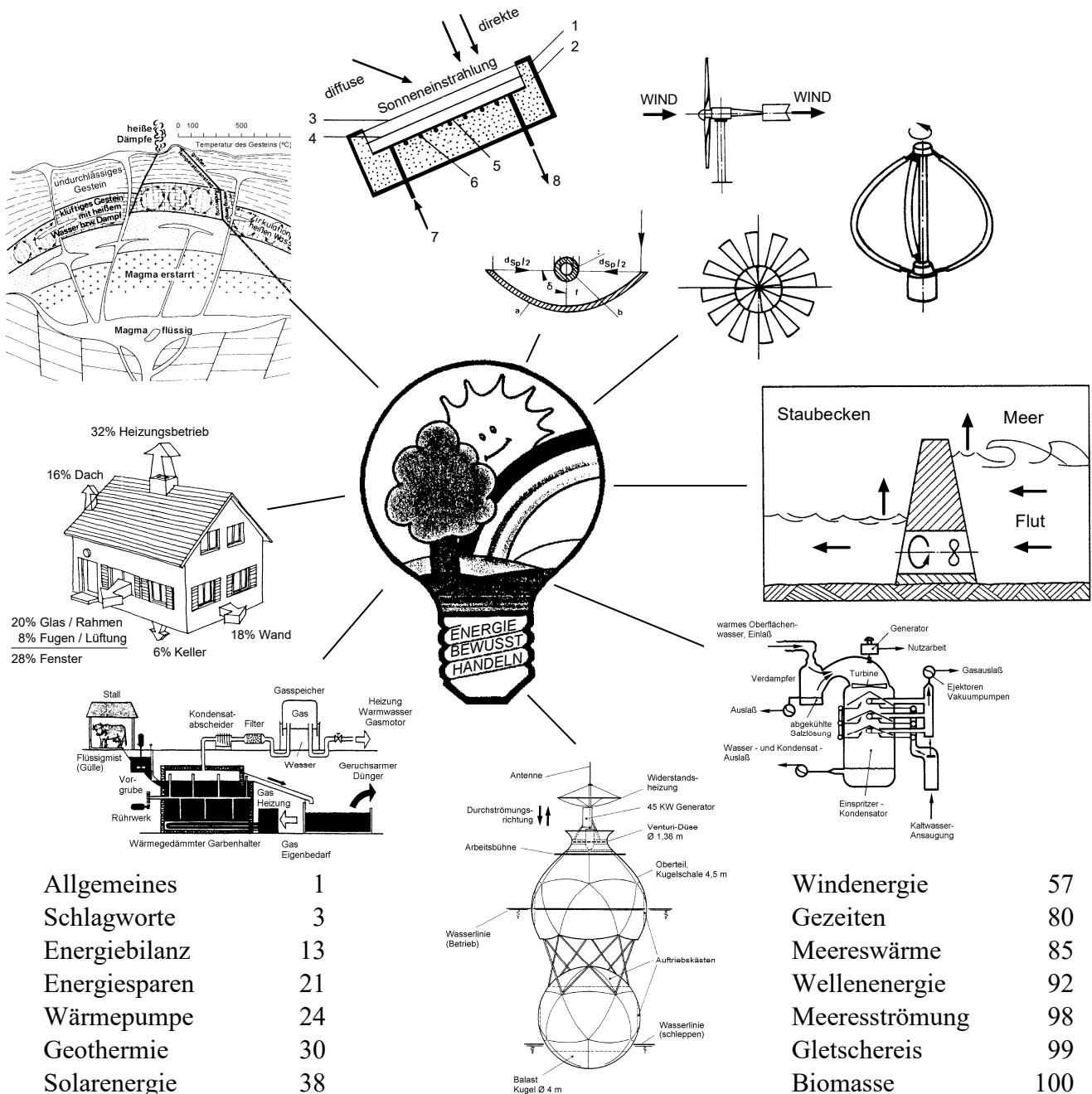


Nutzung regenerativer Energieträger

Vorlesungsmanuskript Version 10.0, ab SS 2000

Heiner Dörner, Dipl.-Ing.
Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik
Universität Stuttgart
Hauptdiplomstudium



Allgemeines	1
Schlagworte	3
Energiebilanz	13
Energiesparen	21
Wärmepumpe	24
Geothermie	30
Solarenergie	38

Windenergie	57
Gezeiten	80
Meereswärme	85
Wellenenergie	92
Meeresströmung	98
Gletschereis	99
Biomasse	100

Regenerative Energieträger

Der Begriff „Regenerative Energieträger“ hat sich, für alle selbsterhaltende, sich selbst wieder erneuernde sowie sich selbst wieder auffrischende und zumeist auch umweltfreundliche Energieangebote aus der Natur, relativ spät durchgesetzt.

In den Anfängen gab es zunächst den Begriff „Alternative Energieträgern“. Dies war nicht treffend bezeichnet, stellt doch eine Alternative ein ungefähr gleich gute andere Lösung eines Problems dar. Eine solche Bezeichnung bedeuten, dass z.B. die Gezeitenenergie allein das Energieproblem der Menschen für alle Zeiten als Alternative lösen könnte.

Da dem nicht so ist wurde der Begriff „Additive Energieträger“ gefunden. Diese Wortschöpfung zeigt auf, dass einige Regenerative Energieträger eben nur eine additive Möglichkeit im „Konzert“ aller Energieformen darstellen, z.B. wie die Meereswellen-Energie.

Den Kern der Sache trifft deshalb wohl am Besten der Ausdruck „Regenerative Energieträger“. Einige von der Natur dem Menschen angebotenen Energiequellen „regenerieren“ sich eben von selbst. Umweltfreundlichkeit ist in diesem Zusammenhang allerdings auch nicht immer gegeben, z.B. ist die Geothermische Energie durch gewisse Schadstoffbelastungen (chemische Verbindungen aus dem Untergrund) und Erscheinungsformen (Vulkanismus) relativ „umwelt-unfreundlich“.

Energie

Unter Energie versteht der Psychologe die im Wollen, Denken, Fühlen, Handeln sich offenbarenden ursprünglichen Antriebskraft.

In der Physik charakterisiert das Wort Energie die Fähigkeit (Möglichkeit) eines Systems, Arbeit zu verrichten. Jeder Körper besitzt auf Grund seiner Lage und seiner Bewegung eine Lage-Energie (potentielle Energie) bzw. eine Bewegungs-Energie (kinetische Energie). Neben diesen mechanischen Energieformen gibt es eine Anzahl Anderer: Wärmeenergie, elektrische Energie, chemische Energie, magnetische Energie, Kernenergie. Der deutsche Arzt und Physiker, Julius Robert Mayer, geboren 1814 und gestorben 1878 in Heilbronn, wies als erster die Äquivalenz von Arbeit und Wärme nach, stellte das Gesetz von der Erhaltung der Energie auf und berechnete vor Joule und Helmholtz das mechanische Wärmeäquivalent.

Energetische Grundbegriffe

Maßeinheiten

Die sogenannten "SI-Einheiten" haben ihren Ursprung in dem Erlass des Gesetzes über die Einheiten im Meßwesen vom 2.7.1969. Mit dem Inkrafttreten des "Système International d'Unités (SI) ab 1.7.1978 wird auch die Kilokalorie durch eine neue Einheit ersetzt. Die neuen SI-Einheiten sind international gültig. Die wichtigsten Einheiten für Wärmemenge, Arbeit und Energie sind: Wattsekunden (Ws) = Joule (J) = Newtonmeter (Nm), Kilowattstunden (kWh), Joule (J), Kilojoule (kJ), Megajoule (MJ) usw. Unabhängig von der Art der Energiewandlung wird die Wärmemenge in Kilowattstunden (kWh) gemessen.

Die Wärmeleistung und die elektrische Leistung wird gemessen in Megawatt (MW), Kilowatt (kW) oder in Watt (W) = Joule je Sekunde (J/s) bzw. Kilojoule je Stunde (kJ/h) oder Megajoule je Stunde (MJ/h) usw. Die international gültige Wärme-Leistungseinheit Watt (W) bzw. Kilowatt (kW) tritt an die Stelle der bisher gebräuchlichen kcal/min bzw. kcal/h. Die Kilokalorie (kcal) war bis vor Inkrafttreten des neuen Einheitssystems gebräuchliche Einheit für die Wärmemenge, die Wärmeenergie und den Wärmeinhalt (1 Kilokalorie (kcal) = 1000 Kalorien (cal)).

Einheiten und Umrechnungsfaktoren

Art in Wort	Art in Zahl	Vielfache	Vorsatz	
			Wort	Zeichen
Millionstel	0 000 001	10^{-6} fache	Mikro	μ
Tausendstel	0.001	10^{-3} fache	Milli	m
Hundertstel	0.01	10^{-2} fache	Zenti	c
Zehntel	0 1	10^{-1} fache	Dezi	d
Zehnfache	10	10^1 fache	Deka	da
Hundertfache	100	10^2 fache	Hekto	h
Tausendfache	1000	10^3 fache	Kilo	k
Millionenfache	1000000	10^6 fache	Mega	M
Milliardenfache	1000000000	10^9 fache	Giga	G

Dezimale Vielfache

Kilo	k	10^3	Tausend	10^{-9}	Nano	n
Mega	M	10^6	Million	10^{-12}	Pico	p
Giga	G	10^9	Milliarde	10^{-15}	Femto	f
Tera	T	10^{12}	Billion	10^{-18}	Atto	a
Peta	P	10^{15}	Billiarde			
Exa	E	10^{18}	Trillion			

Energiemengen, Wärmemengen

Wärmemenge	kcal	J = Ws	kJ	MJ	Wh	kWh
1 kWh	860	3600000	3600	3,6	1000	1
1 Wh	0,86	3600	3,6	0,0036	1	0,001
1 J = Ws	0,000239	1	0,001	0,000001	0,000278	0,000000278
1 kJ	0,239	1000	1	0,001	0,278	0,000278
1 MJ	239	1000000	1000	1	278	0,278
1 kcal	1	4 186	4,186	0,004186	1,163	0,001163

Leistungseinheiten

Wärmeleistung	kcal/h	J/s	kJ/h	W	kW
1 kW	860	1000	3600	1000	1
1 W	0 86	1	3,6	1	0,001
1 J/s	0,86	1	3,6	1	0,001
1 kJ/h	0,239	0,278	1	0,278	0,000278
1 kcal/h	1	1,163	4,186	1,163	0,001163

Umrechnungsfaktoren:

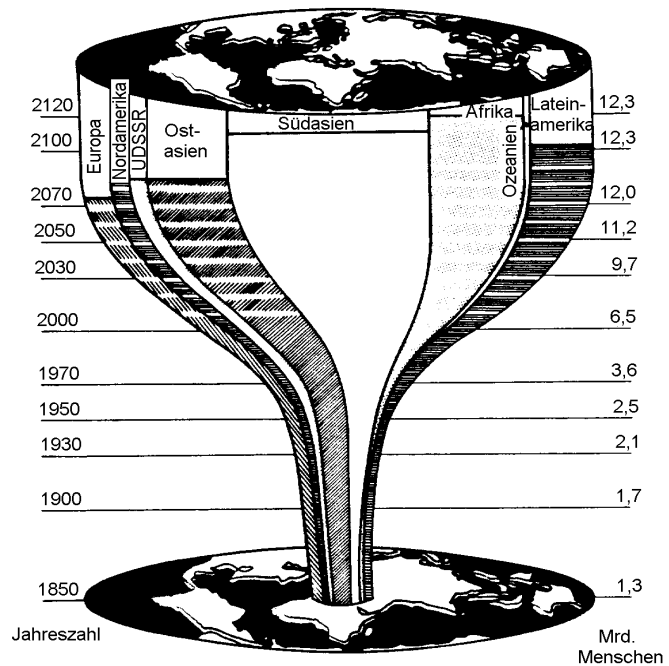
Kalorie (cal), Steinkohleeinheit (SKE), Rohöleinheit (RÖE)

Einheit	kJ	kWh	kcal
1 kJ	—	0,000278	0,2388
1 kcal	4,1868	0,001163	—
1 kWh	3 600	—	860
1 kg SKE	29 308	8,14	7 000
1 kg RÖE	41 868	11,63	10 000

Schlagworte

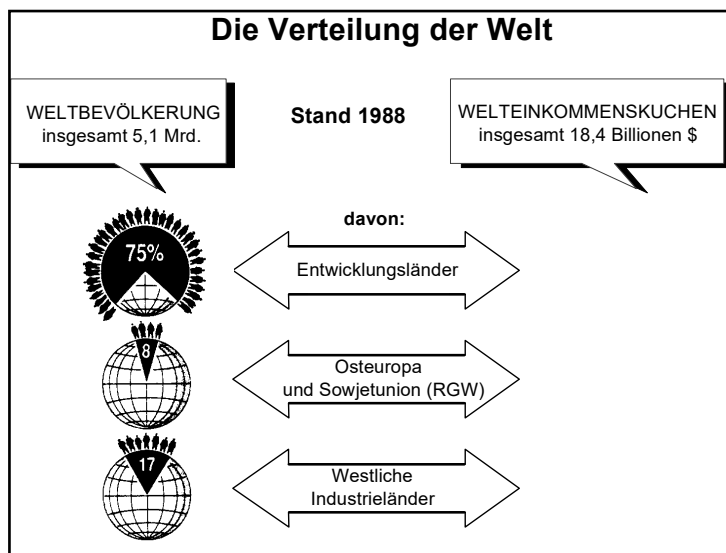
Weltbevölkerungsentwicklung

Schätzung von 1980 siehe rechts
Bestätigung 1987 5,0 Milliarden
Neue Schätzung 1990 2000: 6,1 Mia
2025: 8,3 Mia



Millionen Menschen	Europa	Nord-amerika	UDS SR	Ost-asien	Süd-asien	Afrika	Ozeanien	Latein-amerika
1970	462	228	243	930	1126	344	20	283
2000	568	333	330	1424	2354	818	21	652
2100	898	448	445	1968	4784	2338	57	1609

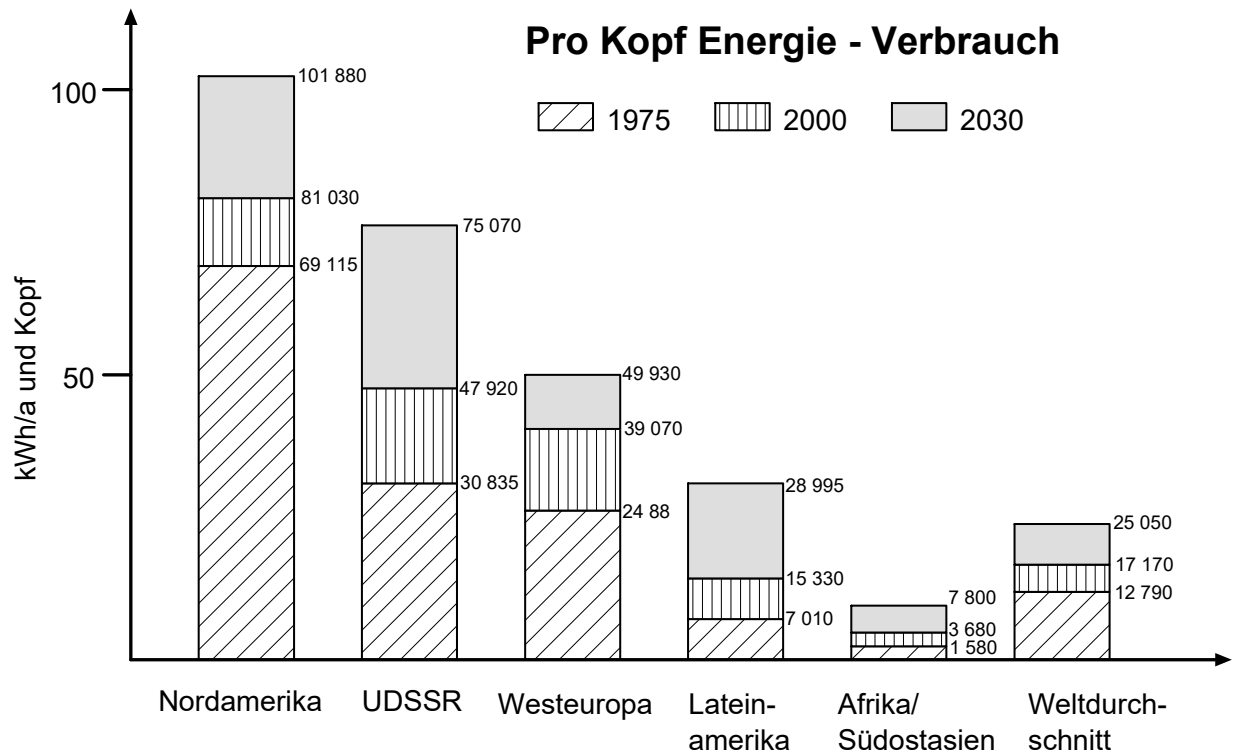
Spannungen zwischen armer und reicher Welt unausweichlich



Das Welt-Einkommen (= Welt-Bruttosozialprodukt) ist extrem ungleich verteilt. 75 Prozent aller Menschen müssen sich in 15 Prozent des Welt-Einkommens teilen. Es sind dies in erster Linie die Einwohner der Entwicklungsländer. Auf der anderen Seite haben 17 Prozent der Menschen 66 Prozent des Welt-Einkommens für sich- nämlich die Bewohner der westlichen Industrieländer. Am Beispiel der Bundesrepublik läßt sich verdeutlichen, wie groß die Einkommenskluft ist. Wäre das Privateinkommen bei uns ähnlich

ungleich verteilt wie in der Welt insgesamt, dann hätten zehn Millionen Bundesbürger (= 17 Prozent) pro Kopf über 10 000 DM im Monat zu verjubeln, während 46 Millionen (= 75 Prozent) mit 480 DM monatlich auskommen müßten. Natürlich wären unerträgliche soziale Spannungen die Folge. Nicht schwer vorherzusehen, daß solche Spannungen auch weltweit zunehmen werden, je mehr die Weltwirtschaft zusammenwächst.

Nord-Süd-Energiegefälle

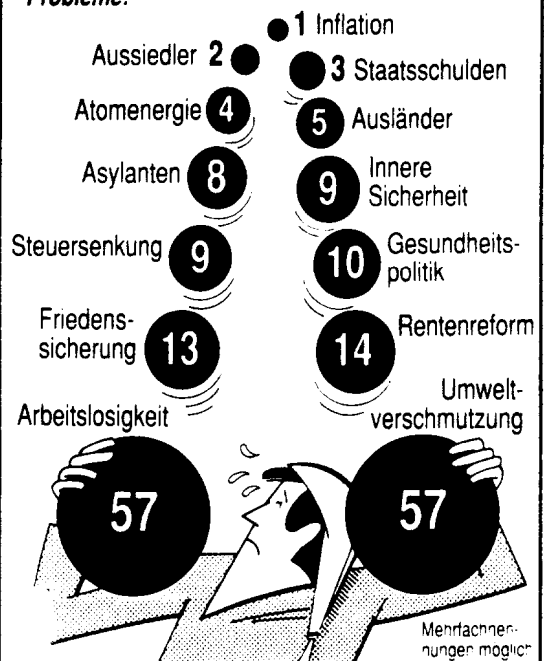


Viel Sorgen um Arbeit und Umwelt

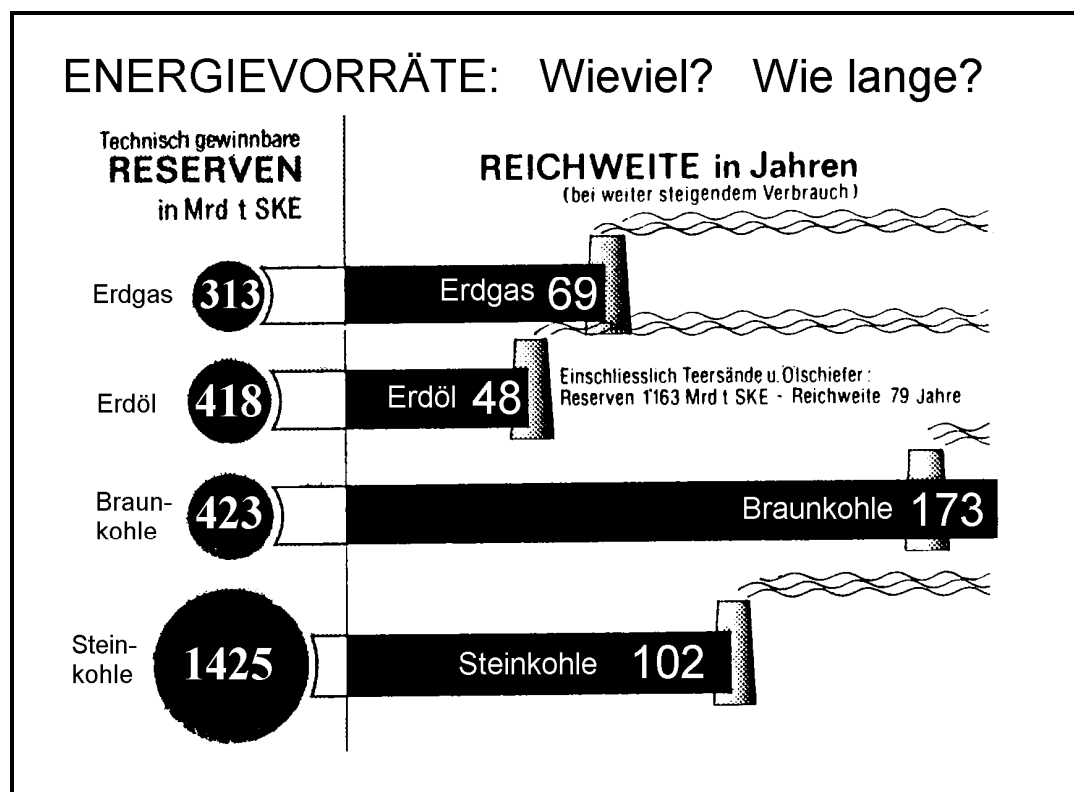
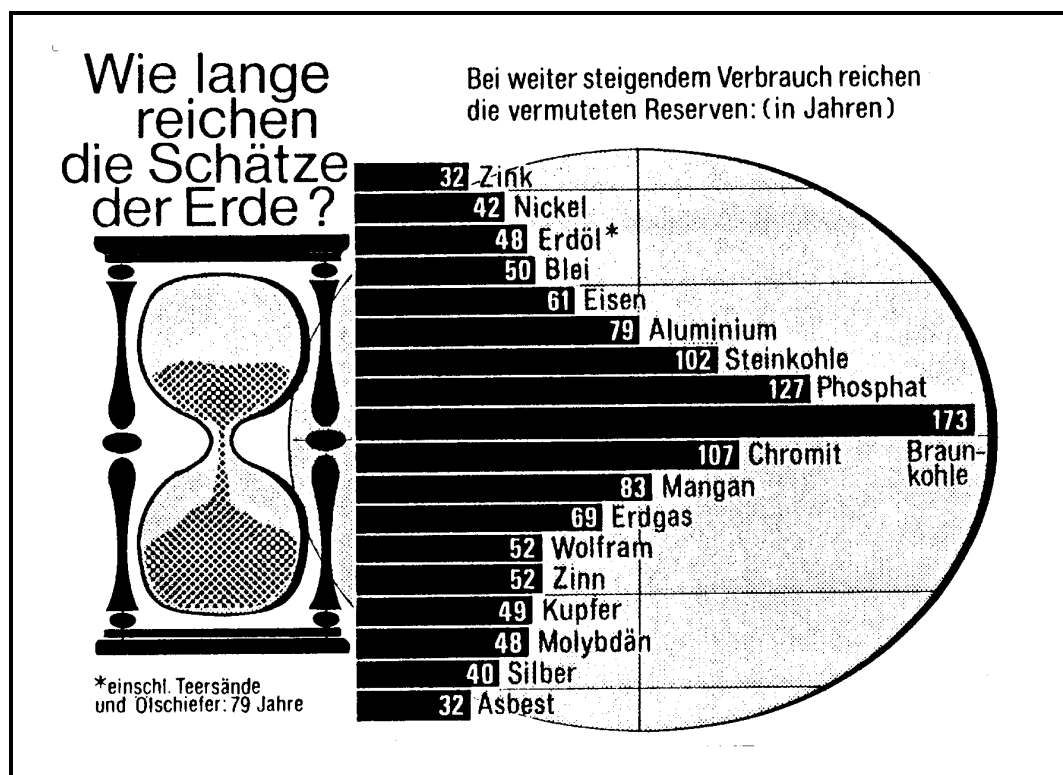
Arbeitslosigkeit und Umweltverschmutzung waren die herausragenden Probleme der Bundesbürger im vergangenen Jahr. Ozonloch, Treibhauseffekt, Robbensterben, Meeresverseuchung - das sind nur einige Stichwörter aus den Schlagzeilen der vergangenen zwölf Monate. Kein Wunder also, wenn 57 von 100 befragten Männern und Frauen die Umweltverschmutzung für ein Problem halten, das schnell gelöst werden muß. Obwohl die anhaltend hohen Arbeitslosen-zahlen heute kaum noch Schlagzeilen machen, gilt diesem Problem doch nicht weniger Besorgnis.

Was drückt die Bundesbürger?

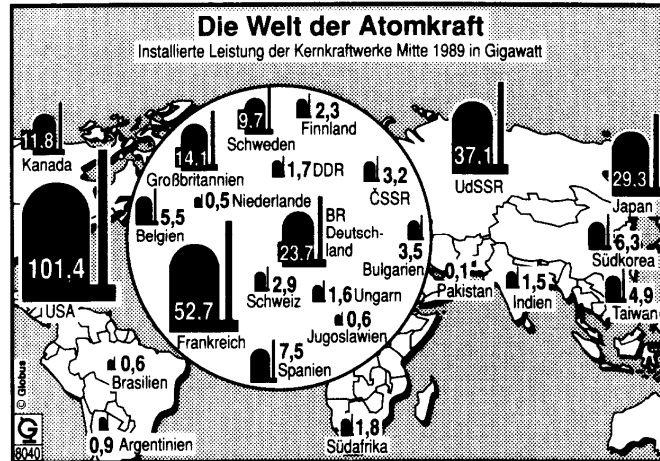
Von je 100 Befragten halten für die dringlichsten Probleme:



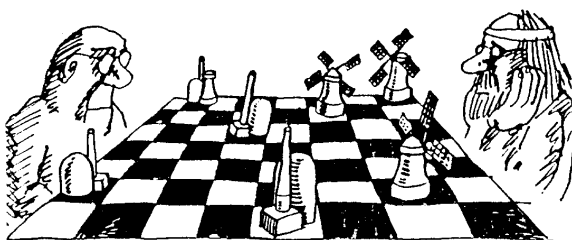
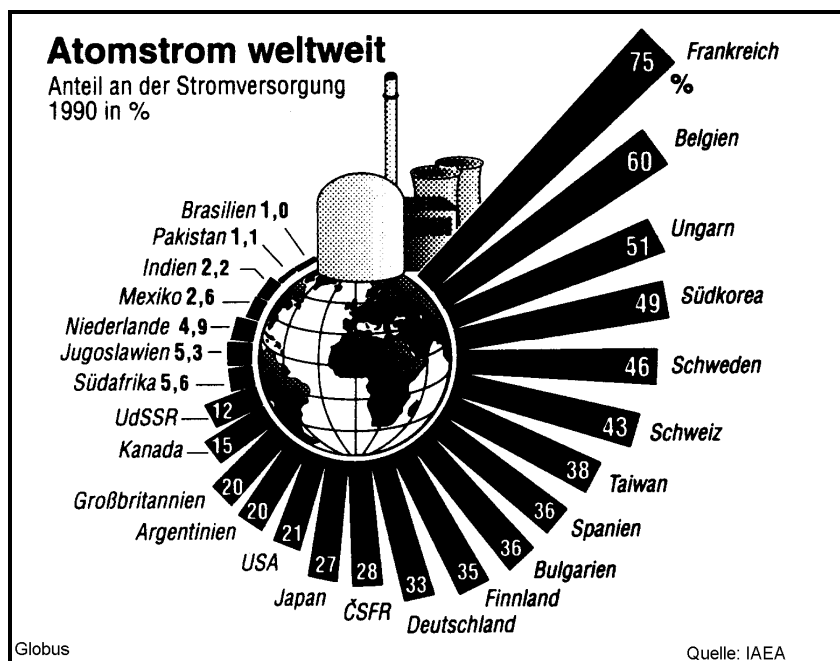
Grenzen der Ressourcen



Kernenergie ungebrochen (1989)



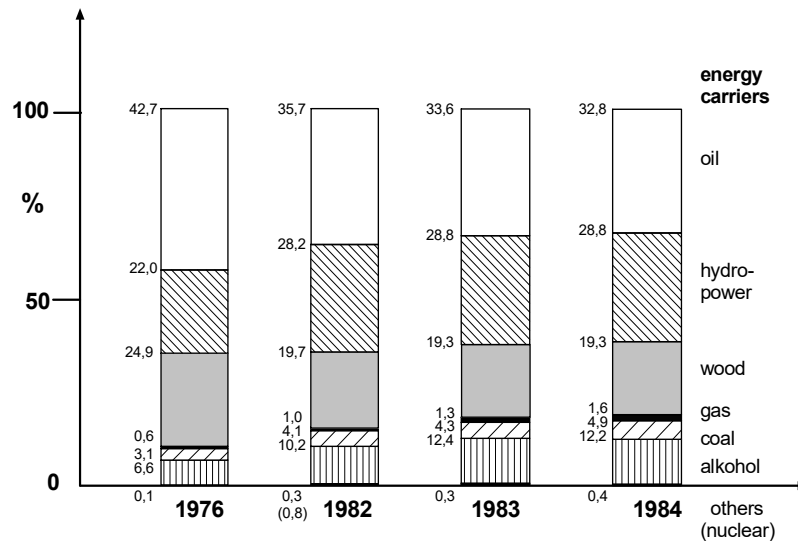
Mitte 1989 waren weltweit nach Angaben der Fachzeitschrift *"atomwirtschaft"* 429 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 325 GW in Betrieb. Mehr als ein Viertel aller Kraftwerke mit rund einem Drittel der weltweit installierten Leistung findet man in den USA.



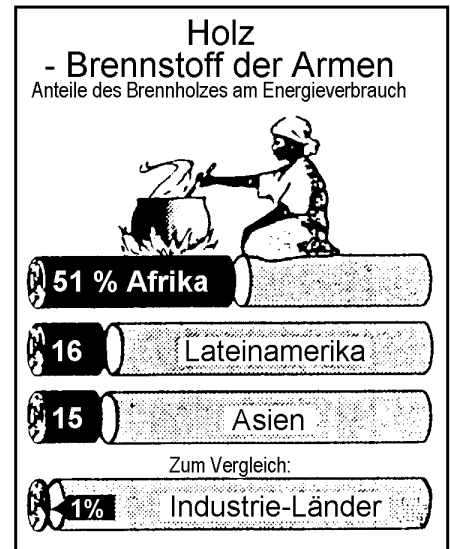
Erforderlich: Kein Ausschließlichkeit oder Konkurrenzdenken. Jedem Energieträger seine Chance geben.

Länderspezifische Gegebenheiten beachten

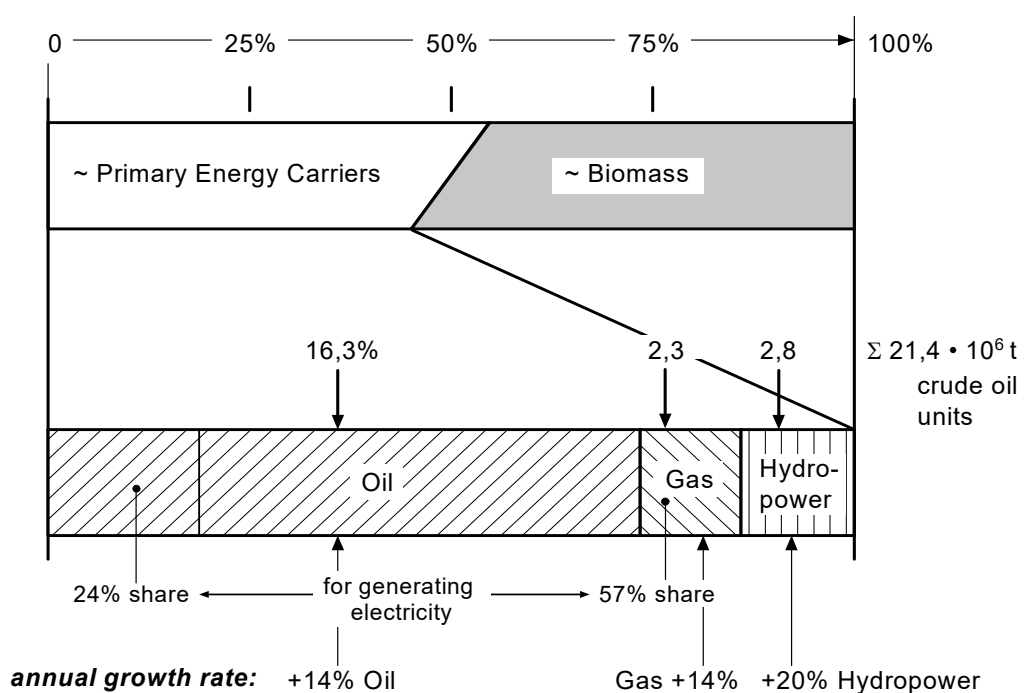
Anteil von Alkohol als Energieträger in Brasilien

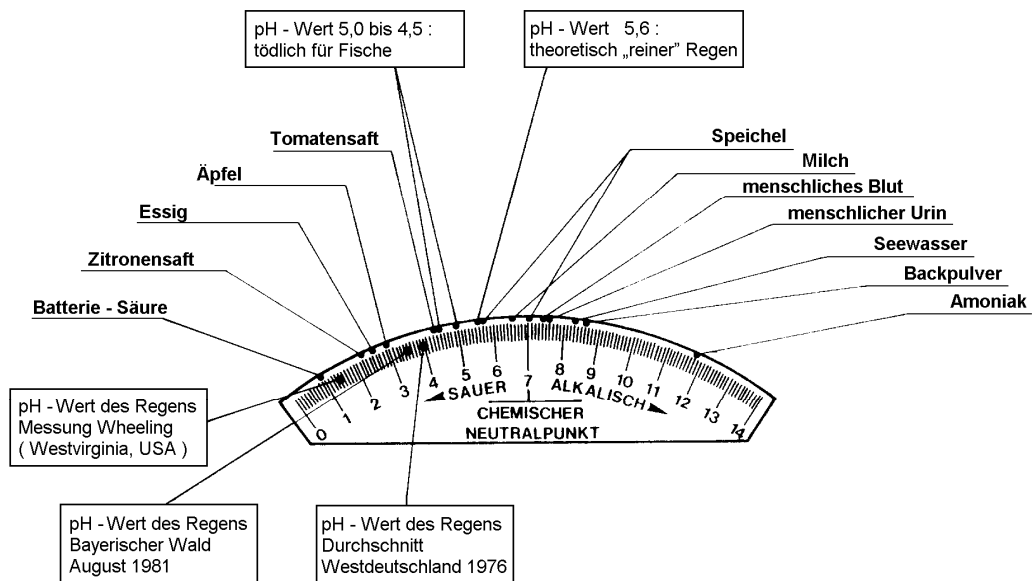


Biomasse Holz ein wichtiger Energieträger



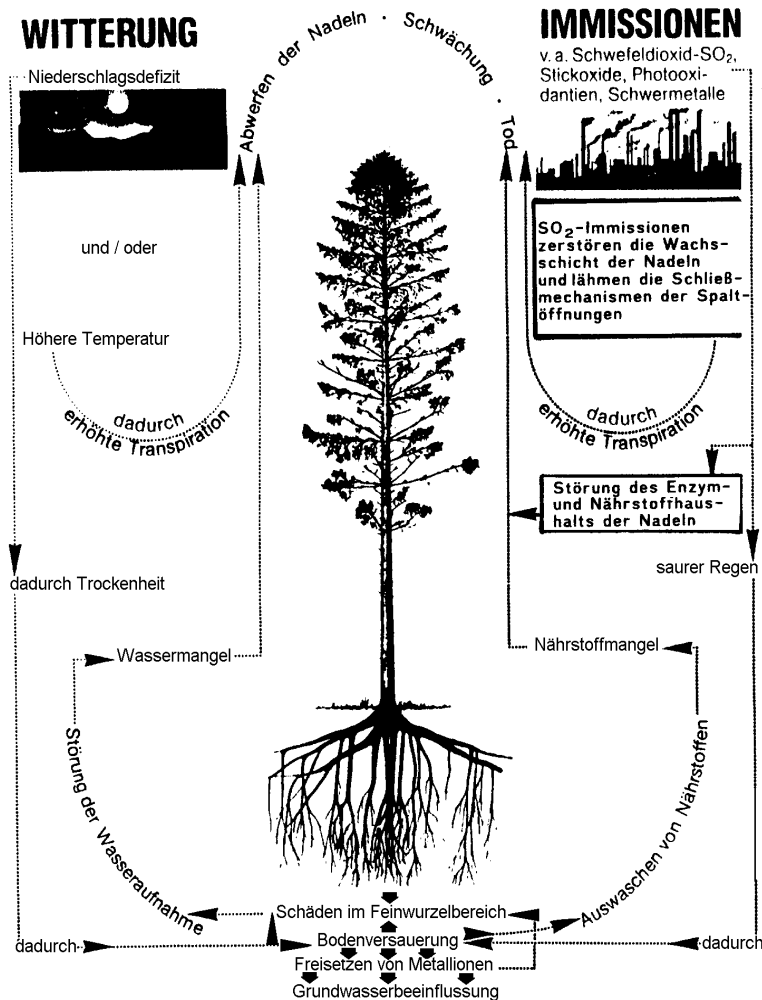
Aufteilung der Energieträger in Ägypten





Saurer Regen - Seit Jahren bekannt

Die Einflüsse können unabhängig voneinander ablaufen
oder sich gegenseitig in der Wirkung verstärken.

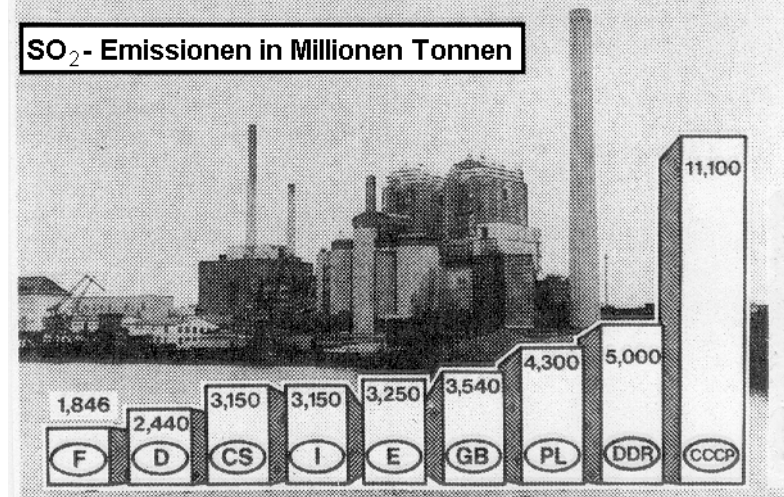


Zusammenhänge erkannt,
aber ständig negiert

Problem Schwefeldioxid SO₂

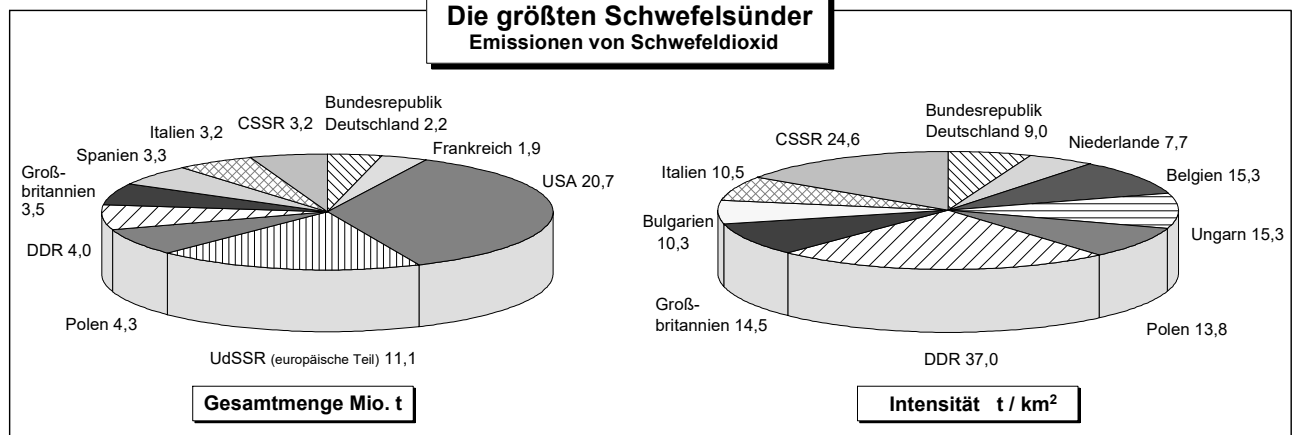
Schwefel aus Ost und West

SO₂-Emissionen in Millionen Tonnen



Bei den Schwefeldioxid-Emissionen in Europa liegt der europäische Teil der Sowjetunion mit jährlich 11,1 Millionen Tonnen und einem Anteil von rund 25 Prozent vorn. Es folgten die DDR mit fünf und Polen mit 4,3 Millionen Tonnen. Spanien verursacht 3,25 Millionen Tonnen Schwefeldioxid, die Tschechoslowakei und Italien jeweils 3,15 Millionen Tonnen. Das meldet die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) nach Angaben der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa, die 1985 für Europa gut 45 Millionen Tonnen Schwefeldioxid-Emissionen ermittelte. Die Bundesrepublik rangierte mit 2,44 Millionen Tonnen in dieser Schwefel-Bilanz für 1985 noch an achter Stelle. Inzwischen bewirkte jedoch allein die 1988 abgeschlossene Entschwefelung der Kraftwerke eine Minderung um mindestens 700 000 Tonnen.

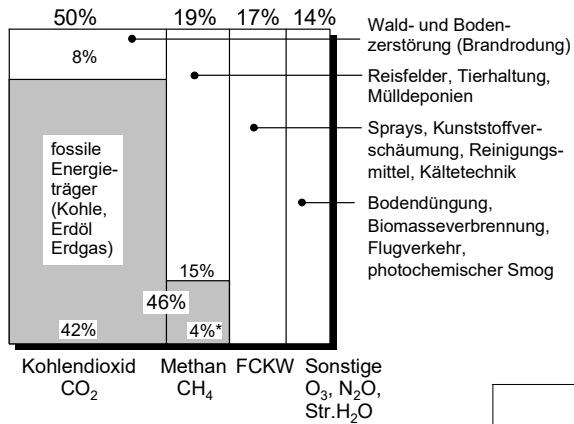
Die größten Schwefelsünder
Emissionen von Schwefeldioxid



Die größten Sünder müssen nicht immer auch die schlimmsten sein: Bei den USA z.B. verteilt sich die Belastung, so daß sich nur eine Emission von 2,2 t/km² ergibt. Spitzenreiter in der Liste der zehn schwärzesten Schafe war vielmehr die kleine DDR. Hier wird als Hauptenergieträger die schwefelreiche heimische Braunkohle genutzt.

Bild: VDI-Nachrichten

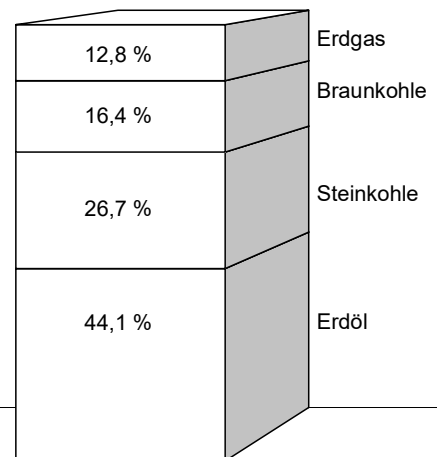
Beitrag fossiler Energieträger sowie sonstiger
anthropogener Quellen am derzeitigen
zusätzlichen Treibhauseffekt



Quelle: Zwischenbericht der Enquete-Kommission
 "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", November 1988
 * Anmerkung: bisher nicht bzw. unzureichend belegt

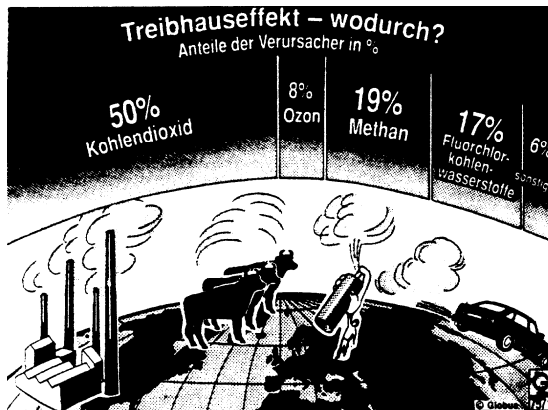
Problem Kohlendioxid CO₂

CO₂ - Emissionen fossiler Energieträger
in der Bundesrepublik Deutschland
(Mittelwerte der Jahre 1980 bis 1985)

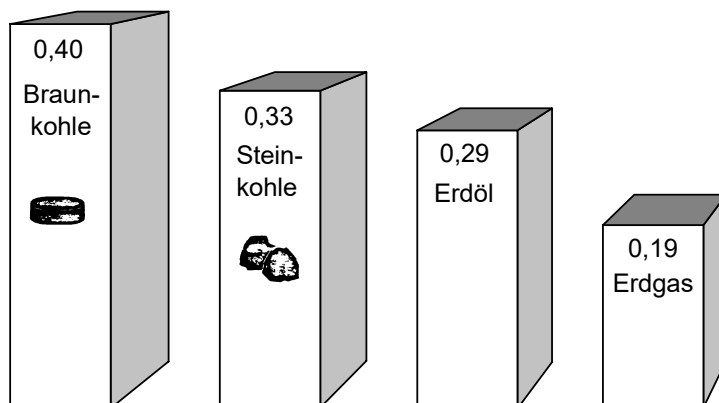


CO₂ - Emissionen 743 Mio t /Jahr (entspr. 100%)

Quelle: Zwischenbericht der Enquete-Kommission
 "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", November 1988



CO₂ - Bildung bei der Verbrennung
fossiler Energieträger
in kg CO₂ / kWh Brennstoffeinsatz



Quelle: Zwischenbericht der Enquete-Kommission
 "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", November 1988

Bebauung

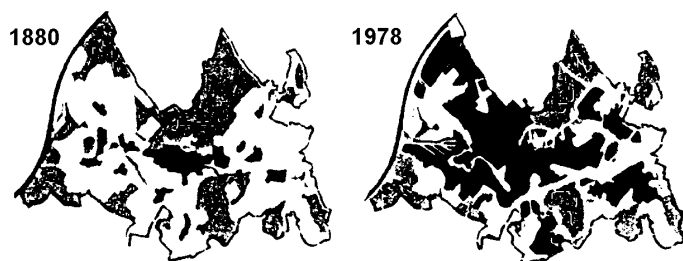
Waldflächenentwicklung
am Beispiel
der Stadt Karlsruhe

1780

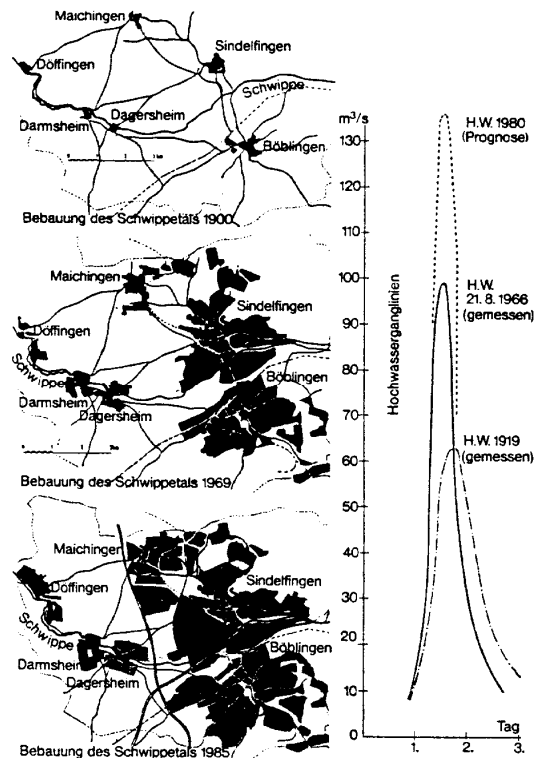
WALDFLÄCHEN:

1780 ca. 5300 ha - 43%
1880 ca. 4800 ha - 39%
1945 ca. 4500 ha - 36%
1978 ca. 3100 ha - 25%
2000 ? ?

Waldflächen
Bebauung

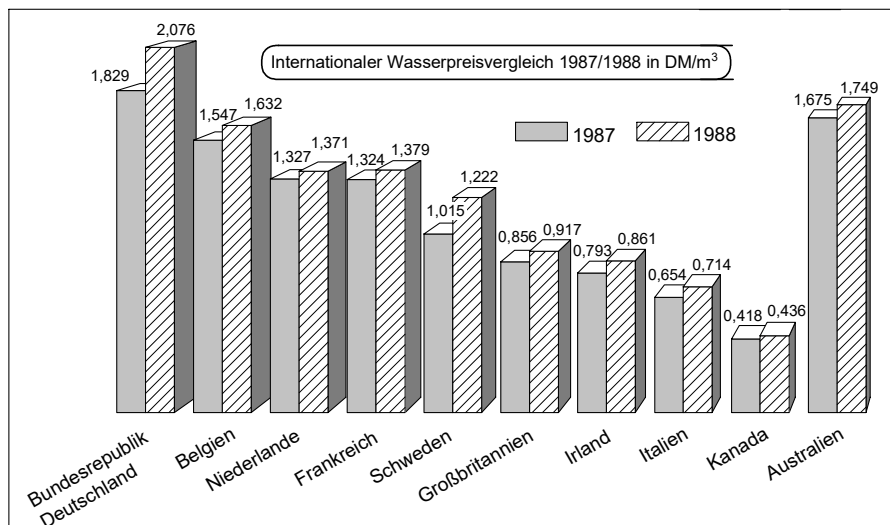


Flächenversiegelung



Hochwasser

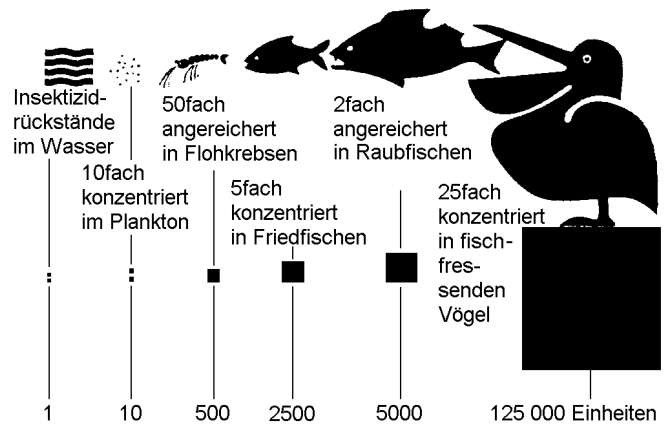
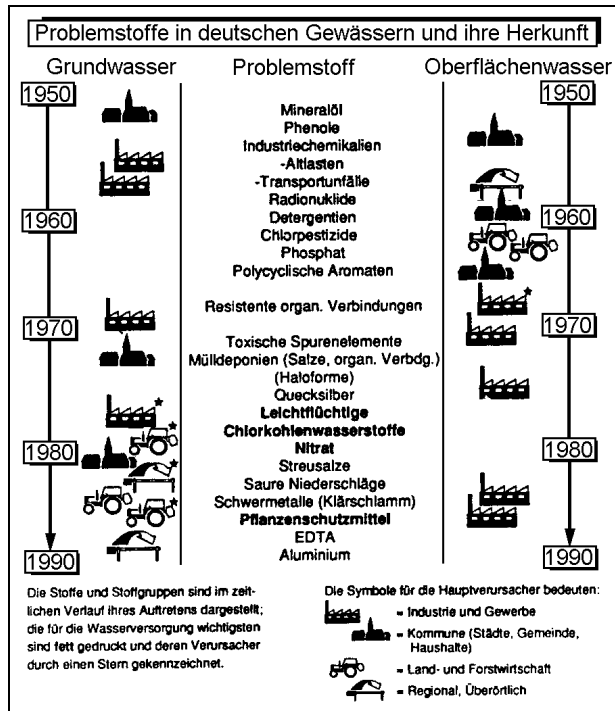
Trinkwasser



Verbraucheranteile der privaten Haushalte

Baden, Duschen	31%
Toilettenspülung	31%
Wäsche	14%
Geschirrspülen	6%
Körperpflege	6%
Gartensprengen	4%
Trinken, Kochen	3%
Reinemachen	3%
Autowaschen	2%

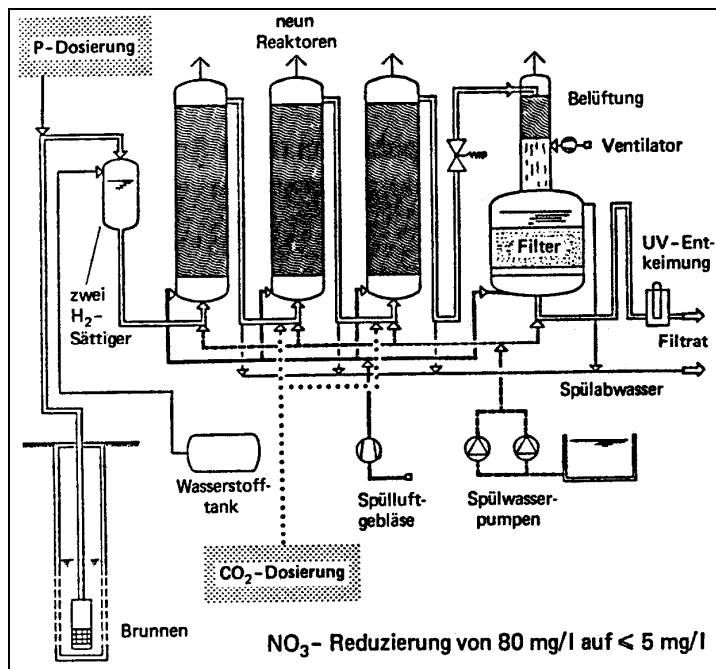
Den größten Preisanstieg mußten 1988 die Schweden verkraften. Allein in Malmö stiegen die Preise um 40 %



Biozide in einer Nahrungskette

Unterschiedlich sind die Verschmutzungspfade von Grund- und Oberflächenwasser. Die Art der Schadstoffe hat sich in den vergangenen 40 Jahren stark verändert.

Bild: VDI-Nachrichten



Die im Schema dargestellte biologische Denitrifikationsanlage besteht im wesentlichen aus zwei Wasserstoff-Sättigern, neun Denitropur-Reaktoren, einem Filter mit Belüftungskolonnen und einer UV-Entkeimungsanlage.

**Denitrifikationsanlage, 50 m³ / h,
Kosten je m³ 60 bis 90 Dpf**

Die wichtigsten Problemstoffe im Trinkwasser

- Quecksilber
- Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe
- Nitrat
- Streusalze
- Saure Niederschläge
- Schwermetalle (Klärschlamm)
- Pflanzenschutzmittel
- EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure)
- Aluminium

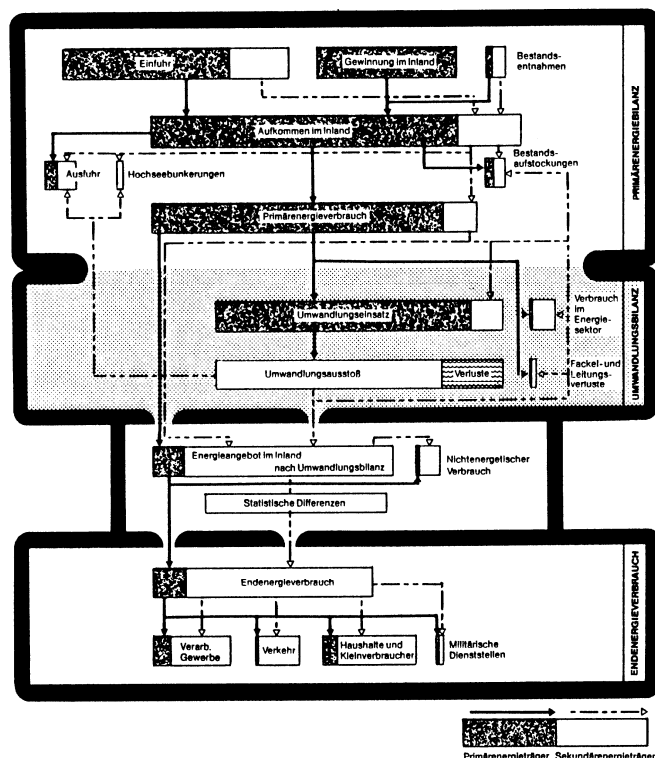
INSTITUT FÜR FLUGZEUGBAU UNIVERSITÄT STUTTGART	NEUE TECHNOLOGIEN Nutzung regenerativer Energieträger	2000 13
Energiebilanz Grundlage In der Bundesrepublik Deutschland werden vom Statistischen Bundesamt, den Statistischen Landesämtern, dem Bundesministerium für Wirtschaft sowie von Verbänden und Firmen der Energiewirtschaft energiewirtschaftliche Statistiken veröffentlicht. Um eine Vereinheitlichung und hinreichende Aufgliederung der unterschiedlichen Statistiken in Form jährlicher Energiebilanzen zu erreichen, wurde 1958 der Arbeitskreis Energiebilanzen gegründet. Von dieser Arbeitsgemeinschaft wurde 1971 zunächst für den Zeitraum 1950-1969 eine geschlossene Reihe von Energiebilanzen vorgelegt, die bezüglich Gebietsstand, Umrechnungsfaktoren und sektoraler Abgrenzung einheitlich war. Diese Bilanzreihe ist für die Folgejahre durch - in gleicher Form erstellte - Energiebilanzen ergänzt worden. Allerdings erfolgt die Veröffentlichung mit einer mehr als einjährigen Verzögerung zum laufenden Jahr. Energieträger und Bilanzaufbau. In der Energiebilanz wird das Aufkommen und die Verwendung von Energieträgern in einer Volkswirtschaft oder in einem Wirtschaftsgebiet für einen bestimmten Zeitraum möglichst lückenlos und detailliert nachgewiesen. Als Energieträger werden alle Quellen verstanden, aus denen direkt oder durch Umwandlung Energie gewonnen wird. Primärenergieträger sind Energieträger die keiner Umwandlung unterworfen wurden. Beispiele: Steinkohle, Rohbraunkohle, Hartbraunkohle, Brennholz, Brenntorf, Erdöl, Naturgase, Erdgas, Erdölgas, Grubengas, Klärgas, Wasserkraft, Kernenergie, Klärschlamm, Müll, Abhitze, Sulfitablauge, regenerative Energieträger (unter sonstige Energieträger). Umwandlung bedeutet Änderung der chemischen und/oder physikalischen Struktur der Energieträger. Als Umwandlungsprodukte fallen Sekundärenergieträger und nicht energetisch verwendbare Produkte (Nichtenergieträger wie Bitumen oder Schmierstoffe) an. Sekundärenergieträger sind in dieser Bilanz: Steinkohlenkoks, Steinkohlenbriketts, Rohteer, Rohbenzol, Pech, Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks, Braunkohlenstaub- und -Trockenkohle, Motorenbenzin, Rohbenzin, Flugbenzin (incl. leichter Flugturbinenkraftstoff), schwerer Flugturbinenkraftstoff, Petroleum, Dieselkraftstoff, Heizöl (leicht und schwer), Petrolkoks, Flüssiggas, Raffineriegas, Kokereigas, Stadtgas, Gichtgas, Strom, Fernwärme. Aufbauschema. In der Energiebilanz werden in der horizontalen Gliederung (Spalten), die Primär- und Sekundärenergieträger sowie die aus diesen Energieträgern erzeugten nichtenergetischen Produkte ausgewiesen. In der vertikalen Gliederung (Zeilen) werden das Energieaufkommen, die Energieumwandlung und der Endenergieverbrauch dargestellt .		

Die Energiebilanz hat drei Hauptteile, nämlich die **Primärenergiebilanz**, die **Umwandlungsbilanz** und den **Endenergieverbrauch**. Die Bezeichnung Energieverbrauch ist physikalisch zwar falsch, wird aber sprachlich so weiterbenutzt. Im Zusammenhang mit Energiefragen sollte man sich an die Worte Energiewandlung und Energiegenerierung gewöhnen und nicht von Energieerzeugung oder Energieverbrauch sprechen.

