

Energieressourcen und mögliche Alternativen

Und sie sägten an den Ästen,
auf denen sie saßen,
und schrien sich zu ihre Erfahrungen,
wie man besser sägen könne,
und fuhren mit Krachen in die Tiefe,
und die ihnen zusahen beim Sägen,
schüttelten die Köpfe,
und sägten kräftig weiter.

Berthold Brecht (1898-1956)

In diesem Referat soll ein grober Überblick über die weltweiten Möglichkeiten der Energieerzeugung und die dafür nötigen Vorräte gegeben werden. Jegliche Diskussion über den Treibhauseffekt, globale Erwärmung, Klimawandel und dergleichen sei hier ausgeklammert, da sonst der Rahmen gesprengt und das eigentliche Thema verfremdet würde. Dennoch leidet die Relevanz dieser Thematik nicht unter diesem Beschluss, denn selbst bei bloßer Betrachtung der Ressourcenfrage bleibt der Menschheit ein Umdenken nicht erspart, es wird ihr wohl gleichsam aufgezwungen.

Einige Anmerkungen vorweg

Die angegebenen Verbrauchsmengen, sowohl für den Gesamtenergieverbrauch als auch für den Verbrauch einzelner Energieträger, beziehen sich immer auf die Primärenergie und nicht nur auf den Stromverbrauch bzw. die Verwendung eines Stoffes zur Verstromung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden einige Angaben nicht in Energiegrößen (Wh) sondern in Leistungsgrößen (W) angegeben. Ein kurzes Beispiel zur Erklärung: Eine typische Glühbirne benötigt 60W Leistung, brennt sie eine Stunde lang, so hat sie 60Wh an Energie verbraucht.

Spricht man von Rohstoffen und deren noch vorhandenen Vorräten, so muss stets zwischen den vorhandenen Reserven und Ressourcen unterschieden werden.

Reserven sind Vorkommen, die mit großer Genauigkeit erfasst und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten profitabel zu gewinnen sind.

Ressourcen sind Vorkommen, die zwar geologisch nachgewiesen, aber derzeit noch nicht wirtschaftlich oder generell nicht energetisch sinnvoll gewinnbar sind. Die Einteilung wird in drei Wahrscheinlichkeitskategorien eingeteilt: "Inferred" (vermutet/abgeleitet), "Indicated" (angedeutet), "Measured" (berechnet).

Weltenergieverbrauch

Den Weltenergiebedarf messtechnisch zu bestimmen ist nicht realisierbar, durch statistische Hochrechnungen lässt er sich jedoch abschätzen. Je nach Berechnungsmethode ergibt sich ein Weltgesamtverbrauch an Primärleistung von derzeit etwa 12,3 - 14,7TW, davon etwa 2TW Strom (Österreich 2006: 7,6 GW). Wie in Abb. 1 ersichtlich, wird diese Menge derzeit zum Großteil aus fossilen Energieträgern gewonnen.

Da der Primärenergieverbrauch proportional zur Weltbevölkerung wächst und nur relativ langsam durch technische Weiterentwicklungen eingedämmt wird, lässt die UNO Prognose von 9,2 Mrd. Menschen im Jahr 2050 auf eine Ausweitung des PEV auf 18 - 20TW im gleichen Zeitraum schließen. Die Frage wie diese Energiemenge aufgebracht werden kann, ist wohl eine der bedeutendsten dieses Jahrhunderts.

