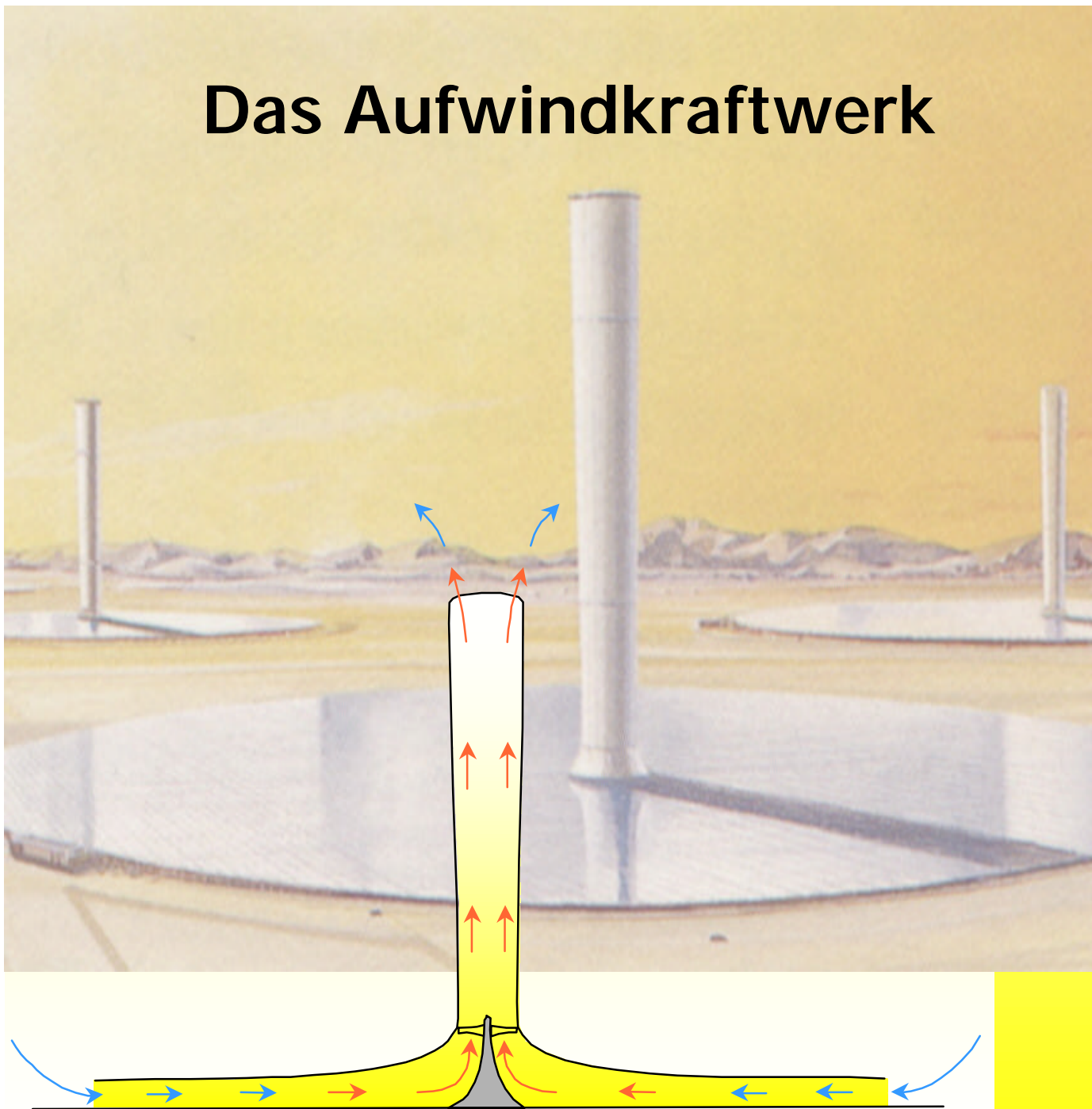


Das Aufwindkraftwerk



**Schlaich Bergermann
und Partner**

Beratende Ingenieure
im Bauwesen

Hohenzollernstraße 1
D-70178 Stuttgart

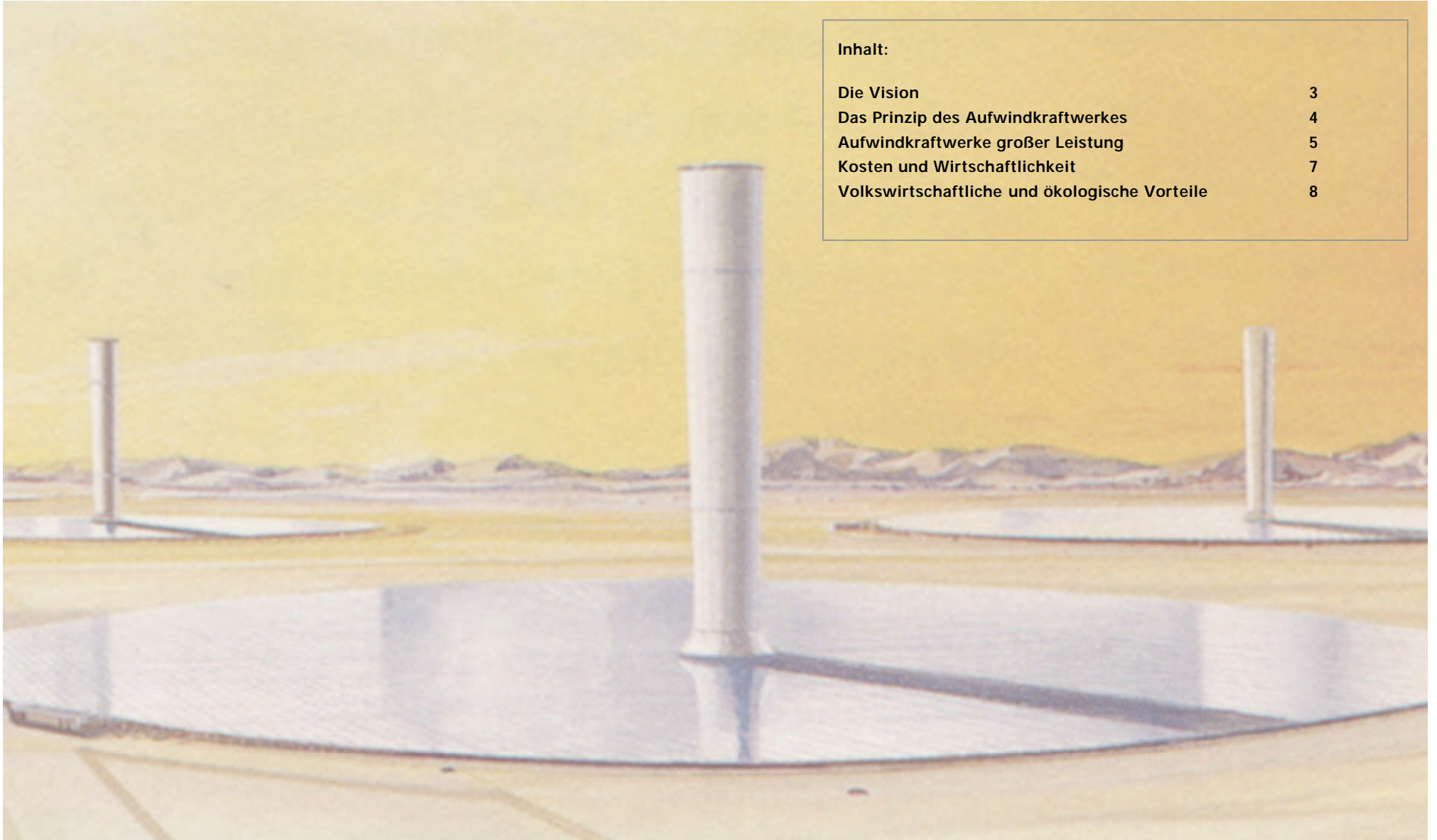
Telefon + 49(711)64871-0
Telefax + 49(711)64871-66

info@sbp.de
<http://www.sbp.de>

sbp gmbh

Inhalt:

Die Vision	3
Das Prinzip des Aufwindkraftwerkes	4
Aufwindkraftwerke großer Leistung	5
Kosten und Wirtschaftlichkeit	7
Volkswirtschaftliche und ökologische Vorteile	8





Die Vision

Unsere heutige Energieerzeugung aus Kohle und Öl ist umweltschädlich und erschöpflich. In vielen Entwicklungsländern kann man sich selbst diese Energiequellen nicht leisten. Armut, Bevölkerungsexplosion und Völkerwanderungen sind nicht zuletzt die Folgen unzureichender Energieversorgung bzw. zu hoher Energiekosten.