Schema der Energiebilanz

	Bilanz Zeile
Gewinnung im Inland (Primärenergieträger)	1
+ Einfuhr (Primär- und Sekundärenergieträger)	2
+ Bestandsentnahmen (Primär- und Sekundärenergieträger)	3
= Energieaufkommen im Inland (Primär- und Sekundärenergieträger)	4
./. Ausfuhr (Primär- und Sekundärenergieträger)	5
./. Hochseebunkerungen (Sekundärenergieträger)	6
./. Bestandsaufstockungen (Primär- und Sekundärenergieträger)	7
= PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND (Primär- und Sekundärenergieträger)	8
./. Umwandlungseinsatz insgesamt (Primär- und Sekundärenergieträger)	22
+ Umwandlungsausstoß insgesamt (Sekundärenergieträger)	36
./. Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungsbereichen insgesamt (Primär- und Sekundärenergieträger)	45
./. Fackel- und Leitungsverluste, Bewertungsdifferenzen (Primär- und Sekundärenergieträger)	46
= ENERGIEANGEBOT IM INLAND NACH UMWANDLUNGSBILANZ (Primär- und Sekundärenergieträger)	47
./. Nichtenergetischer Verbrauch (Primär- und Sekundärenergieträger)	48
+ ./. Statistische Differenzen (Primär- und Sekundärenergieträger)	49
= ENDENERGIEVERBAUCH (Primär- und Sekundärenergieträger)	50

Flußbild



Energiebilanz

Energiebilanz Deutschland für das Jahr 1995

			Zeile	Steinkohlen				Braunkohlen					
				Kohle	Briketts	Koks ¹⁾	Kohlenwertstoffe	Kohle	Briketts	Andere Braunkohlenprodukte	Hartbraunkohle		
			Terajoule										
PRIMÄRENERGIEBILANZ		Gewinnung im Inland	1	1 595 352	-	-	-	1 708 473	-	264	2 420		
		Einfuhr	2	397 035	2 010	74 519	18 385	3 327	9 708	-	26 155		
		Bestandsentnahmen	3	16 911	-	38 105	-	-	152	-	-		
		Energieaufkommen im Inland	4	2 009 298	2 010	112 624	18 385	1 711 800	9 860	264	28 575		
		Ausfuhr	5	54 220	4 710	8 223	15 208	13	5 952	6 834	2 278		
		Hochseebunkerungen	6	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Bestandsaufstockungen	7	-	314	-	-	824	-	142	-		
		PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	8	1 955 078	-3 014	104 401	3 177	1 710 963	3 908	-6 712	26 297		
UMWANDLUNGSBILANZ	Umwandlungseinsatz	Kokereien	9	404 128	-	1 891	-	5 759	-	-	-		
		Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken	10	11 430	-	-	-	190 849	-	-	-		
		Öffentliche Wärmekraftwerke (ohne HKW)	11	1 084 748	-	-	-	1 329 449	2	1 893	25 175		
		Industriewärmekraftwerke	12	247 623	-	-	-	85 227	-	12 773	-		
		Kernkraftwerke	13	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Wasserkraftwerke, Wind- und Photovoltaikanlagen	14	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Öffentliche Heizkraftwerke	15	84 524	-	-	-	49 758	-	4 051	351		
		Fernheizwerke	16	19 311	-	29	-	7 990	1 237	802	310		
		Hochöfen	17	-	-	167 889	-	-	-	-	-		
		Raffinerien	18	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Sonstige Energieerzeuger	19	-	-	-	24 762	-	-	-	-		
		Umwandlungseinsatz insgesamt	20	1 851 764	-	169 809	24 762	1 669 032	1 239	19 519	25 636		
	Umwandlungsausstoß	Kokereien	21	-	-	318 015	18 582	-	-	5 737	-		
		Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken	22	-	11 901	-	-	-	96 802	79 420	-		
		Öffentliche Wärmekraftwerke (ohne HKW)	23	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Industriewärmekraftwerke	24	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Kernkraftwerke	25	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Wasserkraftwerke, Wind- und Photovoltaikanlagen	26	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Öffentliche Heizkraftwerke	27	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Fernheizwerke	28	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Hochöfen	29	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Raffinerien	30	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Sonstige Energieerzeuger	31	-	-	-	19 610	-	-	-	-		
		Umwandlungsausstoß insgesamt	32	-	11 901	318 015	38 192	-	96 802	85 157	-		
	Verbrauch in der Energiegewinnung und in den Umwandlungsbereichen	Kokereien	33	-	-	57	-	-	-	-	-		
		Steinkohlenteichen, -brikettfabriken	34	1 290	-	-	-	-	-	-	-		
		Braunkohlengruben, -brikettfabriken	35	-	-	-	-	16 872	987	201	-		
		Kraftwerke	36	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Erdöl- und Erdgasgewinnung	37	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Raffinerien	38	-	-	-	-	-	-	30	-		
		Sonstige Energieerzeuger	39	-	-	-	-	-	-	1 867	-		
		E-Verbrauch im Umwandl.-Bereich insgesamt	40	1 290	-	57	-	16 872	987	2 098	-		
	Energieangebot im Inland	Fackel- u. Leitungsverluste	41	-	-	-	-	-	-	-	-		
		ENERGIEANGEBOT IM INLÄND. UMWANDLUNGSBILANZ	42	102 024	8 887	252 550	16 607	25 059	98 484	56 828	46 914		
		NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	43	-	-	7 048	16 607	233	-	3 614	-		
		Statistische Differenzen	44	97 316	282	803	-	-1 883	3 992	-1 145	-1 956		
ENERGIEVERBRAUCH	Endenergieverbrauch	ENDEENERGIEVERBRAUCH	45	199 340	9 169	246 305	-	22 943	102 476	52 069	262 000		
		Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau	46	810	-	2 808	-	700	155	321	-		
		Ernährung und Tabak	47	4 302	-	1 633	-	1 330	1 700	2 756	-		
		Papiergewerbe	48	17 879	-	1 289	-	173	2 396	392	-		
		Grundstoffchemie	49	33 856	-	1 604	-	13 156	-	5 029	-		
		Sonstige chemische Industrie	50	5 938	-	57	-	1 756	1 372	-	-		
		Gummi- u. Kunststoffwaren	51	859	-	-	-	10	193	87	-		
		Glas u. Keramik	52	390	-	-	-	61	155	1 231	-		
		Verarbeitung v. Steine u. Erden	53	48 609	-	2 149	-	1 066	213	40 000	-		
		Metallerzeugung	54	55 930	-	194 992	-	-	19	308	-		
		NE-Metalle, Gießereien	55	791	-	12 119	-	183	657	60	-		
		Metallbearbeitung	56	60	-	4 871	-	51	77	-	-		
		Maschinenbau	57	360	-	974	-	883	174	-	-		
		Fahrzeugbau	58	1 252	-	602	-	782	1 642	-	-		
		Sonstige Wirtschaftszweige	59	2 367	-	1 977	-	122	386	1 711	-		
		Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, verarbeit. Gewerbe insg.	60	173 403	-	225 075	-	20 273	9 139	51 895	-		
		Schielenverkehr	61	29	-	86	-	-	-	-	-		
		Straßenverkehr	62	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Luftverkehr	63	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Küsten- und Binnenschifffahrt	64	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Verkehr insgesamt	65	29	-	86	-	-	-	-	-		
		Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	Haushalte	66	13 892	9 169	14 898	-	-	65 644	-	21 000	
			Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	67	12 016	-	6 246	-	2 670	27 693	174	23 000	
			Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	68	25 908	9 169	21 144	-	2 670	93 337	174	26 000	
	Energieverluste												

¹⁾ Wegen des gesamten Koksverbrauchs der Eisenschaffenden Industrie (Zeile 17 und 54) siehe Erläuterungen 3,4 im Text

²⁾ Die Chemische Industrie hat insgesamt 585 Petajoule Rohbenzin verbraucht, die mit 166 Petajoule in den Einsatz zur Umwandlung (Zeile 19) eingegangen und mit 419 Petajoule als nichtenergetischer Verbrauch (Zeile 43) ausgewiesen sind.

Energiebilanz Deutschland für das Jahr 1995

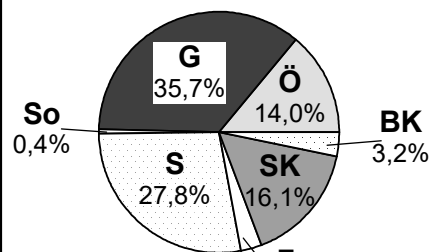
Anschluss nächstes Blatt

2) Die Chemische Industrie hat insgesamt 585 Petajoule Rohbenzin verbraucht, die mit 166 Petajoule in den Einsatz zur Umwandlung (Zeile 19) eingegangen und mit 419 Petajoule als nichtenergetischer Verbrauch (Zeile43) ausgewiesen sind.

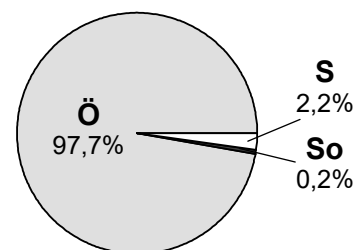
Sektordiagramme
Stand
BRD Deutschland 1995

Erneuerbare Energien				Elektrischer Strom und andere Energieträger			ENERGIETRÄGER insgesamt			Zeile
Wasser- kraft	Wind- u. Photo- voltaik- anlagen	Müll und sonstige Bio- masse	Sonst. erneuerb. Energien	Strom	Kern- energie	Fern- wärme	davon		Summe	
							Primär- energie- träger	Sekundär- energie- träger		
Terajoule										
77 048	6 188	184 656	6 820	-	-	-	4 327 609	264	4 327 873	1
-	-	-	-	143 046	1 681 890	-	8 725 577	2 093 378	10 818 955	2
-	-	-	-	-	-	-	28 734	179 718	208 452	3
77 048	6 188	184 656	6 820	143 046	1 681 890	-	13 081 920	2 273 360	15 355 280	4
-	-	-	-	125 680	-	-	190 559	766 782	957 341	5
-	-	-	-	-	-	-	-	86 882	86 882	6
-	-	-	-	-	-	-	30 465	11 620	42 085	7
77 048	6 188	184 656	6 820	17 366	1 681 890	-	12 860 896	1 406 076	14 266 972	8
-	-	-	-	-	-	-	415 960	29 788	445 448	9
-	-	-	-	-	-	-	204 913	598	205 511	10
-	-	27 143	-	18	-	-	2 669 258	58 627	2 727 885	11
-	-	32 918	-	-	-	-	508 837	126 029	634 866	12
-	-	-	-	-	1 680 979	-	1 680 979	-	1 680 979	13
77 048	6 188	-	-	21 226	-	-	83 236	21 226	104 462	14
-	-	3 295	-	-	911	-	224 163	17 750	241 913	15
-	-	5 908	360	-	-	-	114 981	30 187	145 168	16
-	-	-	-	-	-	-	-	167 889	167 889	17
-	-	-	-	-	-	-	4 399 992	494 571	4 894 563	18
-	-	-	-	-	-	-	-	200 839	200 839	19
77 048	6 188	69 264	360	21 244	1 681 890	-	10 302 019	1 147 504	11 449 523	20
-	-	-	-	-	-	-	-	432 748	432 748	21
-	-	-	-	-	-	-	-	188 123	188 123	22
-	-	-	-	1 030 072	-	-	-	1 030 072	1 030 072	23
-	-	-	-	252 335	-	-	-	252 335	252 335	24
-	-	-	-	554 728	-	-	-	554 728	554 728	25
-	-	-	-	99 328	-	-	-	99 328	99 328	26
-	-	-	-	-	-	297 300	-	297 300	297 300	27
-	-	-	-	-	-	119 300	-	119 300	119 300	28
-	-	-	-	-	-	-	-	181 837	181 837	29
-	-	-	-	-	-	-	-	4 877 798	4 877 798	30
-	-	-	-	-	-	-	-	198 130	198 130	31
-	-	-	-	1 936 463	-	416 600	-	8 231 697	8 231 697	32
-	-	-	-	2 138	-	2 100	24 923	41 982	66 905	33
-	-	-	-	18 562	-	4 000	2 021	26 190	28 211	34
-	-	-	-	21 528	-	-	16 872	22 986	39 858	35
-	-	-	-	138 172	-	-	-	138 172	138 172	36
-	-	-	-	1 735	-	-	19 264	1 773	21 037	37
-	-	-	-	19 307	-	3 600	9 299	286 462	275 761	38
-	-	-	-	220	-	-	11 511	3 072	14 583	39
-	-	11 511	-	-	-	-	-	-	-	40
-	-	11 511	-	201 662	-	9 700	83 890	500 637	584 527	40
-	-	-	-	82 425	-	41 100	21 766	142 691	164 457	41
-	-	-	-	-	-	365 800	2 453 221	7 848 941	10 302 162	42
-	-	103 881	6 460	1 648 498	-	-	75 193	888 291	963 484	43
-	-	-	-	-	-	-	-20 574	4 094	-16 480	44
-	-	103 881	6 460	1 648 498	-	365 800	2 357 454	6 964 743	9 322 197	45
-	-	-	-	9 739	-	350	16 712	18 380	35 092	46
-	-	-	-	44 432	-	5 600	76 889	110 760	187 449	47
-	-	-	-	58 748	-	3 850	88 561	84 742	173 303	48
-	-	4 403	-	138 382	-	16 800	213 753	188 595	402 348	49
-	-	-	-	25 816	-	3 100	43 048	62 126	105 174	50
-	-	-	-	35 276	-	2 050	22 386	45 613	67 999	51
-	-	-	-	18 093	-	400	63 003	36 871	99 874	52
-	-	290	-	29 332	-	1 450	98 648	125 987	224 635	53
-	-	-	-	66 146	-	1 300	124 162	443 824	567 986	54
-	-	-	-	64 081	-	550	31 790	86 405	118 195	55
-	-	-	-	36 785	-	1 750	46 731	58 456	105 187	56
-	-	-	-	31 062	-	6 300	28 790	57 070	85 860	57
-	-	-	-	53 190	-	12 350	39 895	76 603	116 498	58
-	-	5 779	10	74 484	-	14 150	57 469	126 936	184 405	59
-	-	-	-	10 472	10	685 566	951 637	1 522 368	2 474 005	60
-	-	-	-	58 288	-	-	29	89 428	89 457	61
-	-	1 504	-	-	-	-	1 504	2 264 743	2 266 247	62
-	-	-	-	-	-	-	-	234 579	234 579	63
-	-	-	-	-	-	-	-	23 562	23 562	64
-	-	1 504	-	58 288	-	-	1 533	2 612 312	2 613 845	65
-	-	91 612	4 538	457 834	-	170 884	989 568	1 665 410	2 654 978	66
-	-	293	1 914	446 810	-	124 916	414 716	1 164 653	1 579 369	67
-	-	91 905	6 450	904 644	-	295 800	1 404 284	2 830 063	4 234 347	68

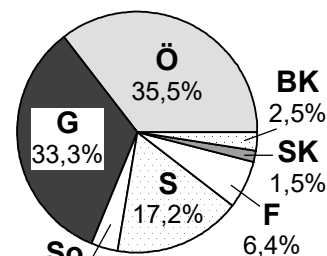
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
Königin Luise-Straße 5, D-14195 Berlin



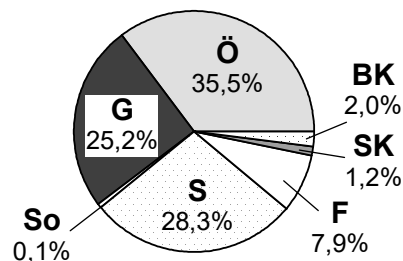
Bergbau, Gew. Steine und Erden,
Verarbeit. Gewerbe insg. 84,4



Verkehr insgesamt 89,2



Haushalte 90,6



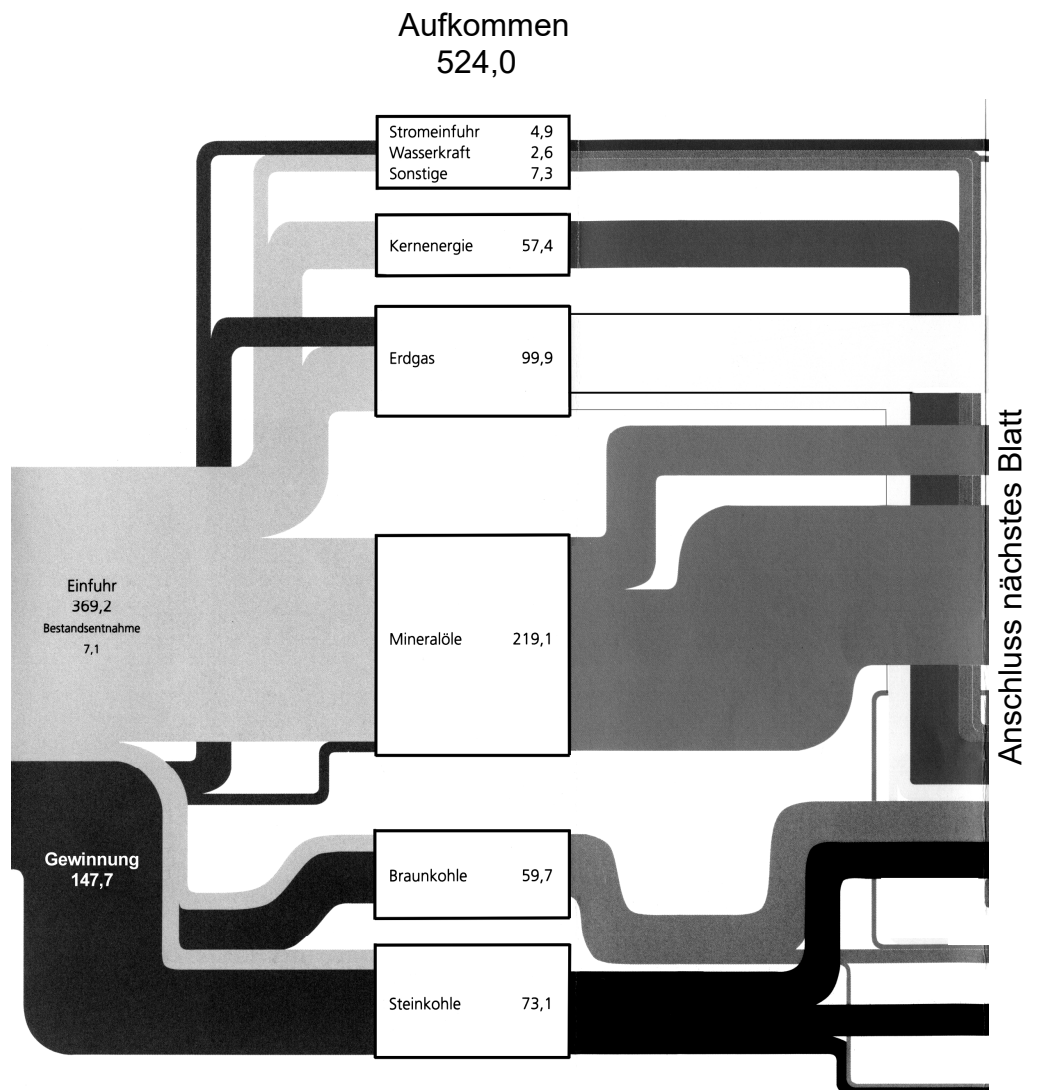
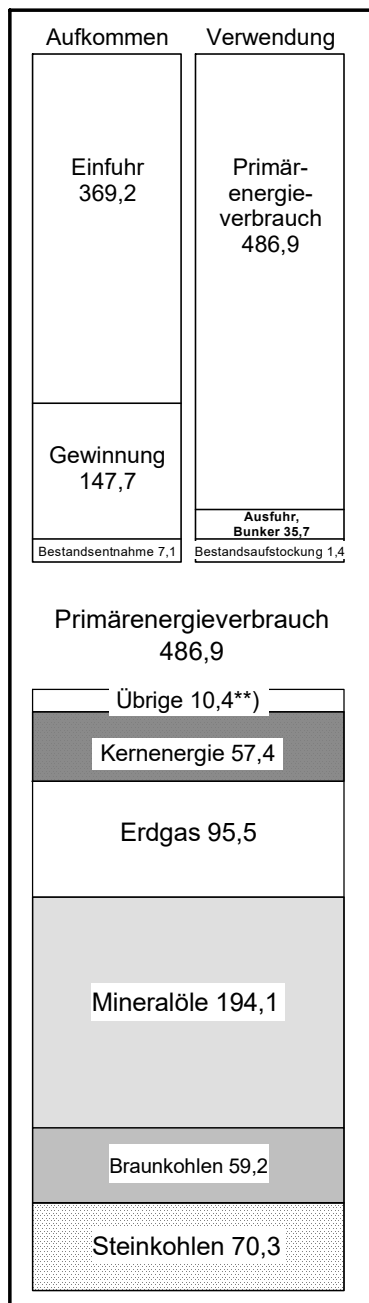
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
und übrige Verbraucher 53,9

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

So Sonstige
G Gase
Ö Mineralöle
S Strom
BK Braunkohle
SK Steinkohle
F Fernwärme

Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland 1995

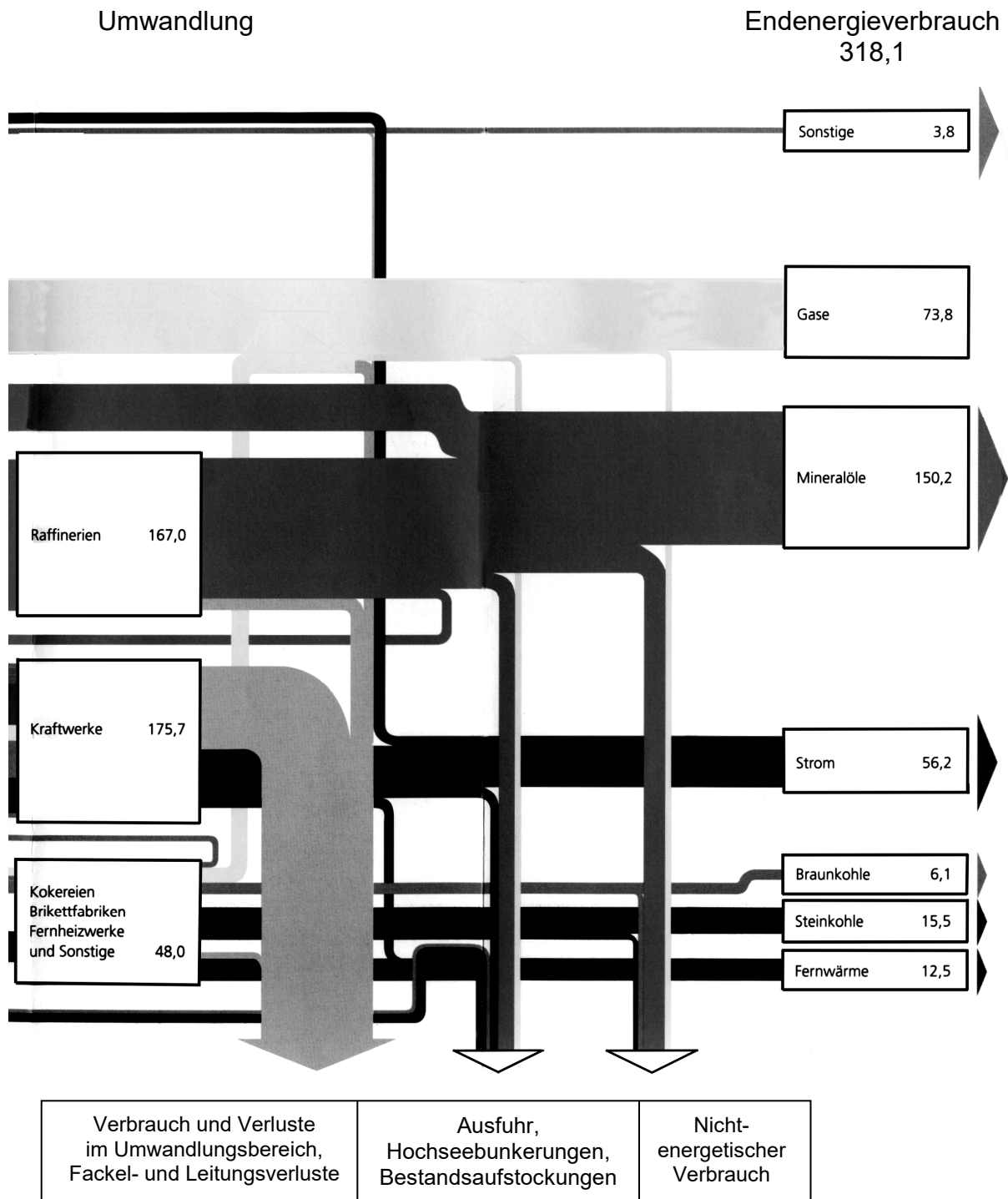
Mill. t Steinkohlen



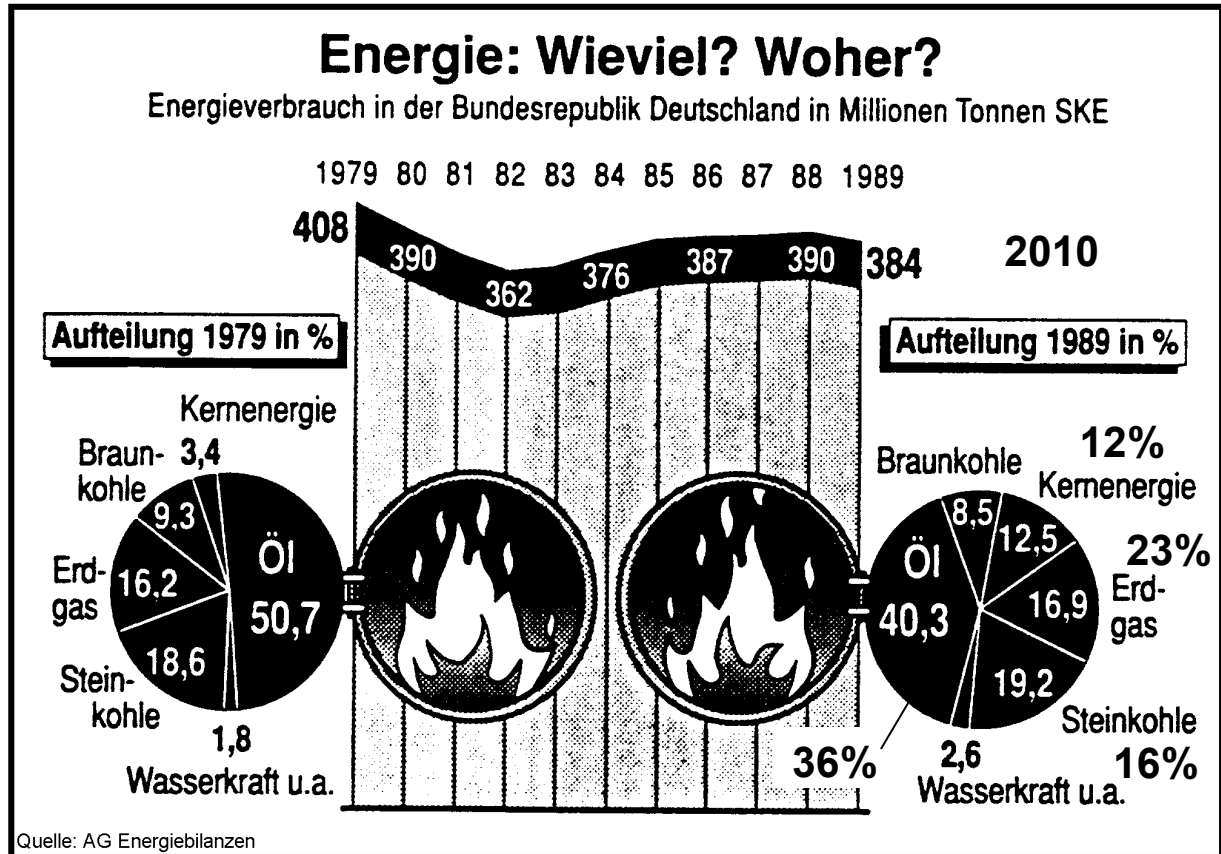
*) 1 Mill. t Steinkohleneinheiten (SKE) = 29,3
Petajoule (PJ)

**) Wasserkraft, Außenhandelssaldo Strom,
Windenergie und
sonstige alternative Energieträger (u. a. Brennholz)

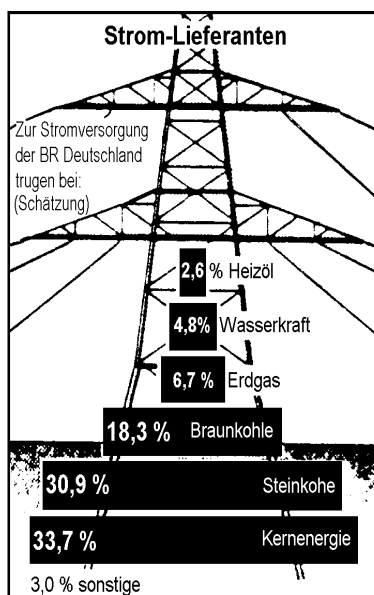
einheiten (SKE)*)



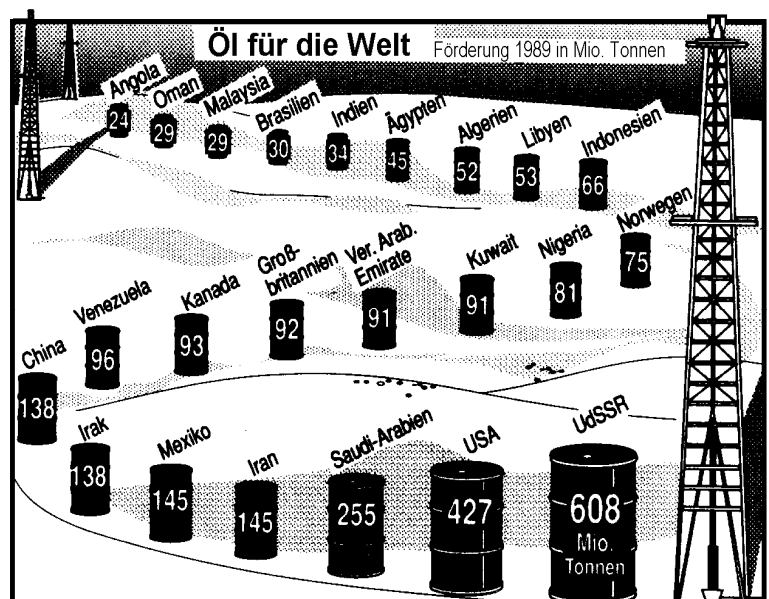
Anteile der Energieträger verändern sich



Welcher Energieträger liefert Elektrizität?



Die wichtigsten Ölförderationen



Energiebilanz

Energiebilanz der neuen

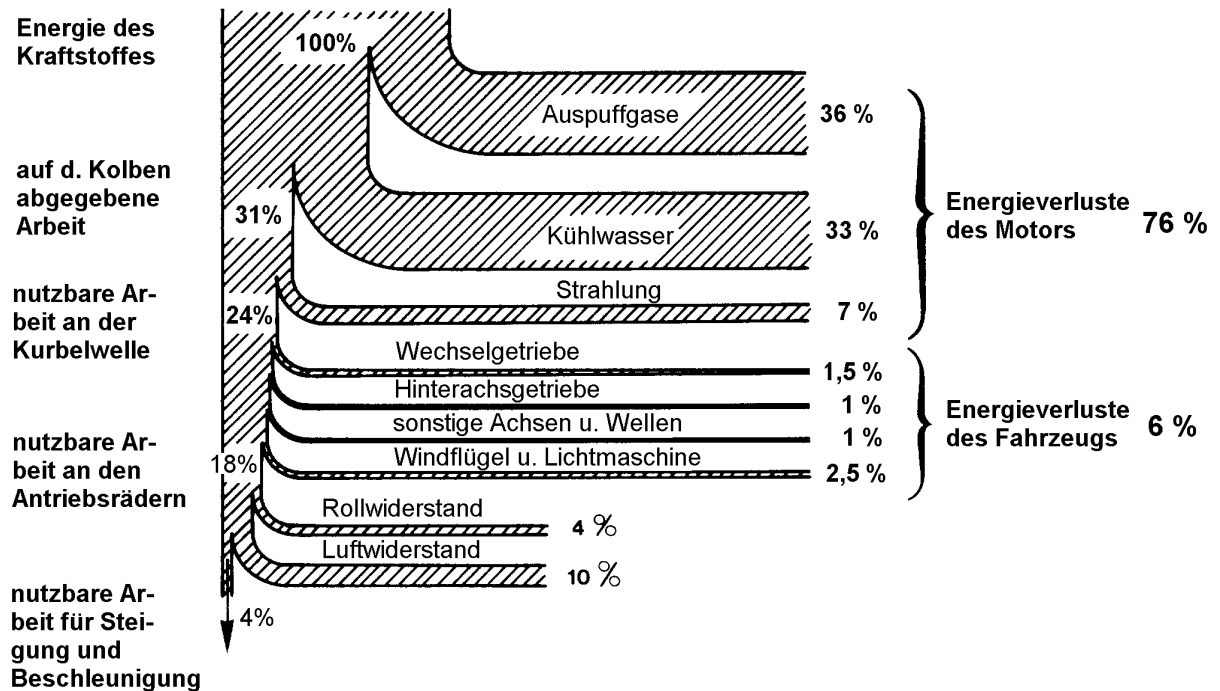
	Zeile	Steinkohlen							Braunkohlen				Sonstige feste Brennstoffe			
		Kohle	Koks ¹⁾	Briketts	Rohsteu	Pech	Andere Kohlenwertstoffe	Rohbenzol	Kohle	Briketts	Koks	Staub- und Trockenkohle	Hartbrennstoffe	Brennstoff	Brennstoff	Kohlenschlamm Mul u. a.
		Terajoule														
PRIMÄRENERGIEBILANZ	Gewinnung im Inland	1	—	—	—	—	—	—	1 513 070	—	—	—	—	5 129	—	3 657
	Einfuhr	2	74 505	12 510	3 705	—	—	—	10 123	8 289	450	—	2 925	—	—	—
	Bestandszunahmen	3	2 256	648	—	—	—	—	22 179	5 158	493	—	—	—	—	—
	Energieaufkommen im Inland	4	78 761	13 158	3 705	—	—	—	1 545 372	13 447	943	—	2 925	5 129	—	3 657
	Ausfuhr	5	—	1 368	—	—	—	—	86	12 714	5 367	86	—	—	—	—
	Hochseebunktionen	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Bestandsabzugen	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	174	—	—	—	—
PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND		8	78 761	11 790	3 705	—	—	—	1 545 286	733	— 4 424	— 260	2 925	5 129	—	3 657
UMWANDLUNGSBILANZ	Umwandlungssatz	Kokereien	9	28 758	—	—	—	—	10 918	26 279	—	—	—	—	—	—
		Ortsgaswerke	10	—	152	—	—	—	—	18 902	—	—	—	—	—	—
		Steinkohlenbrikettfabriken	11	—	—	—	113	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Braunkohlenbrikettfabriken	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Öffentliche Wärmekraftwerke	13	91	—	—	—	—	414 288	—	—	2 323	—	—	—	—
		Zechen- und Grubenkraftwerke	14	—	—	—	—	—	673 928	258	—	103	—	—	—	55
		Sonstige Industriewärmekraftwerke	15	3 964	—	—	—	—	122 614	—	—	18 358	—	—	—	2 206
		Kernkraftwerke	16	—	—	—	—	—	29 182	843	454	—	—	1 026	—	875
		Wasserkraftwerke	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Heizkraftwerke, Fernheizwerke	18	18 341	22	—	—	—	133 439	12 027	380	1 074	1 235	—	—	521
		Hochöfen	19	—	8 190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Hochofen	20	—	—	—	4 710	—	356	—	—	—	—	—	—	—
		Raffinerien	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Sonstige Energieerzeuger	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Umwandlungssatz insgesamt	22	51 154	6 364	—	4 823	—	356	1 384 349	56 209	834	22 058	1 235	1 026	—	3 657
	Umwandlungssektor	Kokereien	23	—	20 471	—	3 881	—	—	—	18 207	—	—	—	—	—
		Ortsgaswerke	24	—	—	—	942	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Steinkohlenbrikettfabriken	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Braunkohlenbrikettfabriken	26	—	—	—	—	—	—	352 168	—	35 464	—	—	—	—
		Öffentliche Wärmekraftwerke	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Zechen- und Grubenkraftwerke	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Sonstige Industriewärmekraftwerke	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Kernkraftwerke	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Wasserkraftwerke	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Heizkraftwerke, Fernheizwerke	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VERBRAUCH IN DER ENERGETISCHEN UMWANDLUNG	Umwandlungssektor	Hochöfen	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Raffinerien	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Sonstige Energieerzeuger	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Umwandlungssektor insgesamt	36	—	20 471	—	4 823	—	356	352 168	18 207	35 464	—	—	—	—
	Verbrauch in der End- und in den Umwandlungssektoren	Steinkohlenzechen, -brikettfabriken	37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Kokereien	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Ortsgaswerke	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Braunkohlenzechen, -brikettfabriken	40	—	—	—	—	—	21 455	4 412	411	890	—	—	—	—
		Kraftwerke	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Erdöl- und Erdgasgewinnung	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Raffinerien	43	—	—	—	—	—	1 618	—	—	560	—	—	—	—
		Sonstige Energieerzeuger	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		E-Verbrauch im Umw.-Bereich insgesamt	45	—	—	—	—	—	23 071	4 412	411	1 450	—	—	—	—
		Facial- u. Leitungsverluste, Bewertungsabweichungen	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ENDENERGIEVERBRAUCH	nach Sektoren	ENERGIEANGEBOT IM INL. U. UMWANDLUNGSB.	47	25 607	25 897	3 705	—	—	137 866	290 290	12 538	11 696	1 690	4 103	—	—
		NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	48	—	1 485	—	—	—	789	—	194	—	—	—	—	—
		Statistische Differenzen	49	+ 3 626	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	nach Sektoren	ENDENERGIEVERBRAUCH	50	29 233	24 412	3 705	—	—	137 077	290 290	12 344	11 696	1 690	4 103	—	—
		Übriger Bergbau	51	—	—	—	—	—	1 915	271	—	818	—	—	—	—
		Steine und Erden	52	3 328	2 309	—	—	—	4 300	542	—	6 266	—	—	—	—
		Eisenschaffende Industrie	53	711	10 134	—	—	—	599	37	515	—	—	—	—	—
		Eisen-, Stahl- und Tempelarbeiten	54	47	540	—	—	—	1 187	193	—	—	—	—	—	—
		Zement- und Kalkwerke	55	47	—	—	—	—	968	77	—	—	—	—	—	—
		NE-Metallerzeugung, -haltzeugwerke, -gebiere	56	—	761	—	—	—	2 983	329	—	—	325	—	—	—
		Chemische Industrie	57	2 567	489	—	—	—	23 526	580	103	3 964	—	—	—	—
		Zeitschrift-, Papieren- und Papierzeugung	58	236	81	—	—	—	3 472	1 451	165	—	—	—	—	—
		Gummiverarbeitung	59	837	—	—	—	—	1 736	871	—	—	—	440	—	—
		Übriges Grundstoff- u. Produktionsgutgewerbe	60	142	—	—	—	—	250	97	—	—	—	—	—	—
		Grundstoff- und Produktionsgutgewerbe	61-60	7 175	14 317	—	—	—	39 051	4 237	783	10 250	325	440	—	—
		Maschinenbau	61	3 233	1 114	—	—	—	13 260	290	—	108	208	—	—	—
		Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbau	62	991	109	—	—	—	5 956	387	—	—	—	—	—	—
		Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	63	1 416	27	—	—	—	6 246	561	—	21	—	—	—	—
		Eisen-, Blech- und Metallwaren	64	95	54	—	—	—	2 624	155	721	—	—	—	—	—
		Übriges Investitionsgüter prod. Gewerbe	65	708	82	—	—	—	4 589	174	—	—	—	—	—	—
		Investitionsgüter produzierendes Gewerbe	61-65	8 443	1 386	—	—	—	32 675	1 567	721	129	208	—	—	—
		Glas und Fenikermas.	66	118	—	—	—	—	2 804	897	—	43	—	—	—	—
		Herstellung von Kunststoffwaren	67	—	—	—	—	—	2 804	290	—	—	—	—	—	—
		Textilgewerbe	68	1 109	408	—	—	—	3 378	600	—	—	299	—	—	—
		Übriges Verbrauchsgüter prod. Gewerbe	69	472	183	—	—	—	2 813	193	—	—	—	—	—	—
		Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe	66-69	1 699	571	—	—	—	17 799	1 780	—	43	299	—	—	—
		Zuckerindustrie	70	2 832	951	—	—	—	4 540	116	—	—	—	—	—	—
		Übriges Nahrungsmittelgewerbe	71	944	136	—	—	—	4 989	484	—	65	—	—	—	—
		Genußmittelgewerbe	72	519	271	—	—	—	2 394	97	—	65	78	—	—	—
		Nahrungs- und Genussmittelgewerbe	70-72	4 295	1 358	—	—	—	11 923	697	—	130	78	—	—	—
		Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe insgesamt	73	19 512	17 632	—	—	—	103 364	8 552	1 504	11 370	910	440	—	—
		Straßenverkehr	74	675	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Straßenverkehr	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Luftverkehr	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Küsten- und Binnenschifffahrt	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Verkehr insgesamt	78	675	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Haushalte und Kleinverbraucher insgesamt	79	8 784	6 752	3 705	—	—	32 017	258 196	19 840	326	780	3 663	—	—
		Maritime Dienstleistungen	80	182	28	—	—	—	1 696	23 532	—	—	—	—	—	—

¹⁾ Wegen des gesamten Kokalverbrauchs der Eisenschaffenden Industrie (Zeile 19 und 53) siehe Erläuterung 1.4.3 im Text

²⁾ Die Chemische Industrie hat insgesamt 96 Petajoule Rohbenzol verbraucht, die mit 27 Petajoule in den Einsatz zur Umwandlung (Zeile 21) eingegangen und mit 39 Petajoule als nichtenergetischer Verbrauch (Zeile 48) ausgewiesen sind

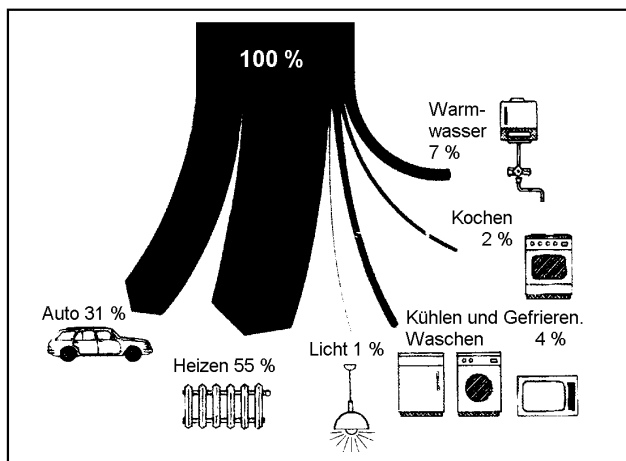
Energiesparen

Automobil



Energiebilanz beim normalen Fahrbetrieb eines Automobils.

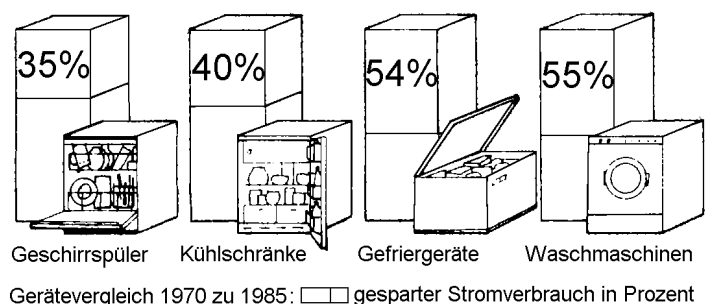
Haushalt / Heizung



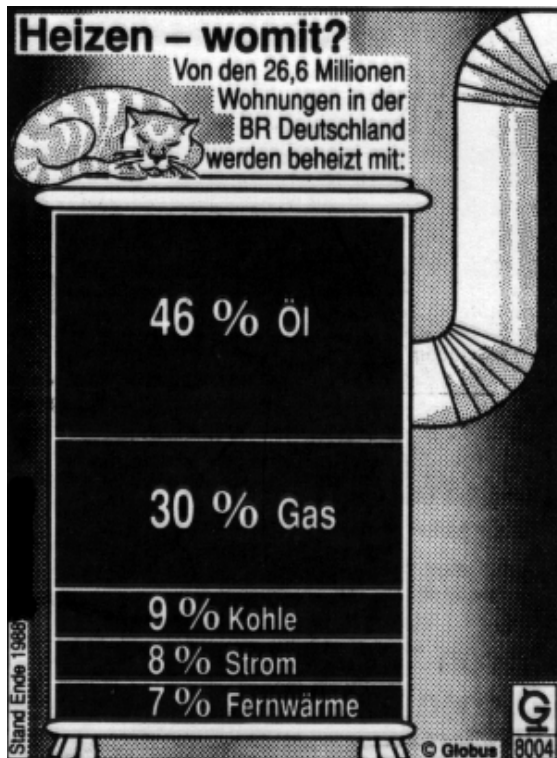
Energie für das Privatleben

Elektrogeräte immer sparsamer

Elektrogeräte sparsamer



Die Hausheizung



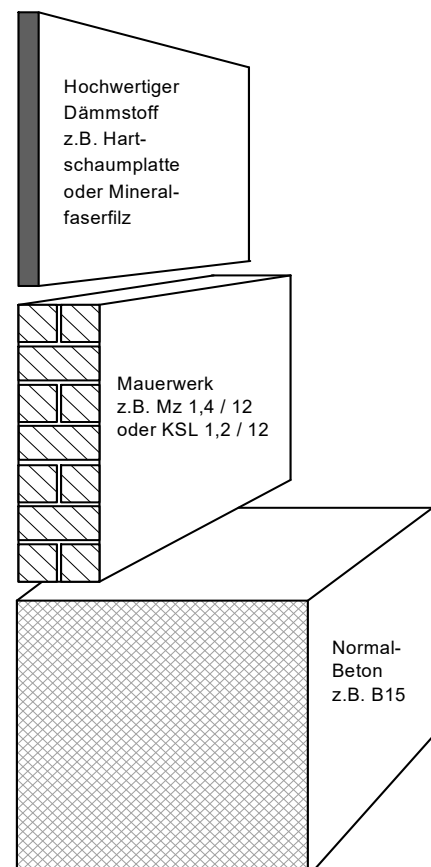
Gas immer beliebter

Drei Dinge werden von einer modernen Heizanlage verlangt: Sie soll zuverlässig, bequem und möglichst sauber sein. Deshalb ist heute das Öl auf dem Rückzug, das einst die Kohle aufgrund seines lange Zeit konkurrenzlos niedrigen Preises verdrängt hatte. Im letzten Winter wurden noch 46 Prozent aller Wohnungen mit Öl geheizt, 15 Jahre zuvor – im Winter 1973/74 – waren es noch über 52 Prozent. Der Gewinner dieser Tendenz ist das Erdgas. Sein Anteil an der Heizung stieg von 13 auf 30 Prozent.

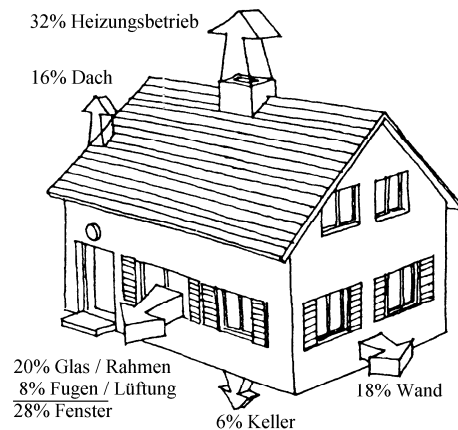
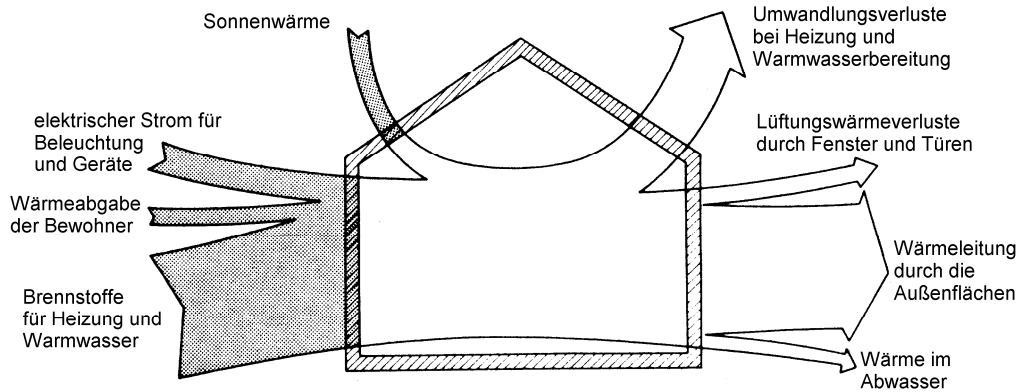
Energiebewußt bauen

Baustoffe unterschiedlicher Dicke (1:15:50) haben die gleiche Wärmedämmwirkung.

- MZ 1,4/12 = Mauerziegel (Vollziegel) DIN 105, Rohdichte 1,4; Druckfestigkeit 12 N/mm²
- KSL 1,2/12 = Kalksandlochstein oder Kalksandhohlblockstein DIN 106, Rohdichte 1,2; Druckfestigkeit 12 N/mm²
- B 15 = Beton mit einer mittleren Mindestdruckfestigkeit von 20 N/mm². ermittelt an einer Serie von 3 Würfelproben (20 cm) nach 28 Tagen.



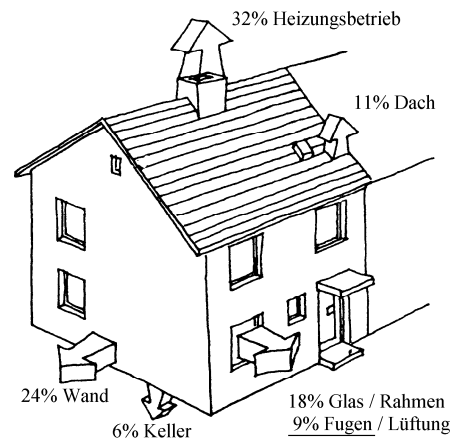
Energieverluste beim Haus (Bilanz) Energiezufuhr = Wärmeverlust



Freistehendes Einfamilienhaus

Beispiel: 125 m² Wohnfläche,
Brennstoffkosten jährlich ca. 2730 DM
(= 21,85 DM/m² Wohnfläche).

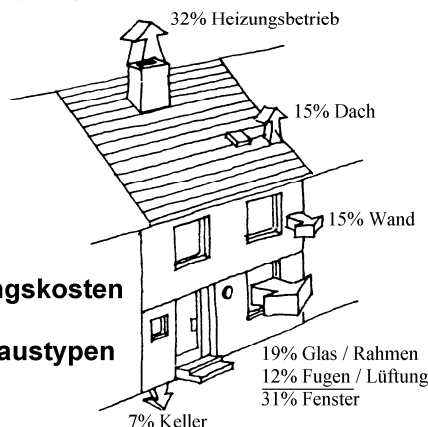
Beim freistehenden Einfamilienhaus verursachen die größeren Außenflächen höhere Wärmeverluste.



Doppelhaushälfte

Beispiel: 100 m² Wohnfläche,
Brennstoffkosten jährlich ca. 1815 DM
(= 18,15 DM/m² Wohnfläche).

Hier kommt zusätzlich eine freistehende Giebelwand als große Außenfläche hinzu, die den Wärmeverlust erhöht.

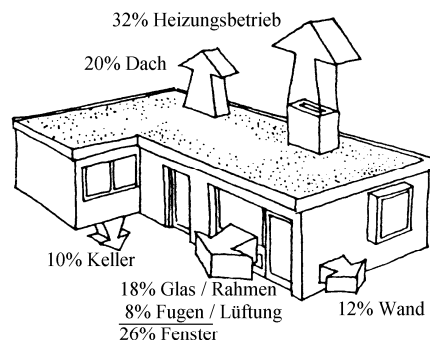


Vergleich Heizungskosten (Wärmeverluste) verschiedener Haustypen

Reihenhaus

Beispiel: 100 m² Wohnfläche,
Brennstoffkosten jährlich ca. 1420 DM
(= 14,20 DM/m² Wohnfläche).

Das beidseitig eingebaute Reihenhaus ist wegen seiner geringen Außenfläche im Verhältnis zur Wohnfläche besonders sparsam im Brennstoffverbrauch. Bei diesem Haus tragen größtenteils Fenster, Dach und Außenwände zum Wärmeverlust bei.

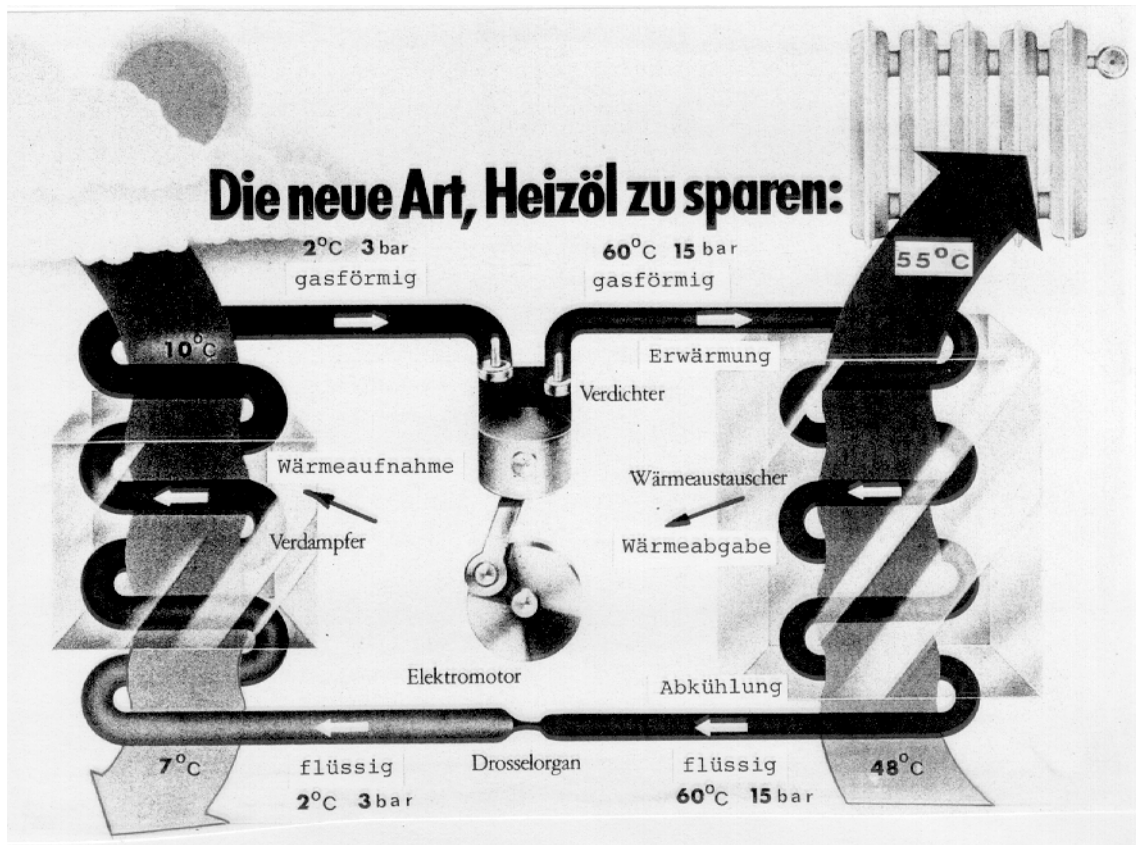


Gartenhofhaus

Beispiel: 125 m² Wohnfläche,
Brennstoffkosten jährlich ca. 3090 DM
(= 24,70 DM/m² Wohnfläche).

Die ebenerdige Bauweise des Gartenhofhauses mit der größten gebäudeumhüllenden Fläche erfordert die höchsten Heizkosten. Das Verhältnis von Außenflächen des Hauses zur Wohnfläche ist besonders ungünstig. Die Dachfläche und die meist großen Fensterflächen sind die schwächsten Stellen im Wärmeschutz dieses Hauses.

Wärmepumpe



Mit dem Einsatz der Arbeit L
wird die Wärmemenge $Q = Q_0 + L$
auf das höhere Temperaturniveau "Gepumpt"

Leistungsziffer

$$Q / L = T / T - T_0 = \varepsilon$$

Arbeitszahl

$$Q / Q_0 = \beta$$

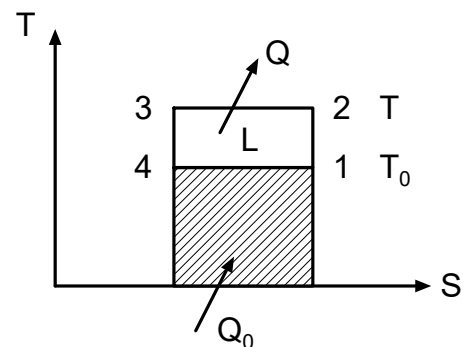
Beispiel:

$T_0 = 275^\circ\text{K} (2^\circ\text{C})$ Flusswasser
 $T_0 = 293^\circ\text{K} (20^\circ\text{C})$ Zimmertemperatur
 $Q/L = 16,3$
 Bei 1 kW Leistung könnten somit
 $16,3 \cdot 860 \text{ KCal / h}$ Heizenergie = 14 000 KCal / h
 bereitgestellt werden. Aber nur 860 KCal / h mit
 einer elektrischen Widerstandsheizung.

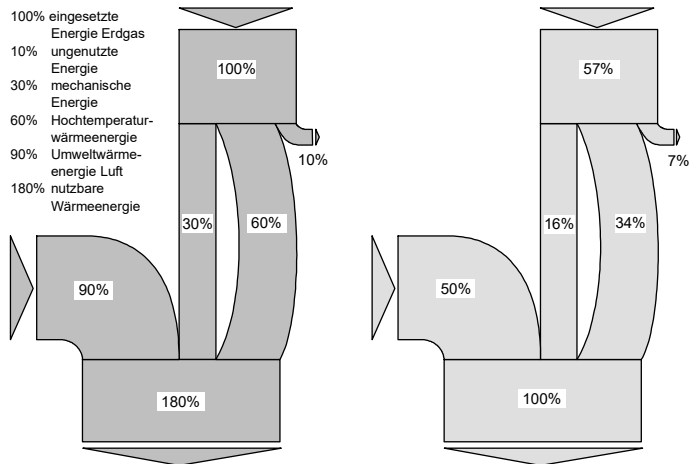
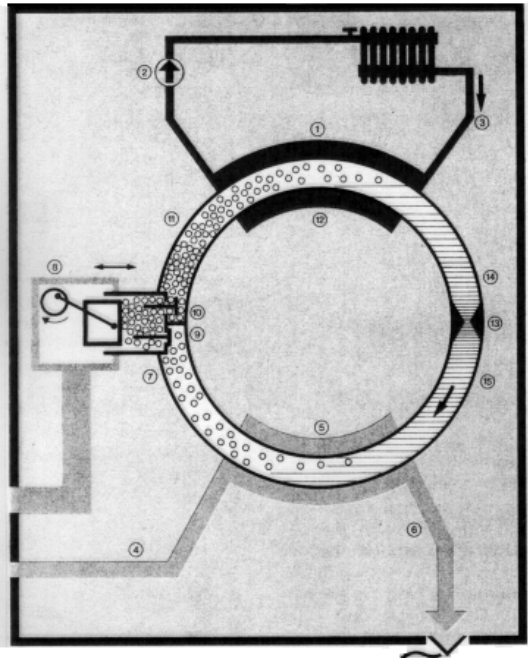
Wärmezufuhr bei T_0 (Q_0)
 Wärmeentzug bei T (Q)
 Dazu benötigte Arbeit $L = Q - Q_0$

Theoretischer Ansatz

Wärmepumpe = Linkslaufender
Carnot - Prozess



Gasbetriebene Wärmepumpe Primärenergie – Einsatz, dezentral am Verbraucherort



Heizkreislauf

1. Wärmequelle, Kondensator, der Heizkreislauf übernimmt die Wärme des Arbeitsmittels des Kreislaufs
2. Vorlauf
3. Rücklauf

Wasserkreislauf

4. Wärmeträger z. B. Grundwasser
5. Verdampfer, die Wärme des Wassers wird von dem Arbeitsmittel des Kreislaufes übernommen
6. Ablauf des Wassers, dem die Wärme entzogen ist

Kreislauf des Arbeitsmittels der Wärmepumpe

7. niedere Temperatur
8. Kompressormotor betrieben mit Erdgas
9. Saugseite
10. Druckseite, hoher Druck = hohe Temperatur
11. hohe Temperatur
12. Kondensator, die Wärme wird vom Arbeitsmittel auf das Heizwasser übertragen
13. Drossel
14. Hochdruck
15. Niederdruck

Kältemittel

Beim Kühlprozeß und auch in Wärmepumpen wird ein dampf- oder gasförmiger Hilfsstoff verwendet, der meist einen geschlossenen Kreislauf mit Zustandsänderung durchläuft. Das Kühlmittel entzieht dem zu kühlenden Gut die Wärme und gibt diese Wärme an die Umgebung ab.

Anforderungen an das Kühlmittel:

Chemisch-physiologisch: – Unter allen Betriebsbedingungen chemisch stabil, neutral, nicht brennbar, nicht explosiv, nicht giftig, geruchlos, Kühlgut nicht beeinträchtigend. Falls Giftigkeit vorliegt, Warnung durch Geruch erwünscht (z.B. NH_3).

Physikalisch: – Bei den verschiedenen Temperaturen Dampfdrücke nicht sehr hoch und nicht sehr tief, Zersetzungstemperatur hoch, Erstarrungstemperatur genügend tief wegen Eisbildung, Verdampfungs- und spezifische Wärmehoch, hohe Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Widerstand günstig, kleine Viskosität und spezifisches Gewicht erwünscht, keine Mischung mit Öl, geringe Löslichkeit von Wasser vorteilhaft, spezifische Kälteleistung (bezogen auf Energiebedarf und Volumen) möglichst hoch, günstiger Preis und leichte Verfügbarkeit.

Verwendung: Wegen seiner ausgezeichneten thermischen Eigenschaften Verwendung von NH_3 besonders in Großanlagen. NH_3 scheidet aber wegen seiner Giftigkeit und wegen Regelschwierigkeiten für Kleinanlagen aus. Heute immer noch Verwendung von FCKW. Freon, auch Frigen, Arcton, CF, Flurion oder Isceon, alles Fluor-(Chlor-) Derivate von Kohlenwasserstoffen der Formel $\text{C}_m\text{H}_n\text{F}_p\text{Cl}_q$, wobei $n + p + q = 2m + 2$ ist. Daraus ergibt sich indirekt das Kurzzeichen F 11, F 12, F 114 usw.

