

Vortrag beim Lions Club Nürnberg am 20. Februar 2001

Die Energiefrage

Wie decken wir den Weltenergiebedarf im Jahr 2050

Prof. D. Hein

Lehrstuhl für Thermische Kraftanlagen

Das Thema **Energie** oder besser gesagt die **Energieversorgung** ist eines der zur Zeit wohl wichtigsten Themen unserer Zeit und wohl auch ein spannendes Thema. In der Zeitung liest man, daß der Kulminationspunkt der Erdölförderung schon erreicht ist oder aber in den nächsten 5 bis 10 Jahren erreicht sein wird. Ab dann geht es mit der Förderung abwärts – nicht nur, weil die OPEC die Preise steigern will. Aber niemanden scheint dies besonders zu berühren: Es wird uns schon etwas einfallen, bis die fossilen Brennstoffvorräte zu Ende gehen!

Energie hat etwas mit Lebensqualität zu tun; deshalb hat die Energieversorgung eine gesellschaftspolitische, d.h. eine politische Dimension. Es ist daher eine der größten Herausforderungen unserer Zeit, die wachsende Weltbevölkerung ausreichend und mit bezahlbarer Energie zu versorgen.

Zunächst will ich Ihnen ein Gefühl dafür vermitteln, was wir an Energie verbrauchen und wofür, und welche Energieinhalte z. B. unsere Brennstoffe haben. Danach möchte ich aufzeigen, wie sich der Weltenergiebedarf bis zum Jahr 2050 – eine durchaus überschaubare Zeit – entwickeln wird und wie groß die Energievorräte sind, die uns zur Verfügung stehen. Danach will ich kurz auf die Kraftwerkstechnologien eingehen, die wir einsetzen können und welche Auswirkungen auf das Klima durch Emissionen aus Kraftwerken zu erwarten sind. Wenn Sie die von mir vorgetragenen Randbedingungen akzeptieren, dann müssten wir in der Lage sein, gemeinsam den sich aus Zwängen ergebenden oder den wünschenswerten Energiemix für das Jahr 2050 festzulegen. Ich bin schon jetzt auf den Verlauf dieser Entscheidungsfindung gespannt.

Energieverbrauch in Deutschland

Im Jahr 1999 hatten wir in Deutschland einen Bedarf an Primärenergie von 14.200 PJ, das entspricht 490 Mio t SKE (Abb. 1). Davon werden etwa die Hälfte in Wärme, d.h. in Raum- und Prozesswärme umgewandelt und knapp 40% in mechanische Energie, darunter fällt in erster Linie der Verkehr. Beleuchtung und Information fallen mit 3,7 bzw. 2,6% nur gering ins Gewicht. Unter „Nicht Energetischer Verwendung“ ist vor allem die stoffliche Nutzung der fossilen Brennstoffe zu verstehen.

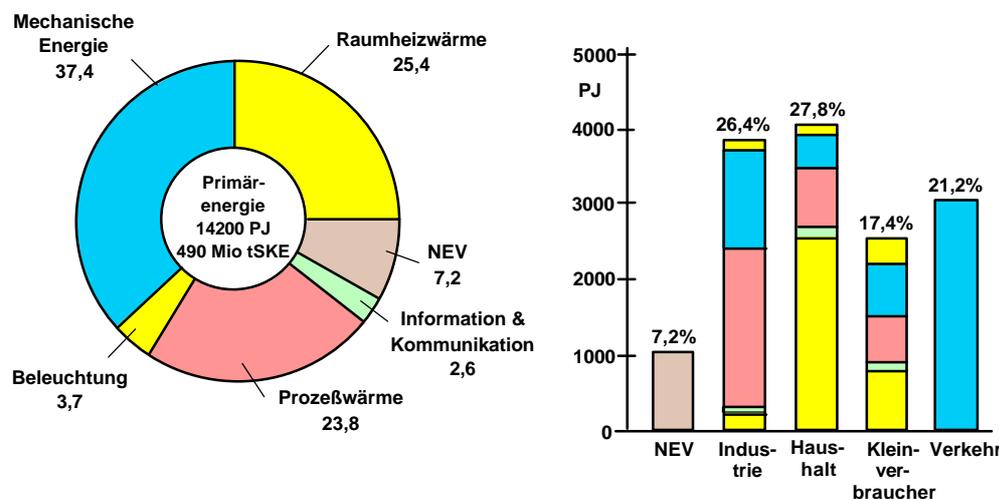


Abb. 1: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs auf Verbrauchersektoren in Deutschland 1999

Ordnet man den Energieverbrauch den Verbrauchssektoren zu, so entfallen auf die

Industrie	26,4%
Haushalte	27,8%
Kleinverbraucher, Gewerbe	17,4%
Verkehr	21,2%

Interessant ist, daß bei der Umwandlungskette Primärenergie – Endenergie – Nutzenergie 2/3 der Energie verloren gehen, d.h. von der eingesetzten Primärenergie erhalten wir nur 1/3 in der Form, die wir eigentlich haben wollen (Abb. 2).

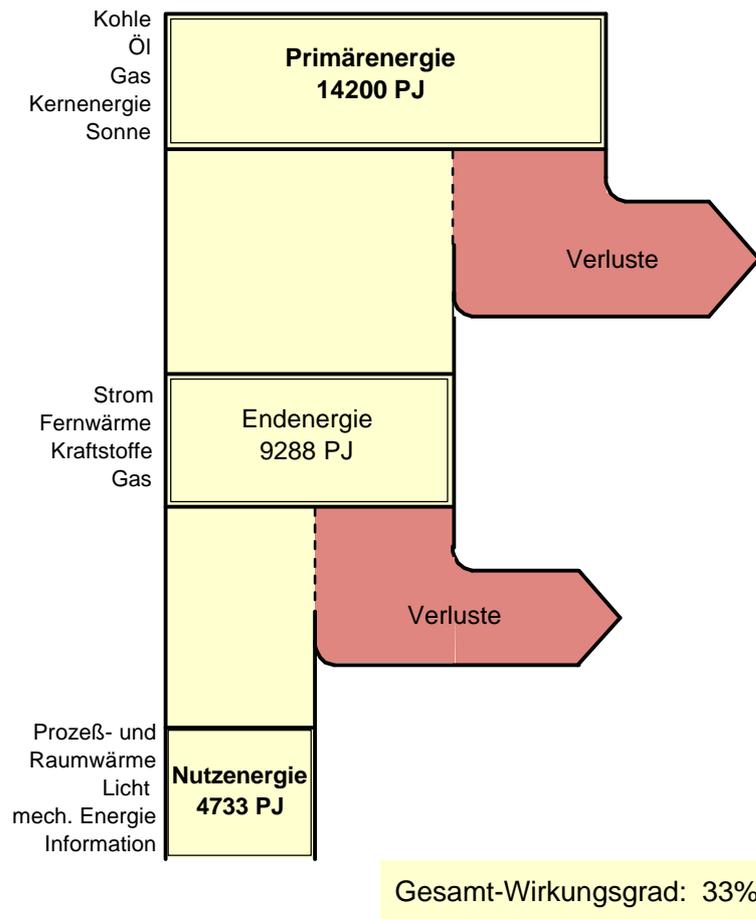


Abb. 2: Energiebedarf in Deutschland 1999

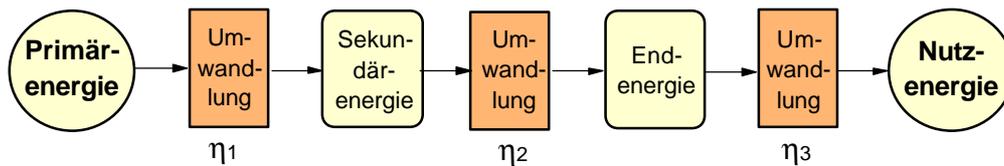
Primärenergie ist die Energieform, wie sie in der Umwelt vorkommt:
z. B. als Kohle.

Endenergie ist die Energieform, die beim Verbraucher ankommt,
z. B. als Strom.

