

Aufwindkraftwerke

Die Vision

Das Aufwindkraftwerk ist ein solares Kraftwerk 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 viele neue Arbeitsplätze. Arbeit und Energie führen zu Wohlstand und dieser wiederum zu einer Dämpfung des Bevölkerungszuwachses.

Unsere heutige Energieerzeugung aus Kohle und Öl ist dagegen umweltschädlich und erschöpflich. In vielen Entwicklungsländern kann man sich auch 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 der wichtigsten Aufgaben für die Zukunft. Denn 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:

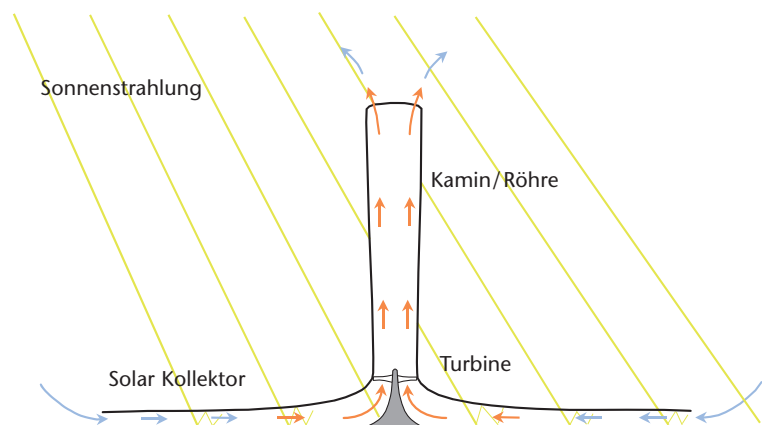
- Nachhaltige Ressourcenschonung statt Umweltzerstörung
- Hebung des Lebensstandards durch eine unerschöpfliche Energiequelle als Maßnahme gegen Bevölkerungsexplosion und menschenunwürdige Armut in den Ländern der dritten Welt
- neue Arbeitsplätze in globaler Partnerschaft gegen sozial bedingte Konflikte

Kurz: die Umsetzung der Agenda 21.

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

Das Prinzip des Aufwindkraftwerkes

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 (Abb. 1).

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 (Abb. 2). Außer der einmaligen Befüllung der Schläuche gibt es keinen Wasserbedarf.

Neben seiner einfachen Bau- und Funktionsweise – Windturbine und Generator sind die

Prof. Dr.-Ing.
Jörg Schlaich

Schlaich Bergemann
und Partner
j.schlaich@sbp.de

Dipl. Phys.
Wolfgang Schiel

Schlaich Bergemann
und Partner
w.schiel@sbp.de

Abbildung 1
Prinzip des
Aufwindkraftwerkes:
Glasdachkollektor,
Kaminröhre, Turbine

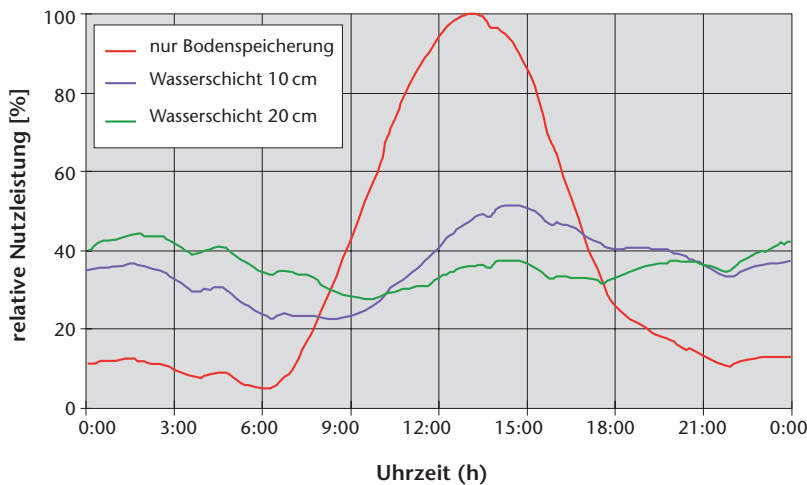
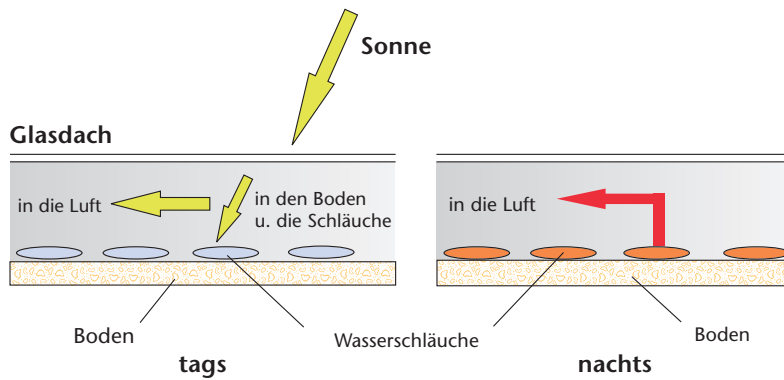