Eine allen Menschen in ausreichender Menge verfügbare saubere und sichere Energiequelle ist eine konkrete Antwort auf die größten Bedrohungen in der Menschheitsgeschichte:

Die Zukunft der Menschheit wird maßgebend davon abhängen, ob es gelingt, Mensch und Natur mit Hilfe der Technik in Einklang zu bringen. Die großtechnische Sonnenenergienutzung könnte dazu einen entscheidenden Beitrag leisten:

- gegen die Umweltzerstörung mit einer nachhaltigen Ressourcenschonung,
- gegen die Bevölkerungsexplosion und menschenunwürdige Armut in den Ländern der dritten Welt mit einer Hebung des Lebensstandards durch eine unerschöpfliche Energiequelle,
- gegen sozial bedingte Konflikte durch neue Arbeitsplätze in globaler Partnerschaft,

kurz: die Umsetzung der Agenda 21.

Das Hochtechnologieland Deutschland mit seiner Tradition in Naturschutz und Caritas sollte der Vorreiter dieser Entwicklung sein.

Das Aufwindkraftwerk ist ein solares Großkraftwerk für die sonnenreichen Gegenden der Erde. Die dort fast ohne Ressourcenverbrauch erzeugte elektrische Energie dient dem Eigenbedarf und damit der Entwicklung des Standortlandes, zu einem späteren Zeitpunkt dem Export und damit der Verbesserung

der Handelsbilanz. Da so natürliche Rohstoffe (Öl, Kohle, Gas) durch Investitionen ersetzt werden, entstehen unzählige neue Arbeitsplätze. Arbeit und Energie führen zu Wohlstand und dieser wiederum zu einer Dämpfung des Bevölkerungszuwachses (Bild 1).

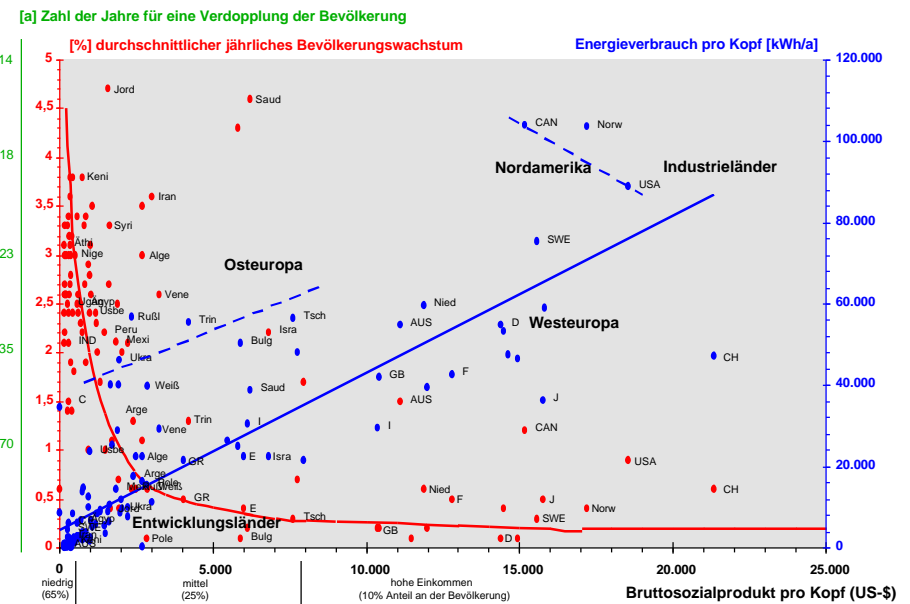


Bild 1: Energieverbrauch und Bevölkerungswachstum in einem Land in Abhängigkeit vom Lebensstandard (Bruttonationalprodukt pro Kopf seiner Bevölkerung). Je höher der Lebensstandard eines Landes, desto höher ist sein Energieverbrauch und desto geringer sein Bevölkerungszuwachs. Um seinen hohen Bevölkerungszuwachs zu vermindern, benötigt ein armes Land also mehr Energie.