Nutzenergie ist die vom Verbraucher eigentlich gewünschte Energieform:
z. B. als Licht.

Das Beispiel der Umwandlungskette Kohle in Licht ist in Abb. 3 dargestellt. Es zeigt, daß die Energieform Licht/Beleuchtung nur noch 3,8% der eingesetzten Primärenergie enthält.

Man führt heute Studien durch, wie viel Energie aufgebracht werden muß, bis ein Produkt schließlich vorliegt. Dieser kumulierte Energieaufwand ist ein gutes Hilfsmittel zur Bewertung verschiedener Herstellungsverfahren und damit auch um festzustellen, wie Material und Energie effizienter eingesetzt werden können.



Beispiel: Gesamtwirkungsgrad der Umwandlungskette
"Bereitstellung von Licht"

100% Primärenergie, z.B. Kohle	
$\eta_1 = 0,42$	Stromerzeugung im Kohlekraftwerk
$\eta_2 = 0,90$	10% Verlust bei Verteilung
$\eta_3 = 0,10$	Umsetzung in Glühbirne (90% Wärme)
$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = \eta_{\text{ges}} = 0,038$	d.h. 3,8% der eingesetzten Primärenergie werden in die Nutzenergie "Licht" umgewandelt

Abb.3: Umwandlung von Primärenergie in Nutzenergie

Größenordnungen

Um zu vermitteln, welche Größenordnung wir an Energie für verschiedene Maßnahmen aufwenden müssen, betrachten wir 1 ltr oder 1 kg Wasser (Abb. 4):

- Wollen wir es auf 100 m hoch heben, so benötigen wir 1 kJ:
wenn wir es auf 100m/s beschleunigen, das ist eine Geschwindigkeit von 360 km/h, brauchen wir 5 kJ.
- Für das Erwärmen des Wassers von 0°C auf 100°C benötigen wir schon 420 kJ; wenn wir es bei 100 °C vollständig verdampfen wollen, brauchen wir 2.260 kJ.
- Für das Zerlegen von 1 ltr Wasser in H₂ und O₂ benötigen wir immerhin 13.400 kJ.

Wir stellen also fest, daß Wärmeprozesse deutlich mehr Energie benötigen, als mechanische Abläufe. Eine Kochplatte hat einen elektrischen Anschlusswert von 1kW, d. h. von 1000 W; ein Handmixer im Haushalt weist dagegen nur 150 W auf. Die höchste Energie ist die bei chemischen Prozessen erforderliche Energie.



mechanische Energie:

um 100 m hoch heben	1 kJ
auf 100 m/s beschleunigen	5 kJ

thermische Energie:

auf 100°C erwärmen	420 kJ
bei 100°C verdampfen	2.260 kJ

chemische Energie:

aus H ₂ und O ₂ herstellen	13.400 kJ
--	-----------

- > Geräte zur Wärmeerzeugung (Kochplatte) haben vergleichsweise hohe elektr. Anschlußwerte verglichen mit mechanischen Geräten (Mixer)

Abb.4: Größenordnungen

Dies erinnert mich an meine Zimmerwirtin während meiner Studienzeit: Sie schimpfte gehörig, wenn wir die Flurbeleuchtung – eine 25 W-Birne – nachts vergessen hatten auszuschalten. Wenn sie jedoch Kaffee kochte und ihr dabei kochendes Wasser übrig blieb, das war für sie kein Problem. Dieses Beispiel zeigt, daß die Einschätzung über Energieinhalte nicht unbedingt der Realität entspricht.

Sehr aufschlussreich ist z.B. die Betrachtung, wie viel Energie wir für ein Vollbad benötigen und welcher Aufwand erforderlich ist, um diese Wärmemenge auf verschiedene Art und Weise zu erzeugen (Abb. 5):

Für das Erwärmen von 250 ltr. Wasser von 10°C, wie es aus der Wasserleitung kommt, auf 35°C benötigen wir 25 MJ.

Ein elektrischer Boiler verbraucht hierbei 7 kWh.

In einer Ölheizung brauchen wir hierfür 0,8 ltr Heizöl, 10% Abgasverluste eingerechnet. Eine Photovoltaikanlage auf dem Dach mit 10 m² Fläche benötigt bei vollem Sonnenschein 9 Std.

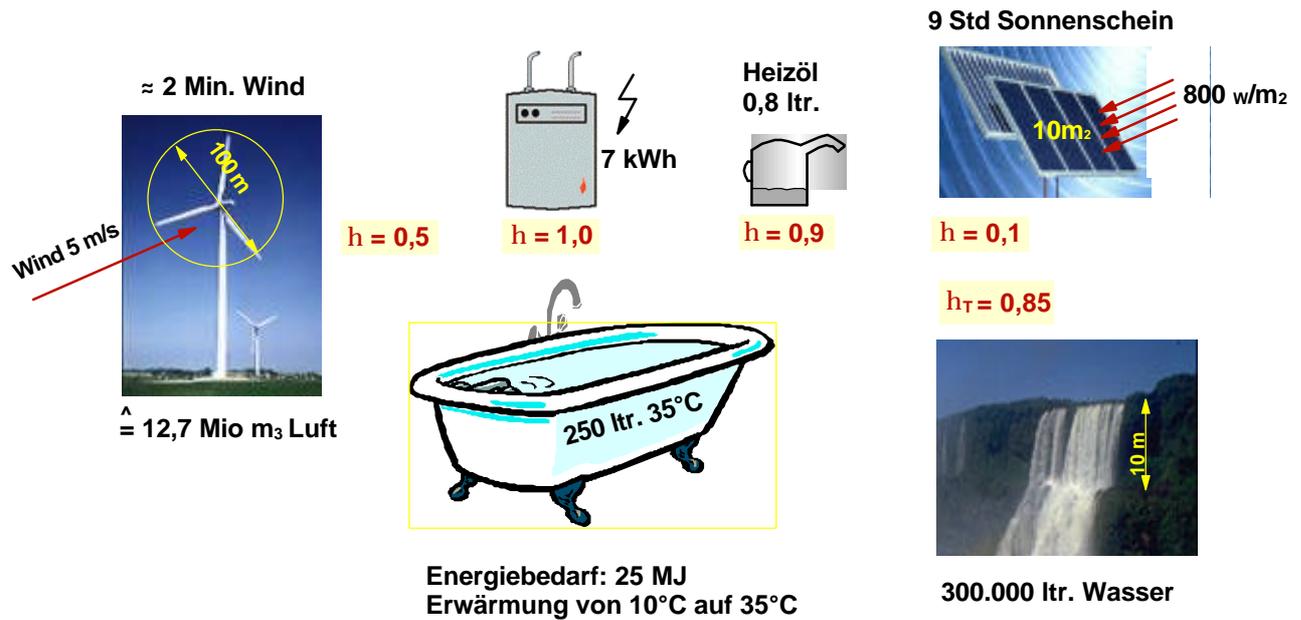


Abb.5: Aufwand für ein Vollbad

Ein Windrad mit einem Durchmesser von 100 m verarbeitet bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s etwa 13 Mio m³ an Luft. Um 25 MJ zu erzeugen, muß es bei einem Wirkungsgrad von $\eta = 0,5$ etwa 2 min arbeiten.

Bei einem Wasserkraftwerk müssen etwa 300 000 ltr Wasser einen Wasserfall von 10 m Höhe hinunter fließen.

Auch hier wird der Unterschied in der Energiedichte zwischen den Energieformen deutlich.

Der Energieinhalt von unseren wichtigsten Brennstoffen Heizöl, Erdgas oder Kohle ist leicht zu merken (Abb. 6): jeweils 10 kWh pro ltr, m³ oder kg. Biomasse hat eine geringere Energiedichte: das macht den Transport aufwendiger, vor allem auch wegen des größeren Volumens.

Bei Uran ist die Vorratshaltung wegen der extrem hohen Leistungsdichte besonders leicht.