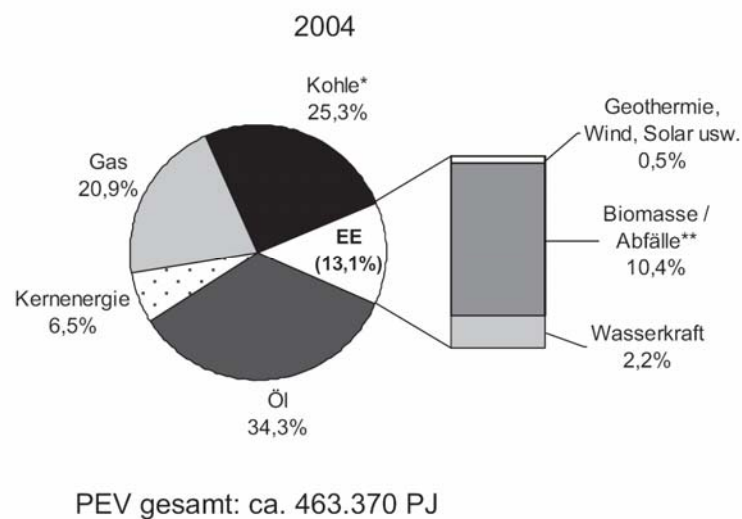


Abb. 1: Weltweiter Primärenergieverbrauch, aus [5]

1. Betrachtung der energiebeschränkten Quellen

1.1 Erdöl

Genau wie alle anderen fossilen Energieträger besteht Erdöl aus Kohlenwasserstoffketten, die aus biogenem Material, also abgestorbenen Tieren und Pflanzen, unter hohem Druck und Temperatur entstanden sind. Der industriellen Verwendung zugeführt wird es seit etwa 150 Jahren, seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts wird allgemein darin der wichtigste Rohstoff für die Weltwirtschaft gesehen.

Der Handel von Rohöl wird üblicherweise in der Mengeneinheit Barrel abgewickelt, ein Barrel entspricht 159 Litern. Hauptförderungsländer sind die Staaten der arabischen Halbinsel, Russland, die USA, Mexiko und weitere Länder Mittel- und Südamerikas sowie Afrikas, siehe Abb. 2.

Derzeit werden weltweit täglich etwa 10,6 Mio. t (84 Mio. Barrel) verbraucht, der Großteil davon in den USA (2,54 Mio. t), der Volksrepublik China (0,76 Mio. t) und Japan (0,69 Mio. t). Auf ein Jahr aufgerechnet beträgt der Weltrohölverbrauch **3,8 Mrd. t (2005)**.

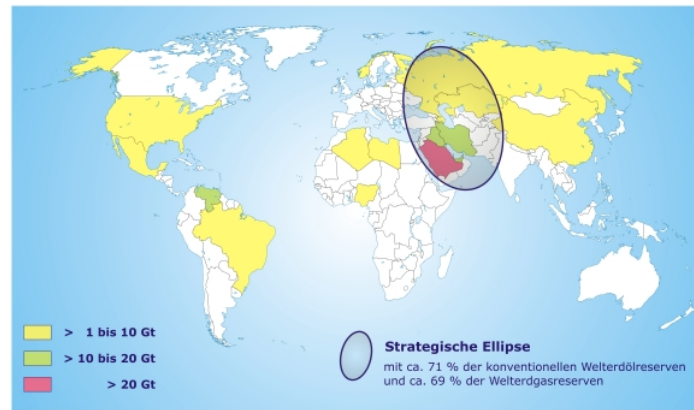


Abb. 2: Hauptförderregionen für Erdöl, aus [6]

Die bestätigten Reserven variieren je nach Quelle stark von **140 - 200 Mrd. t**, die durch konventionelle Fördertechniken erschließbar sind. Daneben gibt es auch noch die unkonventionellen Vorräte, die auf Grund der extremen geologischen Lage bzw. Vorkommensform derzeit nicht wirtschaftlich förderbar sind. Darunter fallen etwa Vorkommen in den Polarregionen und Tiefseegebieten auf der einen und Ölschiefer oder Schwerölsande auf der anderen Seite. Diese Vorkommen jedoch nur unter dem Aspekt eines gestiegenen Rohölpreises automatisch zu den konventionellen Vorräten zu zählen ist oft nicht zulässig, da ihr Abbau teilweise auch energietechnisch nicht wirtschaftlich ist. So müssen etwa Öle im Erdölmuttergestein erst stark erhitzt werden um so die noch nicht vollständige natürliche Umwandlung zu beschleunigen. Dieser Prozess verschlingt mehr Energie als das erhaltene Öl zu liefern im Stande ist.

