

Kann Deutschland auf den Neubau modernster Kohlekraftwerke aus Klimaschutzgründen verzichten?

Eine umweltökonomische Analyse

Thomas Heinzow
Diplom-Sozialökonom
Diplom-Betriebswirt
Meteorologe

Forschungsstelle Nachhaltige
Umweltentwicklung der
Universität Hamburg

Vortrag in der Stadt
Wilhelmshaven
22.01.2008

Wer die erwartete Klimaänderung durch optimale Verminderung der Emissionen abbremst, erhält auch diese einmalige geschützte Moor- und Seen-Landschaft



Halemer-Dahlemer und Flögelner Seen
im Elbe-Weser-Dreieck

Kann Deutschland auf den Neubau modernster Kohlekraftwerke aus Klimaschutzgründen verzichten?

Eine umweltökonomische Analyse

- 1. Stromerzeugung, -verbrauch nebst Emissionen in Deutschland**
- 2. Ersatzbedarf an Kraftwerksleistung**
- 3. Potentiale der sog. „Erneuerbaren Energien“**
- 4. Probleme und Risiken der Windenergie**
- 5. „Virtuelle Kraftwerke“ und BHKW**
- 6. Erdgaskraftwerke und Versorgungssicherheit**
- 7. Wahl der Kraftwerksstandorte**
- 8. Option Kohlekraftwerk**
- 9. Kosten der CO₂-Emissionsminderung**

Stromerzeugungsentwicklung in der BRD 1993 - 2006

Stromerzeugung in Deutschland 1993 - 2006 in TWh			
Primärenergieträger	1993	2006	Änderung
Kernenergie	153	167	14
Braunkohlen	147	152	5
Steinkohlen	146	136	-10
Öl + Gas	43	84	41
Windkraft	1	31	30
Wasserkraft	19	22	3
Biomasse	-	16	16
Müll	2	7	5
Photovoltaik	-	2	2
Restbrennstoffe	12	13	2
Fossil	489	539	50
Nicht Fossil	34	90	56
Insgesamt	523	629	106

Emissionen durch die Stromerzeugung

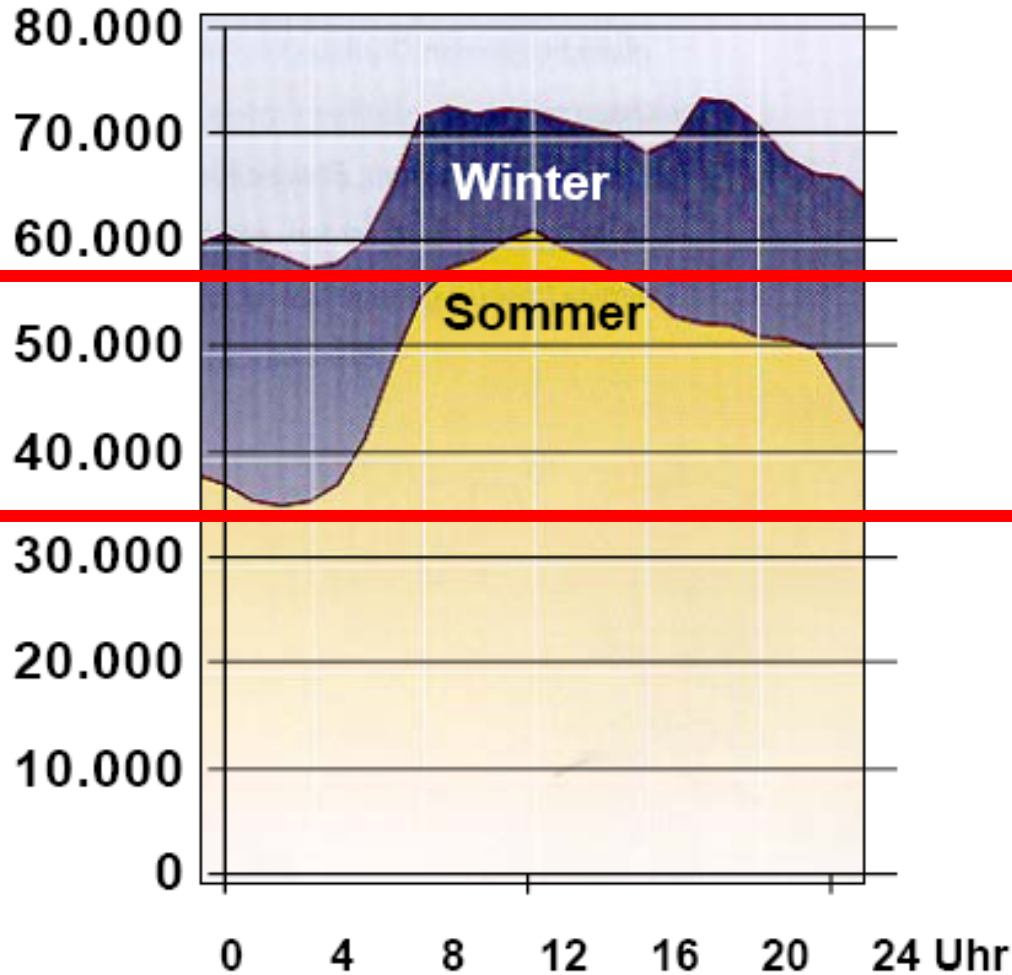
Tabelle 8: Emissionen und Leistungen deutscher Kraftwerke im Jahr 2000; Quellen: Stat. Bundesamt, Kohlestatistik e.V., VDEW, Bundesverband Braunkohle, ExternE, eigene Berechnungen