Zum Merken:

Benzin, Heizöl	10 kWh/ltr
Erdgas	10 kWh/m ₃
Steinkohle	10 kWh/kg
Biomasse	4 kWh/kg
Natururan (0,7% spaltbar)	150 000 kWh/kg

Abb.6: Energieinhalt von Brennstoffen

Energiebedarf des Menschen

Interessant ist auch die Frage, was ein Mensch an Energie braucht oder verbraucht (Abb. 7).

Da ist zunächst der Grundumsatz, den wir mit der Nahrungsaufnahme decken:
dieser Grundumsatz beträgt 4 kWh/Tag,
das entspricht dem Energieinhalt von 0,4 ltr Öl /Tag, auch
0,4 ltr Öl-Äquivalent genannt.

Der Energieverbrauch pro Kopf in Deutschland beträgt 135 kWh/Tag oder 13,5 ltr Öl/Tag. Das klingt nicht besonders aufregend, bedeutet aber, daß sich jeder von uns **30 Energiesklaven** hält. Im alten Rom wäre uns ein großes Ansehen sicher gewesen.

	kWh/Tag	ltr Öl*/Tag	ltr Öl*/Jahr	*) Öl-Äquivalent
Nahrungsaufnahme	4	0,4	142	
Energieverbrauch für Nahrungsmittelproduktion	16	1,6	585	
durchschnittlicher Energieverbrauch	135	13,5	5000	

d.h. jeder von uns hält sich ca. **30 Energiesklaven!**

Abb.7: Energiebedarf eines Menschen (in Deutschland)

Entwicklung des Weltenergiebedarfs

Ausgangspunkt der Frage, wie sich der Weltenergiebedarf entwickeln wird, ist zunächst der heutige Bedarf und seine Verteilung.

Trägt man in einem Diagramm den Energiebedarf über der Bevölkerung für die einzelnen Regionen, und zwar geordnet nach dem spezifischen Bedarf auf (Abb. 8), so erhält man die interessante Aussage, daß heute $\frac{1}{4}$ der Weltbevölkerung $\frac{3}{4}$ des Weltenergiebedarfs verbraucht. Während die Industrie-regionen 7 t SKE/Kopf und Jahr verbrauchen, sind es in den Entwicklungs-ländern mit 0,7 t SKE/Kopf nur $\frac{1}{10}$ des Wertes, den wir verbrauchen.

Weltenergiebedarf

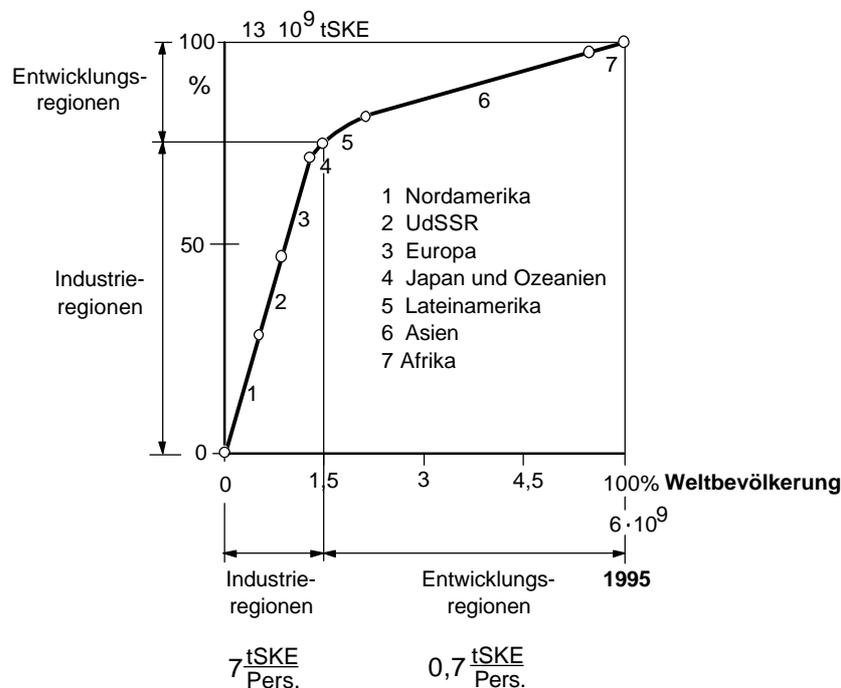


Abb.8: Weltenergiebedarf

Was ist nun bis zum Jahr 2050 zu erwarten (Abb. 9): einmal wird die Weltbevölkerung zunehmen. Man schätzt die Weltbevölkerung im Jahr 2050 auf 9 Milliarden Menschen.

Wie wird sich nun der Energiebedarf entwickeln? Hierzu hat sich eine internationale Kommission Gedanken gemacht und ist zu folgendem Schluss gekommen:

Die Bevölkerung in den heutigen Industrieländern wird nicht zunehmen; die Zunahme erfolgt in den Entwicklungsländern.

Den Industrieländern wird es gelingen, den zusätzlichen Bedarf an Energie durch effizientere Nutzung bei der Energieanwendung zu kompensieren.

D. h. der Punkt 5 im Diagramm bleibt an seiner Stelle.

Eine vorsichtige Schätzung für die Entwicklungsländer geht davon aus, daß sich der Prokopfverbrauch dort knapp verdoppeln wird, d.h. er steigt von 0,7 auf 1,3 t SKE/Kopf. Allein dieser moderate Zuwachs – auch an Lebensqualität – verursacht eine Zunahme des Weltenergiebedarfs von 13 auf 20 Milliarden t SKE! Dies ist wie gesagt eine vorsichtige Schätzung.

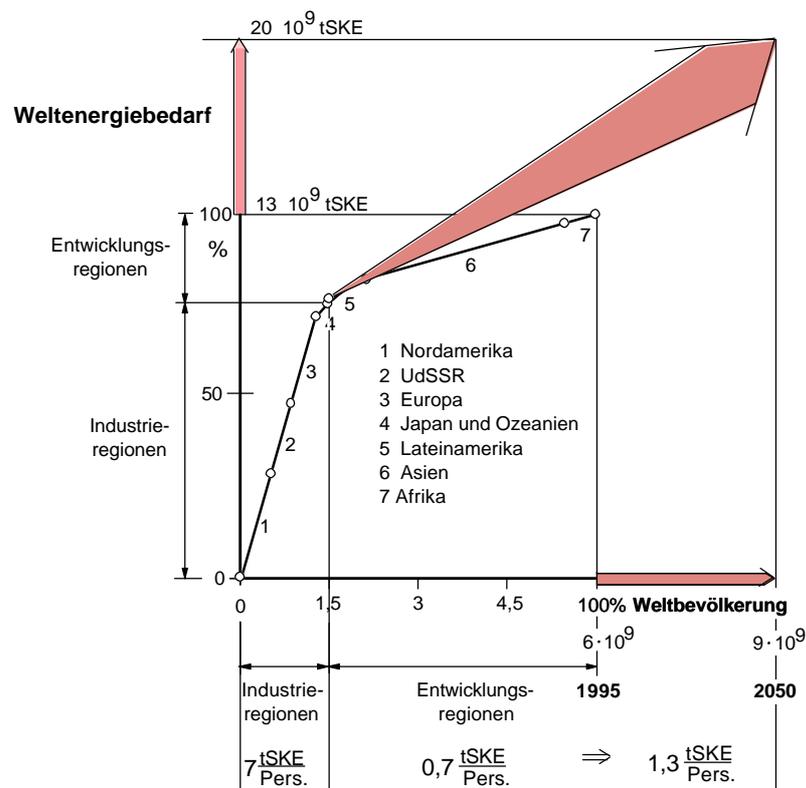


Abb.9: Weltenergiebedarf
Zuwachs durch Nachholbedarf

Die Shell-Studie gibt für das Szenario „nachhaltiges Wachstum“ einen Wert von 48,3 Milliarden t SKE an. Dabei müssen mehr als die Hälfte des Weltenergiebedarfs aus regenerativen Quellen gedeckt werden. Das erscheint unrealistisch. Was z. B. passieren würde, wenn in China das Fahrrad als Verkehrsmittel durch das Auto abgelöst werden würde, ist kaum auszudenken.