Kältemittel	Formel	molare Masse kg/kmol	Schmelz- temperatur ° C	Siede- temperatur ° C	kritische Daten		Dampfdruck	
					Temperatur T_{krit} ° C	Druck P_{krit} bar	-15° C P_0 bar	+ 30° C P bar
Ethylen	C ₂ H ₄	28,05	- 169,15	-103,75	9,25	50,4	28,89	—
Distickstoffoxid	N ₂ O	44,01	- 90,85	-88,45	36,45	71,6	22,96	2,74
Ethan	C ₂ H ₆	30,07	- 183,25	88,65	32,25	48,8	16,31	47,07
Kohlendioxid	CO ₂	44,01	-56,55	78,45 ¹⁾	31,05	72,95	22,89	71,92
* Refrigerant 502 ³⁾		111,6	- 160,0	-45,6	82,16	40,75	3,49	13,19
○ Propan	C ₃ H ₈	44,10	- 187,65	-42,05	96,65	42,4	2,889	10,81
◆ Refrigerant 22	CHF ₂ Cl	86,47	- 160,15	-40,75	96,05	49,7	2,96	11,88
Refrigerant 115	C ₂ ClF ₅	154,48	- 106,0	-38,0	80,0	31,3	2,64	10,28
Refrigerant 500 ⁴⁾		99,29	- 159,0	-33,50	105,5	44,3	2,15	8,78
Ammoniak	NH ₃	17,03	- 80,0	-33,45	132,3	111,3	2,363	11,665
* Refrigerant 12	CF ₂ Cl ₂	120,91	- 157,75	-29,75	111,85	41,2	1,826	7,47
Methylchlorid	CH ₃ Cl	50,49	- 97,7	-24,25	143,15	66,8	1,458	6,529
Isobutan	C ₄ H ₁₀	58,12	- 159,55	-11,85	134,95	36,5	0,901	4,102
Schwefeldioxid	SO ₂	64,06	- 75,45	-10,15	157,65	78,8	0,807	4,619
Refrigerant 114	C ₂ F ₄ Cl ₂	170,92	- 93,85	3,6	145,75	32,6	0,468	2,520
Ethylchlorid	C ₂ H ₅ Cl	64,51	- 136,35	12,25	187,25	52,7	0,319	1,868
Refrigerant 11	CFC1 ₃	137,37	- 111,15	23,85	198,05	44,1	0,201	1,27
Methylenchlorid	CH ₂ Cl ₂	84,93	- 95,95	39,85	236,85	60,8	0,085	0,689
Refrigerant 113	C ₂ F ₃ Cl ₃	187,38	- 34,95	47,55	214,05	34,1	0,0690	0,542
Wasser bei + 5/+ 30 °C	H ₂ O	18,02	0,00	100,0	374,1	218,31	0,0087	0,042

Kältemittel	Formel	Druck- verhält- nis P/P_0	spezi- fisches Volumen des Dampfes bei -15°C v' m ³ /kg	theo- retisches Hub- volumen für 1kWh (- 15 / + 30 °C) V_s m ³ /kWh	umlauf. Kältemit- tel- menge je kW G_k kg/min	umlauf. Kältemit- tel- menge je kW Flüssig- keit von + 30°C dm ³ /min	spezi- fische Kälte- leistung (- 15 / + 30°C) K_{th} kWh/kWh	volume- trische Kälte- leistung (- 15 / + 30°C) q_{oth} Wh/m ³	End- temperatur adi- abatischer Verdichtung (- 15 / + 30°C) t' °C
Ethylen	C ₂ H ₄	5,00	0,0172	0,677	0,574	—	3,080	1477,0	—
Distickstoffoxid	N ₂ O	2,79	0,0192	0,353	0,304	0,332	3,602	2837,0	—
Ethan	C ₂ H ₆	2,88	0,0332	0,72	0,432	1,51	2,164	1137,0	—
Kohlendioxid	CO ₂	3,14	0,0166	0,431	0,465	0,78	2,583	2262,0	71,0
* Refrigerant 502 ³⁾		3,78	0,05002	1,725	0,575	0,482	4,353	579,7	37,2
○ Propan	C ₃ H ₈	3,74	0,1556	1,976	0,208	0,427	4,625	507,0	36,0
◆ Refrigerant 22	CHF ₂ Cl	4,01	0,0777	1,721	0,369	0,314	4,650	580,9	55,4
Refrigerant 115	C ₂ ClF ₅	3,89	0,05033	2,338	0,774	0,616	4,251	427,7	36,2 ²⁾
Refrigerant 500 ⁴⁾		4,08	0,09360	2,288	0,425	0,373	4,696	418,7	40,3
Ammoniak	NH ₃	4,94	0,5087	1,662	0,0544	0,0912	4,766	602,0	99,0
* Refrigerant 12	CF ₂ Cl ₂	4,08	0,09145	2,810	0,512	0,397	4,711	355,9	38,1
Methylchlorid	CH ₃ Cl	4,48	0,279	2,876	0,172	0,191	4,625	347,7	81,0
Isobutan	C ₄ H ₁₀	4,55	0,400	5,556	0,231	0,425	4,357	180,3	27,0
Schwefeldioxid	SO ₂	5,73	0,4058	4,381	0,181	0,133	4,869	228,3	91,0
Refrigerant 114	C ₂ F ₄ Cl ₂	5,36	0,27461	9,479	0,575	0,398	4,644	105,5	30,2 ²⁾
Ethylchlorid	C ₂ H ₅ Cl	5,87	1,005	10,929	0,182	0,207	5,208	91,3	41,0
Refrigerant 11	CFC1 ₃	6,35	0,76674	17,605	0,383	0,262	5,026	56,8	43,5
Methylenchlorid	CH ₂ Cl ₂	8,11	2,949	35,901	0,193	0,149	4,874	41,5	96,0
Refrigerant 113	C ₂ F ₃ Cl ₃	7,71	1,71020	48,309	0,471	0,303	4,918	20,7	35,6 ²⁾
Wasser bei + 5/+ 30 °C	H ₂ O	4,83	147,2	230,28	0,026	0,0252	4,194	4,51	139,0

¹⁾ Sublimationstemperatur

²⁾ Unter Berücksichtigung einer Saugdampfüberhitzung von 10K

³⁾ Azeotrop aus 48,8 Prozent R22 und 51,2 Prozent R115 (Massengehalt)

⁴⁾ Azeotrop aus 37,8 Prozent R12 und 26,2 Prozent R152a (Massengehalt)

○ in Zukunft zu verwenden

◆ bis 1999 zugelassen

* seit 1.1.1995 verboten

Bezeichnung	brennbar	explosiv	Giftigkeit	Wirkg.au f Kühlgut	Angriff auf ²⁾
Ammoniak	bedingt	bedingt	stark	+	1, 2, 4
Kohlendioxid	—	—	kaum	—	—
Schwefeldioxid	—	—	sehr stark	+	3, 1 (5)
F12 ¹⁾	—	—	nein	—	6
F22	—	—	kaum	—	6
Methylchlorid	bedingt	kaum	wenig	kaum	2, 5, 6

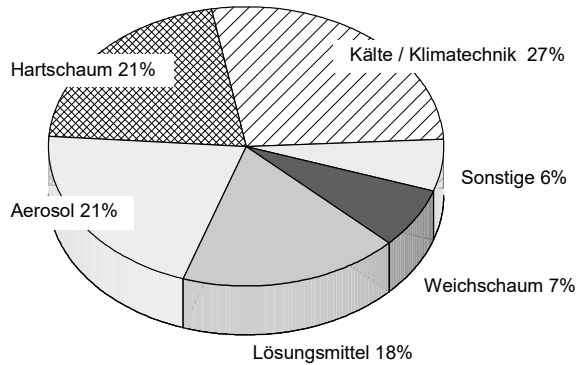
¹⁾ Frigen oder Freon

²⁾ 1 = Cu, 2 = Zn, 3 = Fe, 4 = Ms, 5 = Al, 6 = Mg

Physikalische Daten wichtiger Kältemittel

**Weltmarkt für
vollhalogenierte FCKW**

1,08 Mio. t (1987, geschätzt)



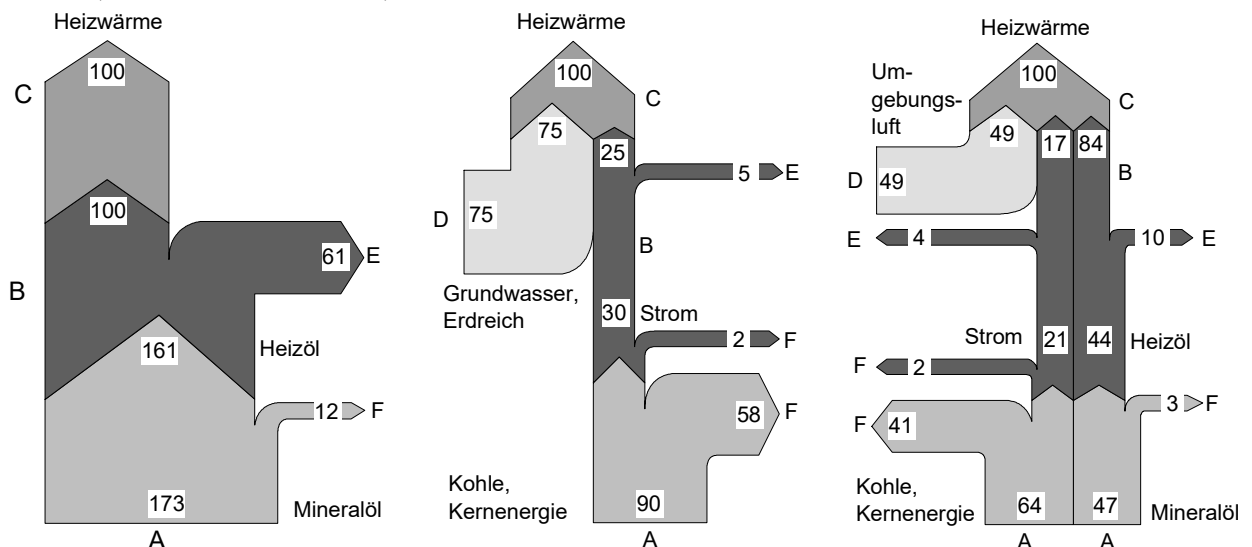
Quelle: Hoechst

Problemstoff FCKW - Nicht nur ein Kältemittel

Schaumproduktion und FCKW -Verbrauch

Schaumtyp	Produktionsmenge (t)	FCKW - Verbrauch (R11)
PUR - Weichschaum	128 000	3 500
PUR - Hartschaum	63 000	8 000
Sonstige PUR - Schäume	65 000	5 000
Trennmittel für PUR - Schäume	—	2 000
XPS (Wärmedämmung)	27 000	4 000
PS - Schaum für Verpackung	5 000	500
PE - Schaum	7 500	500
Gesamt	295 000	24 000

(Quelle: Umweltbundesamt, 1986)

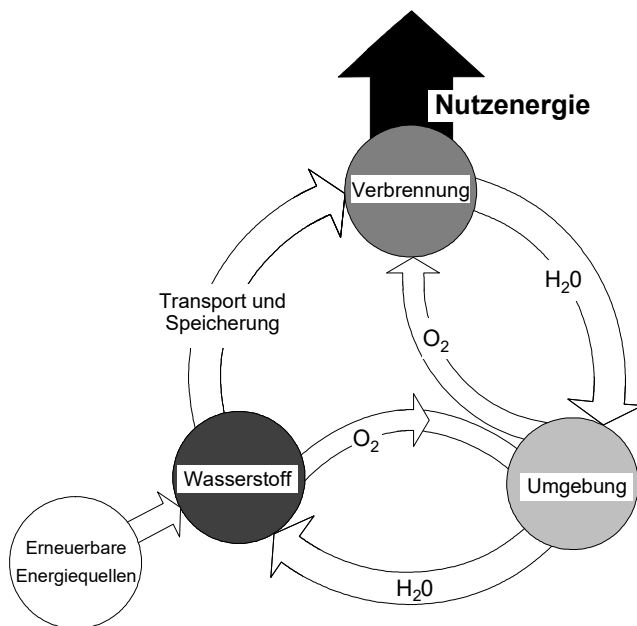


Energiefluß bei der Ölheizung (links), bei monovalentem Wärmepumpenbetrieb (Mitte) und bei bivalentem Wärmepumpenbetrieb (rechts). Die Zahlen geben die Anzahl der Energieeinheit an.

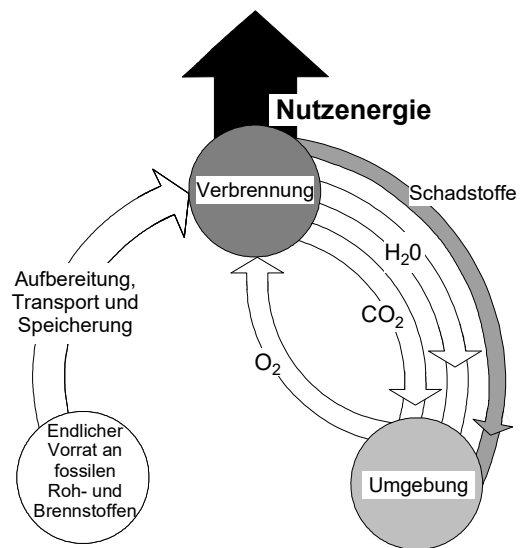
A	Primärenergie
B	Sekundärenergie = Endenergie
C	Nutzenergie
D	Sonnenenergie
E	Umwandlungsverluste am Verbrauchsort
F	Umwandlungsverluste der Energiebereitstellung

Ölheizung und Wärmepumpe im Vergleich

Zwei mögliche Energiepfade

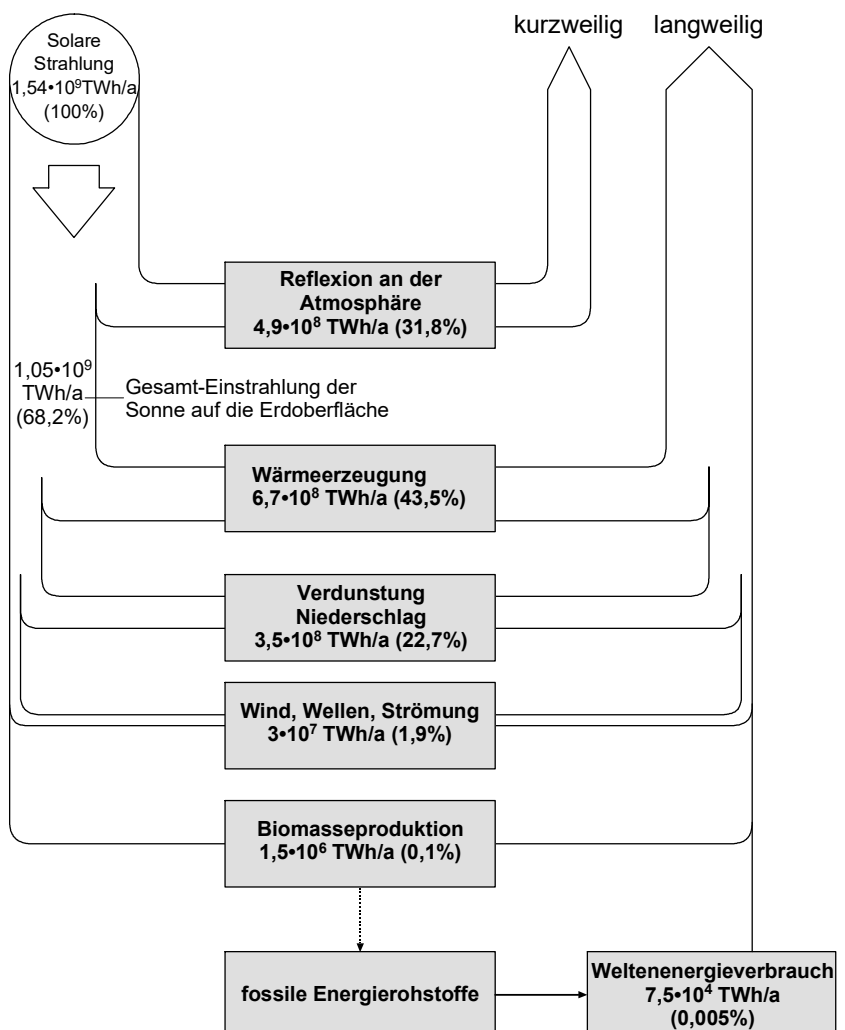


Die Welt - Wasserstoff-
Energiewirtschaft



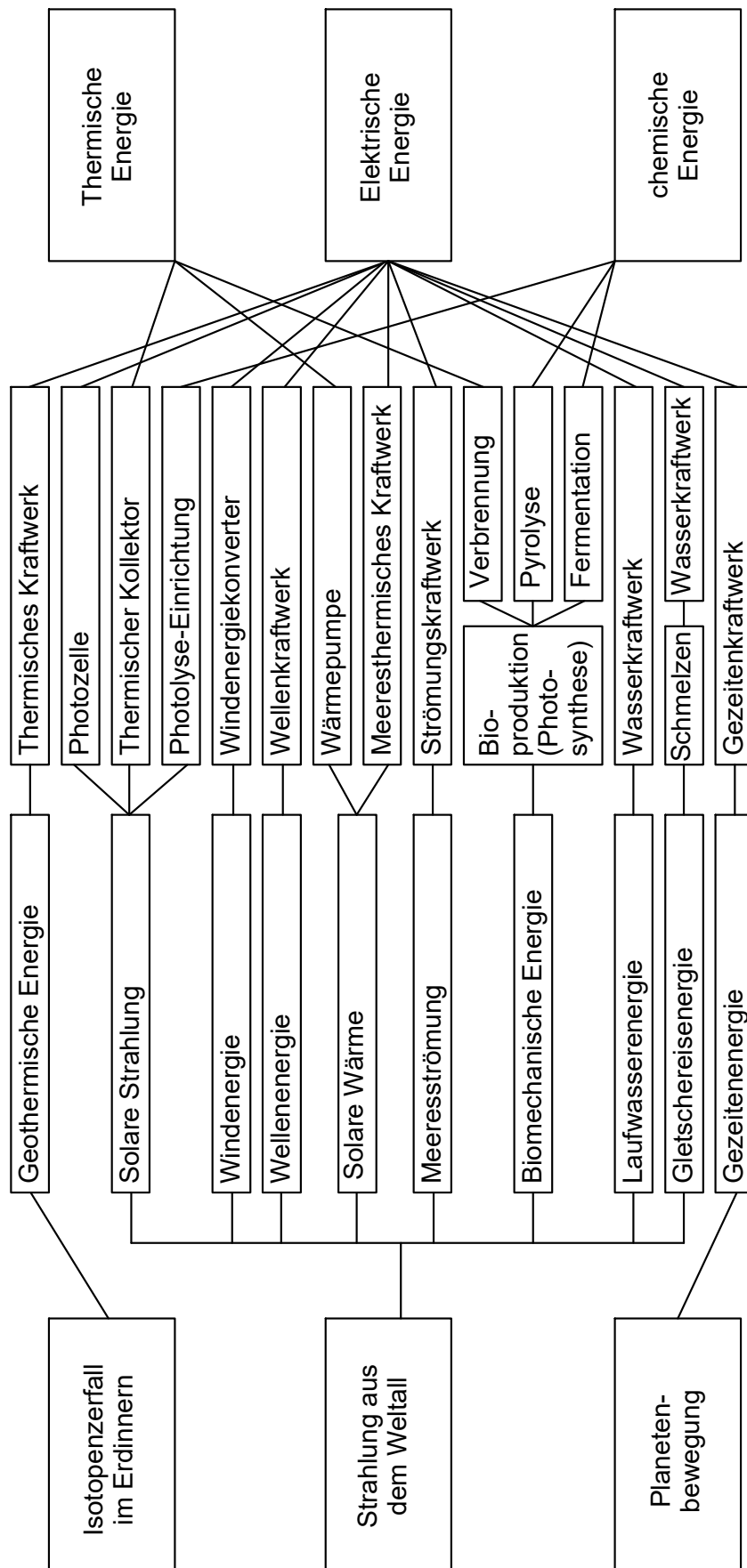
Die Welt - Kohlenwasserstoff-
Energiewirtschaft

Solarenergiefluß der Erde



Bevor ihr Euch streitet, klärt die Begriffe. Konfuzius

Übersicht - Regenerative Energiequellen



Primäre Quelle → Nutzbare Quelle → Natürliche bzw. anthropogen Energiewandlung ↔ Sekundärenergie

Geothermische Energien

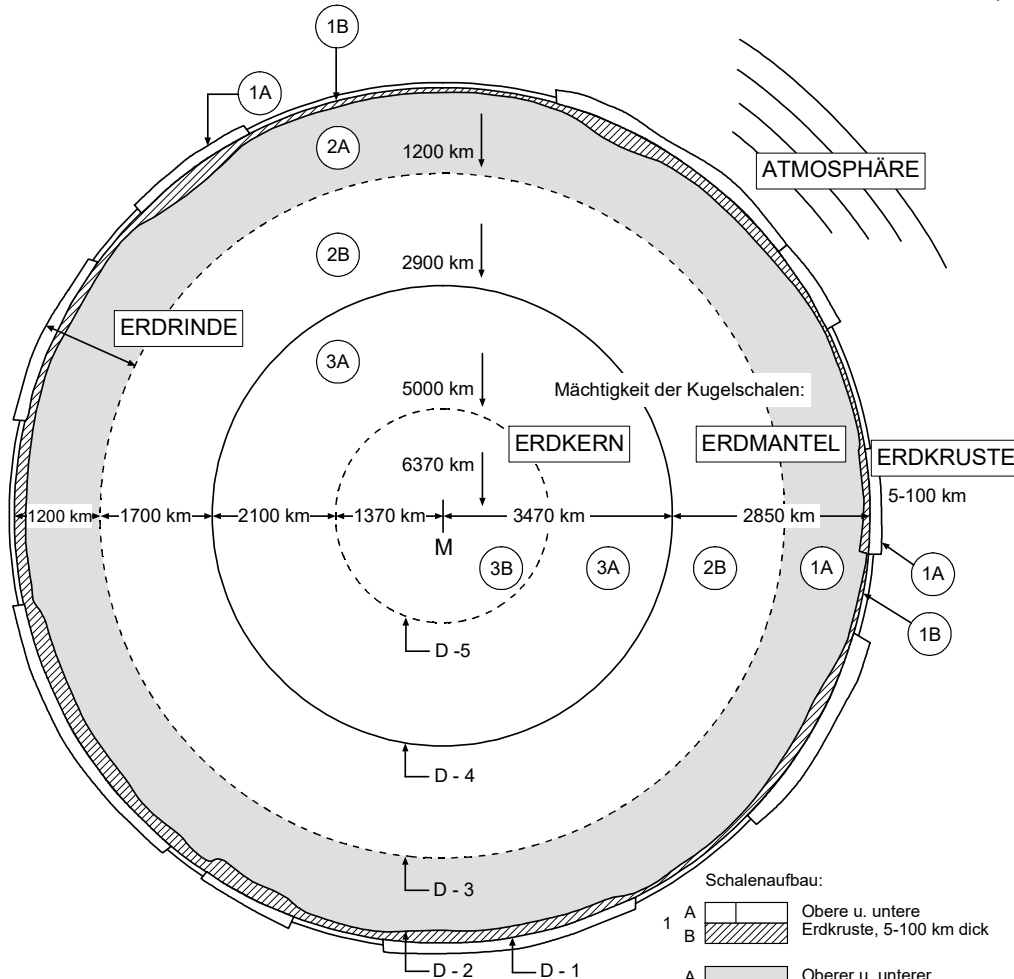
Wir leben auf einer Eierschale

Abmessungen Ei: Oval 45/60 mm

Wandstärke ca. 0,4 mm, d.h. 1%

Erddurchmesser 12 756 km,

Erdkruste ca. 100 km, d.h. 1%



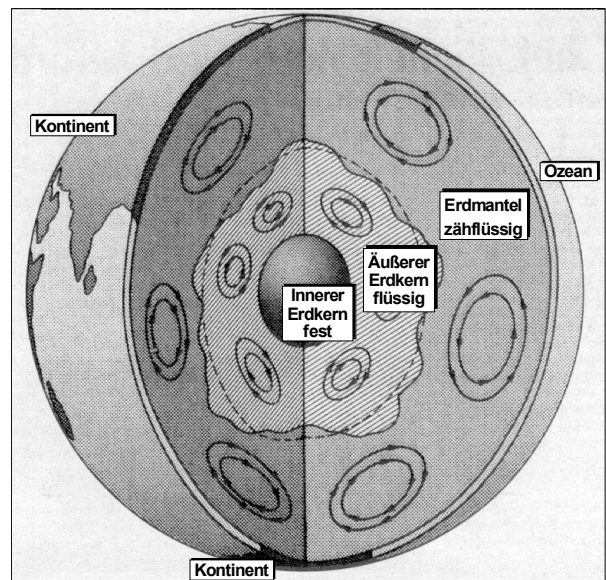
**Schalenaufbau
der Erdkugel
(alte Theorie)**

Schalenaufbau der Erdkugel. Die Kreislinien entsprechen der Tiefenlage der durch Messung von Erdbebenwellen festgestellten Unstetigkeitsflächen:

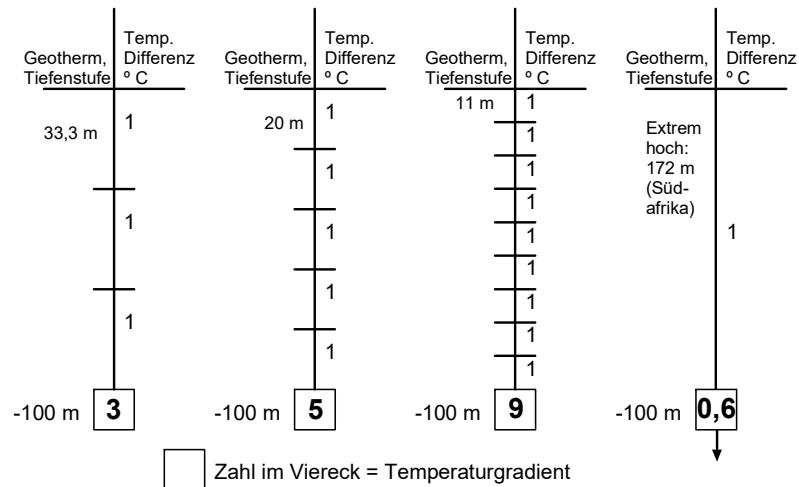
- D - 1 = Conrad-Diskontinuität (im Ø 16 km Tiefe)
- D - 2 = Mohorovicic- Diskontinuität („Moho“, in Ø 5km Tiefe)
- D - 3 = Grenzschrift oberer/unterer Erdmantel (in 1200 km Tiefe)
- D - 4 = Wiechert-Gutenberg- Diskontinuität (in 2900 km Tiefe)
- D - 5 = Grenzschrift äußerer/innerer Erdkern (in 5000 km Tiefe)

Der Erdkern hat Beulen und Dellen (neue Theorie)

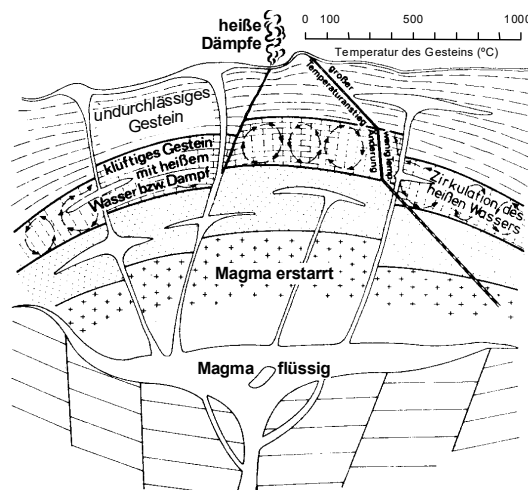
Wärmequellen im Erdinneren
Führen zur Zirkulation von
Riesigen Materialmengen



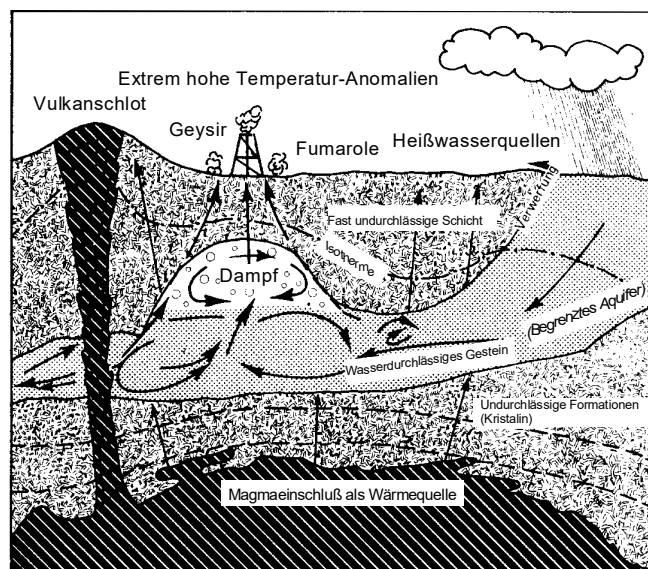
Quelle: Andreas Vogel



Anomalien, geothermische Tiefenstufe, geothermischer Temperaturgradient

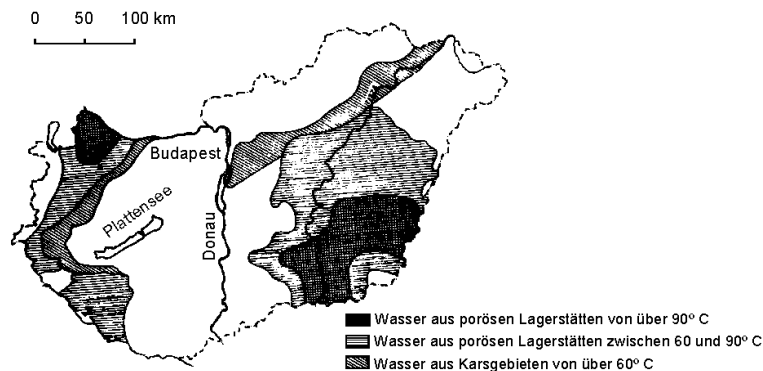


Geologischer Aufbau einer natürlichen Dampfagerstätte

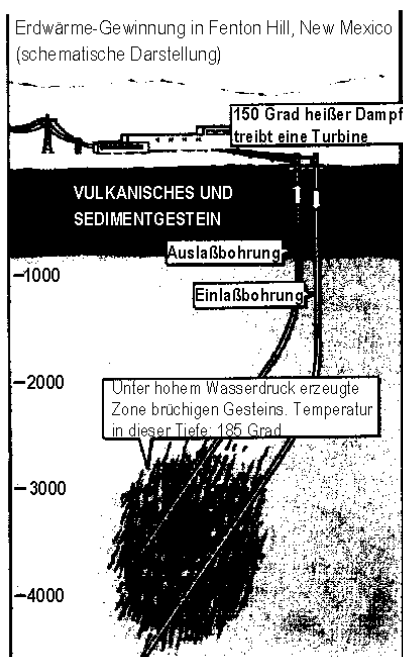
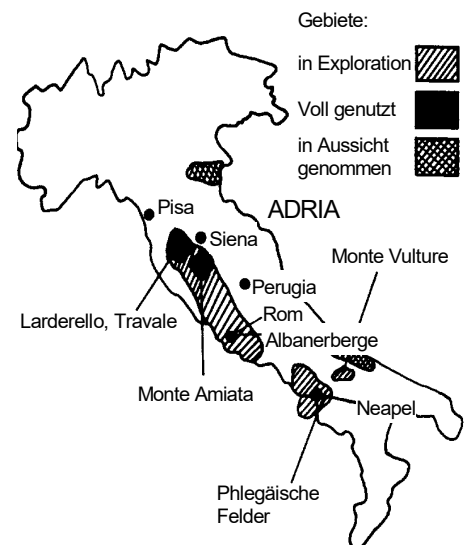


Formen geothermischer Lagerstätten in der Toskana

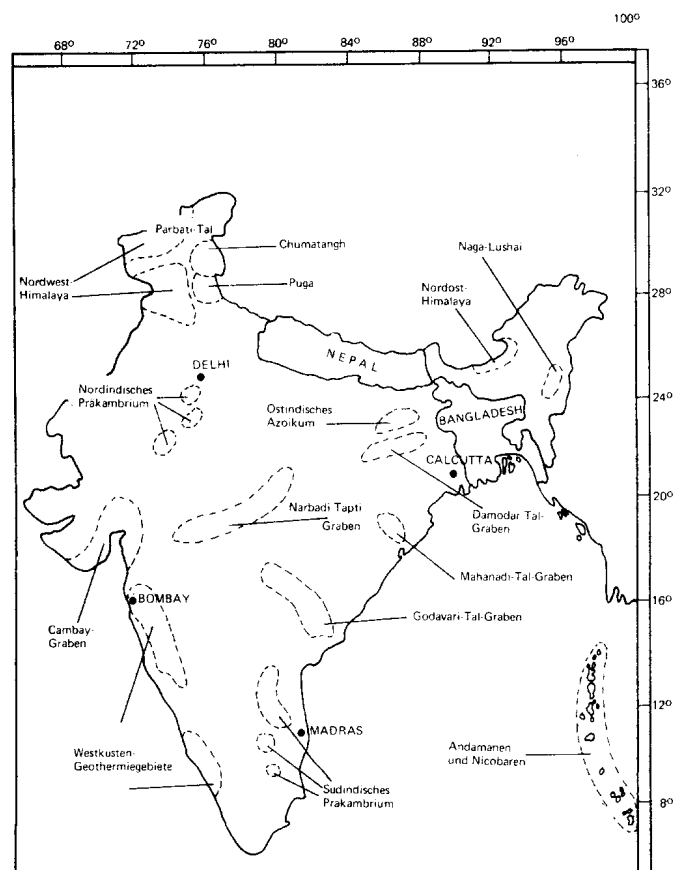
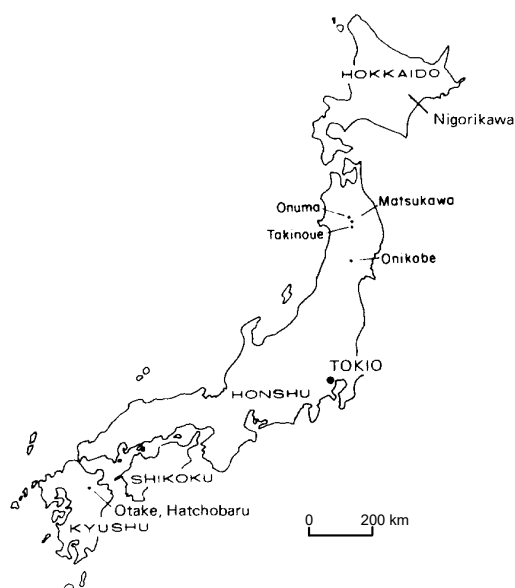


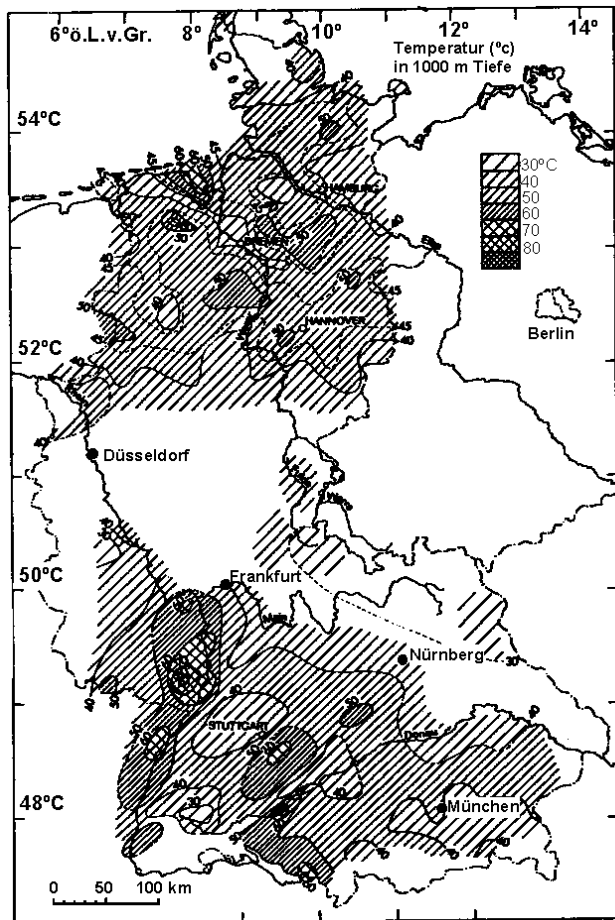


Geothermisch genutzte bzw. nutzbare Gebiete in Ungarn

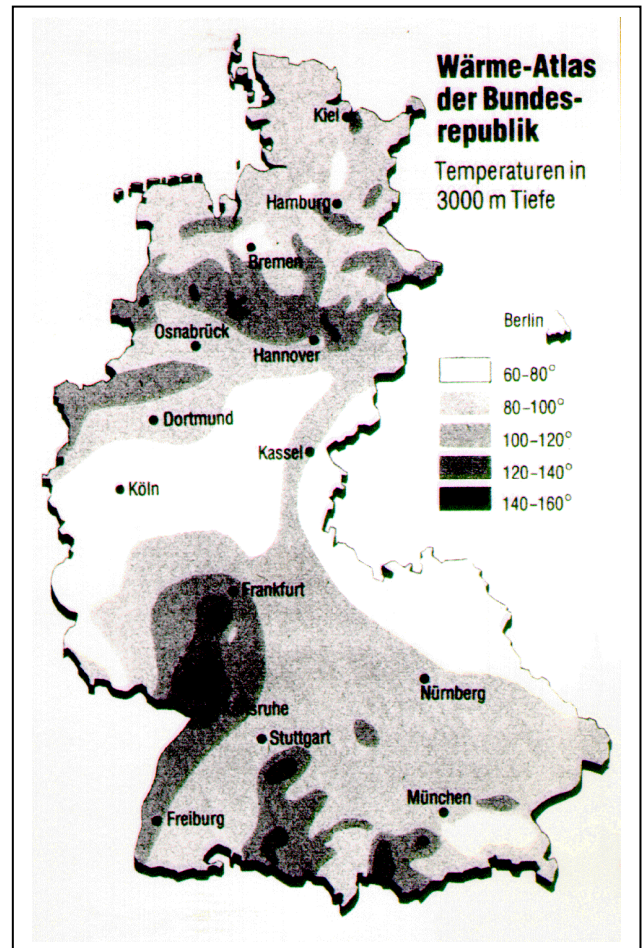


Geothermie in Ungarn, Italien, New Mexico, Japan, und Indien





Isothermen für die Bundesrepublik
Deutschland (1000m Tiefe)



	$E_{th, 7}$		$E_{th, 4-6}$	E_{Ano}	$P_{th, 30}$	P_{HFU}
	J	TWh	TWh	TWh	TWh/a	TWh/a
Welt ¹⁾	$1,25 \cdot 10^{26}$	$3,5 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$4,4 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^4$
EG	$1,2 \cdot 10^{24}$	$3,5 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$	?	$5,0 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^2$
BRD	$2,0 \cdot 10^{23}$	$5,8 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	>97 ²⁾	$8,3 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^2$

¹⁾ nur Landflächen

²⁾ nur Oberrheingraben

$E_{th,7}$ = Thermisches Energiepotential bis 7 km Tiefe bei Abkühlung auf 80°C

$E_{th,4-6}$ = Thermisches Energiepotential des Tiefenintervalls von 4 bis 6 km bei Abkühlung auf 130° (Hot-Dry-Rock)

E_{Ano} = Thermisches Energiepotential der geothermischen Anomalien

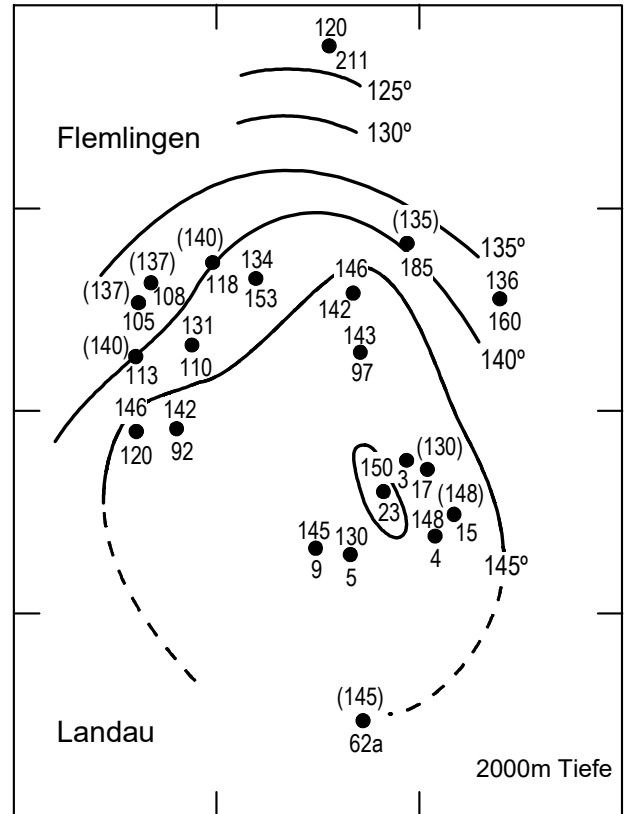
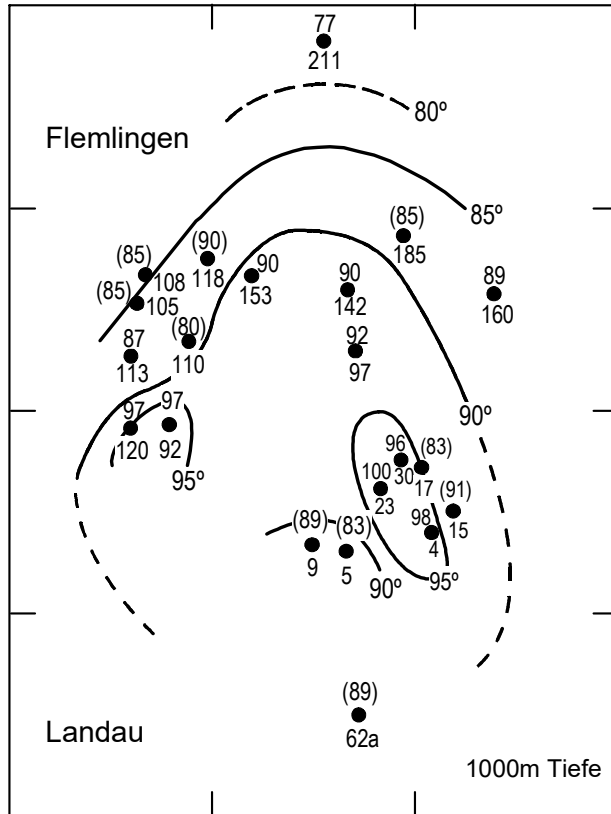
$P_{th,30}$ = Jährliches Leistungspotential bei Nutzung von E_{th} in 30 Jahren (ohne Wärmestrom)

P_{HFU} = Jährliches Leistungspotential bei ausschließlicher Nutzung des Erdwärmestroms

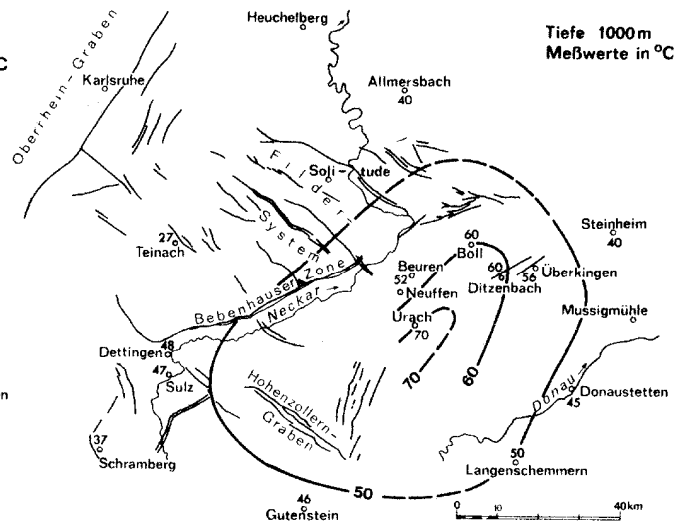
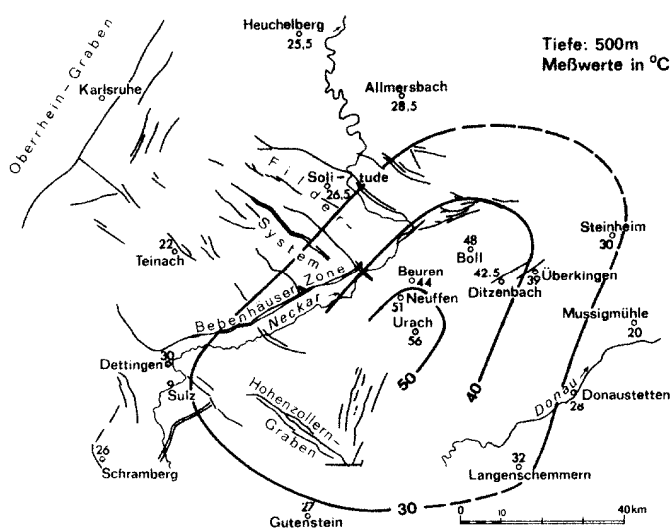
(HFU = Heat Flux Unit = $4,184 \cdot 10^{-6} \text{ J/cm}^2 \cdot \text{sec}$)

Theoretisches Potential der geothermischen Energie

Temperaturverlauf im Untergrund der Anomalien von Landau und Urach



Landau



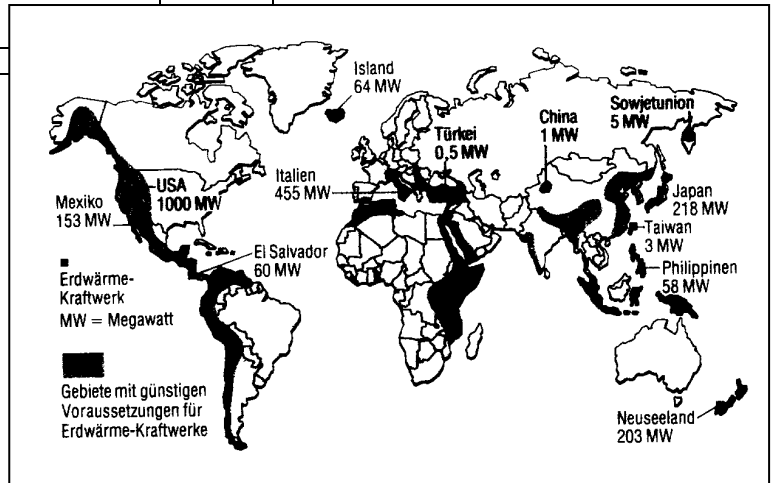
Urach

	Leistung (MW)			Temp. C°	Reservoir		Medium	Bemerkung
	ges.	Block	Bohr.		Druck bar	Tiefe m		
The Geysers, USA	502	11-	7	245	8-10	2500	Dampf	Wasser- Dampf-Leit. Freon, $\eta = 1.2\%$ Heizung Heizung + Kühlung Wasser- produktion
Lardarello, Ital.	390			245		1000	Dampf	
Wairakei, Neuseel.	290	30	5	245	5,6- 12,5		Wasser	
Otake, Japan	13			136(t)	3,3 ¹⁾	500	Wasser	
Hatchobaru, Japan ²⁾							Wasser	
Paratunka, UdSSR	0.75	0.34		831)	3 ¹⁾	300- 600	Wasser	
Reykjavik, Island	-	-	-	80		1750	Sole	
Rotorua, Neuseel.	-	-	-	150	7		Wasser	
Imperial Valley, USA	-	-	-	154- 204 ¹⁾		1800- 2400	Wasser	
Matsukawa, Japan	20			230		1100	Dampf	
Pautzhetsk, UdSSR	5			200		600	Wasser	
Cerro Prieto, New-Mexico	75			300		1500	Wasser	
Niland, New-Mexico				300		1300		
Ahuachapan, Mexico				230		1000	Wasser	
Hveragerdi, Island				260		800	Wasser	
Namafjall, Island	3			280		900	Wasser	
Pathé, Mexico	3,5							
Onuma, Japan	10							
Tiwi, Philippinen								
Mt. Amiata, Ital.	25							
gesamt	1351,2							

¹⁾ Bohrkopf

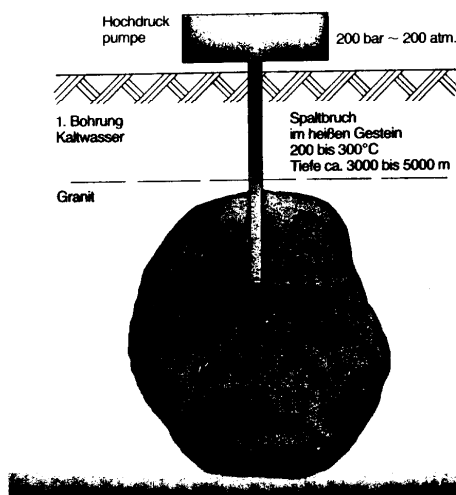
²⁾ Inbetriebnahme 1977

Bekannte geothermische Nutzungssysteme; Lage, Art und Größe

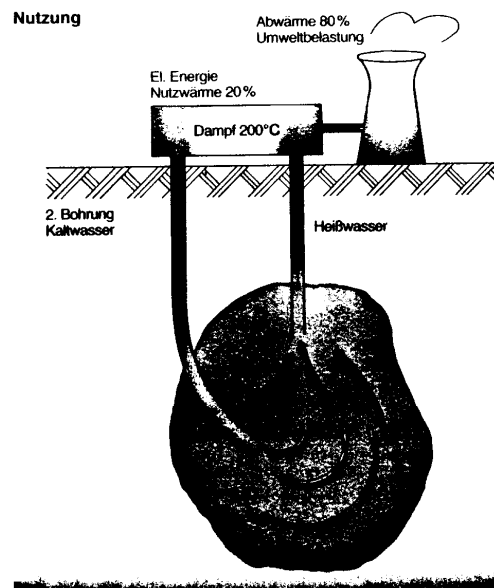


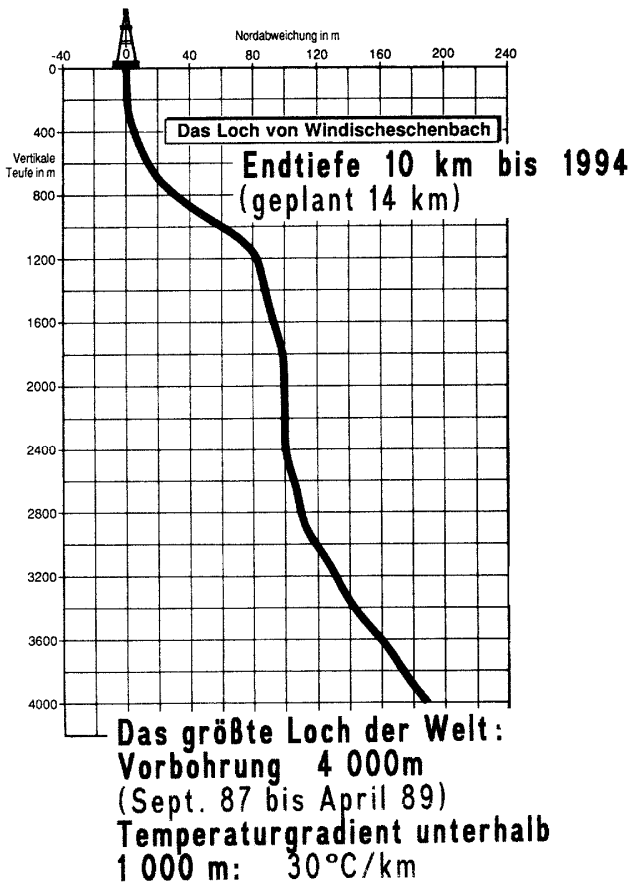
Hot - dry - rock - Verfahren Vorbereitung und Nutzung (schematisch)

Vorbereitung



Nutzung





Bundesrepublik als geothermischer
Wärmetauscher: Leistungs- und
Energiepotenzial über heat flux unit

HEAT FLUX UNIT

$$HFU = 4.184 \cdot 10^{-6} \text{ WS/CM}^2 \cdot \text{S}$$

Fläche BR Deutschland

$$248 \cdot 10^{13} \text{ CM}^2 \text{ (248 000 KM}^2\text{)}$$

LEISTUNGSPOTENZIAL

$$10\,370 \text{ MW (1037 } 10^7 \text{ W)}$$

ENERGIEPOTENZIAL

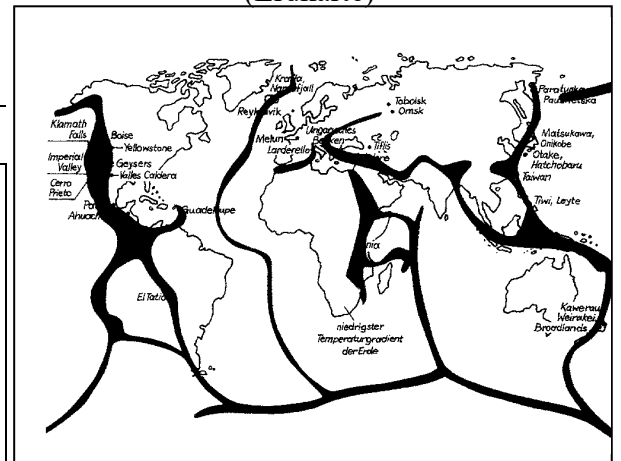
$$91 \text{ TWH / A}$$

INSTITUT FÜR
FLUGZEUGBAU

GEOOTHERMIE

UNIVERSITÄT
IFB
STUTTGART

Zonen der Anomalien (Erdkarte)



Geothermische Energie für Raumheizung und Prozeßwärme

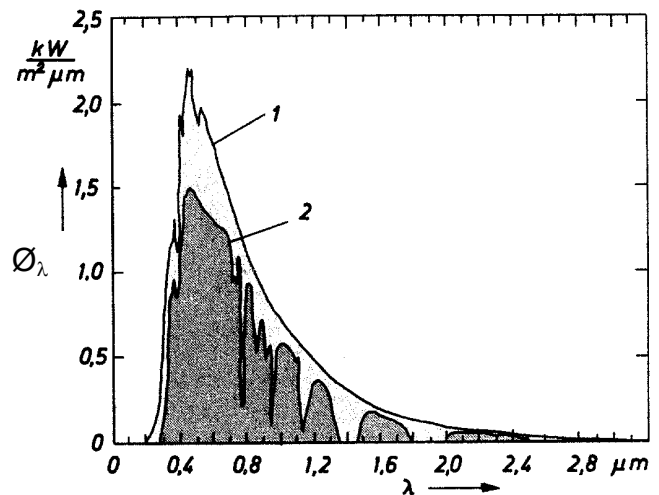
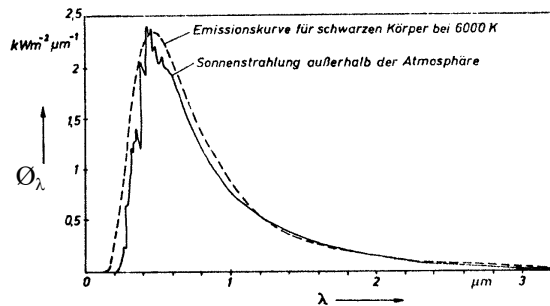
Land	maximale thermische Leistung
Island	1096 MW
Ungarn	959 MW
UdSSR	555 MW
VR China	339 MW
Neuseeland	226 MW
USA	221 MW
Italien	190 MW
Frankreich	180 MW
Japan	90 MW
Rumänien	36 MW
Tschechoslowakei	35 MW
Jugoslawien	14 MW
Welt	4 050 MW

Bis 1985 weltweit erreicht
(Heizung und Strom)

Geothermische Energie zur Elektrizitätserzeugung

Land	installierte elektrische Leistung
USA	1038 MW
Philippinen	608 MW
Italien	460 MW
Neuseeland	300 MW
Japan	290 MW
Mexiko	153 MW
El Salvador	95 MW
Island	63 MW
Indonesien	30 MW
Kenia	30 MW
UdSSR	16 MW
Welt	3090 MW

Solarenergie



Solare Strahlung

Bereich	Spektralbereich	Bestrahlungs- Stärke	Prozente der Solarkonst
	um	W/m ²	%
Ultraviolett		125	9
UV - C	< 0,28	7,1	0,5
UV - B	0,28 - 0,315	20	1,4
UV - A	0,315 - 0,40	98	7,0
Sichtb.Licht			
	0,38 - 0,44	98	7,0
	0,44 - 0,48	86	6,2
	0,48 - 0,52	80	5,7
	0,52 - 0,56	78	5,6
	0,56 - 0,60	76	5,4
	0,60 - 0,64	70	5,0
	0,64 - 0,68	60	4,3
	0,68 - 0,72	65	4,7
	0,72 - 0,78	81	5,8
Infrarot		601	43
IR - A	0,78 - 1,4	412	29,5
IR - B	1,4 - 3,0	161	11,5
IR - C	> 3,0	28	2,0

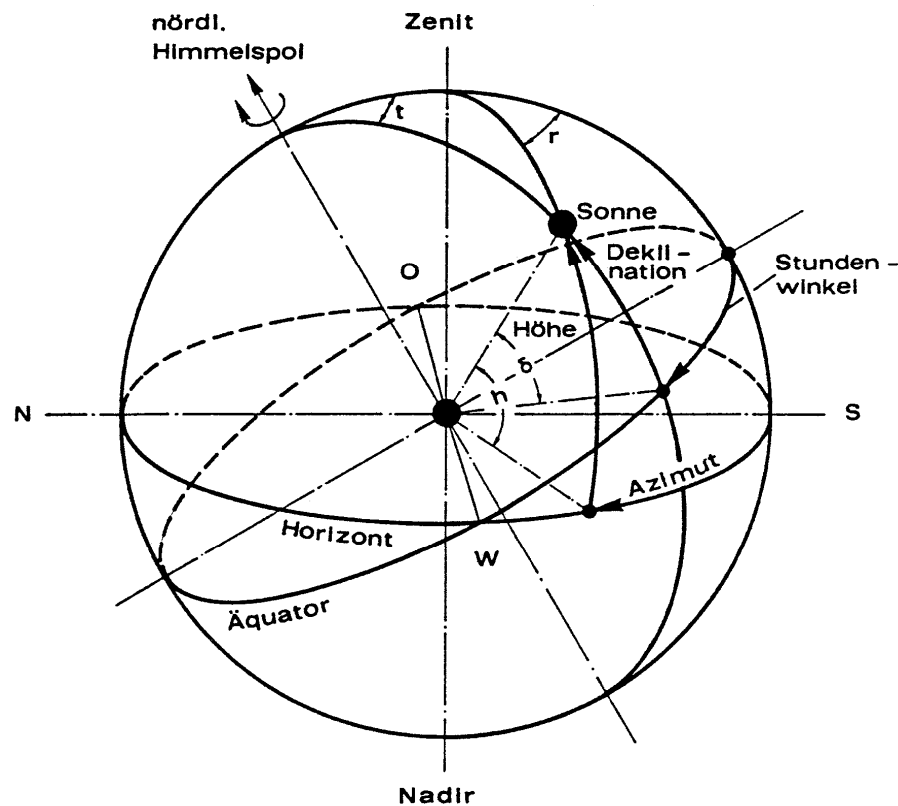
Spektralverteilung extraterrestrisch

Einstrahlung		Abstrahlung	
direkte Sonnen- Strahlung Φ_d	Global- Strahlung Φ	reflekt. direkte Sonnenstrahlung	reflekt- tierte Global- Strah- lung R
diffuse Himmels- Strahlung Φ_h		reflekt. direkte Himmelsstrahlung	
atmosphär. Gegenstrahlung A		reflekt. atmosphärische Gegenstrahlung	
		Austrahlung der Empfangs- fläche E	

Theoretisches Potential

	Φ W/m ²	A 10 ⁶ km ²	E _{th} TWh/a	E _{pr. 1973} TWh/a	E _{th} E _{pr. 1973}
Welt	224	510	1 · 10 ⁹	68 · 10 ³	14.700
Landfläche	200	130	2,6 · 10 ⁸	—	—
Europa	180	3,6	5,6 · 10 ⁶	1,2 · 10 ⁴	470
EG	180	1,5	2,4 · 10 ⁶	9,7 · 10 ³	250
BRD	116	0,25	2,5 · 10 ⁵	3 · 10 ³	85

Definition für den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen



Die Intensität der auf eine Fläche A unter dem Winkel Ψ einfallende extraterrestrische Sonnenstrahlung Φ ergibt sich aus:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot A \cdot \cos \Psi$$

Φ_0 = Solarkonstante ($1,35 \text{ kW/m}^2$)

Ψ = Winkel zwischen Flächennormalen und Sonnenstrahlen

Wird die Erde als Kugel angesehen, so erhält man für den Einfallswinkel Ψ :

$$\begin{aligned} \cos \Psi = & (\cos \alpha \sin \varphi - \cos \varphi \cos r \sin \alpha) \sin \delta \\ & + (\sin \varphi \cos r \sin \alpha + \cos \alpha \cos \varphi) \cos \delta \cos t \\ & + \sin r \sin \alpha \cos \delta \sin t \end{aligned}$$

- α = Neigungswinkel der Empfangsfläche
(Winkel zwischen Fläche und Horizontalebene)
- r = Aufstellrichtung der Empfangsfläche (Azimut, Süden = 0°)
- φ = Geographische Breite des Aufstellungsortes der Fläche
- δ = Deklination der Sonne
- t = Stundenwinkel der Sonne (Süden = 0°)

Die Deklination δ ergibt sich aus:

$$\delta = -23,5^\circ \cos 2\pi / 365 \cdot (n + 10)$$

Hierin bedeutet n die vom 1. Januar aus gezählten Tage eines Jahres.
(Der 21. Dezember ergibt $\delta = -23,5^\circ$)

Der Stundenwinkel t_A für den Sonnenaufgang bzw. t_U für den Sonnenuntergang berechnet sich aus:

$$t_A = -\pi/2 + \arcsin(\tan \delta \tan \varphi)$$

$$t_U = -t_A$$

Die maximale Intensität der Sonnenstrahlung an einem Tag erhält man aus der Extremwertbildung, daß Ψ sein tägliches Minimum annimmt. Die Tagessumme der Energie der extraterrestrischen Strahlung ergibt sich durch Integration über die Tageslänge:

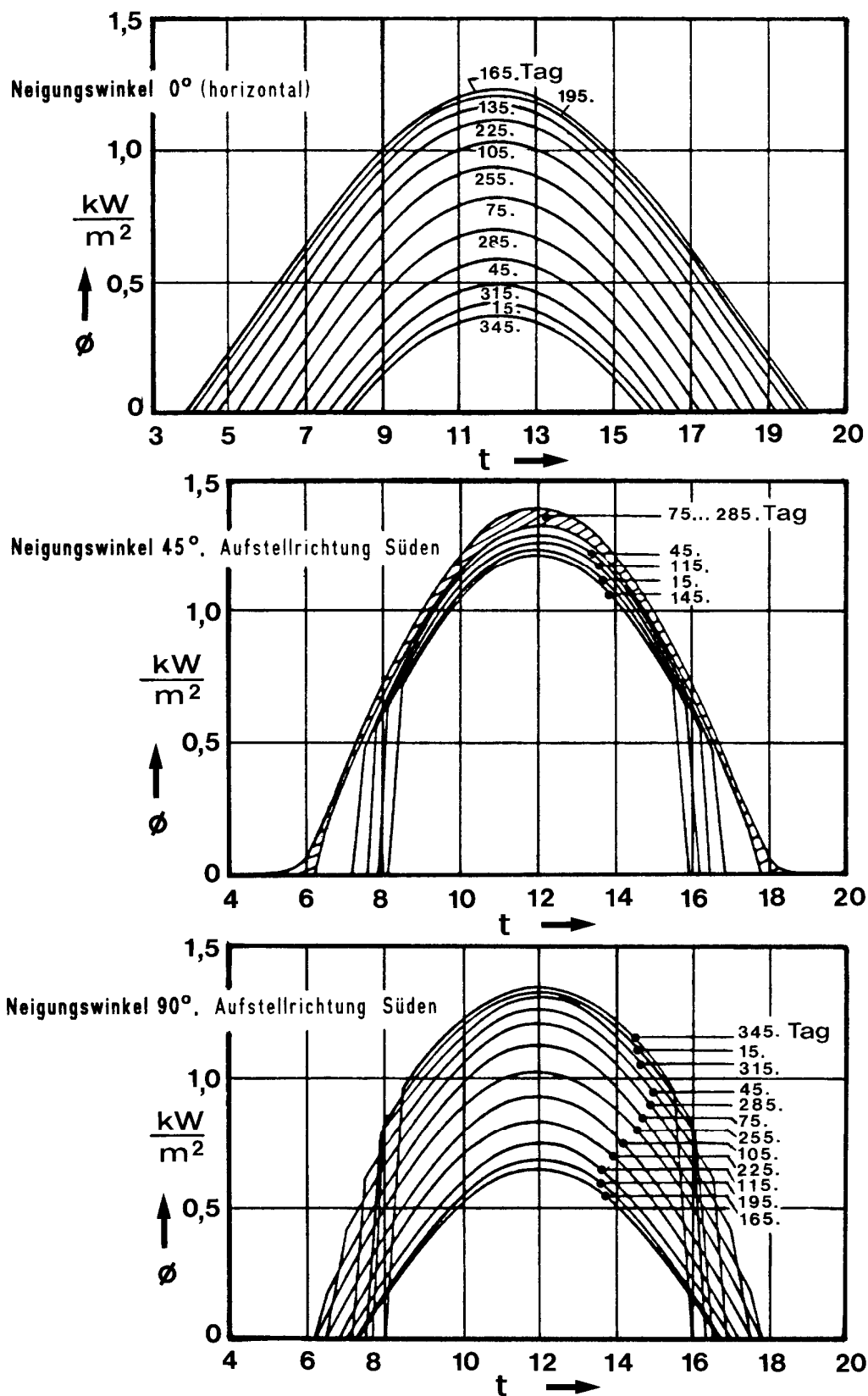
$$E = \Phi_0 / \omega \cdot \frac{u}{t_A} \int \cos \Psi dt$$

ω = scheinbare Umlauffrequenz der Sonne um die Erde = $2\pi / 24 \text{ h}^{-1}$

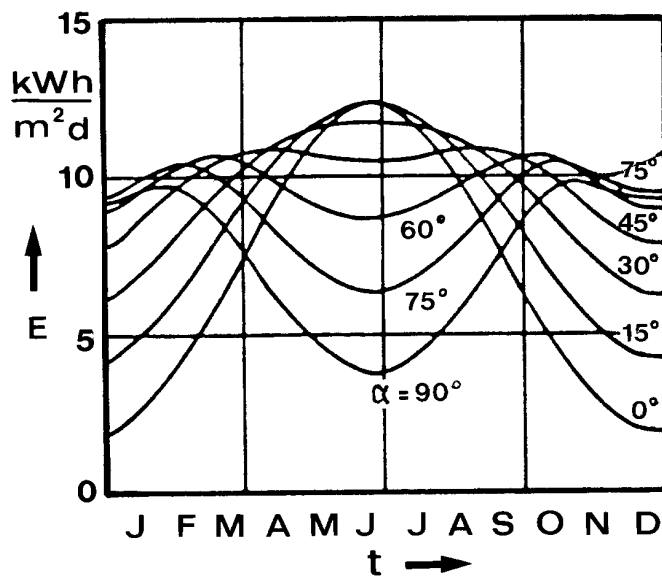


Jährliche Sonnenscheinstunden
in Europa.
In der Bundesrepublik kann mit
bis zu 1900 h gerechnet werden.

Zeitverläufe der Solarenergie



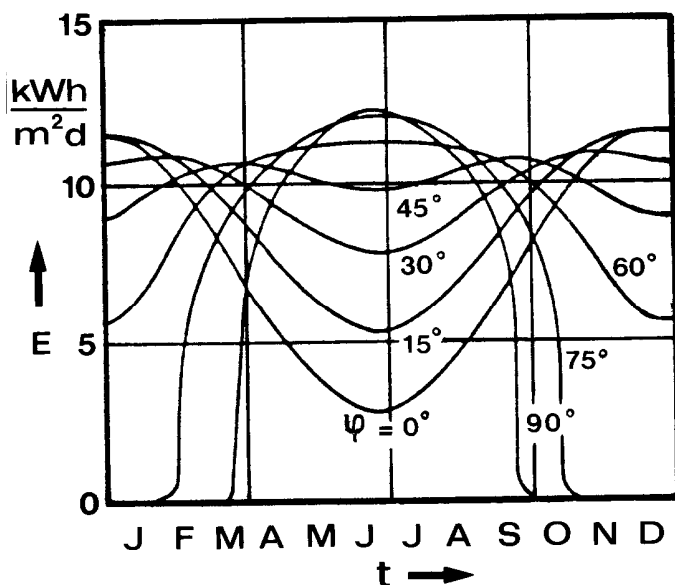
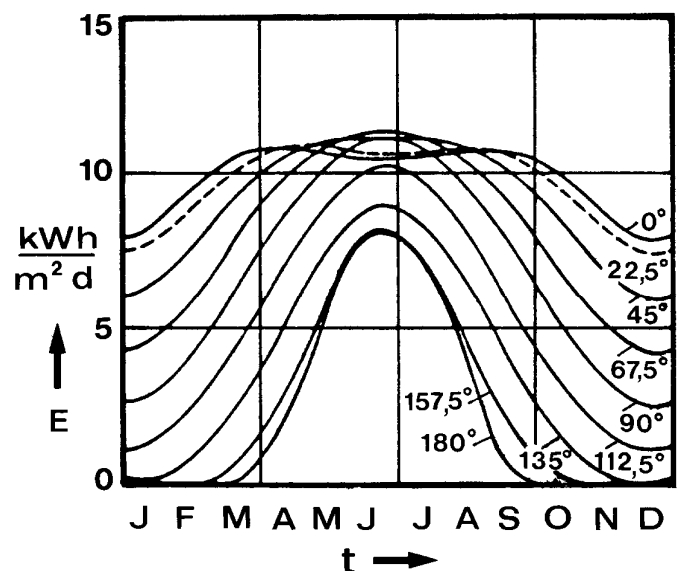
Tagesverlauf der Intensität der extraterrestrischen Sonnenstrahlung an verschiedenen Tagen des Jahres für Köln (51° nördliche Breite).