Abbildung 2
Oben: Prinzip der Wärmespeicherung mit Wasserschlängen unter dem Kollektordach des Aufwindkraftwerks
Unten: 24-stündiger Verlauf der Nutzleistung des Aufwindkraftwerks in Abhängigkeit von der Dicke der energiespeichernden Wasserschicht

einigen bewegten Teile – hat das Aufwindkraftwerk eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Kraftwerkstypen:

- So arbeitet das Aufwindkraftwerk mit 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 diffuse Strahlung zur Luft erwärmung unter dem Glasdach genutzt werden. 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 Stunden-Betrieb auf rein solarer Basis, ohne fossile Zufeuerung.

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 Bundesforschungsministeriums in Manzanares in Spanien errichtet und über mehrere Jahre erfolgreich im Dauerbetrieb betrieben (Abb. 4). Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die grundlegenden thermodynamischen Zusammenhänge zu erarbeiten, um damit eine qualifizierte Grundlage für die Planung großer Anlagen zu legen.

Aufwindkraftwerke großer Leistung

Die Leistung eines Aufwindkraftwerkes ist proportional zur Intensität der Sonnenstrahlung, der Turmhöhe und der Kollektorfläche. Man kann dieselbe Leistung mit einem hohen Turm und einem relativ kleinen Kollektor oder mit einem relativ niedrigen Turm und einem großen Kollektor erzeugen (Abb. 4). 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-Kraftwerk 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.

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 genügt den Anforderungen vollkommen. Investitionen in