Ressourcen

Welche Brennstoffe stehen uns zur Deckung des Weltenergiebedarfs zur Verfügung (Abb. 10). Da große Mengen keine geeignete Vorstellung vermitteln, gibt man sie als Reichweite der Brennstoffvorräte an. D. h. man dividiert z. B. die bekannten Kohlevorräte durch den **heutigen** Verbrauch an Kohle und erhält so die Anzahl an Jahren, welche die Vorräte bei gleichbleibendem Verbrauch noch reichen würden.

Diese Reichweite beträgt für die Kohle noch knapp 200 Jahre, für Erdöl nur 40 und für Erdgas nur 60 Jahre. Die Kernbrennstoffe würden bei einer Nutzung in einer Kraftwerkstechnologie ohne Brüter noch etwa 200 Jahre reichen.

Geht man von den vermuteten Ressourcen aus, so haben wir noch für 420 Jahre Kohle und für jeweils hundert Jahre Erdöl und Erdgas.

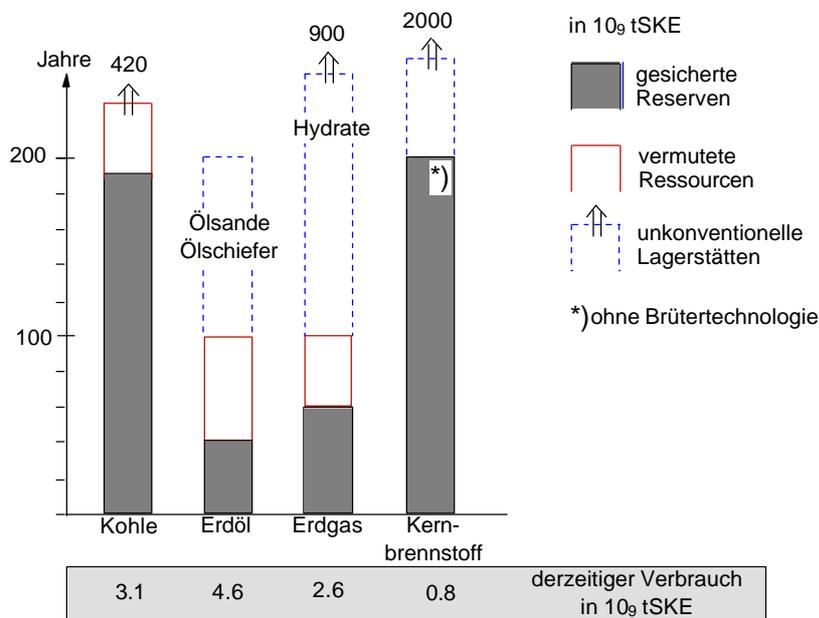


Abb.10: Reichweite der Brennstoffvorräte

Dass die Reichweite für Erdöl seit meiner Studienzeit mit ca. 40 Jahren angegeben wird, liegt daran, daß immer neue Vorkommen entdeckt wurden. Bei den heutigen Prospektionsmethoden über Satelliten ist dies jedoch in diesem Maße nicht mehr zu erwarten.

Man kann also feststellen, daß uns bis 2050 die fossilen Brennstoffe nicht ausgehen werden. Da sie aber knapper werden und einige Quellen erschöpft sein werden, wird der Preis deutlich ansteigen.

Ein wichtiger Beitrag zur Energieversorgung im Jahre 2050 wird von den erneuerbaren Energiequellen Wasser, Wind, Sonne und Biomasse erwartet (Abb. 11). Aber die Bäume werden nicht in den Himmel wachsen.

Bei der Wasserkraft wird eine Verdoppelung der heutigen Leistung technisch für realisierbar angesehen; Sonne und Wind werden nur bescheiden zur Bedarfsdeckung beitragen. Nur Biomasse, die ja Sonnenenergie in gespeicherter und bedarfsgerecht abrufbarer Form darstellt, wird einen wirklichen Beitrag leisten können.

Die Reichweite erneuerbarer Energien ist unendlich! Die technisch realisierbare Leistung ist jedoch begrenzt!

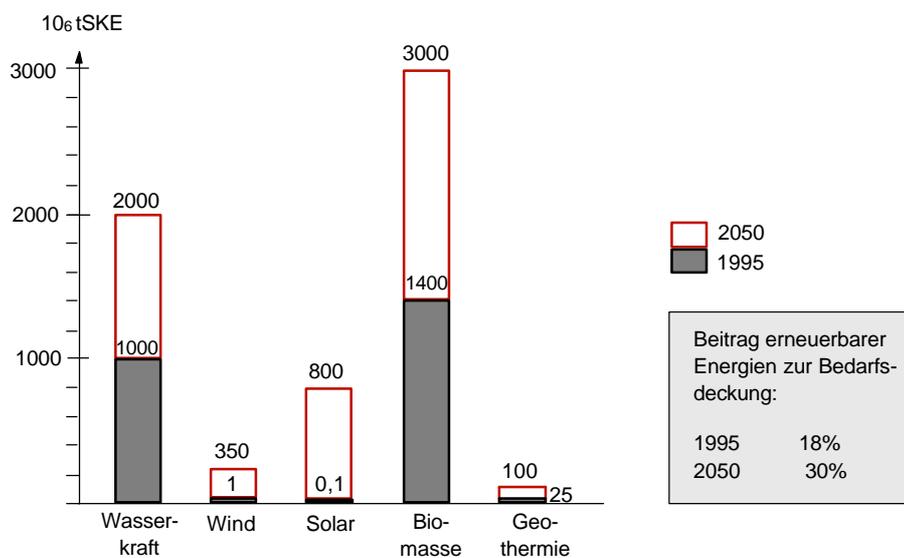


Abb.11: Erneuerbare Energien: technisch realisierbares Potential

Kraftwerkstechnologien

Die Umwandlung (Abb. 12) der in den Brennstoffen gespeicherten Energie in die Formen Wärme, mechanische Arbeit oder Strom ist mit unterschiedlichen Technologien möglich. Den heutigen Kraftwerken gemein ist, daß sie über die Energieform Wärme, d.h. Dampf oder heißes Gas gehen. Hierbei kann nicht die gesamte Wärme in Arbeit umgewandelt werden. Dem steht der 2. Hauptsatz der Thermodynamik entgegen. Carnot hat gezeigt (Abb. 13), daß bestenfalls nur ein Teil umgewandelt werden kann, der davon abhängt, auf welchem oberen Temperaturniveau wir dem Prozeß die Wärme zuführen, und bei welcher unteren Prozeßtemperatur wir die Abwärme an die Umgebung abführen. Die obere Prozeßtemperatur wird durch die Werkstoffe vorgegeben, die untere ist bestenfalls die Umgebungstemperatur.

Ein Dampfkraftwerk kann deshalb bei den heutigen Werkstoffen **theoretisch** nur einen Wirkungsgrad von max. 66% aufweisen.