Selbst optimistische Schätzungen gehen daher von einer "Reichweite" der Ölreserven von weniger als 60 Jahren aus.

1.2 Erdgas

Erdgeschichtlich vor ungefähr 20 Millionen Jahren entstanden, zählt das Erdgas zu den jüngeren fossilen Energieträgern. Es besteht im natürlichen Vorkommen meist zum Großteil aus Methan, einem kurzkettigen Kohlenwasserstoff, weiteren Alkanen (Ethan, Propan, Butan etc.), Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid, Wasserdampf und Helium. Diese Kurzkettigkeit ist auch der Grund warum Erdgas als "sauberer" als Erdöl oder Kohle bezeichnet wird, denn wie in Abb. 3 ersichtlich ist das Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff höher als bei anderen fossilen Energieträgern.

Gehandelt wird es in den Qualitäten L und H, was sich auf den Methangehalt von ca 85% bzw. 90-98% bezieht. Ein Kilogramm dieser Erdgase hat dementsprechend mit 9 bzw. 13 kWh etwa soviel Energie wie 1,3 - 1,5 Liter Benzin oder 1,0 - 1,3 Liter Diesel. Zum Transport bzw. Verbrauch wird Erdgas im CNG-Verfahren komprimiert oder nach dem LNG-Verfahren verflüssigt.

Jährlich werden etwa **2,8 Billionen Nm³** (=Normkubikmeter) Erdgas weltweit verbraucht (Österreich 2006: 8,4 Mrd. Nm³), die Hauptverbraucher sind hier zu gleichen Teilen die Vereinigten Staaten und Russland. Allgemein liegt der Verbrauch in den ehemaligen GUS-Ländern höher als im Rest der Welt. Die gesicherten Vorräte (2006) belaufen sich auf etwa **172 Billionen Nm³**, wobei der Löwenanteil in Russland und auf der arabischen Halbinsel zu finden ist.

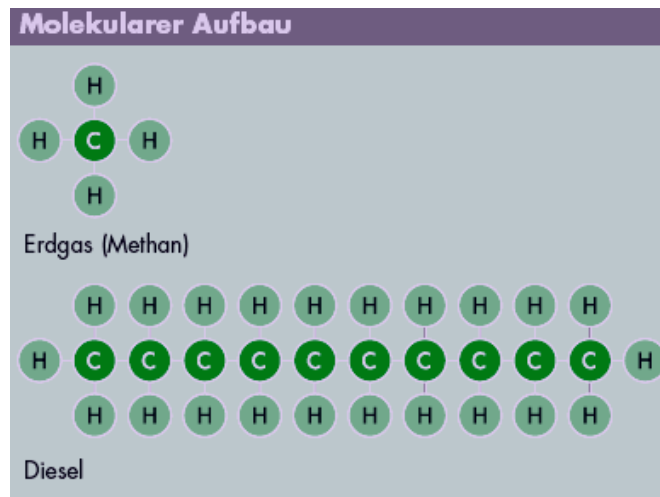


Abb. 3: Molekularer Aufbau lang- und kurzkettiger Kohlenwasserstoffe, Quelle: Wikipedia

1.3 Kohle

Kohle stellt in der Reihe der fossilen Energieträger den größten Teil an der weltweiten Stromerzeugung und den zweitgrößten Teil an der Primärenergieerzeugung. Im Vergleich zur Verbrennung von Erdgas oder Erdöl werden jedoch mehr sekundäre Verbrennungsprodukte wie Schwefeldioxid oder Stickoxid frei. Dies macht Kohle und hier vor allem die Braun- oder Weichkohle, überspitzt ausgedrückt zu "schmutzigerer" fossiler Energie als Erdöl und vor allem als Erdgas.

Die beiden Unterarten der Kohle unterscheiden sich im fossilen Umwandlungsstadium, das bei Stein- oder Hartkohle bereits weiter fortgeschritten ist und dieser einen höheren Energieinhalt beschert. Weiters wird Steinkohle zumeist im Untertagebau, Braunkohle im Tagebau gefördert.