Deutschland	Emittierte Luftschadstoffe bei der Elektrizitätserzeugung							Wirkungs- grad el.	Strom- produktion	Enpaß- leistung	Vollast- stunden
	CO2	SO2	NOx	CH4	N2O	CO2 Äqu.	PM10				
Emissionen	g/kWh	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh	g/kWh	mg/kWh	%	TWh	GW	h
Steinkohle	954	332	595	48	48	970	66	37,4	143,164	32,281	4435
Braunkohle	1203	482	866	16	53	1220	96	34,2	127,332	19,027	6796
Erdgas	386	0	250	32	1	387	0	47,0	61,406	22,356	3973
Öl	1181	182	1120	48	83	1207	3	22,6	3,614	7,52	480
Bio/Müll	0	74	223	0	0	0	2,9	-	6,2	-	-
Wasser	-	-	-	-	-	-	-	-	25,962	9,044	2871
Wind	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4	6,113	1538
Kernkraft	-	-	-	-	-	-	-	31,2	169,606	23,563	7198

**66 mg Staub pro erzeugte kWh entsprechen 1,267 t pro Tag
WHV-Kraftwerk bei 46% = 1,019 t pro Tag**

Stromnachfrage Sommer/Winter

MW



**Grundlast
Winter**



**Grundlast
Sommer**

