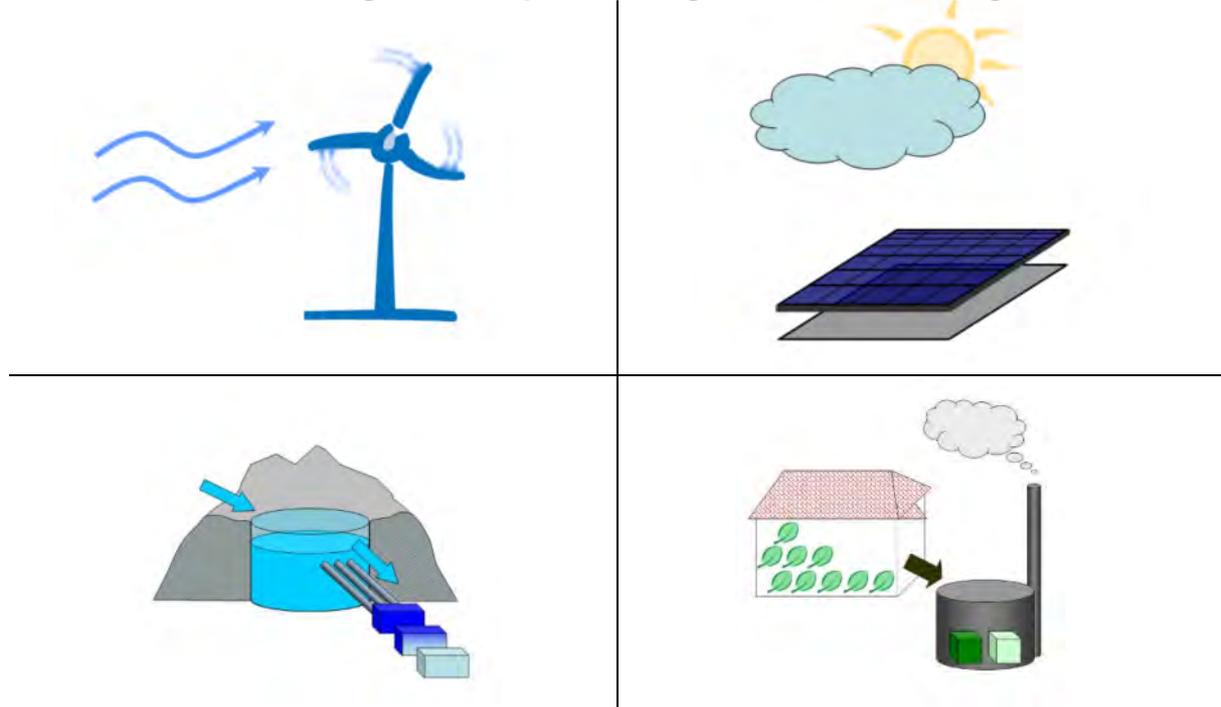
Die erneuerbaren Energien werden in der Lage sein, bei einer intelligenten Vernetzung und in Kombination mit weiteren Maßnahmen jederzeit die benötigte Leistung bereitzustellen. Energieeinsparung und effiziente Energienutzung (siehe Kapitel 3) stehen dabei an erster Stelle. Zu den weiteren Maßnahmen gehören:

- Nutzung bestehender Energiespeicher
- Intelligentes Energiemanagement
- Ausbau virtueller Kraftwerke
- Weiterentwicklung von vorhandenen Speichertechnologien
- Das erneuerbare Kombikraftwerk – ein Beispiel aus der Praxis
- Energieautarke Einheiten

2.8.1 Nutzung bestehender Energiespeicher

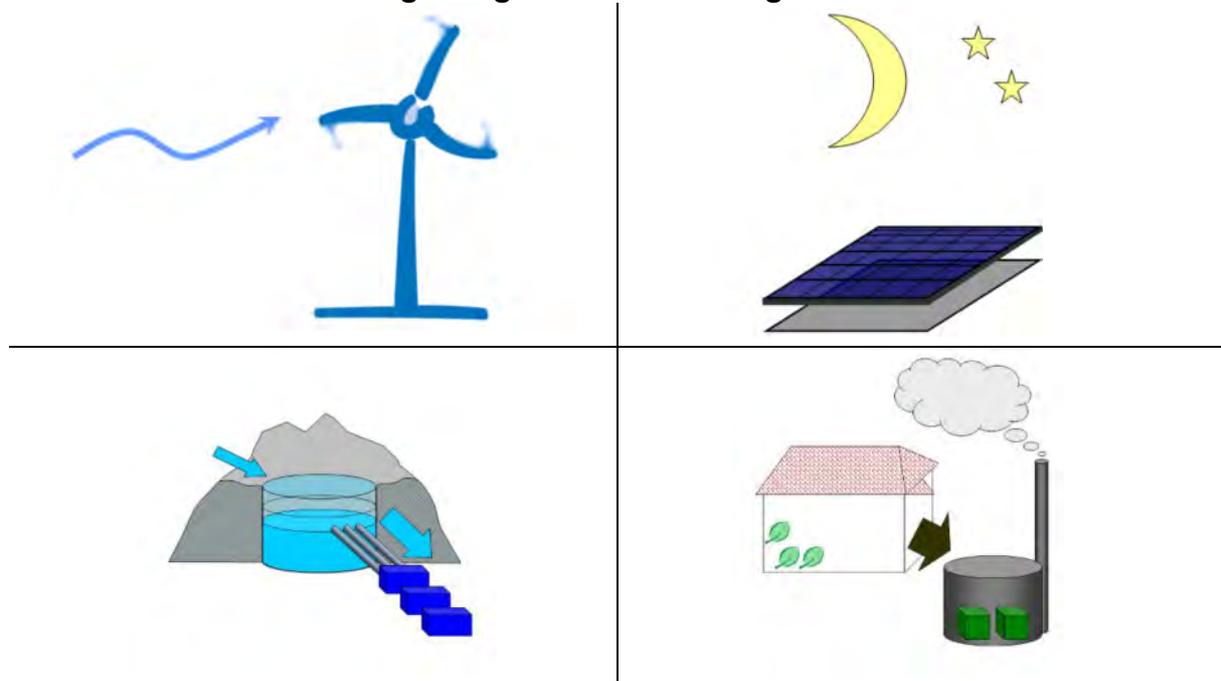
Im Gegensatz zu vielen anderen Zukunftsszenarien setzen wir auf bestehende Techniken, auch im Bereich der Energiespeicherung. Vor allem **Biomasse und Wasserkraft** können als direkte Speichermedien verwendet werden und **somit den Strombedarf zeitgerecht abdecken**. Beide Energiearten haben einen großen Vorteil gegenüber allen „indirekten“ Speichern wie beispielsweise Batterien und Wasserstoff: Bei ihrer Nutzung als Speicher **kaum zusätzliche Umwandlungsverluste** treten im Gegensatz zur Wasserstoff-Technologie kaum Verluste auf. Biomasse und Wasserkraft sind somit die kostengünstigste und effektivste Form der Speicherung. Die nachfolgenden Grafiken veranschaulichen das ideale Zusammenspiel der regenerativen Energieträger. Aus Gründen der Vereinfachung haben wir den Energieträger „Geothermie“ nicht dargestellt. Die Geothermie lässt sich allerdings problemlos in diese Energiesystem integrieren.

Der Normalfall: Das Angebot entspricht weitgehend der Nachfrage



Bei normalen Wetterbedingungen (Wind und/oder Sonnenschein) wird nur wenig Wasserkraft- und Biomasseleistung sowie Geothermie als Ergänzung zur Wind- und Solarleistung benötigt. In den Wasserkraft- und Biomassekraftwerken laufen nicht alle Generatoren. Das System befindet sich dank einer intelligenten Vernetzung und einer effektiven Steuerung der Nachfrageseite im Gleichgewicht.

Ausnahme 1: Die Nachfrage ist größer als das Angebot

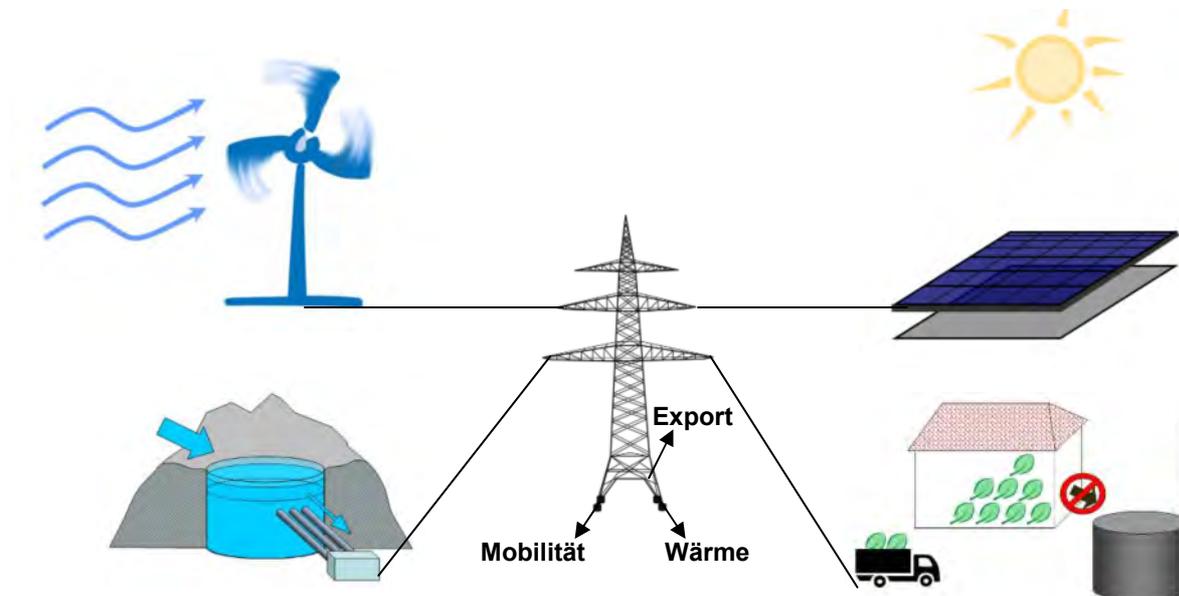


Bei wenig Wind und/oder Sonnenschein wird mehr Wasserkraft- und Biomasseleistung sowie Geothermie benötigt. Wasserspeicher und Biomasselager leeren sich. In diesen Kraftwerken laufen alle Generatoren unter Vollast.

Copyright-Hinweis:

Vervielfältigung und Weitergabe an Dritte – auch auszugsweise – nur nach schriftlicher Freigabe des Herausgebers!

Ausnahme 2: Das Angebot ist größer als die Nachfrage

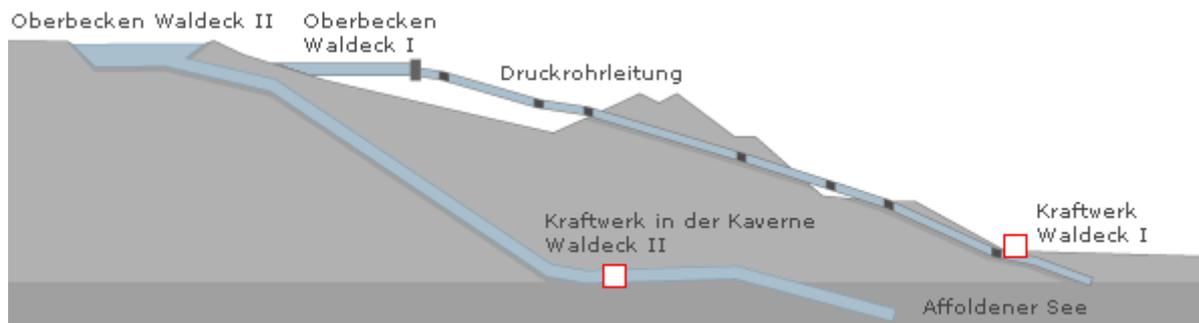


Bei seltenen, sehr extremen „regenerativen“ Wetterbedingungen (sehr viel Wind und/oder Sonnenschein) und gleichzeitig sehr geringer Nachfrage werden nur sehr wenig Wasserkraft- und Biomasseleistung als Ergänzung zur Wind- und Solarleistung benötigt. Wasserspeicher und Biomasselager füllen sich, die Generatoren laufen mit minimaler Leistung. Zusätzlich können mit der Überproduktion von Wind- und/oder Sonnenstrom beispielsweise Batterien in E-Mobilen gefüllt oder Wärme produziert werden. Einen Teil des Stroms kann man zudem auch in benachbarte Regionen exportieren.

