

# 100% Erneuerbare Energien sind möglich

Von Dr. Eberhard Waffenschmidt,

mit Beiträgen von Maria Waffenschmidt und Christian Dick, Kurzversion vom 31.1.2007

**Es ist technisch mit vertretbarem Aufwand möglich, Deutschland zu 100% mit erneuerbaren Energien zu versorgen, die auch ausschließlich in Deutschland produziert werden. Dazu stehen mehrere Optionen offen. Eines der möglichen Szenarien sieht folgendermaßen aus:**

- **Alle geeigneten Dach- und Fassadenflächen werden zur Stromerzeugung mit Solarzellen und zum geringeren Teil zur Wärmeerzeugung genutzt.**
- **Die Windkraft wird im Binnenland durch den Ersatz von Altanlagen und Neubauten in Süddeutschland weiter ausgebaut. Vor der Küste werden Off-Shore-Windparks errichtet.**
- **Alte Wasserkraftwerke werden reaktiviert und Kleinstwasserkraftwerke ausgebaut.**
- **In Ballungszentren wird Tiefen-Geothermie in Kraft-Wärme-Kopplung genutzt. Wärmepumpen liefern dezentral Wärme außerhalb von Ballungszentren.**
- **Auf allen stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen werden schnellwachsende „Energiepflanzen“ angebaut, Wälder nachhaltig genutzt und Reststoffe wie Stroh, Resthölzer und Abfall effektiv verwendet.**
- **Alle Häuser werden nach dem Stand der Technik wärmeisoliert.**
- **Autos verbrauchen im Durchschnitt nur noch 3.0 l/100km an Treibstoff oder fahren elektrisch und 2/3 des Güterfernverkehrs werden auf die Bahn verlagert.**
- **Licht wird nur noch mit effizienten Lampen erzeugt und Stand-By-Schaltungen werden nicht mehr verwendet.**
- **Das deutsche und die europäischen Stromnetze werden ausgebaut und es werden Stromspeicher für etwa 3% der jährlich erzeugten elektrischen Energie geschaffen.**



## 1 Einleitung

100% erneuerbare Energien – Nun bleib' doch mal realistisch!

Wenn die Rede auf erneuerbare Energien kommt, hört man häufig die Meinung: „Erneuerbare – find ich gut, ist eine prima Sache.“ Denn die Vorteile erneuerbarer Energien liegen auf der Hand: Öl und Gas werden immer teurer, und Deutschland ist vom Import abhängig. Je knapper die Reserven werden, um so eher

sind wir gezwungen, jeden Preis zu zahlen. Es soll nicht dahin kommen, dass wir mit militärischer Macht um Öl kämpfen müssen.

Je mehr Energie wir im eigenen Land gewinnen, um so besser.

Auch Atomenergie bringt nicht die gewünschte Lösung: Erstens muss Uran auch importiert werden, zweitens ist die Entsorgung von Atommüll bis auf weiteres problematisch, und drittens könnten Atomkraftwerke

Ziel terroristischer Angriffe sein. Die Folgen mag man sich gar nicht ausmalen. Erneuerbare Energien sind hingegen vollkommen ungefährlich.

Ein weiterer Vorteil erneuerbarer Energien ist, dass Windräder und Solaranlagen kein Kohlendioxid ausstoßen. Da der Klimawandel keine Erfindung grüner Spinner, sondern unter Wissenschaftlern unumstritten ist, muss die Senkung des Kohlendioxid-Ausstoßes zügig vorankommen.

Doch ehe man sich bei solchen Gesprächen in dem Glauben wiegt, offene Türen einzurennen, kommt das große *Aber*: Erneuerbare Energien sind ja schön und gut, *aber* das reicht doch nicht für ein hochtechnisiertes Land wie unseres. Solarenergie, Windräder – das ist was für's gute Gewissen, aber keine ernste Alternative. Wir wollen doch nicht zurück ins Mittelalter.

100% erneuerbare Energien –

Ob, und wie es möglich ist, unser Land auf diese Weise zu versorgen, damit befasst sich dieser Beitrag.

Der Kern der hier vorgestellte Studie entstand im Oktober 2006 während eines einwöchigen Seminars des SFV [2], an dem der Autor maßgeblich beteiligt war.

Um den Umfang nicht zu groß zu machen, geht diese Studie nicht zu sehr ins Detail, aber immerhin soweit, um die Potentiale aufzuzeigen und auf welchen Annahmen, Voraussetzungen und Hintergründen sie beruhen. Dieser Text ist die Kurzfassung eines ausführlichen Artikels, der im Internet zur Verfügung steht (siehe [1]). Dort sind ausführliche und genaue Zahlen zu finden, die Hintergründe, auf denen diese Zahlen beruhen und zahlreiche Literaturverweise auf Quellen dazu. In dieser Zusammenfassung sind die Zahlenwerte sind zur besseren Verständlichkeit gerundet und es wird sich im wesentlichen auf die Endergebnisse konzentriert.

Der Schwerpunkt dieser Studie soll bei dem „Wie“ liegen, insbesondere bei der technischen Machbarkeit. Dabei werden nur solche Technologien in Betracht gezogen, die jetzt schon vorhanden oder deren Machbarkeit mit Beispielanlagen bewiesen sind.

Der betrachtete geographische Raum ist ausschließlich Deutschland. Sämtliche untersuchten erneuerbaren Energieformen sind in Deutschland vorhanden, und es sollen keine Energieträger aus anderen Ländern importiert werden. Es soll nicht passieren, dass Urwälder für Holzpellets abgeholzt werden oder Zuckerrohr-Monokulturen für Bio-Alkohol-Treibstoff Anbauflächen für Nahrungsmittel verdrängen. Deutschland soll als Beispiel für andere Länder dienen. Denn wenn es in unserem dichtbesiedelten, hochindustrialisierten Land möglich ist, vollständig mit erneuerbaren Energien zu leben, so wird es mit ganzer Sicherheit in jedem anderen Land der Welt möglich sein.