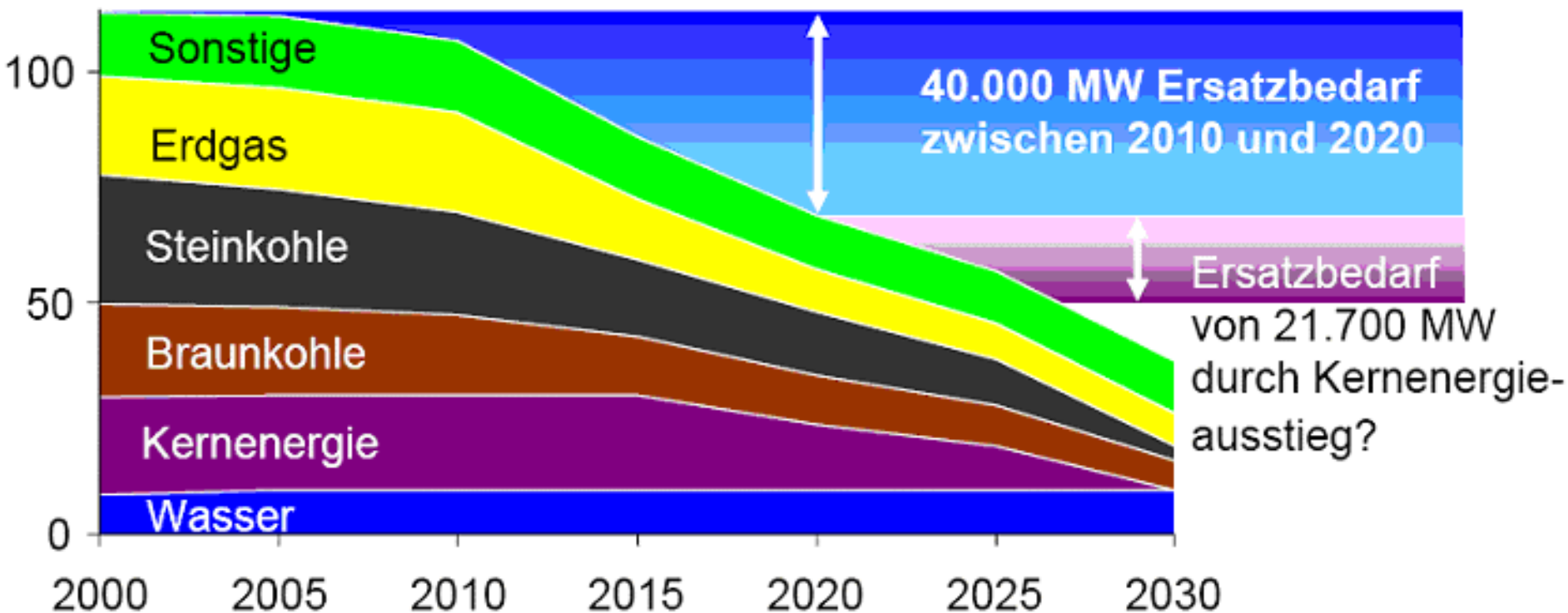


Quelle: **Holger Gassner**
Konzern-Energie-/Umweltpolitik
RWE AG

Deutschland ab 2010

Kraftwerkskapazitäten < 40 Jahre

Installierte
Leistung in GW



Quelle: Erzeugungsmarktmodell RWE

Holger Gassner

Konzern-Energie-/Umweltpolitik

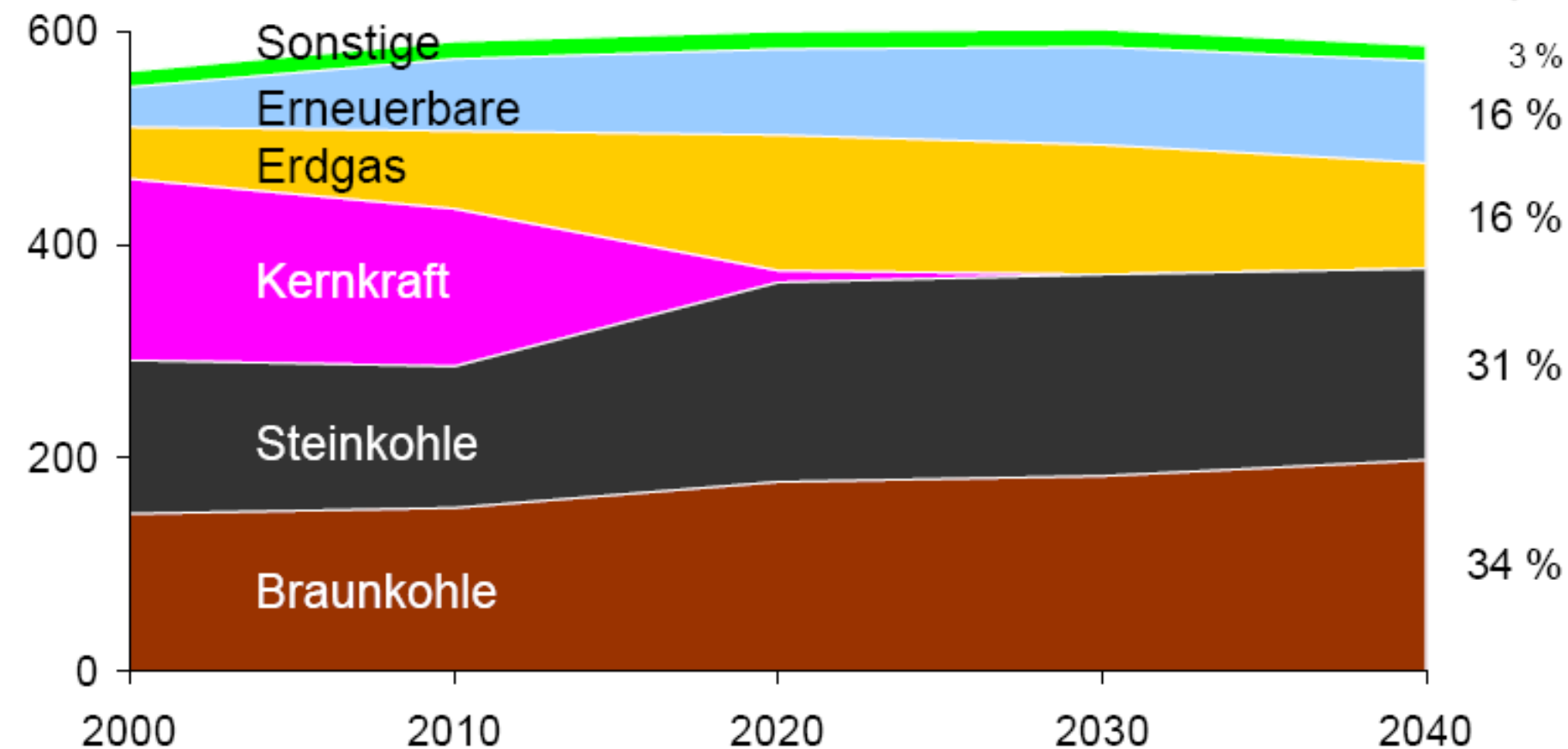
RWE AG

Ersatzbedarf insgesamt 332 TWh

Stromerzeugung bis 2040 nach Prognos

Stromerzeugung in Deutschland in TWh

Anteil



Quelle: **Holger Gassner**
Konzern-Energie-/Umweltpolitik
RWE AG

Nutzung der Kraftwerke

- **Braunkohle und Kernkraft** **Grundlast**
- **Steinkohle** **Mittellast**
- **Erdgas GuD** **Mittel- und Spitzenlast**
- **Erdgas (Gasturbine allein)** **Spitzenlast + Regelenergie**
- **Müllkraftwerke** **Grundlast**
- **Wasserkraft** **Grundlast**
- **Pumpspeicher** **Spitzenlast + Regelenergie**
- **Energieverlust von 20% bei Pumpspeicherkraftwerken**