Vor allem die Biomasse ist die ideale Ergänzung zur Wind- und Sonnenenergie im regenerativen Energiemix, weil sie sich aufgrund der Vielfältigkeit leicht speichern, aber auch relativ zügig in elektrische Energie umwandeln lässt. Einzig größere Generatoren zur Erzeugung von Strom und Wärme in kürzen Zeiträumen (z. B. in 4.000 statt 8.000 Stunden pro Jahr) müssen angeschlossen werden.

Ähnlich verhält es sich mit Wasserkraftwerken, die über ein Speicherbecken verfügen: Bei viel Wind und/oder Sonnenschein wird der Abfluss (und damit die Turbinenleistung) des Wasserkraftwerks reduziert, und das auflaufende Wasser füllt den Speicher. Bei Windstille und dunklem Himmel fließt mehr Wasser aus dem Becken über die Turbinen ab, und der Pegel im Speicherbecken sinkt. Wasserkraftwerke im Verbund mit Speicherbecken sind eine seit Jahrzehnten weltweit genutzte Möglichkeit der Energiespeicherung. Hinzu kommen klassische Pumpspeicherkraftwerke, wie sie bundesweit an verschiedenen Standorten erfolgreich betrieben werden. Dabei werden Energieüberkapazitäten benutzt, um Wasser von niedrig auf höher gelegene Speicherbecken zu pumpen, um dann zu Spitzenlastzeiten durch Turbinen entsprechende Energie bereitzustellen.

In Nordhessen existieren z.B. die Pumpspeicherwerke Waldeck I und II in der Nähe von Bad Wildungen bei Kassel mit einer gemeinsamen Leistung von 580 Megawatt.



Quelle: E.ON

Im benachbarten Thüringen liegt zudem das Pumpspeicher-Kraftwerk Goldisthal mit folgenden technischen Daten:

Leistung: 1.060 kW; Speicher: 80 Stunden bzw. 84,8 MWh

Wirkungsgrad: 0,9 (Turbine), 0,85 (Pumpe)

Im europäischen Verbund ist es zudem auch vorstellbar, die riesigen vorhandenen Speichermöglichkeiten in den skandinavischen Ländern (vor allem in Norwegen) oder den Alpenregionen für ein rein erneuerbares europäisches Verbundnetz zu nutzen, das auch der hessische Energiemarkt im Bedarfsfall nutzen kann.

In Norwegen werden jährlich rund 120 Mrd. kWh Strom erzeugt; dies geschieht zu 99,3 Prozent durch Wasserkraftwerke. Im benachbarten Schweden beträgt die Jahresstromproduktion ca. 150 Mrd. kWh; hier liegt der Wasserkraft-Anteil bei etwa 50 Prozent. Ebenfalls sehr hohe Anteile an Wasserkraft haben die beiden Alpenländer Österreich und Schweiz: In Österreich steuert die Wasserkraft etwa 67 Prozent zur Jahresstromproduktion von ca. 60 Mrd. kWh bei, in der Schweiz (Jahresstromproduktion: ca. 70 Mrd. kWh) liegt ihr Anteil bei knapp 60 Prozent. Die installierte Wasserkraft-Leistung in diesen vier Ländern beträgt zusammengenommen rund 70.000 Megawatt.

2.8.2 Intelligentes Energiemanagement

Um eine bedarfsgerechte Versorgung der Haushalte und des Gewerbes sowie der Industrie mit Energie zu erreichen, muss das intelligente Energiemanagement künftig eine zentrale Aufgabe übernehmen. Das bedeutet, dass nicht nur auf Erzeugerseite die teilweise fluktuierenden regenerativen Energiequellen ausgeglichen werden, sondern auch auf der Verbraucherseite die Nachfrage dem Angebot angepasst wird.

Bisher wird auf Verbraucherseite sowohl das private als auch das öffentliche und das betriebliche Energiemanagement sehr wenig beachtet. Allein durch die Anpassung des Zeitpunktes des privaten Verbrauchs an den Zeitpunkt der regenerativen Energieerzeugung lässt sich ein hoher Grad an Energieeffizienz verwirklichen. So kann man den höchsten Stand der Sonne mit Blick auf die Photovoltaik optimal ausnutzen, indem man zur gleichen Zeit z.B. auch automatisch die Waschmaschine einschalten lässt. Teilweise bestehen auch „natürliche“ Korrelation zwischen den regenerativen Energien und der Nachfrageseite: So ist der Strombedarf für Klimaanlage in aller Regel immer dann am höchsten, wenn viel Sonne scheint.

Auch im Gewerbe und in der Industrie lassen sich einige Prozesse zeitlich verschieben und damit besser mit der regenerativen Energieerzeugung vernetzen. Nicht benötigte Nebenprozesse in der Industrie lassen sich beispielsweise zeitweise ganz abschalten oder ganze Prozesse in ihrem Ablauf energetisch optimieren. Beispielsweise können Trocknungsprozesse (z.B. in Lackierstraßen) und Kühlungsprozesse (z.B. in Kühlhäusern) vom zeitlichen Ablauf her gut gesteuert werden.

2.8.3 Ausbau virtueller Kraftwerke

Der Umstieg von der momentanen zentralen Energieerzeugung zu einer dezentralen Erzeugung erneuerbaren Stroms bei zentraler Ansteuerung der verschiedenen Anlagentypen wird ebenfalls zum Kern des neuen Energiesystems gehören. Das so genannte „virtuelle Kraftwerk“ basiert auf der Idee, unter Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen der Verbraucher die einzelnen dezentralen Energieerzeugungsanlagen über das Internet zu steuern.

Darunter können z.B. kleinere Anlagen wie private Blockheizkraftwerke (BHKW) fallen, bei denen der jeweilige Eigentümer bei Bedarf Strom in das öffentliche Stromnetz mittels des virtuellen Kraftwerks einspeisen kann. Es gibt bereits heute zahlreiche Techniken, mit denen sich der Ansatz der virtuellen Kraftwerke umsetzen lässt: Neben Mini-BHKW gehören dazu die so genannte Sunmaschine, die auf dem Prinzip des Stirling-Motors basiert, oder auch solare Inselssysteme wie beispielsweise das System Sunny Island, das Solarmodule mit Batterien kombiniert. Ähnliche Anlagen sind jedem Autofahrer von Parkautomaten oder Messstationen an den Autobahnen bekannt.

Positive praktische Erfahrungen mit einem virtuellen Kraftwerk haben bereits die Technischen Werke Ludwigshafen AG (TWL) mit ihrer Querverbundwarte als Steuerungseinheit gemacht. Ebenso ist seit Ende 2004 im nordrhein-westfälischen Unna das erste virtuelle Kraftwerk im Dauerbetrieb, darüber hinaus betreibt auch die Transferstelle Bingen zu Forschungszwecken ein virtuelles Kraftwerk mit unterschiedlichen Energieträgern.

2.8.4 Weiterentwicklung von vorhandenen Speichertechnologien

Überschüssigen Wind- und/oder Solarstrom werden im Szenario 2025 wie bereits beschrieben zur Auffüllung bestehender Speicherbecken von Wasserkraftwerken eingesetzt oder über eine intelligente Vernetzung zum entsprechenden Verbraucher gelenkt. Auch eine Umwandlung des Stroms in Wärme ist als Option vorstellbar, wengleich die Effizienz dieser Prozesse nicht besonders wirtschaftlich ist.

Neben den etablierten Pumpspeicherkraftwerken kommen Druckluftspeicher ebenso in Frage. Weltweit gibt es bisher erst zwei der sogenannten CAES-Kraftwerke (Compressed Air Energy Storage), eines davon im niedersächsischen Huntorf. Neben Aquiferen und porösen Gesteinsformationen eignen sich besonders die in Norddeutschland vorkommenden unterirdischen Salzstöcke, in denen durch Aussolung große Kavernen angelegt werden können. In diesen kann überschüssiger Strom aus Wind- oder Solarenergie während Schwachlastzeiten in Form von komprimierter Luft gespeichert werden. Die Probleme dieser Speichertechnologie – die Erwärmung der Luft bei der Komprimierung und ihre Abkühlung bei der Expansion in der Turbine – werden derzeit noch durch den Einsatz von zusätzlichem Strom zum Kühlen und fossilen Brennstoffen zum Erwärmen der Druckluft, die ansonsten bei der Verstromung zum Vereisen der Turbine führen würde, gelöst. Daraus resultieren im Vergleich zu den Pumpspeicherkraftwerken schlechtere Wirkungsgrade. Zukünftige „Adiabaten Speicherkraftwerke“ (AA-CAES) sollen einen Großteil der bei der Komprimierung entstehenden Wärme speichern und beim Verstromen der Druckluft wieder zur Verfügung stellen. Der Einsatz fossiler Brennstoffe lässt sich auf diese Weise vermeiden.

Eine andere technische Möglichkeit zur Speicherung bilden beispielsweise Batterien, heutzutage ein alltäglicher Bestandteil im europäischen Stromverbund für die Sofortreserve zur Sicherstellung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV). Darüber hinaus existieren bereits Insellösungen, wenn die Anbindung an das Stromnetz zu teuer ist. Sie eignen sich gut, um bei Überproduktion und zeitversetzten Nutzung Energie aus Photovoltaik- bzw. Windenergie-Anlagen zu speichern. Ähnliche Anlagen sind jedem Autofahrer zur Stromversorgung von Parkautomaten oder Messstationen an den Autobahnen bekannt. Dazu gehört die ursprünglich aus Deutschland stammende Idee der Natrium-Schwefel-Batterie (NaS). Derzeit plant der japanische Hersteller NGK bei Tohoku den Einsatz einer 30 Megawatt starken NaS-Batterie zur Speicherung des durch Windenergie erzeugten Stroms. Dieser Batterietyp kann eine kurzfristige Überbrückung ermöglichen und kleinere lokale Versorgungseinheiten stärken. Vorteilhaft ist bei der Wahl einer NaS-Batterie, dass sich mit der BASF bereits ein Partnerunternehmen der NKG in Deutschland befindet.

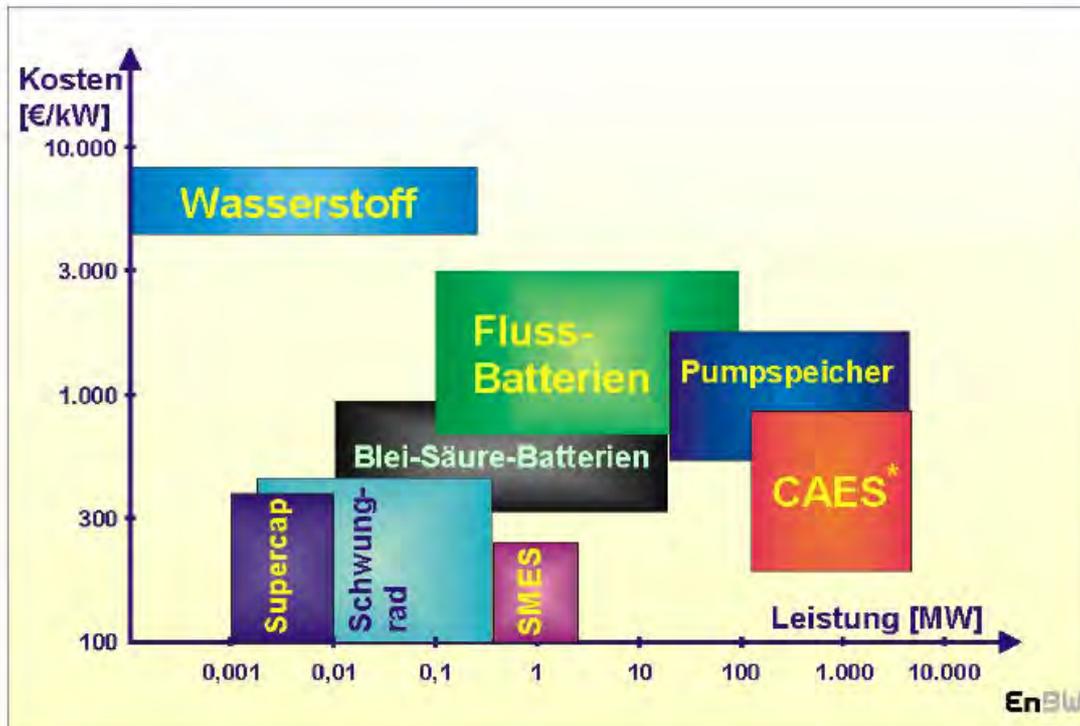
Darüber hinaus bietet es sich auch an, in Elektrogeräten Akkus zu verwenden, die während der energieintensiven Phasen von Wind- und Solarenergie aufgeladen werden. Im städtischen Bereich können zudem Batterien für Elektrofahrzeuge mit dem Überschuss aus Wind- und Solarenergie-Anlagen aufgeladen werden. In windschwachen und sonnenarmen Zeiten können diese Batterien (bzw. die Fahrzeuge) dann als stationärer Speicher zur Stromabnahme genutzt werden.