Das Prinzip des Aufwindkraftwerkes

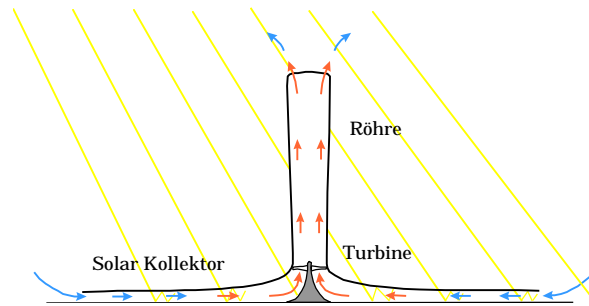


Bild 2: Prinzip des Aufwindkraftwerkes: Glasdachkollektor, Kaminröhre, Turbine

Aufwindkraftwerke erzeugen Strom aus der Sonnenstrahlung. Durch die Sonne wird Luft unter einem großen transluzenten Kollektordach erwärmt. Auf Grund des dabei entstehenden Dichteunterschiedes zwischen der warmen Luft im Kollektor und der kalten Luft im Außenbereich strömt die Luft radial einer in der Mitte des Kollektors angeordneten, vertikalen, unten offenen Röhre zu und steigt in dieser auf. Durch die Luftströmung wird eine am Fuß der Röhre eingebaute Turbine mit Generator angetrieben und so Strom erzeugt (Bild 2).

Ein kontinuierlicher 24-Stunden-Betrieb wird durch unter dem Dach ausgelegte geschlossene Wasserschläuche garantiert. Sie geben ihre tagsüber gespeicherte Wärme in der Nacht wieder ab (Bild 3). Die Schläuche werden einmal gefüllt, sonst gibt es keinen Wasserbedarf.

Neben seiner einfachen Bau- und Funktionsweise - Windturbine und Generator sind die einzigen beweg-

ten Teile - hat das Aufwindkraftwerk eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Kraftwerkstypen:

- So arbeitet das Aufwindkraftwerk mit dem natürlichsten aller Medien, nämlich Luft, und benötigt kein Kühlwasser. In vielen sonnenreichen Ländern, die bereits große Trinkwasserprobleme haben, ist dies ein entscheidender Vorteil.
- Da die Solarstrahlung nicht konzentriert wird, kann auch die diffuse Strahlung zur Luft erwärmung unter dem Glasdach genutzt werden.

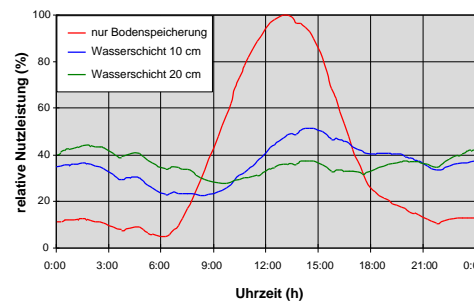
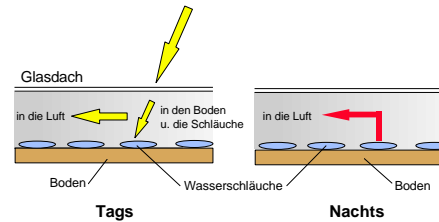


Bild 3: Oben: Prinzip der Wärmespeicherung mit Wasserschläuchen unter dem Kollektordach des Aufwindkraftwerkes
Unten: 24-stündiger Verlauf der Nutzleistung des Aufwindkraftwerkes in Abhängigkeit von der Dicke der energiespeichernden Wasserschicht

Dadurch ist ein Kraftwerksbetrieb auch bei ganz oder teilweise bedecktem Himmel möglich. Das ist insbesondere für tropische Länder mit häufig bedecktem Himmel von entscheidender Bedeutung.

- Der Wasserspeicher unter dem Kollektordach dient als billiger Energiespeicher und sichert einen kontinuierlichen 24 h Betrieb auf rein solare Basis, ohne fossile Zufuhrung.