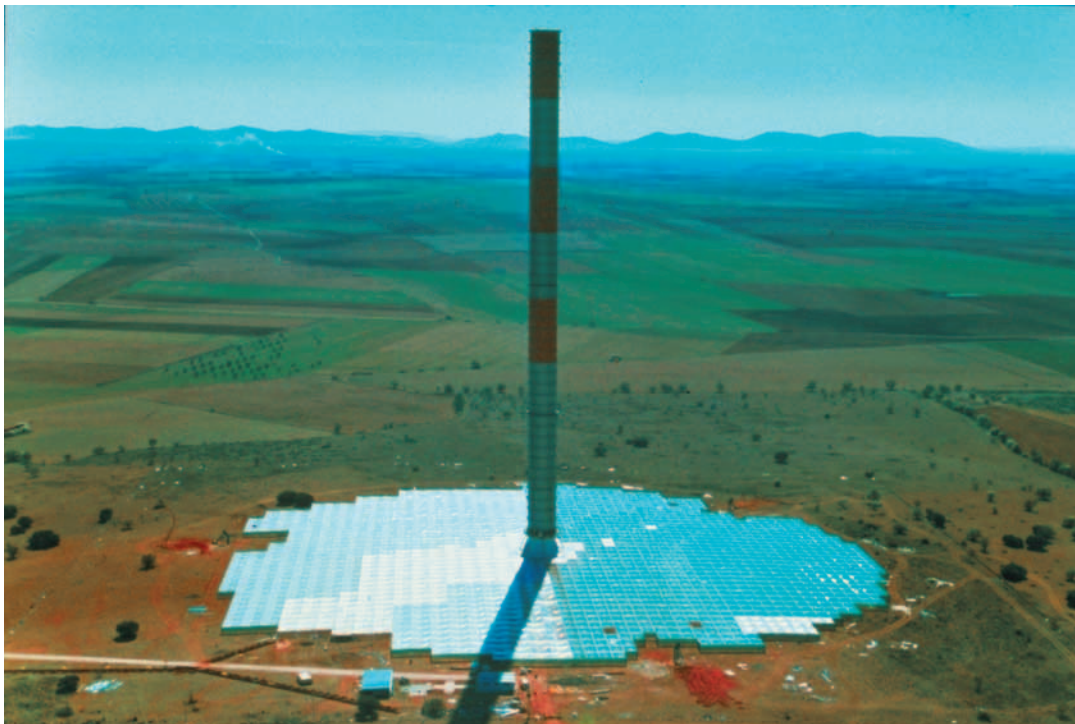


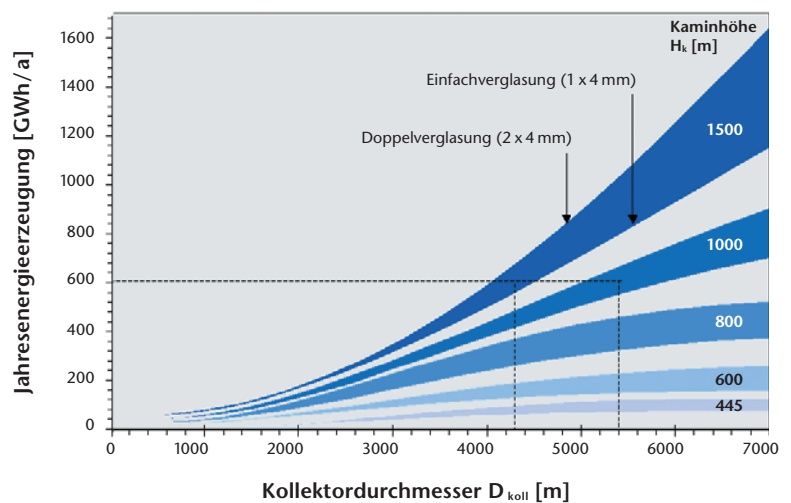
Abbildung 3
Prototyp für ein
Aufwindkraftwerk in
Manzanares Spanien

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 einfach aus quadratischen Hängedachfeldern konstruiert (Abb. 5). Diese Bauweise wurde jahrelang an dem Prototyp in Spanien erfolgreich getestet.

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 (Abb. 6).

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



versprechen. Technologisch sind das zylindrische Naturzugkühltürme (Abb. 7), mit ca. 170m Durchmesser bei 1.000m Höhe und Wandstärken von 99 cm, abklingend auf 25 cm, im Inneren ausgesteift mit Speichenrädern.

Abbildung 4
Jahresenergieerzeugung
von Aufwindkraft-
werken in Abhängig-
keit vom Kollektor-
durchmesser und der
Kaminhöhe