Wasserstoff ist zwar als Speichermedium in aller Munde, konnte sich bislang jedoch weder im Verkehrs- noch im Energiesektor durchsetzen. Dies liegt unter anderem an dem schlechten Wirkungsgrad der gesamten Umwandlungskette und den damit verbundenen hohen Kosten.

Zur Speicherung thermischer Energie, die sich ebenfalls durch Strom aus Wind- und Solarenergie erzeugen lässt, eignen sich auch natürliche Grundwasserschichten, sogenannte Aquifere, die unterhalb des Niveaus der Trinkwassernutzung (in der Regel unter 100m) liegen. Bisher sind vor allem in Skandinavien, Belgien und den Niederlanden entsprechende Projekte umgesetzt worden. In Deutschland wird dies z.B. im Energiekonzept „Spreebogen“ für den Reichstag erprobt.

Außerdem kann man Schwungräder als Hochleistungsspeicher für die kurzfristige und kurz andauernde Energiebereitstellung in großen Mengen betreiben. Das ist der Fall bei häufigen Lade- und Entladevorgängen wie z.B. bei Containerbrücken oder im Nahverkehrsbereich. Eine weitere Speichertechnologie, die ebenfalls für den Bereich der schnellen Lade-/ Entladevorgängen geeignet ist, sind die Doppelschichtkondensatoren bzw. SuperCaps oder supraleitende Spulen (SMES).

Die unterschiedlichen Speicherkonzepte unterscheiden sich dabei nicht nur bei den Kosten und Wirkungsgraden, sondern auch bei den Anwendungsbereichen, wie das nachfolgende Schaubild zeigt:



Pumpspeicher-Kraftwerke liegen in der Größenordnung von 50 bis 5.000 Megawatt, die geplanten Druckluft-Kraftwerke (CAES) ebenfalls. Dagegen decken sowohl Wasserstoff- als auch Batteriespeicher eher den Bereich von wenigen Kilowatt bis maximal 100 Megawatt ab, weil sie zu hohe Verluste aufweisen und zu teuer sind.

2.8.5 Das regenerative Kombikraftwerk – ein Beispiel aus der Praxis

An der Realisierung einer Vollversorgung mit regenerativen Energien wird in Nordhessen intensiv geforscht. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Solare Versorgungstechnik (ISET) an der Universität Kassel haben die Anlagenhersteller Schmack Biogas AG, SolarWorld AG und Enercon GmbH Deutschlands erstes Kombikraftwerk mit dem Namen "EE 100" für erneuerbare Energien entwickelt und im Oktober dieses Jahres nach mehrmonatiger Laufzeit einer breiten Öffentlichkeit in Berlin vorgestellt. Das Projekt demonstriert, dass erneuerbare Energien eine bedarfsgerechte Stromversorgung zu 100 % sicherstellen können.

Im Kombikraftwerk sind 36 Erneuerbare-Energien-Kraftwerke vernetzt, die über ganz Deutschland verstreut sind. Zu dem Kraftwerk gehören elf Windanlagen, vier Biogaskraftwerke (darunter auch das Biogas-Blockheizkraftwerk in Bad Hersfeld) und zwanzig Solaranlagen sowie ein Pumpspeicherkraftwerk, die durch eine zentrale Steuerungseinheit zusammengeschlossen werden. Ein Zehntausendstel des

deutschen Strombedarfs – etwa der Bedarf einer Kleinstadt mit 12.000 Haushalten – wird auf diese Weise abgedeckt. Was einmal für die gesamte Bundesrepublik möglich werden soll, wird hier im Kleinen erfolgreich getestet. Um sich minutengenau an den tatsächlichen Bedarf anzupassen, speichert das regenerative Kombikraftwerk überschüssige Strommengen, um sie im Falle der Nachfragespitzen wie beispielsweise zur Mittagszeit wieder zur Verfügung zu stellen.

Der Dreh- und Angelpunkt für alle Kraftwerksfunktionen ist dabei der tatsächliche Verlauf des Strombedarfs. Das so genannte Lastprofil, eine Prognose des erwarteten Energiebedarfs, wird an eine zentrale Steuerungseinheit übermittelt, wo auch die auf den Vorhersagen des deutschen Wetterdienstes basierenden Prognosen über die zu erwartenden Wind- und Solarerträge eingehen. Die zentrale Steuerungsanlage rechnet diese Daten gegeneinander auf. Da die Leistung der Wind- und Solaranlagen gemäß den natürlichen Bedingungen schwankt, können sie den Strombedarf nicht exakt abdecken. Die entstehende Unter- bzw. Überversorgung muss ausgeglichen werden, um Versorgungssicherheit und Netzstabilität zu garantieren. Genaue Prognosen gestatten es, grundsätzliche Steuerungsmuster festzulegen.

Die eigens dafür am ISET entwickelte Software berechnet alle 60 Sekunden den Energiemix unter Berücksichtigung der Wetterdaten neu. Trotz der sehr genauen Vorhersagen über die zu erwartende Leistung der beteiligten Kraftwerke besteht bei der realen Einspeisung noch ein Ausgleichsbedarf. Die zentrale Steuerungseinheit regelt schließlich auch die Feinabstimmung zwischen den Energiequellen. Von dieser ist abhängig, wie viel Energie aus Biogas- und Pumpspeicherwasserkraftwerken bereitzustellen ist. Dabei kommen die besonderen Eigenschaften des Biogases zum Tragen, da Biogas als einziger der Energieträger speicherfähig ist und damit nachfragegerecht Strom liefern kann. Außergewöhnlich bei dem Projekt ist, dass Biogas zur Abdeckung der Spitzenlast herangezogen wird und nicht im Grundlastbereich zum Einsatz kommt. Die natürlichen Schwankungen von Wind- und Solarenergie lassen sich auf diese Weise sinnvoll in ein bedarfsgerechtes Lastprofil überführen. Der Biogasnutzung kommt damit eine zentrale Rolle bei der Regulation des Kombikraftwerks zu.

2.8.6 Energieautarke Einheiten

Der Bau von Windrädern ist längst nicht mehr nur die Domäne von großen Betreibern. Kleinwindräder für den Privatgebrauch, die in Gärten aufgestellt oder auf Hausdächern montiert werden, können ebenfalls sauberen Strom liefern. Noch ist der Marktanteil von kleinen Windenergieanlagen allerdings gering, da Erwerb und Installation eine relativ kostspielige Angelegenheit darstellen und attraktive



*Beispiel eines Vertikalsystems;
Quelle: Tassa GmbH*

Rahmenbedingungen in Deutschland bislang fehlen. So benötigen die Eigentümer von heimischen Kleinanlagen genau wie die Betreiber großer Windparks ein um die 1000 € teures Standortgutachten oder müssen sich bilateral mit ihren Versorger einigen. Zudem ist für die Errichtung des Windrads eine Baugenehmigung nötig, die vom Wohlwollen der lokalen Baubehörden abhängt. Dennoch belegt das steigende Engagement von Herstellern und Vertreibern, dass der Markt an Fahrt gewinnt.

Kleinwindräder erreichen bislang nicht den Wirkungsgrad großer Anlagen, können aber bei einer Nennleistung von 1 kW etwa ein bis zwei Drittel des Jahresdurchschnittsverbrauchs eines Haushalts von 3.500 Kilowattstunden abdecken. Ihr Einsatz bietet sich unter anderem in entlegenen, nicht erschlossenen Gebieten an, die Errichtung ist aber ebenso in Industrie- oder Gewerbegebieten, auf landwirtschaftlichen Betrieben (z.B. Einzelhöfe) oder größeren Privatgrundstücken denkbar, sofern sich

Nachbarn durch mögliche Geräuschentwicklung und Schattenschlag nicht beeinträchtigt fühlen. Für den Betrieb in Siedlungen, Gewerbebetrieben oder direkt auf Hausdächern werden auch geräusch- und schwingungsarme Vertikalsysteme angeboten, die eine Beeinträchtigung der vor Ort lebenden oder arbeitenden Menschen vermeiden. Eine Einbindung der Kleinwindräder in Gesamtsysteme mit Solarmodulen, Klein-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die mit Biomasse oder -gas befeuert werden, und/oder solarthermischen Anlagen zur Wärme- oder Warmwassererzeugung ist möglich. Einige Hersteller arbeiten an dem Ziel, auf diese Weise ein Konzept für energieautarke Häuser im Stadtgebiet anbieten zu können.

Solarmodule auf Dächern sind heute keine Ausnahme mehr und haben seit der Einführung des EEG zunehmende Verbreitung gefunden. Weniger durchgesetzt haben sich bisher solare Stand-alone- und Stand-by-Techniken, wie man sie etwa von mit Solarzellen betriebenen Taschenrechnern her kennt. Der Einbau von Photovoltaikmodulen ist dank verbesserter Wirkungsgrade der Module und der erhöhten Stromnutzungseffizienz in einem breiten Spektrum von Elektrogeräten – angefangen von Fernbedienung über Handy hin zu Haushaltsgeräten mit eingebauter Uhr – denkbar.

Die Leerlaufzeiten von Stand-by-Geräten sind seit Jahren Gegenstand heftiger Debatten. Während bei einigen Geräten das komplette Abschalten lediglich die Benutzerfreundlichkeit einschränkt, sind andere Geräte wie Fax oder Anrufbeantworter sinnvoller Weise auf die Stand-by-Funktion angewiesen. Um die Leerlaufverluste und den Stromverbrauch zu verringern bzw. zu vermeiden, wird ein beachtlicher entwicklungstechnischer Aufwand betrieben und Aufklärungs- und Informationskampagnen für Produzenten, Händler und Kunden angeboten. Neben optimierten Techniken und verändertem Verbraucherverhalten könnte der Einbau von Solarmodulen einen erheblichen Beitrag zur Lösung der Probleme beitragen. Des Weiteren würde allein der Einsatz von Photovoltaik in Stand-alone- und Stand-by-Geräten den Anteil der erneuerbaren Energien um einige Prozentpunkte steigern. Zu bedenken ist außerdem, dass Energieverluste entfielen, die beispielsweise durch das Überladen von Batterien konventioneller Stand-alone-Geräte oder den Verbrauch von Transformatoren während des Nichtbetriebs von elektrischen Geräten entstehen. Da der Strom für den Stand-by-Betrieb der Grundlast zuzurechnen ist, zeigt sich, dass mit der Photovoltaiktechnik durchaus Grundlastkapazitäten ersetzt werden können.

Ein grundsätzlicher Strukturwandel in der Versorgung, insbesondere der Stromversorgung, können kleine, dezentrale Anlagen zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme (Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung) bewirken. Kleinkraftwerke im Keller einzelner Gebäude können Strom vor Ort bereitstellen oder ins lokale Verteilungsnetz einspeisen. Die entstehende Abwärme wird für die Heizung und die Warmwasserbereitstellung des Gebäudes verwendet. Auf diese Weise werden private Stromverbraucher gleichzeitig auch zu Stromproduzenten. Als Folge könnten sich weit reichende Veränderungen in der Topologie der Stromnetze sowie eine stärkere Kopplung zwischen Brennstoffen aus erneuerbaren Energien und der Stromversorgung ergeben.

Mikro-KWK Anlagen kommen in der Regel in Ein- oder Mehrfamilienhäusern als Ersatz für herkömmliche Zentralheizungen zum Einsatz. Sie wenden verschiedene Technologien an und werden mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben. Derzeit arbeiten die meisten Anlagen auf der Basis von Erdgas, vereinzelt kommen aber auch schon regenerative Energiequellen (z.B. Holzhackschnitzel, Pflanzenöl oder Biogas) zum Einsatz. Bei den Technologien ist der Ottomotor am weitesten verbreitet. Stirlingmotoren befinden sich vor der Markteinführung, Brennstoffzellen sowie Mikro-Gasturbinen werden vorläufig noch als Pilot- oder Versuchsanlagen betrieben.

Einen weiteren Ausblick auf mögliche Entwicklungen und Technologien gibt das vierte Kapitel.

2.8.7 Zusammenfassung

Einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energien steht technisch nichts im Wege. Zudem haben zahlreiche weitere Studien gezeigt, dass die Komplett-Versorgung von Gemeinden mit erneuerbaren Energien möglich ist. Die Transferstelle Bingen (TSB) hat eine Studie zur Energieversorgung in Bruchmühlbach (Rheinland-Pfalz) vorgelegt. Dort wird die Versorgung durch Wind- und Solarenergie in Kombination mit einem Batteriespeicher zu 80% gesichert. Die restlichen 20% können durch die Bereitstellung der Energie durch Biomasse geleistet werden.