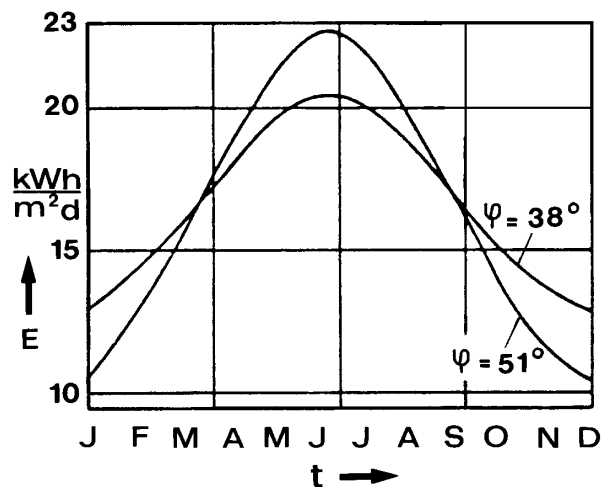
Jahresgang der Tagessumme der extraterrestrischen Sonnenstrahlung für Köln (51° nördliche Breite). Aufstellrichtung Süden, verschiedene Neigungswinkel.

0° = Süd
45° = SW, SO
90° = W, O
135° = NW, NO
180° = Nord

Jahresgang der Tagessumme der extraterrestrischen Sonnenstrahlung für Köln (51° nördliche Breite). Verschiedene Aufstellrichtungen, Neigungswinkel 45°.



Jahresgang der Tagessummen der Energie extraterrestrischen Sonnenstrahlung in Abhängigkeit der geographischen Breite. Aufstellrichtung Süden, Neigungswinkel 45°.



Jahresgang der Tagessummen der Energie extraterrestrischen Sonnenstrahlung für Athen (38°) und Köln (51° nördliche Breite). Nachführung in Aufstellrichtung und Neigungswinkel

Die Globalstrahlung ist die Summe aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung.

Direkte Himmelsstrahlung.

Die Absorption in Wasserdampf, Ozon und Sauerstoff wird summarisch durch eine Durchlässigkeit D_{AB} erfasst. Die Intensitätsverluste hängen von der optischen Weglänge m durch die Atmosphäre, d.h. der Sonnenhöhe h ab (Rotverschiebung). Durch Potenzieren von D_{AB} mit der jeweiligen Weglänge m erhält man die Transmissionsfaktoren $(D_{AB})^m$. Dabei gilt für m : $m = 1 / \sin h$

Die Rayleigh-Streuung an den Molekülen der Atmosphäre hängt ebenso von der Sonnenhöhe h ab und wird durch die Transmissionsfaktoren $(D_{RS})^m$ erfasst.

Die Streuung und Absorption im Aerosol (Staubteilchen) ist gebietsabhängig. Es werden 4 typische Gebiete durch weitere Transmissionsfaktoren $(D_{AE})^m$ unterschieden.

Alle drei Schwächungsmechanismen für die direkte Sonnenstrahlung lassen sich durch Definition eines Trübungsfaktors T zusammenfassen.

$$(D_{RS})^{T \cdot m} = (D_{RS})^m \cdot (D_{AB})^m \cdot (D_{AE})^m$$

Die Berechnung der direkten Sonnenstrahlung erfolgt nach:

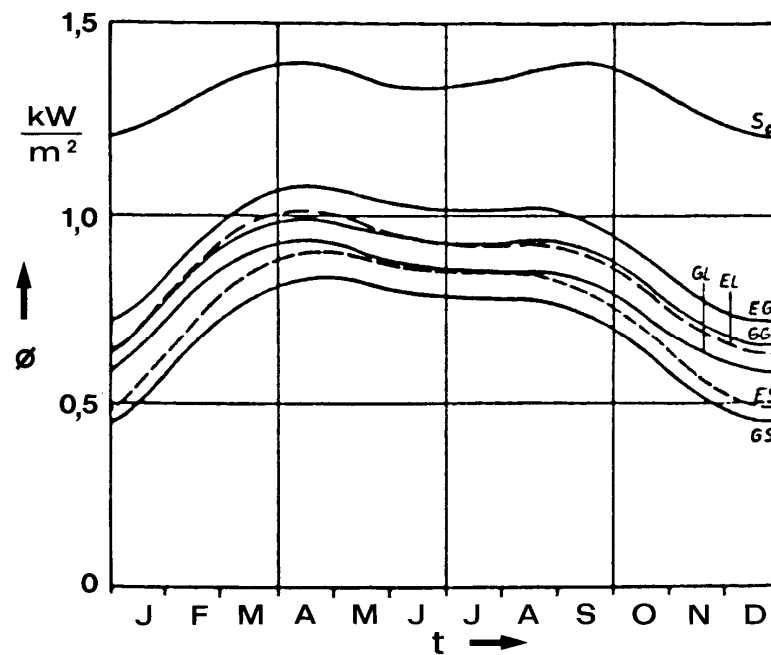
$$S = \Phi \cdot (D_{RS})^{T \cdot m} \cdot A \cdot \cos \Psi$$

$$(D_{RS})^{T \cdot m} = 0,906^{T/\sin(h+5^\circ)}$$

Ein Winkel von 5° wird zur besseren Übereinstimmung mit empirischen Werten addiert.

h = Höhenwinkel der Sonne

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$



Jahresverlauf der täglichen, maximalen Intensität der direkten Sonnenstrahlung für verschiedene Gebiete mit und ohne Verluste durch eine Einfachglasscheibe. Aufstellrichtung Süden, Neigungswinkel 45° , geographische Breite Köln (51° N).

S_0 : extraterrestrische Sonnenstrahlung

EG: Gebirge

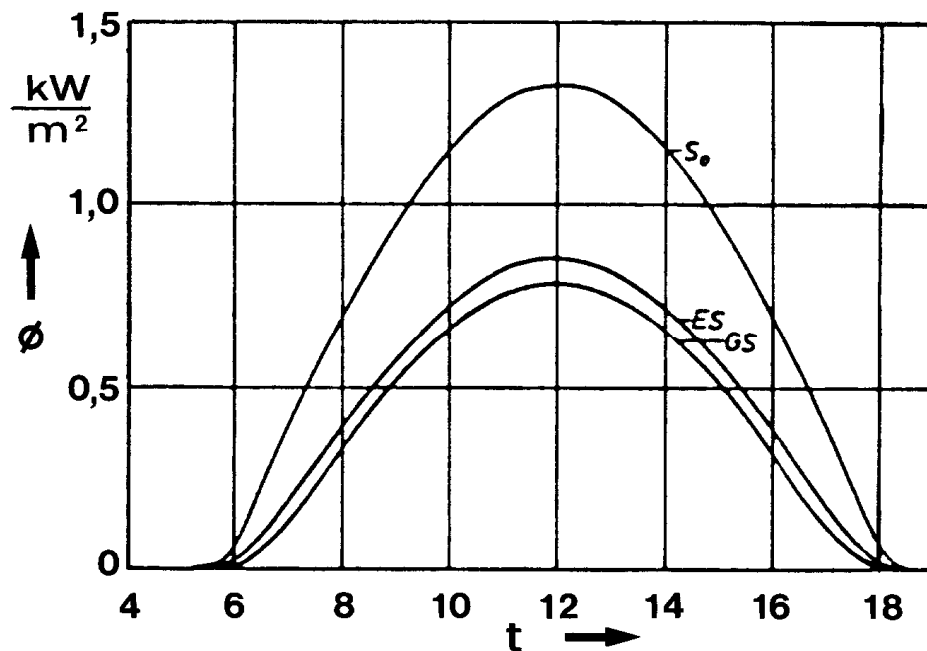
GG: Gebirge und Glasscheibe

EL: Land

GL: Land und Glasscheibe

ES: Stadt

GS: Stadt und Glasscheibe



Tagesgang der Intensität der direkten Sonnenstrahlung zur Jahresmitte für ein Stadtgebiet (ES) und bei zusätzlichen Intensitätsverlusten durch eine Einfachglasscheibe (GS).

Vergleichskurve (S_0) für die extraterrestrische Strahlung,

Aufstellrichtung Süden, Neigungswinkel 45° ,

geographische Breite Köln (51° N).

		Trü- bungs- faktoren	Sonnenhöhe				
			90°	60°	30°	10°	5°
ideale Atmosphäre	(D _{RS}) ^m		0,906	0,895	0,837	0,681	0,573
Gasabsorption	(D _{AB}) ^m		0,91	0,91	0,89	0,84	0,81
Aerosole im							
Hochgebirge	(D _{AE}) ^m	1,9	1	0,99	0,96	0,85	0,75
Flachland	(D _{AE}) ^m	2,75	0,93	0,91	0,82	0,61	0,47
Stadt	(D _{AE}) ^m	3,75	0,84	0,81	0,69	0,42	0,27
Industriegebiet	(D _{AE}) ^m	5,0	0,74	0,71	0,55	0,26	0,13

Transmissionsfaktor in der Atmosphäre und Jahresdurchschnittswerte der Trübungsfaktoren

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Großstadt	3,1	3,2	3,5	3,9	4,1	4,2	4,3	4,2	3,9	3,6	3,3	3,1
Land	2,1	2,2	2,5	2,9	3,2	3,4	3,5	3,3	2,9	2,6	2,3	2,3
Gebirge	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,7	2,7	2,7	2,5	2,1	1,9	1,8

Monatsmittelwerte der Trübungsfaktoren für die Atmosphäre über einer Großstadt, dem flachen Land und dem Gebirge

Diffuse Himmelsstrahlung.

Diese hängt vom Stand der Sonne und der Wolkenbildung ab. Sie ist nicht isotrop nach allen Richtungen verteilt. Die Robinson-Näherung geht davon aus, daß 25 % aus der Richtung der Sonne kommt und 75 % gleichmäßig verteilt ist.

Weltweit kann mit einem Monatsmittel der Bewölkung von 3/10 bis 7/10 gerechnet werden, wobei der Einfluß der unterschiedlichen Bewölkung auf die relative Bestrahlung (Globalstrahlung/ Solar-konstante) jedoch relativ gering ist.

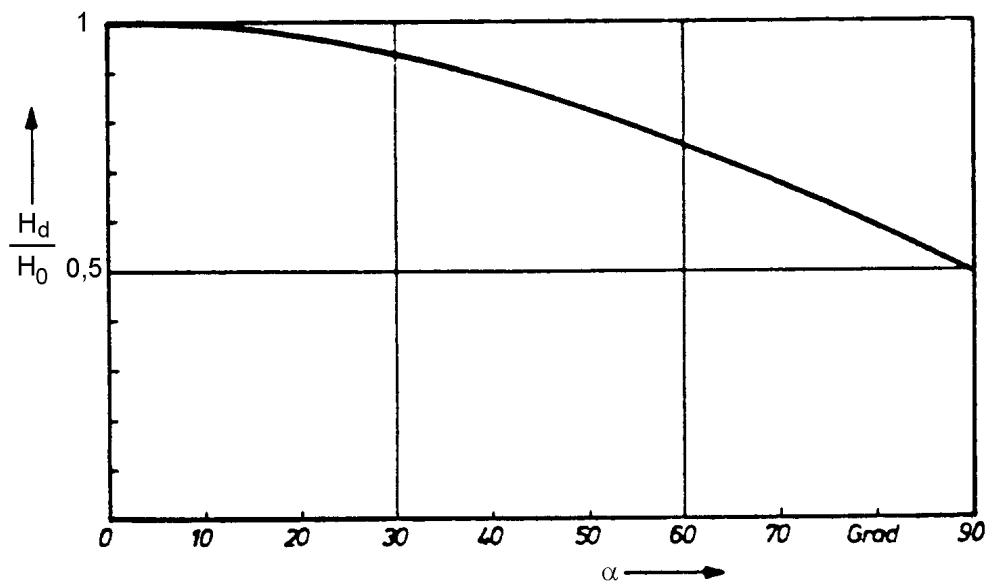
Berechnung der diffusen Himmelsstrahlung auf eine geneigte Fläche (Winkel α) bei isotroper Verteilung.

$$H_{\alpha} / H_0 = (1 + \cos \alpha) / 2 = \cos^2 \alpha / 2$$

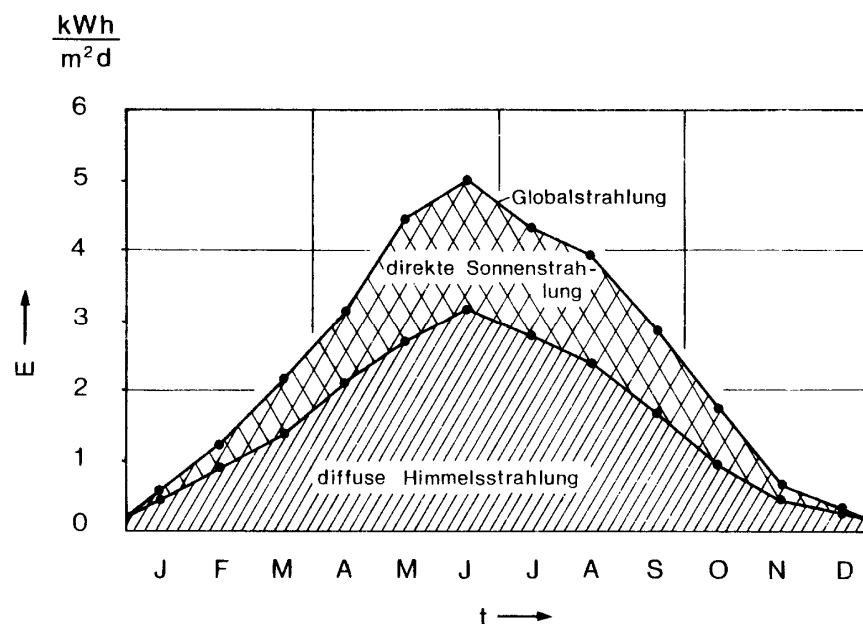
Globalstrahlung

Sonnenhöhe	10°	30°	60°	90°
für $T = 2,75$	46 %	30 %	15 %	8,5 %
für $T = 3,75$	62 %	40 %	21 %	11,5 %
für $T = 5,00$	85 %	58 %	33 %	18,8 %

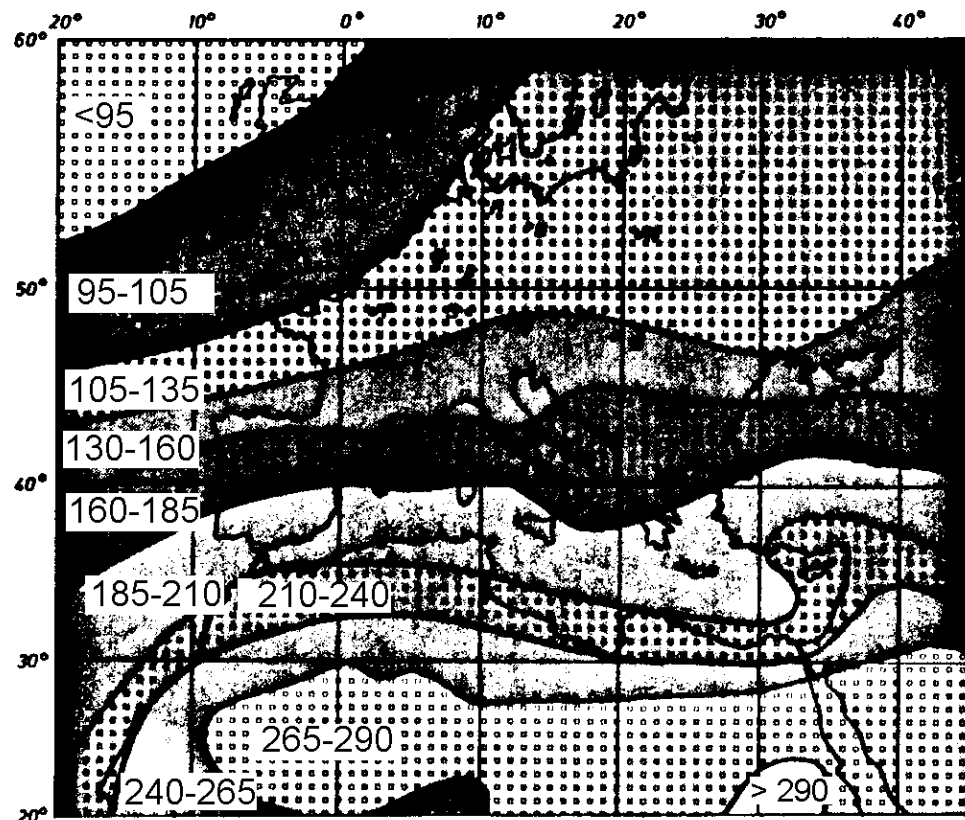
Gemessene, mittlere Prozentanteile der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen für verschiedene Trübungs faktoren.



Verhältnis der Tagessumme der Energie der diffusen Himmelsstrahlung auf eine geneigte Empfangsfläche zur Tagessumme auf eine horizontale Empfangsfläche in Abhängigkeit vom Neigungswinkel α der Empfangsfläche.



Jahresgang der Tagessummen der Globalstrahlung und ihrer Komponenten für Hamburg (monatlicher Mittelwert der Jahre 1963 – 1965, Horizontalfläche)



Mittlere, jährliche Intensität der Globalstrahlung in W/m^2 (24h – Mittel)

Absorption - Emission

Solarthermische Wandler wandeln das von einer geneigten Fläche absorbierte Sonnenlicht in Wärme um. Die Eigenschaften der Absorberfläche bestimmen den Umwandlungswirkungsgrad.

Der eingestrahlte, solare Energiefluß bewegt sich zu 93 % zwischen den Wellenlängen 0,4 bis 1,7 μm , d.h. also im sichtbaren Licht und im benachbarten Infrarotbereich. In diesem Wellenlängenbereich ist ein hoher Absorptionsgrad erwünscht (α = Verhältnis von absorbiertem zu anfallendem Strahlenfluß).

Ein hoher Absorptionsgrad α bedingt aber einen hohen Emissionsgrad ε (Kirchhoff'sches Gesetz $\alpha(\lambda) = (\varepsilon(\lambda))$).

ε ist das Verhältnis der spezifischen Abstrahlung der Oberfläche zu der eines idealen schwarzen Körpers gleicher Temperatur.

Oberflächen mit hohem α für Sonnenlicht weisen besonders im thermischen Infrarotbereich eine hohe Emission auf, d.h. man muß mit großen Strahlungsverlusten rechnen.

Bei Kollektoren mit Strahlungskonzentration (z.B. $t_{\text{Absorber}} = 600^\circ \text{C}$) beträgt z.B. der Strahlungsverlust des Absorbers 40 mal die Verluste durch Wärmeleitung und Konvektion. Bei Kollektortemperaturen zwischen 50°C und 100°C dominieren immer noch die Strahlungsverluste.

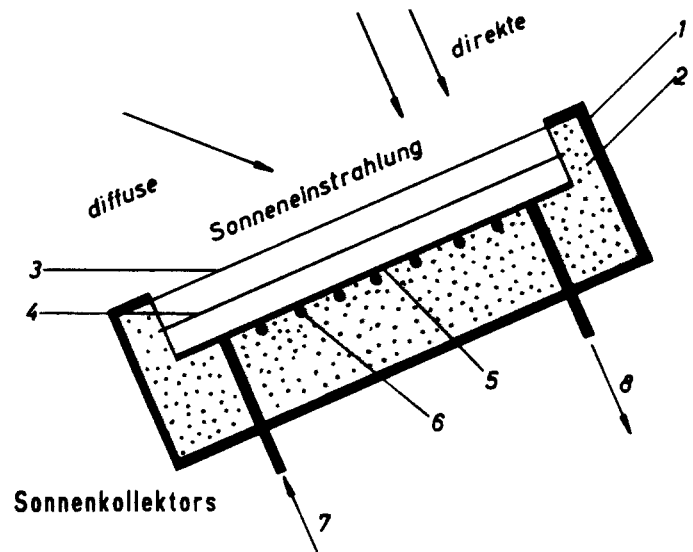
Abhilfe schaffen selektive Schichten (α/ε - Schichten). Diese weisen hohe α - Werte im sichtbaren Bereich und kleine ε - Werte im thermischen IR - Bereich (langwellig) auf.

Es kommen reine Metalle wie Silber, Zink, Wismut oder Gold auf Glasscheiben als selektive Schichten zum Einsatz. Die dazu notwendigen Vakuum-Aufdampfverfahren sind jedoch teuer. Es werden α/ε - Werte (für nicht optimale α - Werte) von > 70 erreicht. Billige Oxyde (ZnO_2) werden gerne verwendet.

Schwarzes Nickel oder schwarzes Chrom erreichen folgende Werte:

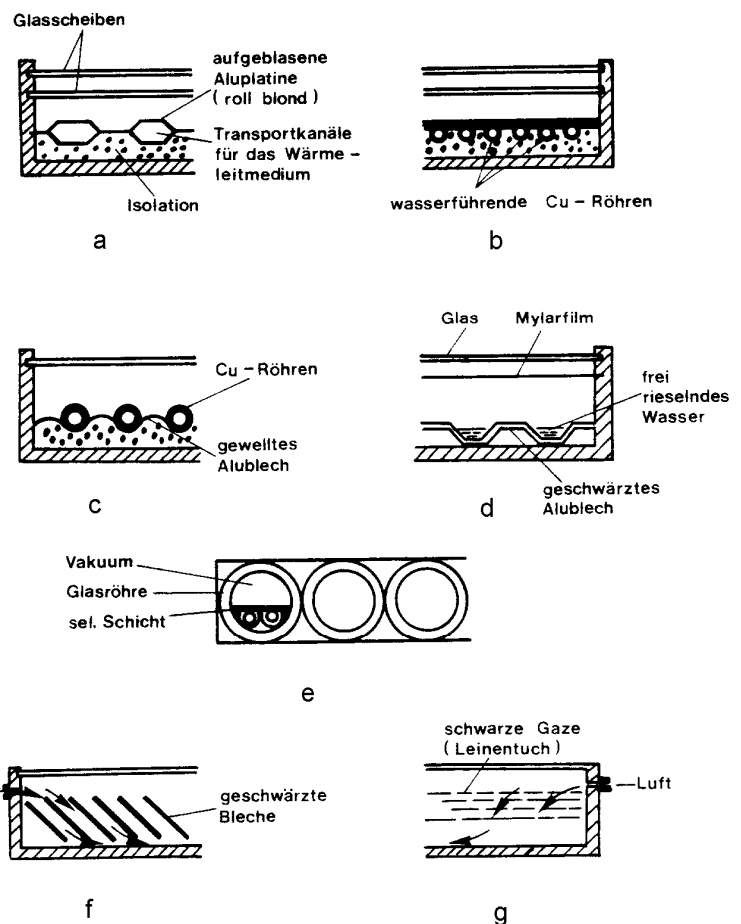
$$\bar{\alpha} = 0,92 \quad \bar{\varepsilon} = 0,06 \quad \alpha/\varepsilon = 15,3$$

Niedertemperatur – Kollektorsysteme

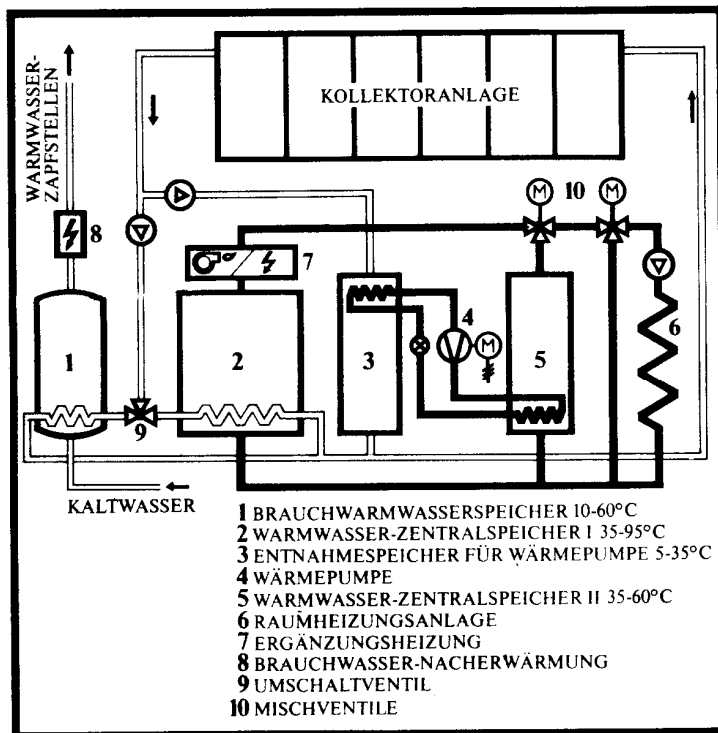


Prinzipieller Aufbau des flachen Sonnenkollektors

- 1 Rahmen
- 2 Isolation
- 3 Lichtdurchlässige Abdeckung (z.B. Glasscheibe, Scheibe 2)
- 4 Lichtdurchlässige Abdeckung (z.B. IR - reflektierende Glasscheibe, Scheibe 1)
- 5 Absorber (schwarz oder selektiv beschichtete Platte)
- 6 Rohrschlangen des Wärmeleitmediums (Luft bzw. Wasser mit Zusätzen)
- 7 Eintritt des Wärmeleitmediums
- 8 Austritt des Wärmeleitmediums

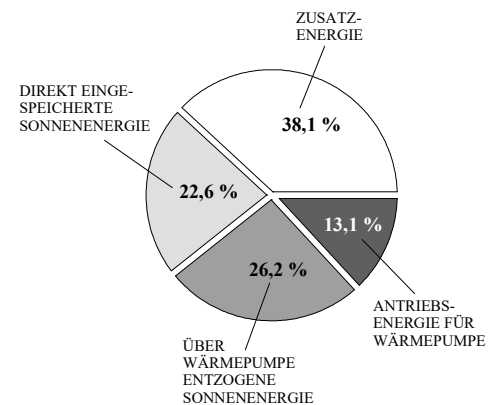


Verschiedene Ausführungsformen
von Flachkollektoren

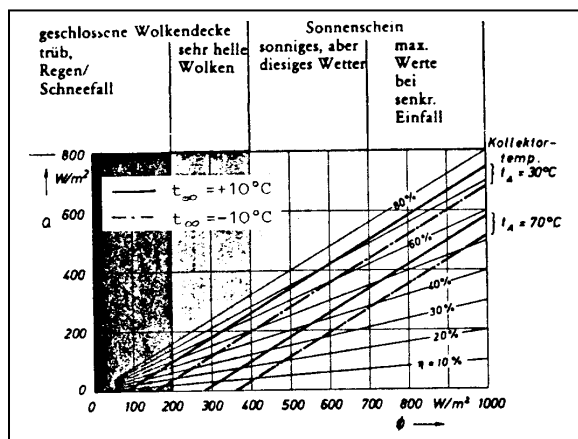


An den Tagen, an denen der Kollektorkreislauf das notwendige Temperaturniveau zur direkten Aufheizung der Behälter (1) und (2) nicht erreicht, wird der Kollektorkreislauf über Behälter (3) geschaltet und mit Hilfe der Wärmepumpe (4) und deren elektrischer Antriebsenergie Behälter (5) mit 1200 l Inhalt beheizt. Die Einspeisung von Sonnenenergie wird über die Temperaturdifferenz zwischen Kollektorausgang und der Temperatur im jeweiligen Behälter gesteuert. Die Wärmepumpe wird in Abhängigkeit von den Temperaturen in Behälter (3) und (5) geschaltet. Die Fußbodenheizung (6) kann wahlweise von Behälter (5) oder (2) gespeist werden. Für Spitzenbedarf verfügt die Anlage über eine Zusatzheizung. Liegen die Temperaturen im Kollektorkreislauf über den jeweiligen Behältertemperaturen, werden 2x600 l (Brauchwarmwasser – Speicher 1) über Umwälzpumpen und elektrisch gesteuertem Umschaltventil vorrangig aufgeheizt. Nach Erreichen einer Temperatur von 60° C (Kalkablagerungen) schaltet das Ventil auf 3 Heizspeicher (2) mit je 1200 l Inhalt um.

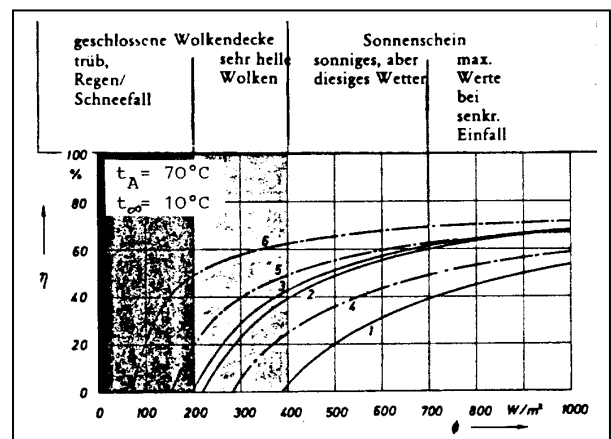
System zur Brauchwassererwärmung
mit Wärmepumpe



Niedertemperatur Flachkollektoren



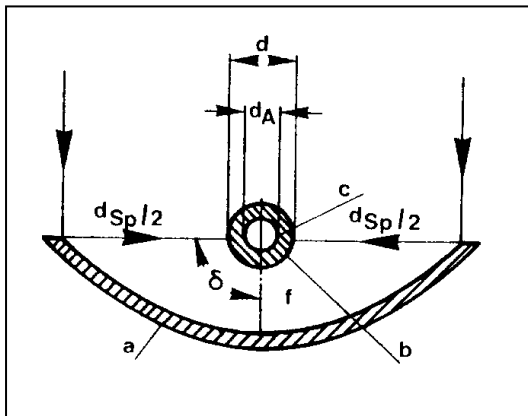
Thermische Nutzleistung Q eines 2-Scheiben-Flachkollektors als Funktion der Globalstrahlungsdichte
Parameter: Kollektortemperatur t_A , Umgebungstemperatur t_{∞}



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 schwarzer Absorber, $\alpha = 0,95$, eine Scheibe | } verbesserte Kollektoren |
| 2 selektive Schicht, $\alpha/\varepsilon = 10$, eine Scheibe | |
| 3 schwarzer Absorber, eine IR-reflektierende Scheibe | } Standardkollektor |
| 4 schwarzer Absorber, $\alpha = 0,95$, zwei Scheiben, | |
| 5 schwarzer Absorber, zwei Scheiben, innere Scheibe IR-reflektierend, In_2O_3 | } verbesserte Kollektoren |
| 6 schwarzer Absorber, zwei Scheiben, innere Scheibe IR-reflektierend und Vakuumisolation | |
| | } hocheffizienter Kollektor |

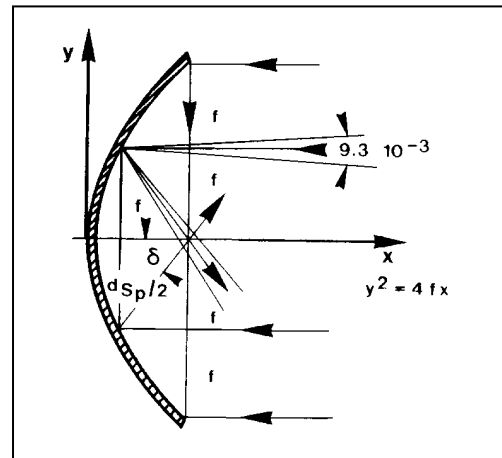
Wirkungsgrad von Flachkollektoren η als Funktion der Globalstrahlungsdichte Φ

Konzentrierende Kollektoren

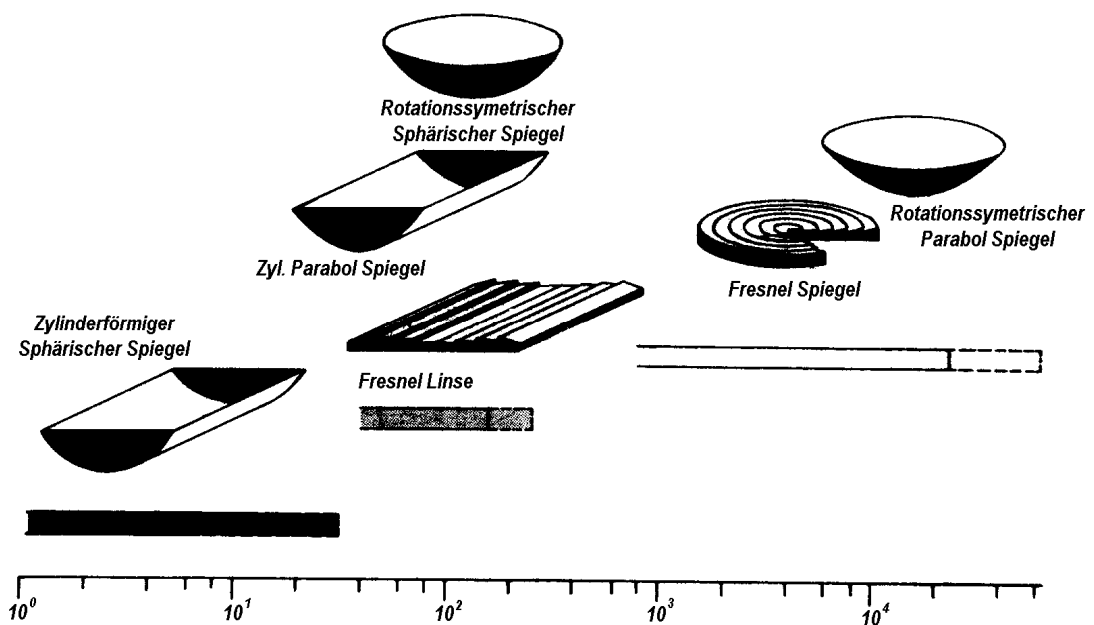


Prinzipieller Aufbau eines
Konzentrierenden Kollektors

a) Reflektor b) Glasrohr c) Absorber



Abbildungsverhältnis beim
Parabolspiegel



Unter dem Konzentrationsverhältnis C wird das Verhältnis der senkrecht zur Einstrahlrichtung projizierten Spiegel- oder Linsenfläche A_{SP} zu der bestrahlten Absorberfläche A_A verstanden.

$$C = A_{SP} / A_A$$

Parabolspiegel, zylindrisch:

$$C = \frac{d_{SP} \cdot l_{SP}}{\pi/2 \cdot 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot l_A} \approx 68,5 \cdot d_{SP} / f$$

für $n = d_{SP} / f = 2$ ergibt sich ein Konzentrationsverhältnis von $C = 137$

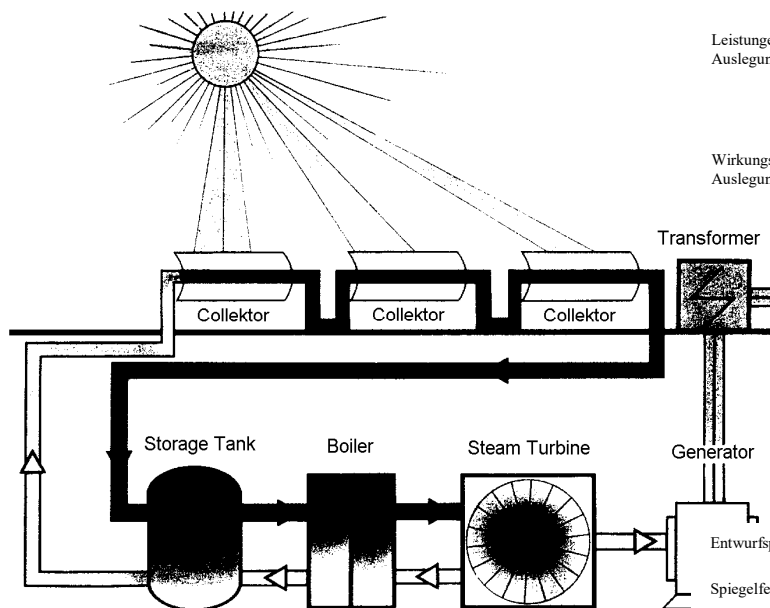
wobei f = Brennweite des Spiegels und l = Länge des Spiegels und der Absorberöhre bedeuten.

Parabolspiegel, rotationssymmetrisch:

$$C = \frac{\pi/4 \cdot d_{SP}^2}{2\pi (d_A/2)^2} \approx 5,8 \cdot 10^3 \cdot (d_{SP} / f)^2$$

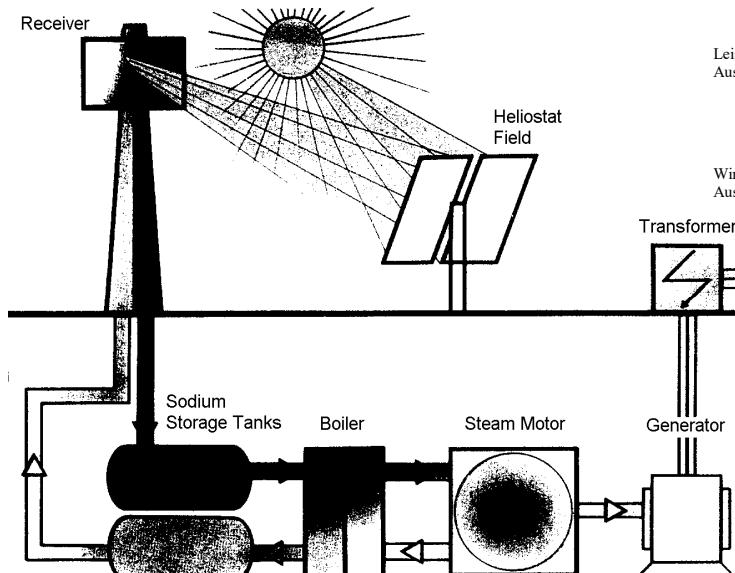
Für $n = d_{SP} / f = 2$ ergibt sich ein Konzentrationsverhältnis von $C = 2,32 \cdot 10^4$

Plataforma Solar de Almeria, Spanien



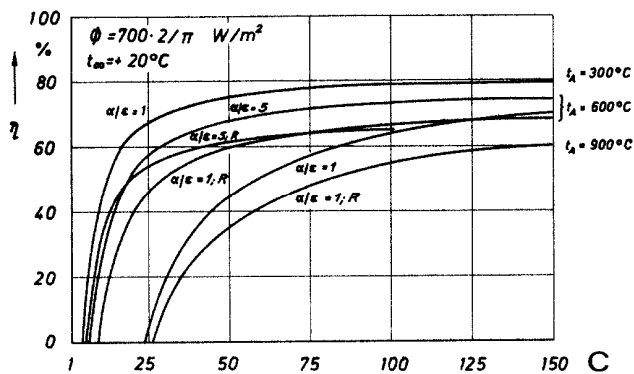
Entwurfspunkt:	12 Uhr bei Tag-Nachtgleiche eingestrahlte Energie	0,92 kW/m ²
Kollektorfeld:	Totale Reflexionsfläche MAN-Kollektorfeld mit 84 Spiegelmodulen in 14 Kreisläufen, gemessener Wirkungsgrad des MAN-Kollektors	5 362 m ² 2 688 m ² 58,4%
	Acurex-Kollektorfeld mit 40 Gruppen in 10 Kreisläufen gemessener Wirkungsgrad des Kollektors	2 674 m ² 57,9%
	Wärmetransportmittel Kollektoreingangstemperatur Kollektorausgangstemperatur	Thermoöl 225°C 295°C
Thermischer Speicher:	Eintanksystem, Speichermedium Speicherkapazität	Thermoöl 4,1 MWh
Dampferzeuger:	Thermoöl-Einlaßtemperatur Thermoöl Auslaßtemperatur Dampfauslaßtemperatur Dampfdruck	295°C 225°C 278°C 25 bar
Leistungen im Auslegungspunkt:	Solareinstrahlung auf das Kollektorfeld thermische Energie zum Dampf- erzeuger elektrische Bruttoleistung elektrische Nettoleistung	4 933 kW 2 580 kW 577 kW 500 kW
Wirkungsgrade im Auslegungspunkt:	thermisch / elektrisch, brutto thermisch / elektrisch, netto	22,4% 19,5%

Kollektor-Konzept (konzentrierende Hohlspiegel)

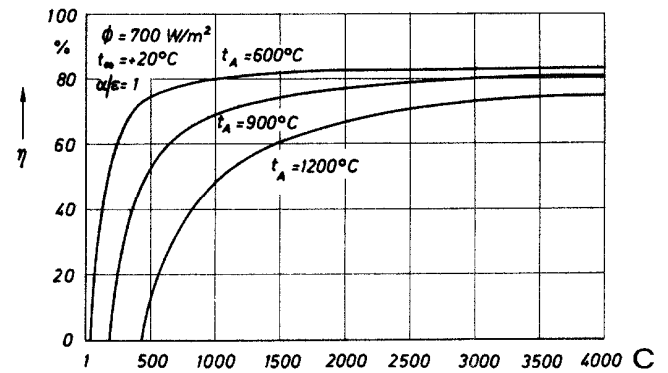


Entwurfspunkt:	12 Uhr bei Tag-Nachtgleiche eingestrahlte Energie	0,92 kW/m ²
Spiegelfeld:	93 Heliostate, Reflexionsfläche	3 660 m ²
Strahlungsempfänger:	Hohlraumempfänger mit einer Aperturfläche von 9,7 m ² aktive Wärmeübertragungsfläche Natriumeinlaßtemperatur Natriumauslaßtemperatur berechneter Wirkungsgrad	16,9 m ² 270°C 530°C 88,3%
Thermischer Speicher:	Zweitanksystem, Speichermedium Speicherkapazität Heißtanktemperatur Kalttanktemperatur	Natrium 5,5 MWh 530°C 275°C
Dampferzeuger:	Natriumeinlaßtemperatur Natriumauslaßtemperatur Wassereinlaßtemperatur Dampfauslaßtemperatur Dampfdruck	525°C 275°C 190°C 510°C 100 bar
Leistungen im Auslegungspunkt:	thermische Energie zum Strahlungsempfänger thermische Energie zum Dampferzeuger elektrische Bruttoleistung elektrische Nettoleistung	2 840 kW 2 203 kW 599 kW 500 kW
Wirkungsgrade im Auslegungspunkt:	thermisch / elektrisch, brutto thermisch / elektrisch, netto	27,2 % 22,7 %

Solar-Tower-Konzept (Planspiegelfeld)



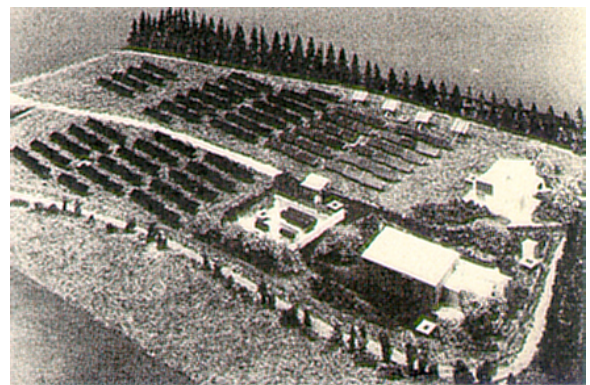
Wirkungsgrad η von HT-Kollektoren einer Solar-Farm-Anlage in Abhängigkeit des Konzentrationsfaktors C



Wirkungsgrad η einer Solar-Tower-Anlage in Abhängigkeit des Konzentrationsfaktors C

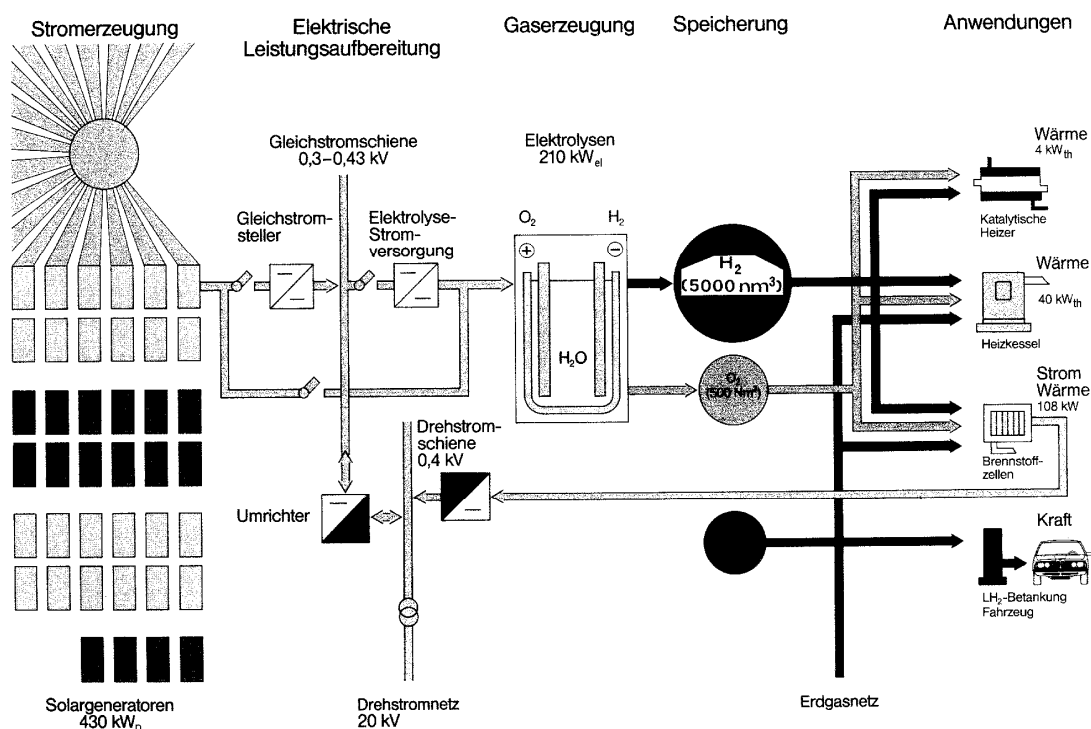
Was bringt die Zukunft? Solarstrom direkt und Wasserstoffwirtschaft?

Projekt Solar-Wasserstoff Bayern, Neunburg vorm Wald



Schema der Solaren Wasserstoffanlage

Inbetriebnahme 1990; Photovoltaik 430 kW_p; mono-, multikristalline und amorphe Zellentechnologie; starre Aufständering; Membranelektrolyse mit Festelektrolyt; fortgeschrittene alkalische Elektrolyse; Summenleistung 210 kW_e; Wasserstoff-/Sauerstoff-Druckspeicherung mit 30 bar, 5000 bzw. 500 m³; 4 Brennstoffzellen, zwei alkalische, zwei phosphorsäure mit 108 kW_e Summenleistung; 2 katalytische Heizer, Summe 4 kW_{th}; 2 Heizkessel, Summe 40 kW_{th}; Tankstelle für Flüssigwasserstoff.

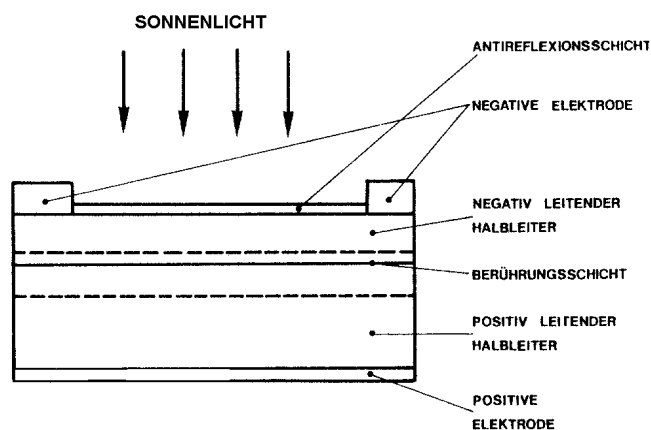


Fotoelektrische Wandler - Solarzellen

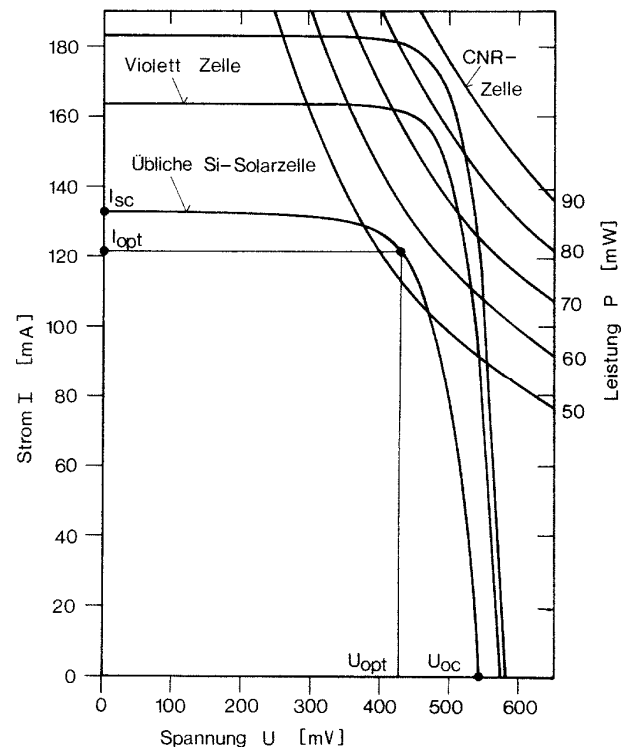
Fotoelektrischer Effekt = Erzeugung einer elektrischen Spannung als Ergebnis der Absorption elektromagnetischer Strahlung. Der Effekt tritt auf in Gasen, Flüssigkeiten sowie in Festkörpern. In Festkörpern (speziell Halbleitern) treten die höchsten Wirkungsgrade (reziprokes Verhältnis von einfallender Globalstrahlung zur abgegebenen, elektrischen Leistung) auf.

Funktion: Auftreffende Lichtquanten überschreiten eine vom Halbleitermaterial abhängige Mindestenergie und setzen negative und positive Ladungsträger frei. Eine Potentialdifferenz zwischen zwei Bereichen trennt diese Ladungsträger (z.B. Halbleiter/Metallschicht). Statt einer solchen Berührungsschicht kann dies durch eine Dotierung (ein Teil des Halbleiters positiv leitend, Löcher oder p-Leitung, der andere Teil des Halbleiters negativ leitend, Elektronen oder n-Leitung) hervorgerufen werden.

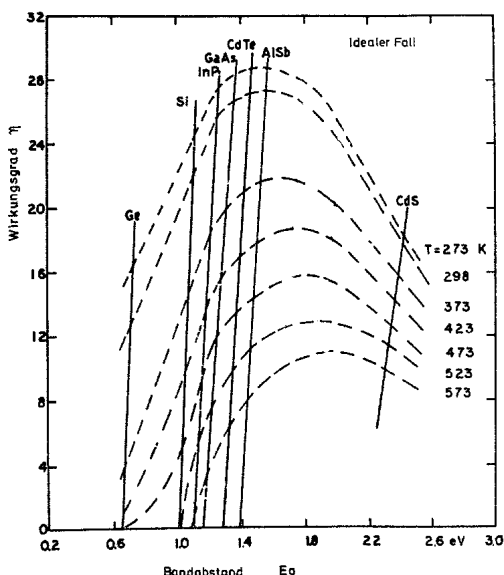
Wird nur eine Sorte von Halbleitermaterial dotiert, spricht man von Homojunction-Zellen (z.B. monokristalline Siliziumzelle), finden dagegen zwei unterschiedliche Materialien Anwendung, so spricht man von Heterojunction-Zellen (z.B. polykristalline Kadmiumsulfid-Kupfersulfid-Zellen).



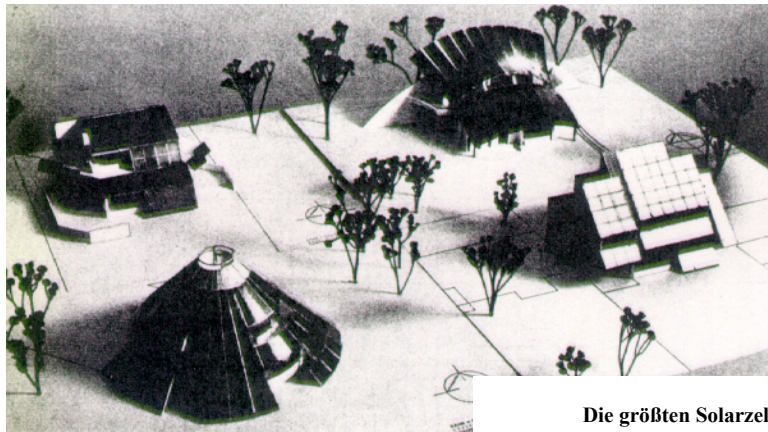
Prinzipieller Aufbau Einer Solarzelle (z.B. Siliziumzelle)



Strom-Spannungs-Charakteristik von monokristallinen Silizium-Solarzellen bei extraterrestrischen Strahlungsbedingungen und einer Temperatur von 28°C



Theoretischer Wirkungsgrad terrestrischer Solarzellen unterschiedlicher Materialien als Funktion des Bandabstandes (Parameter ist die Zelltemperatur)



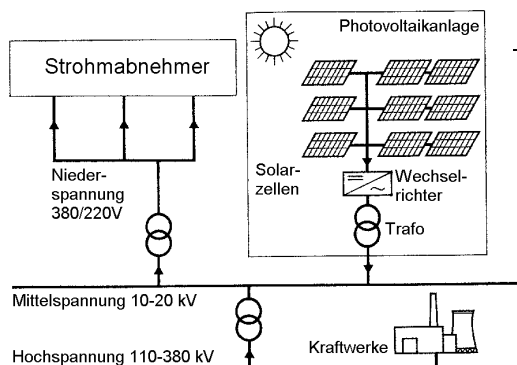
Planer, Architekten und Bauämter
müssen umdenken.

Optimale Sonnenenergie-Nutzung
erfordert neue Hausformen

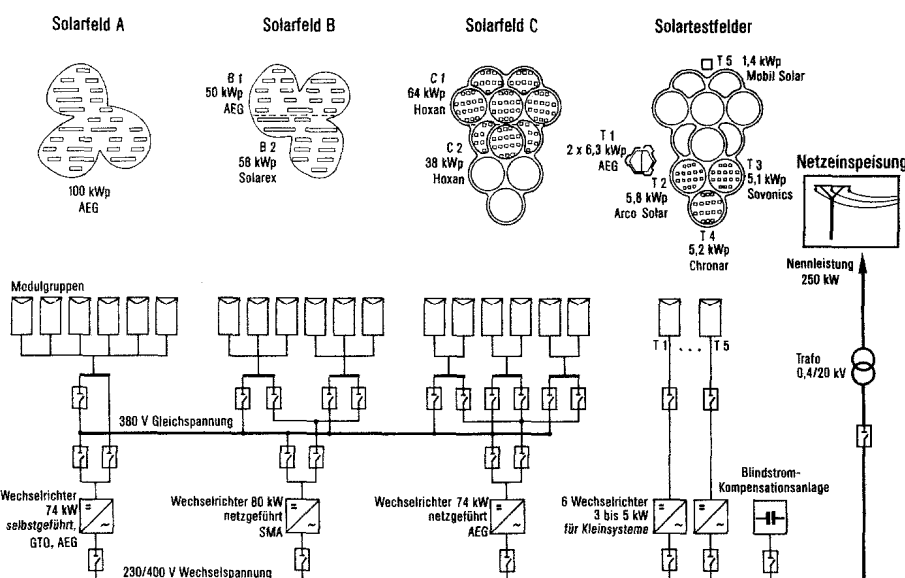
Die größten Solarzellenkraftwerke, geordnet nach ihrer Nennleistung

Nennleistung	Anlage	Land	Auftraggeber	Inbetriebnahme
6,5 MW	Carrisa Plains	USA / Kalifornien	Arco Solar/ Pacific	1983
2 MW	Rancho Seco	USA / Kalifornien	Gas & Electric Sacramento Municipal Utility District	1984
1 MW	Lugo Station	USA / Kalifornien	Arco Solar/ Southern California Edison	1982
1 MW	NEDO Saijo	Japan	MITI	1986
350 kW	SOLARAS	Saudi Arabien	Saubi Arabien, USA	1981
340 kW	Koborn-Gondorf	Deutschland	RWE	1988
300 kW	Pellworm,	Deutschland	EG	1984
300 kW	Georgetown Uni	USA / Wash. DC	DOE	1984
300 kW	Delphos	Italien	Italien	1987
245 kW	Community College	USA / Arkansas	DOE	1981

Einbindung der Photovoltaikanlage in das Netz

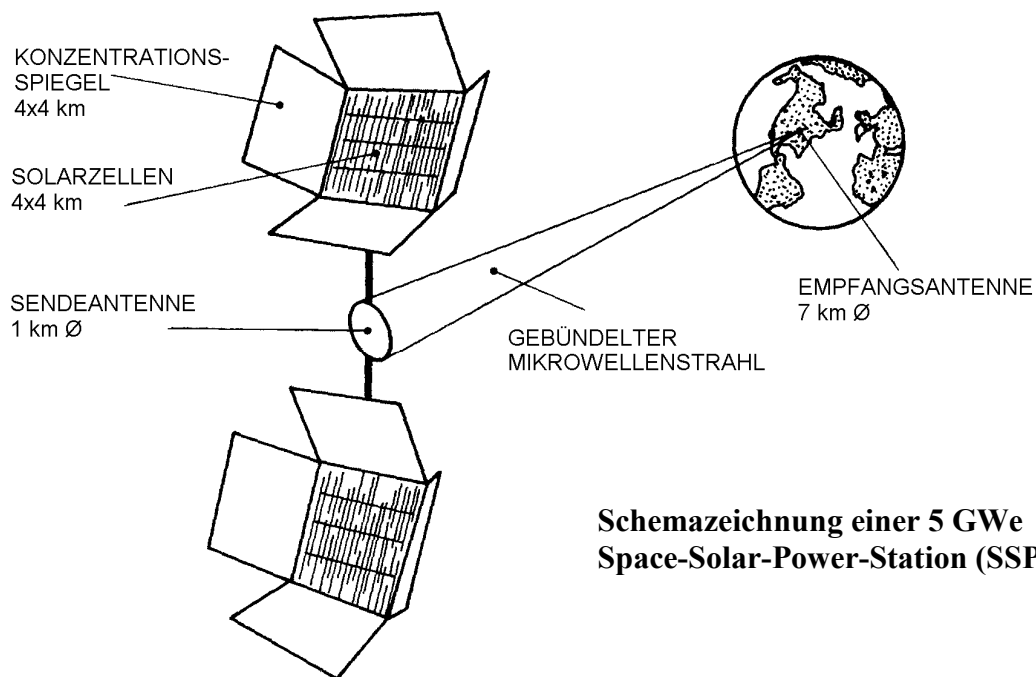


Übersichtsschema über
die Photovoltaikanlage
Koborn-Gondorf mit den
Solarfeldern, Wechsel-
richtergruppen und der
Netzeinspeisung



Bescheidene Anfänge in
der Bundesrepublik

Koborn – Gondorf



**Schemazeichnung einer 5 GWe
Space-Solar-Power-Station (SSPS)**

Breitengrad, Ort	maximale Leistungs- dichte W/m ²	Antennen- fläche km ²	Sicherheits- areal km ²
38,7°, Sizilien	603	23,67	126
41,9°, Rom	595	23,98	136
45,5°, Mailand	586	24,38	150
50,1°, Frankfurt	573	24,92	174
53,5°, Hamburg	563	25,35	197

Größe der Empfangsstation einer 5 GWe-Space-Solar-Station (SSPS)

Nr.	Zellentyp	Erreichter Wirkungsgrad		Voraussichtlich erreichbar bei Massenproduktion η TER %	langfristig erreichbar η TER %	theoretisch erreichbar η TER %
		Labor η TER %	Produktion η TER			
1	Normale- monokristalline Si-Zelle	17,5	13,5	13,5	24	≈ 25
2	Hochleistungs- Si-Zelle (monokristallin)	19	16	16		
3	CNR-Si-Zelle (monokristallin)	20				
4	terrestrische-Si-Zelle (monokristallin) Billigzelle		11	11		
5	Kadmiumsulfidzelle (polykristallin)	8	7,2	4 bis 6	12	
6	Si-Zelle (polykristallin)	6 (2)			10	
7	Galliumarsenidzelle (monokristallin)	19	15,5			

**Wirkungsgrade verschiedener Solarzellen bei terrestrischen Strahlungsbedingungen
(T = 28°C, Φ = 1000 Watt / m²)**

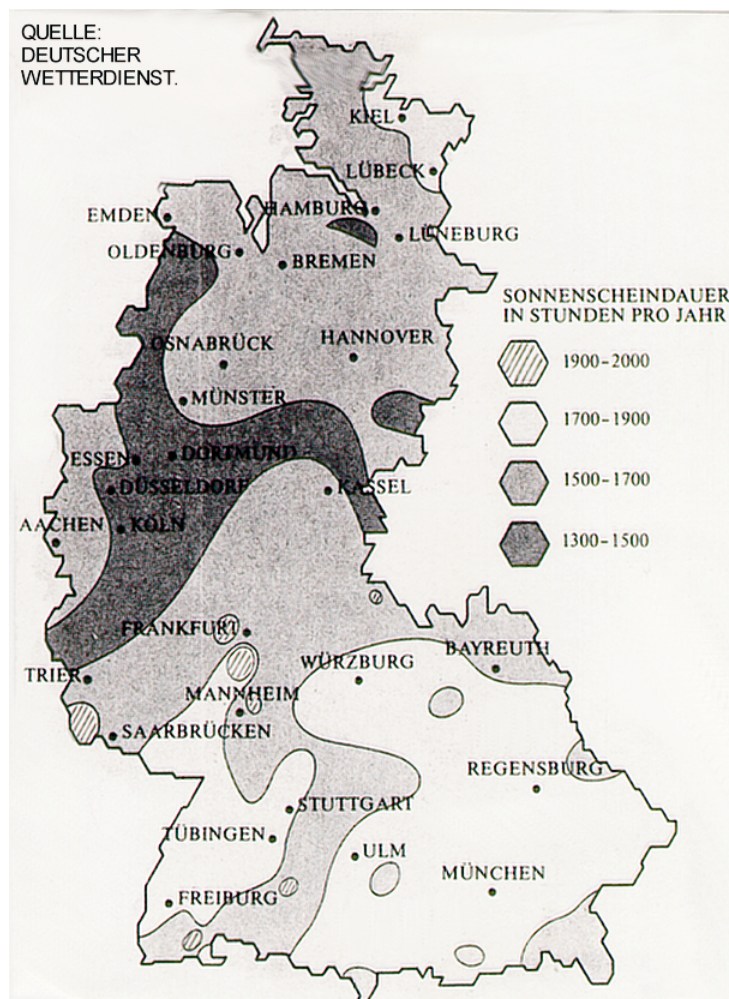
Entwicklungs- zeitraum	Zellentyp	η TER %	Zellenkosten DM / W_P	Stromgestehungskosten DM / kWh	
				Hausanlage 1.)	Zentralanlage 2.)
Gegenwärtig	monokristallines Silizium	10	45	—	—
Kurzfristig (ca. 1980)	dto.	10	5	0,60	0,65
mittelfristig (ca. 1990)	dto.	15	5	0,63	0,56
langfristig (ca. 2000)	dto.	21	1,3	0,18	0,19
langfristig (ca. 2000)	Polykristallines Kadmiumsulfid	6	0,3	0,11	0,27

Geschätzte Entwicklung der Stromgestehungskosten fotoelektrischer Anlagen
(Prognose 1976, 1.) $P = 2 \text{ kWe}$, $\Phi = 136 \text{ W/m}^2$; 2.) $P = 10 \text{ MWe}$, $\Phi = 199 \text{ W/m}^2$)

	Φ W/m^2	A 10^6 km^2	E_{tech} TWh/a		
			$\eta_1 = 9\%$	$\eta_2 = 13,5\%$	$\eta_3 = 21\%$
Welt	224	510	$9 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^8$
Landfläche	200	150	$2,4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^7$
EG	180	1,5	$2,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$
BRD	116	0,25	$2,3 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^4$

$\eta_1 = 9\%$, System mit gegenwärtig verfügbaren Zellen
 $\eta_2 = 13,5\%$, System mit gegenwärtig verfügbaren, optimalen Zellen
 $\eta_3 = 21\%$, System mit langfristig bestenfalls verfügbaren Zellen

**Technisch nutzbares Potential terrestrischer,
fotoelektrischer Umwandlung solarer Strahlungsenergie**



Deutsche Realität

Windenergie

Potential

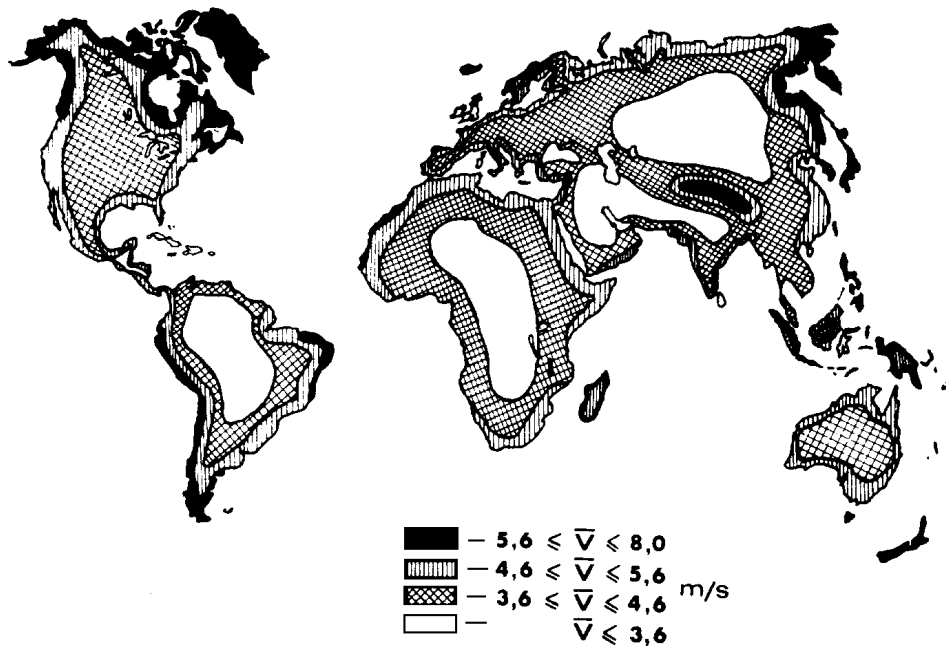
Die Bewegung der Atmosphäre wird durch Zufuhr von Strahlungsenergie der Sonne aufrecht-erhalten. Windenergie ist demnach eine sekundäre Form der Sonnenenergie. Die Größe der Bewe-gungsenergie die in allen Windströmungen enthalten ist, kann über Langzeitmessungen von Bo-den- und Höhenwinden sowie aus den Zuggeschwindigkeiten von Wetterfronten abgeschätzt wer-den. Ebenso kann man Grenzschichtmodelle mit variabler Bodenrauigkeit zur Berechnung her-anziehen.