Eine erste Prototypanlage mit einer Turmhöhe von 200 m und einer Kollektorfläche von 44 000 m² wurde zu Beginn der 80er Jahre im Auftrag des Bundesforschungsministers in Manzanares in Spanien errichtet und über mehrere Jahre erfolgreich im Dauerbetrieb betrieben (Bild 4). Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die grundlegenden thermodynamischen Zusammenhänge zu erarbeiten, um damit eine qualifizierte Grundlage für die Planung großer Anlagen zu legen.



Bild 4: Prototyp für ein Aufwindkraftwerk in Manzanares, Spanien

Aufwindkraftwerke großer Leistung

Die Leistung eines Aufwindkraftwerkes ist proportional zur Intensität der globalen Sonnenstrahlung, der Turmhöhe und der Kollektorfläche. Man kann dieselbe Leistung mit einem hohen Turm und einem relativ

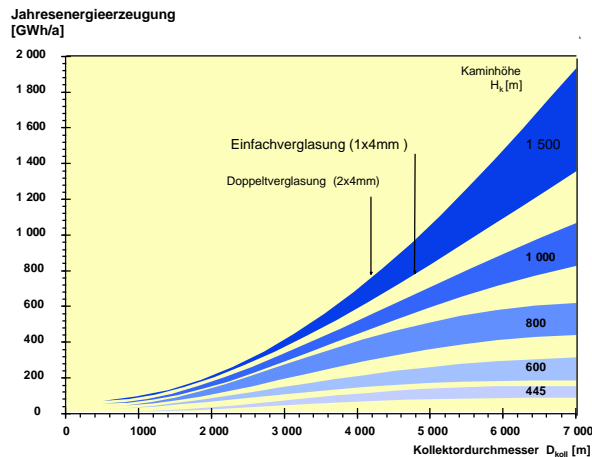


Bild 5: Jahresenergieerzeugung von Aufwindkraftwerken in Abhängigkeit vom Kollektordurchmesser und der Kaminhöhe

kleinen Kollektor oder mit einem relativ niedrigen Turm und einem großen Kollektor erzeugen (Abb. 5). Solange das Produkt Höhe mal Fläche konstant bleibt, ergibt sich in erster Näherung dieselbe Leistung. Erst die Kosten für die einzelnen Komponenten an den jeweiligen Standorten entscheiden über die Dimensionierung einer kostenoptimierten Anlage.

Ein einzelnes Aufwindkraftwerk kann mit einer entsprechend großen Glasdachfläche und einem hohen Kamin für 100 bis 200 MW Leistung ausgelegt werden. So können wenige Aufwindkraftwerke bereits ein großes Kernkraftwerk ersetzen.

Ein 200 MW-Großkraftwerk braucht ein Glasdach von mehreren Kilometern Durchmesser und eine Röhre von etwa 1.000 m Höhe, um bei einer Einstrahlung von 2.300 kWh/m²/a auf eine Jahresenergieproduktion von ca. 1.500 GWh zu kommen (Bild 6).

Die für den Bau von Aufwindkraftwerken erforderlichen Materialien Beton, Glas und Stahl sind überall in ausreichenden Mengen vorhanden. Aufwindkraftwerke können heute auch in industriell weniger weit entwickelten Ländern unmittelbar gebaut werden. Die in den meisten Ländern bereits etablierte Industrie



Bild 6: Große Aufwindkraftwerke in der Wüste



Bild 7: Glasdachkollektor für ein Aufwindkraftwerk

genügt den Anforderungen vollkommen. Investitionen in hochtechnologische Fertigungseinrichtungen sind nicht nötig. Damit ist selbst in ärmeren Ländern die Realisierung einer großen Anlage ohne Devisenaufwand mit eigenen Ressourcen und eigenen Arbeitskräften möglich; dies schafft viele Arbeitsplätze und senkt die Stromkosten drastisch.

Das Glasdach, das etwa 60% der Gesamtkosten ausmacht, ist ganz einfach aus quadratischen Hängedachfeldern konstruiert (Bild 7). Diese Bauweise wurde jahrelang an dem Prototyp in Spanien erfolgreich getestet.