Die vorliegende Fassung ist ein erster Entwurf, der zur Diskussion gestellt wird. Die Studie soll von vielen Meinungen leben und somit wachsen und gedeihen, in der Hoffnung, dass sie damit umso mehr Menschen davon überzeugen kann, dass wir jetzt und heute 100% erneuerbare Energien verwirklichen können.

Diese Studie ist *keine* Vorhersage dessen was eintreten *wird*. Sie ist als Forderung aufzufassen dessen, was eintreten *muss*.

## 2 Wofür „verbrauchen“ wir Energie?

Um herauszufinden, wie Deutschland mit erneuerbaren Energien versorgt werden kann, muss zunächst einmal bekannt sein, wie viel denn überhaupt benötigt wird.

Im Jahr 2002 der Primärenergieverbrauch 4000 Mrd. kWh. Der Verbrauch von *Primärenergie* bezeichnet alles, was in irgendeiner Form und Weise an Energieträgern verwendet wird. Ein kleiner Teil davon wird nicht-energetisch genutzt, z.B. in chemischen Prozessen, aber auch zur Reduktion von Erzen. Bei der Verwendung der Primärenergie entstehen *Verluste*, überwiegend bei der elektrischen Stromerzeugung. Die Energie, die nach der Umwandlung benutzt werden kann, z.B. als elektrischer Strom, Wärme zum Heizen oder Kraftstoff zum Fahren, wird als *Endenergie* bezeichnet. Als Endenergie wurden 2450 Mrd kWh im Jahr 2002 verbraucht. Heute ist der Verbrauch nicht wesentlich anders. Jeder von uns, Kinder und Greise eingerechnet, verbraucht damit etwas mehr als 30 Tausend Kilowattstunden pro Jahr.

Bei der Verwendung von erneuerbaren Energien wird üblicherweise nur die damit erzeugte Energie betrachtet. Um eine Bilanz zu erstellen, wie und wie viel Energie wir aus erneuerbaren Quellen bereitstellen müssen, ist demnach nur der Endenergieverbrauch entscheidend. Bild 1 gibt eine grobe Übersicht, wofür wir Energie verbrauchen:

In dem Posten „elektrische Anwendungen“ ist der Bedarf für typische elektrische Geräte wie Lampen, Maschinen und für Geräte der Informationstechnologien zusammengefasst. Dabei enthalten die übrigen Anwendungsbereiche auch einen gewissen Anteil, der mit elektrischem Strom erzeugt wird. Der gesamte Stromverbrauch in Deutschland beträgt daher rund 500 Mrd kWh im Jahr 2002 und ist höher als der Anteil für die „echten“ elektrischen Anwendungen in Bild 1. Auf diese 500 Mrd kWh wird im weiteren häufig Bezug genommen. Der gesamte Stromverbrauch macht gerade einmal 1/5 am gesamten Endenergieverbrauch aus. In der Wahrnehmung der Bevölkerung hingegen spielt die elektrische Energie eine viel größere Rolle; Elektrizität wird als *das* Symbol für Energie empfunden. Häufig beschränkt sich die Energiedebatte daher auf die elektrische Energie, obwohl in anderen Bereichen noch viel größere Beiträge zu leisten sind.

Der Anwendungsbereich „Verkehr“ beinhaltet Autos für den Personenverkehr, Lastwagen für den Güterverkehr, Energie für Eisenbahnen, sowie Treibstoffe für Flugzeuge und Schiffe. Der Verkehr benötigt etwa 1/3 der gesamten Endenergie. Hierbei zählt der Energiegehalt des eingesetzten Treibstoffs als „Endenergie“, obwohl ein großer Teil bei der Umwandlung in Motoren verloren geht.

„Prozess-Hitze“ bezeichnet alle Anwendungen, bei denen Temperaturen über 200°C benötigt werden. 97% der Prozesse benötigen sogar mehr als 500°C. Beispiele sind Glasherstellung, Metall-Schmelzen, aber auch Backen. Es wird hier ein deutlicher Anteil in Form von elektrischer Energie verwendet.

Fast die Hälfte der verbrauchten Energie wird für Wärme (<200°C) verwendet. Den weitaus größten Anteil hat dabei die Hauswärme, gefolgt von Warm-Wasser und industriellen Anwendungen, insbesondere Trocknen. Allein durch seinen großen Anteil am Verbrauch ist der Wärmeenergieverbrauch äußerst attraktiv für Maßnahmen, den Verbrauch von fossilen Energieträgern zu reduzieren.

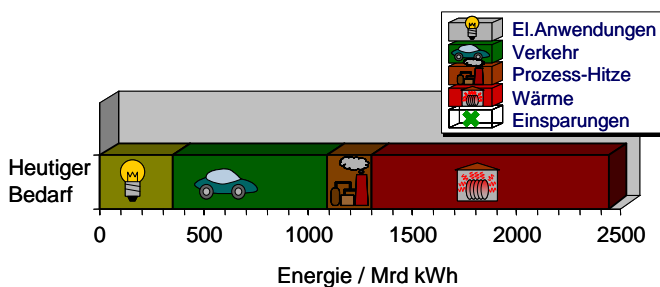


Bild 1: Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2002.