Überlegungen dieser Art haben ergeben, daß 1,5 bis 2,5 % der auf die Erde eingestrahlten Sonnen-energie ($1,5 \cdot 10^9$ TWh/Jahr) ständig in Strömungsenergie der Atmosphäre umgewandelt werden. Das sind 2,3 bis $3,8 \cdot 10^7$ TWh/Jahr oder eine mittlere Leistung von 2,6 bis $4,3 \cdot 10^3$ Terrawatt. Bis zu 3 % dieser Energie, das sind 6,9 bis $11,4 \cdot 10^5$ TWh, könnten global durch Windenergie-Konverter aus der Atmosphäre entnommen werden. Dies entspricht einer mittleren Leistung von 130 Terrawatt.

Es wurde ermittelt, daß ungefähr die Eintage - Strahlungsenergie der Sonne ständig in der Atmos-phäre als kinetische Energie gespeichert ist. Das bedeutet, daß ohne Einstrahlung der Sonne, die Atmosphäre der Erde, betrachtet als riesiges Schwungrad, innerhalb von weniger als 10 Tagen vollständig zur Ruhe kommen würde. Bezogen auf die gesamte Erdoberfläche steht somit ständig eine Leistung von ca. $0,25 \text{ Watt/m}^2$ zur Verfügung.

In Westeuropa ergeben sich im Mittel pro Jahr $6,2 \cdot 10^3$ Terrawattstunden. Das ist etwa das Fünf-fache der in den letzten Jahren umgesetzten, elektrischen Energie. Hätte man in der Bundesrepu-blik Deutschland den elektrischen Endenergiebedarf nur aller Haushalte für ein repräsentativ aus-gewähltes Jahr der achtziger Jahre (1987) bereitstellen wollen, so wären dazu mindestens 23 000 Großanlagen des ehemaligen GROWIAN-Typs notwendig gewesen. Flächenmäßig wäre diese Zahl allein auf der Fläche von Schleswig-Holstein unterzubringen. Die genannte Zahl stellt die un-terste Grenze einer reinen Energiemengenbetrachtung dar.

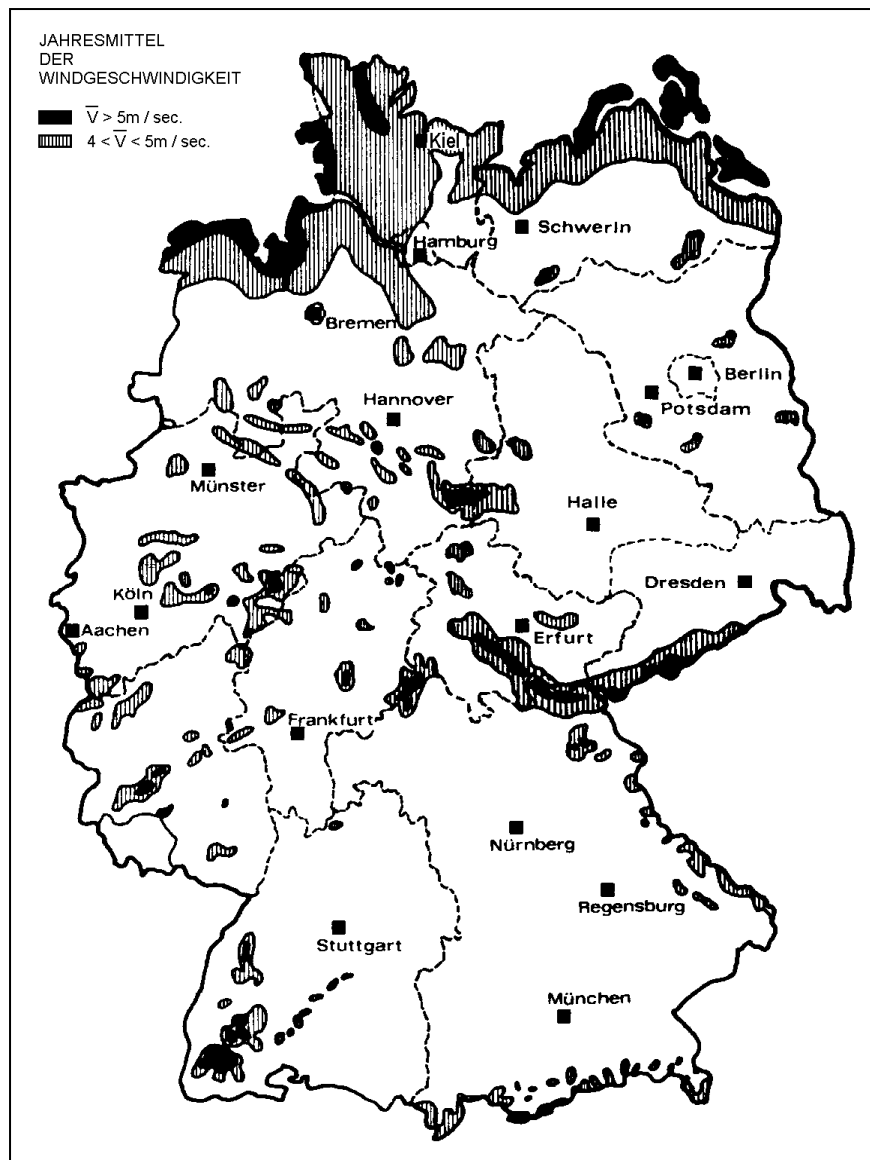
Berücksichtigt sind dabei nur Luftschichten, in die man aus technischen Gründen mit Großanlagen (wie dem genannten GROWIAN) gelangen kann. Der Jahresertrag der Einzelanlage bewegt sich zwischen 8 und 12 GWh. Die Anlagen würden dabei in einer vollturbulenten Grenzschicht von bis zu 300 m Höhe stehen. Der Grad der Turbulenz wird von der Bebauung am Boden, d.h. generell von der "Bodenrauigkeit", natürliche oder künstliche, abhängen. Im Vergleich zu anderen, rege-nerativen Energiequellen schneidet die Windenergie global gesehen enorm günstig ab. Ähnlich wie bei der Nutzung der Solarenergie werden jedoch flächenmäßig große Anlagen benötigt, da auch die Quelle Wind ein "energiedünnes" Medium darstellt.



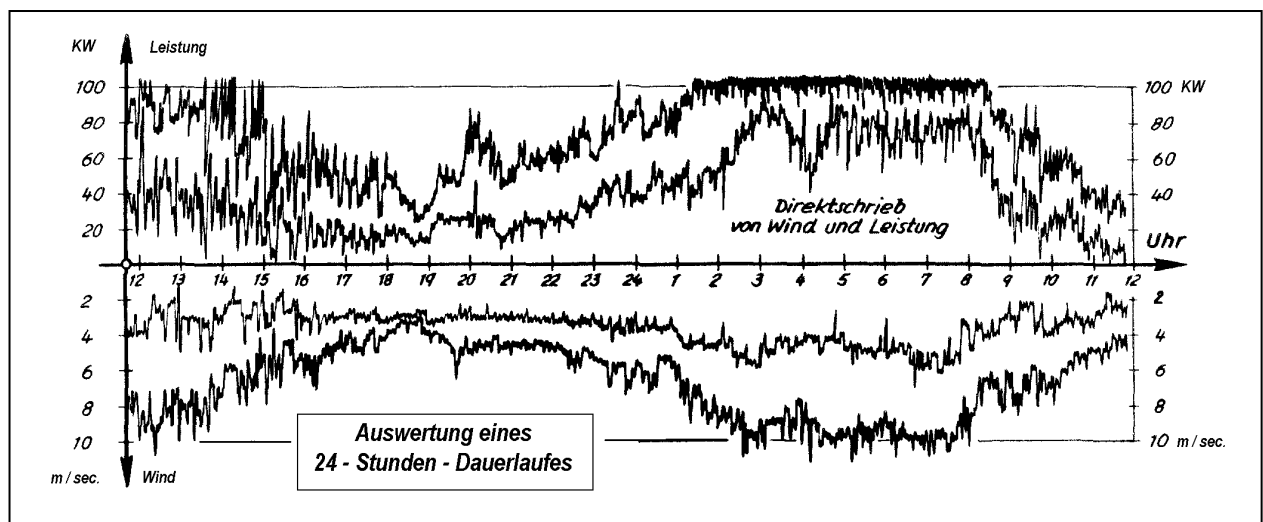
Grobkarte der Windgeschwindigkeitsverteilung über den Kontinenten



Isoventenverteilung in Europa



Windgeschwindigkeitsgebiete in Deutschland mit mehr als 4 m/s im Jahresmittel



Windgeschwindigkeits- und Leistungsschwankung (24-h-Schrieb)

Windgeschwindigkeitsverlauf über Grund

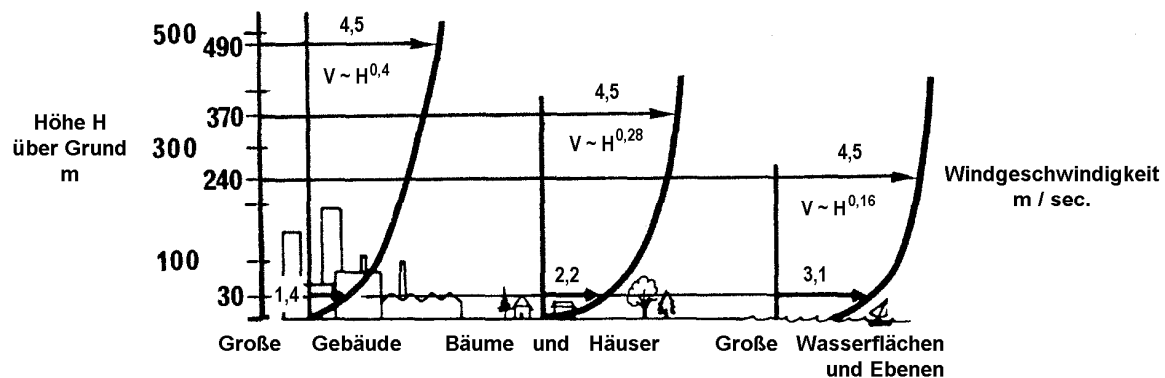
Die Zunahme der Windgeschwindigkeit über dem Erdboden hat idealisiert betrachtet einen parabolischen Verlauf. Es existieren zwei Verfahren zur näherungsweisen Berechnung der Windgeschwindigkeit über Grund.

$$V_H = V_{10} \cdot (H / 10)^a \quad \text{Näherungsmethode}$$

Der Exponent a ist für 3 typische Bodenkonfigurationen näherungsweise angegeben. V_{10} ist die Windgeschwindigkeit in der international festgelegten Meßhöhe von 10 Metern über Grund. Die gewünschte Höhe H wird in Metern eingesetzt.

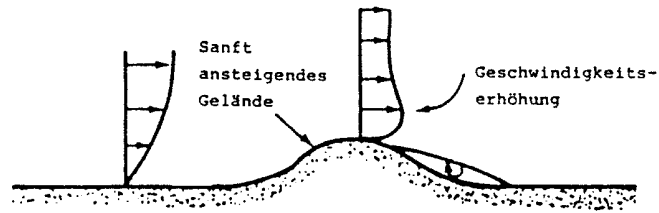
- $a = 0,16$ für glatte, ebene Flächen (Meer, unmittelbare Küstennähe)
- $a = 0,28$ für nieder bewachsene, ebene Flächen (Küstenhinterland)
- $a = 0,40$ für Grenzschichten z.B. über Städten mit hohen, künstlichen Hindernissen

Beispiele: Quickborn $a = 0,20$
Hamburg $a = 0,23$
Karlsruhe $a = 0,35$

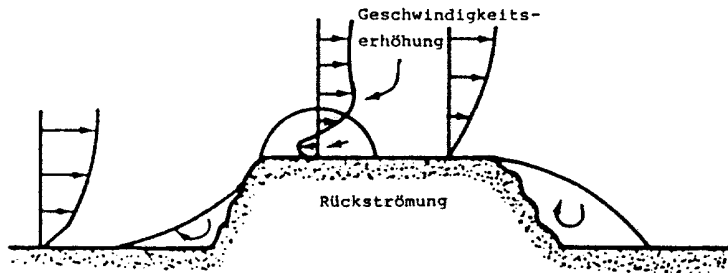


Ein anderes Verfahren arbeitet mit Häufigkeitsklassen. Ebenfalls mit einem Potentialgesetz-Ansatz (Exponent b) wird aus der Höhe von 10 m über Grund auf die Häufigkeiten in beliebigen Höhen geschlossen. Man kennt auch Aussagen zu gewissen Rauigkeitsklassen je nach Geländeformen. Ein Rayleigh-Verteilungs-Ansatz führt zu Stundenzahlen an denen der Wind mit einer bestimmten Stärke (m/s) bläst (Häufigkeitsverteilung).

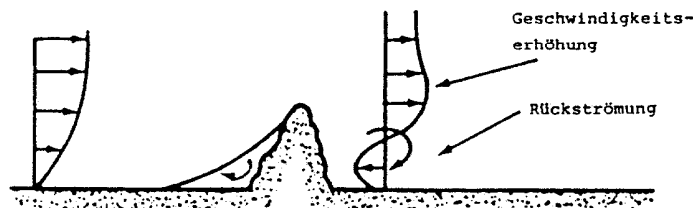
Standortfragen



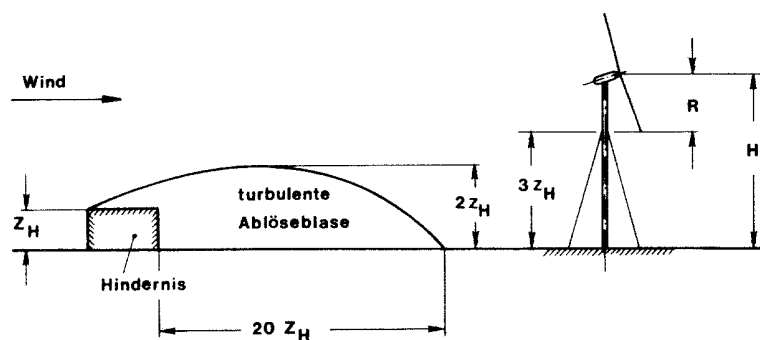
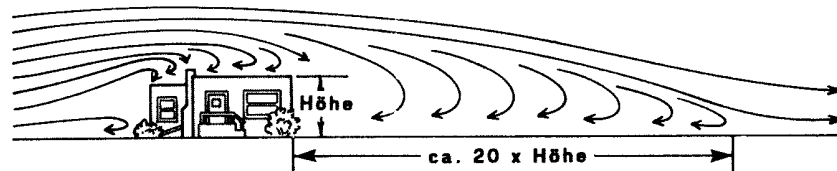
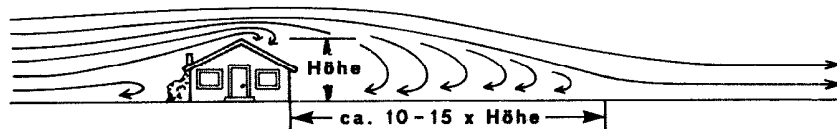
(a) Mäßig gewellte Hügel oder Berggrücken
(geeignete Standorte)



(b) Hügel oder Berggrücken mit steilen Flanken
(ungeeignete Standorte)

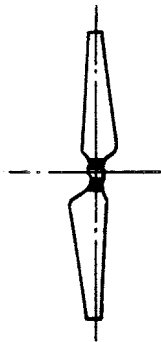


(c) Scharfe Erhebungen und Hindernisse
(können im Einzelfall geeignet sein)

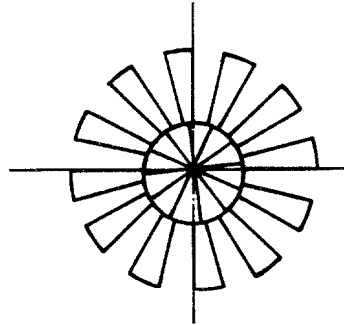


Windenergie-Konverter-Typologie

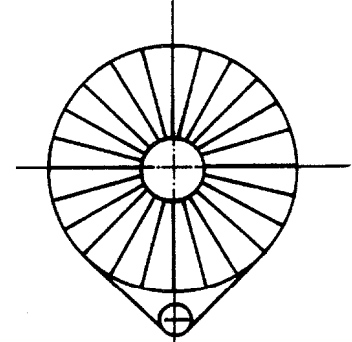
HORIZONTALE ACHSE, AUFTRIEBNUTZEND



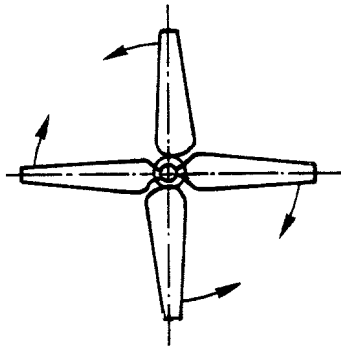
SCHNELLÄUFER



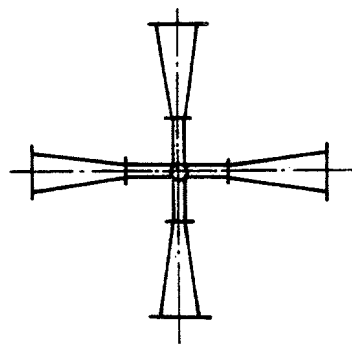
LANGSAMLÄUFER



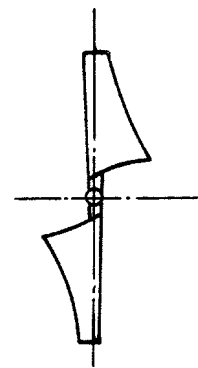
BICYCLE TYP



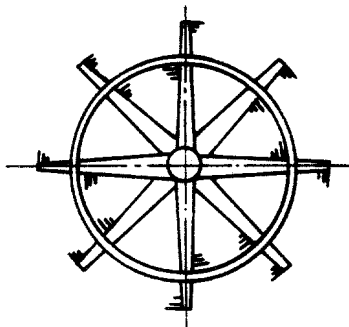
GEGENLÄUFIG



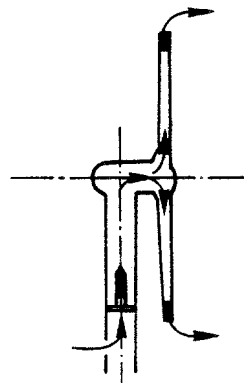
FLETTNER



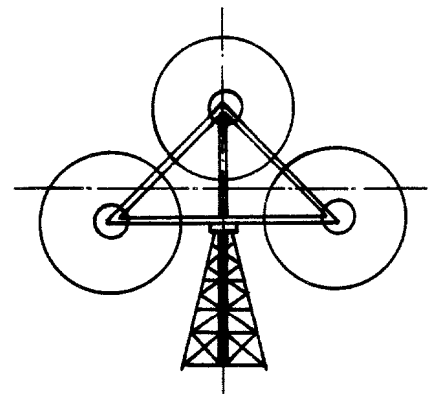
SEGEL-ROTORBLATT



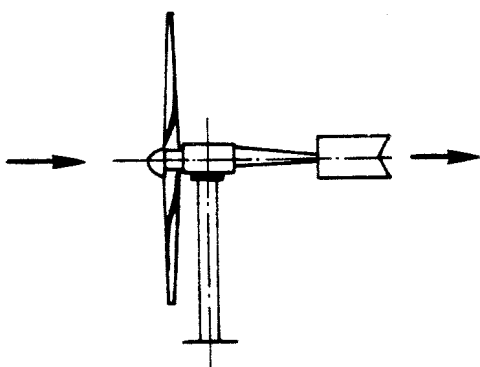
RINGGENERATOR



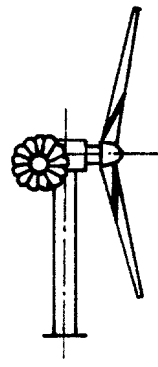
PNEUMATISCHE WELLE



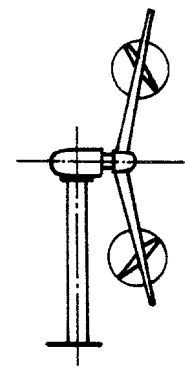
MEHRFACHROTOR



WINDFAHNE

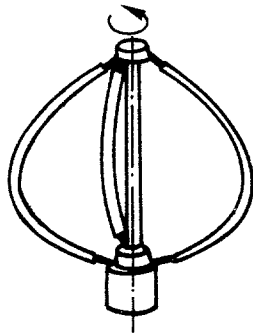


SEITENRAD

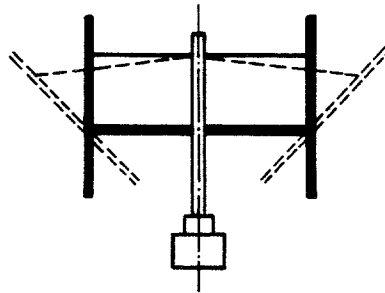


SCHLEPPTURBINE

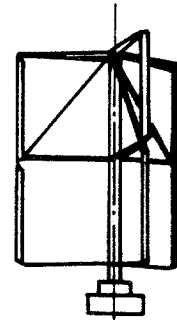
VERTIKALE ACHSE, AUFTRIEBNUTZEND



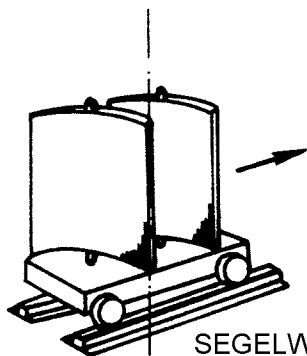
DARRIEUS



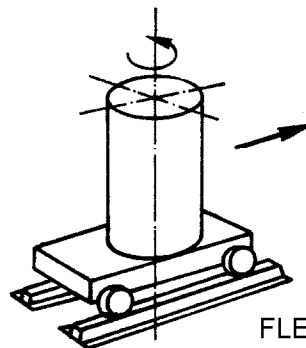
H - DARRIEUS



GIROMILL

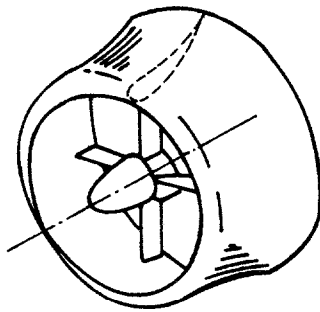


SEGELWAGEN

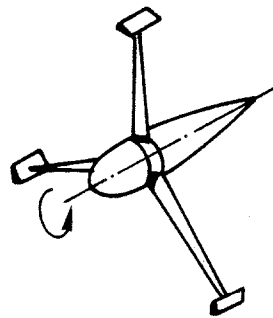


FLETTNER - WAGEN

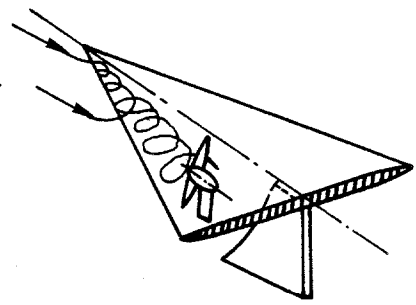
KONZENTRIERENDE MASCHINEN



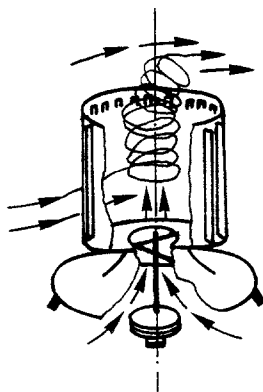
MANTELTURBINE



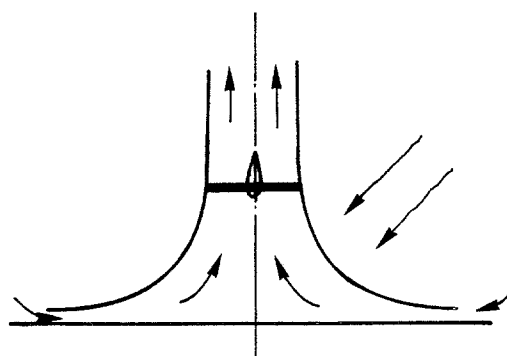
QUASI - MANTEL



VORDERKANTENWIRBEL

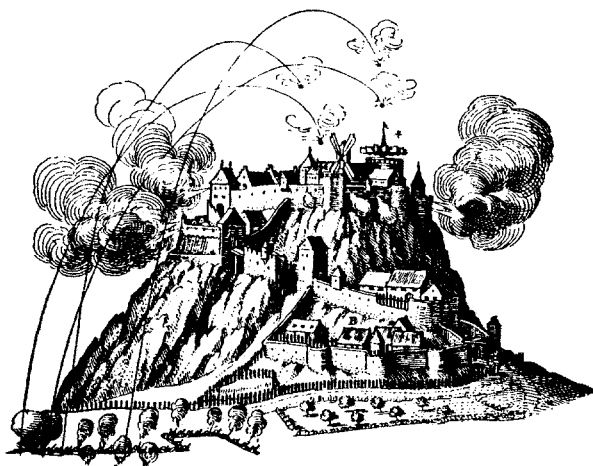
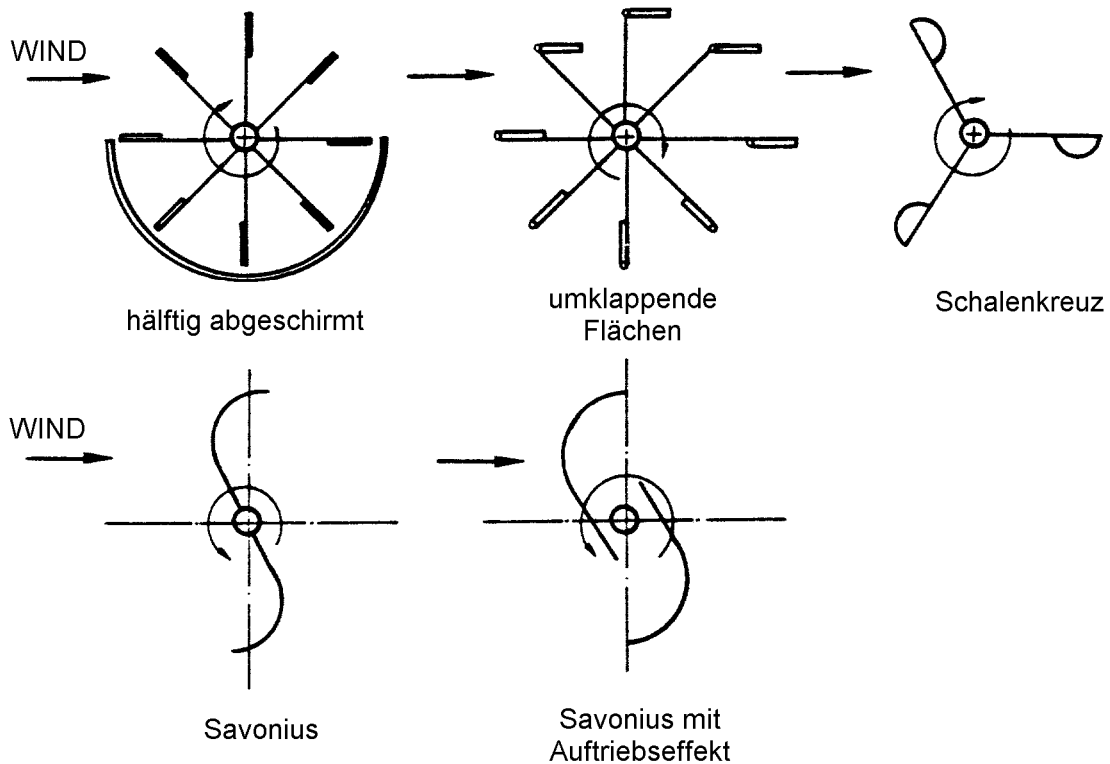


TORNADO TYP



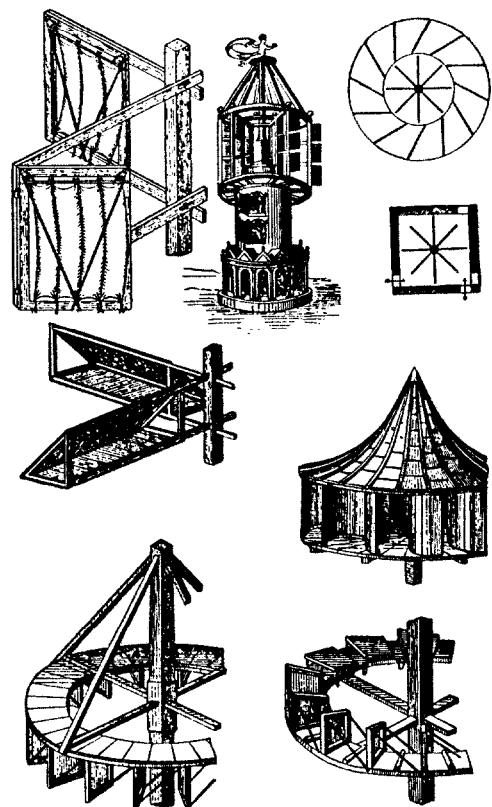
THERMIK - TURM

HORIZONTALE ODER VERTIKALE ACHSE; WIDERSTANDNUTZEND

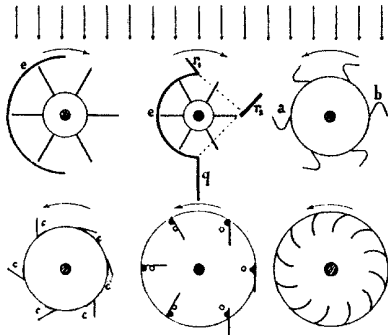


Windturbinen auf dem Hohentwiel 1641

Historische - Windmühlen - Typen

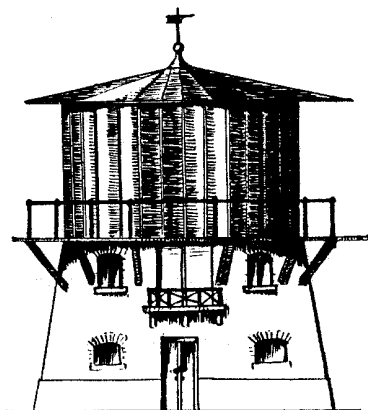
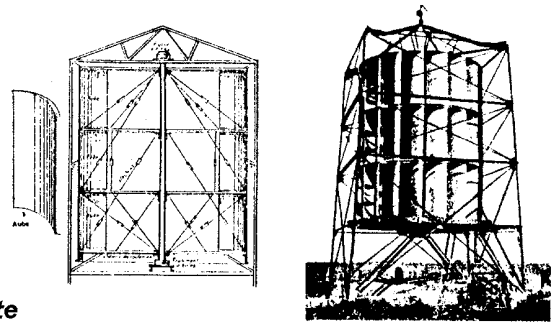


Alte, vertikale Windräder

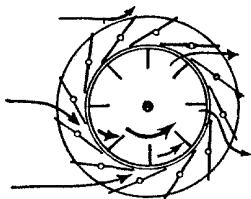


Pananemonen,
Vertikal - Achsen - Anlagen, schematisch

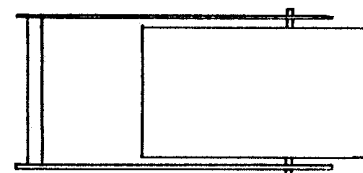
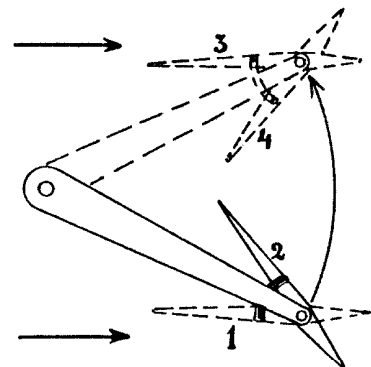
Sondergeräte



Vertikal - Achsen - Anlage von Lafond, Montpellier, 1930

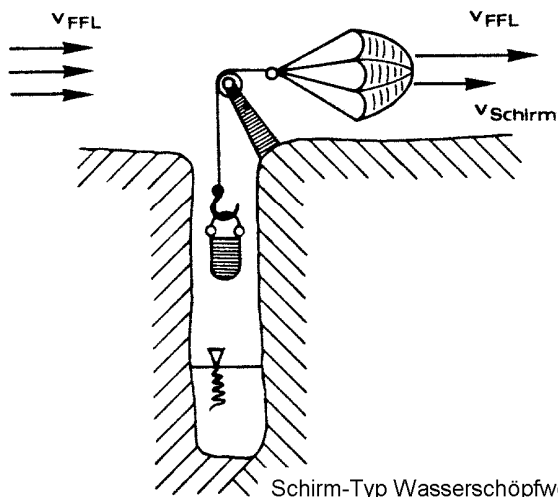


Vertikal - Achsen - Anlage von Wolf



- 1 Tiefste Stellung der Fläche, die hierauf vom Wind in die begrenzte Stellung
- 2 umgelegt wird. Auftrieb
- 3 obere Umkehrgrenze. Der Wind legt die Fläche in die
- 4 Stellung. Abtrieb.

Oszillierende, "schlagende" Windkraftanlage



Schirm-Typ Wasserschöpfwerk

Theorie der Windenergienutzung

Eine freie Windströmung enthält kinetische Energie. Beim Um- und Durchströmen durch ein windenergienutzendes Gerät verändern sich Druck und Geschwindigkeit der Luftströmung. Kontinuitätsgleichung, Impulssatz und Energie-Erhaltungssatz begrenzen den Anteil der Energie die aus der Luftströmung entnommen werden kann, unabhängig davon wie das Gerät auch gestaltet sein mag. Für ein optimales Gerät fand 1926 Betz den maximalen Leistungswert, gerechnet ohne Drall und Reibung in der Strömung:

$$P_{\max} = 16/27 \cdot \rho/2 \cdot V_{\text{FFL}}^3 \cdot A_{\phi} \quad [\text{Watt}]$$

V_{FFL} ist die ungestörte Windgeschwindigkeit und A_{ϕ} die durch das Gerät aus der Windströmung herausgeschnittene, beeinflusste Fläche [m^2] (zumeist ein Kreis, ein Rechteck oder eine andere Fläche).

Der Größenanteil der maximalen Leistung wird als Leistungsbeiwert C_P definiert:

$$C_P = \frac{P_{\max}}{\rho/2 \cdot V_{\text{FFL}}^3 \cdot A_{\phi}}$$

Betz fand, daß maximal 16/27, also ca. 60% der kinetischen Energie aus der Luftströmung mit einem reibungslosen Gerät entzogen werden kann.

Dabei muß außerdem ein Abminderungsfaktor der Luftströmung auf 1/3 der ursprünglichen Größe vorliegen:

$$\zeta = V_{\text{DNW}} / V_{\text{FFL}} = 1/3 \quad (\text{DNW} = \text{downwind})$$

V_{DNW} ist dabei die Windgeschwindigkeit weit stromab, hinter dem Gerät.

Daneben wird zur Charakterisierung eines windenergienutzenden Gerätes eine dimensionslose Größe, die Schnellaufzahl λ definiert.

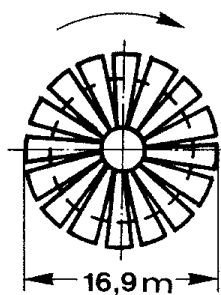
λ ist das Verhältnis von Rotorblatt-Spitzen-Umfangsgeschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit der freien, ungestörten Strömung (FFL = free flow).

$$\lambda = U_{\text{Tip}} / V_{\text{FFL}}$$

Alle windenergienutzenden Geräte haben eines gemeinsam:

1. Geräte sollten mit Auftriebsflächen und nicht mit Widerstandsflächen arbeiten.
2. Die Qualität der Flächen, das heißt der ganzen Anlage, steigt mit der Gleitzahl LDR (lift to drag ratio).

3. Die Wahl von hohen Schnellaufzahlen λ (größer 4) ergibt eine geringe Zahl von Rotorblättern (1, 2 oder 3). Zusätzliche Rotorblätter ergeben eine höhere Anlagenmasse, höhere Kosten und ein komplizierteres System. Da ein Wenigblattrotor Startprobleme aufweist, wird zum besseren Anlaufen eine Rotorblattverstellung benötigt. Schnellläufer haben ein geringes Anlaufmoment. Sie weisen einen sehr hohen Leistungsbeiwert C_P auf und sind besonders zur Stromgenerierung geeignet.
4. Schnellaufzahlen λ kleiner 2 ergeben eine große Anzahl von Rotorblättern, bis hin zu 48 Stück für die langsamlaufende Amerikanische Windturbine (western mill). Diese Anlage eignet sich hervorragend zum Wasserpumpen. Durch ein hohes Startmoment gibt es bei diesem Anlagentyp keine Anlaufschwierigkeiten. Der Vielblattrotor ist eine Schwachwindanlage mit einem bescheidenen Leistungsbeiwert C_P .

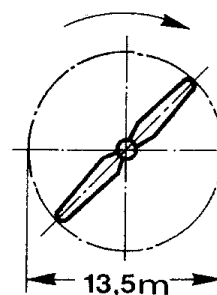


$$\lambda_{nL} = 1,0$$

$$M = 8390 \text{ Nm}$$

$$n = 5,68 \text{ U/min}$$

LANGSAMLÄUFER (L)

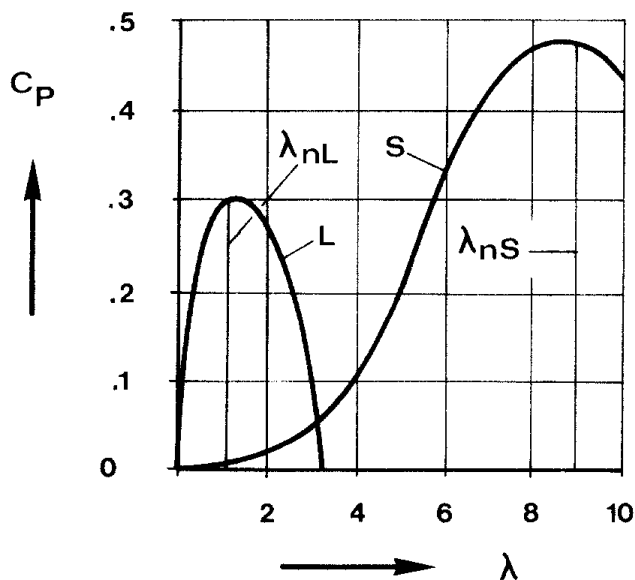


$$\lambda_{nS} = 9,2$$

$$M = 735 \text{ Nm}$$

$$n = 65 \text{ U/min}$$

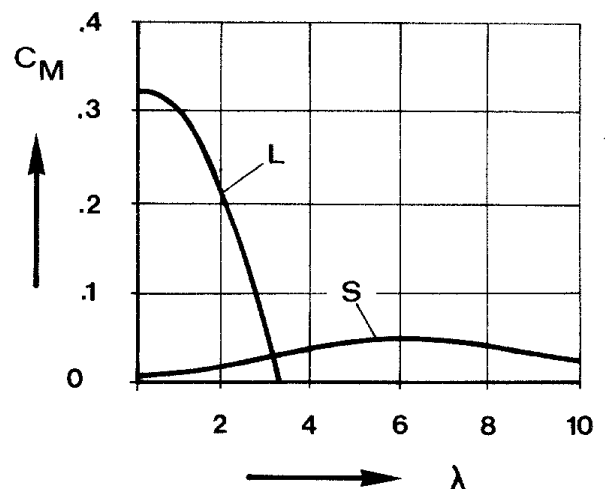
SCHNELLÄUFER (S)



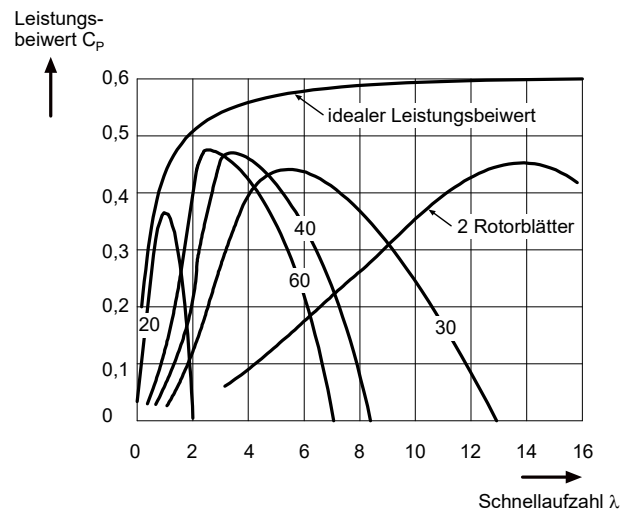
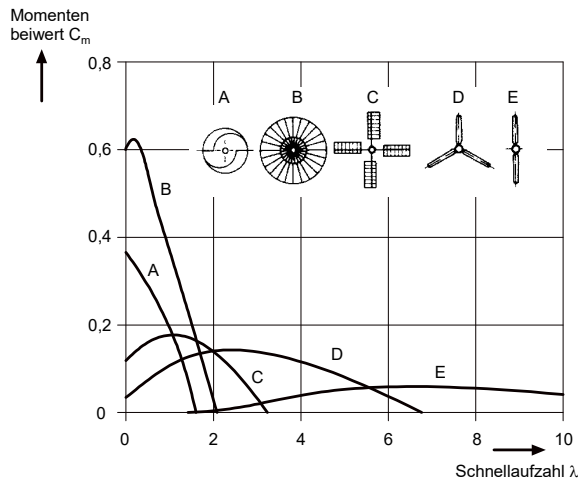
WINDENERGIE - KONVERTER

$$P = 5 \text{ KW}$$

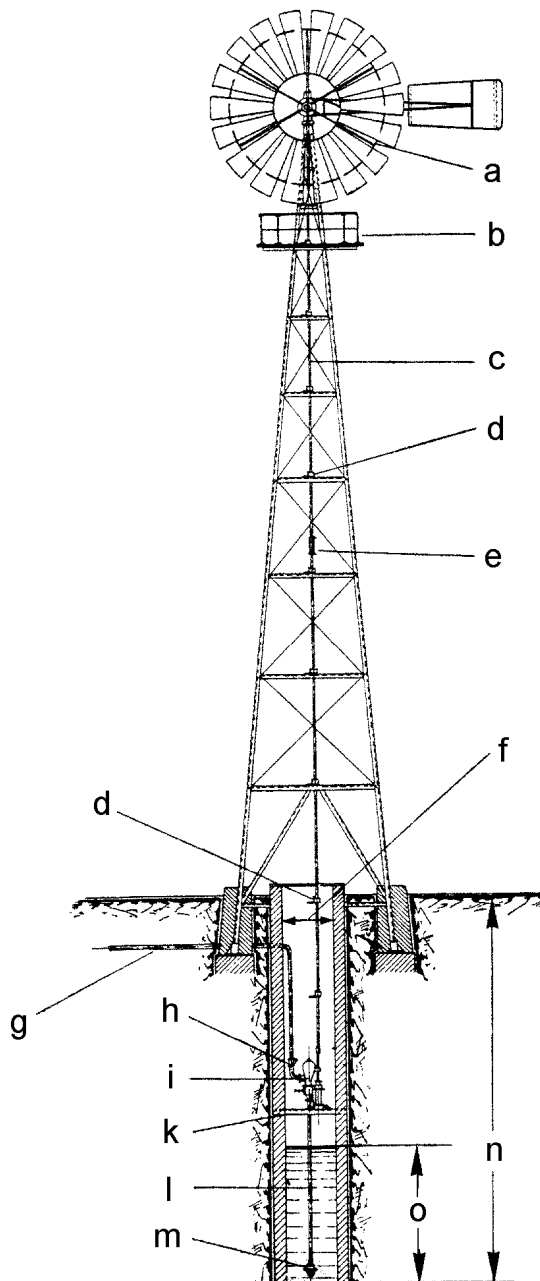
$$V = 5 \text{ m/s}$$



Langsamläufer und Schnelläufer im Vergleich

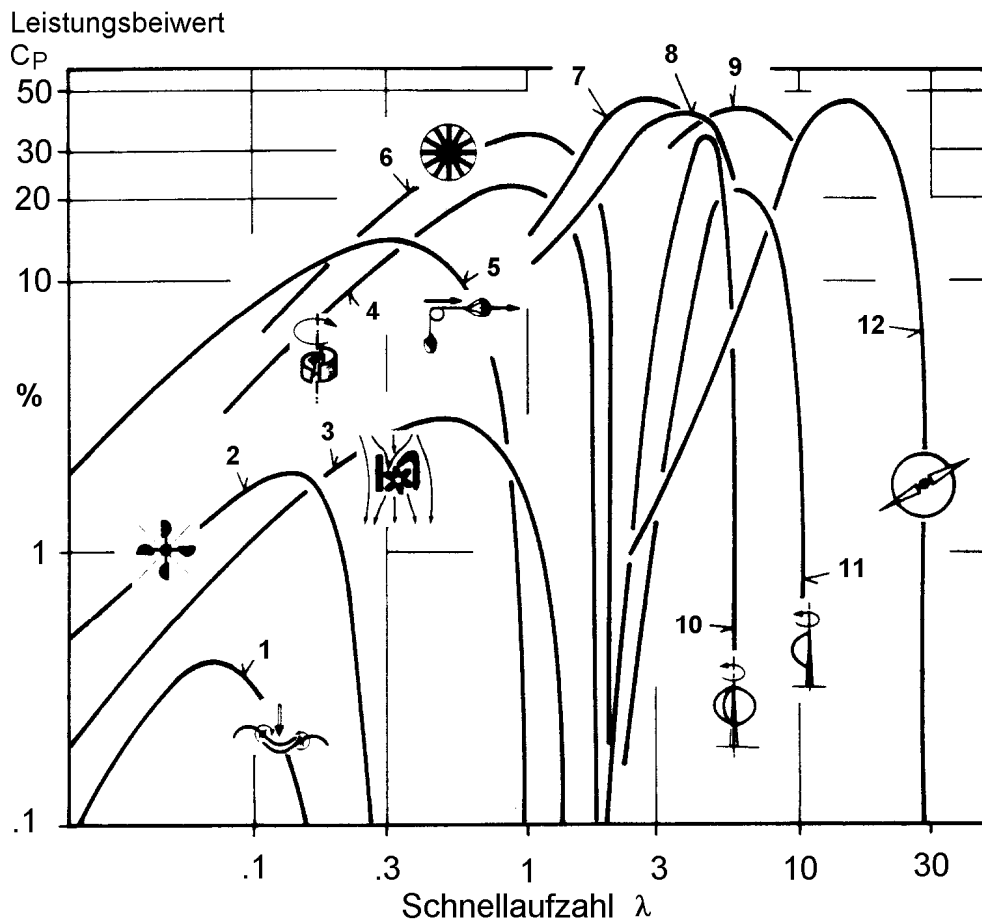


Kenngößen von Windrotoren



Amerikanische Windturbine

- a) Windrotor für direkten Pumpenantrieb
- b) Podest
- c) Gestänge, auf- und abgehend
- d) Führungslager
- e) Gestängekupplung
- f) Brunnendurchmesser
- g) Druckrohr
- h) Rückschlagventil
- i) Saug- und Druckpumpe
- k) Pumpenrahmen
- l) Saugrohr
- m) Saugkorb mit Rückschlagventil
- n) Brunnentiefe
- o) Wasserstand im Brunnen



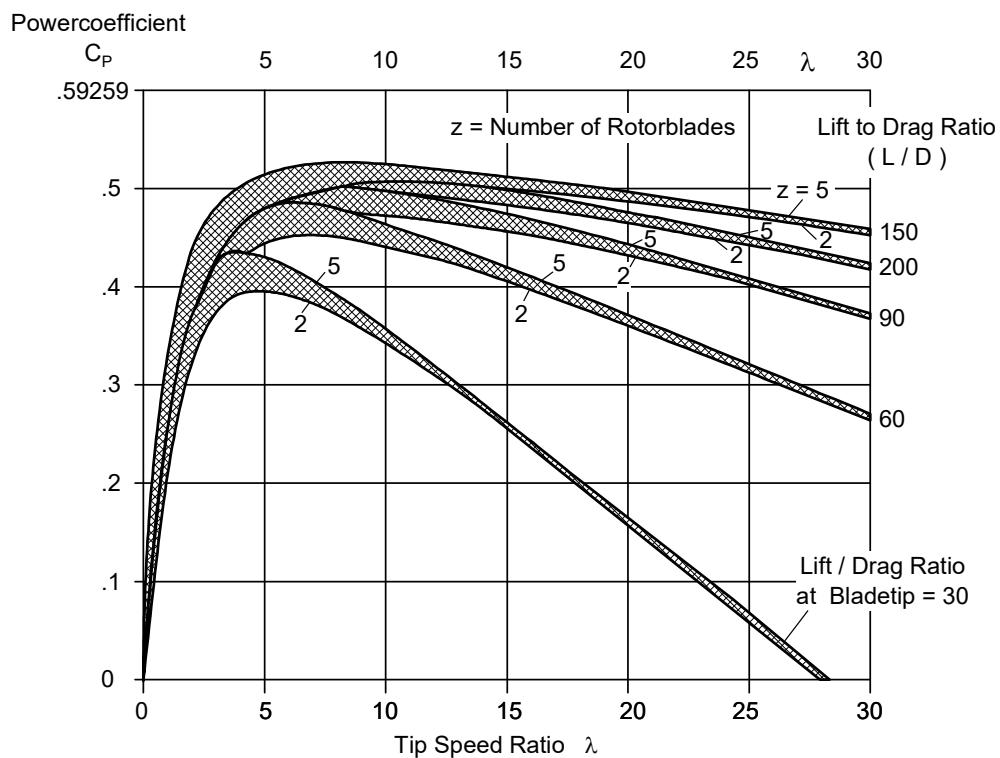
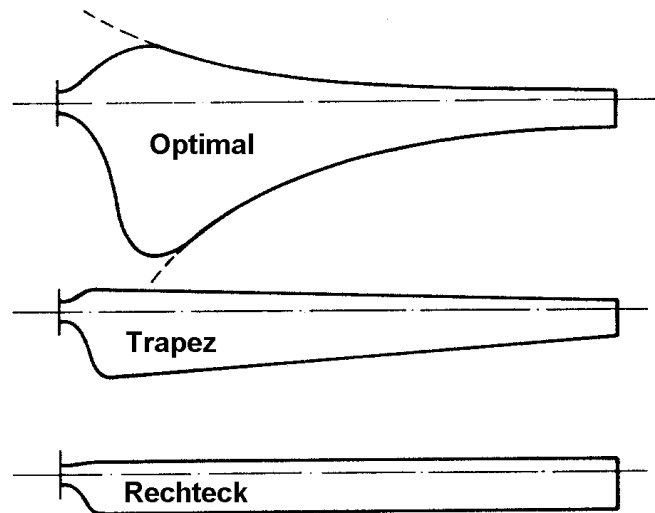
		$C_{P,opt}$	$\lambda_{C_{P,opt}}$	λ_{max}	Nr.
	STU/FFA 76/78	0,4820	16,00	30,00	12
	HÜTTER 57	0,4650	13,00	22,00	9
	HÜTTER 42	0,4700	3,60	6,75	7
	ØATTEB 39	0,4320	5,50	13,00	8
	GÖTTINGEN 5/26	0,3500	1,10	2,00	6
	SAVONIUS	0,2300	0,85	1,80	4
	FALLSCHIRM	0,1500	0,32	1,00	5
	abgedeckter VERTIKAL-LÄUFER	0,0300	0,50	0,14	3
	ANEMOMETER	0,0195	0,14	0,31	2
	kämmender SAVONIUS-TYP	0,0040	0,07	0,19	1
	DARRIEUS 3 Blatt	0,3620	4,66	6,76	10
	DARRIEUS 1 Blatt	0,2360	6,10	10,00	11

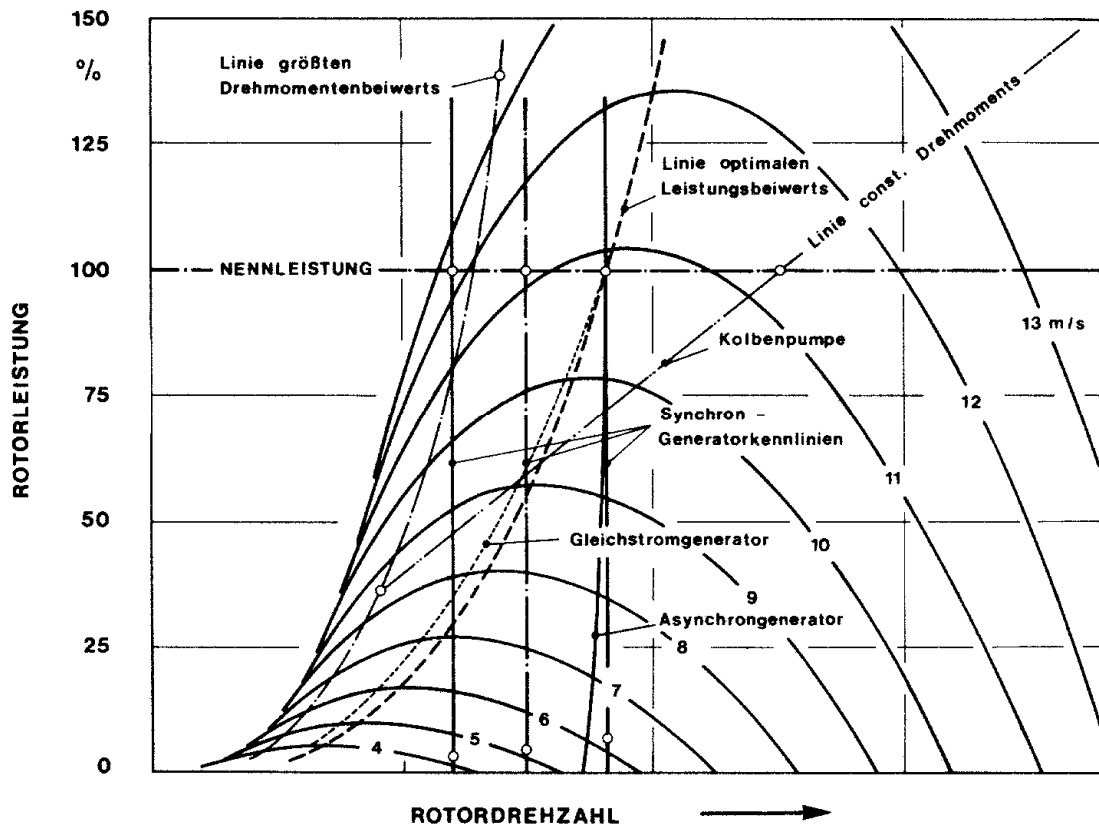
Leistung des Windes je 1 m ² Fläche			Durchmesser des Rotors Für 1000 Watt (1KW) Leistung		
Windgeschwindigkeit m/s	Windgeschwindigkeit km/h	Leistung Watt	Windgeschwindigkeit m/s	Windgeschwindigkeit km/h	Durchmesser m
3	(11)	6,4	1	(3,6)	73
6	(22)	51	2	(7,2)	26
10	(36)	236	3	(11)	14
14	(50)	647	4	(14)	9
18	(65)	1375	5	(18)	6,6
28	(100)	5177	6	(22)	5

Was steckt
im Wind?

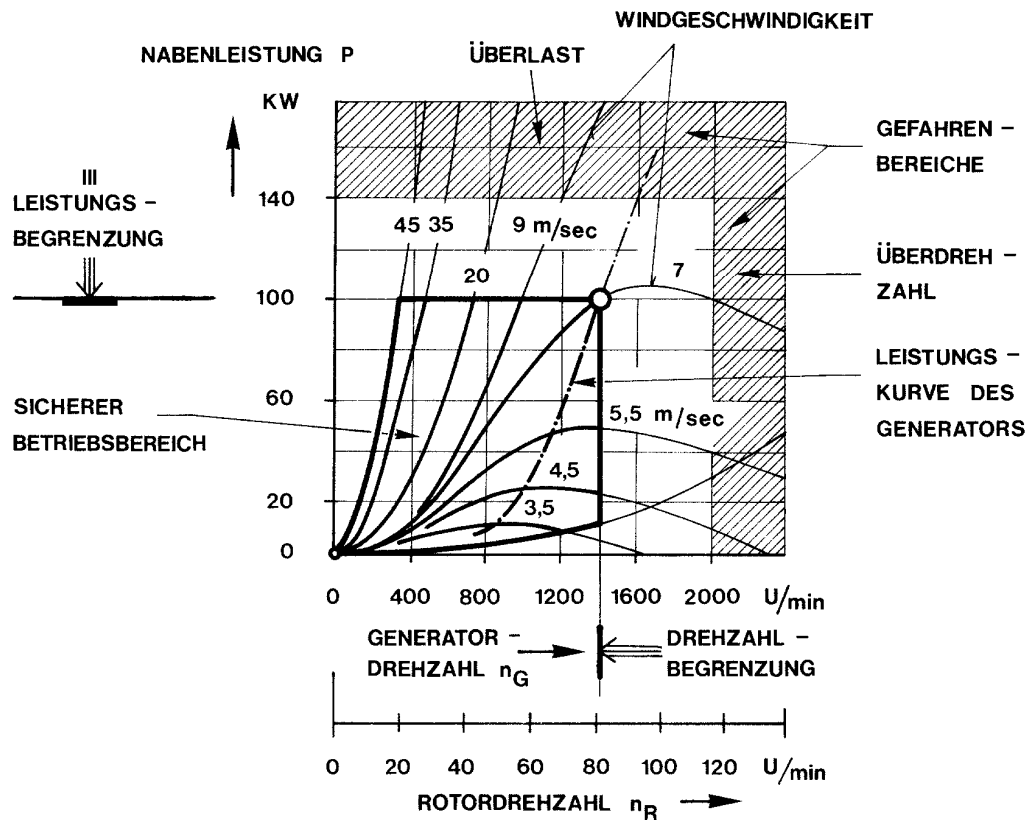
$C_P = 0,4$

Blattumriß und Einfluß
Der Profilhüte (Gleitzahl)





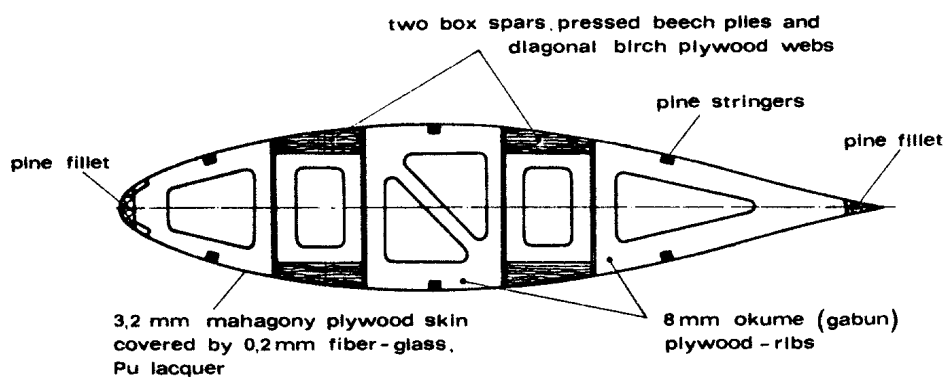
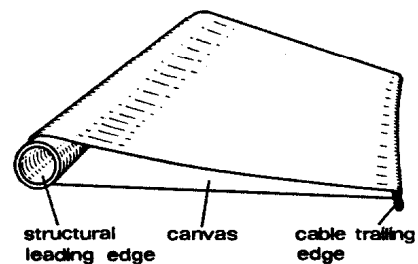
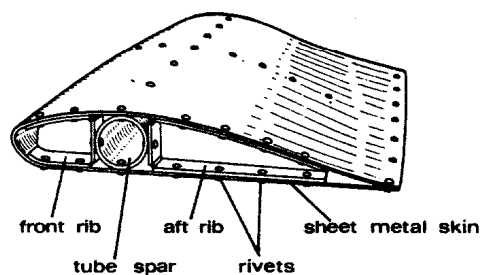
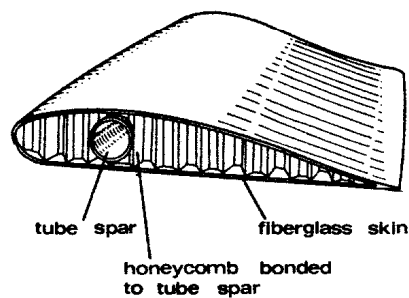
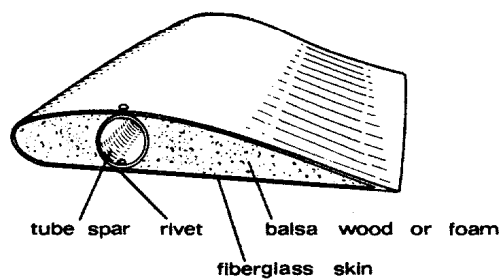
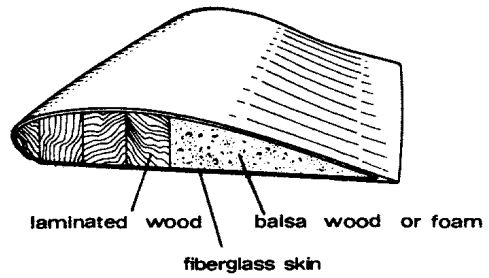
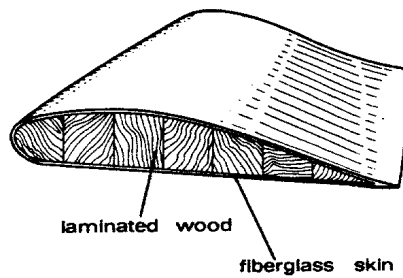
Leistungs-Drehzahl-Kennfeld einer Windkraftanlage mit den Kennlinien der angetriebenen Arbeitsmaschinen. Eine Abstimmung ist erforderlich.