Aufwindkraftwerke großer Leistung

Die Turbinen stehen prinzipiell den druckgestuften Wasserturbinen näher als den geschwindigkeitsgestuften Windkraftanlagen in natürlichem Wind. Sie wurden mit Wasserkraftwerksbauern ausführungsfähig entwickelt und kalkuliert. Man kann viele kleine Horizontalachsenmaschinen am Umfang des Kaminfußes oder billiger **eine** große 200 MW Turbine mit vertikaler Achse in den Kaminquerschnitt setzen (Bild 8).

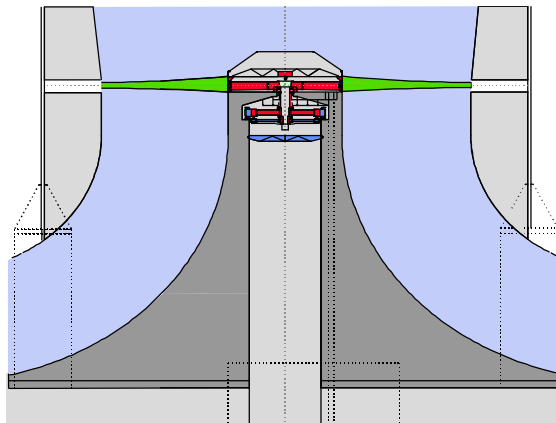
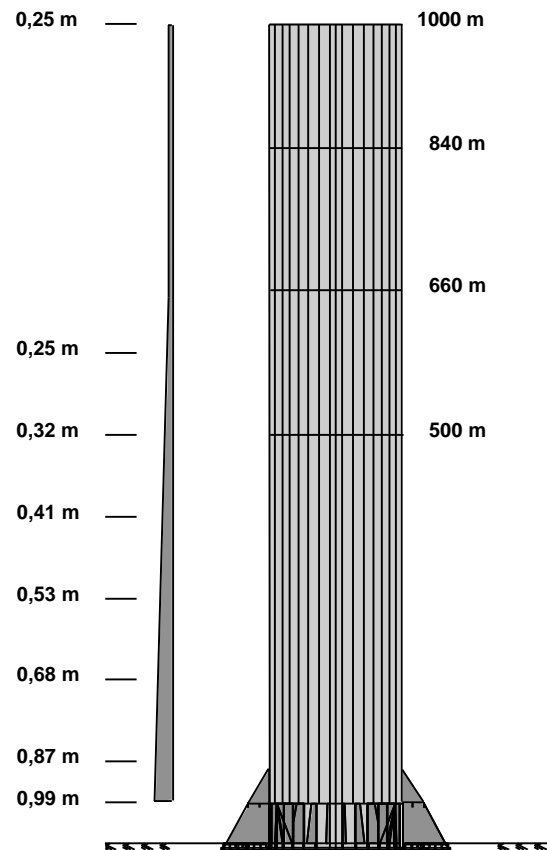


Bild 8: Vertikalachsenturbine im Schaft eines Aufwindkraftwerkes

Für die Röhre wurden verschiedene Bauweisen und Werkstoffe gründlich verglichen und herausgefunden, dass in der Regel in allen in Frage kommenden Wüstenländern Stahlbetonröhren die höchste Lebensdauer bei günstigsten Kosten versprechen.



Wanddicken

Schnitt

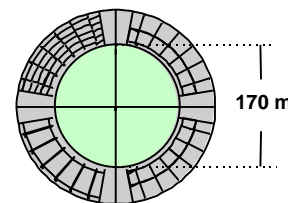
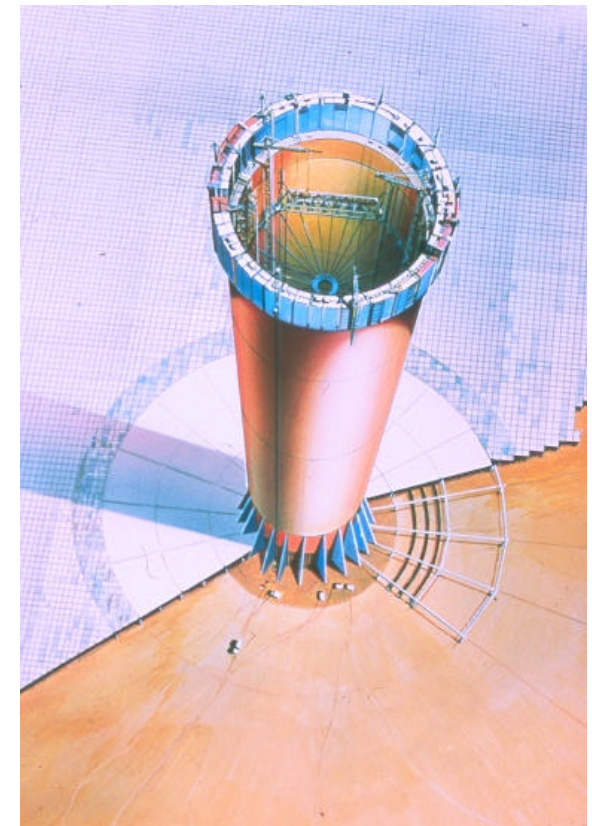