Ein Vergleich verschiedener Speichersysteme zeigt deutlich, dass vor allem Biomasse der effizienteste und damit auch günstigste Speicher ist:

Speicher	Verluste*	Zusatzkosten*
Biomasse	1-2%	2-3 Cent pro kWh
Pumpspeicher	25%	4 Cent pro kWh
Batterien	25%	8 Cent pro kWh
Druckluft	30-60%	10 Cent pro kWh
Wasserstoff	75%	10 bis 20 Cent pro kWh

(*: alle Angaben basieren auf Einzelfallstudien und eigenen Abschätzungen)

Energiemanagementsysteme, Speichertechniken und neuartige Stromnetze ermöglichen es, überschüssigen Windkraft- und Solarstrom für windschwache und sonnenarme Zeiten zu speichern bzw. über weite Strecken zu übertragen. Auch die Steuerung von Verbrauchern – sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich – wird möglich sein: zum Beispiel über eine entsprechende Preisgestaltung, wie sie schon heute in groben Zügen (Hoch-, bzw. Niedrigtarif) existiert.

Ein weiterer Vorteil der dezentralen Versorgung ist die hohe Versorgungssicherheit auf Grund der Vielzahl der Anlagen. Denn die Wahrscheinlichkeit, dass alle Systeme gleichzeitig ausfallen, ist relativ gering. Mit der intelligenten Vernetzung lässt sich auch Regel- und Ausgleichsenergie gut einplanen. Entsprechende Prognosesysteme für die Windenergie machen zudem den Anteil an benötigter Regel- und Ausgleichsenergie zunehmend kleiner: Schon heute lässt sich die Windkraft-Leistung 72 Stunden im Voraus mit einer geringen Fehlerquote vorhersagen.

Dabei wird es darauf ankommen, vorhandene Speichertechnologien (wie die Biomasse) intelligent einzusetzen und andere, bereits bestehende Speichertechnologien konsequent weiterzuentwickeln. Wir müssen nicht mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien warten, bis die letzte Kilowattstunde in irgendeiner Speicherdose „zwischen geparkt“ werden kann.

3 Die Vorreiter der Energiewende: Die wirtschaftliche Bedeutung

3.1 Erneuerbare Energien – Motor für den Arbeitsmarkt

Deutschland bietet ein attraktives Klima für Investitionen in erneuerbare Energien; dies gilt sowohl für Investitionen in die Erzeugung regenerativer Energie als auch für Investitionen in den Produktions- und Dienstleistungsstandort Deutschland. Auch für ausländische Unternehmen gilt die Bundesrepublik als Standort mit der am besten ausgereiften Technologie im regenerativen Energiesektor. Dies führt auch zu einer erhöhten Nachfrage nach deutschem Know-how auf den boomenden Weltmärkten und damit glänzenden Exportaussichten für Hightech „Made in Germany“.



Der Markt mit der Technik für erneuerbare Energien hat in Deutschland 2007 einen Umfang von etwa 32 Milliarden Euro erreicht. Für das Jahr 2010 wird bereits ein Umfang von ca. 45 Milliarden Euro prognostiziert. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) erwartet hier ein weit überdurchschnittliches Wachstum. Günstige gesetzliche Voraussetzungen wie z.B. das Erneuerbare-Energien-Gesetz, treiben die technologische Entwicklung in größerem Umfang voran.

Die erneuerbaren Energien sind dank dieser Entwicklung zum Wachstumsmotor des Arbeitsmarkts geworden. Deutschland nimmt bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten zur Gewinnung erneuerbarer Energien einen Spitzenplatz auf der Welt ein. **Bundesweit sind nach jüngsten Berechnungen des BMU bislang im Bereich erneuerbarer Energien über 235.000 Arbeitsplätze geschaffen worden.** Darin enthalten sind neben den in diesem Bereich unmittelbar Beschäftigten auch die Beschäftigten der Zulieferindustrie und bei Dienstleistungsunternehmen sowie die durch öffentliche und gemeinnützige Mittelbereitstellung entstandenen Stellen in Forschung, Öffentlichkeitsarbeit und Wirtschaftsförderung. Darunter sind z.B. bei Windenergie-Anlagen nicht nur die eigentliche Herstellung, sondern auch die

Zulieferindustrie (Stahl-, Getriebe- und Generatorenproduktion) sowie Vertrieb und Vermarktung zu nennen.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien hat bundesweit zu neuen Zentren von industriepolitischer Bedeutung geführt. Dazu zählen beispielsweise die Küstenregionen in Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern im Bereich der Windenergie, die neuen Bundesländer im Bereich der Solarenergie und der Süden im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus der Bioenergie-Branche. **Bis zum Jahr 2020 erwartet die Branche der erneuerbaren Energien einen Zuwachs an Arbeitsplätzen in Deutschland auf rund 500.000. Werden die Rahmenbedingungen in allen Energiesektoren – Strom, Wärme, Verkehr – richtig gesetzt, kann der Zuwachs sogar doppelt so hoch ausfallen.**

Der Wegfall von Arbeitsplätzen in den alten Energiesektoren lässt sich mehr als kompensieren, da zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden. Bei entsprechend guten Rahmenbedingungen kann auch Hessen vom weltweiten Boom bei den erneuerbaren Energien profitieren. Investition in neue Anlagen für erneuerbare Energien lösen unter anderem folgende Beschäftigungseffekte aus:

- Herstellung von Komponenten für regenerative Energieanlagen
- Dienstleistungen rund um die Projektentwicklung
- Aufbau, Wartung und Betrieb regenerativer Kraftwerke
- Export von Anlagen und Dienstleistungen
- Forschung & Entwicklung

Auswirkungen in Hessen

Momentan sind nach Angaben des Statistischen Bundesamtes etwa 17.000 Personen im Bereich der Energie- und Wasserversorgung in Hessen tätig; überwiegend bei kommunalen Unternehmen wie Stadtwerken und Regionalversorgern. Seit 1991 sind in diesem Beschäftigungssektor bundesweit rund ein Drittel der Stellen weggefallen.

Rund um die erneuerbaren Energien gibt es schon heute in Hessen einige Tausend Beschäftigte bei Herstellern und Dienstleistern. Zu erwarten ist ein stetiges Wachstum, wobei allein die gesamten Arbeitsplätze im Bereich erneuerbarer Energien ohne Berücksichtigung der Exporterlöse und deren Arbeitsplatzeffekte um mindestens 60.000 zunehmen werden. Die erneuerbaren Energien können also auch in Hessen zum Jobmotor werden. Zu unterscheiden sind dabei die zuvor genannten Bereiche.

Herstellung von Komponenten für regenerative Energieanlagen und Dienstleistungen rund um die Projektentwicklung

Heute gibt es bereits zahlreiche Unternehmen, die in diesem Sektor aktiv sind. Beispielhaft seien an dieser Stelle genannt:

- SMA Technologie AG, Produzent von Solartechnik und Systemtechnik für die dezentrale Energieversorgung in Kassel
- ABO Wind in Wiesbaden und die Ralos-Gruppe mit Hauptsitz im hessischen Michelstadt, Projektentwickler von regenerativen Energieanlagen
- Die Lurgi AG im Bereich des Bioanlagenbaus
- LUST-Unternehmensgruppe mit Hauptsitz in Lahnau-Waldgirmes, Hersteller von elektrischen Blattverstellungssystemen (Pitchsystemen) für Windkraftanlagen
- ESM Energie- und Schwingungstechnik Mitsch GmbH in Rimbach/Odenwald, Hailo Werk, Rudolf Loh GmbH & Co. KG in Haiger-Flammersbach, Rittal GmbH & Co. KG in Herborn, Schunk Kohlenstofftechnik in Heuchelheim und Werner Schmidt Elektrotechnik GmbH in Bad Nauheim, Zulieferer der Windenergiebranche
- Wagner & Co Solartechnik GmbH, Modul- und Kollektorenhersteller in Cölbe
- Der Fertighausproduzent Finger im Schwalm-Eder-Kreis
- Suntaics Ltd. in Herborn, Hersteller und Großhändler von Solarmodulen
- Agrar-Bio-Service GmbH in Spangenberg, Dienstleister im Biogasbereich
- Dalkia Energie Service GmbH in Neu-Isenburg, Beratung und Planung im Bereich der Bioenergie
- Consolar Solare Heizungssysteme GmbH in Frankfurt
- GeckoLogic GmbH in Aßlar und SolarWerk e. K. in Frankfurt, Planung und Vermarktung von Photovoltaik-Anlagen
- zahlreiche kleinere Planungsbüros für regenerative Energieanlagen

Künftig wären z.B. die Ansiedlung eines Komponentenherstellers für Windenergie-Anlagen, die Produktion von Solarmodulen oder Solarzellen, oder auch eine verstärkte Herstellung von Komponenten für Bioenergie-Anlagen denkbar. Die hervorragende Infrastruktur des Landes – gekennzeichnet unter anderem durch die Wasserstraßen Rhein und Main sowie das entsprechende Autobahnnetz – ermöglicht die Fertigung großer Bauteile und deren Transport zu den Standorten des Weltmarktes. Dies kann sich vor dem Hintergrund rasant steigender Komponentengrößen, wie z.B. im Bereich der Windenergieanlagen zu einem echten Wettbewerbsvorteil entwickeln.

Ergänzend zu den regenerativen Kraftwerken kann sich Hessen bei der Zielsetzung einer 100%-EE-Strategie auch im Bereich der virtuellen Kraftwerke und der Speichermedien profilieren. Heute werden beispielsweise die Natrium-Schwefel-Batterien zur Stromspeicherung überwiegend in Japan produziert. Warum sollte es nicht gelingen, eine Fertigung nach Hessen zu locken, wenn hier auch ein entsprechend großer Absatzmarkt vorhanden ist?

Aufbau, Wartung & Betrieb regenerativer Kraftwerke

Nicht nur die Herstellung der Hardware, sondern auch der Aufbau der Kraftwerke (inklusive der Erstellung der erforderlichen Infrastruktur) sowie die Wartung und der Betrieb der Anlage schaffen neue Arbeitsplätze.

So haben sich zahlreiche Handwerksbetriebe (Elektriker, Dachdecker, Firmen aus dem Bereich Sanitär-Heizung-Klimatechnik etc.) mit dem Vertrieb und der Montage von Solaranlagen, Pelletsöfen, Wärmepumpen und kleinen Blockheizkraftwerken ein neues Geschäftsfeld erschlossen. Diese Diversifizierung wirkt sich in der Regel positiv auf die Unternehmen aus, da sich die Ertragslage verbessert und die Beschäftigtenzahlen gesichert bzw. ausgebaut werden.

Jeder dritte der bundesweit 78.000 mittelständischen Elektro-Unternehmen ist auf dem Gebiet der Solartechnik tätig, ergab im März 2007 eine Umfrage des Zentralverbands der Elektro- und Informationstechnischen Handwerke bei den Mitgliedsbetrieben. Sie wurde vom Volkswirtschaftlichen Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen (ifh) durchgeführt.

Das Geschäft mit der Sonne brummt: Der Anteil am Gesamtumsatz, den die spezialisierten Betriebe jährlich mit der Installation von Solartechnik erzielen, hat sich von 8 Prozent im Jahr 2000 auf 21 Prozent im Jahr 2006 gesteigert. In den vergangenen drei Jahren haben diese Betriebe auf diesem Tätigkeitsfeld jährlich durchschnittlich 218.000 Euro Umsatz gemacht. 2003 waren es nur 41.700 Euro. Immer häufiger wird mit Dachdeckern (47 Prozent) zusammengearbeitet, aber auch mit Kollegen aus dem Heizungs- (40 Prozent) und Metallbau (7 Prozent) und anderen Branchen.

Bei größeren Kraftwerken (Windparks, Bioenergieanlagen etc.) kommen zu den Tätigkeiten des Handwerks noch weitere Beschäftigungseffekte in der Bauwirtschaft dazu. Die Anlagenbetreiber beauftragen in der Regel regionale Unternehmen mit dem Straßen- und Wegebau, der Gebäudeerstellung, der Erschließung von Kabeltrassen etc.

Der Betrieb der zahlreichen dezentralen Windenergie- und Solaranlagen erfordert eine entsprechend qualifizierte Betreuung durch ausgebildetes Personal. Dies gilt sowohl für den Bereich der Anlageninstandhaltung als auch der Integration in das Stromnetz sowie die kaufmännische Begleitung bei Betreibern, Investoren, Banken und Versicherungen.

Heute haben die meisten Windenergieanlagen-Hersteller bereits mehrere Servicestützpunkte in Hessen, dazu kommen entsprechende Leitstellen bei Anlagenbetreibern wie beispielsweise Ralos und ABO Wind. Biogasanlagen werden meist von den beteiligten Landwirten betreut, bei Biomasse-, Geothermie- und Wasserkraftwerken gibt es in aller Regel vor Ort ein Betriebspersonal.