Grenzbereich beim Betrieb eines Windenergie-Konverters

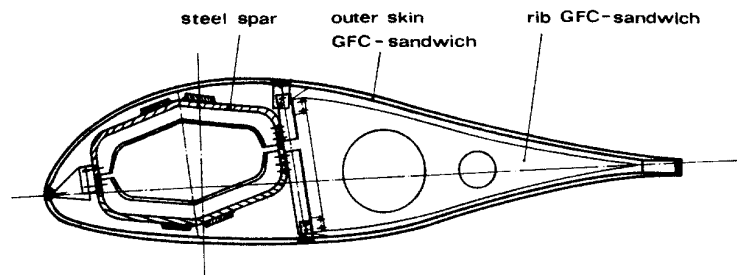
Rotorblattbauweisen

do – it –yourself Bauweise

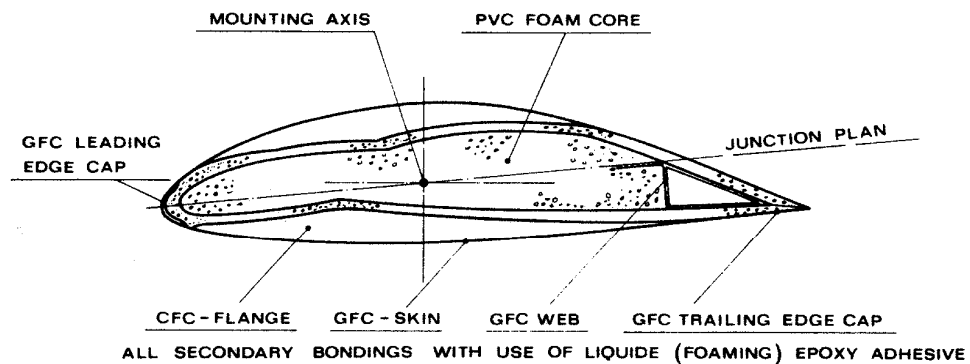


VAWIAN, Darrieus plant, NACA 654-021 airfoil section
ERNO, Bremen (75 KW, 28 x 14 m cross-Section, 2 straight blades)

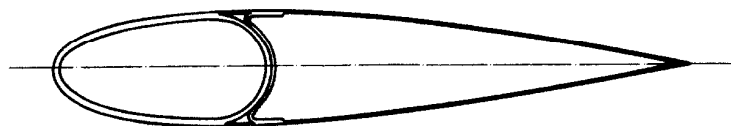
Metall- und Faserverbund – Bauweisen



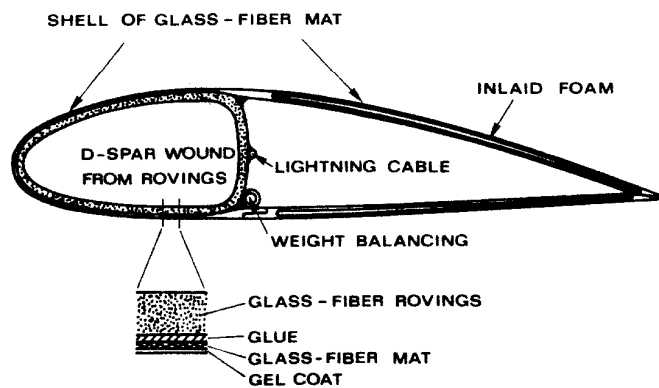
GROWIAN I rotor blade cross-section at radius position 27,5m



WEC - 300, VOITH / HÜTTER, 52m diameter, 30m tower height, 2 bladed rotor



Monolithic filament-wound fiberglass structure
WTS-4 plant, Hamilton Standard, USA (4 MW, 78,1m diameter)



Danish 3-bladed wind turbine, 29,3 m diameter, two generators
With 60 KW and 265 KW, 28 RPM and 42 RPM

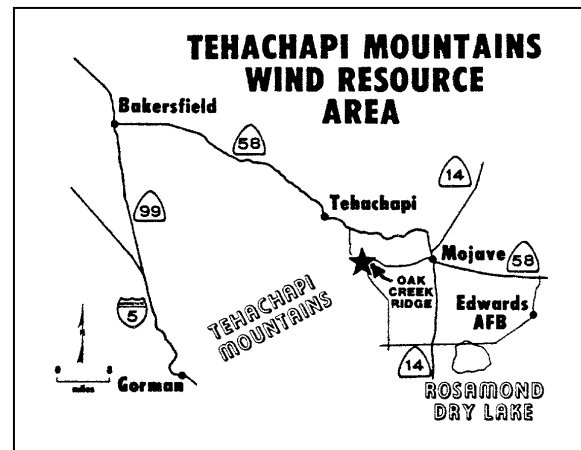
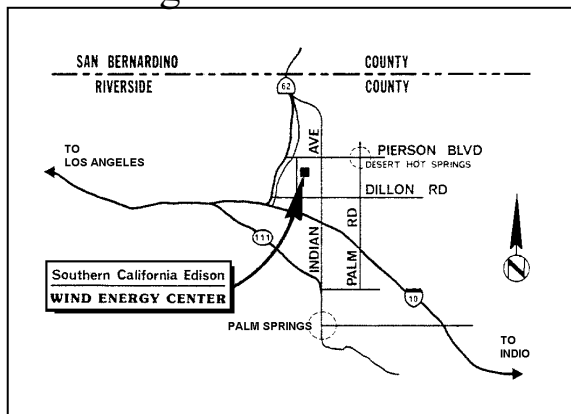
	Anzahl	Leistung (MW)	Spez. Investitions- kosten (\$/kW)	Energie- lieferung (GWh)
1981	144	7	3133	0,01
1982	1145	64	2175	4,8
1983	2493	172	1900	46,5
1984	4687	366	1860	188,1
1985	4989	511	1700	663,0
1986	ca. 2000	200-250	1500	ca. 1250
Summe	ca. 15500	ca. 1400	-	ca. 2000

Windparks

USA

Windenergieanlagen in Kalifornien (Neuinstallationen/Jahr)
Quelle: Amannsberger/Hau 1987 Fritz Lucke, Windpark Projekte

San Gorgonio Pass



Dänemark

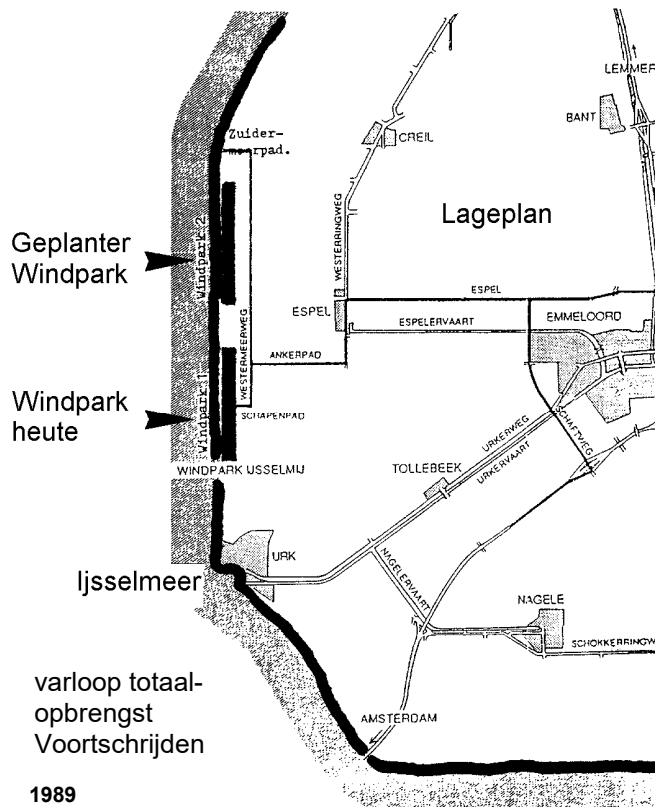
Location	Owner	Capacity (kW)	Windmill Manufacturer
1 Oddesund Syd	(Dansk Vindmølle)	13x 100	Bonus
2 Oddesund Nord	(Park A/S)	20x 55	Bonus
3 Tønder Tekniske Skole	Public Institution	9 units of various types	
4 Ebeltoft	Municipality	16 x 55 1 x 100	Nordtank Nordtank
5 Aerø	Co-operation	11 x 55	Vestas
6 Fanø	Co-operation	6 x 55	Vestas
7 Nordby	Co-operation	6 x 55	Vestas
8 Aale	Co-operation	10 x 75	Windmatic
9 Ranum	Co-operation	14 x 75	Vestas
10 Sydvestmors	Co-operation	10 x 75	Vestas
11 Masnedø	Utility	5 x 750	DWT
12 Hundested	Utility	3 x 300	DWT
13 Hasle	Municipality	10 x 100	Smedemester
14 Taendpipe	Co-operation	30 x 75	Vestas

Total Production last day: 8 MWh 839 kWh Total Worked last day: 232 Hr
Total Production last month: 1437 MWh 764 KWh Total Worked last month: 12822 Hr
Total Production: 18159 MWh 387 KWh Total Worked: 176795 Hr

Average Windspeed last day: 4,6 m/s 2,9 m/s 00,0 m/s
Average Windspeed last month: 6,8 m/s 5,1 m/s 00,0 m/s

1988 - 12-07 15:13 nu IJSSELMIJ ZA ZWOLLE

001	11 Hr	547 Hr	7074 Hr
002	5 HR	502 Hr	6528 Hr
003	11 Hr	534 Hr	7692 Hr
004	08 Hr	491 Hr	6530 Hr
005	10 Hr	527 Hr	7515 Hr
006	09 Hr	505 Hr	7346 Hr
007	05 Hr	474 Hr	6721 Hr
008	09 Hr	483 Hr	7394 Hr
009	11 Hr	538 Hr	7423 Hr
010	09 Hr	503 Hr	6879 Hr
011	11 Hr	536 Hr	6944 Hr
012	09 Hr	505 Hr	6850 Hr
013	10 Hr	532 Hr	7478 Hr
014	08 Hr	491 Hr	7247 Hr
015	09 Hr	520 Hr	7066 Hr
016	09 Hr	493 Hr	7109 Hr
017	10 Hr	528 Hr	6975 Hr
018	09 Hr	453 Hr	7452 Hr
019	09 Hr	512 Hr	7315 Hr
020	09 Hr	489 Hr	7263 Hr
021	10 Hr	529 Hr	6969 Hr
022	09 Hr	502 Hr	6591 Hr
023	11 Hr	546 Hr	6086 Hr
024	10 Hr	504 Hr	6432 Hr
025	11 Hr	532 Hr	7116 Hr



Produkte-overzicht:
Werkolijke opbrengst:

Periode	1988		1989	
Maand	Windsnelheid (m/sec.)	Opbrengst (kWh)	Windsnelheid (m/sec.)	Opbrengst (kWh)
januari	7,3	562,292	6,4	1.047,166
februari	9,9	1.241,035	8,0	1.736,288
maart	7,1	1.225,904	7,6	468,306
april	5,5	439,363	6,3	45,072
Mal	5,6	690,326	5,6	133,586
juni	5,0	421,750	4,2	184,166
juli	6,5	1.373,552	5,3	431,286
augustus	6,1	917,020	5,6	670,771
september	6,2	1228,534	4,1	341,980
oktober	6,0	1.027,984	6,8	1.437,764
november	5,9	803,485		

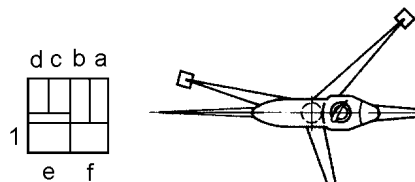
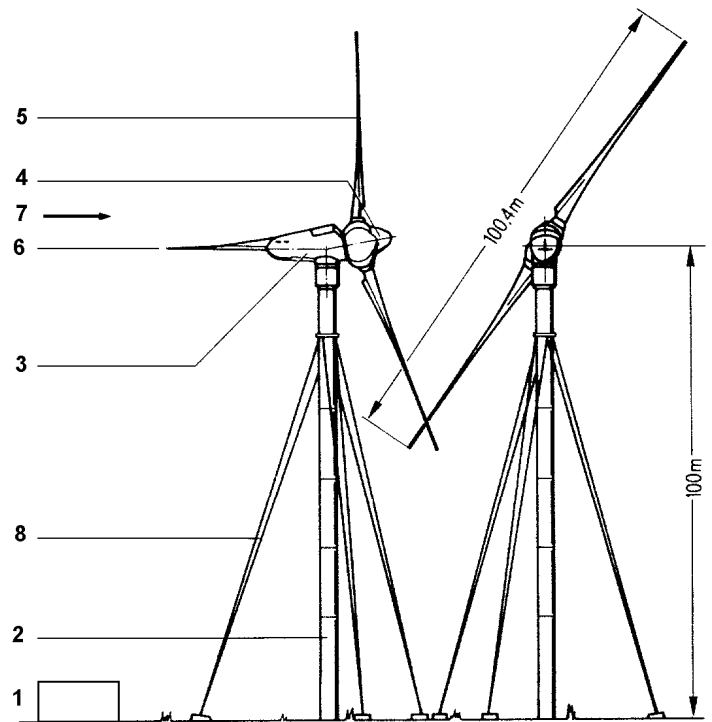
Windparks
Niederlande



Production Report of 31/10/89 23:50

Turbine	Prod. Last day		Prod. Last month		Total Prod.	
001	0 MWh	358 KWh	61 MWh	778 KWh	684 KWh	764 KWh
002	0 MWh	253 KWh	56 MWh	339 KWh	669 MWh	686 KWh
003	0 MWh	369 KWh	60 MWh	262 KWh	788 MWh	13 KWh
004	0 MWh	318 KWh	54 MWh	130 KWh	670 MWh	177 KWh
005	0 MWh	364 KWh	59 MWh	633 KWh	783 MWh	273 KWh
006	0 MWh	383 KWh	56 MWh	90 KWh	748 MWh	39 KWh
007	0 MWh	183 KWh	51 MWh	37 KWh	693 MWh	322 KWh
008	0 MWh	349 KWh	55 MWh	160 KWh	757 MWh	103 KWh
009	0 MWh	364 KWh	59 MWh	899 KWh	751 MWh	267 KWh
010	0 MWh	349 KWh	55 MWh	235 KWh	691 MWh	108 KWh
011	0 MWh	371 KWh	60 MWh	43 KWh	711 MWh	309 KWh
012	0 MWh	363 KWh	54 MWh	466 KWh	692 MWh	637 KWh
013	0 MWh	368 KWh	60 MWh	206 KWh	754 MWh	162 KWh
014	0 MWh	333 KWh	54 MWh	727 KWh	738 MWh	238 KWh
015	0 MWh	361 KWh	58 MWh	915 KWh	741 MWh	875 KWh
016	0 MWh	348 KWh	55 MWh	401 KWh	728 MWh	501 KWh
017	0 MWh	374 KWh	59 MWh	789 KWh	722 MWh	225 KWh
018	0 MWh	354 KWh	55 MWh	144 KWh	755 MWh	593 KWh
019	0 MWh	356 KWh	59 MWh	953 KWh	771 MWh	845 KWh
020	0 MWh	352 KWh	54 MWh	966 KWh	741 MWh	874 KWh
021	0 MWh	393 KWh	60 MWh	798 KWh	747 MWh	209 KWh
022	0 MWh	386 KWh	56 MWh	216 KWh	696 MWh	956 KWh
023	0 MWh	411 KWh	61 MWh	261 KWh	719 MWh	439 KWh
024	0 MWh	386 KWh	56 MWh	13 KWh	681 MWh	5 KWh
025	0 MWh	391 KWh	60 MWh	103 KWh	719 MWh	767 KWh

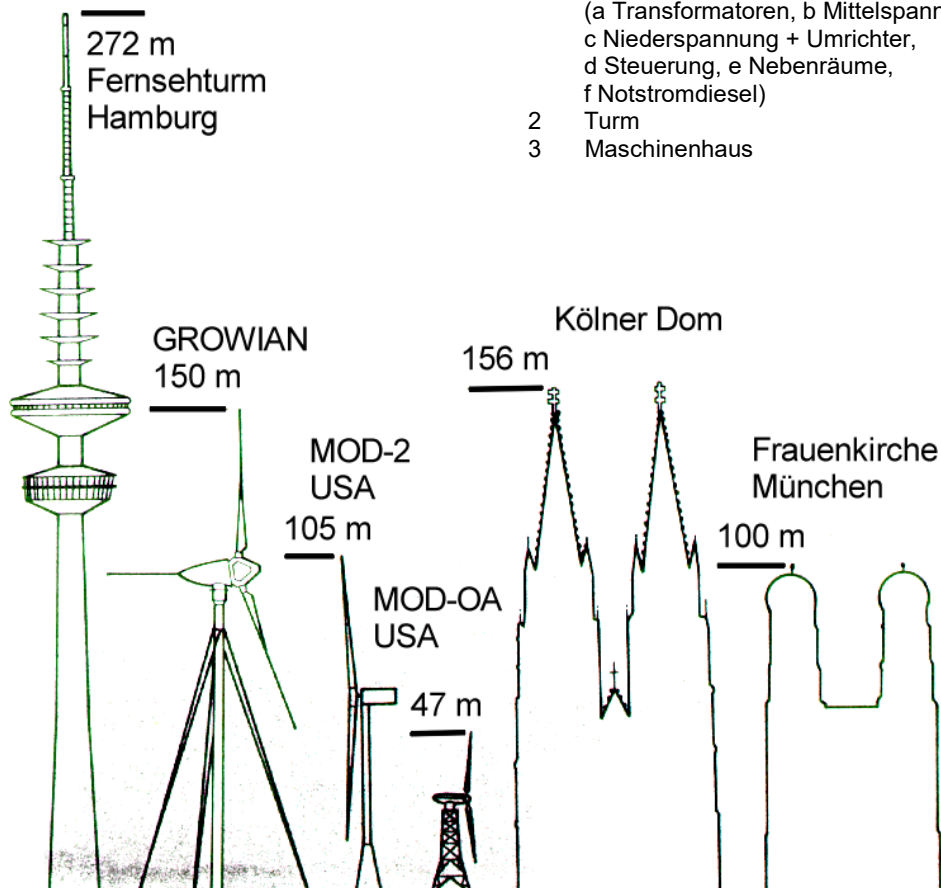
Anlagen der Bundesrepublik



- 1 Betriebsgebäude
(a Transformatoren, b Mittelspannung,
c Niederspannung + Umrichter,
d Steuerung, e Nebenräume,
f Notstromdiesel)
- 2 Turm
- 3 Maschinenhaus

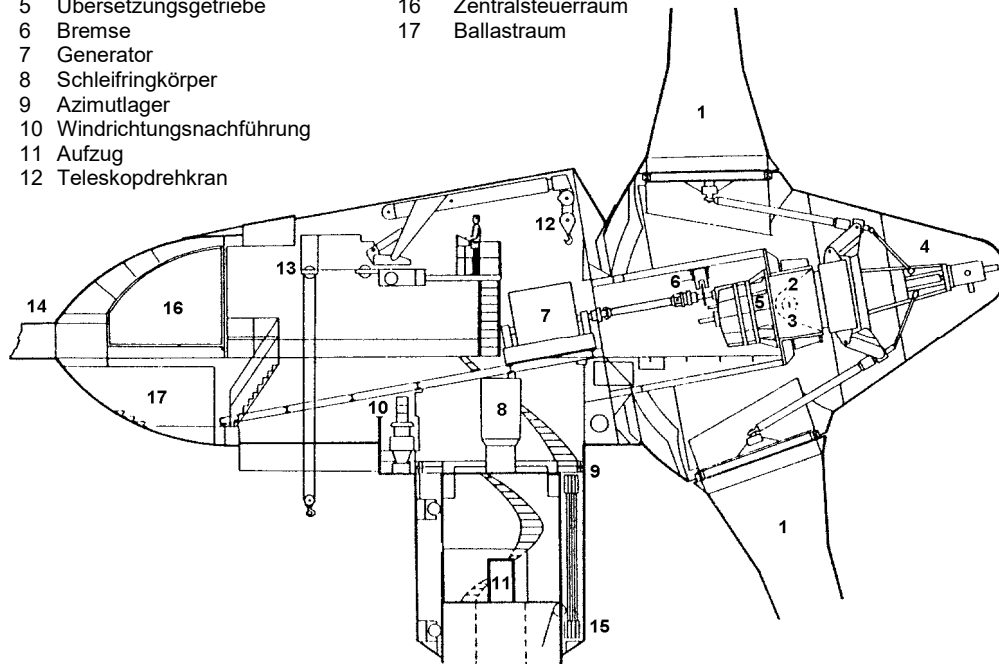
- 4 Nabe
- 5 Flügel
- 6 Windmeßsporn
- 7 Windrichtung
- 8 Abspannseile

272 m
Fernsehturm
Hamburg

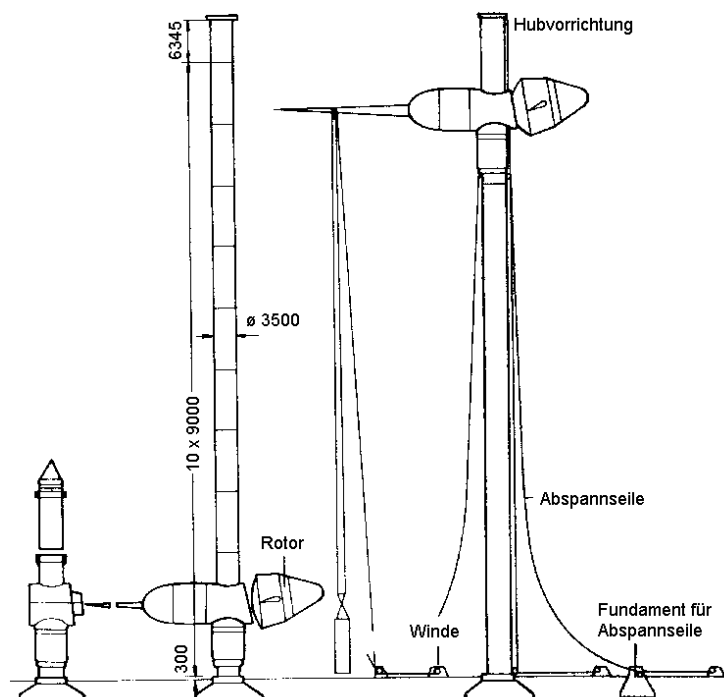


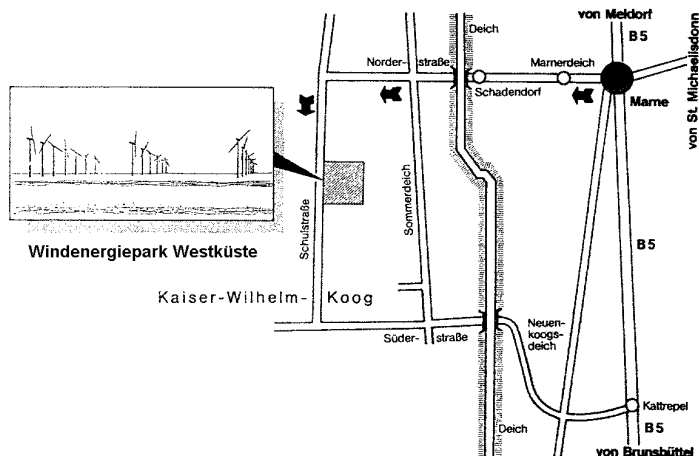
Untersysteme im Turmkopf

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 Rotorblatt | 13 Hilfsaufzug |
| 2 Rotorlager | 14 Ausleger für Windmeßgeräte
und Montageballast |
| 3 Pendelgelenk | 15 Hubvorrichtung |
| 4 Rotorblattverstellung | 16 Zentralsteuerraum |
| 5 Übersetzungsgetriebe | 17 Ballastraum |
| 6 Bremse | |
| 7 Generator | |
| 8 Schleifringkörper | |
| 9 Azimutlager | |
| 10 Windrichtungsnachführung | |
| 11 Aufzug | |
| 12 Teleskopdrehkran | |



Montage des Maschinenhauses (Turmdurchdringung)

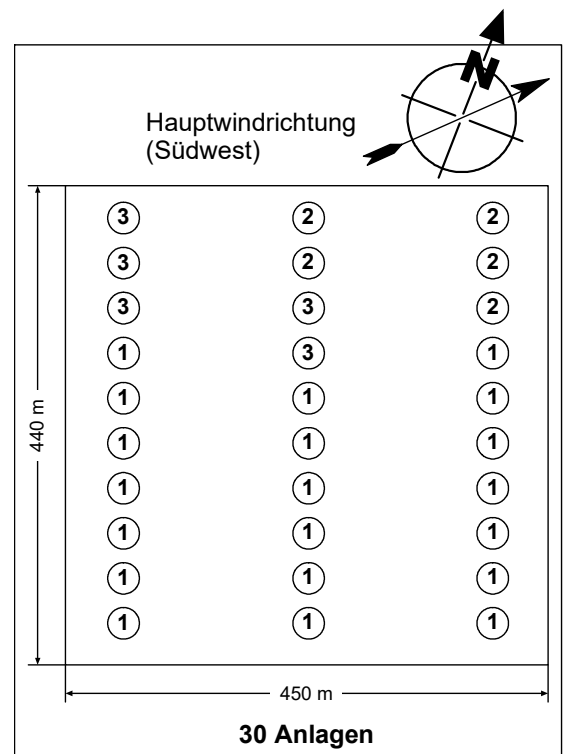




Der erste und älteste Deutsche Windpark

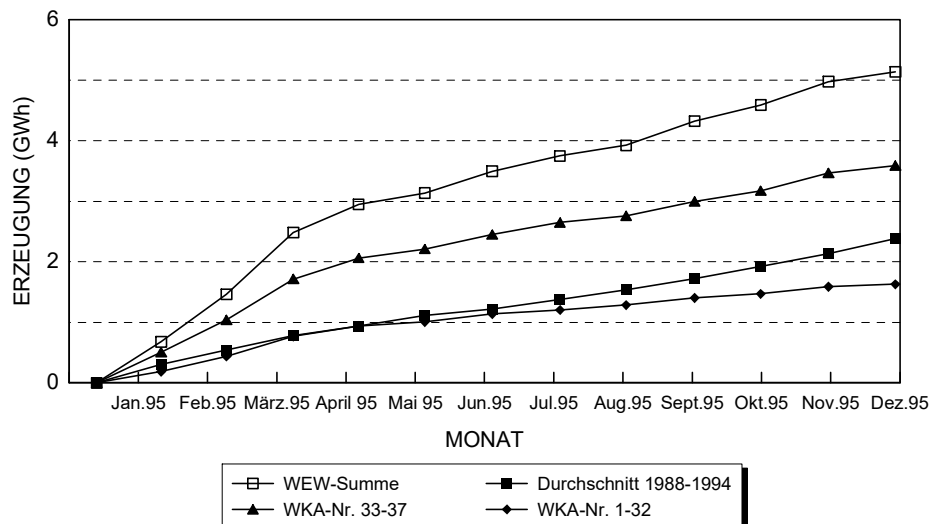
Windenergiepark Westküste GmbH
Kieler Straße 19, 2370 Rendsburg

Hersteller	TECHNISCHE DATEN		
	MAN	Gesellschaft für Energieanlagen	Windkraft- Zentrale
	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Type	Aeroman 12,5/30	ENERCON - 15	elektrOmat - 25
Anlagenzahl	20	5	5
Rotor			
Anzahl der Blätter	2	3	3
Rotordurchmesser in Metern	12,5	15,3	10,4
Anordnung der Rotorblätter zum Mast	Luv	Luv	Luv
Nabenhöhe in Metern	16	22,5	14,5
Windrichtungsnachführung	passiv (Seitenrad)	aktiv (E-Motor)	passiv (Seitenrad)
Schnellaufzahl	9	5,5	5,2
Drehzahl in U/min	100	20-55	10-72
Anpassung an die unter- schiedlichen Wind- geschwindigkeiten durch	Blatt- verstellung	variable Drehzahl	variable Drehzahl
Getriebe			
Übersetzungsverhältnis	1 : 17,5	1 : 19,9	1 : 25
Generator			
Bauart	Asynchron	Synchron	Synchron
Nennleistung in Kilowatt (kW)	30	55	25
Nennspannung in Volt	380	380	380
Leistungsabgabe ins Netz	Direkt	Über AN,ach-i_M.,	Über Ak-ch-nchler
Nenngeschwindigkeit in m/s	11,9 (Windstärke 6)	12,5 (Windstärke 6)	11,0 (Windstärke 6)
Einschaltgeschwindigkeit in m/s	3,8 (Windstärke 3)	3,5 (Windstärke 3)	3,0 (Windstärke 2-3)
Abschaltgeschwindigkeit in m/s	keine Abschaltung	25 (Windstärke 10)	30 (Windstärke 10)
Mast			
Flächenbedarf	Stahlrohr achtkantig	Gittermast	Gittermast
Energielieferung	Die Gesamtfläche des Windenergieparks beträgt ca. 20ha Die 30 Windenergieanlagen werden im Jahr insgesamt rd. 2,2 Mio. kWh elektrische Arbeit erzeugen		



Windpark - Architektur
bei Inbetriebnahme am 24. August 1987

WINDENERGIEPARK WESTKÜSTE



Energieertrag Windenergiepark Westküste GmbH (Schleswig)

WINDENERGIEPARK WESTKÜSTE

WKA-Nr.	Betriebsdaten - Erfassung				Stand: 29.12.95			
	Monat		Monat		Monat		Monat	
	12.95	1.95	12.95	1.95	12.95	1.95	12.95	1.95
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Monat	seit	Monat	seit	P (kW)	Volllaststunden	Volllaststunden	in %
	12.95	1.95	12.95	1.95	Sp.3/	Stunden	Stunden	in %
					Sp.1			
Aeroman 30 kW	61	2.992	464	38.399	7,6	15,5	2,3	1,280
1	158	4.037	1.275	54.368	8,1	42,5	6,3	14,7
2	0	1.133	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	485	4.517	1.327	37.813	2,7	44,2	6,6	1,260
4	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	135	3.889	1.327	57.334	9,8	44,2	6,6	1,911
6	122	2.637	949	35.559	7,8	31,6	4,7	1,165
7	119	3.544	1.014	47.331	8,5	33,8	5,0	1,578
8	169	3.953	1.373	51.258	8,1	45,8	6,8	1,709
9	253	5.422	1.541	57.087	6,1	51,4	7,6	1,903
10	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	173	3.155	1.437	32.955	8,3	47,9	7,1	1,099
15	176	4.534	1.419	50.672	8,1	47,3	7,0	1,689
16	3	3.773	59	43.566	19,7	2,0	0,3	1,452
17	202	5.104	1.479	55.240	7,3	49,3	7,3	1,841
18	216	4.617	1.516	49.079	7,0	50,5	7,5	1,636
19	153	3.979	1.294	50.271	8,5	43,1	6,4	1,676
20	110	3.993	992	49.971	9,0	33,1	4,9	1,662
Gesamt	2.535	61.329	17.466	729.134	126,6	582,2	10,651	24,304
Durchschnitt	127	3.066	873	36.457	6,3	29,1	4,3	1,215
ENERCON 55 kW	307	6.690	2.604	115.624	8,5	47,3	7,0	2,102
26	553	6.975	5.060	116.763	9,2	92,0	13,7	2,159
27	289	6.778	2.582	116.906	8,9	46,9	7,0	2,126
28	529	7.315	4.893	120.748	9,2	88,8	13,2	2,195
29	498	7.449	4.643	113.755	9,3	84,4	12,6	2,088
Gesamt	2.176	35.207	19.772	585.796	45,1	359,5	10,651	24,5
Durchschnitt	435	7.041	3.954	117.159	9,0	71,9	10,7	2,130
Adler 165 kW	0	2.342	0	81.971	0,0	0,0	0,0	497
31	0	2.484	0	113.419	0,0	0,0	0,0	587
32	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1,184
Gesamt	0	4.826	0	195.390	0,0	0,0	0,0	592
Durchschnitt	0	2.413	0	97.695	0,0	0,0	0,0	1,184
Nr.33 Tacke TW 250	482	6.381	15.720	419.630	33,6	62,9	9,4	1,679
Nr.34 Vestas 27/225	367	6.955	13.910	486.280	37,9	61,8	9,2	2,161
Nr.35 ENERCON 33	508	7.516	26.760	754.164	52,7	89,2	13,3	2,514
Nr.36 HSW T 250	480	6.987	17.110	486.050	35,6	68,4	10,2	1,944
Nr.37 ENERCON E40	526	7.642	48.600	1.356.387	92,4	97,2	14,5	2,713
Nr.38	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zusammenfassung			lfd. Monat	lfd. Jahr	Vorjahr			
Gesamtproduktion	kWh		159.338	5.012.831	4.902.970			
Einspeisung	kWh		150.400	4.987.480	4.627.440			

Messdaten aus dem Windmessprogramm (WMEP) des Instituts für Solare Energieversorgungstechnik, Projektgruppe Windenergie, ISET, Kassel

ERNEUERBARE ENERGIEN 6 / 2000

WKA-TYP	Nenn- lsg.(kW)	Rotor- Ø (m)	Naben- höhe (m)	Standort	Werte im April 2000				kumulierte Werte ab Januar 2000			
					WKA-Abgabe (kWh)	spez. Ener.* kWh/m²	mittl. Windgesch. (m/s) (Meßh. m)		WKA-Abgabe (kWh)	spez. Ener.** (kWh/m²)	mittl. Windgesch. (m/s) (Meßh. m)	
BINNENLANDSTANDORTE												
Südwind N 1230	30	12,5	30,5	Feuerscheid / Rheinland- Pfalz	3,567	29	4,4	10	20,262	165	5,1	10
AN Bonus 150/30	150	23	30	Grebenhain-Hartmannshain / Hessen	13,089	32	4,6	30	79,920	192	5,7	30
Nordex 150	150	27	36	Altenbecken / Nordrhein-Westfalen	14,764	26	4,2	30	135,507	237	5,8	30
HSW 250	250	28,5	28,5	Grebenhain-Hartmannshain / Hessen	17,592	28	4,6	30	136,537	214	5,7	30
Enercon 33	280	33	35,6	Breitnau / Baden-Württemberg	13,835	16	3,5	10	76,793	90	4,1	10
Tacke TW 300	300	33	50	Reinholtrode / Thüringen	34,880	41	4,1	10	144,768	169	5,2	10
Enercon E 40	500	40,3	42	Koxhausen / Rheinland- Pfalz	53,944	42	4,4#	10	309,706	243	5,1#	10
AN Bonus 600 kW/41	600	41	42,8	Möhnesee / Nordrhein-Westfalen	41,080	31	3,8#	10	349,024	264	4,8#	10
An Bonus 1 MW/54	1.000	54	50	Altenbecken / Nordrhein-Westfalen	65,557	29	4,2'	30	708,988	310	5,8'	30
Nordtank NTK	1.500	64	68	Wünnenberg-Helmern / Nordrh.-Westfalen	110,310	34	3,8	10	1.097,310	341	4,8	10
Vestas V 63/1500	1.500	63	60	Dahlem-Bergk / Nordrhein-Westfalen	148,619	48	4,8	30	795,296	255	5,5	30
STARKWINDSTANDORTE												
WTN 200/26	200	26	30	Uelvelsbüllkoog / Schleswig-Holstein	19,728	37	4,3	10	205,485	387	6,2	10
Micon 530-250	250	26	30	Reußenköge / Schleswig-Holstein	19,869	37	5,3#	30	244,999	461	7,7#	30
Micon 750-400	400	31	36	Reußenköge / Schleswig-Holstein	34,683	46	5,3	30	390,275	517	7,7	30
Vestas V 39/500	500	39	40,5	Reußenköge / Schleswig-Holstein	63,355	53	5,3	30	569,451	477	7,7	30
Enercon E40	500	40,3	42	Reußenköge / Schleswig-Holstein	71,795	56	5,3	30	639,192	501	7,7	30
Tacke TW 600	600	43	50	Schülp / Schleswig-Holstein	68,453	47	5,0#	30	638,392	440	7,5#	30
Nordex N 52	800	52	60,5	Weener / Niedersachsen	94,778	45	3,7	10	782,172	368	5,2	10
HSW 1000	1.000	54	55	Bosbüll / Schleswig-Holstein	132,950	58	4,2	10	1.032,532	451	6,1	10
Enercom E 66	1.500	66	68	Emden / Niedersachsen	244,212	71	5,5	48	1.807,184	528	7,6	48
Vestas V 63/1500	1.500	63	60	Kaiser-Wilhelm-Koog / Schleswig-Holstein	173,191	56	5,4	30	1.805,310	579	7,9	30
Micon 1500/64	1.500	64	68	Ahrenshöft / Schleswig-Holstein	160,909	50	4,5	30	1.536,108	477	6,4	30
INSELVERGLEICH												
Vestas V 25/200	200	25	30	Pellworm / Schleswig-Holstein	29,024	59	5,0	10	234,773	478	6,8	10
Vestas V 25/200	200	25	30	Westfarn / Schleswig-Holstein	25,486	52	5,5	30	234,040	477	8,0	30
Vestas V 27/225	225	27	31,5	Oevenum-Föhe / Schleswig-Holstein	39,180	68	6,0	30	280,780	490	8,2	30
Enercon E 33	300	33	37,5	Altenkirchen-Rügen / Mecklenburg-Vp.	41,052	48	5,4	30	376,182	440	7,8	30
An Bonus 450 kW/ 37	450	37	35	Schlagsdorf / Schleswig-Holstein	48,360	45	5,5#	30	453,190	421	8,0#	30
Enercon E 40	500	40,3	42	Altenkirchen-Rügen / Mecklenburg-Vp.	69,032	54	5,4#	30	639,736	502	7,8#	30
Enercon E 66	1.500	66	68	Bohlendorf-Erügen / Mecklenburg-Vp.	224,100	66	5,4#	30	1.955,280	572	7,8#	30

* Spez. Energieertrag pro m² Rotorfläche

** spez. Energieertrag mittl. Durchschnitt

#) Meßergebnis einer benachbarten Windmeßstation

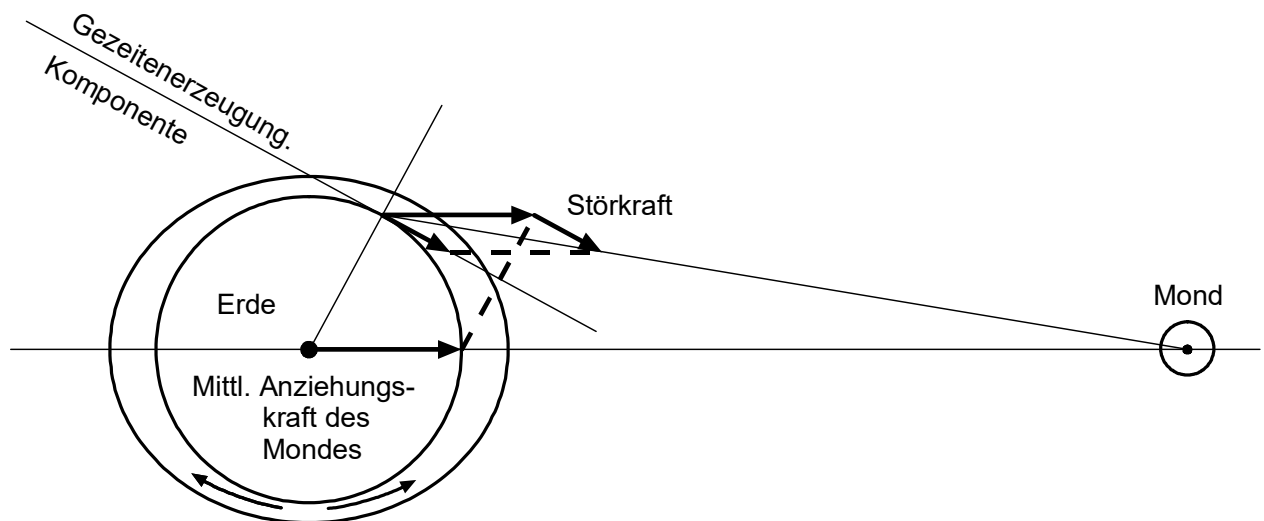
Meeresenergien

Gezeitenenergie

Verantwortlich für die Entstehung der Gezeiten ist in erster Linie der Mond. 384 000 km von der Erde entfernt, mit einem Radius von 1 738 km, mit einer Masse von 1: 81,3 gegen über der Erde, weist er eine Mondbeschleunigung von $1,6 \text{ m/s}^2$ auf.

Die Gezeiten entstehen aus einer Störkraft die sich aus der Differenz der Massen-Anziehungskräfte zwischen Achsmitte Erde/Mond und Erdoberfläche/Mond ergibt. Aus Gleichgewichtsgründen entstehen symmetrische Wasserberge und -täler und zwar 2 Mal alle 24 h und 50 min entsprechend der Periode Rotation Erde/Mond. Auch die Masse der Sonne bewirkt diesen Effekt, allerdings ist dieser nur halb so groß wie der Effekt durch den Mond. Durch Corioliskräfte aus der Erddrehung kommt es zu zusätzlichen Überlagerungserscheinungen.

Aus besonderen Stellungen von Sonne und Mond (Vollmond/Neumond) ergeben sich besonders große Gezeitenunterschiede, die Springflut und senkrecht dazu die tiefe Nipptide.



Entstehung der Gezeiten, schematisch

Die Frequenz der Gezeitenwelle beträgt ca. 12,4 h. Die Welle erreicht auf dem freien Ozean weniger als 1 Meter Höhe. Die Gestade-Formen mit Ufern, Flußmündungen, Wassertiefen usw. führen zu Resonanzerscheinungen die weltweit gesehen an manchen Orten Tidenhöhen von mehr als 20 Metern ergeben (Passamoquody-Bucht, Bay of Fundy).

Solche Resonanzerscheinungen treten auf, wenn ein halbeingeschlossener Wasserkörper eine solche Tiefe und Länge hat, daß die Wasserstandserhöhung in 12,4 h auf nur 1/4 der Wellenlänge der Gezeitenwelle auftreten kann. Hat eine Bucht z.B. 30 m Tiefe und beträgt die Wellengeschwindigkeit $17,2 \text{ m/s}$ (Wellengeschwindigkeit ist Funktion der Wassertiefe), so ergibt dies eine Resonanzlänge von 192 km.

In die Amazonasmündung ist die Gezeitenwelle mit einer Anfangshöhe von ca. 6 m bis 850 km stromaufwärts spürbar. In die Elbmündung dringt die Gezeitenwelle 150 km tief ein.

	Anzahl	Leistung (MW)	Spez. Investitions- kosten (\$/kW)	Energie- lieferung (GWh)
1981	144	7	3133	0,01
1982	1145	64	2175	4,8
1983	2493	172	1900	46,5
1984	4687	366	1860	188,1
1985	4989	511	1700	663,0
1986	ca. 2000	200-250	1500	ca. 1250
Summe	ca. 15500	ca. 1400	-	ca. 2000

Location	Owner	Capacity (kW)	Windmill Manusfacturer
1 Oddesund Syd	(Dansk Vindmølle)	13x 100	Bonus
2 Oddesund Nord	(Park A/S)	20x 55	Bonus
3 Tønder Tekniske Skole	Public Institution	9 units of various types	
4 Ebeltoft	Municipality	16 x 55 1 x 100	Nordtank Nordtank
5 Aerø	Co-operation	11 x 55	Vestas
6 Fanø	Co-operation	6 x 55	Vetas
7 Nordby	Co-operation	6 x 55	Vestas
8 Aale	Co-operation	10 x 75	Windmatic
9 Ranum	Co-operation	14 x 75	Vestas
10 Sydvestmors	Co-operation	10 x 75	Vestas
11 Masnedø	Utility	5 x 750	DWT
12 Hundested	Utility	3 x 300	DWT
13 Hasle	Municipality	10 x 100	Smedemester
14 Taendpibe	Co-operation	30 x 75	Vestas

Total Production last day:

8 MWh

839 kWh

Total Worked last day:

232 Hr

Total Production last month:

1437 MWh

764 KWh

Total Worked last month:

12822 Hr

Total Production:

18159 MWh

387 KWh

Total Worked:

176795 Hr

Average Windspeed last day:

4,6 m/s

2,9 m/s

00,0 m/s

Average Windspeed last month:

6,8 m/s

5,1 m/s

00,0 m/s

1988 - 12-07

15:13 nu

IJSSELMIJ

ZA ZWOLLE

001	11 Hr	547 Hr	7074 Hr
002	5 HR	502 Hr	6528 Hr
003	11 Hr	534 Hr	7692 Hr
004	08 Hr	491 Hr	6530 Hr
005	10 Hr	527 Hr	7515 Hr
006	09 Hr	505 Hr	7346 Hr
007	05 Hr	474 Hr	6721 Hr
008	09 Hr	483 Hr	7394 Hr
009	11 Hr	538 Hr	7423 Hr
010	09 Hr	503 Hr	6879 Hr
011	11 Hr	536 Hr	6944 Hr
012	09 Hr	505 Hr	6850 Hr
013	10 Hr	532 Hr	7478 Hr
014	08 Hr	491 Hr	7247 Hr
015	09 Hr	520 Hr	7066 Hr
016	09 Hr	493 Hr	7109 Hr
017	10 Hr	528 Hr	6975 Hr
018	09 Hr	453 Hr	7452 Hr
019	09 Hr	512 Hr	7315 Hr
020	09 Hr	489 Hr	7263 Hr
021	10 Hr	529 Hr	6969 Hr
022	09 Hr	502 Hr	6591 Hr
023	11 Hr	546 Hr	6086 Hr
024	10 Hr	504 Hr	6432 Hr
025	11 Hr	532 Hr	7116 Hr

Periode	1988		1989	
Maand	Windsnelheid (m/sec.)	Opbrengst (kWh)	Windsnelheid (m/sec.)	Opbrengst (kWh)
januari	7,3	562,292	6,4	1.047,166
februari	9,9	1.241,035	8,0	1.736,288
maart	7,1	1.225,904	7,6	468,306
april	5,5	439,363	6,3	45,072
Mal	5,6	690,326	5,6	133,586
juni	5,0	421,750	4,2	184,166
juli	6,5	1.373,552	5,3	431,286
augustus	6,1	917,020	5,6	670,771
september	6,2	1228,534	4,1	341,980
oktober	6,0	1.027,984	6,8	1.437,764
november	5,9	803,485		
december	6,6	1.730,752		
	6,6	11.663,002		

Production Report of 31/10/89 23:50

Turbine	Prod. Last day		Prod. Last month		Total Prod.	
001	0 MWh	358 KWh	61 MWh	778 KWh	684 KWh	764 KWh
002	0 MWh	253 KWh	56 MWh	339 KWh	669 MWh	686 KWh
003	0 MWh	369 KWh	60 MWh	262 KWh	788 MWh	13 KWh
004	0 MWh	318 KWh	54 MWh	130 KWh	670 MWh	177 KWh
005	0 MWh	364 KWh	59 MWh	633 KWh	783 MWh	273 KWh
006	0 MWh	383 KWh	56 MWh	90 KWh	748 MWh	39 KWh
007	0 MWh	183 KWh	51 MWh	37 KWh	693 MWh	322 KWh
008	0 MWh	349 KWh	55 MWh	160 KWh	757 MWh	103 KWh
009	0 MWh	364 KWh	59 MWh	899 KWh	751 MWh	267 KWh
010	0 MWh	349 KWh	55 MWh	235 KWh	691 MWh	108 KWh
011	0 MWh	371 KWh	60 MWh	43 KWh	711 MWh	309 KWh
012	0 MWh	363 KWh	54 MWh	466 KWh	692 MWh	637 KWh
013	0 MWh	368 KWh	60 MWh	206 KWh	754 MWh	162 KWh
014	0 MWh	333 KWh	54 MWh	727 KWh	738 MWh	238 KWh
015	0 MWh	361 KWh	58 MWh	915 KWh	741 MWlh	875 KWh
016	0 MWh	348 KWh	55 MWh	401 KWh	728 MWh	501 KWh
017	0 MWh	374 KWh	59 MWh	789 KWh	722 MWh	225 KWh
018	0 MWh	354 KWh	55 MWh	144 KWh	755 MWh	593 KWh
019	0 MWh	356 KWh	59 MWh	953 KWh	771 MWh	845 KWh
020	0 MWh	352 KWh	54 MWh	966 KWh	741 WWh	874 KWh
021	0 MWh	393 KWh	60 MWh	798 KWh	747 MWh	209 KWh
022	0 MWh	386 KWh	56 MWh	216 KWh	696 MWh	956 KWh
023	0 MWh	411 KWh	61 MWh	261 KWh	719 MWh	439 KWh
024	0 MWh	386 KWh	56 MWh	13 KWh	681 MWh	5 KWh
025	0 MWh	391 KWh	60 MWh	103 KWh	719 MWh	767 KWh

Hersteller	TECHNISCHE DATEN		
	MAN	Gesellschaft für Energieanlagen	Windkraft- Zentrale
	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Type	Aeroman 12,5/30	ENERCON - 15	elektrOmat - 25
Anlagenzahl	20	5	5
Rotor			
Anzahl der Blätter	2	3	3
Rotordurchmesser in Metern	12,5	15,3	10,4
Anordnung der Rotorblätter zum Mast	Luv	Luv	Luv
Nabenhöhe in Metern	16	22,5	14,5
Windrichtungsnachführung	passiv (Seitenrad)	aktiv (E-Motor)	passiv (Seitenrad)
Schnellaufzahl	9	5,5	5,2
Drehzahl in U/min	100	20-55	10-72
Anpassung an die unter- schiedlichen Wind- geschwindigkeiten durch	Blatt- verstellung	variable Drehzahl	variable Drehzahl
Getriebe			
Übersetzungsverhältnis	1 : 17,5	1 : 19,9	1 : 25
Generator			
Bauart	Asynchron	Synchron	Synchron
Nennleistung in Kilowatt (kW)	30	55	25
Nennspannung in Volt	380	380	380
Leistungsabgabe ins Netz	Direkt	Über AN,ach~i_M.,	Über Ak-ch~nchler
Nenngeschwindigkeit in m/s	11,9 (Windstärke 6)	12,5 (Windstärke 6)	11,0 (Windstärke 6)
Einschaltgeschwindigkeit in m/s	3,8 (Windstärke 3)	3,5 (Windstärke 3)	3,0 (Windstärke 2-3)
Abschaltgeschwindigkeit in m/s	keine Abschaltung	25 (Windstärke 10)	30 (Windstärke 10)
Mast	Stahlrohr achtkantig	Gittermast	Gittermast
Flächenbedarf	Die Gesamtfläche des Windenergieparks beträgt ca. 20ha		
Energielieferung	Die 30 Windenergieanlagen werden im Jahr insgesamt rd. 2,2 Mio. kWh elektrische Arbeit erzeugen		

Windenergie – Leistungsstatistik (Auszug)

Wind Kraft Journal

Leistungsstatistik aus der Betreiberdatenbasis

3/2000

KW	Rotor ø	Rotor m2	Nabe m	m/s in 10 m	m/s in 30 m	Hersteller	Anzahl WKA	PLZ	Ort	Seit	kWh 1999	kWh 2000	kWh/m2 2000	kWh 1/00	kwh/m2 1/00	kWh 2/00	kWh/m2 2/00	kWh 3/00	kWh/m2 3/00	kWh 4/00	kWh/m2 4/00
5	6,0	28	13,0	-	-	Wenus	-	18239	C Hohen Luckow	04/98	3814	708	25	708	25	0	0	0	0	0	0
5	6,0	28	19,0	-	-	Wenus	-	52156	A Monschau	10/93	4139	1835	65	493	17	598	21	413	15	331	12
5	6,0	28	19,0	-	-	Wenus	-	58540	A Meinerzh./Herrshn	09/93	3303	1331	47	385	14	458	16	488	17	0	0
10	7,0	38	18,5	-	-	SÜDWIND	-	26349	A Jade	08/93	8406	4596	119	1228	32	1417	37	1454	38	497	13
24	15,6	191	37,0	-	-	Lagerwey	-	49586	A Neuenkirchen	07/90	40772	19540	102	5470	29	6008	31	5578	29	2484	13
25	12,5	122	14,8	-	-	HSW	-	25899	A Osterhof	07/88	30137	5848	48	0	0	0	0	4759	39	1089	9
30	13,0	132	27,0	-	-	Fuhrländer	-	78136	A Vogte	12/98	15613	6373	48	1229	9	2372	18	2305	17	467	4
30	12,5	122	22,4	-	-	HSW	-	25870	A Kleihörn	09/91	48296	25168	205	7851	64	6800	55	7341	60	3176	26
30	12,5	122	22,4	-	-	HSW	-	36355	A08 Hartmannshain	06/91	27844	18204	148	4356	35	6370	52	4904	40	2574	21
30	12,1	114	15,5	-	-	Kano Rotor	-	24975	A Gremmerup	07/89	32702	19812	172	6201	54	6006	52	6388	56	1217	11
30	12,1	114	45,5	-	-	Kano Rotor	-	32469	C Wietersheim	07/91	29700	14300	124	4350	38	5450	47	4500	39	0	0
30	12,1	114	30,5	-	-	Kano Rotor	-	58730	A Ostbüren	05/92	32364	17757	154	5990	52	5055	44	4706	41	2006	17
30	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	21129	A HH-Neuenfelde	06/91	33906	17898	146	4938	40	5790	47	5060	41	2110	17
30	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	21635	A Jork	07/90	30459	12003	98	4240	35	3643	30	4120	34	0	0
30	12,5	122	36,5	-	-	SÜDWIND	-	36093	A Künzell-Dassen	12/94	20360	7832	64	1951	16	2089	17	2290	19	1502	12
30	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	36318	A Schwalmtal-Rainrod	11/91	27360	9402	77	2287	19	3612	29	2161	18	1342	11
30	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	78658	A Zimmern	07/89	21386	6872	56	1790	15	2775	23	2307	19	0	0
33	14,8	172	32,0	-	-	Jacobs	-	25764	G Wesselburenkoog	11/92	103090	38620	224	14320	83	13625	79	10675	62	0	0
37	15,6	191	25,0	-	-	Lagerwey	-	49545	C Brochterbeck	12/91	43400	20440	107	5600	29	7340	38	4640	24	2860	15
37	12,5	122	36,5	-	-	SÜDWIND	-	26419	E Schortens	09/94	33897	11368	93	5732	47	5636	46	0	0	0	0
37	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	26931	A Elsfleth	10/91	32756	18107	148	5341	44	4887	40	5758	47	2121	17
37	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	27313	A01 Dörverden/Stedeb.	10/90	37124	19883	162	5841	48	5969	49	6284	51	1789	15
37	12,5	122	36,5	-	-	SÜDWIND	-	27313	A02 Dörverden/Stedeb.	12/92	40701	21498	175	6420	52	6237	51	6721	55	2120	17
45	15,6	191	31,0	-	-	Lagerwey	-	32425	B Minden/Stemmer	10/90	52280	24000	126	6540	34	8127	43	7280	38	2053	11
45	15,6	191	30,0	-	-	Lagerwey	-	48282	A Emsdetten	06/90	30840	18224	95	5020	26	5724	30	5710	30	1770	9
45	15,6	191	31,0	-	-	Lagerwey	-	48691	B Vreden	08/90	32440	5140	27	5140	27	0	0	0	0	0	0
45	12,5	122	30,5	-	-	SÜDWIND	-	18556	C Altenkirchen	08/92	72544	37683	307	10844	88	11937	97	11727	96	3177	26
45	12,5	122	22,0	-	-	Tacke	-	24217	A Schönberg	05/88	48885	20252	165	6365	52	6606	54	5803	47	1478	12
50	15,0	176	30,0	-	-	Krogmann	-	23730	B Schashagen	12/90	60937	35786	203	8997	51	14899	84	6196	35	5694	32
50	12,8	128	30,0	-	-	Krogmann	-	26939	A Großenmeer	03/88	29017	13815	107	3600	28	4370	34	3915	30	1930	15
50	15,0	176	30,0	-	-	Krogmann	-	31718	A Pollhagen	09/92	36961	18538	105	4941	28	8430	48	5167	29	0	0
50	15,0	176	30,0	-	-	Krogmann	-	33334	A Gütersloh	12/90	24628	12914	73	3094	18	3941	22	4536	26	1343	8
50	15,0	176	30,0	-	-	Krogmann	-	49356	B Diepholz St. Hülfe	04/92	52160	27100	153	7700	44	8300	47	8500	48	2600	15
50	15,0	176	30,0	-	-	Krogmann	-	49811	B Lingen	07/92	49261	18318	104	6594	37	6855	39	4869	28	0	0
50	15,4	186	24,0	-	-	Lagerwey	-	31737	A Rinteln	12/87	36648	20043	108	5612	30	6588	35	6643	36	1200	6
50	15,6	191	31,0	-	-	Lagerwey	-	47475	A Kamp-Lintfort	06/89	31321	10370	54	2954	15	2916	15	2370	12	2130	11
50	15,6	191	37,0	-	-	Lagerwey	-	48157	A Münster-Handorf	08/91	14300	8640	45	2600	14	3200	17	2840	15	0	0
50	15,4	186	30,0	-	-	Lagerwey	-	48493	A Wettringen	07/90	23140	13050	70	3602	19	4608	25	4840	26	0	0
50	15,6	191	40,0	-	-	Lagerwey	-	48739	A Legden	10/91	44282	18644	98	5171	27	6151	32	5019	26	2303	12
50	18,0	254	40,0	-	-	Lagerwey	-	49497	B Mettingen	11/93	73559	30172	119	5988	24	12060	47	7562	30	4562	18
50	15,6	191	37,0	-	-	Lagerwey	-	49626	A Bippin/Hartlage	10/90	31312	15462	81	2580	13	5370	28	5526	29	1986	10
55	16,2	206	22,4	-	-	Enercon	-	26553	J Neßmersiel/Nesse	10/89	111644	51177	248	14072	68	16085	78	15225	74	5795	28
55	19,8	307	30,0	-	-	Micon	-	23769	R Gammendorf	06/92	171827	73957	240	22340	73	21028	68	21010	68	9579	31
55	19,8	307	30,0	-	-	Micon	-	42553	A Velbert	11/91	93296	11100	36	11100	36	0	0	0	0	0	0
60	17,5	240	40,0	-	-	Tacke	-	48432	A Rheine	08/92	43490	18280	76	5720	24	6080	25	6480	27	0	0
●																					
150	24,6	475	32,7	-	-	Nordtank	-	25884	A02 Boxlund 2	06/92	292732	150274	316	48700	102	48148	101	38643	81	14783	31
150	21,0	346	31,0	-	-	Tacke	-	48691	E Vreden/HWS	01/93	59404	29199	84	9152	26	8736	25	8529	25	2782	8
150	27,0	572	40,0	-	-	Wind World	-	04643	A01 Tauchenhain	12/94	207388	104968	183	31093	54	30788	54	31555	55	11532	20
150	27,0	572	41,0	-	-	Wind World	-	04668	A01 Schkortitz	03/94	242700	121050	211	34044	59	33114	58	38412	67	15480	27
150	27,0	572	41,0	-	-	Wind World	-	24969	A01 Lindewitt	07/92	311203	160968	281	49491	86	50045	87	43202	75	18230	32
150	27,0	572	41,0	-	-	Wind World	-	24969	A02 Lindewitt	07/92	298574	164666	288	50956	89	51680	90	41428	72	20602	36
150	27,0	572	41,0	-	-	Wind World	-	24969	A03 Lindewitt	07/92	293964	87389	153	0	0	49954	87	28211	49	9224	16
150	27,0	572	31,0	-	-	Wind World	-	25842	C01 Langenhorn	07/94	403099	126595	221	63782	111	62813	110	0	0	0	0
150	27,0	572	31,0	-	-	Wind World	-	25842	C02 Langenhorn	07/94	401946	125878	220	63382	111	62496	109	0	0	0	0
150	27,0	572	31,0	-	-	Wind World	-	25842	C03 Langenhorn	07/94	401389	126271	221	63532	111	62739	110	0	0	0	0
150	27,0	572	31,0	-	-	Wind World	-	25842	C04 Langenhorn	07/94	392842	125267	219	62055	108	63212	110	0	0	0	0
150	27,0	572	31,0	-	-	Wind World	-	26506	I Norden-West IB	10/91	468560	204660	357	60600	106	67020	117	58380	102	18660	33
150																					