Bild 9: Wanddicken einer vertikalen Röhre mit 1000 m Höhe und 170 m Durchmesser



Technologisch sind das zylindrische Naturzugkühltürme, mit - im hier gezeigten Beispiel - 170 m Durchmesser bei 1.000 m Höhe und Wandstärken von 99 cm, abklingend auf 25 cm, im Inneren ausgesteift mit Speichenrädern (Bild 9,10).

Volkswirtschaftliche und ökologische Vorteile

Mit Unterstützung von Bauunternehmern, Turbinenherstellern und der Glasindustrie konnten die Investitionskosten von typischen 200 MW-Aufwindkraftwerken recht verlässlich kalkuliert werden. Das große baden-württembergischen Energieversorgungsunternehmen Energie Baden-Württemberg (EnBW) hat dafür, im Vergleich zu Kohle- und GuD-Kraftwerken auf gleicher betriebswirtschaftlicher Berechnungsbasis, die Stromgestehungskosten ermittelt (Bild 11).

Anteil der	Aufwind Pf/kWh	Kohle Pf/kWh	2 x GuD Pf/kWh
Investition	11,32	3,89	2,12
Brennstoff	0,00	3,87	6,57
Personal	0,10	0,78	0,31
Instandhaltung	0,52	0,92	0,83
Versicherung	0,01	0,27	0,12
Sonstige Betriebskosten	0,00	1,16	0,03
Steuern	2,10	0,69	0,37
Gesamt	14,05	11,58	10,35

Inbetriebnahme im Jahr 2001 Leistung: 400 MW Betriebsstunden: 7445 h/a Jahresenergie: 2978 GWh	Eigenkapital 1/3 zu 13,5% Fremdkapital 2/3 zu 8% Gesamtzinssatz: 10,67% Steuersatz: 30%
---	--

Bild 11: Die Stromgestehungskosten aus Aufwind-, Kohle- und GuD-Kraftwerken nach derzeitiger betriebswirtschaftlicher Berechnung (Gesamtzinssatz: 10,7%)

Man erkennt, daß rein betriebswirtschaftlich gerechnet, bei einem Gesamtzinssatz von knapp 11% und einer Bauzeit von 4 Jahren, in der die Investitionskosten allein um 30% steigen (!), Strom aus Aufwindkraftwerken nur noch etwa 20% teurer ist als aus Kohle.

Beim Aufwindkraftwerk sind allein die Investitionskosten und Steuern, bei den fossilen Kraftwerken vor allem die Brennstoffkosten bestimmend für den Strompreis.

Bereits bei einer Reduktion des Zinssatzes auf 8 % wäre Strom aus Aufwindkraftwerken heute schon konkurrenzfähig (Bild 12). Außerdem kann in Niedriglohnländern, insbesondere beim sehr einfach herstellbaren Glasdach und Speicher (die 57% der Gesamtkosten ausmachen) noch eine Kostensenkung erwartet werden.