Abbildung 5 (oben)
Glasdachkollektor für
ein Aufwindkraftwerk

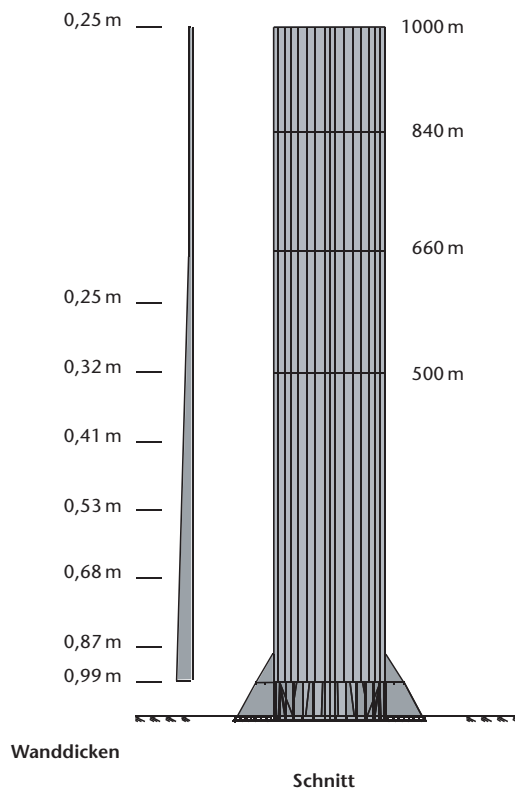
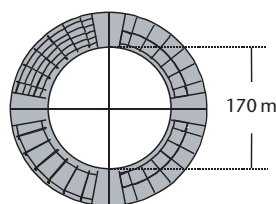


Abbildung 7
Wanddicken einer
vertikalen Röhre mit
1000 m Höhe und
170 m Durchmesser



Kosten und Wirtschaftlichkeit

Mit Unterstützung von Bauunternehmern, Turbinenherstellern und der Glasindustrie konnten die Investitionskosten von typischen 200 MW-Aufwindkraftwerken recht verlässlich kalkuliert werden. Das große badenwürttembergische Energieversorgungsunternehmen Energie Baden-Württemberg (EnBW) hat dafür, im Vergleich zu Kohle- und GuD-Kraftwerken (Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke) auf gleicher betriebswirtschaftlicher Berechnungsbasis, die Stromgestehungskosten ermittelt (Abb. 8).

Man erkennt, dass rein betriebswirtschaftlich gerechnet, bei einem Gesamtzinssatz von knapp 11 % und einer Bauzeit von vier Jahren, in der die Investitionskosten allein um 30 % steigen, Strom aus Aufwindkraftwerken nur noch etwa 20 % teurer ist als aus Kohle. Bei einem 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 (Abb. 9).

Außerdem kann in Niedriglohnländern, insbesondere beim sehr einfach herstellbaren Glasdach und Speicher (die 57 % der Gesamtkosten ausmachen) noch eine Kostensenkung erwartet werden.

Volkswirtschaftliche und ökologische Vorteile von Aufwindkraftwerken

- 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 36 Euro für die vermiedene Tonne CO₂ an, so dürfte der Strom aus Aufwindkraftwerken um 3,6 ct/kWh teurer sein als aus fossil befeuerten Anlagen. Damit wäre Strom aus Aufwindkraftwerken bereits günstiger als der aus Kohle oder Gas (Abb. 8).