Export von Anlagen und Dienstleistungen

Die guten Rahmenbedingungen in Deutschland haben zu einem echten Wettbewerbsvorteil auf dem Weltmarkt geführt. Deutsche Produkte und deutsche Dienstleistungen werden zunehmend international nachgefragt. Der weltweit wachsende Energiemarkt bietet somit deutschen Unternehmen glänzende Aussichten für neue Absatzmärkte und Umsatzsteigerungen. Dies wird bei entsprechender Steuerung zu neuer Beschäftigung, bzw. zur Sicherung bestehender Arbeitsplätze im Land Hessen führen.

Im Bereich der Windenergie beispielsweise setzt sich der weltweite Boom der Branche unvermindert fort: Nach Berechnungen des Bundesverbands WindEnergie (BWE) stieg 2006 der Umsatz mit in Deutschland hergestellten Windkraftanlagen und deren Bauteilen im Vergleich zu 2005 um 22 Prozent von 4,9 auf 6,0 Milliarden Euro. 61 Prozent davon, also rund 3,6 Milliarden Euro, brachte das Export-Geschäft ein. Um der weltweit gestiegenen Nachfrage nach Windenergieanlagen gerecht zu werden, weiteten Hersteller und Zulieferindustrie ihre Kapazitäten auch in Deutschland aus. Warum künftig nicht auch in Hessen?

In Hessen ist beispielsweise die **Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH** aktiv. Als weltweit tätiges Bundesunternehmen der internationalen Zusammenarbeit für nachhaltige Entwicklung unterstützt die GTZ die Bundesregierung bei der Verwirklichung ihrer entwicklungspolitischen Ziele. Sie bietet zukunftsfähige Lösungen für politische, wirtschaftliche, ökologische und soziale Entwicklungen in einer globalisierten Welt und fördert komplexe Reformen und Veränderungsprozesse auch unter schwierigen Bedingungen.

Die GTZ ist ein Bundesunternehmen **mit Sitz in Eschborn bei Frankfurt am Main** und wurde 1975 als privatwirtschaftliches Unternehmen gegründet. Ihr Hauptauftraggeber ist das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Darüber hinaus ist sie tätig für andere Bundesressorts, für Regierungen anderer Länder, für internationale Auftraggeber wie die Europäische Kommission, die Vereinten Nationen oder die Weltbank sowie für Unternehmen der privaten Wirtschaft.

In mehr als 120 Ländern beschäftigt das Unternehmen gut 10.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter; davon sind fast 9.000 einheimische Kräfte. Die GTZ ist in 67 Ländern mit eigenen Büros vertreten. **In der Zentrale in Eschborn arbeiten rund 970 Personen.** Außerdem sind 365 Personen in überregionalen Projekten an verschiedenen Standorten in Deutschland tätig.

Ebenfalls am Taunusrand ist die Firma **Lahmeyer International GmbH** zu Hausen. Von **Bad Vilbel** aus bietet Lahmeyer International als unabhängiges Ingenieur- und Consulting-Unternehmen ein umfassendes Spektrum von Planungs- und Beratungsleistungen für technische und wirtschaftliche Projekte in den Bereichen Energie, Wasser, Transport, Infrastruktur, Umwelt und Technologie - weltweit. der Lahmeyer Gruppe, zu der neben dem Stammhaus Lahmeyer International noch sechs Beteiligungsgesellschaften im In- und Ausland gehören, sind heute **rund 870 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter** aus über 40 Nationen beschäftigt.

Forschung & Entwicklung

Durch die Ansiedlung von Hochtechnologiebetrieben würde auch zeitgleich die Forschungslandschaft in Hessen belebt. Aufgrund von Drittmitteln in der Wissenschaft und Forschung wäre auch hier von einer volkswirtschaftlichen Multiplikation jedes investierten Euros auszugehen. Hessen besitzt bereits einige renommierte öffentliche und private Universitäten, Fachhochschulen und Forschungseinrichtungen, deren Institute sich ebenfalls – teilweise schon seit mehreren Jahren – mit dem Themenfeld der nachhaltigen Energiewirtschaft beschäftigt. Hessen kann bundesweit eine führende Rolle übernehmen, denn mit zahlreichen Firmen und vielen wissenschaftlichen und Transfer-Einrichtungen verfügt das Land auf diesem Gebiet über ein beachtliches Potenzial. Exemplarisch seien einige Institutionen hier genannt:

- ***Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) in Kassel und Hanau***, anwendungsorientierte Forschung für die Elektro- und Systemtechnik zur Nutzung erneuerbarer Energien
- ***Universität Kassel***
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) und die Forschungsschwerpunkte Regenerative Energiesysteme und Energieeffizienz sowie „Bioenergie“
- ***Technische Universität Darmstadt***
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik mit dem Fachgebiet Regenerative Energien sowie die Architekturfakultät im Bereich des solaren Bauens
- ***Fachhochschule Giessen-Friedberg***
Fachbereich Energie- und Wärmetechnik
- ***Fachhochschule Fulda***
Professur für Energie- und Antriebstechnik
- ***Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien deENet e.V. Kassel***
Zusammenschluss von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Dienstleistern in Nordhessen

Beispielhaft sei hier das ISET näher beschrieben. Mit rund 140 Wissenschaftlern, Angestellten und Studenten an den beiden Standorten Kassel und Hanau zählt das 1988 gegründete Institut zu den auf diesem Gebiet international führenden Forschungseinrichtungen. Die wichtigsten erneuerbaren Energien, mit denen das ISET sich beschäftigt, sind Windenergie, Photovoltaik, Biomassenutzung sowie Wasserkraft und Meeresenergie. Besondere Schwerpunkte liegen auch in den Themenfeldern Energiewandlung und Speicher, Stromrichtertechnik, Hybridsysteme und Energiewirtschaft. Die fachlichen Kompetenzen des Instituts umfassen vor allem die Gebiete Leistungselektronik, Regelungstechnik, Verfahrenstechnik und Informationssysteme. Das ISET ist maßgeblich an der Konzeption des Kombikraftwerkes beteiligt (vgl. 2.8.5), wobei es in diesem Projekt die Entwicklung der zentralen Steuerung des Kraftwerks sowie die Fahrplanerstellung und -überwachung für die regelbaren Erzeuger mit Hilfe von Wind- und Solarstromprognosen übernommen hat. Außerdem wird die Gasturbine für die Biogasverstromung bereitgestellt und überwacht.

Zusammenfassung

Betrachtet man das Potenzial und die verschiedenen Bereiche, in denen Arbeitsplätze entstehen können, so ergibt sich folgendes Bild. Bis zum Jahr 2025 werden rund 22 Mrd. Euro in den Aufbau eines regenerativen Kraftwerkparks in Hessen investiert. Für den Bereich der Investition in neue Windenergie-Anlagen rechnet der Bundesverband WindEnergie (BWE) mit einem Faktor von 12,1 Beschäftigten pro Mio. Euro Umsatz, der sich aus dem durchschnittlichen Umsatz pro Arbeitsplatz im Maschinenbau (ca. 150.000 Euro) und einem vorsichtig geschätzten Aufschlag von 60 Prozent für so genannte indirekte Effekte ergibt. Diese Annahme stützen aktuelle Untersuchungen mit Input-Output-Analysen des statistischen Bundesamts. Nach einer anderen wirtschaftswissenschaftlich begründeten Faustregel ergeben sich durchschnittlich auf eine Mrd. Euro Investitionen 20.000 Arbeitsplätze.

Überträgt man diese Annahmen auch auf andere Bereiche der erneuerbaren Energien, so ergeben sich bei einem mittleren jährlichen Investitionsvolumen von rund 955 Mio. Euro in Hessen (in der Summe 22 Mrd. Euro für den 18-Jahres-Zeitraum 2008 bis 2025) **etwa 11.500 bis 19.100 Dauerarbeitsplätze durch die Neuinvestitionen**. Diese Arbeitsplätze entstehen zunächst einmal überwiegend dort, wo die Anlagen-Komponenten hergestellt werden. Gelingt es, einen Teil der Komponentenfertigung in Hessen anzusiedeln, so würde auch ein Teil dieser Arbeitsplätze hier entstehen. Zusätzlich kämen weitere Stellen durch die weltweite Nachfrage nach regenerativen Kraftwerken hinzu.

Betriebsführung, Wartung und Instandsetzung von Windrädern (und anderen regenerativen Kraftwerken) sind wesentlich arbeitsintensiver bzw. kapitalärmer als die Herstellung. Der BWE setzt hier einen Faktor von 17,1 Beschäftigten pro Mio. Euro Umsatz an. Verallgemeinert man auch diese Annahmen für die anderen Bereiche der erneuerbaren Energien, so ergeben sich bei einem Umsatz von rund zweieinhalb Mrd. Euro im Jahr 2025 **etwa 43.000 Arbeitsplätze durch den Betrieb der regenerativen Kraftwerke**. Und diese Arbeitsplätze entstehen dort, wo die Anlagen betrieben werden – in Hessen!

Fazit:

Erneuerbare Energien führen zu einem positiven Effekt für die regionale Wirtschaft, die Volkswirtschaft und den Arbeitsmarkt in Hessen. Auf absehbare Zeit werden in den Regionen von Hessen neue Gewerbeansiedlungen entstehen, die einen Aufschwung für Wirtschaft und Forschung bewirken – eine große Chance für das Land, in einem weltweiten Zukunftsmarkt eine führende Rolle zu spielen.

Investieren wir in den Ausbau der erneuerbaren Energien, so schaffen wir damit viele neue Arbeitsplätze in Deutschland statt mehr Reichtum bei den Rohstofflieferanten in Russland, Saudi-Arabien und anderen weit entfernten Regionen. In Hessen könnten dabei über 60.000 neue Arbeitsplätze entstehen.

3.2 Regionale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien

Besonders auf kommunaler Ebene ergeben sich aus der Nutzung regenerativer Energien zahlreiche Vorteile. Dazu gehören neben dem Potenzial zur Schaffung neuer Arbeitsplätze vor allem auch neue Einnahmequellen aus der Verpachtung von Grundstücken, durch Gewerbe- und Umsatzsteuer sowie – bei entsprechend guter Konzeption – neue Möglichkeiten der touristischen Vermarktung. Am Beispiel der Windenergie im Allgemeinen sowie der Morbacher Energielandschaft im Speziellen werden nachfolgend die Aspekte der kommunalen Wertschöpfung durch Windkraft näher erläutert. Eine entsprechende Kommunikation der Vorteile für die Region schafft so auch eine höhere Akzeptanz für die erneuerbaren Energien!

Die Kommunen und die Windenergie

Ein modernes Windrad der Zwei-Megawatt-Klasse kostet – schlüsselfertig errichtet – etwa 2,5 Mio. Euro. Bei einer in Deutschland üblichen Projektfinanzierung beträgt der Eigenanteil rund 20 Prozent – also etwa 500.000 Euro. Diese Summe können die meisten Gemeinden in aller Regel aufgrund der angespannten kommunalen Haushalte nicht aufbringen. Für Gemeinden und Städte entfällt somit in aller Regel die Möglichkeit, selbst als Betreiber einer Windenergie-Anlage oder eines Windparks aufzutreten und somit die Vergütungen des EEG zu nutzen.

Dennoch profitieren Kommunen in vielen Punkten von der Windenergie:

- Pachteinnahmen
- Gewerbesteuer
- Erlöse aus dem Betrieb durch Stadt- und Gemeindewerke
- Lokale Beschäftigung bei Bau und Betrieb
- Einnahmen aus dem Tourismus bei entsprechender Vermarktung

Pachteinnahmen

Befinden sich die Windenergie-Anlagen auf kommunalen Flächen, so können die Gemeinden direkt die Einnahmen aus der Verpachtung verbuchen. Eine heute marktübliche Zwei-Megawatt-Anlage erzeugt an einem durchschnittlichen Windstandort etwa vier Mio. Kilowattstunden (kWh) Strom pro Jahr. Der Strom wird nach EEG ins nächstgelegene Stromnetz eingespeist und vom Netzbetreiber mit rund acht Cent pro kWh vergütet. Pro Jahr verbucht der Betreiber der Windenergie-Anlage somit Einnahmen von rund 320.000 Euro. Als typischer Wert für Pachtzahlungen können nach Angaben des Bundesverbandes WindEnergie e.V. (BWE) etwa fünf Prozent des Jahresumsatzes angesetzt werden. Das sind in diesem Beispiel folglich etwas mehr als 15.000 Euro pro Anlage. Die Empfehlung für Gemeinden lautet daher: Sichern Sie sich die Flächen in der Region, an denen die besten Windverhältnisse herrschen.