Bioenergiepotentiale Stroh

• Fläche Deutschland	352 022 km ²
• Ackerfläche	120 000 km ²
• Getreideernte	40 bis 50 Mio. Tonnen
• Strohertrag	40 bis 50 Mio. Tonnen
• Energiegehalt	4,76 MWh pro Tonne
• Primärenergie Stroh max.	190 TWh
• Nutzbar maximal	95 TWh
• Primärenergieverbrauch	4 000 TWh
• Primärenergie Kohle	578 TWh
• Verstromung Kohle	366 TWh

Bioenergiepotentiale Silomais

- **10% der Ackerfläche** 12 000 km²
- **Bruttostromertrag Biogas** 2 GWh pro km²
- **Bruttostromertrag** 24 TWh
- **Potential an der Stromerzeugung** 3,8 %

Nachteile:

- **Nitratverseuchung des Grundwassers**
- **Zu 67% wird nutzlos Wasser transportiert**
- **Maisanbau erzeugt viel Lachgas (Distickstoffoxyd) wegen der Nitratdüngung**
- **Lachgas ist 300 mal so klimaschädlich wie CO₂**
- **Biogas hat einen höheren Treibhauseffekt als Erdgas wegen der Lachgasemissionen beim Maisanbau**

Potentiale der Wasserkraft und Windenergie

- **Mit 22 TWh/Jahr werden die Potentiale der Wasserkraft in Deutschland bereits zu 90% genutzt**
- **Ein weiterer Ausbau ist ökonomisch nicht sinnvoll**
- **Da die Windenergie prinzipiell in Deutschland nicht grundlastfähig ist, ist deren Potential zur Grundlastversorgung mit Null anzusetzen.**
- **Windenergie kann nur im Verbund mit schnell regelbaren Gas- und Kohlekraftwerken genutzt werden**

Zusätzliche Bruttostromerzeugungspotentiale Biomasse + Wasserkraft

• Wasserkraft	2 TWh
• Biomasse (Mais)	24 TWh
• <u>Biomasse (Stroh)</u>	<u>33 TWh</u>
Summe	59 TWh