### 3 Einsparmöglichkeiten

Wie schon in der Einleitung erwähnt, gibt es eine Vielzahl von Einsparmöglichkeiten, angefangen bei elektrischer Energie, z.B. durch Verwendung von Energiesparlampen oder verzichten auf die Stand-By-Funktion von elektrischen Geräten, über Wärmeenergie, z.B. durch Verringern der Raumtemperatur bis hin zum Verkehr durch den Umstieg aufs Fahrrad für Fahrten im näheren Umkreis. Die Liste ließe sich nahezu beliebig fortsetzen. Das dabei erzielbare Potential hängt dabei aber gerade bei den vielen keinen Beiträgen sehr stark vom Verhalten vieler einzelner Personen ab und lässt sich nur schwierig politisch Vorgeben. Es ist daher nahezu unmöglich das Potential dafür in Zahlen zu fassen. Daher sollen in dieser Studie nur wenige Maßnahmen in Betracht gezogen werden, die für sich einen großen Beitrag liefern können.

Einer der größten Posten in der Energiebilanz mit über der Hälfte des Endenergieverbrauchs ist bei uns ist der Verbrauch für Wärme, insbesondere zum Heizen von Gebäuden.

In modernen, neugebauten Häusern lässt sich dieser Bedarf drastisch reduzieren. Sogar Passivhäuser oder

Null-Energie-Häuser, die keine Energie zum Heizen benötigen, können heute gebaut werden. Allerdings machen Neubauten auf lange Zeit hinaus nur einen kleinen Teil der Bausubstanz bei uns aus. Von den derzeit vorhanden Gebäuden sind mehr als 3/4 vor der ersten Ölkrise Anfang der 70er Jahre gebaut worden und sind entsprechend schlecht wärmeisoliert. Mehrere Studien und Beispiele, die im Bericht der Enquetekommission beschrieben werden, kommen zu dem Schluss, dass bei Altbauten insgesamt rund 70% der Heizenergie eingespart werden können, wenn alle Gebäude fachgerecht nach dem neusten Stand der Technik wärmegeklärt werden. Damit lassen sich mindestens 550 Mrd kWh Wärmeenergie pro Jahr einsparen, was fast ein Viertel des gesamten Endenergieverbrauchs ausmacht. Damit ist die Wärmedämmung einer der größten Einzelposten im Maßnahmenkatalog und sie ist eine der am leichtesten zu realisierenden Möglichkeiten, fossile Energie zu vermeiden. Die eingesparte Wärmemenge ist mehr als dreimal soviel Energie, wie derzeit mit Kernkraftwerken erzeugt wird. Dabei ist die Einsparung durch energiesparendere Neubauten noch gar nicht berücksichtigt.

Durchaus beachtlich sind die Möglichkeiten, im Verkehrssektor Energie durch Einsparung zu gewinnen. Bei einem durchschnittlichen Treibstoff-Verbrauch von 3.3 l/100 km mit sogenannten 3-Liter-Autos im Vergleich zu heute 7.2 l/100 km kann der Verbrauch für den Personen-Autoverkehr halbiert werden und es werden pro Jahr 200 Mrd kWh eingespart.

Auch im Güterverkehr sind Einsparungen möglich. Angenommen, man verlagert 2/3 des Straßen-Fernverkehrs für Güter auf die Bahn, so reduziert sich die Kilometerleistung für den Straßen-Fernverkehr erheblich, und der Güter-Bahnverkehr nimmt stark zu. Da jedoch der Bahnverkehr wesentlich effizienter ist, wird dafür bei weitem nicht so viel Energie benötigt, wie vorher für den Straßen-Fernverkehr. Insgesamt können dadurch 180 Mrd kWh pro Jahr eingespart werden können. Damit halbiert sich in etwa der Energieverbrauch für den Güterverkehr, so dass für den Verkehr insgesamt etwa die Hälfte der Energie gespart werden kann.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, elektrischen Strom ohne Komfortverlust einzusparen. Zwei Bereiche, die auch häufig in der Öffentlichkeit diskutiert werden und merkbare Beiträge liefern können, sind die Bereiche Beleuchtung und Stand-By-Betrieb von elektrischen Geräten. Angenommen, Stand-By-Schaltungen verbrauchen keinen Strom mehr, was heute technisch möglich wäre, und Lampen werden durch energiesparende Technologien ersetzt und intelligent geregelt, dann lassen sich damit 55 Mrd kWh, also etwas mehr als ein Zehntel des Stromverbrauchs in Deutschland einsparen.

Bild 2 zeigt die Sparmaßnahmen in einem Diagramm. Insgesamt lässt sich mit diesen Maßnahmen rund 1000 Mrd kWh pro Jahr einsparen. Das ist mehr als doppelt soviel, wie pro Jahr an elektrischer Energie verbraucht wird und entspricht etwa 40% des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland!

*Fazit: Angenommen, alle Häuser werden nach dem Stand der Technik isoliert, Autos verbrauchen durchschnittlich nur 3.3 l/100km (anstelle von heute 7.2 l/100km) 2/3 der Güter für den Fernverkehr werden auf der Schiene transportiert, Stand-By-Schaltungen verbrauchen keinen Strom mehr und Lampen werden durch energiesparende Technologien ersetzt und intelligent geregelt. Damit sparen wir rund 40% des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland.*

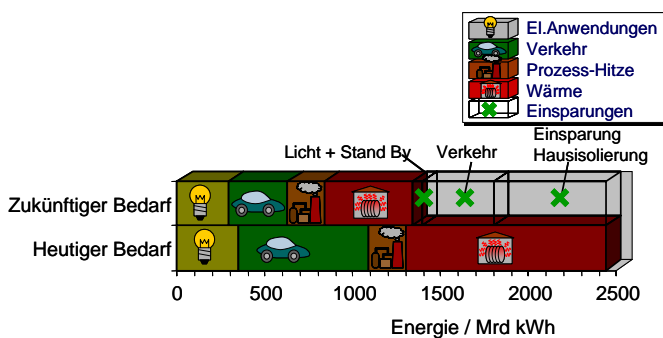


Bild 2: Zukünftiger Endenergieverbrauch in Deutschland.