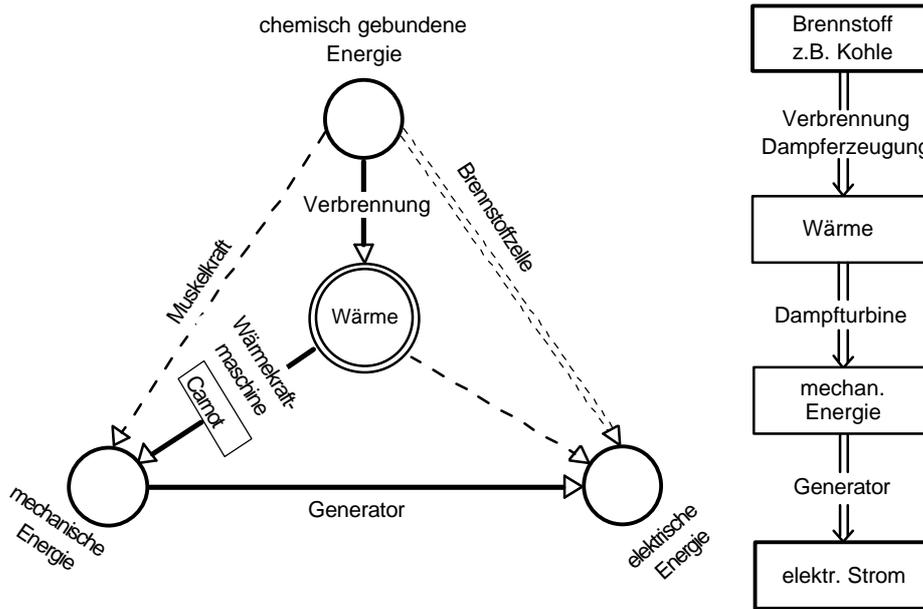


Abb.12: Das Energiedreieck - Umwandlung von Energie

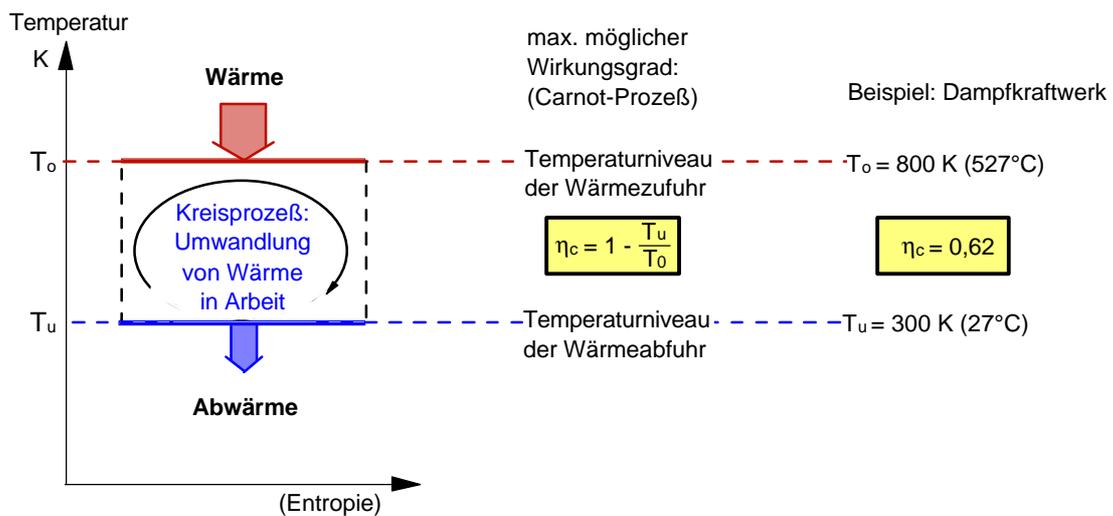


Abb.13: Umwandlung von Wärme in Arbeit

Der meiste Strom wird heute mit **Dampfkraftwerken** (Abb. 14) erzeugt. Hauptbrennstoffe sind Stein- und Braunkohle; es wird aber z. B. auch Müll verbrannt. Der Nachteil dieser Technologie ist, daß wir Kohle zwar bei 1400°C verbrennen, der im Dampferzeuger erzeugte und in der Turbine entspannte Dampf aber nur eine Temperatur von 580°C hat. Es sind daher heute nur Wirkungsgrade um 42% zu erreichen.

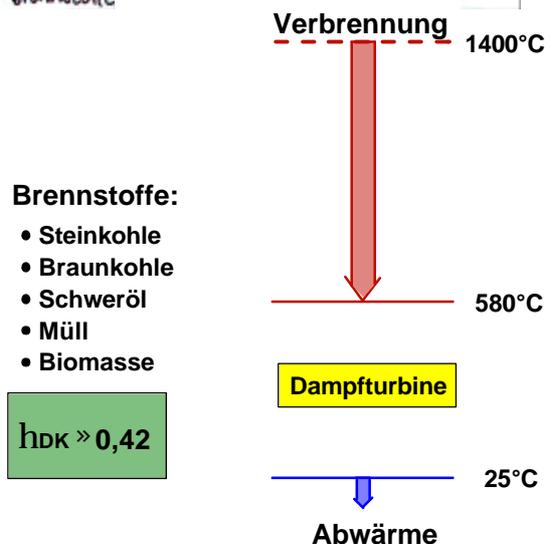
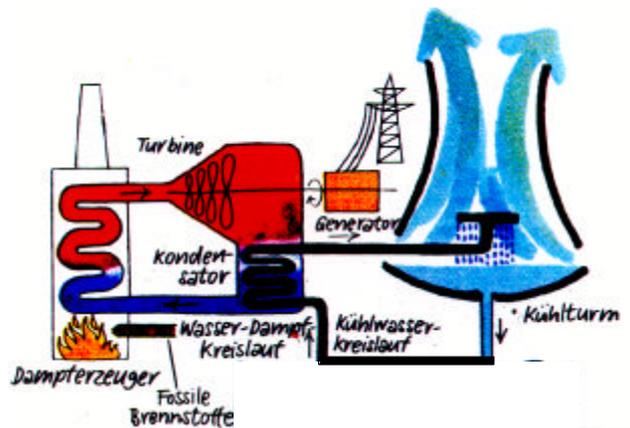


Abb.14: Dampfkraftwerk

Gasturbinenkraftwerke (Abb. 15) sind einfache und relativ billige Kraftwerke. Da das bei der Verbrennung entstehende Rauchgas direkt durch die Turbine strömt, benötigen wir saubere Brennstoffe, z. B. Erdgas.

Bei dieser Technologie wird die Wärme bereits ab einer hohen Temperatur von ca. 1200°C genutzt, die Abwärme aber bereits mit ca 550°C an die Umgebung abgegeben. Der Wirkungsgrad ist daher mit ca 35% relativ bescheiden.

Es liegt nahe, die Vorteile der beiden Kraftwerkstypen zu kombinieren: aus dieser Idee entstand das **kombinierte Gas- und Dampfturbinenkraftwerk** (Abb. 16). Das heiße Abgas aus der Gasturbine wird zur Erzeugung von Dampf verwendet, dieser in der Dampfturbine entspannt und die Abwärme bei ca 25°C über den Kondensator und den Kühlturm an die Umgebung abgeführt. Diese Kombination führt zu Wirkungsgraden von etwa 58%.