INSTITUT FÜR FLUGZEUGBAU		NEUE TECHNOLOGIEN										2000									
UNIVERSITÄT STUTTGART		Nutzung regenerativer Energieträger										79/2									
Windenergie – Leistungsstatistik (Auszug)																					
Wind Kraft Journal						Leistungsstatistik aus der Betreiberdatenbasis										3/2000					
KW	Rotor ø	Rotor m2	Nabe m	m/s in 10 m	m/s in 30 m	Hersteller	Anzahl WKA	PLZ	Ort	Seit	kWh 1999	kWh 2000	kWh/m2 2000	kWh 1/00	kWh/m2 1/00	kWh 2/00	kWh/m2 2/00	kWh 3/00	kWh/m2 3/00	kWh 4/00	kWh/m2 4/00
250	27,0	572	40,0	-	-	Nordex	-	59457 B02	Werl-Hilbeck	04/94	287885	89604	156	0	0	43538	76	32072	56	13994	24
250	29,7	692	40,0	-	-	Nordex	-	59457 B03	Werl-Hilbeck	09/95	332708	139069	201	39610	57	48746	70	34631	50	16082	23
250	29,7	692	50,0	-	-	Nordex	-	59597 B	Erwitte	09/98	459290	188680	272	55000	79	60000	87	55000	79	18680	27
250	29,7	692	51,5	-	-	Nordex	-	78120 A	Furtwangen	07/96	224515	83408	120	16366	24	31145	45	24000	35	11897	17
250	26,0	530	30,0	-	-	Tacke	-	26556 C	Westerholt	03/94	287258	19995	38	0	0	0	0	0	0	19995	38
250	26,0	530	30,0	-	-	Tacke	-	28857 B01	Ristedt	01/94	282390	92401	174	0	0	41772	79	36543	69	14086	27
250	26,0	530	30,0	-	-	Tacke	-	28857 B02	Ristedt	01/94	290254	189074	356	97911	184	42071	79	38006	72	11086	21
250	24,0	452	30,0	-	-	Tacke	-	36355 A05	Hartmannshain	02/91	198402	94408	209	24189	53	35988	80	23315	52	10916	24
270	31,4	774	41,7	-	-	SÜDWIND	-	01737 A	Tharandt/Opitzhöhe	08/95	458295	143145	185	74270	96	68875	89	0	0	0	0
270	31,4	774	41,7	-	-	SÜDWIND	-	23923 A01	Hof-Selmsdorf	02/95	457594	221297	286	65623	85	68764	89	63496	82	23414	30
270	31,4	774	41,7	-	-	SÜDWIND	-	23923 A03	Hof-Selmsdorf	02/95	179145	102496	132	0	0	17898	23	58592	76	26006	34
270	31,0	754	42,5	-	-	SÜDWIND	-	28876 A	Oyten	06/94	381676	188348	250	53974	72	56448	75	53765	71	24161	32
270	31,0	754	43,0	-	-	SÜDWIND	-	28876 B	Oyten	07/94	392325	189710	251	54759	73	58011	77	53944	71	22996	30
270	31,4	774	51,0	-	-	SÜDWIND	-	48691 K	Vreden	03/96	212870	136151	176	38970	50	46300	60	38160	49	12721	16
270	31,4	774	41,7	-	-	SÜDWIND	-	54317 A	Gusterath	04/95	506180	189700	245	43900	57	63300	82	48000	62	34500	45
270	31,0	754	50,5	-	-	SÜDWIND	-	58730 F	Fröndenberg	05/96	506720	220280	292	60536	80	71576	95	60968	81	27200	36
280	33,0	855	38,1	-	-	Enercon	-	24994 B	Jardelund	04/93	538820	259199	303	96621	113	91563	107	71015	83	0	0
280	33,0	855	39,4	-	-	Enercon	-	25718 E01	Friedrichskoog/W	06/92	673672	302860	354	99009	116	106681	125	97170	114	0	0
280	33,0	855	35,1	-	-	Enercon	-	26506 O	Westermarsch-1/S	07/92	695827	361440	423	105000	123	112860	132	109560	128	34020	40
280	32,0	804	35,6	-	-	Enercon	-	26553 D12	Domumergrode	01/92	769903	371070	461	107995	134	107876	134	117647	146	37552	47
280	33,0	855	35,6	-	-	Enercon	-	32052 A	Herford-Egge	01/91	538349	247628	290	66803	78	78246	91	72933	85	29646	35
280	32,0	804	33,1	-	-	Enercon	-	49074 A01	Osnabrück/Piesberg	09/90	652803	272684	339	75541	94	106099	132	51297	64	39747	49
280	33,0	855	33,1	-	-	Enercon	-	58091 A01	Hagen-Hobräck	10/91	313115	158601	185	48021	56	50124	59	46278	54	14178	17
300	33,0	855	40,0	-	-	AN BONUS	-	18569 E	Gagem	05/99	69785	304013	355	111989	131	80632	94	80096	94	31296	37
300	33,0	855	30,0	-	-	AN BONUS	-	24850 B	Schuby	01/97	344241	28606	33	0	0	0	0	1536	2	27070	32
300	33,0	855	40,0	-	-	AN BONUS	-	24887 F	Esperstoffeld	09/97	478018	232099	271	75554	88	66141	77	66076	77	24328	28
●																					
450	37,0	1075	36,0	-	-	AN BONUS	-	25836 F03	Vollerwiek	12/93	906938	387124	360	152587	142	186352	173	0	0	48185	45
450	35,0	962	35,0	-	-	AN BONUS	7	25899 P	Marienkoog 1	10/92	6538730	3246730	3375	1125500	167	974570	145	836260	124	310400	46
450	37,0	1075	35,0	-	-	AN BONUS	-	25899 P12	Marienkoog12	07/94	1089405	539488	502	189072	176	162206	151	133658	124	54552	51
450	37,0	1075	35,0	-	-	AN BONUS	-	25899 P13	Marienkoog13	07/94	1044042	535172	498	187858	175	162348	151	137930	128	47036	44
450	37,0	1075	35,0	-	-	AN BONUS	-	25899 P14	Marienkoog14	08/94	1114833	494232	460	136782	127	164358	153	141740	132	51352	48
450	37,0	1075	42,3	-	-	AN BONUS	8	26937 A	Hobendiek	11/94	6550705	1968089	1830	938403	109	0	0	1029686	120	0	0
450	37,0	1075	42,3	-	-	AN BONUS	-	27478 A	Cuxhaven-Altenbr.	05/94	778300	403830	376	117800	110	122630	114	121120	113	42280	39
450	35,0	962	36,0	-	-	AN BONUS	-	27572 B01	Bremerhaven	03/92	537492	176807	184	86009	89	0	0	90798	94	0	0
450	35,8	1006	37,0	-	-	AN BONUS	-	27572 B02	Bremerhaven	03/92	578031	207778	206	95815	95	0	0	111963	111	0	0
450	35,8	1006	36,0	-	-	AN BONUS	-	27580 A01	Bremerhaven	07/92	597460	161210	160	101260	101	32760	33	10	0	27180	27
450	37,0	1075	43,0	-	-	AN BONUS	-	27580 A02	Bremerhaven	12/93	819044	415444	386	122738	114	124896	116	127174	118	40636	38
450	37,0	1075	42,3	-	-	AN BONUS	-	37688 D02	Bustollen	07/95	653721	316056	294	85043	79	95982	89	105139	98	29892	28
450	37,0	1075	42,5	-	-	AN BONUS	-	63679 A01	Schotten-Betzenrod	10/95	335680	152868	142	32112	30	43612	41	42965	40	34179	32
500	41,0	1320	55,0	-	-	DeWind	-	17039 A	Buchhof/Trollenbg.	08/97	540339	248743	188	0	0	104843	79	103900	79	40000	30
500	41,0	1320	55,0	-	-	DeWind	-	23730 C	Neustadt/Holstein	06/96	376782	275224	208	0	0	123035	93	111000	84	41189	31
500	41,0	1320	55,0	-	-	DeWind	-	59872 A	Meschede-Remblingh	11/96	313933	86947	66	0	0	86947	66	0	0	0	0
500	40,3	1275	42,0	-	-	Enercon	-	02708 A	Kittlitz/Laucha	07/94	1034886	172254	135	172254	135	0	0	0	0	0	0
500	40,3	1275	44,0	-	-	Enercon	-	02763 B01	Oberseifersdorf	02/98	641532	464530	364	147836	116	117615	92	114003	89	85076	67
500	40,3	1275	54,0	-	-	Enercon	-	03185 A	Bärenbrück	04/94	436437	335281	263	90000	71	92300	72	105000	82	47981	38
500	40,3	1275	65,0	-	-	Enercon	-	04626 G	Pontewitz	03/97	980155	485949	381	151303	119	143836	113	135460	106	55350	43
500	40,3	1275	65,0	-	-	Enercon	-	04643 A02	Tautenhain	10/96	890893	426348	334	128454	101	124200	97	127456	100	46238	36
500	40,3	1275	65,0	-	-	Enercon	-	04643 A03	Tautenhain	10/96	909952	416381	326	119238	93	126186	99	123717	97	47240	37
●																					
600	44,0	1520	65,0	-	-	Enercon	-	49774 C03	Bökenfeld	09/99	335939	298623	196	0	0	129291	85	121150	80	48182	32
600	44,0	1520	65,0	-	-	Enercon	-	59320 B	Ennigerloh	11/99	0	181120	119	0	0	0	0	120629	79	60491	40
600	41,0	1320	50,0	-	-	GET	-	25541 O11	Westerbelmhusen	01/96	1074050	482950	366	147950	112	176400	134	103400	78	55200	42
600	41,0	1320	50																		

				Werte im Februar '96			kumulierte Werte ab Januar '96		
WKA-TYP	Nennleistg. (kW)	Rotor- durchm. (m)	Standort	WKA-Abgabe (kWh)	spez. Ener.* KWh/m²	mittl. Windgesch. (m/s) (10m)	WKA-Abgabe (kWh)	spez. Ener. ** (kWh/m²)	mittl. Windgesch. (m/s) (10m)
BINNENLANDSTANDORTE									
AN Bonus 150/30	150	23	Grebeshain-Hartmannshain / Hessen	5,844	14,1	2,4	8,664	10,4	3,2
Tacke TW 250	250	24	Grebeshain-Hartmannshain / Hessen	7,100	15,7	3,4	12,764	14,1	3,2
HSW 250	250	25	Grebeshain-Hartmannshain / Hessen	6,211	12,7	3,4	14,482	14,8	3,2
Enercon 18	80	18	Hilkenbrook / Niedersachsen	12,104	47,6	4,2	24,358	47,9	4,4
Enercon 33	280	33	Breitnau / Baden-Württemberg	8,547	10,0	3,4	28,154	16,5	3,2
Tacke TW 300	300	33	Reinholterode / Thüringen	48,207	56,4	4,9	79,323	46,4	4,7
Südwind N 1230	30	12,5	Feuerscheid / Rheinland-Pfalz	4,159	33,9	4,7	6,392	26,0	3,9
Lagerwey 15/75	75	15,6	Landesbergen / Niedersachsen	5,985	31,3	3,7	15,663	41,0	4,1
Nordex 150	150	27	Altenbecken / Nordrhein-Westfalen	21,315	37,2	4,5	60,005	52,4	5,3
Enercon 32	300	33	Wremen / Niedersachsen	57,177	66,9	5,8	131,598	76,9	5,8
Tacke TW 500	500	36	Schoonorth / Niedersachsen	106,536	104,7	5,30	244,284	120,0	5,90
Enercon E 40	500	40,3	Koxhausen / Rheinland- Pfalz	72,432	56,8	4,70	198,478	77,8	3,90
AN Bonus 600 kW/41	600	41	Möhnesee / Nordrhein-Westfalen	77,089					
STARKWINDSTANDORTE									
WTN 200/26	200	26	Uelvesbüllkoog / Schleswig-Holstein	39,943	75,2	5,5	84,738	79,8	5,5
Micon 530-250	250	26	Reußenköge / Schleswig-Holstein	50,167	94,5	5,6	106,976	100,7	5,6
Micon 750-400	400	31	Reußenköge / Schleswig-Holstein	83,994	111,3	5,60	181,822	120,4	5,60
Vestas V 39/500	500	39	Reußenköge / Schleswig-Holstein	118,376	99,1	5,60	253,830	106,2	5,60
Enercon E40	500	40,3	Reußenköge / Schleswig-Holstein	144,147	113,0	5,60	279,425	109,5	5,60
Tacke TW 600	600	43	Schülp / Schleswig-Holstein	142,880	98,4	5,30	308,800	106,3	5,20
Nordtank NTK 500	500	37	Hooksiel / Niedersachsen	113,948	106,0	5,70	258,407	120,2	6,0
Nordex N 52	800	52	Weener / Niedersachsen	185,339	87,3	5,70	459,638	108,2	6,30
INSELVERGLEICH									
Vestas V 27/225	225	27	Oevenum / Schleswig-Holstein	71,520	124,9	6,8	133,880	116,9	6,9
Enercon 33	300	33	Altenkirchen-Rügen / Mecklenburg-Vp.	73,044	85,4	6,2	149,568	87,4	5,4
Wind World W-2700	150	27	Klausdorf / Schleswig-Holstein	43,388	75,8	5,8	87,982	76,8	5,7
Vestas V 25/200	200	25	Pellworm / Schleswig-Holstein	56,549	115,2	6,8	120,156	122,4	6,9
Vestas V 25/200	200	25	Westfehmarn / Schleswig-Holstein	48,328	98,5	6,3	99,040	100,9	6,3
Enercon 32	300	33	Westermarkelsdorf / Schleswig-Holstein	81,821	95,7	6,1	165,933	97,0	6,1
An Bonus 450 kW/ 37	450	37	Schlagsdorf / Schleswig-Holstein	103,600	96,4	6,10	212,090	98,6	6,10
Enercon E40	500	40,3	Altenkirchen-Rügen / Mecklenburg-Vp.	127,792	100,2	6,20	228,696	89,6	5,40

Windenergie – Leistungsstatistik (Auszug)

Wind Kraft Journal

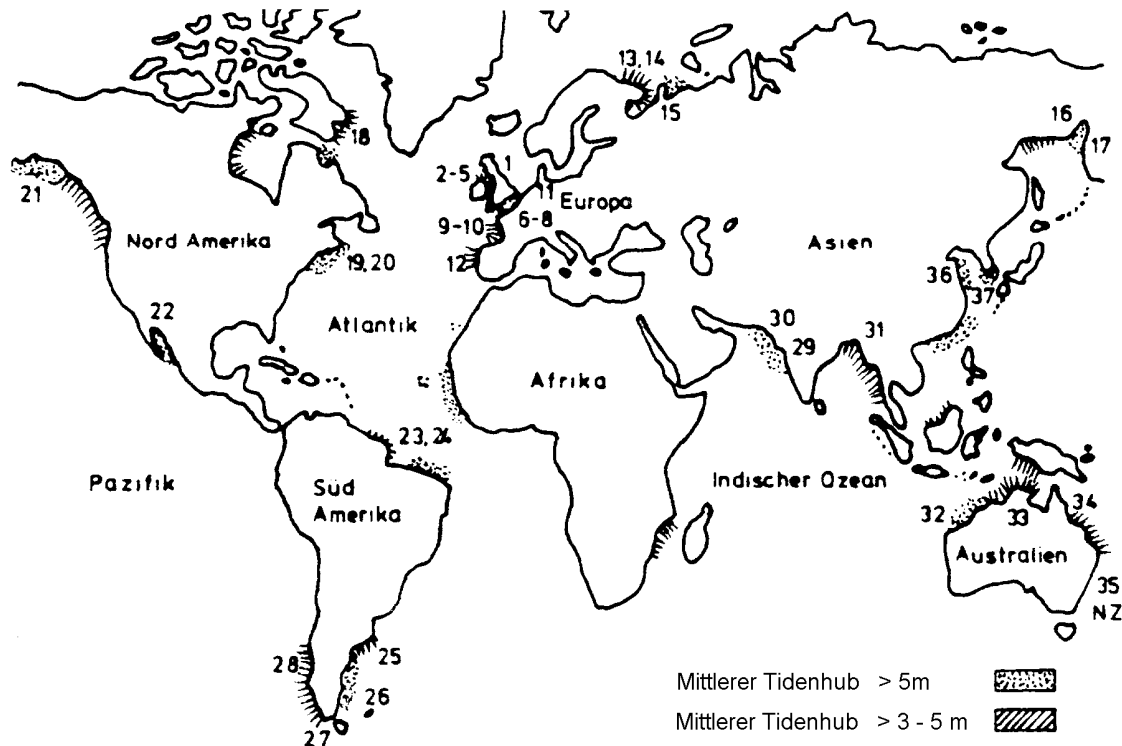
Leistungsstatistik aus der Betreiberdatenbasis

3/2000

KW	Rotor ø	Rotor m2	Nabe m	m/s in 10 m	m/s in 30 m	Hersteller	Anzahl WKA	PLZ	Ort	Seit	kWh 1999	kWh 2000	kWh/m2 2000	kWh 1/00	kWh/m2 1/00	kWh 2/00	kWh/m2 2/00	kWh 3/00	kWh/m2 3/00	kWh 4/00	kWh/m2 4/00
1300 60,0 2827	69,0	-	-	-	-	Nordex	-	39393 F02	Badeleben	03/99	1557954	1148168	406	312384	110	322501	114	361173	128	152110	54
1300 60,0 2827	69,0	-	-	-	-	Nordex	-	39393 F03	Badeleben	03/99	1407423	664180	235	255216	90	270847	96	661	0	137456	49
1300 60,0 2827	69,0	-	-	-	-	Nordex	-	67822 A01	Kalkofen	09/98	1361823	734076	260	197412	70	292756	104	243908	86	0	0
1300 60,0 2827	69,0	-	-	-	-	Nordex	-	67822 A02	Kalkofen	09/98	1385260	701774	248	193811	69	267469	95	240494	85	0	0
1300 60,0 2827	69,0	-	-	-	-	Nordex	-	67822 A03	Kalkofen	09/98	1394230	724328	256	187835	66	289209	102	247284	87	0	0
1500 66,0 3421	70,0	-	-	-	-	Enercon	9	17111 C	Siedenbrünzow	07/98	20972881	10839594	3168	3281706	107	2957334	96	3308412	107	1292142	42
1500 66,0 3421	70,0	-	-	-	-	Enercon	-	18556 I01	Bohlendorf	07/97	4229520	1955280	572	557940	163	598380	175	574860	168	224100	66
1500 66,0 3421	70,0	-	-	-	-	Enercon	-	18556 I02	Bohlendorf	07/97	4416300	2031780	594	607440	178	630420	184	559440	164	234480	69
1500 66,0 3421	100,0	-	-	-	-	Enercon	-	21109 B	HH-Georgswerder	08/98	2768296	1195181	349	386712	113	414151	121	394318	115	0	0
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	10	21734 E	Oederquart	09/98	15677406	12615327	3687	2920221	85	4049661	118	4126821	121	1518624	44
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	6	21785 B	Kehdingbruch	08/99	0	6312877	1845	0	0	2681815	131	2511797	122	1119265	55
1500 66,0 3421	68,0	-	-	-	-	Enercon	-	25541 T	Brunsbüttel-Süd	03/97	3378883	1645364	481	438993	128	498990	146	477684	140	229697	67
1500 66,0 3421	70,0	-	5,4	-	-	Enercon	-	25557 C01	Beldorf	11/99	0	1451697	424	413466	121	470090	137	387137	113	181004	53
1500 66,0 3421	70,0	-	5,4	-	-	Enercon	-	25557 C02	Beldorf	11/99	0	1457415	426	403669	118	471024	138	419210	123	163512	48
1500 66,0 3421	70,0	-	5,4	-	-	Enercon	-	25557 C03	Beldorf	11/99	0	1372077	401	296361	87	514754	150	401649	117	159313	47
1500 66,0 3421	66,8	-	-	-	-	Enercon	-	25709 AS	Kaiser-Wilhelm-Kg	08/97	4447311	1212390	354	659460	193	0	0	552930	162	0	0
1500 66,0 3421	60,0	-	-	-	-	Enercon	5	25924 F	Lübke-Koog XIV	03/97	20549880	10142280	2965	3107580	182	3145560	184	2610000	153	1279140	75
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	-	32699 B01	Extental-Goldbeck	03/99	1849353	1255539	367	378300	111	361401	106	383430	112	132408	39
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	-	32699 B02	Extental-Goldbeck	12/98	2481743	1221643	357	363727	106	314085	92	406121	119	137710	40
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	-	33098 A	Paderborn	08/98	2975080	1208840	353	338000	99	364600	107	365640	107	140600	41
1500 66,0 3421	68,0	-	-	-	-	Enercon	-	33100 I	Neuenbeken	11/96	3155131	768900	225	353576	103	415324	121	0	0	0	0
1500 66,0 3421	68,0	-	-	-	-	Enercon	-	33100 Q	Paderborn-Dahl	07/98	2544000	1286735	376	344840	101	390800	114	400495	117	150600	44
1500 66,0 3421	70,0	-	-	-	-	Enercon	-	33165 N	Lichtenau	03/98	2603705	665010	194	309715	91	355295	104	0	0	0	0
1500 66,0 3421	67,0	-	-	-	-	Enercon	-	37083 A	Geismar	05/98	1578096	824287	241	226735	66	246328	72	242991	71	108233	32
1500 70,0 3848	65,0	-	-	-	-	Jacobs	-	25709 AW	Kaiser-Wilhelm-Koo	12/98	3458557	1001742	260	502572	131	448064	116	51106	13	0	0
1500 64,0 3216	60,0	-	-	-	-	Nordtank	-	33181 G	Wünnenberg-Helm.	06/97	2480850	1097310	341	291420	91	321720	100	373860	116	110310	34
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	02894 D01	Melaune	12/99	0	470914	121	0	0	0	0	294342	75	176572	45
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	04668 D01	Ragewitz	06/99	928916	431263	110	0	0	431263	110	0	0	0	0
1500 65,0 3318	67,0	-	-	-	-	Tacke	-	04703 C01	Bockelwitz	11/98	1249744	1087825	328	282062	85	370896	112	308905	93	125962	38
1500 65,0 3318	67,0	-	-	-	-	Tacke	-	04703 C02	Bockelwitz	11/98	1259755	759892	229	0	0	296628	89	315482	95	147782	45
1500 65,0 3318	67,0	-	-	-	-	Tacke	8	04703 D	Bockelwitz	12/98	9373831	6155075	1855	843448	32	2145600	81	1970884	74	1195143	45
1500 70,5 3903	64,7	-	-	-	-	Tacke	7	04703 E	Sitten	08/99	5607452	4846530	1242	995356	36	875946	32	1964821	72	1010407	37
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	7	04720 H	Littorf	12/99	15613	173473	44	0	0	0	0	0	0	173473	6
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	11	06295 C	Rottelsdorf	09/99	0	10064831	2578	495578	12	2763324	64	4077739	95	2728190	64
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	8	06333 B	Quenstedt	11/99	0	5550762	1422	0	0	876396	28	3207951	103	1466415	47
1500 70,5 3903	64,7	-	-	-	-	Tacke	-	07955 B03	Auma	09/99	859354	821110	210	0	0	359211	92	331355	85	130544	33
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	17391 A01	Postlow	11/99	0	457434	117	0	0	0	0	288379	74	169055	43
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	24217 E01	Fiefbergen	07/99	1210936	1566867	401	462872	119	499712	128	427571	110	176712	45
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	24217 E02	Fiefbergen	07/99	1206422	1491299	382	478787	123	483014	124	336985	86	192513	49
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	24217 E03	Fiefbergen	07/99	499970	1586756	406	500191	128	507756	130	407307	104	171502	44
1500 70,5 3903	65,0	-	-	-	-	Tacke	-	24217 E04	Fiefbergen	07/99	858258	1557418	399	468956	120	485401	124	415040	106	188021	48
1500 70,5 3903	64,0	-	-	-	-	Tacke	6	24980 P	Schafflund	04/99	9124041	9155516	2345	2786761	119	2850445	122	2274627	97	1243683	53
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	25335 A01	Raa-Besenbek	09/99	920013	1702200	436	439591	113	556325	143	466430	119	239854	61
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	25335 A02	Raa-Besenbek	09/99	877030	1444824	370	243327	62	501441	128	443717	114	256339	66
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	26434 AM	Hooksiel (Wangerla	12/98	1397291	1592896	408	540000	138	570000	146	482896	124	0	0
1500 65,0 3318	67,0	-	-	-	-	Tacke	-	26723 G	Emden	04/96	2633566	669604	202	0	0	0	0	498554	150	171050	52
1500 70,5 3903	80,0	-	-	-	-	Tacke	9	26907 A	Walchum	11/99	0	4570956	1171	0	0	1929217	55	1598582	46	1043157	30
1500 65,0 3318	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	31157 A01	Sarstedt	07/99	1017824	1403514	423	452240	136	391714	118	398877	120	160683	48
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	31157 A02	Sarstedt	09/99	711114	891095	228	284000	73	71888	18	384517	99	150690	39
1500 70,5 3903	85,0	-	-	-	-	Tacke	-	31157 A03	Sarstedt	09/99	0	1271049	326	398240	102	326673	84	414256	106	131880	34
1500 65,0 3318	67,0	-	-	-	-	Tacke	-	36355 A09	Hartmannshain	01/99	1942105	1035200	312	264400	80	305440	92	282520	85	182840	55
1500 65,0 3318	80,0	-	-	-	-	Tacke	-	46399 B01	Bocholt	08/98	2115976	698961	211	228238	69	0	0				

Durch künstliche Dammbauten wären Resonanzen zu erreichen, z.B. Cook Inlet (Alaska), Bay of Fundy (Kanada), Gulf of Maine (Kanada/USA).

Modelluntersuchungen auf einem Drehtisch mit 15 m Durchmesser zur Simulation der Verhältnisse im Ärmelkanal zwischen Brest und Calais und in der Rance - Mündung haben gezeigt, daß für ein 10 000 MW Gezeitenkraftwerke-Projekt eine Verstimmung der gesamten Resonanzverhältnisse eintreten würde. Ein Amplitudenverlust von 2 m mit ca 15 %-iger Energieeinbuße wäre die Folge.



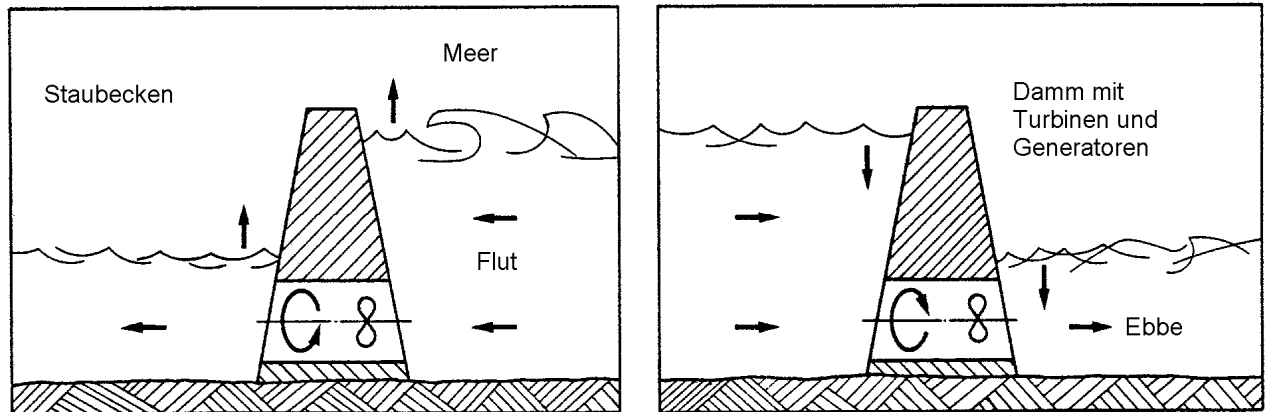
Gebiete mit ausreichendem Tidenhub für Gezeitenkraftwerke, Standorte

Die Zahlen bedeuten folgende Standorte:

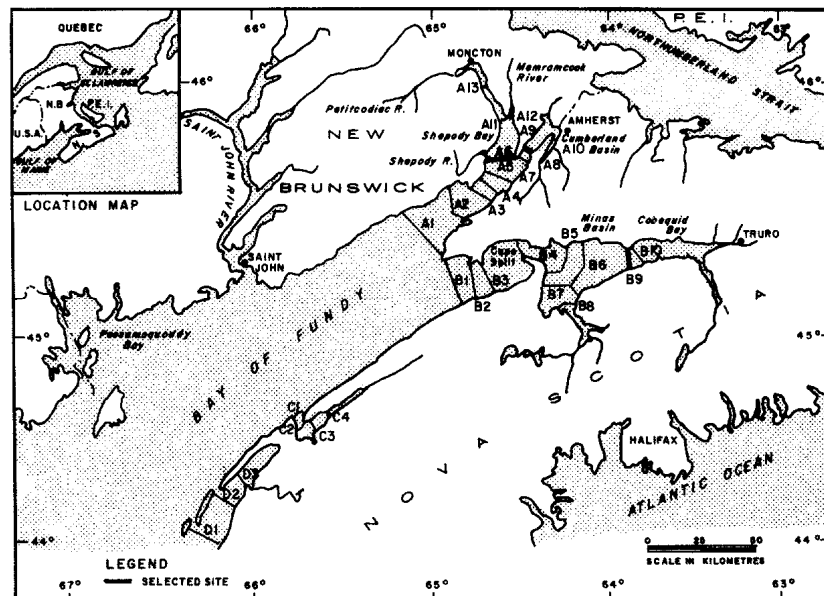
Seegebiet	Nr.	Standort	Inst. Leistung	Status
Barents-See	13	Lumbovsker Bucht (UdSSR)	340 MW	Projekt-V.
	14	Kislogubsk (UdSSR)	0,8 MW	in Betrieb
Weißes Meer	15	Mesener (UdSSR)	14.000 MW	Projekt-V.
	15	Kuloja-Mündung (UdSSR)	500 MW	Projekt-V.
	15	Mesen-Mündung (UdSSR)	2.000 MW	Projekt-V.
Ochotsker Meer	16	Ust-Penshino (UdSSR)	650 MW	Projekt-V.
	17	Jelistratov (UdSSR)	Mehrere Tausend MW	Projekt-V.
Bucht von St. Michel	8	Chausey Insel (Fr.)	bis 10.000 MW	Projekt-V.
	6	Rance-Mündung (Fr.)	240 MW	in Betrieb
Bristol-Kanal	5	Severn-Mündung (GB)	7260 MW	Projekt-V.
			bis 35.000 MW	Projekt-V.
Irische See	1	Solway-Firth (GB)	1.600 MW	Projekt-V.
	4	Dee-Mündung (GB)	ca. 670 MW	Projekt-V.
	3	Morecambe-Bucht (GB)	ca. 3.500 MW	Projekt-V.
Nordsee	2	Humber-Mündung (GB)	ca. 670 MW	Projekt-V.
Fundy-Bucht	20	Passamaquoddy-Bucht (USA/Kan.)	350 MW	Projekt-V.
			bis 10.000 MW	Projekt-V.
	20	Chignecto-Bucht (USA/Kan.)	ca. 2000 MW	Projekt-V.
	20	Minas-Bucht (USA/Kan.)	ca. 2000 MW	Projekt-V.
	20	Anapolis-Bucht (USA/Kan.)	ca. 2000 MW	Projekt-V.
Südatlantik	25	San Jose (Argentin.)	ca. 4000 MW	Projekt-V.
Indischer Ozean	32	Kimberleys (bis zu 25 Möglichkeiten) (Austr.)	insges. bis 270.000 MW	Voruntersuchung /*

Frankreich	7	Mt. Saint Michel
	9	Brest
	10	Arcachon
BRD	11	Wilhelmshaven
Spanien	12	Vigo
Kanada	18	Cumberland Bay
	19	Petitcodiac
USA	21	Cook Inlet
Mexico	22	Baja California
Brasilien	23	Maranhao (S. Luis)
	24	Araguaya (Belem)
Argentinien	26	Rio Gallegos
Chile	27	Magellan Geb.
	28	Chonos Arch.
Indien	29	Cambay Bay
	30	Cutch Golf
Burma	31	Rangoon
Australien	33	Pt. Darwin
	34	Borad Sund

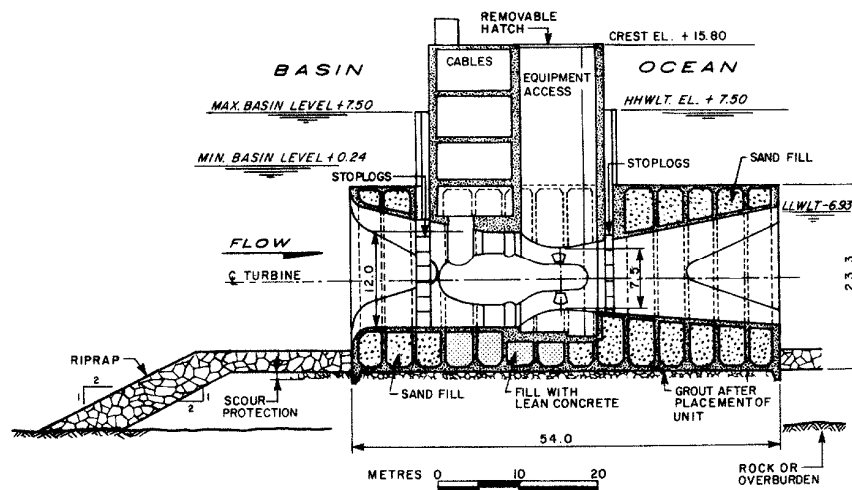
Zusammen ca. 360.000 MW
Inst. Leistung



Funktionsbild eines Gezeitenkraftwerkes, Turbinenflügel verstellbar für beide Durchströmrichtungen, Ebbe und Flut.

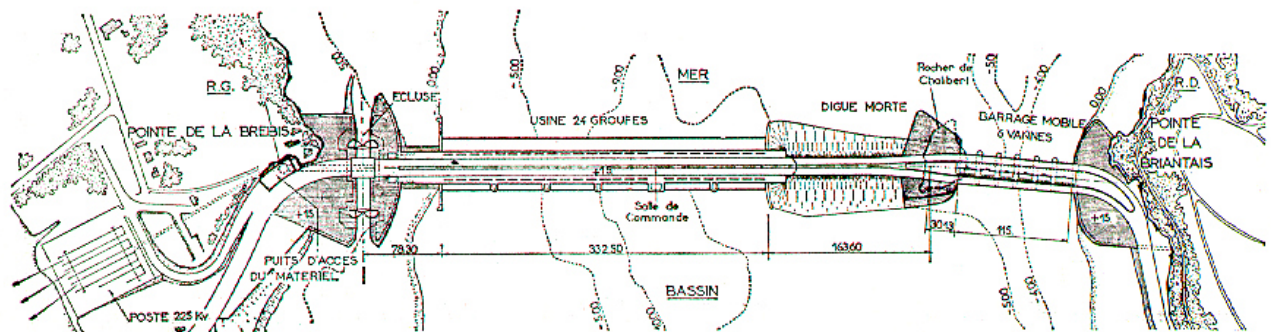


Geografische Lage möglicher Gezeitenkraftwerke in der Bay of Fundy, Kanada

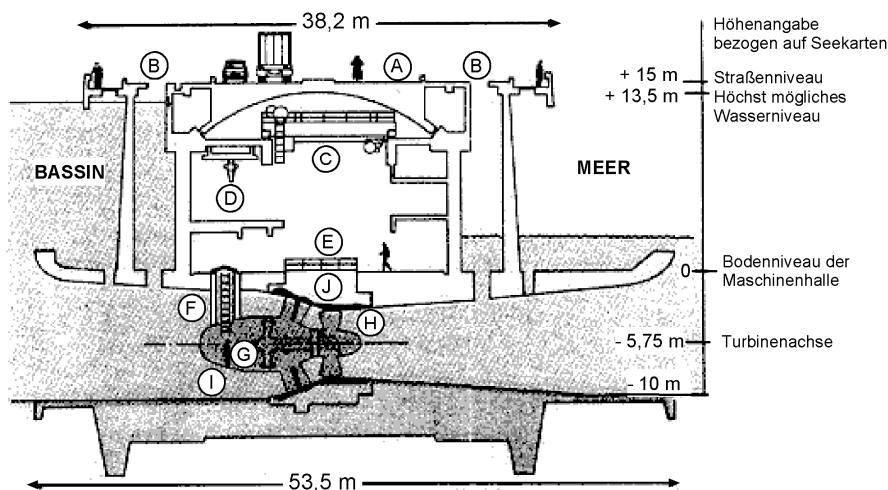


Querschnitt durch eine Turbine

Gezeitenkraftwerk in der Rance-Mündung



Gesamtanlage, rechts: mobiles Wehr mit 6 Ziehschützen, Abmessungen 15 x 10 Meter;
links: Schiffsschleuse, Länge 65 m, Breite 13m.



Kraftwerksmauer im Querschnitt, gelegt durch eine Turbinenachse

- A Straße auf der Mauerkrone
- B Wasserkammern, die den Zugang zu den „Bulbe“-Aggregaten ermöglichen
- C Laufkran
- D Arbeitsbühne
- E Maschinenhalle
- F Tunnel mit Abstieg zu den Maschinensätzen
- G Wechselstromgenerator
- H Kaplan turbine
- I Verkleidung des „Bulbe“-Aggregats
- J Metallplatten zur Verankerung Der Aggregate

Kraftwerksmauer im Querschnitt

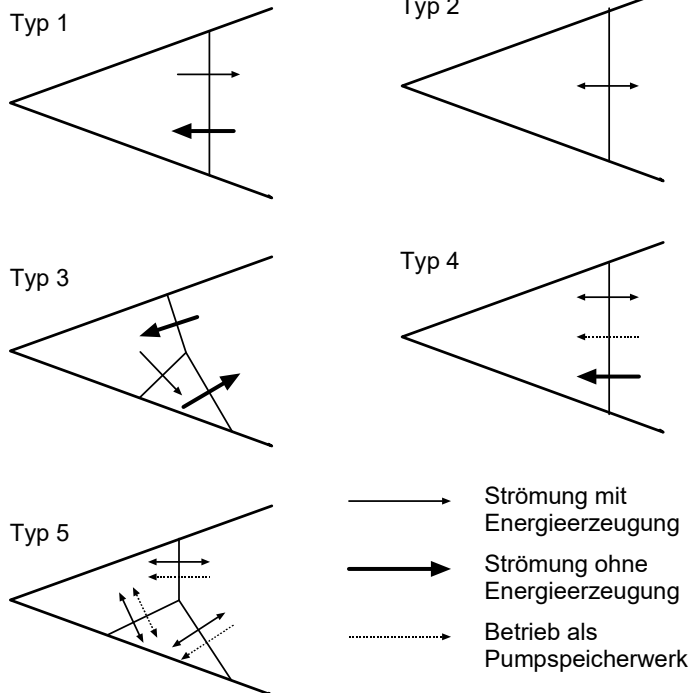
Das Gezeitenkraftwerk in der Rance-Mündung, zwischen Dinard und St.Malo (Frankreich) hatte 1961 Baubeginn. Der Tidenhub beträgt hier 13,5 m. Die Flußmündung ist ca 750 m breit, durch den Damm erfolgt ein 20 km tiefer Rückstau. Im Damm sind 24 Rohrturbinen zu je 10 MW Leistung eingebaut.

Theoretisch ist ein jährlicher Energieertrag von 554 GWh möglich. Erzielt wurden: 1970 455 GWh, 1971 459 GWh, 1974 502,6 GWh (das bisherige Rekordjahr), 1980 485 GWh.

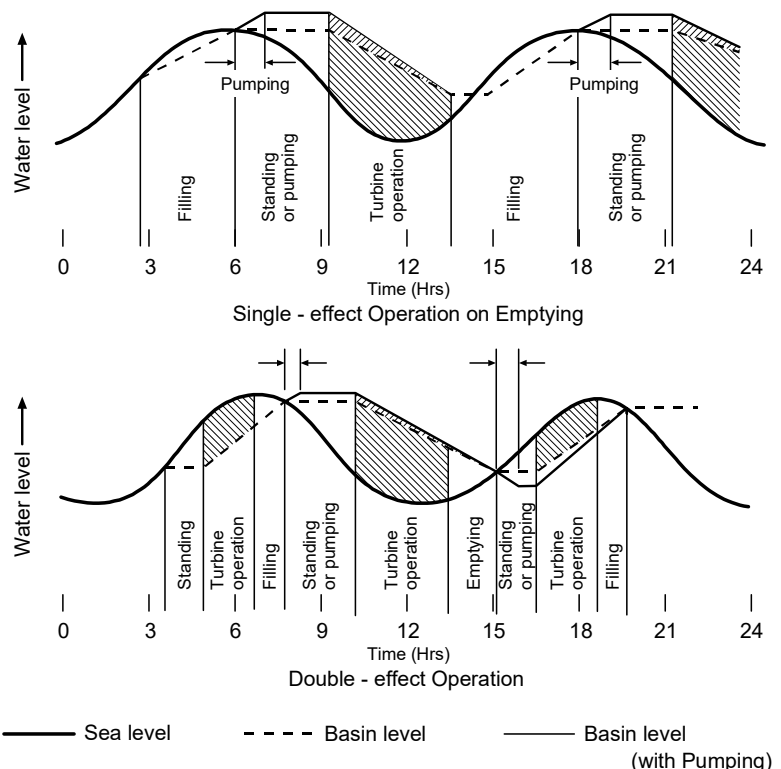
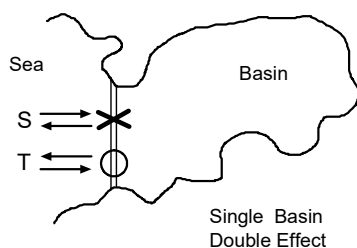
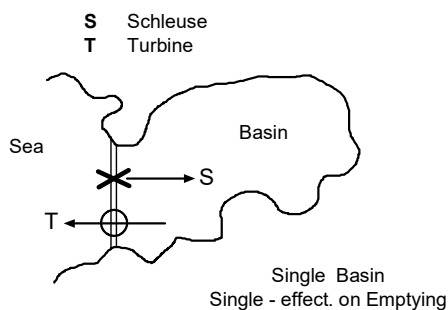
Die Baukosten betragen umgerechnet ca. 360 Mio DM.

Auf der Erde gibt es Küstenregionen mit ungenügender Süßwasserversorgung. Größenordnungsmäßig muß für die Meerwasserentsalzung mit einem Aufwand von 50 bis 100 kWh/m³ gerechnet werden. Mit einem Gezeitenkraftwerk vom Typ Rance-Mündung könnten demnach zwischen $5 \cdot 10^6$ m³/a und $10 \cdot 10^6$ m³/a an Süßwasser erzeugt werden.

Obwohl Laufwasserturbinen für Fallhöhen ab 1 m existieren, ist für die Nutzung der Gezeitenenergie ein Mindesttidenhub von 3 m erforderlich. In Wilhelmshaven beträgt der Gezeitenhub ca. 3,3 m.



Reversible Turbinen und der Einsatz verschiedener Bassins sowie zusätzlicher, zeitweiser Pumpbetrieb verbessern das durch Ebbe und Flut intermittierende Energiedargebot. Das Kraftwerk in der Rance-Mündung gehört zum Typ 4.



Ein – Bassin – Konzept

Wasserspiegel über der Zeit
während verschiedener Funktionsphasen

Weltweit wird die Installation von 160-180 GW Gezeitenkraftwerkleistung als realistisch angesehen. Das bedeutet eine jährliche Energiemenge von ca. 320-360 TWh.

Meeresenergien

Meereswärme

Mit bestimmten Anlagen könnte die im Meer gespeicherte Sonnenenergie genutzt werden. Die Sonneneinstrahlung in die Karibische See beträgt etwa $2 \cdot 10^9$ kWh/a km². Das entspricht einem zeitlich gemittelten Wärmefluß von 250 Watt/m². Davon werden etwa 200 Watt/m² bei der Verdunstung des Wassers aufgezehrt. Zur Energiewandlung bleiben nur etwa 50 Watt/m² übrig. Das theoretische Potential der Meereswärme beträgt für die tropischen Weltmeere ca. $2 \cdot 10^8$ TWh/a.

Die aus der Sonneneinstrahlung resultierende Oberflächentemperatur der Meere beträgt in den äquatornahen Meereszonen 25° bis 28°C. Damit man die Wärmeenergie des warmen Oberflächenwassers thermodynamisch nutzen kann, muß ein zweites Reservoir mit einer niedrigeren Temperatur vorhanden sein. Dies ist in tieferen Schichten der Meere gegeben. In 1000 m Meerestiefe herrscht eine Temperatur von ca. 4°C.

Ein thermodynamischer Kreisprozeß zwischen diesen Temperaturen hat wegen der geringen Temperaturdifferenz nur einen sehr niederen Wirkungsgrad. Der Energielieferant, warmes Meerwasser, steht aber kostenlos zur Verfügung.

Je nachdem, ob das Meerwasser direkt zum Arbeitsmedium des thermischen Kreisprozesses gewählt wird, oder ob die Wärmeenergie des Wassers über Wärmetauscher an ein anderes Arbeitsmedium überführt wird, sind zwei Kreisprozesse möglich: der offene und der geschlossene Rankine-Prozeß.

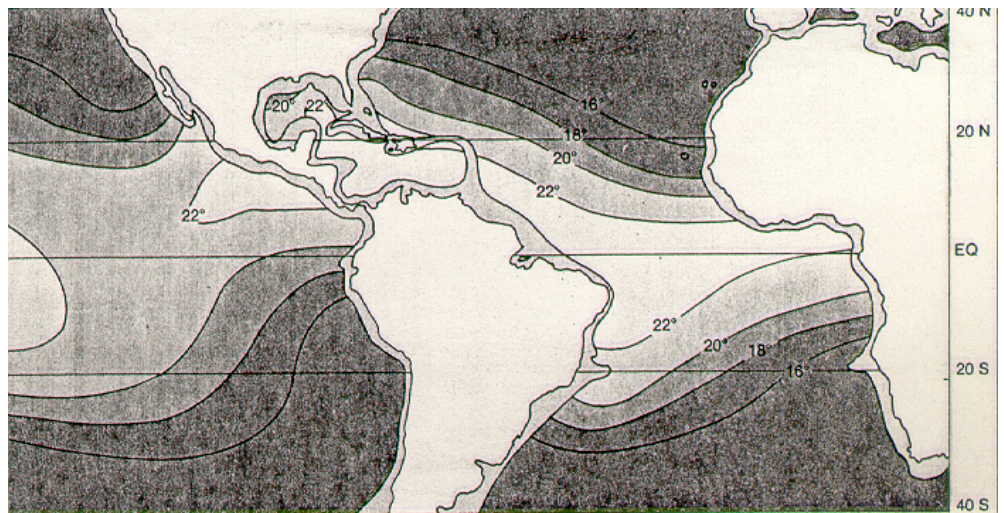
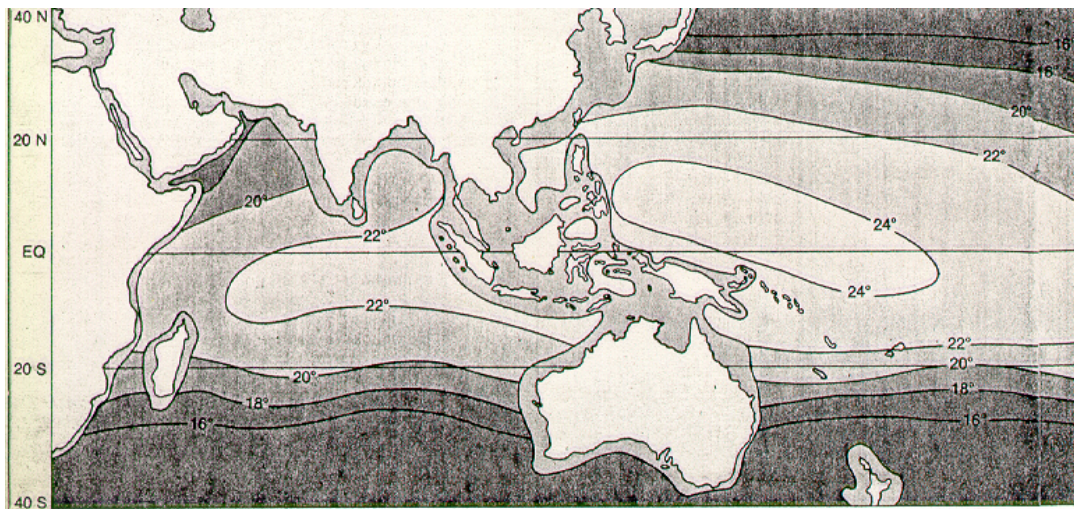
Offener Prozeß:

Das warme Meerwasser gelangt in den Verdampfer in dem ein Unterdruck aufrecht erhalten wird. Ein Teil der Flüssigkeit verdampft, die Verdampfungsenergie liefert das sich dabei abkühlende, einströmende Meerwasser. Der erzeugte Dampf gibt seine kinetische Energie an eine Turbine ab, die wiederum den Generator zur Elektrizitätswandlung antreibt. In einem Kondensator wird der Dampf durch Mischung mit kaltem Tiefenwasser wieder kondensiert.

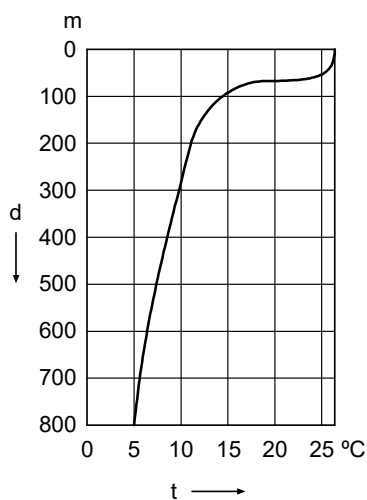
Geschlossener Prozeß:

Da Wasserdampf bei den Drücken, die einer Sättigungstemperatur von 20° bis 30°C entsprechen, ein sehr großes spezifisches Dampfvolumen besitzt, sind für große Leistungen große Turbinen- und sonstige Systemabmessungen notwendig. Deshalb wurde vorgeschlagen, Wasser und Arbeitsmedium zu trennen. Die Wahl eines optimalen Arbeitsmediums ist möglich (z.B. Ammoniak). Allerdings gehen dem Arbeitsprozeß einige Grad K verloren, da die Wärme vom Warmwasser über riesige Wärmetauscherflächen an das Arbeitsmedium übertragen werden muß. Dies gilt auch für die Wärmeabfuhr an das Kaltwasser.

Die Temperatur-Randbedingungen ergeben, daß aus 1 kg/s Warmwasser Durchflußrate eine Leistung von 0,2 bis 0,8 kW zu erzielen ist.



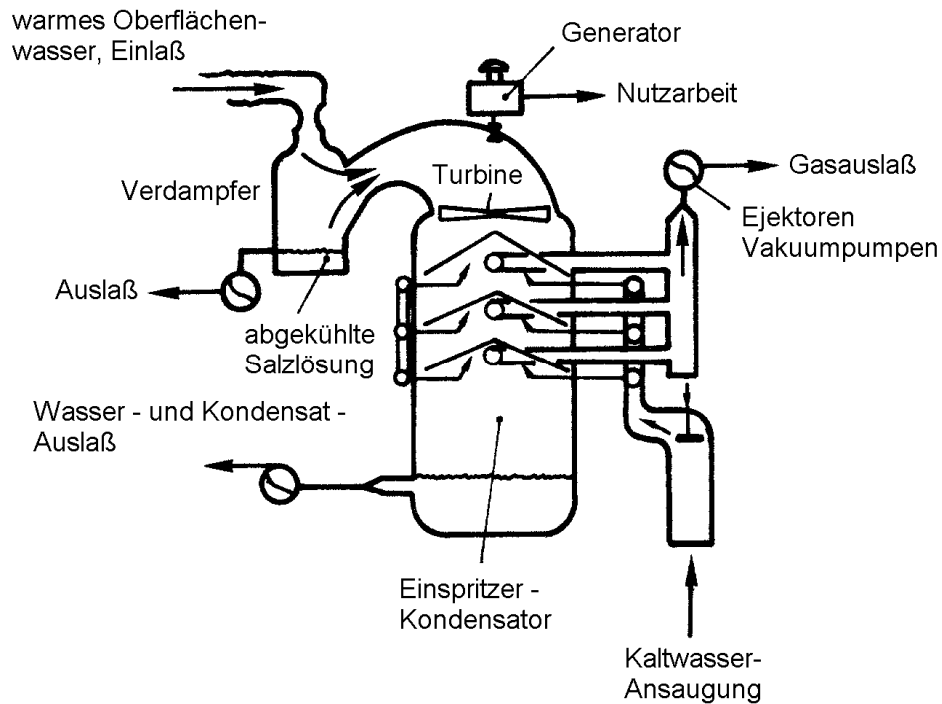
Temperaturdifferenz in den Weltmeeren zwischen Wasseroberfläche und 1000 m
Wassertiefe (Jahresmittel)



Temperaturprofil eines
Meeres in Äquatornähe
(Messung bei Miami)
d Wassertiefe in Meter
t Temperatur °C

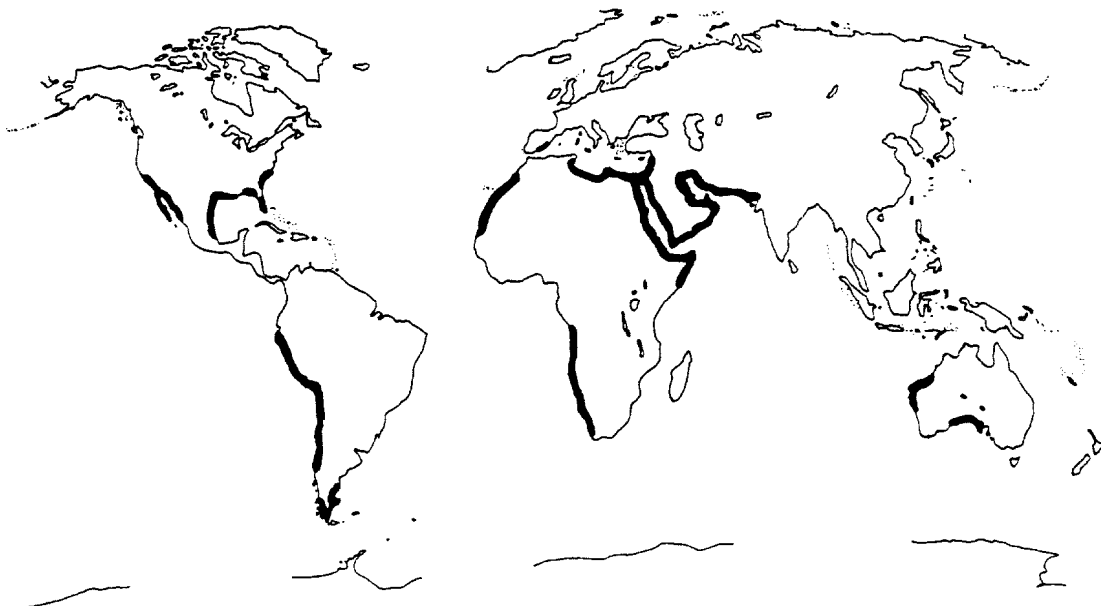


Erzielbare elektrische Leistung P
in Abhängigkeit der Verdampfungs-
temperatur t für 1 kg Meerwasser / s
($\eta_{\text{eff}} = 0,5 \cdot \eta_C$; $t_2 = 7^\circ\text{C}$)



Prinzipschaltbild eines Meereswärmekraftwerkes mit offenem Kreisprozeß

Beim offenen Kreislauf besteht die Möglichkeit durch den Einsatz von Flächenkondensatoren anstelle der Mischkondensatoren, an den kalten Wänden den Wasserdampf als Süßwasser niederschlagen zu lassen. Je installiertem MW Kraftwerksleistung könnte man ca. 100 m³ Süßwasser/h erzeugen. Dort wo die Meereswärme nutzbar erscheint, liegen auch die Küstenregionen mit einer unzureichenden Süßwasserversorgung.



Küstenregion mit unzureichender Süßwasserversorgung

Table of the Properties of Water and Steam

Taleln der Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf
Tables des propriétés de l'eau et de la vapeur d'eau
Tablas de las propiedades de vapor de agua

Table State of Saturation (Temperature Table)

Sättigungszustand (Temperaturtafel)

Etat saturé (Table des Températures) Estado saturado (Tabla de temperatura)

t	T	P	v'	v''	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
C °	K	bar	m ³ / kg	m ³ / kg	m ³ / kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg K	kJ / kg K
0,00	273,15	0,006108	0,0010002	206,3	0,004847	- 0,04	2501,6	2501,6	- 0,0002	9,1577
0,01	273,16	0,006112	0,0010002	206,2	0,004851	0,00	2501,6	2501,6	0,0000	9,1575
1	274,15	0,006566	0,0010001	192,6	0,005192	4,17	2503,4	2499,2	0,0152	9,1311
2	275,15	0,007055	0,0010001	179,9	0,005558	8,39	2505,2	2496,8	0,0306	9,1047
3	276,15	0,007575	0,0010001	168,2	0,005946	12,60	2507,1	2494,5	0,0459	9,0785
4	277,15	0,008129	0,0010000	157,3	0,006358	16,80	2508,9	2492,1	0,0611	9,0526
5	278,15	0,008718	0,0010000	147,2	0,006795	21,01	2510,7	2489,7	0,0702	9,0269
6	279,15	0,009345	0,0010000	137,8	0,007258	25,21	2512,6	2487,4	0,0913	9,0015
7	280,15	0,010012	0,0010001	129,1	0,007748	29,41	2514,4	2485,0	0,1063	8,9762
8	281,15	0,010720	0,0010001	121,0	0,008267	33,60	2516,2	2482,6	0,1213	8,9513
9	282,5	0,011472	0,0010002	113,4	0,008816	37,80	2518,1	2480,3	0,1361	8,9265
10	283,15	0,012270	0,0010003	106,4	0,009396	41,99	2519,9	2477,9	0,1510	8,9020
11	284,15	0,013116	0,0010003	99,91	0,01001	46,19	2521,7	2475,5	0,1658	8,8776
12	285,15	0,014014	0,0010004	93,84	0,01066	50,38	2523,6	2473,2	0,1805	8,8536
13	286,15	0,014965	0,0010006	88,18	0,01134	54,57	2525,4	2470,8	0,1952	8,8297
14	287,15	0,015973	0,0010007	82,90	0,01206	58,75	2527,2	2468,5	0,2098	8,8060
15	288,15	0,017039	0,0010008	77,98	0,01282	62,94	2529,1	2466,1	0,2243	8,7826
16	289,15	0,018168	0,0010010	73,38	0,01363	67,13	2530,9	2463,8	0,2388	8,7593
17	290,15	0,019362	0,0010012	69,09	0,01447	71,31	2532,7	2461,4	0,2533	8,7363
18	291,15	0,02062	0,0010013	65,09	0,01536	75,50	2534,5	2459,0	0,2677	8,7135
19	292,15	0,02196	0,0010015	61,34	0,01630	79,68	2536,4	2456,7	0,2820	8,6908
20	293,15	0,02337	0,0010017	57,84	0,01729	83,86	2538,2	2454,3	0,2963	8,6684
21	294,15	0,02485	0,0010019	54,56	0,01833	88,04	2540,0	2452,0	0,3105	8,6462
22	295,15	0,02642	0,0010022	51,49	0,01942	92,23	2541,8	2449,6	0,3247	8,6241
23	296,15	0,02808	0,0010024	48,62	0,02057	96,41	2543,6	2447,2	0,3389	8,6023
24	297,15	0,02982	0,0010026	45,93	0,02177	100,59	2545,5	2444,9	0,3530	8,5806
25	298,15	0,03166	0,0010029	43,40	0,02304	104,77	2547,3	2442,5	0,3670	8,5592
26	299,15	0,03360	0,0010032	41,03	0,02437	108,95	2549,1	2440,2	0,3810	8,5379
27	300,15	0,03564	0,0010034	38,81	0,02576	113,13	2550,9	2437,8	0,3949	8,5168
28	301,15	0,03778	0,0010037	36,73	0,02723	117,31	2552,7	2435,4	0,4088	8,4959
29	302,15	0,04004	0,0010040	34,77	0,02876	121,48	2554,5	2433,1	0,4227	8,4751
30	303,15	0,04241	0,0010043	32,93	0,03037	125,66	2556,4	2430,7	0,4365	8,4546
31	304,15	0,04491	0,0010046	31,20	0,03205	129,84	2558,2	2428,3	0,4503	8,4342
32	305,15	0,04753	0,0010049	29,57	0,03382	134,02	2560,0	2425,9	0,4640	8,4140
33	306,15	0,05029	0,0010053	28,04	0,03566	138,20	2561,8	2423,6	0,4777	8,3939
34	307,15	0,05318	0,0010056	26,60	0,03759	142,38	2563,6	2421,2	0,4913	8,3740
35	308,15	0,05622	0,0010060	25,24	0,03961	146,56	2565,4	2418,8	0,5049	8,3543
36	309,15	0,05940	0,0010063	23,97	0,04172	150,74	2567,2	2416,4	0,5184	8,3348
37	310,15	0,06274	0,0010067	22,76	0,04393	154,91	2569,0	2414,1	0,5319	8,3154
38	311,15	0,06624	0,0010070	21,63	0,04624	159,09	2570,8	2411,7	0,5453	8,2962
39	312,15	0,06991	0,0010074	20,56	0,04865	163,27	2572,6	2409,3	0,5588	8,2772
40	313,15	0,07375	0,0010078	19,55	0,05116	167,45	2574,4	2406,9	0,5721	8,2583
41	314,15	0,07777	0,0010082	18,59	0,05379	171,63	2576,2	2404,5	0,5854	8,2395
42	315,15	0,08198	0,0010086	17,69	0,05652	175,81	2577,9	2402,1	0,5987	8,2209
43	316,15	0,08639	0,0010090	16,84	0,05938	179,99	2579,7	2399,7	0,6120	8,2025
44	317,15	0,09100	0,0010094	16,04	0,06236	184,17	2581,5	2397,3	0,6252	8,1842
45	318,15	0,09582	0,0010099	15,28	0,06546	188,35	2583,3	2394,9	0,6383	8,1661

Dimensionierungsgröße überschlägig (Energiesatz):

Wasserdurchfluß x Spez. Wärme des Wassers x Temperaturdifferenz = Dampfmenge pro Zeiteinheit x Verdampfungswärme

$$\dot{m}_W \cdot C_p \cdot \Delta t = \dot{m}_D \cdot r ; \quad \dot{m}_W / \dot{m}_D \approx 600 \text{ [K]} / \Delta t$$

Daraus ergibt sich, daß bei einer Temperaturdifferenz von 2 K, je kg Dampf, 300 kg Wasser benötigt werden.

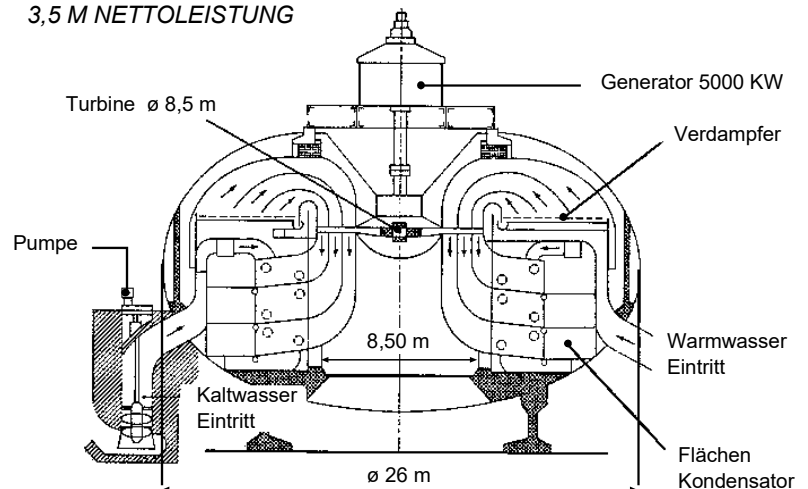
Beispiel offener Kreisprozeß,
Dreh-Ellipsoid aus Beton als
Gehäuse:

Das warme Wasser durchläuft
3 in Serie geschaltete Ver-
dampfer in drei Teilströmen
von innen nach aussen, wobei
es sich jedesmal um 1°C ab-
kühlt. Es wird jeweils 1/3 des
Dampfes bei 29°C, bei 28°C
und 27°C geliefert, anstatt bei
27°C die gesamte Dampf-
menge in einem Gesamtver-
dampfer. Die 3 Dampfströme
wirken auf 3 Axialturbinenrä-
der. Das kalte Tiefenwasser,

nur 1/3 der Warmwassermenge , durchläuft 3 Kaskaden-Kondensatoren, wobei es sich jeweils um 3°C erwärmt. Von 8°C bis auf 17°C. Dabei kondensiert jeweils 1/3 der Dampfmenge. Dieses System erreicht einen Leistungsgewinn von 40 bis 50 % gegenüber einem einfach ausgelegten System (theoretisch in einem T-s-Diagramm zu belegen).