Dies entspricht 9,4% der Stromerzeugung 2006

Anfahrverhalten Steinkohlekraftwerk

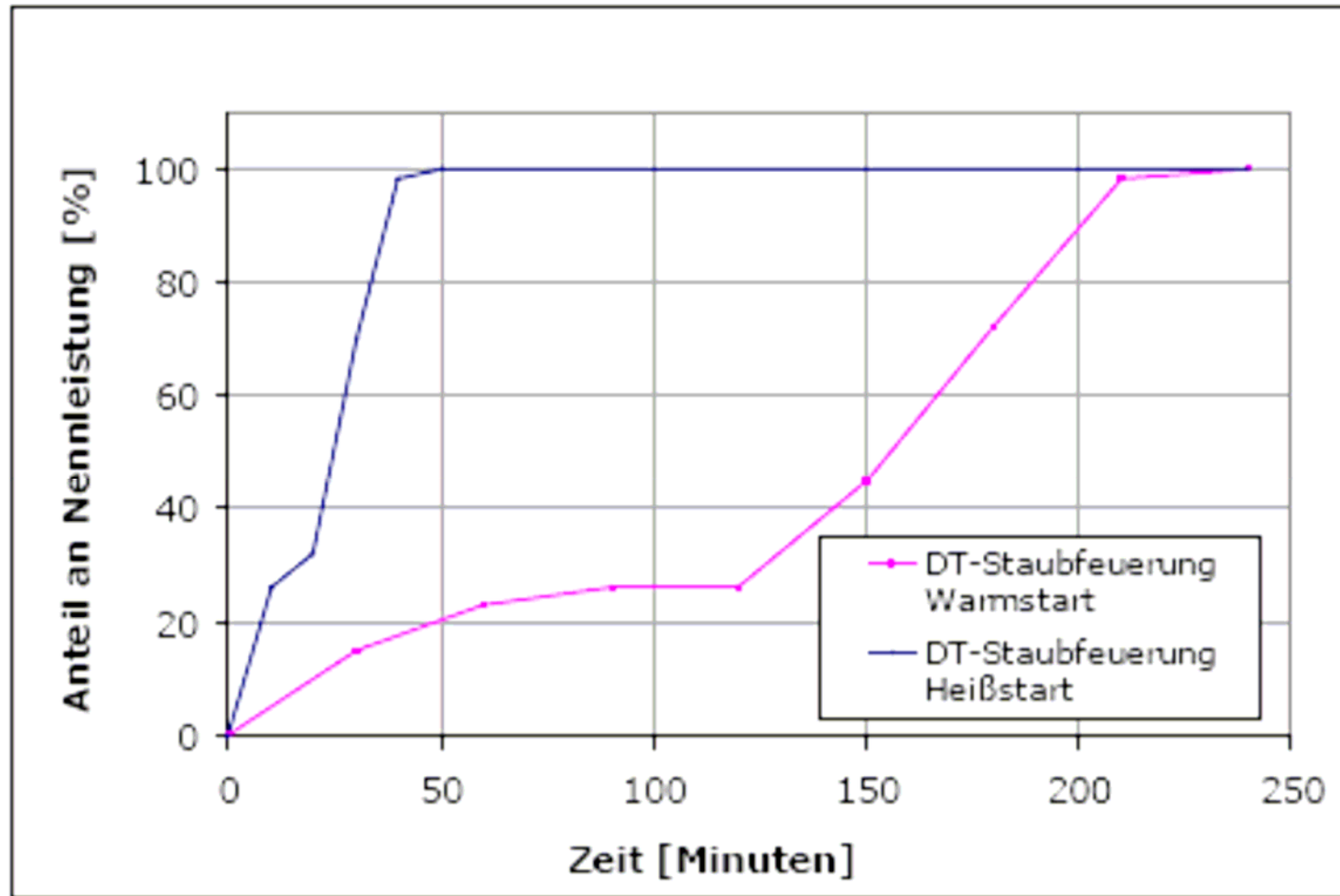


Abbildung 4-7: Anfahrtdiagramm eines Steinkohlekraftwerks [E.ON 2005]

Anfahrverhalten GuD-Kraftwerke

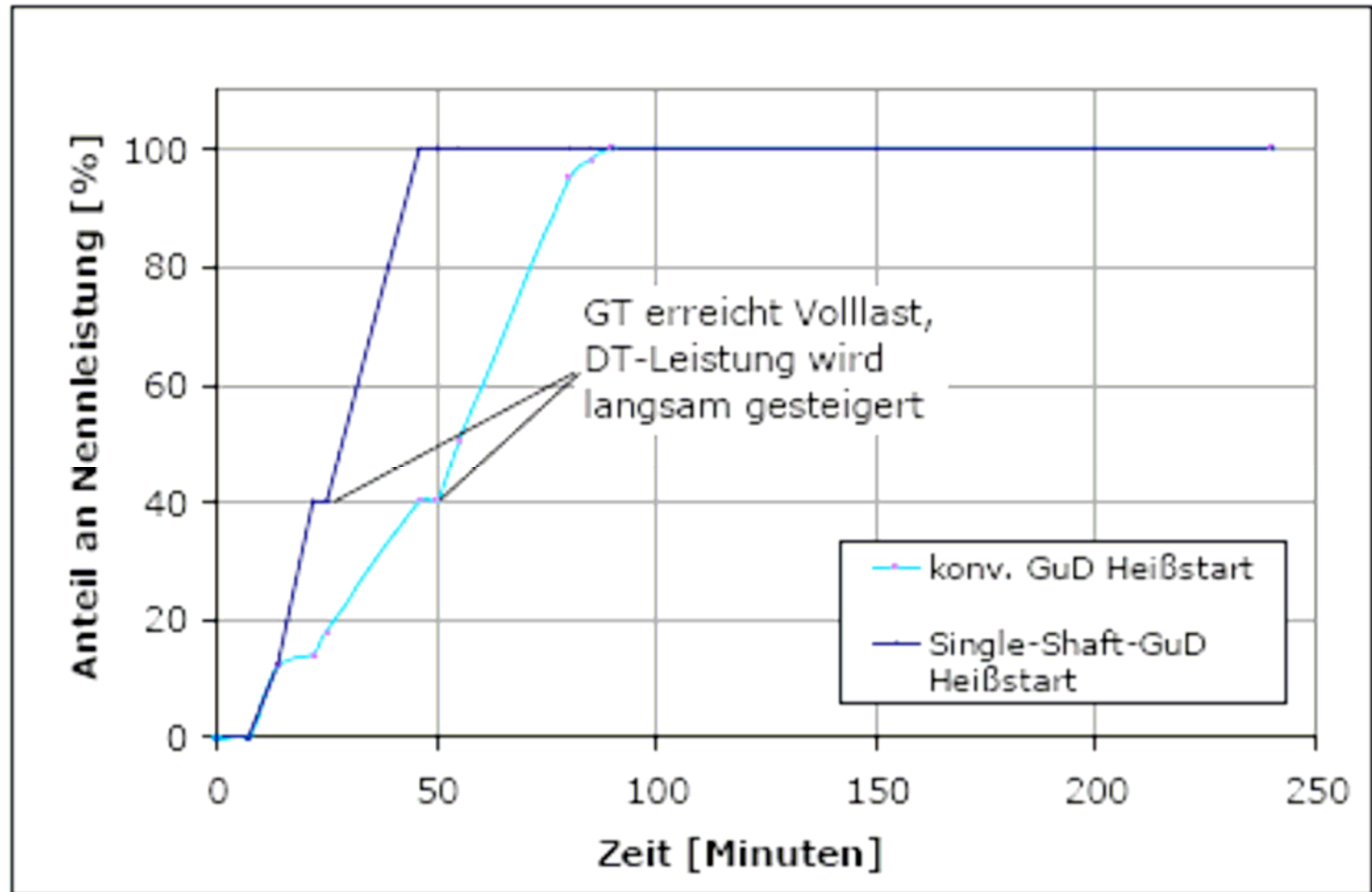


Abbildung 4-8: Anfahrtdiagramm eines GuD-Kraftwerks [Siemens 2004]