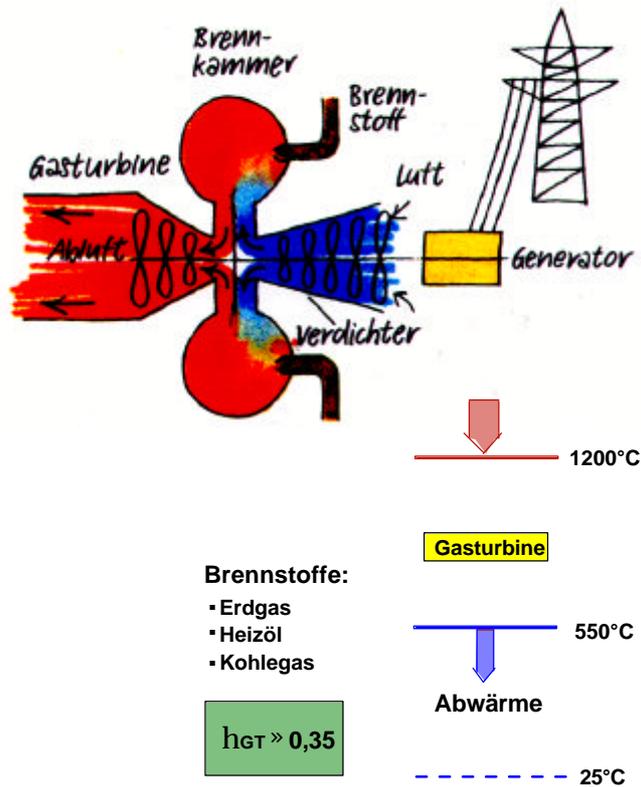


Abb.15: Gasturbinenkraftwerk

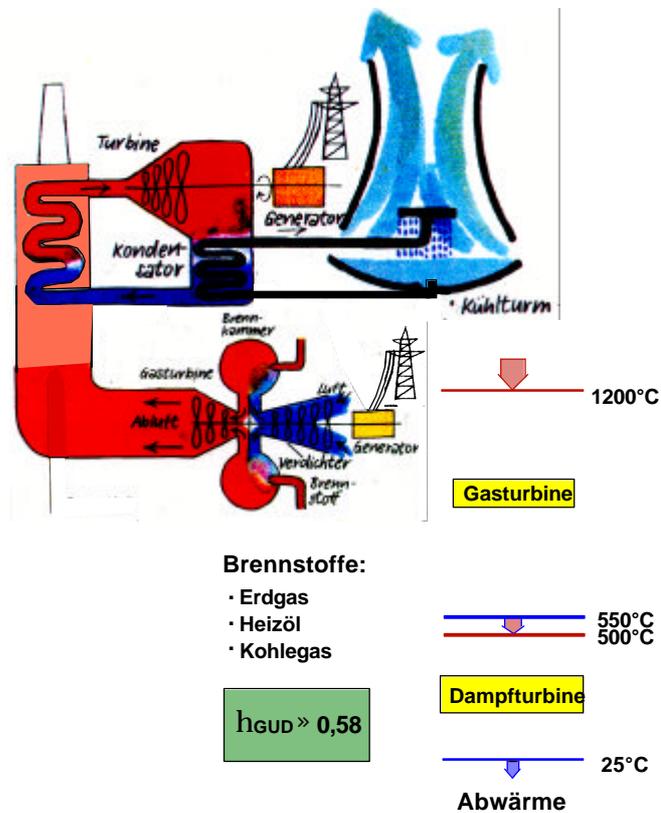


Abb.16: Kombiniertes Gas- Dampfturbinenkraftwerk

Eine noch bessere Nutzung der Brennstoffenergie erhalten wir, wenn wir auch die Abwärme des Kraftwerks nutzen, z. B. zur Raumheizung. Wir sprechen dann von einem **Heizkraftwerk** bzw. von **Kraft-Wärme-Kopplung** (Abb. 17). In diesem Fall entspannen wir den Dampf in der Turbine nur bis auf etwa 120°C, verzichten dabei auf etwas elektrische Leistung, können dann aber die Abwärme als Heizwärme nutzen. Der elektrische Wirkungsgrad ist in einem Heizkraftwerk kleiner, der Brennstoffausnutzungsgrad jedoch hoch.

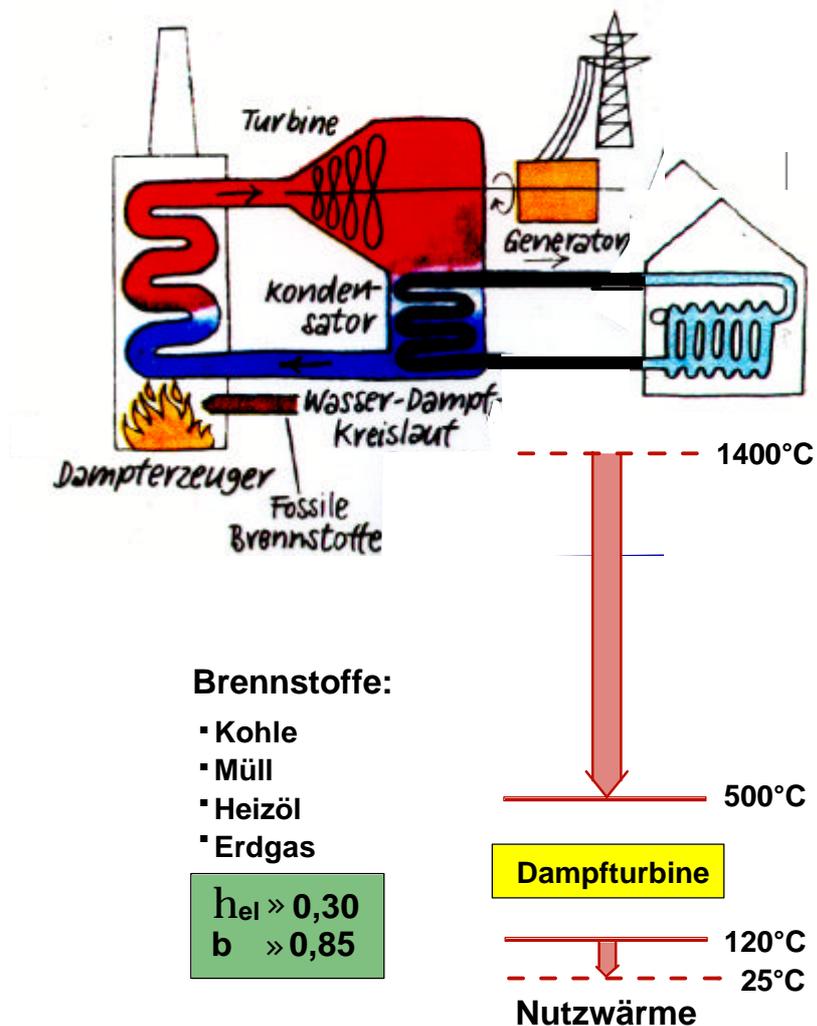


Abb.17: Heizkraftwerk: Kraft-Wärme-Kopplung

Umweltbelastung

Kraftwerke erzeugen aber nicht nur die gewünschten Produkte Strom und Wärme, sondern es entstehen auch unerwünschte Stoffe, d. h. Schadstoffe, die emittiert werden (Abb. 18).

Ich will am Beispiel eines Kohlekraftwerks aufzeigen, daß erheblicher Aufwand zu treiben ist, um die Asche abzuscheiden, das Schwefeldioxid auszuwaschen und in Gips umzuwandeln und die bei der Verbrennung entstehenden Stickoxide zu reduzieren. Etwa 25% der Investitionskosten eines Kohlkraftwerks werden heute für die Emissionsminderung aufgewendet. Damit wurde das Problem „saurer Regen“ praktisch gelöst.

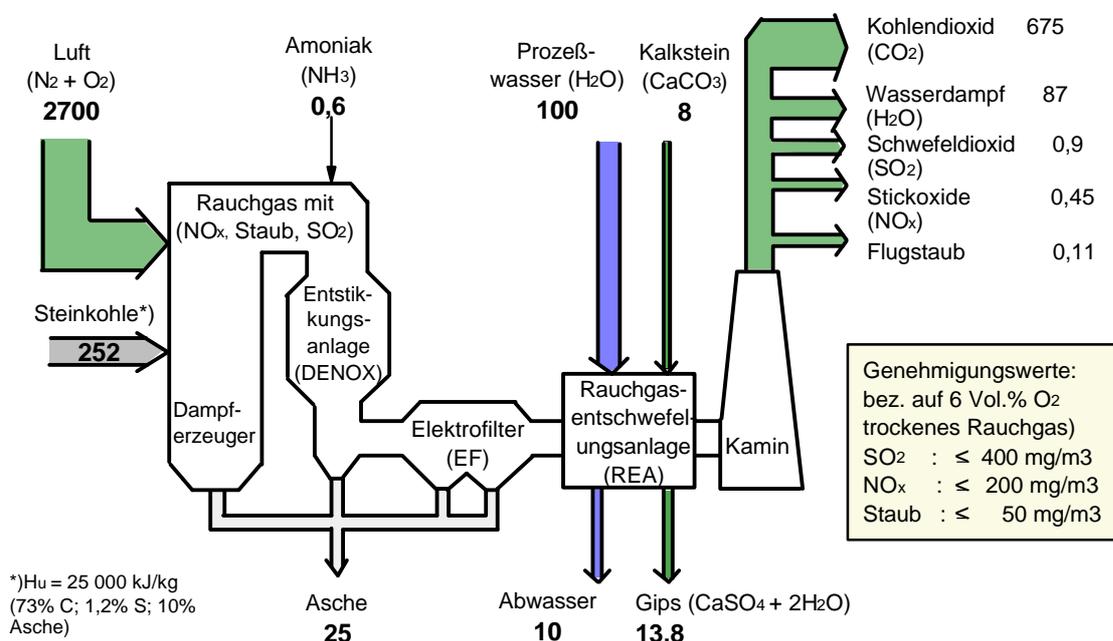


Abb.18: Steinkohlekraftwerk mit Rauchgasreinigung
Stoffströme in t/h (P_{Netto} = 700 MW, Nettowirkungsgrad 40%)

Dem Problem **Treibhauseffekt** - d.h. der Erwärmung der Erdatmosphäre - werden schwerwiegende und unumkehrbare Folgen zugeschrieben: Verschiebung von Klimazonen, Ausbreitung der Wüstenzonen und auf der anderen Seite Überflutung von großen Gebieten durch das Abschmelzen der Polkappen und die Befürchtung, daß z. B. der Golfstrom umkippen könnte.