Der jährliche weltweite Verbrauch an Hartkohle belief sich 2006 auf etwa **5,4 Mrd. t**, jener von Weichkohle auf ca. **950 Mio. t**. Hauptlieferanten sind China, die USA und Polen bzw. Deutschland, Indien und Griechenland.

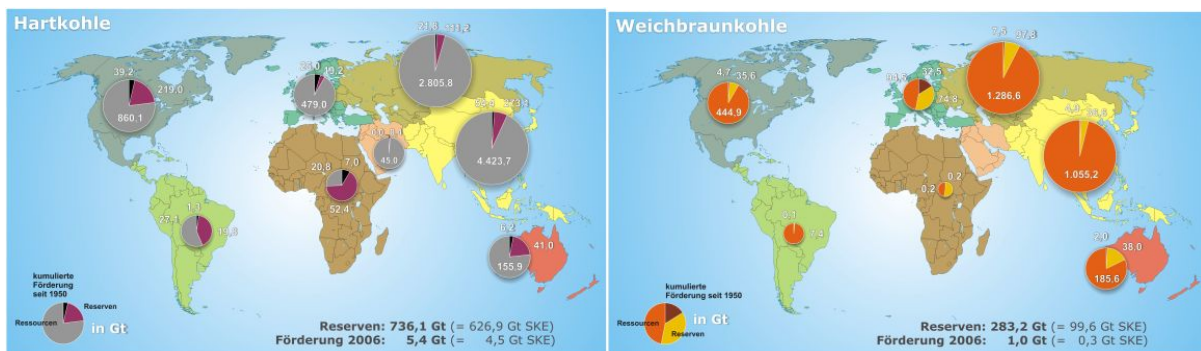


Abb. 4: Stein- und Braunkohle Reserven, Ressourcen und Abbau, aus [6]

Bei den weltweiten Kohlevorräten gibt es nun eine krasse Diskrepanz zwischen Reserven und Ressourcen, da viele Flöze zu tief oder geologisch un erreichbar liegen. Die Bundesanstalt für Geologie und Ressourcen in Deutschland schätzt die Gesamtressourcen auf 9554 Mrd. t für Stein- und 3358 Mrd t für Braunkohle, die Reserven hingegen auf "nur" **736 Mrd. t** bzw. **283 Mrd. t**.

Bei gleichbleibendem weltweitem Verbrauch würden die Steinkohlereserven also etwa 140, die Braunkohlereserven sogar noch für fast 300 Jahre reichen. In Anbetracht der zunehmenden Energienachfrage und dem schrittweisen Wegfall der anderen fossilen Energieträger müssen diese Zeiten jedoch stark nach unten korrigiert werden.

1.4 Uran

Die Häufigkeit von Uran in der Erdkruste beträgt etwa 0,00039%, die gemittelte Häufigkeit der vorkommenden Isotope im Uran sieht jedoch in etwa wie folgt aus:

U-234: 0,005%, U-235: 0,7% , U-238: 99,2%

Um Uran nun in einem Kernspaltungsreaktor einsetzen zu können, muss die Konzentration des spaltbaren Isotopes U-235 je nach Reaktortyp auf 2,5% - 5% gebracht werden. Dies geschieht typischerweise in der Nähe der Abbaustätten in sogenannten Uranzentrifugen, die Energie hierzu stammt meist aus fossiler Erzeugung. Unter anderem dieser Problematik widmet sich eine Studie der Oxford Research Group [2], siehe Abb. 5, es sind jedoch auch sehr unterschiedliche Angaben zu in anderen Quellen zu finden.