## 4 Erneuerbare Energiequellen

Zur Energieerzeugung stehen in Deutschland eine Reihe von Technologien zur Verfügung. Die wichtigsten sind:

- Solarenergie
- Wasserkraft
- Wind
- Geothermie
- Biomasse

Es gibt noch weitere Technologien, die jedoch in Deutschland nicht verfügbar sind oder sich noch in einem solchen Frühstadium der Forschung befinden, dass sie hier nicht berücksichtigt werden sollen.

### 4.1 Solarenergie

Mittels Solarenergie lässt sich bekanntermaßen unmittelbar elektrische Energie mittels Solarzellen (Photovoltaik) erzeugen. Des Weiteren kann mit Sonnenkollektoren Wärme für warmes Brauchwasser oder Raumwärme erzeugt werden. Typischerweise ist der Wirkungsgrad thermischer Solar-Kollektoren etwa doppelt so groß wie der von elektrischen Sonnenkollektoren.

Aus der umfangreichen Statistik zu Erträgen von Photovoltaikanlagen des Solarenergie-Fördervereins Deutschland mit über 3000 Teilnehmern aus ganz Deutschland ergibt sich, dass ein Quadratmeter

Solarzellen heutzutage mindestens 100 kWh Strom erzeugen kann.

Wollten wir den gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland mit Photovoltaik decken, so bräuchten wir dafür eine Fläche von 25693 km<sup>2</sup>. Das entspricht einem Quadrat mit einer Kantenlänge von 160 km. Die dafür notwendige Fläche würde insgesamt der eines ganzen Bundeslandes wie Hessen entsprechen, was eine solche Realisierung ziemlich unwahrscheinlich erscheinen lässt. Andererseits entspricht die Fläche in etwa der gesamten Siedlungsfläche (Gebäude und zugehörige Freiflächen) in Deutschland von 23938 km<sup>2</sup> und ist nicht sehr viel größer als die gesamte Fläche für den Verkehr von 17446 km<sup>2</sup>. Wer hätte sich vor 60 Jahren eine solchen Dimension für den Straßenverkehr vorstellen können?

In jedem Fall akzeptiert wäre es jedoch, vorhandene Flächen wie Dächer und Fassaden mit einer gesamten Fläche von 2100 km<sup>2</sup> zu nutzen. Wenn davon 90% zur Stromerzeugung genutzt werden (der Rest von 10% wird für Solar-Wärme genutzt) ließen sich dort 190 Mrd. kWh pro Jahr erzeugen, was knapp 40% des heutigen Stromverbrauchs entspricht.

Es gibt weitere Möglichkeiten, Flächen für die Solarenergie auf akzeptable Weise zu nutzen. Dazu könnten beispielsweise die Flächen von Braunkohle-Tagebauen mit insgesamt rund 600 km<sup>2</sup> Betriebsflächen zählen. Auf einer Fläche dieser Größe könnte man mit solar-thermischen Kraftwerken 30 Mrd. kWh pro Jahr erzeugen. Überdachte Verkehrsflächen, von denen allein die deutschen Autobahnen 300 km<sup>2</sup> ausmachen, sind zahlenmäßig in dieser Studie noch nicht hinzugezählt

*Fazit: Angenommen, jedes geeignete Dach und Fassade hätte eine Solaranlage für elektrischen Strom. Damit lässt sich etwa 40% des heutigen Stromverbrauchs erzeugen.*

### 4.2 Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft ist weitgehend ausgeschöpft. Eine deutliche Steigerung würde große Stauseeprojekte notwendig machen, die in der Gesellschaft nicht akzeptiert werden. Durch die Reaktivierung von alten Wasserkraftwerken und die Errichtung von einigen Laufwasserkraftwerken lässt sich die Wasserkraft allerdings noch auf bis zu 33 Mrd kWh pro Jahr ausbauen. Dann hätte die Wasserkraft einen Anteil von 6.6% an der heutigen Stromerzeugung.

### 4.3 Windkraft

Ende 2005 gab es knapp 18000 Windräder mit einer durchschnittlichen Generatorgröße von 1 MW. Dabei liefern Windräder im Binnenland ähnliche Beiträge zur Stromerzeugung wie Windräder in Küstenländern, denn

Windräder im Binnenland sind an die dortigen Windverhältnisse angepasst.

Wenn alle diese bestehenden Windräder durch solche mit einer Generatorgröße von 3 MW, wie sie bei neuen Windrädern aktuell ist, ersetzt würden, so könnten diese 100 Mrd kWh Strom pro Jahr erzeugen.

Durchaus akzeptabel sollte es sein, alle Binnenländer auf das Maß schon jetzt gut mit Windkraft ausgestatteter Bundesländer im Binnenland aufzurüsten. Insbesondere südlich der Main-Linie ist die Windkraft nur wenig ausgebaut. Mit etwas größeren Rotoren oder größeren Nabenhöhen lässt sich allerdings auch dort die Windkraft sinnvoll nutzen. Als typisches Bundesland für den Ausbau der Windenergie könnte zum Beispiel Nordrhein-Westfalen (NRW) ausgewählt werden. NRW hat eine hohe Bevölkerungsdichte, aber auch weite Gebiete wie Eifel und Rothaargebirge, die mit vielen Naturparks wenig zur Windenergieerzeugung beitragen können. Trotzdem hat NRW im Vergleich zu anderen Binnen-Bundesländern eine hohe Dichte von 7 Windräder pro 100 km<sup>2</sup>. Wenn alle Bundesländer mindestens auf diese Dichte aufrüsten und dabei alle Standorte (bestehende und neue) mit modernen 3 MW Windrädern besetzt werden, so können in Deutschland sogar 161 Mrd kWh, das sind 32.2% des elektrischen Endenergieverbrauchs, mittels Windkraft an Land erzeugt werden.