Der vermutete Effekt: die kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erde und wird in langwellige Wärmestrahlung verwandelt. Für diese langwellige Strahlung ist eine Atmosphäre, die CO₂ enthält, nicht mehr durchlässig, so daß ein Teil der Wärmestrahlung nicht mehr ins Weltall abgestrahlt, sondern zur Erde zurück reflektiert wird. Die Erde erwärmt sich!

Seit der Industrialisierung ist mit der Zunahme der jährlichen CO₂-Emission die CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre im stärker angestiegen. Diesen Trend gilt es umzukehren. Dies hat z. B. die Klimaschutz-Resolution von Kyoto zum Ziel (Abb. 19).

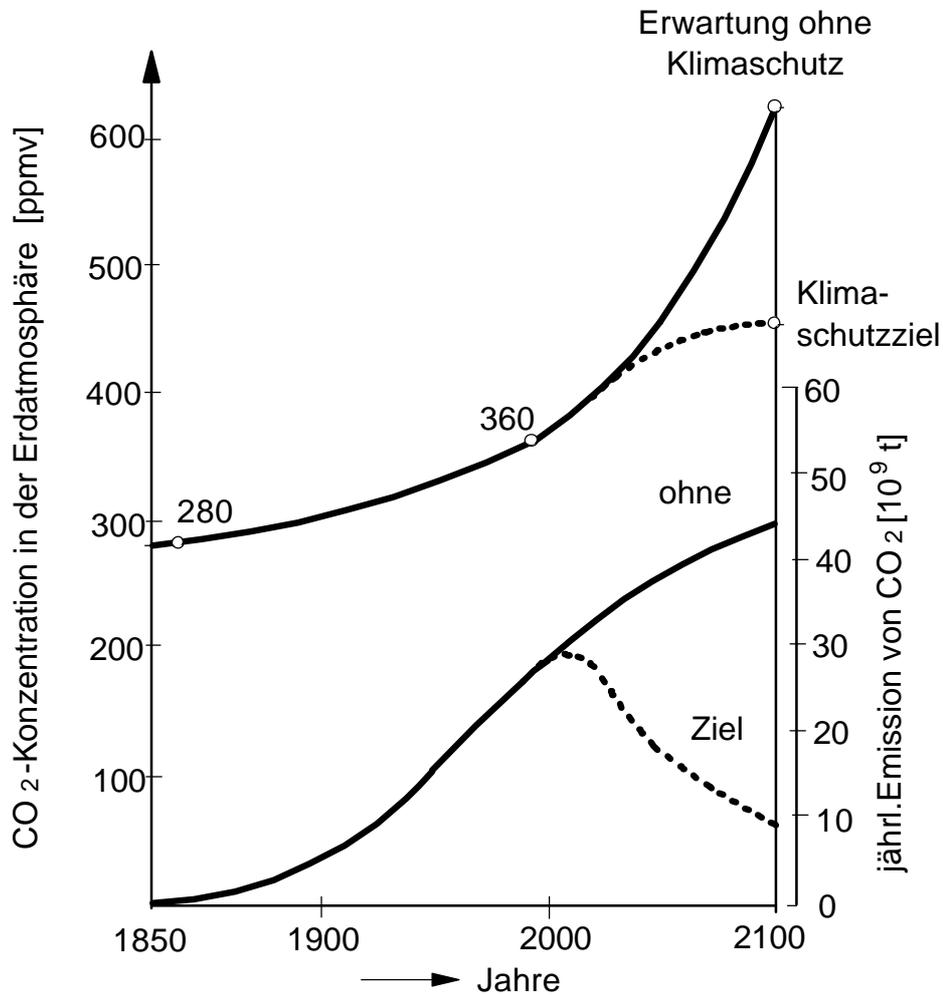


Abb.19: Treibhauseffekt durch CO₂

Aber was können wir bei der Zunahme des Weltenergiebedarfs tun?

Ein Weg ist der Wechsel von kohlenstoffhaltigen zu mehr wasserstoffhaltigen Brennstoffen, d.h. von Kohle zu Erdgas (Abb. 20). Das reduziert die CO₂-Emission pro erzeugter kWh von etwa 900 g auf ca. 300 g, d.h. auf 1/3. Aber können wir uns das bei der knappen Ressource Erdgas überhaupt leisten?

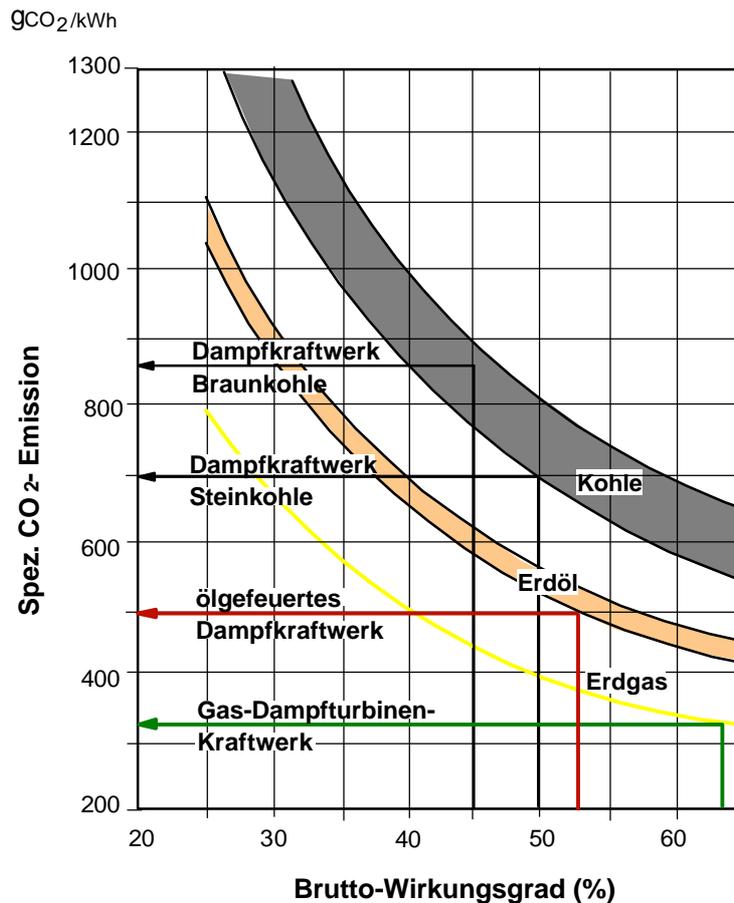


Abb.20: CO₂-Emissionen aus Kraftwerken

Bedeutung von Energieträgern

Wie haben wir bisher den Energiebedarf gedeckt?

Die Energieträger Holz und Dung wurden durch den höherwertigeren Brennstoff Kohle und dieser wieder durch die leichter zu handhabenden Brennstoffe Öl und Erdgas verdrängt.

Interessant ist dabei, daß es jeweils etwa 40 Jahre benötigte, bis sich der neue Brennstoff, für den ja neue Technologien zu entwickeln waren, durchgesetzt hatte, d.h. der Marktanteil von 1% auf 10% gestiegen war (Abb. 21). Dies gilt auch für die massiv bei der Entwicklung mit staatlichen Mitteln geförderte Kernenergie.