Der geschätzte technisch zugängliche und wirtschaftlich abbaubare Uranvorrat beträgt weltweit **1,95 - 3 Mio. t**. Hauptabbauländer sind Kanada, Australien, Kasachstan und Brasilien. Selbst bei einer gleichbleibenden Verbrauchs- und Fördersituation von 2005 (jährlich **65.000 t Verbrauch**, 41.000 t Förderung, Rest derzeit aus Wiederaufbereitung und militärischen Restbeständen) reichen diese Vorräte für weniger als 70 Jahre. Aus diesem jährlichen Verbrauch werden derzeit in 439 Reaktoren mit etwa 330GW 16% des weltweiten Strombedarfes gedeckt.

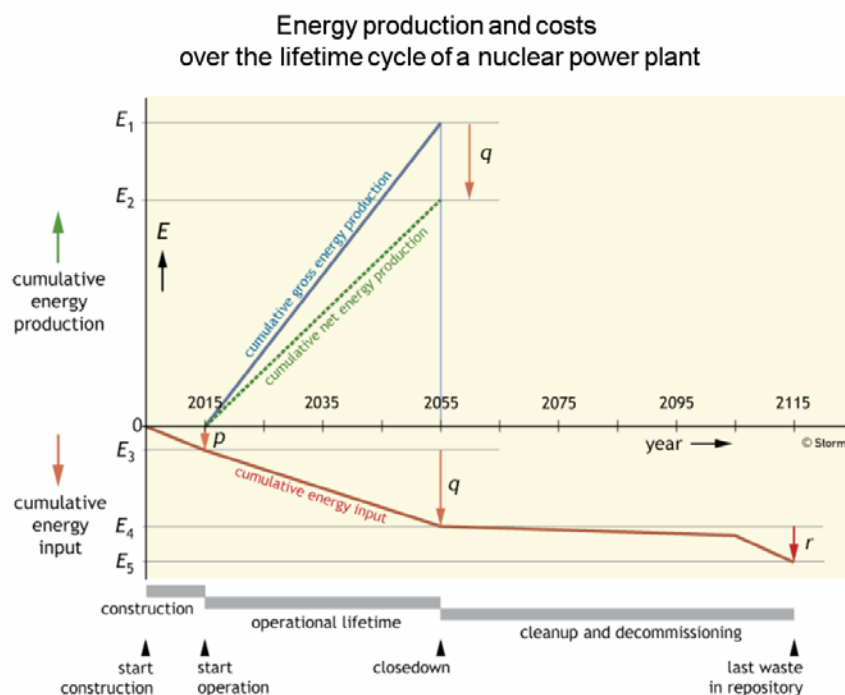


Abb. 5: Abschätzung der Energiebilanz eines AKW nach [2]

Eine weitere Verlängerung des nuklearen Zeitalters darüber hinaus ist nur in zwei Varianten möglich, einerseits dem Abbau niedriger konzentrierten Erzes (unter 0.02% Uranoxid) bzw. die Urangewinnung aus Meerwasser, beide Möglichkeiten benötigen aber weit mehr Energie zur Herstellung von spaltbarem Material als der Prozess später liefert, oder die technische Weiterentwicklung auf dem Sektor der Brutreaktoren. In diesen Reaktoren sollen neben den aktiven Brennstäben Brutbrennstäbe im Reaktor eingebracht werden, in denen sich hauptsächlich aus Plutonium und U-238 eine erhöhte U-235 Konzentration bildet, der Brennstab sich also quasi selbst anreichert. Dieser Vorgang verschlingt natürlich einen gewissen Anteil der hergestellten Prozessenergie, in Summe stünde dann aber auch das bis dato nicht nutzbare U-238 Isotop zur Energiegewinnung zur Verfügung. Weltweit waren etwa ein Duzend solcher Reaktoren zum Großteil zu Forschungszwecken in Betrieb, nur 3 Anlagen (Belojarsk - Russland, Marcoule - Frankreich und Tsuruga - Japan) laufen heute noch tatsächlich zur Stromproduktion. Auf Grund massiver Probleme sowohl nuklearer als auch nichtnuklearer Natur, konnte sich dieses Prinzip noch nicht durchsetzen.