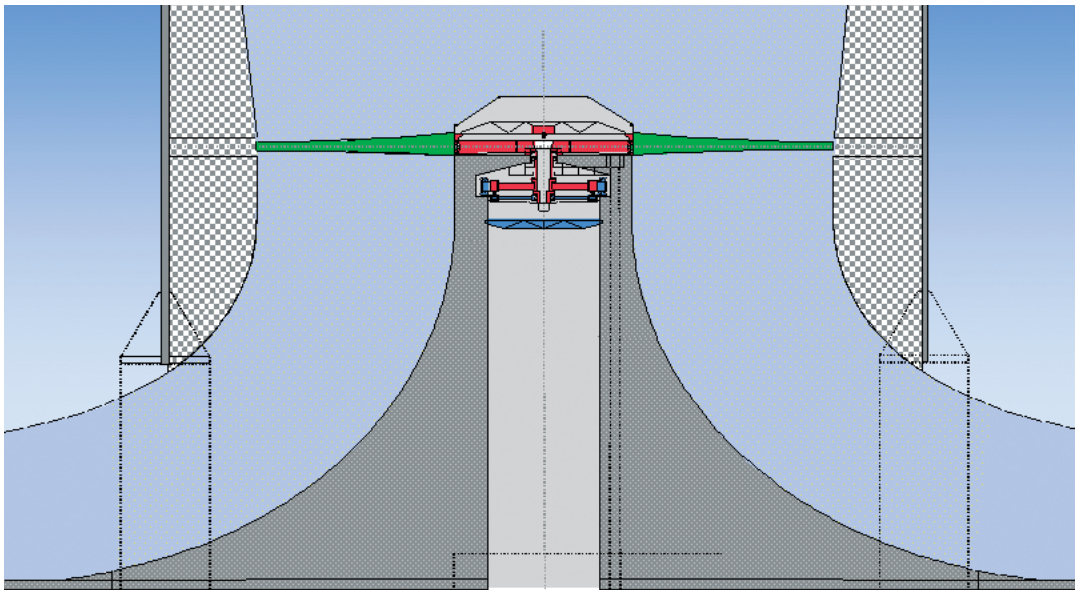


Abbildung 6 (links)
Vertikalturbine im
Schaft eines
Aufwindkraftwerkes

Abbildung 8 (unten)
Die Stromgestehungs-
kosten aus Aufwind-,
Kohle- und GuD-Kraft-
werken nach derzeitiger
betriebswirtschaftlicher
Berechnung (Gesamt-
zinssatz: 10,7%)

- Kein Ressourcenverbrauch für den Bau. Aufwindkraftwerke bestehen im Wesentlichen aus Beton und Glas, das ist Sand und (selbsterzeugte) Energie; sie können also in Wüsten verhältnismäßig einfach gebaut werden.
- Die (hohen) Investitionskosten sind fast ausschließlich Lohnkosten. Das schafft Arbeitsplätze, also eine hohe Wertschöpfung im Lande mit erhöhten Steuereinnahmen und verminderten Sozialkosten.
- Wegfall devisenzehrender Importe von Kohle, Öl, Gas, was insbesondere den Entwicklungsländern hilft, Devisen zu sparen.
- Eingliederung der bevölkerungsreichen Entwicklungsländer in die Weltwirtschaft mit riesigen neuen Märkten.

Anzahl der	Aufwind ct/kWh	Kohle ct/kWh	2 x GuD ct/kWh
Investition	5,79	1,99	1,08
Brennstoff	0,00	1,98	3,36
Personal	0,05	0,40	0,16
Instandhaltung	0,27	0,47	0,42
Versicherung	0,01	0,27	0,60
Sonstige Betriebskosten	0,00	0,59	0,02
Steuern	1,07	0,35	0,19
Gesamt	7,19	6,05	5,83

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%

Wir müssen mehr tun für die Umwelt, und vor allem für eine Energieerzeugung für die Milliarden Menschen 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 konventionellen Brennstoffen einen wesentlichen Anteil beisteuert, keine Utopie ist.

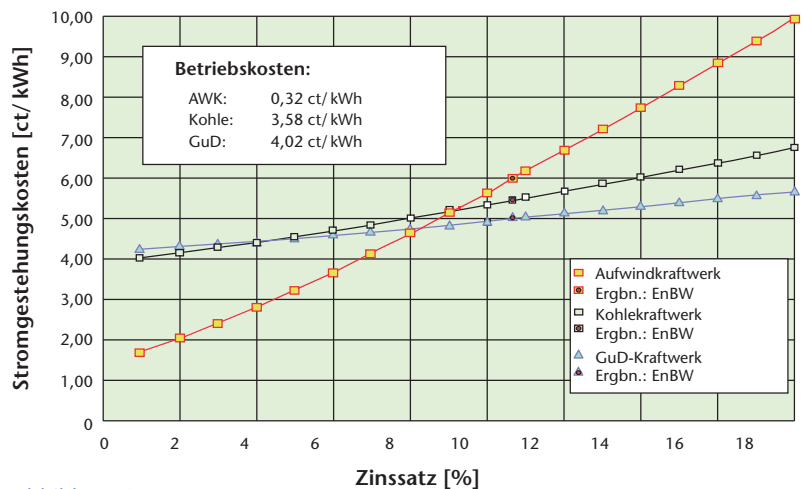


Abbildung 9
Die Stromgestehungskosten aus Aufwind-, Kohle- und GuD-Kraftwerken in Abhängigkeit vom Zinssatz