Welche Schlussfolgerungen müssen wir daraus ziehen?

Nur Technologien, die wir heute kennen und die bereits 1% des Weltenergiebedarfs decken, können im Jahr 2050 einen Beitrag leisten, jedoch kaum mehr als einen Anteil von einigen Prozent decken.

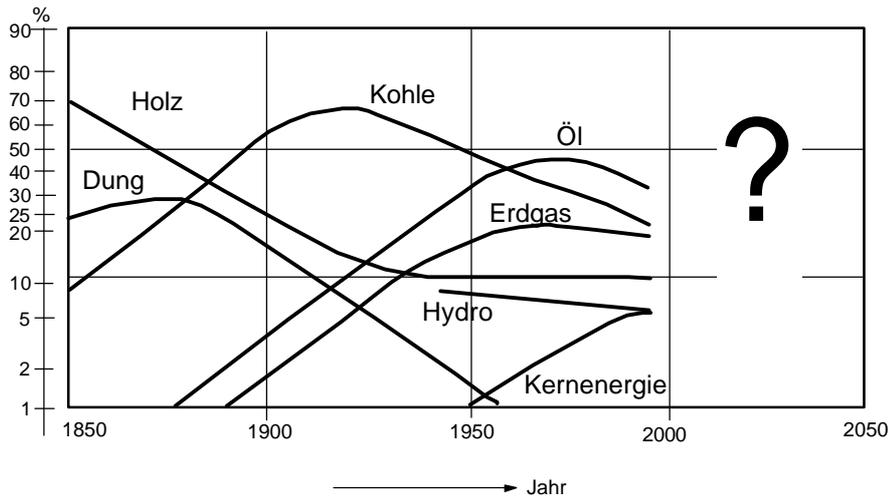


Abb.21: Verlagerung der Bedeutung von Energieträgern

Damit haben Sie aus meiner Sicht alle Informationen, um den Energiemix für das Jahr 2050 festlegen zu können.

Was ist zu berücksichtigen:

- Die Brennstoffvorräte sind begrenzt und
- wir sollten den CO₂-Ausstoß vermindern.

Als Hilfe zeige ich die Entwicklung des Energiebedarfs und die Aufteilung auf die Energieträger bis heute (Abb. 22).

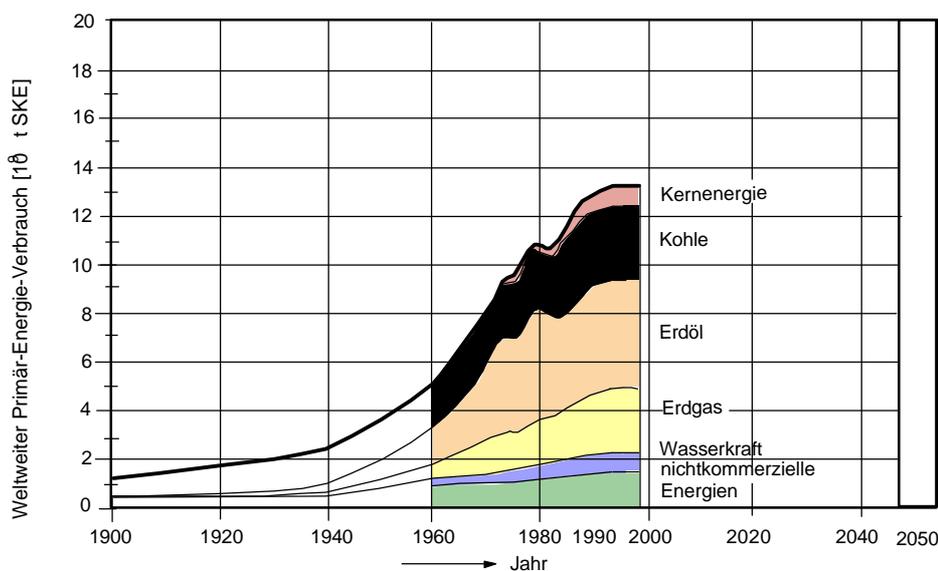


Abb.22: Weltweiter Primär-Energieverbrauch nach Primärenergieträgern

80% des Bedarfs decken wir heute mit den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas, 5% decken wir mit Kernenergie. Die restlichen 15% stammen aus regenerativen Energiequellen, wobei der größte Anteil dabei Wasserkraft ist;

Holz, Dung und andere Biomasse werden in den armen Ländern zum Kochen und Heizen eingesetzt.

Für das Jahr 2050 hat die Enquete-Kommission des Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ eine Prognose für die Verteilung auf die einzelnen Energieträger abgegeben (Abb. 23). Danach geht der Anteil der fossilen Energieträger zurück und die regenerativen müssen einen Anteil von fast 30% decken. Was bedeutet das aber wirklich: Regenerative Energien müssen 5,6 Mrd. t SKE bereitstellen; die Zunahme allein macht mehr aus, als wir heute mit Kohle decken. Das bedeutet eine gewaltige Anstrengung. Der Anteil der fossilen Energieträger geht von 80 auf 66% zurück; wegen des gestiegenen Bedarfs nimmt er aber auf einen Wert von 13,2 Mrd. t SKE zu; das ist mehr als der gesamte Energiebedarf heute! Gleichzeitig soll der CO₂-Ausstoß aber bis 2050 deutlich gesenkt werden.

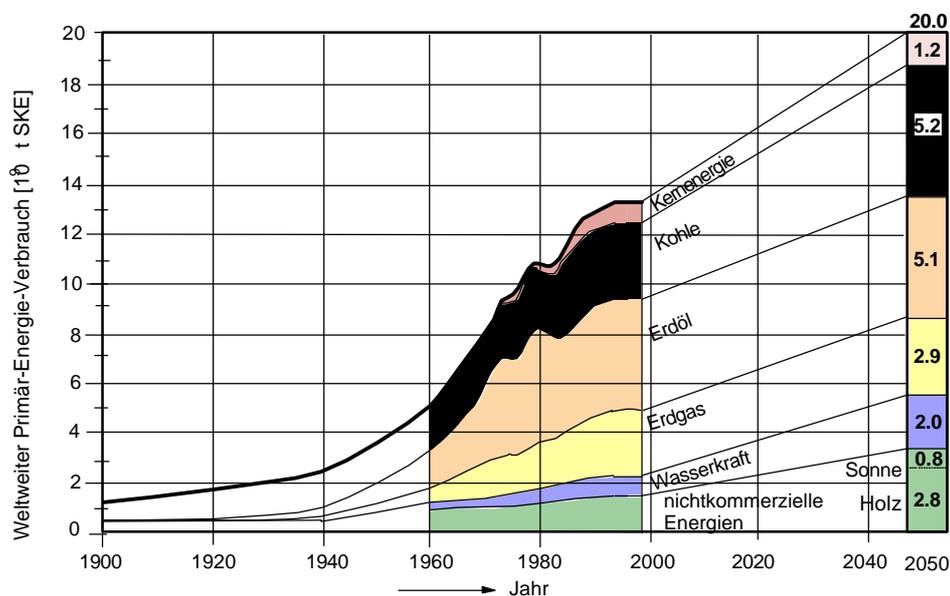


Abb.23: Weltweiter Primär-Energieverbrauch nach Primärenergieträgern seit 1900

Die Möglichkeiten, die sich uns bieten, diese Aufteilung auf die Energieträger deutlich zu verändern, schätze ich persönlich als gering ein. Allein die Kernenergie wäre nach meiner Meinung in der Lage, einen größeren Beitrag zu leisten – aber diese Aussage ist derzeit politisch unerwünscht.

Lassen Sie es mich noch einmal feststellen: Eine ausreichende Versorgung der Menschheit mit Energie und das nachhaltig, d. h. ohne daß wir das auf Kosten künftiger Generationen tun, ist eine der größten Herausforderungen der Menschheit.