Gewerbesteuer

Der Ort der Produktionsstätte, d.h. der Standort der Windenergie-Anlage(n), sollte in aller Regel auch der Sitz der Betreibergesellschaft sein. Gelegentlich hat die Verwaltung der Betreibergesellschaft ihren Sitz allerdings auch an einem anderen Ort. Dann wäre die zu zahlende Gewerbesteuer zwischen dem Firmensitz und der Betriebsstätte (Standort der Windkraftanlage) zu zerlegen. Eine sinnvolle Aufteilung könnte beispielsweise in der Form erfolgen, dass 90% der Gewerbesteuer vor Ort verbleiben und 10% am Sitz der Verwaltung anfallen. Diese Gewerbesteuerzerlegung ist mit dem Finanzamt am Ort des Firmensitzes zu verhandeln. Wenn sich diese Regelung nicht anwenden lässt, dann sollte die Gemeinde mit dem Betreiber vereinbaren, dass auch der Sitz der Verwaltung in der Standort-Gemeinde liegt.

Bisher können Gemeinden die ersten Gewerbesteuereinnahmen meist nach etwa zehn Jahren verbuchen. Nach Ende der Finanzierungszeit – in der Regel 15 Jahre – steigen die Gewerbesteuereinnahmen deutlich an. Während Sie zunächst bei etwas mehr als 5.000 Euro pro Jahr liegen, sind es später deutlich über 20.000 Euro jährlich. Ab Anfang 2008 werden Gemeinden durch eine Änderung der Gesetzgebung jedoch deutlich früher Einnahmen aus der Gewerbesteuer verzeichnen können, da die degressive Abschreibung durch eine lineare Abschreibung ersetzt wird. Im Durchschnitt wird die Einnahme bei jährlich etwa 3,5% der Erlöse aus dem Stromverkauf liegen.

Die kommunale Wertschöpfung ist dann am größten, wenn man die besten Standorte auswählt und die leistungsfähigsten Windenergie-Anlagen mit den höheren Nabenhöhen auswählt (100 bis 150 m statt 50 bis 65 m). Wenn die Gemeinden dann noch im Besitz dieser Flächen sind, dann haben sie doppelte Einnahmen: Pacht und Gewerbesteuer. Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht dieses an Beispielen verschiedener Binnenlandstandorte in Rheinland-Pfalz:

		Standort	Baujahr	Jahres- ertrag	Pacht- einnahmen in Euro*	Gewerbesteuer- einnahmen in Euro*
		Rheinland- Pfalz		kWh	in 20 Jahren	in 20 Jahren
1	Enercon E-66/18.70 (NH 65m, RD 70m) 1,8 Megawatt	Bad Dürkheim	2003	3.000.000	100.000	100.000
2	Enercon E-66/20.70 (NH 114m, RD 70m) 2,0 Megawatt	Donners- bergkreis	2003	4.500.000	350.000	250.000
3	Enercon E-70 (NH 113,5m, RD 71m) 2,3 Megawatt	Bad Kreuznach	2005	6.000.000	500.000	400.000
4	Enercon E-126 (NH 135m, RD 126m) 6,0 Megawatt	Donners- bergkreis	2009/2010 (Planung)	18.000.000	1.500.000	1.000.000

(*: Mehr Ertrag führt zu höheren Pacht- und Gewerbesteuereinnahmen. Bei guten Standorten beträgt die Pacht rund fünf Prozent der Erlöse aus dem Stromverkauf. Je nach Standortqualität kann die Pacht um ein bis zwei Prozentpunkte höher oder niedriger ausfallen.)

Erlöse aus dem Betrieb durch Stadt- und Gemeindewerke

Auch wenn die Kommunen in aller Regel nicht direkt als Betreiber auftreten, so können sie in den Fällen, in denen sie an kommunalen Energieunternehmen (zum Beispiel Stadtwerken) beteiligt sind, indirekt von der Windenergie profitieren. Denn wenn diese Unternehmen erfolgreich Windräder betreiben, dann profitieren davon auch die Kommunen, da diese als Anteilseigner am Gewinn beteiligt sind.

Die juwi-Gruppe aus Rheinland-Pfalz beispielsweise ist in den vergangenen Jahren zwei Partnerschaften mit regionalen Energieversorgern eingegangen: zum einen über die RIO Energie GmbH & Co. KG mit der Stadtwerke Mainz AG, deren Aktien zu 100 Prozent im Besitz der Stadt Mainz sind. Zum anderen über die pfalzwind GmbH mit der Pfalzwerke AG aus Ludwigshafen. Fast drei Viertel des Aktienkapitals der Pfalzwerke AG befindet sich in der Hand von Kommunen im Versorgungsgebiet. Der Bezirksverband Pfalz, eine kommunale Gebietskörperschaft, ist mit über 50 Prozent der größte Anteilseigner.



Windrad der RIO Energie



Windrad der pfalzwind GmbH

Einnahmen aus dem Tourismus

Mit einer ausgefeilten Marketingstrategie lassen sich Windräder und weitere erneuerbare Energien auch hervorragend in lokale Tourismuskonzepte integrieren. So gibt es beispielsweise in Schleswig-Holstein mehrere Ausstellungen rund um das Thema, einige Betreiber bieten den Feriengästen „Tage der offenen Tür“ an oder informieren am Rande von Wanderwegen über die Vorteile der Windenergienutzung. Darüber hinaus gibt es einige Projekte, in denen Gemeinden gezielt mit ihrem Windpark werben und so neben den „normal Interessierten“ vor allem auch ein Fachpublikum aus aller Welt anlocken. Zu diesen besonders gelungenen Projekten zählt die Morbacher Energielandschaft (MEL) im Hunsrück. Dort kann die Gemeinde seit Jahren jährlich über 1.000 Besucher aus allen Erdteilen begrüßen und so über die in der MEL realisierten Projekte aus den Bereichen Wind-, Solar- und Bioenergie informieren.

Ein Beispiel aus der Praxis

Das nachfolgende Beispiel aus Rheinland-Pfalz zeigt, wie eine gezielte Kommunikation der Vorteile der Windenergie zu einer hohen Akzeptanz geführt hat. In diesem Fall hat es der Bürgermeister verstanden, die ökologischen Vorteile der erneuerbaren Energien auch zum Gewinn für die Region zu nutzen und somit Ökologie und Ökonomie zu verbinden.

Beispiel: Die Morbacher Energielandschaft

In der Nähe von Trier liegt die rund 11.000 Einwohner zählende Hunsrückgemeinde Morbach. Oberhalb des Ortes befand sich von 1957 bis 1995 das größte Waffenlager der US-amerikanischen Streitkräfte außerhalb Amerikas. Nach dem Abzug des Militärs Mitte der Neunzigerjahre ging das rund 150 Hektar große Gelände wieder in das Eigentum der Gemeinde Morbach über.

Nach diversen (erfolglosen) Versuchen, auf dem Gelände verschiedene Gewerbe- und Industriebetriebe oder Freizeiteinrichtungen zu etablieren, wurde in der Gemeinde unter der Führung von Bürgermeister Gregor Eibes die Idee einer „Energielandschaft“ geboren. Im Juni 2001 beauftragte der Gemeinderat die Verwaltung, die Möglichkeiten der Energiegewinnung im ehemaligen US-Munitionsdepot zu untersuchen. Auf einer Bürgerversammlung im Januar 2002 präsentierte die Gemeinde den Einwohnern die Idee der „Morbacher Energielandschaft“: die Nutzung von Windkraft, Photovoltaik und Biomasse. Ein Gesamtkonzept, dass in dieser Form weltweit einmalig ist und eine sehr hohe Zustimmung in der Bevölkerung findet. Im Rahmen einer Ausschreibung entschied sich die Gemeinde, die vom Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) am Umweltcampus Birkenfeld beraten wurde, für das von der juwi-Gruppe aus Mainz vorgestellte Konzept einer umfassenden Nutzung erneuerbarer Energien.

In der Morbacher Energielandschaft (MEL) wurden daraufhin in den letzten fünf Jahren 14 Windräder der Zwei-Megawatt-Klasse (Typ Vestas V80), eine 500 Kilowatt starke Photovoltaik-Anlage sowie eine Biogasanlage und ein Holzpellets-Produktionswerk errichtet. Im Rahmen der verschiedenen Genehmigungsverfahren für die regenerativen Energieanlagen gab es keine einzige negative Stellungnahme aus der Bevölkerung! Die große Akzeptanz und das große Interesse an der MEL spiegeln sich auch auf dem ersten Energiefest im September 2003 wider: rund 3.000 Besucher verbrachten den Tag in der MEL. Zahlreiche weitere Aktivitäten der Gemeinde rund um das Thema Klimaschutz erhöhten die Akzeptanz für die Bauvorhaben in der MEL, und im November 2006 erhielt Morbach von der DUH und CO₂NTRA den Titel „KLIMASCHUTZKOMMUNE 2006“ beim Wettbewerb „Bundeshauptstadt im Klimaschutz“.

Im März 2007 wurden auf einer Bürgerversammlung die Pläne zur Weiterentwicklung der „Morbacher Energielandschaft“ inkl. der Planungen zum „höchsten Windrad der Welt“ (Gesamthöhe 210 m) vorgestellt. Aufgrund des positiven Echos in der Bevölkerung beschloss der Gemeinderat daraufhin im Juni 2007 die Weiterentwicklung der MEL und formulierte das Ziel: energieautarke Gemeinde in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität bis 2020 auf Basis erneuerbarer Energien. Im Stromsektor deckt Morbach dank der MEL bereits heute den Jahresbedarf der Haushalte und Gewerbebetriebe durch erneuerbare Energien. Im kommenden Jahr wird nun ein 15. Windrad errichtet, die PV-Anlage wird erweitert und eine zweite Biogasanlage soll aufgebaut werden. Für dieses weltweit einmalige Projekt erhielten die Gemeinde Morbach und die juwi-Gruppe in diesem Jahr den Deutschen Solarpreis der Organisation Eurosolar.

Die Gemeinde profitiert von den regenerativen Energieanlagen vor allem von den Einnahmen, die sie aus der Verpachtung der Standorte an die Anlagenbetreiber erzielt. Zu diesen Betreibern zählen neben mehreren Einzelinvestoren sowie der pfalzwind GmbH auch zahlreiche Bürger und Bürgerinnen aus der Region, die sich im Rahmen eines Bürgerwindrades an einer Kommanditgesellschaft (GmbH & Co. KG) beteiligt haben.

Diese Betreibergesellschaft zahlt – genauso wie die Betreiber der anderen 13 Windräder – eine jährlich Pacht von etwas mehr als 15.000 Euro an die Gemeinde; das entspricht etwa fünf Prozent der aus dem Stromverkauf erzielten Umsätze. In der Summe sind das bei 14 Windrädern also über 200.000 Euro pro Jahr für die Gemeinde Morbach.

Im kommenden Jahr errichtet die juwi-Gruppe in Morbach ein 15. Windrad. Dabei handelt es sich um eine Fuhrländer FL 2500 mit 160 Meter Nabenhöhe und 100 Meter Rotordurchmesser. Diese Anlage wird pro Jahr etwa 6,5 Mio. kWh erzeugen, der Erlös aus dem Stromverkauf liegt damit bei rund 520.000 Euro jährlich. Auch für diese Anlage wird die Gemeinde Morbach eine entsprechende Pachtzahlung erhalten.

Eine weitere Einnahmequelle für die Gemeinde wird die Gewerbesteuer sein. Über den 20-jährigen Benutzungszeitraum fallen in der Summe pro Windrad rund 150.000 Euro an. Wegen des höheren Stromertrages und der daraus resultierenden Umsatzsteigerung dürfte für das 15. Windrad die Gewerbesteuer bei durchschnittlich etwa 15.000 bis 20.000 Euro pro Jahr liegen – in der Summe also bei etwa 300.000 bis 400.000 Euro in 20 Jahren.

Der Gemeinde Morbach ist es somit gelungen, durch eine konsequente Unterstützung der erneuerbaren Energien finanzielle Vorteile für den kommunalen Haushalt zu generieren. Außerdem ist das breite Engagement in der Gemeinde ein wesentlicher Grund für die hohe Akzeptanz der Windenergie vor Ort. Durch den Vorbildcharakter, den die MEL aufgrund des Zusammenspiels der zahlreichen regenerativen Kraftwerke besitzt, ist Morbach zum Reiseziel zahlreicher Besucher aus aller Welt geworden. Mittlerweile haben über 5.000 Besucher aus über 30 Ländern die MEL besichtigt. Diesem zunehmenden Interesse wird die Gemeinde in naher Zukunft durch den Bau eines umfangreichen Informationszentrums gerecht werden.