Laständerungspotentiale der Kraftwerkstypen in % der Nennleistung

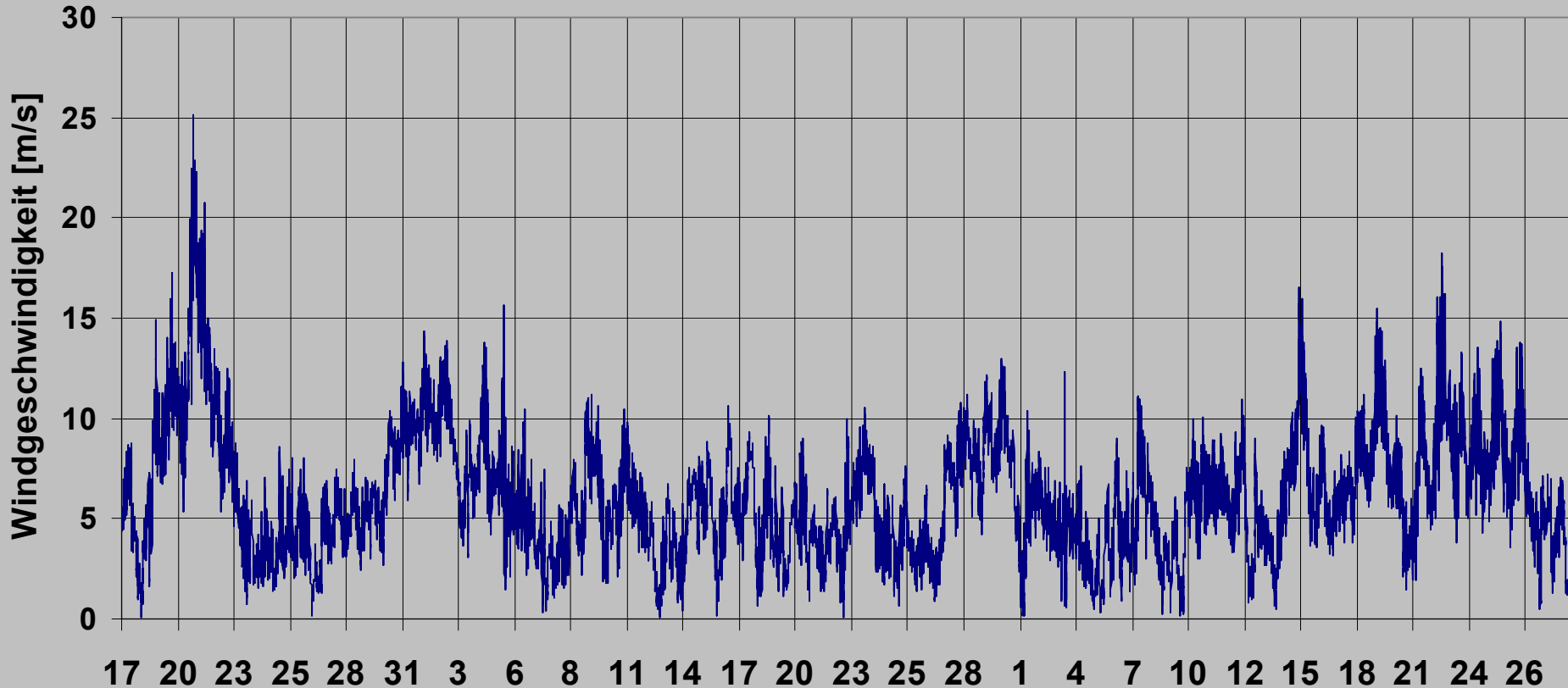
- **Braunkohlekraftwerk** \pm **2 % pro Minute**
- **Steinkohlekraftwerk** \pm **4 - 6 % pro Minute**
- **Gasturbine** \pm **10 % pro Minute**
- **GuD-Kraftwerk** \pm **6 % pro Minute**

Pumpspeicherkraftwerke

- **Turbinenbetrieb** \pm **50 % pro Minute**
- **Pumpbetrieb** \pm **20 % pro Minute**