2. Betrachtung der leistungsbeschränkten Quellen

Alle fossilen Stoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas beinhalten gespeicherte Sonnenenergie. In nicht fossiler Form entspricht dies der heutzutage an der Erdoberfläche vorhandenen Biomasse. Daneben kann die Sonnenenergie noch über die Umwege des Wasserhaushaltes und der Luftströmungen durch die Nützung der Wasserkraft und Windenergie gewonnen werden. In sehr direkter Form ermöglicht die Photovoltaiktechnologie die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom.

Des weiteren gibt es noch geologische Energien wie die Erdwärme und die durch die Massenanziehungskraft des Mondes hervorgerufene Gezeitenenergie.

Ohne nun auf wirtschaftliche Rentabilität der einen oder anderen Energieform einzugehen, sollen die Potenziale der einzelnen Möglichkeiten aufgelistet werden. **An dieser Stelle möchte ich nochmals kurz vor Augen halten, dass in etwa 50 Jahren voraussichtlich zwei der drei fossilen Hauptenergieträger großteils erschöpft, und der weltweite Energieverbrauch auf 20TW angestiegen sein wird.**

2.1 Wasserkraft

Hier wird die kinetische und potentielle Energie des Wassers genutzt, grundsätzlich muss zwischen Flusskraftwerken (Kaplan- oder Francisturbinen, Erzeugung von Grundlaststrom), Speicherkraftwerken (Stausee, hohe Fallhöhe, Francis- oder Pelton-turbinen, Erzeugung von Mittellast oder Spitzenlaststrom) und Gezeiten- oder Wellenkraftwerken am Meer unterschieden werden.

Die derzeit weltweit installierte Leistung beträgt mit etwa **700GW** deutlich mehr als die installierte nukleare Kraftwerksleistung, aber auf Grund der niedrigeren Einschaltzeiten (gemittelt 45 - 55%) entspricht der Anteil an der Gesamtstromerzeugung etwa dem der Atomkraft.

Estimierte Ausbaupotentiale schwanken von weltweit maximal installierbaren Leistungen zwischen 900 und 3500GW. Dies rührt sicherlich auch daher, dass neben der bloßen technischen Machbarkeit oft auch Umweltschutz- und Artenschutzgründe einen Einfluss auf die Realisierbarkeit haben.

Mit den Einschaltzeiten gewichtet ergibt sich ein Nettoleistungspotential von **0,45 - 1,75TW**.

2.2 Windkraft

Bereits seit vielen Jahren verwendet, erlebte die Windkraft vor allem in Europa und den USA im letzten Jahrzehnt einen deutlichen Aufschwung. Federführend sind in nominal installierter Leistung Deutschland, die USA und Spanien. Die installierte Leistung in Deutschland betrug im Jahr 2006 etwa 21GW, wie bei der Wasserkraft kann diese aber nicht alle 8760 Stunden des Jahres erbracht werden. 2006 wurden 30,5TWh an elektrischer Energie durch Windkraftanlagen erbracht, dies lässt auf eine Auslastung von 16% schließen.

Das Weltweite Energiepotential aus Windkraft lässt sich nur sehr schwierig abschätzen. Grundsätzlich ist etwa 27% der Landfläche der Erde Windklasse3 - Gebiet ($> 250\text{-}300\text{W/m}^2$ in 50m Höhe), praktisch nutzbar sind etwa 4% (die Vorgehensweise und Kriterien dieser Abschätzung konnten leider nicht aufgefunden werden). Darauf könnten etwa 12,5TW installierte Leistung angebracht werden.

Mit der Auslastung gewichtet ergibt sich ein Nettoleistungspotential von **2TW**, wobei die Angaben hier sehr streuen und diese 2 TW eher die untere Grenze darstellen. Manche Schätzungen gehen bis zu Nettoleistungspotenzialen von **6TW**.