Wind- und Solarenergie in Morbach



Biogas und Holzpellets in Morbach

Dieser Ausblick für die Gemeinde Morbach ist selbstverständlich übertragbar auf viele andere Gemeinden und Städte in Deutschland. Im Abwägungsprozess der Entscheidungsträger stehen für die Windenergie folgende Aspekte: günstige und stabile Strompreise, mehr Versorgungssicherheit, Milliardeninvestitionen in eine Zukunftstechnologie und viele neue Arbeitsplätze – und damit eine Stärkung der regionalen Wertschöpfung und eine neue Perspektive vor allem für die Menschen im ländlichen Raum. Demgegenüber steht die Veränderung des Landschaftsbildes. Wer ernsthaft eine nachhaltige Politik betreiben will, wird sich daher für einen geordneten Ausbau der Windenergie aussprechen – nicht zuletzt auch zum Wohle nachfolgender Generationen.

3.3 Referenzobjekte im Bereich erneuerbare Energien

Mehrere Landkreise und Inseln versuchen bereits, ihren Energiebedarf zu 100 Prozent zu decken. Dazu zählt die dänische Insel Samsö in der Ostsee und die norwegische Insel Utsira, auf der der deutsche Windenergieanlagen-Hersteller Enercon seit Sommer 2004 an einem Wind-Wasserstoff-System beteiligt ist. Im Rahmen der EU-Kampagne „**100 communities for 100% Renewable Energy**“ hat beispielsweise auch der Landkreis Lüchow-Dannenberg (Niedersachsen) bereits im Jahr 2000 den Beschluss gefasst, innerhalb von zehn Jahren seine Stromversorgung komplett auf Strom aus regenerativen Energien umzustellen.

Hinzu kommen immer mehr so genannte **Bioenergiedörfer**; das bekannteste dürfte das Dorf Jühnde bei Göttingen sein. Das südniedersächsische Bioenergiedorf Jühnde versorgt sich schon seit Oktober 2005 zuverlässig mit Wärme aus der eigenen Bioenergieanlage. Ca. 3,5 Mio. kWh an umweltfreundlicher Wärme wurde ins Dorf mit 750 Einwohnern geliefert. 142 Haushalte sind mittlerweile an das Nahwärmenetz angeschlossen. Mittlerweile läuft das 716 kW-Blockheizkraftwerk der Biogasanlage im oberen Volllastbereich und hat schon mehr als 2.8 Mio. kWh_{elektr.} erzeugt.

Durch die erstmalige Kombination einer Biogasanlage mit einem Holzhackschnitzelheizwerk wurden wertvolle Erfahrungen gesammelt und technische Abstimmungsarbeiten umgesetzt. Dank der beteiligten Ingenieure und kooperativen Lieferanten konnte das Projekt erfolgreich realisiert werden. Das Fazit der Beteiligten ist eindeutig: Es ist möglich, ein ganzes Dorf mit Wärme auf Basis von Biomasse zu versorgen und den Strombedarf des Dorfes umweltfreundlich bereitzustellen - es funktioniert, wenn die beteiligten Menschen mitmachen!

Auch in **Hessen** gibt es Ansätze für eine Vollversorgung von Gemeinden und Regionen mit regenerativer Energie. So folgt nun auch das nordhessische Dorf Oberrospe (Lkr. Marburg Biedenkopf) dem Beispiel Jühndes. Die Hälfte aller Haushalte im Ort beteiligt sich an der neu gegründeten Bioenergiegenossenschaft. Eine Biogasanlage soll zukünftig Strom erzeugen und die zwei bereits bestehenden Hackschnitzelanlagen, die Wärme bereitstellen, in der Energieversorgung ergänzen.

Im hessischen Odenwald hat sich das Dorf Rai-Breitenbach mit 900 Einwohnern und 1200 Schülern für eine zukunftsweisende Energieversorgung entschieden. Etwa 150 private Wohneinheiten und zwei Schulen sollen über den heimischen Energieträger Holz mit Wärme und Strom versorgt werden. Das technische Konzept sieht die Kombination eines Holzhackschnitzelkessels (750 kW_{th.}) und eines Holzvergasungs-Blockheizkraftwerkes (250 kW_{th.} und 150 kW_{el.}) vor. Die Wärme-Spitzenlastabdeckung wird über die weitere Nutzung der Ölheizungskessel einer der Schulen sicher gestellt, wobei hier als Energieträger Pflanzenöl zum Einsatz kommt.

Auf dem Weg in die Vollversorgung mit regenerativen Energien befindet sich auch die Gemeinde Alheim in Nordhessen mit ca. 5.300 Einwohnern (Deutscher Solarpreis 2007). Mit zahlreichen Anlagen deckt sie schon zu über 60% ihres Strombedarfs aus erneuerbaren Energien. 75 Arbeitsplätze wurden damit innerhalb von nur drei Jahren in der Gemeinde geschaffen. Durch die Belebung der regionalen Wertschöpfungskette fließen der Gemeinde zusätzliche Finanzmittel in die Kasse. Auch in Zukunft soll der Ausbau der erneuerbaren Energien in Alheim fortgesetzt werden. Eine Erweiterung des lokalen Biogaskraftwerks ist in Planung, mit deren Hilfe dann auch per Nahwärmenetz die umliegenden Gebäude mit nachhaltig erzeugter Wärme versorgt werden können. Ziel der Gemeinde ist es, bis zum Jahr 2015 den Energiebedarf zu 80 % aus regenerativen Energien zu decken. Ein weiterer wichtiger Schritt hierfür ist, durch die Revision der Bauleitplanung ökologisches Bauen in Zukunft problemlos zu ermöglichen.

Fazit

Bundesweit setzen immer mehr Regionen auf eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien. Natürlich sind nicht alle Referenzen eins zu eins übertragbar, doch zeigen sie die Möglichkeiten der erneuerbaren Energien. Und sie können neue Ideen und Denkanstöße geben, es nach – oder sogar noch besser – zu machen.

3.4 Wer wird die Nummer Eins? Die Landesliga für nachhaltige Entwicklung

Um den Ausbau der erneuerbaren Energien möglichst schnell voranzubringen, bedarf es des Engagements zahlreicher Personen, Behörden, Unternehmen sowie Vereinen, Umweltgruppen und sonstiger Institutionen. Vor allem diejenigen sind gefragt, die als **Multiplikatoren** in die Breite wirken können: Kirchen, Sportvereine, Städte, Gemeinden und Landesbetriebe.

Zahlreiche Gemeinden und Landkreise gehen an einigen Stellen schon mit gutem Beispiel voran, zum Beispiel durch die Bereitstellung von Dachflächen für die Photovoltaik-Nutzung. In **Marburg** wurden beispielsweise zwischen 2003 und 2006 auf mehreren vom Magistrat kostenlos zur Verfügung gestellten Schul-, Feuerwehr- und Sporthallendächern und auf Gebäuden der GeWoBau Marburg Photovoltaikanlagen mit insgesamt 602 kWp errichtet, von der Stadt durch Darlehen gefördert und über Bürgerbeteiligungen finanziert. Das Projekt soll fortgesetzt werden. In **Frankfurt** werden ca. 30.000 Tonnen flächendeckend eingesammelte Bioabfälle in einer Biogasanlage vergoren. Aus jährlich 2 Mio. Kubikmeter Biogas können mit einem Blockheizkraftwerk maximal bis zu 4,5 Mio. Kilowattstunden Strom gewonnen werden – der Jahresbedarf von etwa 1.300 Haushalten.

51 hessische Gemeinden nehmen mittlerweile auch an der **Solarbundesliga** teil. In der am 1. Juni abgeschlossenen Saison 2006/2007 konnten sich allerdings nur wenige gegen die bundesweite Konkurrenz behaupten: Unter den mehr als 350 Mittelstädten nimmt lediglich Bürstadt (Landkreis Bergstraße) einen hervorragenden sechsten Platz ein. Die beste Gesamtplatzierung aller hessischen Mitstreiter unter den über 1.050 teilnehmenden Kommunen erreichte Alheim (Landkreis Hersfeld-Rotenburg) mit dem 93. Platz. Dieser Wettbewerb hat sich zu einem spannenden Wettkampf um den besten Platz an der Sonne entwickelt.



Die hessische Gemeinde Alheim: Nicht nur Hessens Nr. 1 in der Solarbundesliga, sondern auch Gewinner des Deutschen Solarpreises 2007

Im Länderdreieck zwischen Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg wetten seit Oktober dieses Jahres die vier Landkreise Bergstraße, Bad Dürkheim, Germersheim und Neckar-Odenwald darum, wer die meisten Solaranlagen aufzuweisen hat. Ziel ist es, die Metropolregion Rhein-Neckar als Standort von Solarenergie zu stärken. Hierzu müssen zunächst alle Solaranlagen gezählt werden, die bislang nirgendwo erfasst sind. Ausdrücklich erwünscht ist zudem der Zubau neuer Anlagen über den Zeitraum des Wettbewerbs hinweg.

Das Land Hessen sollte einen ähnlichen, erweiterten Wettbewerb ins Leben rufen. Welcher Landkreis hat den größten Anteil regenerativer Energien? Welche Gemeinde zeigt sich von ihrer nachhaltigsten Seite? Mit entsprechender Pressearbeit wird dadurch das Thema „erneuerbare Energien“ sehr schnell in die Öffentlichkeit getragen.

Geeignete Partner und Schirmherrschaften für solch einen Wettbewerb würden dem Ganzen zudem noch mehr Aufmerksamkeit bescheren. Potenzielle Kandidaten für eine Schirmherrschaft gibt es reichlich, beispielsweise aus den Bereichen Film, Sport, Politik oder Umwelt. Auch bundesweit gibt es geeignete Partner, wie beispielsweise die Informationskampagne für erneuerbare Energien (IKEE) aus Berlin. Dem Land Hessen wäre über die Landesgrenzen hinaus eine hohe Aufmerksamkeit und Anerkennung gewiss.

4 Ausblick und Zukunftsoptionen

Tag für Tag sehen, hören und lesen wir vom Klimawandel, von der Abhängigkeit von Energieimporten, von der Endlichkeit der Ressourcen und den damit drohenden weltweiten Veränderungen. Wir erkennen die Probleme und die Folgen des Nichtstun und wissen, dass ein „Weiter so“ nicht sein darf.

Auch führen uns immer mehr Wirtschaftsexperten die Kosten des Klimawandels vor Augen, und es ist längst klar, dass es wesentlich teurer wird, die Klimaschäden nachträglich zu kompensieren anstatt die entsprechenden Vorbeugemaßnahmen einzuleiten. Der britische Ökonom Niclas Stern, einst Chefvolkswirt der Weltbank, hat diese alles entscheidende Frage beim Klimaschutz vor kurzem so beantwortet: **"Klimaschutz kostet etwa ein Zehntel dessen wie kein Klimaschutz."**

Aktive Klimaschutzpolitik ist auch Friedenspolitik, wie die Vergabe des Friedensnobelpreises an den US-Amerikaner Al Gore und den Weltklimabeirat der Vereinten Nationen Mitte Oktober 2007 belegt. Nur dezentrale, erneuerbare Energien sind in der Lage, weltweit in jeder Region eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Um Sonne und Wind wird es keine Kriege geben, dagegen prophezeien immer mehr Experten schon bald zunehmend blutige Auseinandersetzungen um die letzten konventionellen Ressourcen. Der mit der Nutzung fossiler und atomarer Brennstoffe verbundene Raubbau an der Natur sowie die Folgen des Klimawandels (Vertreibung durch Dürren, Überschwemmungen etc.) lassen sich nur durch saubere Energiequellen vermeiden.

Sicher werden wir unsere Deiche erhöhen können, wenn der Meeresspiegel steigt – aber können das auch die Einwohner in Bangladesch? Wir können Dürrezeiten überstehen und auf andere Nahrungsmittelquellen ausweichen – aber können das auch die Menschen in Afrika? Wir können warten, bis andere Nationen wie die USA und China den Klimawandel bekämpfen – aber wird es dann nicht vielleicht schon zu spät sein? Warum sollen wir keine Vorreiterrolle übernehmen und damit auch technologische Errungenschaften als Exportschlager auf dem Weltmarkt anbieten?

Die Alternativen sind längst vorhanden: Erneuerbare Energien. Sie werden der alleinige Energielieferant für die Menschheit werden! Das steht außer Frage – allein schon deshalb, weil fossile und nukleare Rohstoffe nicht unendlich vorhanden sind! Was nicht feststeht, ist der Zeitpunkt! Die Energiewende ist nicht nur nötig – sie ist auch machbar! Wer heute die richtigen Weichen stellt, wird schon in naher Zukunft vom weltweiten Boom nach regenerativer Energietechnik profitieren.

Um möglichst schnell die Energiewende einzuleiten, müssen wir daher die Barrieren in den Köpfen der Menschen überwinden. Wir müssen begeistern für den Ausbau der erneuerbaren Energien, für eine saubere Umwelt und ein faires Miteinander auf diesem Planeten. Mit der vorliegenden Vision wollen wir Vorurteile abbauen und detaillierte Informationen zum Weg in die solare Energiezukunft geben. Warum jedes Jahr Milliardenbeträge in die Kassen großer Energiekonzerne zahlen und in fernen

Ländern wie Russland die Taschen reicher Rohstoff-Barone füllen? Warum halten wir nicht die Wertschöpfung vor Ort?