Windverhältnisse über Hamburg im Frühjahr

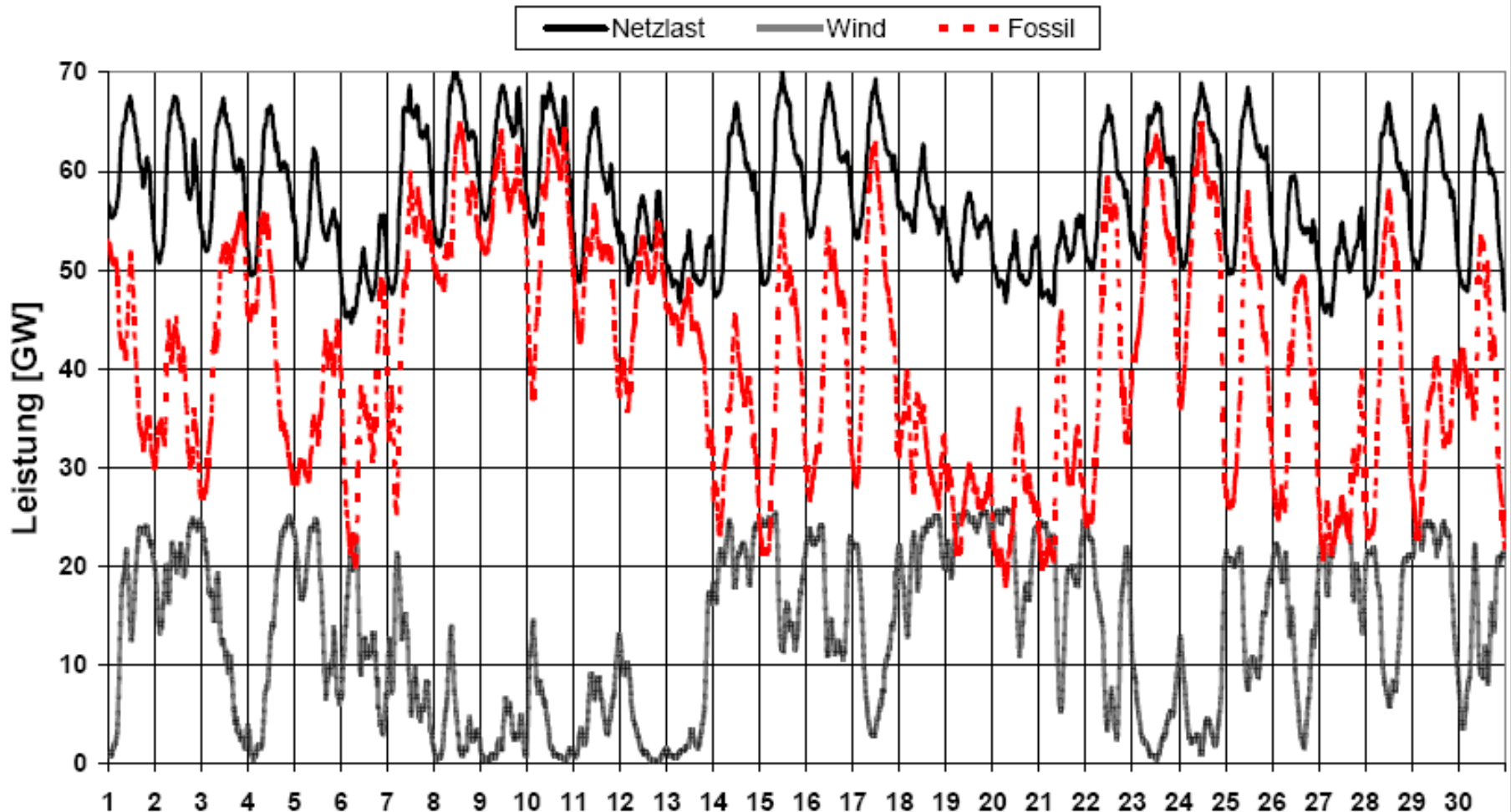
Wind in 110m - Hamburg - 17.3.04 - 28.5.2004