2.3 Biomasse

Ob nun in Form von Holz das in einem Heizungsöfen verbrannt wird, Getreide das Tieren verfüttert wird, deren Rückstände wiederum einer Vergasung zugeführt werden oder Ölsaaten, die gepresst und verestert als Treibstoff verwendet werden, bei jeglichem von Biomasse befeuerten Prozess steht zu Beginn der Kette der Wirkungsgrad der Photosynthese von etwa 0,3%. Im weiteren Verlauf der Verarbeitung kommen natürlich weitere Einbußen durch aufzubringende Verarbeitungsenergie, Prozesswirkungsgrade und nicht verwertbare Abfallprodukte hinzu. Gelinde ausgedrückt ist der Gesamtwirkungsgrad von der Sonnenenergie bis zur erzeugten Primärenergie im Vergleich zu anderen regenerativen Energieformen sehr niedrig, dennoch hat auch diese Form ihre Berechtigung, denn sie bietet einige Vorteile:

- Das Entstehen der Biomasse muss nicht von Menschenhand bewerkstelligt werden, sondern ist ein unverzichtbarer Teil des Ökosystems.
- Viele Einsatzstoffe sind Abfallprodukte in ohnehin notwendigen Prozessen wie z.B. der Nutzholzgewinnung oder der Tierzucht.
- Viele Flächen die für die Energiebiomasse - Produktion herangezogen werden können sind für die Erzeugung von Nahrungsmitteln nicht brauchbar, wie etwa Waldflächen im Hügelland oder Gebirge bzw. den nördlichen Tundragebieten.

Das Energiepotenzial aus Biomasse leitet sich hauptsächlich von der zur Verfügung stehenden kultivierbaren Fläche ab, die weltweit 24,5 Billionen m^2 beträgt. Im Jahre 1990 wurden davon 8,9 Billionen m^2 tatsächlich kultiviert, um die steigende Bevölkerung (prognostizierte 9,2 Mrd. Menschen 2050) mit Nahrung und Nutzbioasse zu versorgen werden weitere 4,1 Billionen m^2 benötigt werden. Dadurch verbleiben etwa 12,8 Billionen m^2 zur Produktion von Energiebiomasse. Das theoretische Nettoleistungspotenzial liegt bei Annahme üblicher Energieerträge bei **5-7 TW**.

2.4 Geothermie

Der überwiegende Anteil der Erde ist wärmer als 1000°C, lediglich die oberste Kruste auf und in der sich das menschliche Leben abspielt ist wesentlich kühler. Diese Energie kommt zum einen aus der Erdentstehung und zum anderen aus radioaktiven Zerfallsprozessen im Erdinneren. Die theoretisch vorhandenen Energiemengen sind gewaltig (die Angaben divergieren auch hier um einige Potenzen und liegen im Bereich von 10^{14} TWh) und entsprechen der Sonneneinstrahlung vieler Millionen Jahre. Das für den Menschen erreichbare Potenzial ist stark von der Entwicklung der technisch machbaren und wirtschaftlich realisierbaren Bohrkapazität ab. Beinahe überall auf dem Planeten erreichen die Temperaturen in etwa tausend Metern Tiefe über 100°C, für die energetische Nutzbarkeit muss aber ein ausreichender fluider Durchfluss gewährleistet sein, da trockenes Gestein nicht über entsprechende Wärmeleitkapazitäten verfügt, die Bohrung wäre in Kürze ausgekühlt.

Obwohl somit eine Abschätzung nur sehr grob möglich ist gehen die meisten Quellen von **10-30TW** nutzbarer Energie aus.

2.5 Solare Direktnutzung - Photovoltaik

Die Sonneneinstrahlung auf unseren Planeten beträgt unter Berücksichtigung der Reflexion und der, bedingt durch die Geoidform der Erde, geänderten Eintrittscharakteristik des Lichtes, 120.000 Terawatt, also würde 1 Stunde Sonneneinstrahlung den Jahresprimärenergieverbrauch der Erde decken. Der tatsächlich realisierbare Anteil liegt hängt nun von Wirkungsgrad und genutzter Fläche ab. Bei ersterem befinden sich die derzeit industriell produzierten Module im Bereich von 10 - 16%, die für die solare Direktnutzung aufgewendete Fläche freilich ist nicht im Vorhinein bestimmbar.