Weitere vielversprechende Techniken für eine erneuerbare Energieerzeugung werden zukünftig durch Wissenschaftler, Ingenieure und Tüftler auf den Weg gebracht werden. Einige zukunftsweisende Projekte sollen an dieser Stelle vorgestellt werden.



Windkrafthochhaus
Quelle: br-online.de

Bei der Windkraft laufen die Versuche nicht nur darauf hinaus, Design und Effektivität der bisherigen Anlagentypen zu verbessern. Ein Ziel ist es, die Windenergie verstärkt in der Stadt nutzbar zu machen, wo der Energiebedarf am höchsten ist. Zum Beispiel arbeiten Architekten am Lehrstuhl für Baukonstruktion und Entwurf der Uni Stuttgart an einem Windkraft-Hochhaus. Die Windräder sitzen direkt im Hochhaus zwischen zwei Wohntürmen. Durch eine spezielle Bauweise des Windkanals wird der Wind zwischen den Gebäudeteilen noch einmal auf das Doppelte beschleunigt, so dass auch bei schwachem Wind noch genug Strom für einen effizienten Betrieb bereit gestellt werden kann, denn bei doppelter Windgeschwindigkeit verachtfachen sich die Energieerträge.

Eine weitere interessante Idee kommt von der Technischen Universität im niederländischen Delft. Berechnungen der Windströmungen an Hochhäusern im Computer haben ergeben, dass unabhängig von der Höhe des Gebäudes der Wind durch die Kanten beschleunigt wird. An den Seiten und auf dem Dach ist der Wind demnach deutlich schneller als vor dem Haus. Auf Grundlage dieser Erkenntnis entwickelt der Wissenschaftler Sander Mertens Prototypen eines Rotors, mit dem das bisher ungenutzte Potenzial von Hochhäusern erschlossen werden kann. Der Rotor wird horizontal installiert, da der Wind auf den Dächern nicht direkt von vorn, sondern bogenförmig von unten weht. Je nach Höhe eines Hauses könnte ein einziger Rotor von zwei Metern Breite und drei Metern Höhe auf dem Dach den kompletten Energiebedarf einer Familie decken.



Liegender Windrotor fürs Dach
Quelle: br-online.de

Ähnliche Konstruktionen für Dächer sind in Holland bereits im Einsatz. Die so genannten Windwälle können jedoch noch effizienter gestaltet werden. Nach der Vorstellung des Wissenschaftlers könnten tausende solcher Windräder mitten in dicht besiedelten Städten große Strommengen erzeugen. Ein Problem der Rotoren ist allerdings noch die Geräuschentwicklung. Eine Lösung könnten größere Rotoren sein, die sich ruhiger drehen und störende Geräusche minimieren.

Die Stromgewinnung durch Sonnenlicht könnte durch Solar-Konzentratoren neue Impulse erhalten. Bei diesen Systemen bündeln Spiegel oder Linsen das Sonnenlicht auf einer kleinen aktiven Zellenfläche. Bei 500-facher Konzentration kann mittels einer 0,5 Quadratcentimeter großen Zelle beispielsweise genauso viel Strom wie mit einem 500 Quadratcentimeter großen Modul ohne entsprechende Bündelung erzeugt werden. Den Mehrkosten für die hochwertige und damit teure Technik steht wiederum ein erhebliches Kostensenkungspotenzial durch den verringerten Materialverbrauch gegenüber, zudem erreichen Konzentrator-Systeme sehr hohe Wirkungsgrade. Allerdings müssen sie der Sonne exakt nachgeführt werden, da nur die Direktstrahlung gebündelt werden kann. Ihr Einsatz kommt daher hauptsächlich in Regionen mit hoher Sonnenscheindauer in Frage.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Solarenergie sind ebenfalls noch nicht ausgeschöpft. Untersuchungen haben gezeigt, dass Sonnenenergie mehr kann, als „nur“ Strom und Wärme zu produzieren. Mit Hilfe von Solaröfen könnte beispielsweise aus kohlenstoffhaltigen Grundstoffen ein Brennstoff-Gas-Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid hergestellt werden. Aus diesem Gasgemisch entstehen unter Einsatz von Sonnenenergie hocheffektive Brennstoffe für die Wärmeabgewinnung oder Kraftstoffe für den Antrieb von Fahrzeugen. Solare Brennstoffe könnten damit eines Tages bei der Ablösung fossiler Brennstoffe nicht nur in der Stromerzeugung sondern auch in anderen Bereichen Mobilität und Wärme eine bedeutende Rolle spielen.

Viel Entwicklungspotenzial wird ebenso dem Stirlingmotor bescheinigt. Diese besondere Wärmekraftmaschine wurde 1816 von Robert Stirling in Schottland erfunden. Der Motor ist eine Wärmekraftmaschine, bei der zwar ein Gas an einer Stelle von außen erhitzt werden muss, die aber selbst kein Abgas freigesetzt. Der Stirlingmotor wurde ursprünglich Anfang des 19. Jahrhunderts als Wasserpumpe im schottischen Bergbau eingesetzt. Für die zivile Nutzung war der Motor bis vor einigen Jahren eine fast vergessene Erfindung und kam hauptsächlich in der Rüstungsindustrie zum Einsatz. Das Funktionsprinzip ist relativ einfach: Ein Gas wird zwischen einem kalten und einem heißen Raum hin und her geschoben. Dieser Druck treibt einen Generator an und erzeugt elektrische Energie. Auf diese Weise wird thermische in mechanische Energie und schließlich in Strom umgewandelt. Nicht ganz so leicht ist es allerdings, einen modernen Motor mit hohem Wirkungsgrad nach dem Stirlingprinzip zu erschaffen. Zahlreiche Tüftler und Ingenieure haben sich in den letzten Jahren diesem Problem angenommen. Das Ergebnis sind Mini-Blockheizkraftwerke, die nach und nach die Marktreife erreichen. Zur CO₂-neutralen Beheizung bieten sich Holzpellets und Kraftstoffe oder Gase aus Biomasse an. Vollkommen ohne Brennstoffe und somit gänzlich abgasfrei lässt sich der Stirlingmotor solar betreiben. Hierbei wird der Gaskolben durch einen der Sonne nachgeführten Parabolspiegel erhitzt.

Die Fortschritte und Erkenntnisse über das Strömungsverhalten von Luft, die im Bereich der Windenergie gewonnen wurden, treiben auch die energetische Nutzung von Gezeiten- und Flusströmungen voran. So ist beispielsweise das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) aus Kassel seit 2003 an zwei Projekten zur Nutzung der Meeresströmungen beteiligt. Die Idee, mittels frei umströmter Rotoren in Meeren oder Flüssen Strom zu produzieren, ist relativ jung. Ihre Umsetzung wäre ohne die Fortschritte der Windenergie nicht möglich gewesen. Insbesondere die Gezeitenströmung gilt als idealer Energielieferant, zumal das Medium Wasser aufgrund seiner höheren Dichte bei deutlich geringer Rotorfläche gleiche Energiemengen produzieren kann. Durch den ständigen Wechsel von Ebbe und Flut steht diese Energiequelle auch witterungsunabhängig zur Verfügung. Die Umweltverträglichkeit der Unterwasseranlagen gilt als hoch. Gegenüber Gezeitenkraftwerken mit klassischen Wasserturbinen bieten die Unterwasser-Rotoren den Vorteil, dass sie frei im Meer stehend funktionieren. Herkömmliche Turbinen arbeiten dagegen im geschlossenen Rohr. Sie erfordern den Bau einer Staumauer und damit einen größeren Eingriff in die natürliche Küstenlandschaft. Im Falle eines Binnenlandes wie Hessens sind die frei umströmten Rotoren möglicherweise eine Option zur Energiegewinnung im Rhein.



Quelle: ISET

Neben der Entwicklung von modernen Wasserkraftturbinen werden auch Fortschritte bei kleinen Laufwasserkraftwerken sichtbar. So möchte beispielsweise der bayerische Energie-Pionier Georg Hamann die Energiegewinnung aus Wasserkraft revolutionieren. Seit 2000 arbeitet der Tüftler an Prototypen einer neuen Turbine. Eine Besonderheit seiner Entwicklung ist dabei, dass sie auch in kleinsten Gewässern und bei jeder Fließgeschwindigkeit einsetzbar ist. Die Lärmentwicklung bei Betrieb der Turbine hält sich

in überschaubaren Grenzen. Ein weiterer Vorteil sind die geringen Baukosten. Während die Behörden in seiner Heimat Bayern dem Erfinder bisher die Unterstützung verwehrt, blieben norwegischen Ingenieuren der Universität Trondheim die Vorzüge seines Kleinstkraftwasserwerkes nicht verborgen, die die weitere Entwicklung unterstützten. Auch das Nachbarland Österreich hat inzwischen finanzielle Hilfe in Aussicht gestellt, falls Hamann sich mit seinem Betrieb dort niederlässt.

Weitgehend unbekannt ist die Idee, den unterschiedlichen Salzgehalt von Fluss- und Meerwasser zu nutzen, um elektrische Energie zu erzeugen. Das Salzkraftwerk funktioniert nach dem Prinzip der Osmose. Der Kraftwerkstyp, dessen Entwicklung derzeit von Norwegens staatlichem Energieversorgungsunternehmen Statkraft verfolgt wird, soll an Flussmündungen errichtet werden, wo das Süßwasser des Flusses in ein Rohrsystem geleitet wird. Die Röhren sind so konstruiert, dass das Flusswasser, abgetrennt durch eine Membran, auf salzhaltiges Wasser aus dem Meer trifft. Das Süßwasser wird aufgrund des geringeren Salzgehaltes durch die

Membran hindurch zum Meerwasser hinübergezogen. Es entsteht ein Überdruck, der zum Betrieb einer Turbine genutzt werden soll. Eine Pilotanlage soll 2008 gebaut werden. Statkraft hofft, 2015 das erste kommerzielle Salzkraftwerk in Betrieb nehmen zu können. 20% des norwegischen Strombedarfs können nach Berechnungen des Unternehmens theoretisch per Salzkraft erzeugt werden. In der Praxis hält man 10% für realistisch. Europaweit sieht Statkraft ein Potenzial von 200 Terrawattstunden – ein Drittel des jährlichen Stromverbrauchs in Deutschland.

Die angeführten Beispiele verdeutlichen, dass sowohl Technologie als auch Anwendungsbereiche erneuerbarer Energien sich stetig weiterentwickeln. Ebenso kommen neue Verfahren zur Gewinnung regenerativen Stroms hinzu. Zwar lässt sich nicht jede Technik auch überall einsetzen – so sind die Voraussetzungen für Gezeiten- oder Salzkraftwerke in Hessen denkbar schlecht – die Vielfalt der Möglichkeiten verdeutlicht aber, dass jede Region den für sie passenden Energiemix finden wird. Angesichts der zunehmenden Dringlichkeit, fossile und atomare Energieträger zu ersetzen, wird sich zwangsläufig auch der Forschungsaufwand noch erhöhen, so dass die Entwicklung von innovativen Technologien zur Sicherstellung einer regenerativen Energieversorgung weiter an Dynamik gewinnen kann.

Auch wenn in Sachen erneuerbarer Energien schon Vieles und Beeindruckendes geleistet wurde, insgesamt stehen wir beim Klimaschutz und beim weltweiten Ersatz von Uran, Kohle, Öl und Erdgas noch vor großen Herausforderungen. Wir haben die Einsparpotentiale im konventionellen Stromsektor bis 2025 konservativ mit 20% veranschlagt. Darüber hinaus ist allerdings mit einer steigenden Nachfrage zu rechnen, wenn zur Neige gehende fossile Treib- und Brennstoffe im Verkehrs- und Wärmesektor ersetzt werden müssen. Auch der verstärkte Einsatz neuer Informationstechnologien führt tendenziell zu einer wachsenden Nachfrage. Weitere Effizienzsteigerungen bei Erzeugung und Verbrauch und die Realisierung weiterer Einsparpotenziale sollten daher entschieden vorangetrieben werden, um einen wachsenden Bedarf im Verkehrs- und Wärmesektor befriedigen zu können. Dass es sich dabei nicht um unlösbare Aufgaben handelt, verdeutlichen die Entwicklungen in anderen technologischen Bereichen. Während vor wenigen Jahrzehnten Großrechenanlagen noch ganze Räume füllten, haben handliche Computer mit höherer Leistung längst in privaten Haushalten Einzug gehalten. Vergleichbare technische Revolutionen werden sich auch im Bereich der erneuerbaren Energien vollziehen.