Einen weiteren Beitrag können Offshore-Windparks mit 110 Mrd kWh pro Jahr liefern.

Insgesamt lassen sich dann mittels Windkraft (Offshore und ausgebautes Inland) pro Jahr 270 Mrd kWh elektrischer Energie pro Jahr erzeugen. Dies entspricht 54% des jährlichen Stromverbrauchs in Deutschland.

*Fazit: Angenommen, alle Binnenländer rüsten mindestens auf die Windraddichte von Nordrhein-Westfalen auf, bestehende Windräder werden durch derzeit aktuelle ersetzt und das Potential an Offshore-Windparks wird ausgeschöpft. Damit lässt sich mehr als die Hälfte des heutigen Stromverbrauchs erzeugen.*

#### 4.4 Geothermie

Eine weitere Energiequelle, die in Deutschland erst am Anfang ihrer Nutzung steht, ist die Geothermie (Tiefen-Erdwärme). Damit ist in diesem Zusammenhang die Erdwärme aus tiefen Schichten mit über 3000m Tiefe gemeint. Die Temperatur aus diesem Gebiet ist mit über 100°C ausreichend hoch, um auch elektrischen Strom damit zu erzeugen.

Wärmepumpen, die Wärme aus oberflächennahen Erdschichten herausziehen, sind in dieser Studie indirekt berücksichtigt, da sie nicht als Energiequelle als solche zu betrachten sind. Vielmehr benötigen sie ein gewisses Maß an Energiezufuhr und werden daher bei der Umwandlung von Energieformen betrachtet. Insbesondere lässt sich damit in ländlichen Gegenden dezentral Wärme gewinnen. Erdwärme aus

oberflächennahen Schichten steht praktisch unbegrenzt zur Verfügung, da diese Schichten ausschließlich von der Sonne erwärmt werden.

Erdwärme aus tiefen Schichten ist jedoch nicht für beliebig lange Zeit vorhanden. Vielmehr ist der Wärmestrom aus dem Erdinnern in die zugänglichen Erdschichten relativ klein, sodass sie im Laufe langer Zeit allmählich ausgekühlt werden können. Trotzdem ist in diesem Bereich genügend Wärmeenergie vorhanden, um Deutschland über 450 Jahre lang komplett mit Strom und Wärme zu versorgen. Dabei würde aus technischen Gründen überhaupt nur 4% der vorhandenen Wärmeenergie genutzt werden. Geothermie beinhaltet also ein enormes Energiepotential.

Da die Menge geothermischer Energie beschränkt ist, sollte Geothermie aber nicht unnötig viel verbraucht werden. Geothermische Kraftwerke haben nur einen geringen Wirkungsgrad von rund 10% bei der elektrischen Energieerzeugung. Daher wird hier angenommen, dass alle Abwärme bei der Stromerzeugung zum Heizen und zur sonstigen Wärmeerzeugung genutzt wird. Weiterhin sind geothermische Kraftwerke zentrale Anlagen mit einer gewissen Mindestgröße, mit denen mindestens kleinere Siedlungen oder Stadtteile versorgt werden. Um die Wärme an die Verbraucher zu verteilen, muss dann ein Fernwärmenetz existieren. Demnach sollen geothermische Kraftwerke überwiegend in dicht besiedelten Gegenden errichtet werden, wobei diese Gegenden dann mit Fernwärmenetze versorgt werden.

Unter diesen Randbedingungen reicht es, 225 Mrd kWh pro Jahr an geothermischer Wärme verteilen, wobei knapp 25 Mrd kWh elektrische Energie erzeugt werden. Damit lässt sich etwa die Hälfte des zukünftigen Wärmebedarfs in Haushalten, Gewerbe und Industrie und etwa 5% des heutigen Stromverbrauchs decken.

Die in diesem Szenario entnommene geothermische Energie ist rund 2.5 mal größer als die Menge, welche nachhaltig entnommen werden könnte. Bei Berücksichtigung des Wärmenachflusses würde sie für über 14000 Jahre halten. Es ist anzunehmen, dass bis weit vorher weitere zusätzliche Methoden nachhaltiger Energieversorgung gefunden werden, die eine so intensive Nutzung der Geothermie dann überflüssig machen. Bis dahin kann sie aber einen großen und sauberen Beitrag zur Energieversorgung liefern.

*Fazit: Angenommen, in allen Ballungszentren werden Fernwärmenetze (aus-)gebaut und mit Geothermie betrieben. Damit lässt sich etwa die Hälfte des zukünftigen Wärmebedarfs in Haushalten, Gewerbe und Industrie und etwa 5% des heutigen Stromverbrauchs decken.*

## 4.5 Biomasse

Die Nutzung von Biomasse hat den enormen Vorteil, dass sie sich hervorragend lagern und damit die entsprechende Energie speichern lässt. Sie steht damit grundsätzlich zeitlich unbegrenzt zur Verfügung. Aus Biomasse lässt sich in Kraft-Wärme-Kopplung elektrischer Strom und Wärme in konventionellen Kraftwerken gewinnen. Natürlich kann sie auch direkt verbrannt werden, um Wärme zu erhalten. Weiterhin lässt sich aus Biomasse Treibstoff gewinnen.

Bei der Verwendung von Biomasse zur Energieerzeugung entsteht klimaschädliches Kohlendioxid. Wenn allerdings nur soviel Biomasse verbraucht wird, wie im selben Zeitraum nachwächst, wird in dieser Zeit die gleiche Menge Kohlendioxid aus der Luft gebunden und die Kohlendioxid-Bilanz ausgeglichen. Dies setzt jedoch zwingend voraus, dass die Verwendung der Biomasse nachhaltig geschieht, und nicht mehr verwendet wird, als nachwachsen kann.