Neben dem erwähnten Wirkungsgrad muss natürlich auch die Einstrahlungsintensität und die zeitliche Arbeitsfähigkeit, welche beide je nach Standort variieren, berücksichtigt werden. In Abb. 6 ist die Arbeitsfähigkeit prozentuell und in absoluter Strahlungsenergie pro Jahr und m² angegeben.

Land	Ertrag	Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit
Süddeutschland	~900–1130 kWh/Jahr	12 %
Schweiz, Mittelland	1050–1200 kWh/Jahr [20]	13 %
Alpen	1400–1600 kWh/Jahr [20]	17 %
Italien, Sizilien	~1800 kWh/Jahr	21 %
Südspanien	~1800 kWh/Jahr	21 %
China, Takla Makan	~1840 kWh/Jahr	21 %
USA, Great Basin	~1930 kWh/Jahr	22 %
Spanien, Kanaren	~2000 kWh/Jahr	23 %
USA, Hawaii	~2100 kWh/Jahr (Haushaltsstrompreis: ca. 30 Cent/kWh)	24 %
Afrika, Sahara	~2270 kWh/Jahr	26 %
Australien, Great Sandy	~2320 kWh/Jahr	26 %
Naher Osten, Arabien	~2360 kWh/Jahr	27 %
Südamerika, Atacama	~2410 kWh/Jahr	28 %

Quelle: Wikipedia

Abb. 6: Absolute und prozentuelle Sonneneinstrahlung

Um die Effizienz eines direkten Wirkungsgrades (d.h. ohne weitere Zwischenschritte wie die Photosynthese) zu demonstrieren hier ein kurzes Rechenbeispiel:

Annahme: Die Anrainer des deutschen Braunkohlekraftwerkes Weisweiler beschließen die Fläche des nötigen Braunkohletagebaus mit Photovoltaikzellen zu bedecken.

Das Kraftwerk wird größtenteils vom benachbart gelegenen Tagebau Inden beliefert, der eine Fläche von 4220ha ($42,2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$) umfasst (Fläche des Kraftwerksareals nicht mitgerechnet).

Bei einer angenommenen Strahlungsintensität von $1000 \text{ kWh/Jahr und m}^2$, sowie einem solaren Wirkungsgrad von 14% ergibt sich eine produzierte Strommenge von **5,9 Mrd. kWh**.

Stünde das Kraftwerk in Atacama, Südamerika, würden die Photovoltaikzellen **14,1 Mrd. kWh** erzeugen.

Das Kraftwerk Weisweiler produzierte im Jahr 2003 **18,3Mrd. kWh** (Energie zum Kohleabbau noch nicht abgezogen) elektrischen Stroms und liegt an 6. Stelle der 30 umweltschädlichsten Kraftwerke Europas.

Anmerkung zum selbst Herumrechnen:

1 kW Verbrauchsleistung entspricht $1 \times 24 \times 365 = 8.760 \text{ kWh}$ Verbrauchsenergie pro Jahr.

8.760 kWh sind $8.760 \times 3.600 = 31.536.000 \text{ J}$ (ein Joule ist eine Wattsekunde)

Um nun beispielsweise die Weltverbrauchsleistung in jährlichen Weltenergieverbrauch umzurechnen:

13 TW ($13 \times 10^{12} \text{ Watt}$) Verbrauchsleistung entsprechen 409.968 PJ ($409.968 \times 10^{15} \text{ Joule}$)

Quellen:

[1] Jahresbericht der E-Control 2007, <http://www.e-control.at>

[2] Nuclear power – the energy balance, by Jan Willem Storm van Leeuwen and Philip Smith, Oxford Research Group, 2008

[3] Physikochemie von Uran, Jürgen Fleckenstein, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Deutschland, 2004

[4] World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/inf23.html>

[5] Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, 1. Auflage 2007, Biberstein Verlag

[6] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, www.bgr.bund.de