EDF - PROJEKT ABIDJAN
3,5 M NETTOLEISTUNG

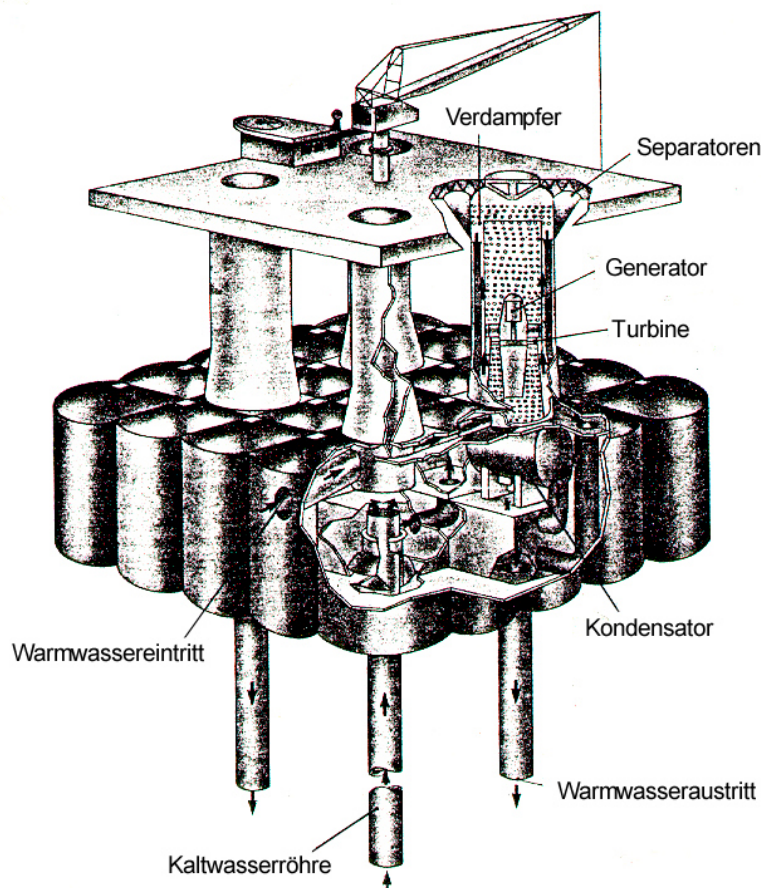
OFFENER KREISLAUF



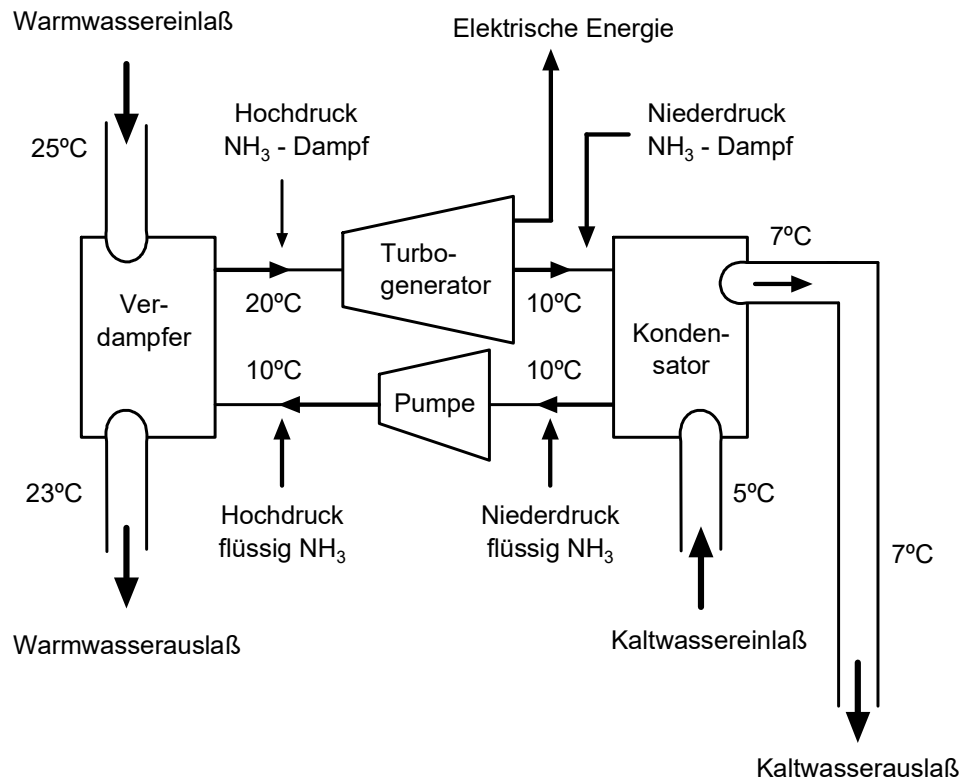
EMPAIN - SCHNEIDER

CGE - ALSTHOM - ETPN

OFFENER KREISLAUF



Projektvorschläge



Schema eines Meereswärmekraftwerkes mit geschlossenem Kreisprozess

	η_i [%]	η_{eff} [%]	P_o [bar]	P_U [bar]	P [kW]	$\dot{D}$ [kg/s]
Ammoniak	3,72	2,71	7,7	5,3	1091	2400
Butan	3,82	2,81	1,9	1,3	859	7400
Kohlen- dioxid	2,89	1,67	51	40	36033	21500
Äthan	3,90	2,04	3,45	26,5	25300	11400
R-12	3,68	2,57	5,1	36,5	2450	20000
R-22	3,68	2,54	8,1	6	3200	15000
R-133	3,65	2,91	0,35	0,2	170	18500
H-500	3,67	2,55	6,0	4,3	2750	16800
R-502	3,61	2,41	9,1	6,6	4552	21000
Propan	3,67	2,46	7,5	5,5	3706	8200
Schwefel- dioxid	3,72	2,82	2,9	2	634	7900
Wasser	3,78	3,26	0,02	0,01	1,4	1180

**Kreisprozessparameter
verschiedener Arbeits-
mittel:**

Kreisprozesswirkungsgrad

η_{ideal} , η_{eff}

P_o = Arbeitsdruck im Ver-
damper

P_U = Pumparbeit

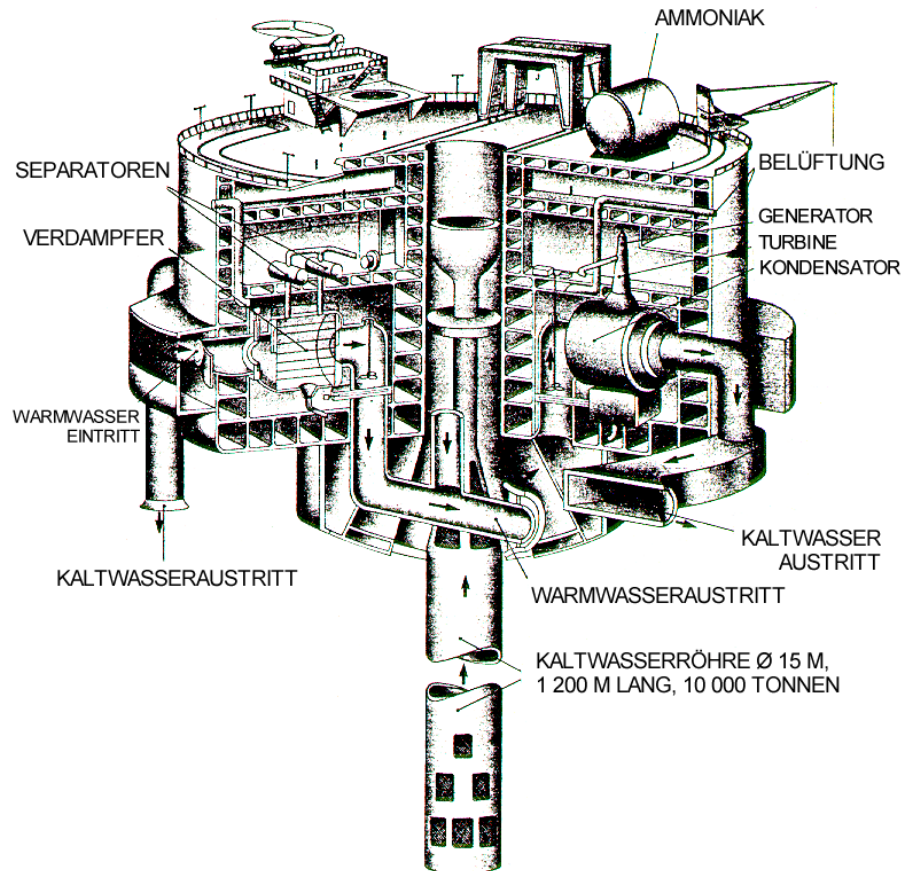
$\dot{D}$ = Durchsatz für ein 100
MW Kraftwerk

Beispiel 1 MW-Anlage geschlossener Kreislauf:

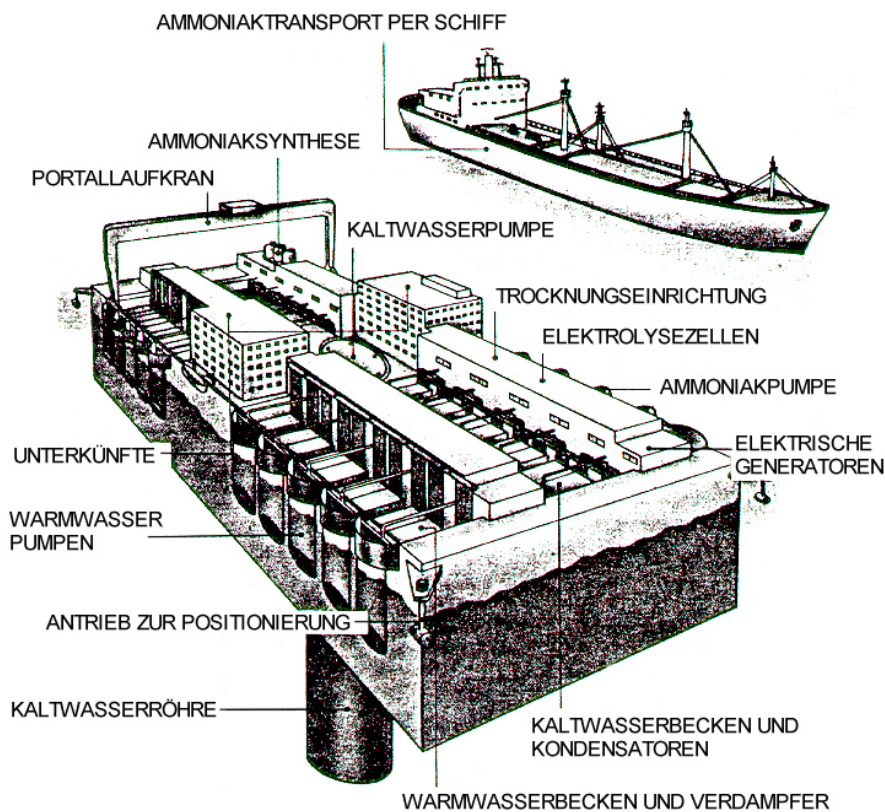
Warmes Oberflächenwasser mit 25°C; Abkühlung im Verdampfer auf 22°C (Verdampfung von NH_3 bei 20°C); NH_3 -Entspannung in Turbine und Kondensation bei 10°C; Kaltes Tiefenwasser erwärmt sich dabei von 5°C auf 8°C; $\Delta T = 10^\circ C$; $\eta = 10/293 = 0,034$; Turbinen- $\eta = 0,8$; Generator- $\eta = 0,95$; Realflüssigkeits- $\eta = 0,95$; demnach Gesamtwirkungsgrad $\eta = 0,0245 = 2,45\%$ (!) ; riesige Wärmetauscher erforderlich bei einer Wasserdurchlaufmenge von $4,5 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Projektvorschläge

TRW - PROJEKT, 100 MW NETTOLEISTUNG, Ø 110 M, 215 000 TONNEN



APL JOHN HOPKINS UNIVERSITÄT GESCHLOSSENER KREISLAUF



Ammoniak-Synthese als
Lösung des Energie-
Wegtransportes
(Sekundärenergieträger)

Meeresenergien

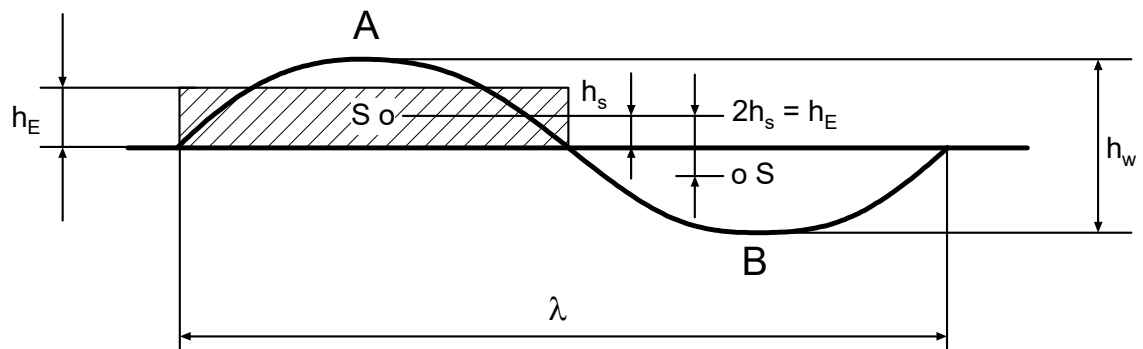
Wellenenergie

Meereswellen entstehen durch die Einwirkung von Windkräften auf die Wasseroberfläche. Einflußfaktoren sind Windgeschwindigkeit, Winddauer, Streichlänge des Windes über die Wasseroberfläche, Wellenauflänge und Wassertiefe. Zwei Formen der Wellenenergie können durch Ausgestaltung entsprechender Systeme genutzt werden:

- kinetische Wellenenergie:
horizontale und orbitale Bewegung der Wasserteilchen
- potentielle Wellenenergie:
Druckunterschiede zwischen Wellenberg und Wellental

Potentielle Energie	Kinetische Energie
1. Oberflächenprofil-Veränderung bei laufender Welle über tiefem Wasser	2. Wellenlauf- und Orbitalbewegung der Wasserteilchen
3. Druckschwankungen unterhalb der Oberfläche in gleichbleibender Wassertiefe	4. Longitudinale Bewegung der Wasserteilchen in flachem Wasser

Abschätzung des Energieinhaltes von Meereswellen (Energiedichte):



Referenzwelle A Wellenberg, B Wellental, h_w Wellenhöhe

Die Masse der halben Sinuswelle (Annäherung) über dem Meeresspiegel beträgt

$$m = L \cdot \rho \cdot \lambda/2 \cdot h_E \quad [\text{kg}]$$

Dabei ist L die Wellenbreite [m] und $h_E = h/2\sqrt{2}$ [m] (flächengleiches Rechteck). Die Fallenergie (Fallhöhe = $2h_s = h_E$) ergibt sich zu

$$E = m \cdot g \cdot h_E \quad [\text{Nm}]$$

Somit ergibt sich

$$E = 1/16 \cdot L \cdot \rho \cdot \lambda \cdot g \cdot h^2 \quad [\text{Nm}]$$

Die Wellenfrequenz in tiefem Wasser ist

$$f = 1/\lambda \cdot \sqrt{g \cdot \lambda/2 \pi} \quad [1/\text{s}]$$

Die anfallende Leistung beträgt

$$P = E \cdot f = 1/16 \cdot (2\pi)^{-1/2} \cdot L \cdot \rho \cdot (\lambda)^{1/2} \cdot g^{3/2} \cdot h^2 \quad [\text{Watt}]$$

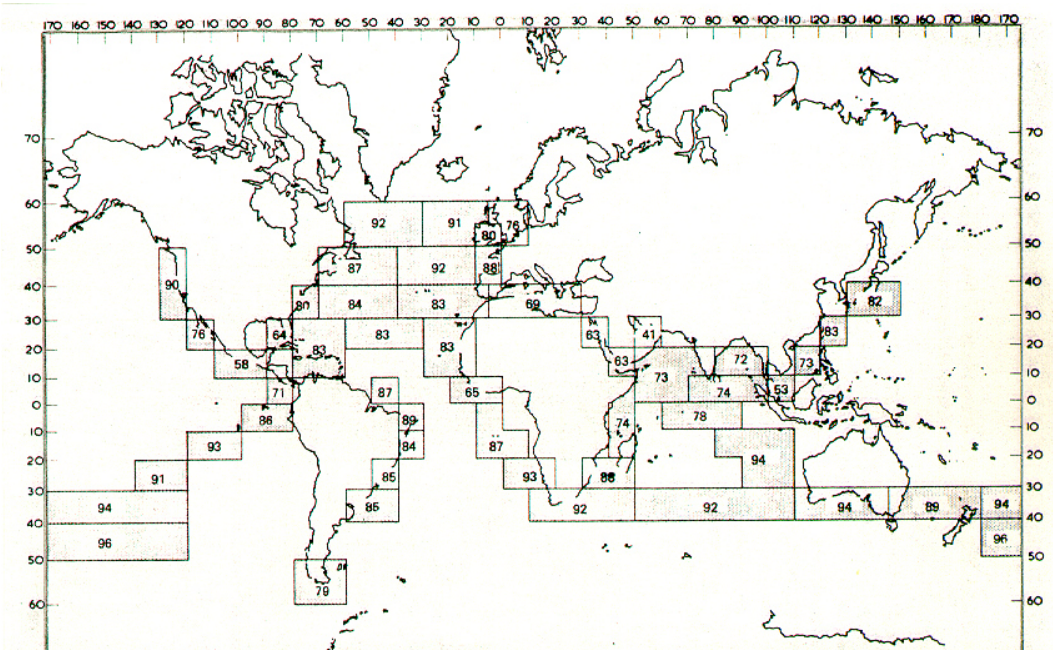
Setzt man $\lambda = T^2 \cdot g / 2 \pi$ mit T = Wellenperiode und h gleich h_{Welle} (statistische, mittlere Wellen-amplitude), so erhält man die mittlere, anfallende Leistung zu

$$P_W = 1/32\pi \cdot L \cdot \rho \cdot g^2 \cdot T \cdot h_w^2 \quad [\text{Watt}]$$

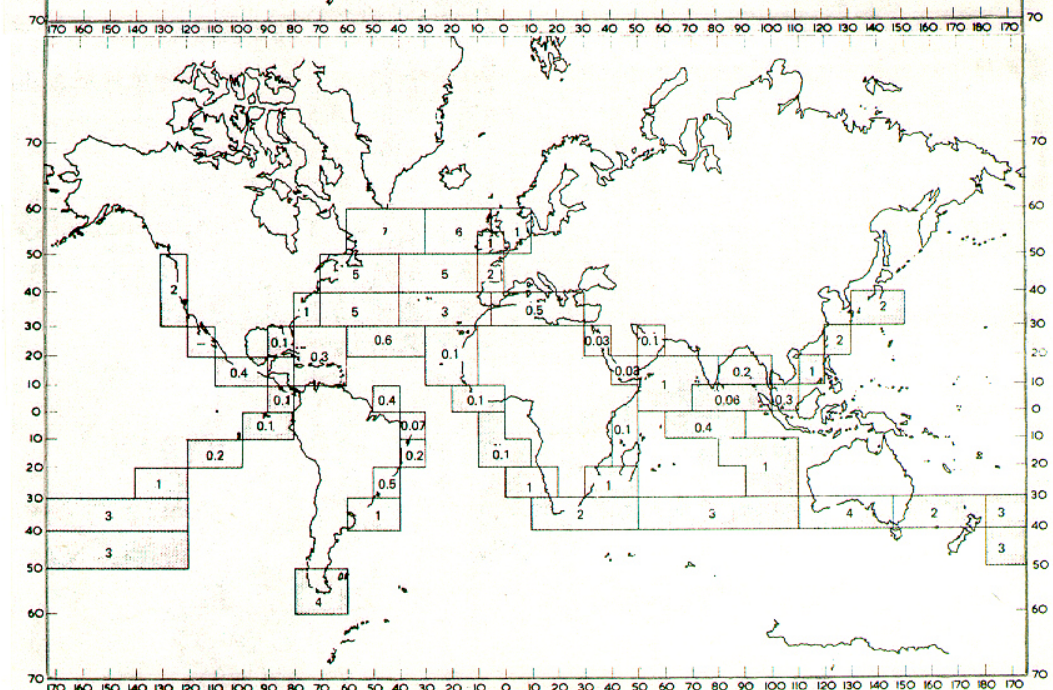
Für die deutsche Nordseeküste wurden folgende Werte festgestellt:

$h_w = 1,52 \text{ m}$; $T = 6,42 \text{ s}$, $\rho_{\text{Salzwasser}} = 1040 \text{ kg/m}^3$, d. h. es liegt eine mittlere Leistungsdichte von ca. $14,4 \text{ kW/Meter}$ und ein Energieinhalt von $0,026 \text{ kWh/m}$ und Welle vor.

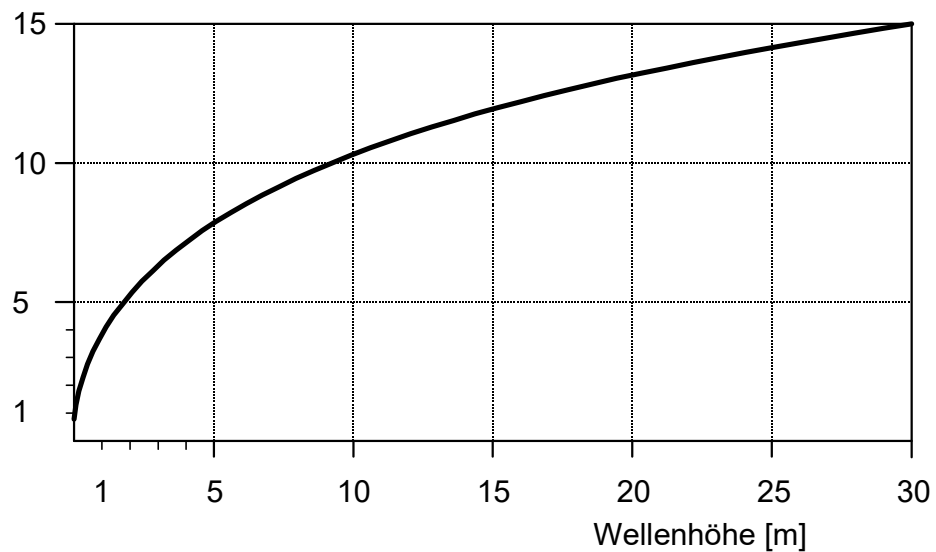
Häufigkeit der
Wellenhöhe
 $H > 1 \text{ m}$
in % des Jahres



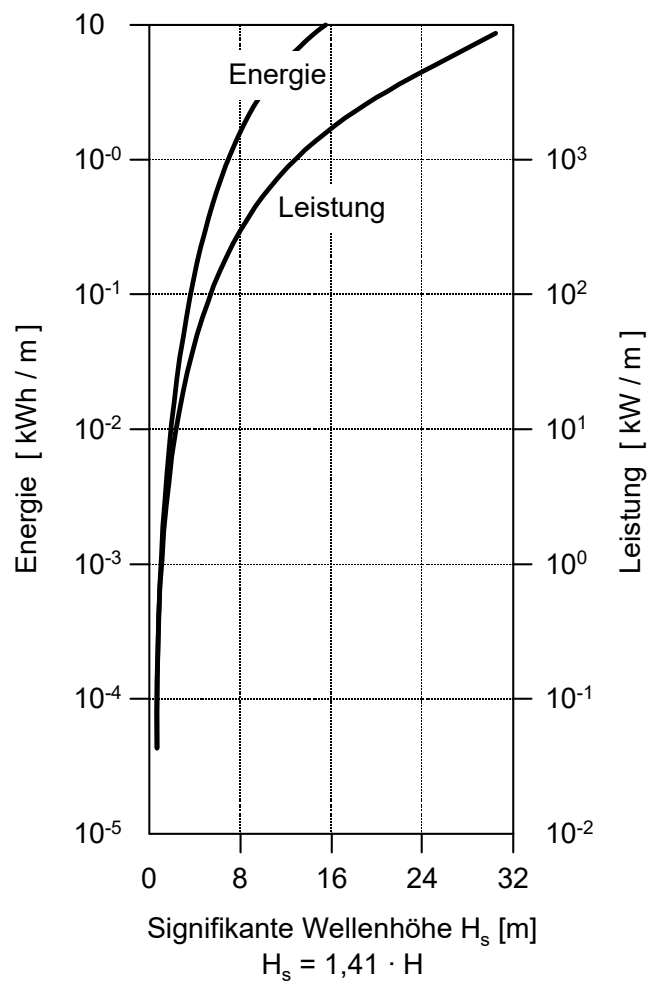
Häufigkeit der
Wellenhöhe
 $H > 5 \text{ m}$
in % des Jahres



Wellenperiode [s]

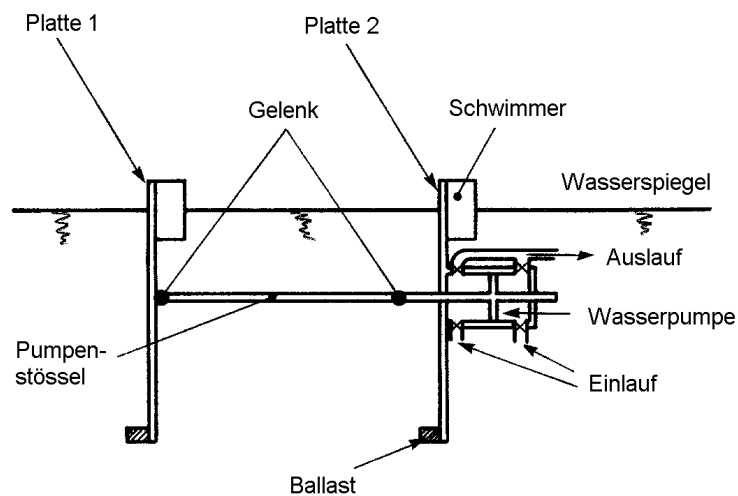
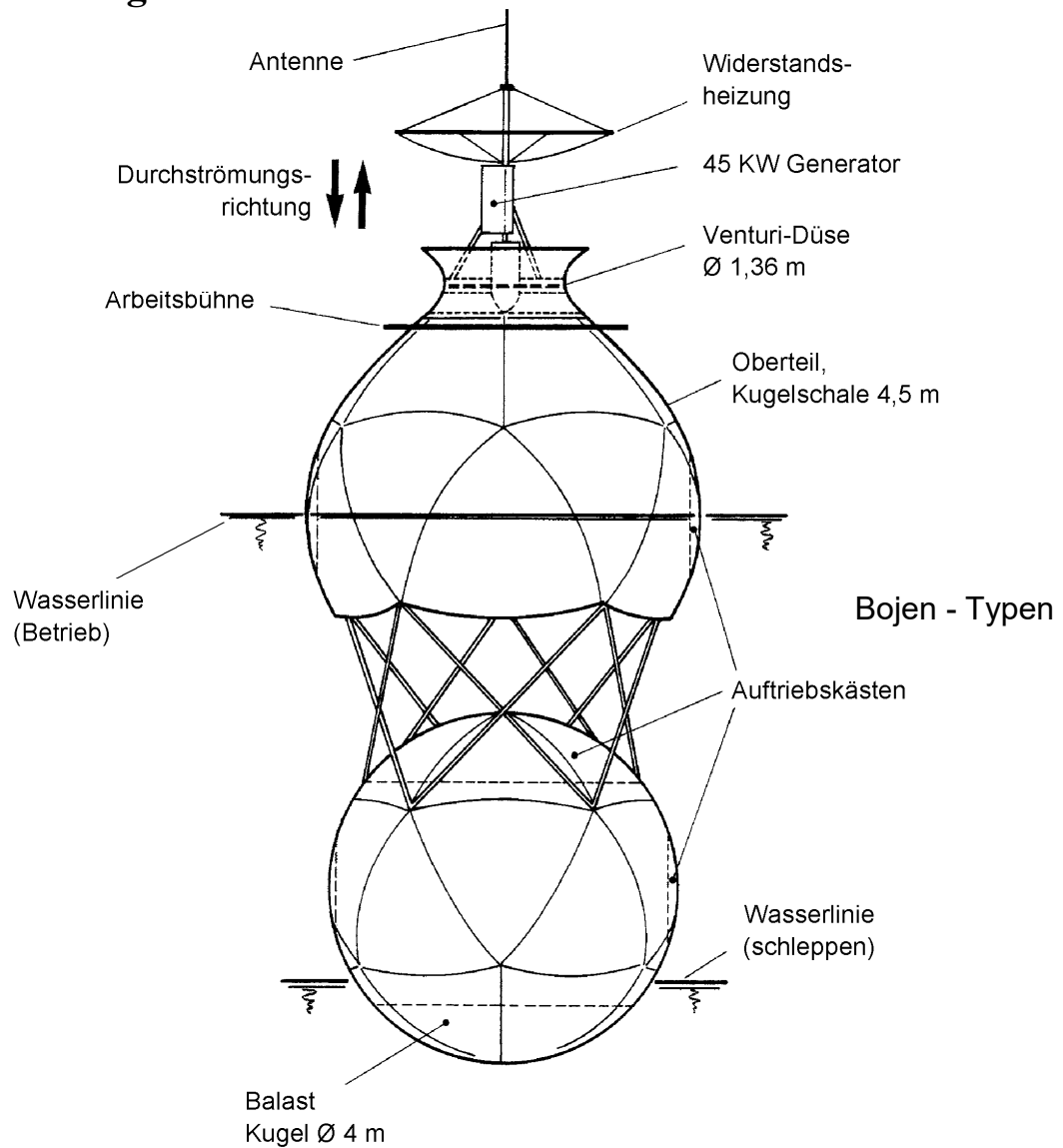


Signifikante Wellenhöhe und Wellenperiode (Standardspektrum)



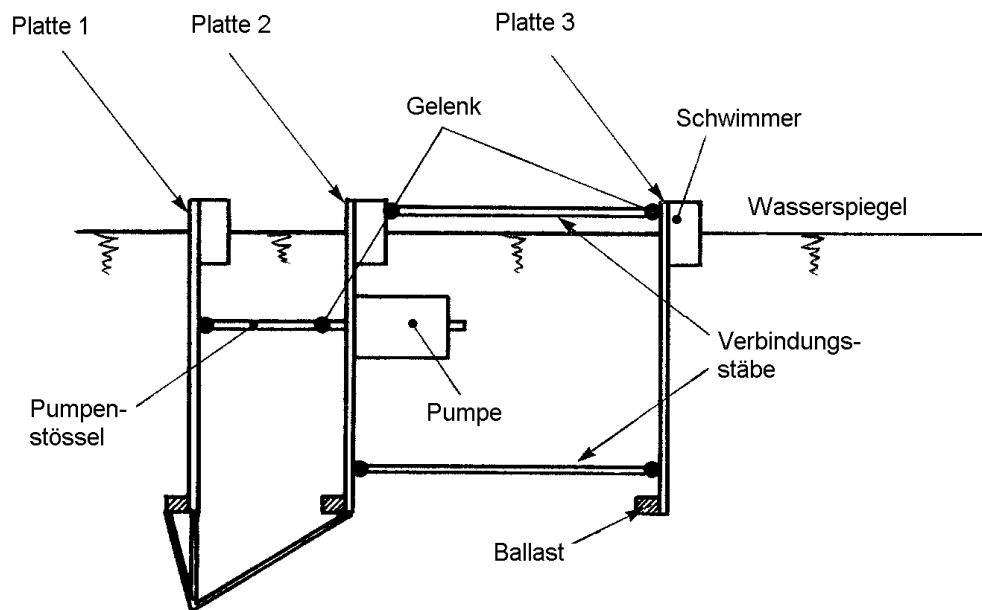
Gesamtenergie und Gesamtleistungsinhalt von Wellen
(je 1m Breite, Standardspektrum)

Projektvorschläge

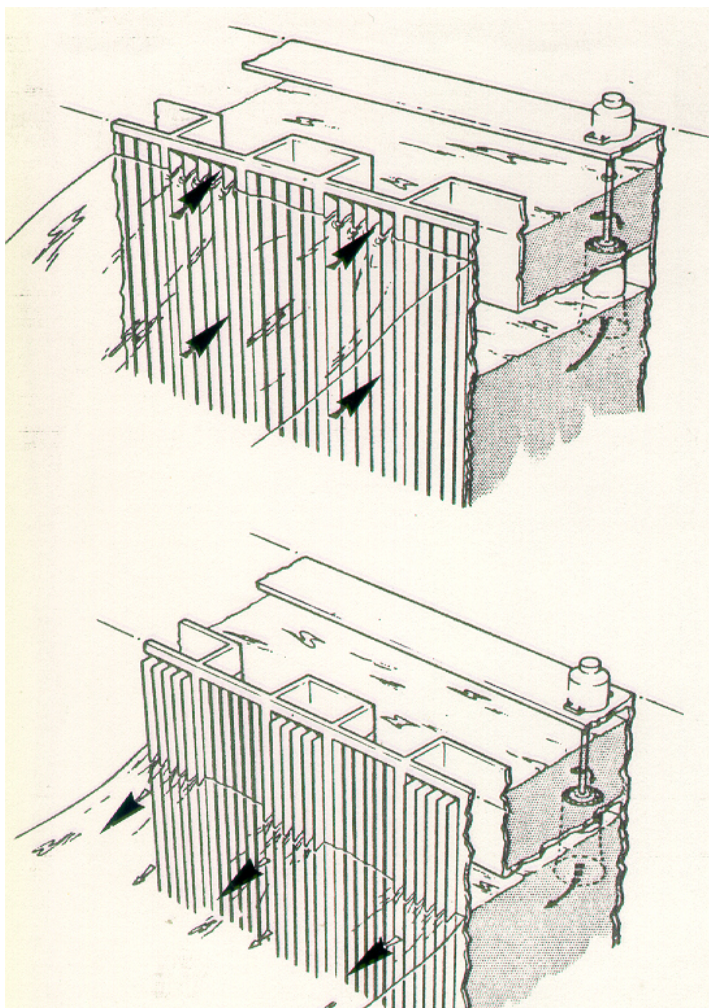


Platten - Kolben - Typ

(Zwei Platten-Typ mit Plattenabstand $\lambda / 2$; die Platten bewegen sich horizontal und wirken phasenverschoben auf die doppelt wirkende Kolbenpumpe).



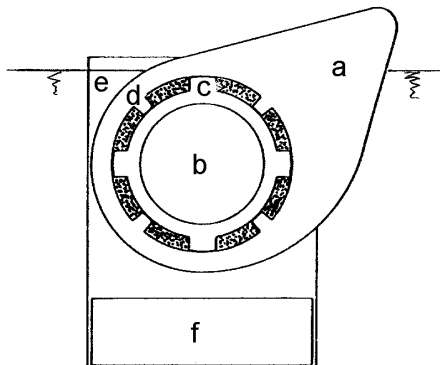
Platten-Kolben-Typ (Drei-Platten-Gerät; Platte 2 und 3 sind mit Haltestäben verbunden und bleiben quasi stationär, Platte 1 treibt die Pumpe an)



Kammern-Typ Russel-Rectifier.

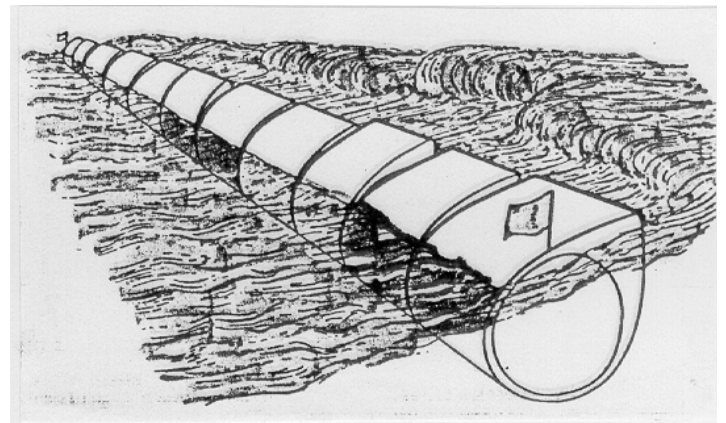
Ein hohler Kasten ist in obere und untere Kammern unterteilt. Durch einfachwirkende Klappen dringt die anrollende Welle in die oberen Kammern ein. Das Wasser fließt durch Turbinen in die unteren Kammern, aus denen es bei der rückrollenden Welle wiederum durch einfachwirkende Klappen ausfließt.

Projektvorschläge



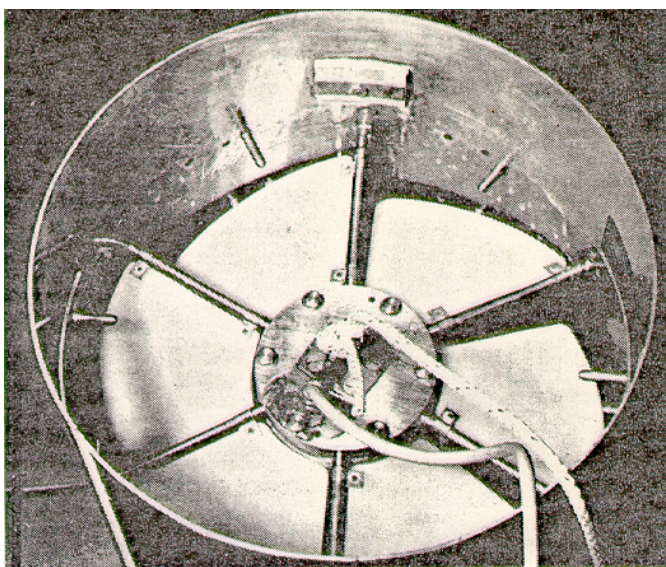
Nickende Ente, Aufbau

- a Entenkörper, der durch die Wellenbewegung in eine wippende Teildrehbewegung versetzt wird
- b festes, hohles Zentralrohr mit Rippen
- c und d Rippen welche die Pumpe bilden, dazwischen wird eine Hydraulikflüssigkeit komprimiert
- e senkrechte Rippe zwischen 2 Enten zur Stabilisierung
- f Ballast



Kette von Nickenden Enten im Atlantik

In mittlerer Wassertiefe können die Enten lose am Meeresboden verankert werden. Eine andere Möglichkeit wäre, die Enten durch Wellenbewegung und Wind zur Küste driften zu lassen.



Seenot Rettungsboje



Zweiseitig wirkende Turbine

Meeresenergien

Meeresströmung

Nur im Golfstrom liegen die Strömungsgeschwindigkeiten bei über 2 m/s. Allerdings ist der Kern des Golfstromes nur etwa 50 km breit, bei einer mittleren Tiefe der "Stromröhre" von 120 m.

Theoretisch wäre eine Leistung von 24 GW oder 24 000 MW durch Wasserturbinen auskoppelbar. Realistisch sind allerdings nur 2 % des Strömungsquerschnittes durch Turbinen belegbar mit einem Wirkungsgrad von η ca. 40% (ähnliche Turbinen wie bei der Nutzung der Windenergie). Dabei tritt eine Verbreiterung (Aufweitung) des Strömungsquerschnittes ein mit unbekannten, ökologischen Veränderungen, speziell in Nordeuropa.

Die Meeresströmung des Golfstromes könnte also ca. 2 GW elektrische Leistung bereitstellen. Bundesrepublik 2000 ca. 120 GW installierte elektrische Leistung.

Sonderprojekt - Meerenge von Gibraltar.

Das Mittelmeer verliert durch Verdunstung eine größere Wassermenge als durch Zufluß von Seiten der Flüsse und aus dem Bosphorus, sowie durch Regen ersetzt wird (negative Wasserbilanz). Somit fließt ständig Wasser vom Atlantik durch die Straße von Gibraltar in das Mittelmeer.

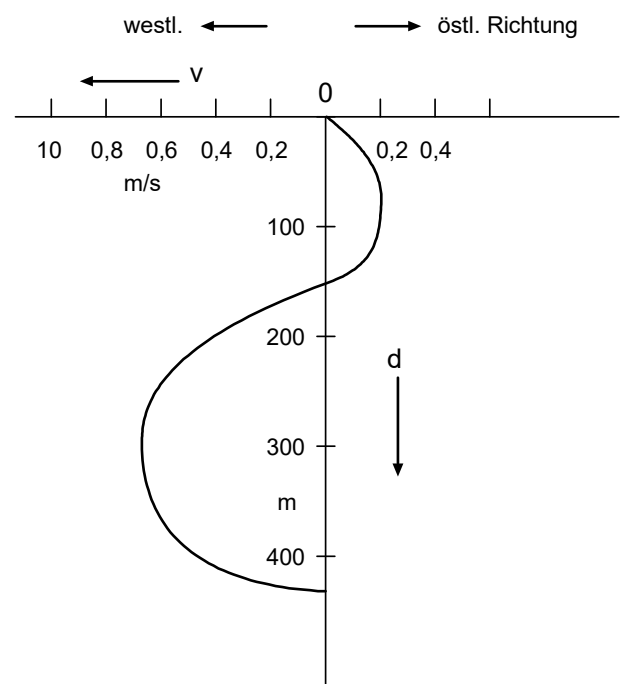
Die Verdunstung im Mittelmeer beträgt ca. $5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$. Dieser Wert entspricht einer Sonneneinstrahlung von 220 W/m^2 . Zufluß durch Flüsse, Regen und Bosphorus ca. $3 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$. Somit müssen $1,5$ bis $2 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$ oder $60\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser aus dem Atlantik einströmen. Bei einem Meerengenquerschnitt von ca. 7 km^2 bedeutete dies nur eine Geschwindigkeit von 1 cm/s. In der Realität zeigt das Geschwindigkeitsprofil aber Werte zwischen 0,2 und 0,8 m/s, was durch den Gezeiteneffekt hervorgerufen wird.

Der seit Jahrzehnten diskutierte Damm in der Straße von Gibraltar, der Meeresspiegel im Mittelmeer würde sich dabei um 100 m absenken, ermöglichte die Installation einer Leistung von unter 100 GW. 60 000 t/s und 100 m Fallhöhe ergeben 60 GW. Durchtrittsquerschnitt im Staudamm ca. 1500 m^2 oder $30 \times 50 \text{ m}$.

Die Absenkung des Mittelmeer-Wasserspiegels brächte unabsehbare, ökologische Folgen mit sich.

Typisches Strömungsprofil in der Strasse von Gibraltar

Geschwindigkeit v als
Funktion der Wassertiefe d .



Gletschereis-Energie

Schweizer Wissenschaftler haben auf die Möglichkeit zur Nutzung des Schmelzwassers auf der Oberfläche des Inlandeises von Grönland hingewiesen. Die Gletschereis-Energie gehört zum Typus Laufwasserenergie, da zum Nutzungssystem folgende Komponenten gehören: Sammelkanäle und Staubecken im Eis für das Schmelzwasser, Transportsystem des Primärenergieträgers Wasser zum Umwandlungssystem (Druckrohrleitungen) und das Umwandlungssystem selbst. Als Sekundärenergieträger kommt nur elektrische Energie in Frage.

Die Wassermassen der Erde sind zu 1% in Form von Eis oder Schnee in Polarregionen und Hochgebirgen gebunden. 11% der Landflächen unserer Erde sind ständig mit Schnee bedeckt, 30 bis 50 % nur zeitweise im Winter. Im Winter sind ca. 23 % der Meeresflächen mit Eis bedeckt.

Gletscher	Land	Länge (km)	Fläche (km ²)
Malaspina	Alaska	100	4275
Bismarck	Patagonien	50	350
Gorner	Walliser Alpen	14	64
Rhone-Gletscher	Berner Oberland	9,8	20,5
Karakorum-Gebirgsvergletscherung 37% (15 145 km ²), Himalaya-Gebirgsvergletscherung 17% (33 200 km ²), Alpen 2% (3 800 km ²)			

Grönländisches Inlandeis

85% der Fläche von Grönland ist mit Eis bedeckt, $F = 1\,869\,000\text{ km}^2$.

Mittlere Höhe 2 135 m, 65% der Fläche liegen mehr als 2 000 m über dem Meeresniveau.

Dicke des Eises 1 500 bis 1 600 m. Volumen des Eises $\text{ca. } V_{\text{EIS}} = 2,6 \cdot 10^6\text{ km}^3 \approx 50 \times$ das Volumen der Nordsee. Falls alles Grönlandeis abschmelzen würde, bedeutete dies das Ansteigen des Meeres spiegels um ca. 7 m.

Antarktis

Die Fläche von $F = 12\,393\,000\text{ km}^2$ ist bis auf $200\,000\text{ km}^2$ mit Eis bedeckt. Die mittlere Höhe beträgt 4 000 m, die mittlere Eisdicke 1 720 m, bei einem Maximum von 4 335 m. Falls die gesamte Antarktis abschmelzen würde, bedeutete dies das Ansteigen des Meeresspiegels um ca. 75 m.

Betrachtung des theoretischen Potentials - zwei Grenzfälle.

Der Grenzfall, das einmalige Schmelzen des gesamten Inlandeises, z.B. durch künstliche Aufbringung von schwarzem Staub auf die Eisflächen (ernsthaft vorgeschlagen!) scheidet aus ökologischen Gründen aus.

Um das Gleichgewicht zu erhalten sollte nur die Menge berücksichtigt werden, die als Niederschlag fällt. In Grönland sind dies 350 mm/a, in der Antarktis 150 mm/a.

Beispiel: Gesamtes Schmelzwasser des Grönlandeises beträgt im Sommer ca. 200 km^3 . Da in der Antarktis nur ca. 1% der Niederschlagsmenge im Sommer schmilzt können dort nur ca. 20 km^3 Schmelzwasservolumen erwartet werden.

Südgrönland: 45 km^3 bei $\Delta h = 900\text{ m}$ ergeben bei Jahresdauerbetrieb im Laufwasserkraftwerk eine Energie von 110 TWh. (Elektrische Energie BRD '95: 458 TWh).

Biomasse

Zum Aufbau und Erhaltung ihrer Biomasse benötigt die Biosphäre ständige Energiezufuhr der Sonne. Über die Fotosynthese wird chemische Energie gewandelt.

Eine Nahrungskette bedeutet die Weitergabe chemisch gebundener Energie unter hohem Wärmeverlust. Ein Mensch auf Diät mit 1000 kcal/Tag benötigt äquivalent 1,163 kWh/Tag. Dies entspricht einer Dauerleistung von 48,5 Watt.

Auf den Landflächen (29% der Erdoberfläche) werden rund 65% der biologischen Netto-Primärproduktion akkumuliert. Die Ozeane bedeuten (71% der Globusoberfläche) eigentlich biologisch kaum nutzbare "Wüsten". Die Solarenergie Umsetzungswirkungsgrade natürlicher Pflanzenbestände betragen auf den Landflächen ca. 0,3%, im Meer 0,07%.

Produktive Bestände, bezogen auf die Vegetationsperiode haben Umsetzungswirkungsgrade von 2%. Gezielte Kultivierungen erreichen 5 bis 8 % Wirkungsgrad.

Angenommene Leistungsdichte	100	Watt/m ²
Mittlere, Netto-Primärproduktivität	0,1	Watt/m ²
Wälder, Kulturland, Riffe	1	Watt/m ²
Bezogen auf Vegetationsperiode	2,5	Watt/m ²
maximaler Wert	5	Watt/m ²

Energieerträge:

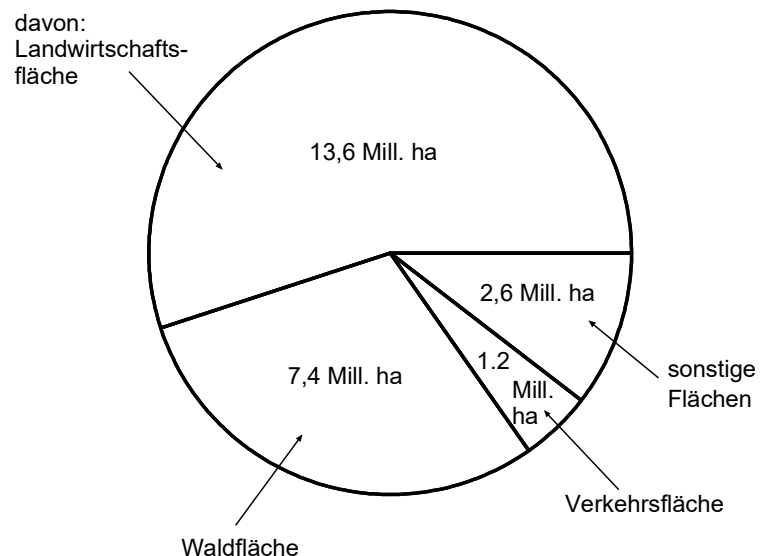
Wald	6	kWh/m ² a
Algenkulturen bis	160	kWh/m ² a
Zuckerrohr und Mais bis	81	kWh/m ² a
Zuckerrübe bis	60	kWh/m ² a

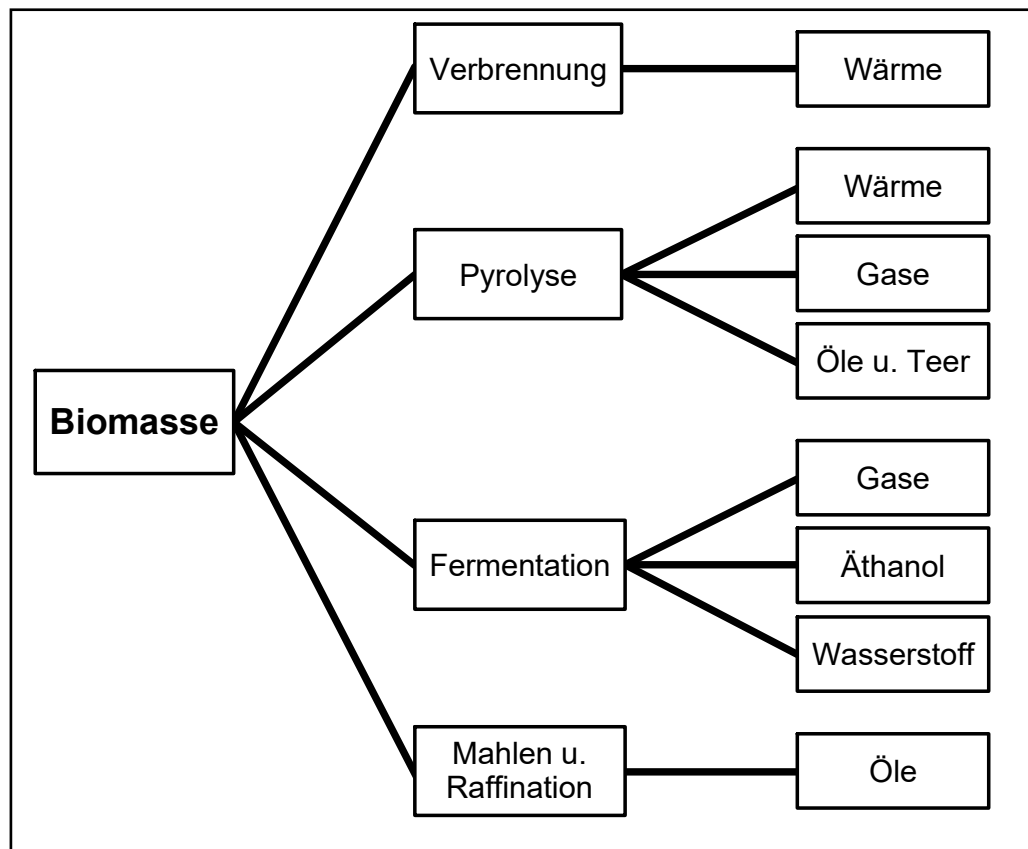
Nutzung der Wirtschaftsfläche der Bundesrepublik Deutschland

Landwirtschaftsfläche 55%,
Waldfläche 29,7 %,
Verkehrsfläche 4,8 %,
Sonstige Flächen 10,4%

Die Landwirtschaftsfläche gliedert sich auf in:
56,3% Ackerland, 2,5% Gartenland
0,7% Obstgärten und Baumschulen,
39,8% Dauergrünland (Wiesen),
0,7% Weinbauflächen.

**Gesamte
Wirtschaftsfläche 1986
24,9 Mill. ha**





Möglichkeiten der Umwandlung von Biomasse und Abfällen

Verbrennung.

Typisches Beispiel für die Verbrennung ist der Einsatz von Holz in Ländern der Dritten Welt zur Energiebereitstellung bei der Speisenherstellung. Geeignet sind auch trockene, landwirtschaftliche Abfälle (z.B. Tierdung als Fladenbriketts) sowie andere zellulosehaltige Abfälle. Die Sammlung und Aufbereitung dieser Brennstoffe erfordert meist ebensoviel Energie wie durch die Verbrennung gewonnen wird.

Der geringere Heizwert von organischen Materialien gegenüber herkömmlichen Brennstoffen liegt am Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis. Die Restasche kann als Dünger weiterverwendet werden. Die Speicherung des Brennmaterials bereitet keine Probleme. Ein kontinuierlicher Betrieb ist selten erforderlich. Nachteilig ist der Wassergehalt dieser Biomasse, bis zu 80% des Frischgewichts. Zur Verdunstung (Trocknung) muß ebensoviel Energie bereitgestellt werden wie bei der Verbrennung anfällt. Holz brennt erst bei weniger als 15% Wassergehalt. Zur Trocknung kann Abwärme oder Umgebungsluft (Solarenergie) eingesetzt werden.

Pyrolyse (Zerstörende Destillation).

Veränderung des Materials bei Hitze zwischen 500°C und 900°C unter Sauerstoffabschluß. Bisher wurde dieses Verfahren schon bei der trockenen Holzdestillation angewandt um Methanol (CH_3OH , Methylalkohol), Essigsäure ($\text{CH}_3\text{-COOH}$, Äthersäure) oder Terpentin zu gewinnen. Aus Steinkohlenteer entsteht Benzol (C_6H_6), Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan, Äthan (C_2H_6), Acetylen (C_2H_2), öltartige Flüssigkeiten und Restfeststoffe.

Fermentation (zu Methan CH_4).

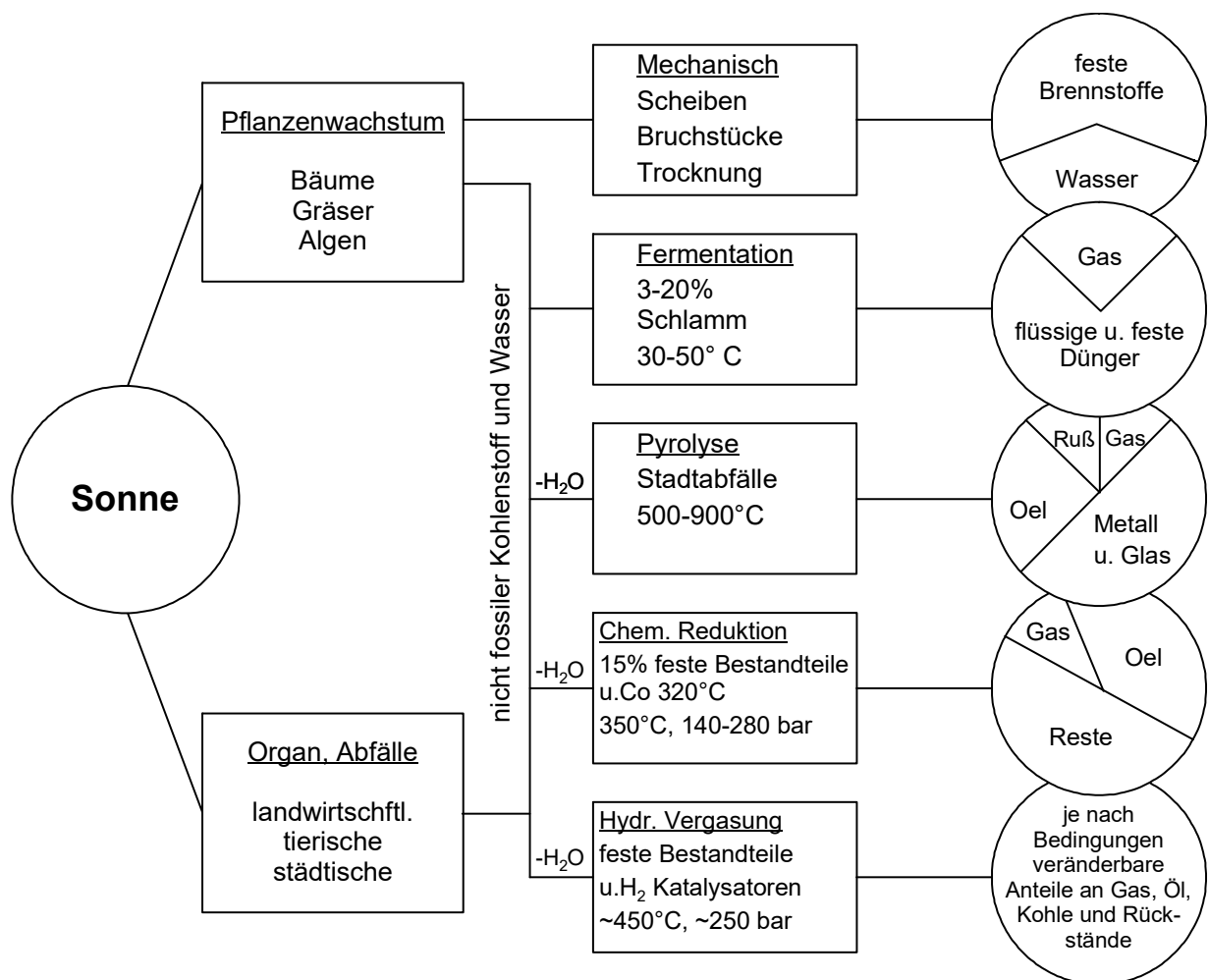
Methanbildende Organismen (Grubengas, Sumpfgas) bilden bei Normaldruck und 15°C bis 50°C in wässrigem Milieu, biologisch und unter Sauerstoffabschluß, das leicht verflüssigbare und damit transportierbare Methan. Dieses Gas gilt wie Wasserstoff als Sekundärenergieträger.

Auf diesem natürlichen Wege bilden auch Abwasserschlämme, Naturseen, Marschen, Sümpfe und Blau- Algenkolonien Methan.

In solarkollektor-ähnlichen Fermentern können je Tonne organischem Material 300 bis 400 m^3 Methangas gebildet werden. Das Gas hat einen Energieinhalt von 5 bis 7 kWh/m^3 . Pro Tonne organischem Material, das 11 bis 20 Tage im Fermenter verweilt, können bei einem Wirkungsgrad von 60 bis 80%, 0,9 bis 2,2 MWh Energie gewandelt werden. Blau-Algen in einem Fermenter mit geeigneten Freß-Substraten wie Fettsäuren oder Alkohol liefern je t Algen ca. 120 bis 200 m^3 brennbares Gas (30 - 35 % CO_2 , 61 -65 % Methan, 1-2,5 % H_2) bei 50 bis 60 % Wirkungsgrad.

Hydrierende Vergasung.

Dieser Prozeß wurde bisher mit Kohle durchgeführt, bei 250 bar Druck und 450°C , unter Anwesenheit des Katalysators H_2 . Anstelle von Kohle ist der Einsatz von Biomasse vorstellbar. Das notwendige Wasserstoffgas als Katalysator könnte aus biologischen Prozessen, aus Elektrolyse oder Wasser-Spaltung durch nukleare Prozeßwärme geliefert werden.



Sondermöglichkeiten der Biomasse-Nutzung

Alkohol aus Zuckerrohr, Brasilien 1988

Zuckerrohrernte je ha Fläche, 75 Tonnen. Je t Zuckerrohr sind 80 l Alkohol erdestillierbar, d.h. 6000 l Alkohol/ha, oder 0,6 l Alkohol/m² Erntefläche.

Energieinhalt Alkohol ca. 8 kWh / l, oder 4,8 kWh / m² a bei einer Ernte / a.

Dies entspricht einer Leistung von 0,55 Watt/m².

Elektrische Energie aus Biomasse (Zuckerrüben) in der Bundesrepublik

Elektrischer Energiebedarf '95 458 TWh.

Benötigte, landwirtschaftliche Fläche (ohne η !)

bei Zuckerrüben (80 kWh/m²a):

min. 5 725 km²

Benötigte Fläche bei "brasilianischen" Ernteverhältnissen
(4,8 kWh/m² a wie bei Zuckerrohr)

95 417 km²

Fläche Saarland

2 600 km²

Fläche Baden-Württemberg

35 700 km²

Ackerfläche in der Bundesrepublik

77 130 km²

Biogas aus Gülle (Tierhaltung)

Eine Großvieheinheit (600 kg Rind) liefert Biogas im Energiewert von 1 000 bis 1 300 kWh/a (Milch / Mast). Das sind 2,8 bis 3,7 kWh/Tag.

10 Mastschweine (10 x 60 kg) liefern ca. 1 100 kWh/a oder 3,2 kWh/Tag Energieäquivalent Biogas.

1986: Tierbestand Bundesrepublik:

11 084 429 Rinder

3 002 521 Schweine

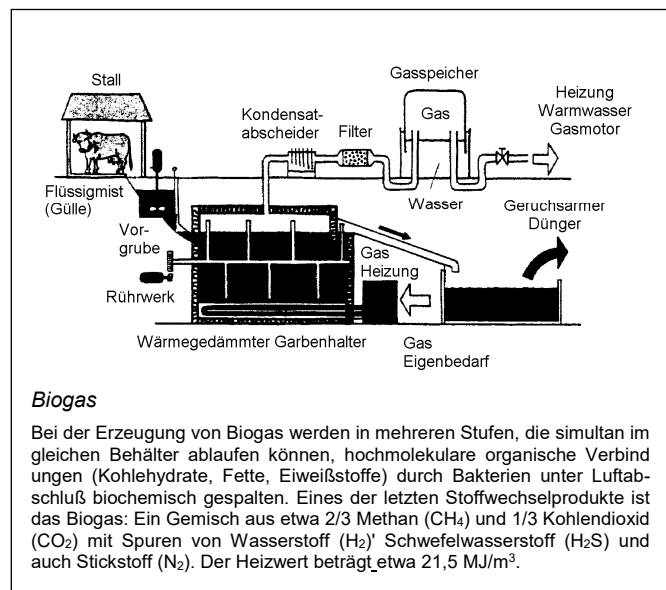
Daraus ergibt sich ein maximaler
Energiebeitrag aus Biogas von

14,41 TWh/a

Rinder

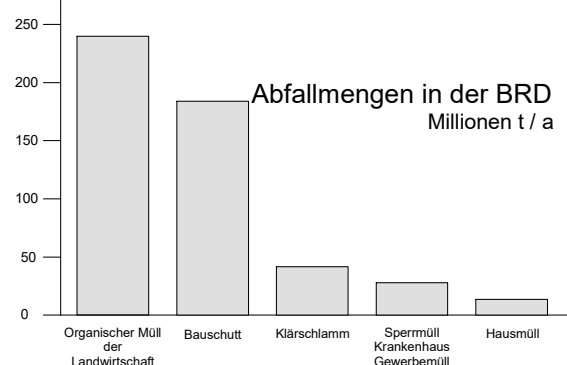
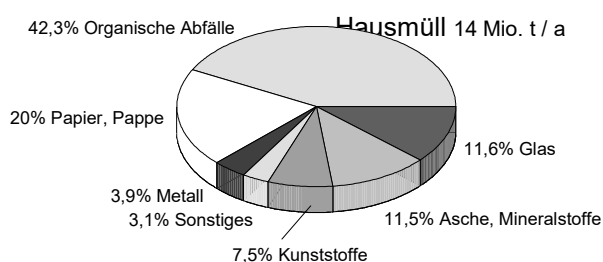
0,348 TWh/a.

Schweine



Biogas aus Hausmüll

Gemahlener Hausmüll (unsortiert) wird in Faulbehältern anaerob, also unter Sauerstoffabschluß, methanisiert. Pro t Hausmüll entstehen ca. 145 m³ Gase mit ca 65% Methananteil und einem Heizwert von 6,5 bis 7 kWh/m³.



Biogas aus Hausmülldeponie

Beispiel Hausmülldeponie Vogelsang Heilbronn:

Jährliche Deponiemenge 400 000 t. Deponievolumen reicht bis zum Jahr 2020. Der Endausbau der Gasfassung (Gasbrunnen, Gasdome) liefert 2 000 m³/h Deponiegas, welches dem städtischen Heizkraftwerk zur Fernwärmeerzeugung zugeliefert wird. Installierte Heizleistung 8 000 kW oder 8 MW. Bei 8 000 Betriebsstunden im Jahr können ca. 5 800 t Heizöl substituiert werden.

Zusätzliche Daten: Volumen der Deponie 16 Mio m³; Gaserfassungsstellen 80; Sammelleitungen 12; Drehkolbenverdichter 4 (je 700 m³/h); Radialgebläse 2 (je 1000 m³/h); Abfackelungsanlage mit 2 Fackeln (je 1000 m³/h); Fernleitung DN 200, Länge 4 100m.

Bis zum Jahr 2020 werden rund 25 Mio m³ organische Abfälle gelagert werden. Die Deponie dürfte während ihrer gesamten verrottungsaktiven Zeit insgesamt 40 bis 50 Mio m³ verwertbares Biogas produzieren, Die geänderten Müllsammelgewohnheiten der Bürger (Sortierung, Recycling, kein Papier mehr!) werden diese Energie-Rückgewinnungsmöglichkeit aber wesentlich beschneiden.

Energie aus Müllverbrennung

Tag für Tag fallen in der Bundesrepublik pro Bürger ca. 0,63 kg Hausmüll an. Die Gesamtabfallmenge pro Jahr beträgt 580 Mio t.

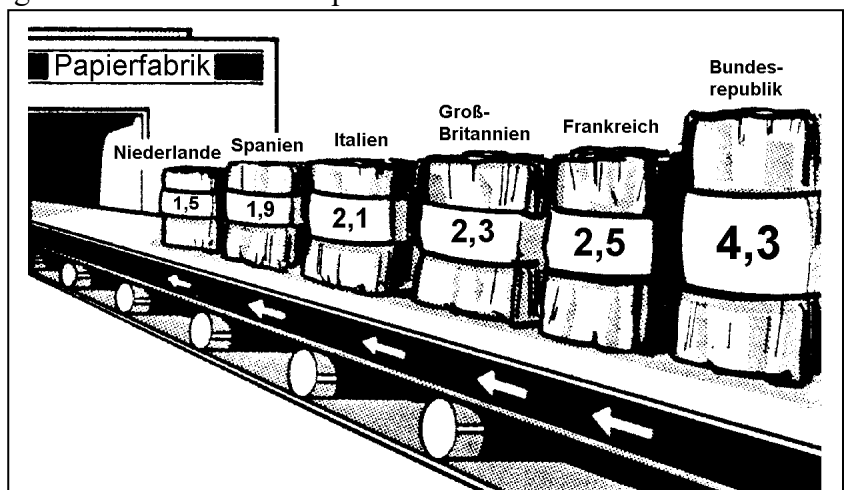
Etwa 50% davon sind organischer Abfall der Landwirtschaft, 35% Bauschutt, 10% Klärschlamm, 3% Sperrmüll, Krankenhausmüll und Gewerbemüll. Nur ca. 2% sind Hausmüll.

Nicht sortierter Hausmüll hat einen Heizwert zwischen 1 600 und 2 300 Kcal/kg. Dies entspricht ca. 1,9 bis 2,7 kWh/kg, entsprechend dem Heizwert von Holz.

Ungefähr 43% der Gesamtabfallmenge werden heute noch deponiert.

Alkohol aus Altpapier

Papier zu recyceln ist wichtig, es besteht aber auch die Möglichkeit der Umwandlung in Äthylalkohol, d.h. Äthanol. Ähnlich dem früheren Verfahren aus Holz oder Sägespänen Zucker zu produzieren (100 kg Holz lieferten bis zu 65 kg Zucker), könnten in einem Hydrolyseverfahren aus 5 kg Altpapier bis zu 1 kg Äthanol gewonnen werden. In der Bundesrepublik werden heute technisch, jährlich 100 000 t Äthanol hergestellt um speziell als Lösungsmittel verbraucht zu werden.



Daß Altpapier ein wertvoller Rohstoff für die Papierindustrie ist, hat sich in der Bundesrepublik Deutschland schon seit Jahren herumgesprochen. Es verwundert daher nicht, daß die Bundesbürger in Europa mit Abstand die fleißigsten Sammler sind. Insgesamt wurden in Europa (EG und Efta) 1987 rund 53 Mio. t Papier verbraucht, davon 9,9 Mio. t in der Bundesrepublik Deutschland.