Bei uns in Deutschland gibt es im wesentlichen drei Quellen für Biomasse: Holz aus den Wäldern, extra angebaute Energiepflanzen und Reststoffe verschiedenster Art.

Holz, bzw. der Bioenergieträger *Rohholz*, spielt heute als Energieträger nur eine untergeordnete Rolle, beinhaltet allerdings noch ein großes Potential, das in 2000 nur zu 6% genutzt wurde. Das Potenzial von Holz zur nachhaltigen energetischen Nutzung wird mit 24,9 Mio t pro Jahr angegeben, was einem Energiegehalt von 126 Mrd kWh pro Jahr entspricht.

Die Europäische Union (EU) hat beschlossen, 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche stillzulegen. Stillgelegte Flächen dürfen aber trotzdem ausdrücklich laut EU-Beschluss zum Anbau von Energiepflanzen genutzt werden. Damit sind in Deutschland jetzt schon 19100 km<sup>2</sup> Landfläche zum Anbau von nachwachsenden Energie-Rohstoffen verfügbar. Eine weitere Studie im Auftrag des BMU kommt zu verfügbaren Flächen von bis zu 44400 km<sup>2</sup> (23% der Anbaufläche), die mittelfristig unter Berücksichtigung ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte sowie unter Beibehaltung eines ausreichenden Selbstversorgungsgrades für Energiepflanzen genutzt werden können. Hier soll eine Fläche von 38000 km<sup>2</sup> (entsprechend 20% der Anbaufläche) angenommen werden.

Eine Möglichkeit, diese Fläche zu nutzen, wäre der Anbau von Raps, um aus dessen Öl Treibstoff zu gewinnen. Damit ließe sich auf den angenommenen Flächen eine Energiemenge von 60 Mrd kWh in Deutschland ernten, womit rund 8% des heutigen Kraftstoffverbrauchs für den Verkehr erzeugt werden kann.

Eine deutlich größere Energiemenge lässt sich erzielen, wenn nicht nur der Ölanteil in den Samen von Pflanzen

genutzt wird, sondern die gesamte Biomasse der Pflanzen. Dann können schnellwachsende Energiepflanzen angebaut werden, wie zum Beispiel Miscanthus (Chinagrass oder Elefantengras), Pappeln, Weiden oder Triticale, aber auch Mais. Damit lässt sich auf den angenommenen 38000km<sup>2</sup> eine Biomasse mit einem Brennwert von 420 Mrd. kWh anbauen, welche in dieser Studie anstelle des Raps-Anbaus berücksichtigt werden soll.

Diese lassen sich entweder zu Biogas oder zu flüssigen Treibstoffen umwandeln.

Biogas besteht zum größten Teil aus Methan. Aufbereitet kann das Biogas in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Es kann dann wie Erdgas als Treibstoff für Fahrzeuge dienen, aber auch zur Erzeugung von Prozess-Hitze oder in Kraft-Wärme-Anlagen zum Heizen und zur Erzeugung von Strom benutzt werden. In heutigen Biogasanlagen kann etwa die Hälfte des Brennwertes von Energie-Pflanzen genutzt werden, so dass typischerweise etwa 55000 kWh nutzbares Methangas aus der Ernte eines Hektars erzeugt werden können. Der Reststoffe sind hervorragend als Dünger wiederzuverwerten und erlauben eine nachhaltige Bewirtschaftung nahezu ohne zusätzliche Düngung des Bodens. Wildkräuter in der Biomasse können mitverwertet werden, so dass praktisch keine Pflanzenschutzmittel notwendig sind. Biogasanlagen können dezentral betrieben werden, was einen geringen Transportaufwand und die Nutzung von Abwärme ermöglicht.

Die Umwandlung von Biomasse in flüssige Treibstoffe ist auch möglich, insbesondere mit dem „Biomass to Liquid“ (BtL) – Verfahren. Die Angaben über die energetische Effizienz des Verfahrens schwanken zwischen 10% und 50%. 25% scheint realistisch erzielbar zu sein und wird hier angenommen, so dass damit nur halb soviel nutzbarer Kraftstoff wie mit Biogasanlagen erzeugt werden kann. Das Verfahren erfordert großtechnische, zentrale Anlagen, die einen großen Transportaufwand benötigen und die Nutzung von Abwärme erschweren. Die Reststoffe in Form von Schlacken können nicht als Dünger genutzt werden. Damit wird eine nachhaltige Bewirtschaftung der Böden eher unwahrscheinlich.

Insgesamt ist daher die Verwendung von Biogasanlagen zu bevorzugen.

Eine weitere Möglichkeit ist der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere Leinölpflanzen, in Mischfruchtanbau mit anderen Nutzpflanzen, wobei in Versuchen gezeigt wurde, dass sich dadurch die Erträge der Nutzpflanzen nicht verringern, sondern sogar gesteigert werden können. Vorsichtig geschätzt lassen sich damit 1500 kWh pro Hektar und Jahr an Energie (im Vgl. zu 16000 kWh bei Raps) in Form von Pflanzenöl gewinnen. Die angenommene Nutzung von

weiteren 10% der Anbaufläche ergibt somit weitere 3 Mrd kWh direkt nutzbaren Treibstoff.

Unter den *Reststoffen* der Bioenergieträger werden holzartige, halmgutartige und sonstige Reststoffe, darunter Exkremate und Einstreu, zusammengefasst. Zu dem Punkt sonstige Reststoffe sind auch viele kleine Beiträge von z.B. Deponiegasgewinnung oder Rückstände aus der Bierherstellung zugeordnet. Das Energieträgerpotential aus Reststoffen beträgt rund 140 Mrd kWh.