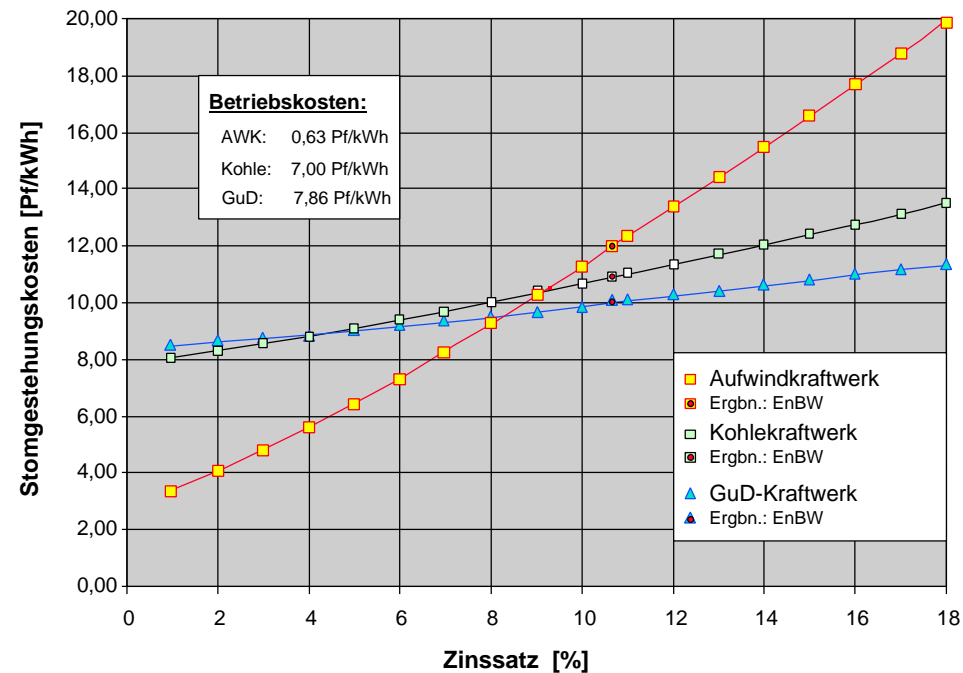


Bild 12: Die Stromgestehungskosten aus Aufwind-, Kohle- und GuD-Kraftwerken in Abhängigkeit vom Zinssatz

Volkswirtschaftliche und ökologische Vorteile

Dem stehen weitere Vorteile gegenüber:

- Keine Umweltbelastung: pro erzeugter kWh vermeidet ein Aufwindkraftwerk ca. 1 kg an CO₂. Das heißt eine 200 MW-Anlage würde pro Jahr insgesamt 1,4 Mio. Tonnen CO₂ vermeiden. Setzt man DM 70 für die vermiedene Tonne CO₂ an, so dürfte der Strom aus Aufwindkraftwerken um 7 Pf/kWh teurer sein als aus fossil befeuerten Anlagen. Damit wäre Strom aus Aufwindkraftwerken bereits günstiger als der aus Kohle oder Gas (Bild 11).
- Kein Ressourcenverbrauch für den Bau. Aufwindkraftwerke bestehen i.W. aus Beton und Glas, das ist Sand und (selbsterzeugte) Energie; sie können sich also in Wüsten selbst reproduzieren - eine wahrhaftig nachhaltige Energiequelle (Bild 13).
- Die (hohen) Investitionskosten sind fast ausschließlich Lohnkosten. Das schafft Arbeitsplätze, also eine hohe Wertschöpfung im Lande mit erhöhten Steuereinnahmen und verminderten Sozialkosten (= Menschenwürde, sozialer Frieden) und zusätzlich
- Wegfall devisenzehrender Importe von Kohle, Öl, Gas, was insbesondere den Entwicklungsländern hilft, indem Devisen freigesetzt werden.
- Eingliederung der bevölkerungsreichen Entwicklungsländer in die Weltwirtschaft mit riesigen neuen Märkten für die nördlichen Industrie- und Dienstleistungsländer.



Bild 13: Bau von Aufwindkraftwerken in der Wüste

Wir müssen etwas tun für den Energiekonsens, für die Umwelt und vor allem für die Milliarden Unterprivilegierten in der Dritten Welt. Aber nicht mit Almosen, die wir uns über deren Schuldzinsen mehrfach zurückholen, sondern über eine globale Arbeitsteilung.

Wenn wir ihnen Solarenergie abkaufen, können sie sich unsere Produkte leisten.

In der Tat sind wir der festen Überzeugung, daß eine globale Energiewirtschaft, zu der die Sonne ortsabhängig wie die Wasserkraft im Mix mit fossilen und nuklearen Brennstoffen einen wesentlichen Anteil beisteuert, keine Utopie ist.