Bei der Umwandlung in Endenergie, also Strom in der Steckdose, Wärme im Haushalt und Biokraftstoff im KFZ, geht Energie verloren (siehe auch Bild 3). Insgesamt bleiben dadurch rund 330 Mrd kWh als nutzbare Endenergie aus Biomasse übrig. Sie entsprechen 46 % der Energiemenge, die heute im Verkehr benötigt wird. Allerdings ist nicht die gesamte Energiemenge unmittelbar als Treibstoff zu verwenden; insbesondere der Anteil der festen Reststoffe ist nur zum Teil als Treibstoff nutzbar.

*Fazit: Angenommen, die Wälder werden nachhaltig genutzt, auf überschüssigen Flächen werden „Energiepflanzen“ angebaut und alle organischen Reststoffe wie Stroh, Restholz und nachhaltiges Brennholz sowie Bio-, Klär- und Deponiegas werden effektiv genutzt. Damit gewinnen wir knapp die Hälfte der Energiemenge, die heute im Verkehrssektor verbraucht wird.*

#### 4.6 Zuordnung zum Bedarf

Bild 3 zeigt die Summe aller erneuerbarer Energiequellen als Balken (ganz oben) im Vergleich zu dem Bedarf an Energie (ganz unten). Man erkennt, dass in Summe deutlich mehr Energie zur Verfügung steht, als in Zukunft benötigt wird. Allerdings liegt die Energie nicht immer in der Form vor, in der sie den Bedarf decken kann. Der zweite Balken von oben zeigt daher das Energieangebot, das sich aus den Energiequellen erzeugen lässt. Insgesamt lassen sich rund 600 Mrd kWh elektrischer Strom aus Sonne, Wind, Wasser und Geothermie erzeugen. Die Menge an Treibstoff (Biogas, Pflanzenöl und Bio-Diesel bzw. – Kerosin) beträgt rund 300 Mrd kWh. Weitere Angebote sind direkt genutzte Biomasse (20 Mrd kWh), Solarthermie (42 Mrd kWh), Geothermie und Erdwärme (275 Mrd kWh). Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Energie kann nicht genutzt werden. So bleibt beispielsweise bei der Biogas-Herstellung ein größerer Teil der Pflanzenmasse in den Reststoffen enthalten und wird wieder als Dünger genutzt. Aber es entsteht bei den verschiedenen Umwandlungsprozessen auch Abwärme, von der etwa 93 Mrd kWh als Wärme genutzt werden kann.

Das Bild zeigt nun weiterhin, wie sich die angebotenen Energien auf die verschiedenen Anwendungsklassen aufteilen können. Am Ende kann für jede

Anwendungsklasse die benötigte Energiemenge in passender Form aus Erneuerbaren Energien bereitgestellt werden.

## 5 Speicherung

Sonnen- und Windenergie stehen nicht zu jedem Zeitpunkt zur Verfügung. Wie sollen wir Strom für Lampen erzeugen, wenn Nachts die Sonne weg ist? Diese Frage betrifft vor allem die elektrische Stromerzeugung, denn hier muss in jeder Sekunde genau soviel Energie bereitgestellt werden, wie gerade verbraucht wird. Hingegen ist die Energienutzung im Verkehrsbereich und bei der Wärmeerzeugung weniger zeitkritisch. Wenn man darüber nachdenkt, wie der elektrische Strom gespeichert werden soll, sind mehrere Dinge zu bedenken:

Es ist offensichtlich, dass die Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien nicht gleichmäßig ist. Allerdings ist auch der Verbrauch an elektrischer Energie nicht gleichmäßig. Heutzutage ist er tagsüber am größten mit dem Höchstwert gegen Mittag und in der Nacht am geringsten. Der Unterschied beträgt in etwa Faktor zwei. Solarzellen erzeugen nur tagsüber Strom. In Kombination mit weiteren erneuerbaren Energiequellen passt sich so die Erzeugung zwar nicht exakt, aber doch im Trend an den Verbrauch an.

Der Mix aus unterschiedlichen Energieformen sorgt auch dafür, dass sich die Erzeugung über das Jahr verteilt an den Trend des Verbrauchs anpasst. Der Verbrauch nimmt im Winter durch mehr Dunkelheit und Kälte zu. Bei der Erzeugung nimmt der Anteil des Solarstroms dann zwar ab, aber dafür nimmt tendenziell die erzeugte Windenergie zu. Weiterhin steht dann mehr Strom aus wärmegeführten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zur Verfügung, der den erhöhten Verbrauch ausgleichen kann.

Erneuerbare Energien sind zuverlässiger, als man in einem ersten Eindruck meinen könnte. Insbesondere Windräder liefern erstaunlich zuverlässig elektrischen Strom. Derzeit gilt knapp die Hälfte der in Deutschland mit Windrädern erzeugten Energie bei den Energieversorgern als „gesicherte Leistung“, die mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von 99% zur Verfügung steht. Der Grund ist die weite Verbreitung der Windräder, deren Energieerzeugung mit immer größer werdenden Abstand immer weniger korreliert ist. Vereinfacht gesagt: Irgendwo weht immer der Wind. Wenn Windräder in ganz Europa verteilt zusammengeschlossen sind, steht ein noch viel größerer Anteil an Windenergie konstant und zuverlässig zur Verfügung. Dies würde jedoch bedeuten, dass die europäischen Stromnetze besser ausgebaut werden müssen. Bei einem Mix von Energieformen sind diese Ausgleichseffekte noch besser und diese großflächige Vernetzung macht eine Speicherung fast überflüssig.

Eine weitere Möglichkeit, elektrische Speicherkapazität im Stunden- und Halbtagesbereich zu reduzieren ist, den Verbrauch an die Erzeugung anzupassen. Es gibt ein nicht vernachlässigbares Potential, elektrischen Verbrauch in der Zeit zu verschieben. Wichtige Beispiele sind Kühleinrichtungen oder Heizungen (direkt oder Wärmepumpen).

Trotzdem werden in Zukunft weitere Speichermöglichkeiten für elektrischen Strom benötigt. Dazu gibt es eine Vielzahl an Technologien, die hier nicht im einzelnen aufgeführt werden sollen. Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass Speichermöglichkeiten mit einer Kapazität von etwa 3% der jährlich erzeugten elektrischen Energie benötigt werden. Diese werden mehrmals pro Jahr benutzt, so dass insgesamt 18% der jährlich erzeugten elektrischen Energie zwischengespeichert werden. Welche Menge an Speicherkapazität am Ende tatsächlich installiert wird, hängt jedoch auch davon ab, in welchem Maße die Stromnetze ausgebaut werden.

**6 Fazit**

Als Gesamtergebnis stellt Bild 3 die einzelnen Ergebnisse zusammen in einer Graphik dar. Der obere Balken zeigt die Beiträge der einzelnen Energieformen zur Gesamtbilanz, während der untere Balken den zukünftigen Verbrauch widerspiegelt, wobei die farblosen Balken die möglichen Einsparungen darstellen. Die Gesamtmenge an erzeugten erneuerbaren Energien übersteigt den Bedarf.

Insgesamt lässt sich mit Photovoltaik und Windenergie der gesamte elektrische Energiebedarf decken. Wasserkraft sowie Geothermie und Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung können weitere wichtige Beiträge zur Stromversorgung leisten, insbesondere, da sie wesentlich besser kontrollierbar und speicherbar sind.

Zusammenfassend zeigt sich, dass es mit durchaus vertretbarem technischen Aufwand technisch möglich ist, Deutschland vollständig mit erneuerbaren Energien zu versorgen.

Was können wir als einzelne tun, um die Idee der Energieversorgung mit erneuerbaren Energien weiter zu verbreiten und zu verwirklichen? Folgende Punkte sind nur einige Stichworte:

- Öffentlichkeitsarbeit leisten
- Mit Freunden und Bekannten sprechen
- In Erneuerbare Energien investieren
- Das eigene Haus isolieren
- Das nächste Auto ist sparsam

Ihnen fallen bestimmt weitere Punkte ein!

**7 Literaturhinweise**

[1] Homepage des Autors Eberhard Waffenschmidt: <http://www.waffenschmidt.homepage.t-online.de>  
 [2] Homepage des Solarenergie Fördervereins Deutschland e.V. <http://www.sfv.de>

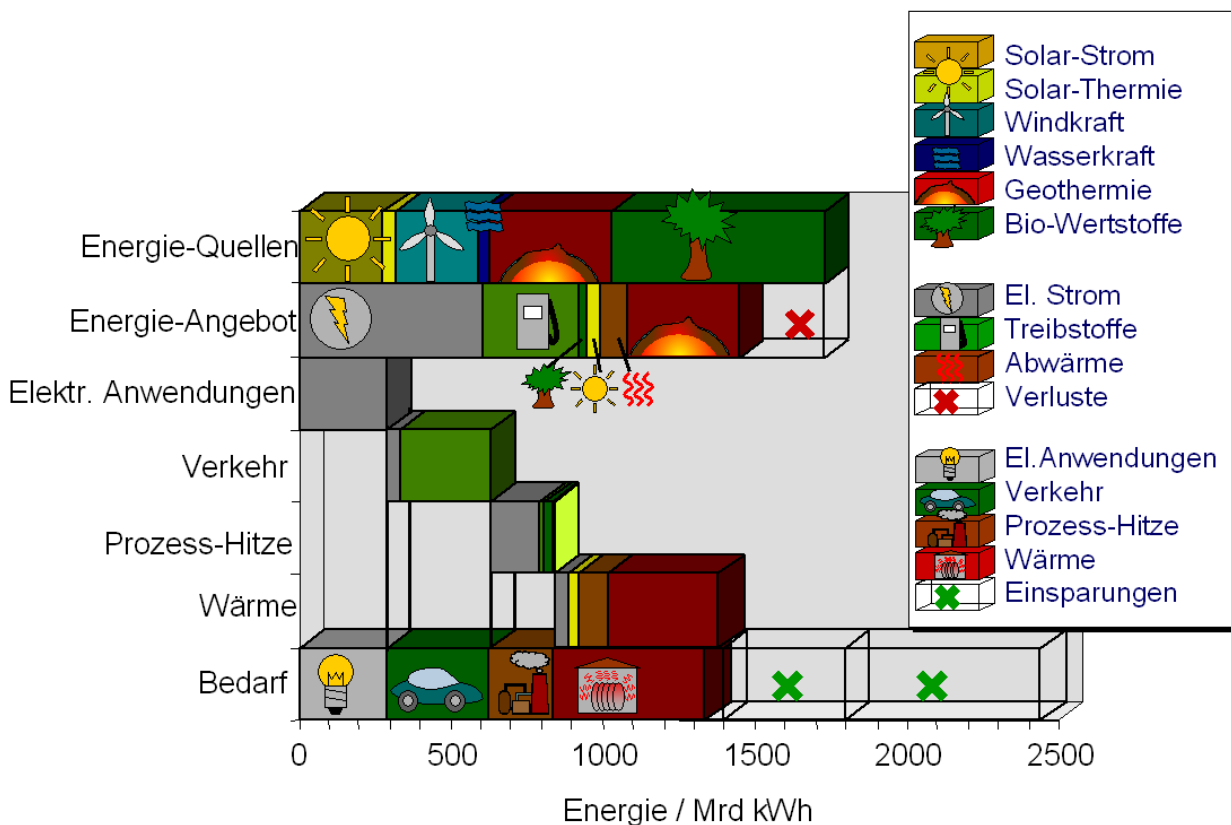


Bild 3: Energieströme im angenommenen Szenario.