Mittelwert = 6,1 m/s = Windstärke 4

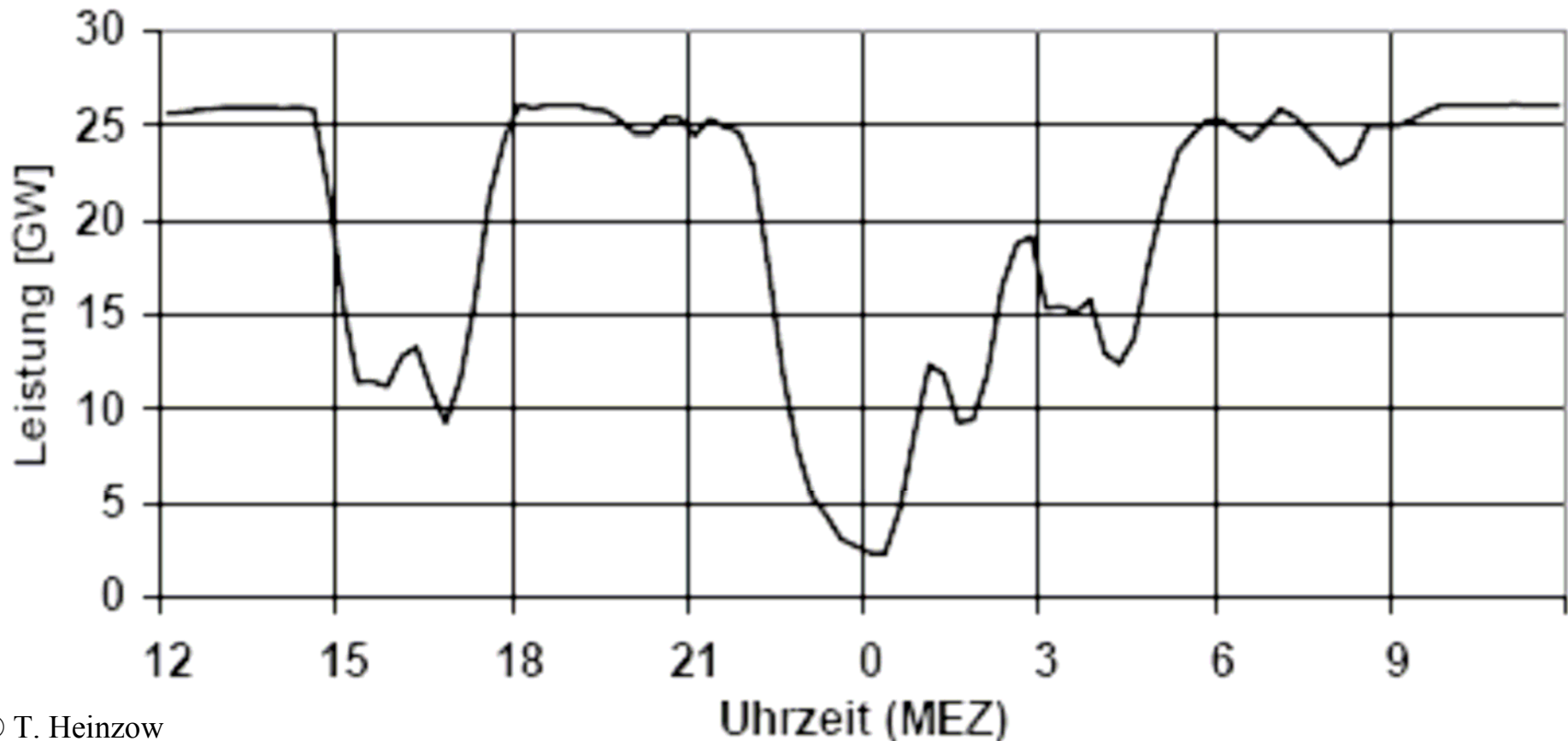
Fluktuation der Windstromerzeugung Simulation 25 000 MW in der Nordsee

Abb. 4: April 2003: Netzlast und fossile Stromerzeugung bei Windstromeinspeisung



Simulation der Folgen eines Orkans in der Nordsee

Abb. 5: Orkantief "Jeanette" v. 27/28.02.2002
Simulierte Leistung Offshore



Auswirkungen der Windenergie

- Die Windstromerzeugung fluktuiert sehr stark
- Die Vorhersage der Windleistung ist mit großen Fehlern behaftet
- Es muss ständig die aktuelle Windleistung als Reserveleistung vorgehalten werden
- Die Regelkraftwerke müssen in Teillast mit schlechterem Wirkungsgrad (bis zu 15% weniger, bei Gasturbinen bis zu 50% gegenüber GuD) gefahren werden
- Regelenergie können nur Pumpspeicher-, Erdgas- oder Steinkohlekraftwerke liefern
- Die Windstromeinspeisung gefährdet bei Starkwind die Netzstabilität
- Die Windstromnutzung ersetzt kein einziges fossiles Kraftwerk
- On- und Offshore - Windstromnutzung führt zu hohen CO₂-Vermeidungskosten (200 bis 550 € pro vermiedene Tonne CO₂)

CO₂-Vermeidungskosten

- Der Strom aus Offshore-Anlagen soll nach Pressemitteilungen bzgl. eines belgischen Offshore-Windparks 15 Cent /kWh kosten (Anlagen Repower 5M)
- Pro kWh emittiert ein Kohlekraftwerk mit 37% Wirkungsgrad 0,954 kg CO₂
- Bei einer 1 zu 1- Milchmädchenrechnung ergeben sich somit Vermeidungskosten von mindestens 143 € pro vermiedene Tonne CO₂
- Fakt ist aber, dass Windenergie überwiegend Energie aus Erdgaskraftwerken (Regelkraftwerke) ersetzt
- Pro kWh emittiert ein Gaskraftwerk 0,386 kg CO₂
- Nach der Milchmädchenrechnung kostet dann die vermiedene Tonne CO₂ 354 €

Sind Windkraftanlagen wirklich eine junge Technologie?

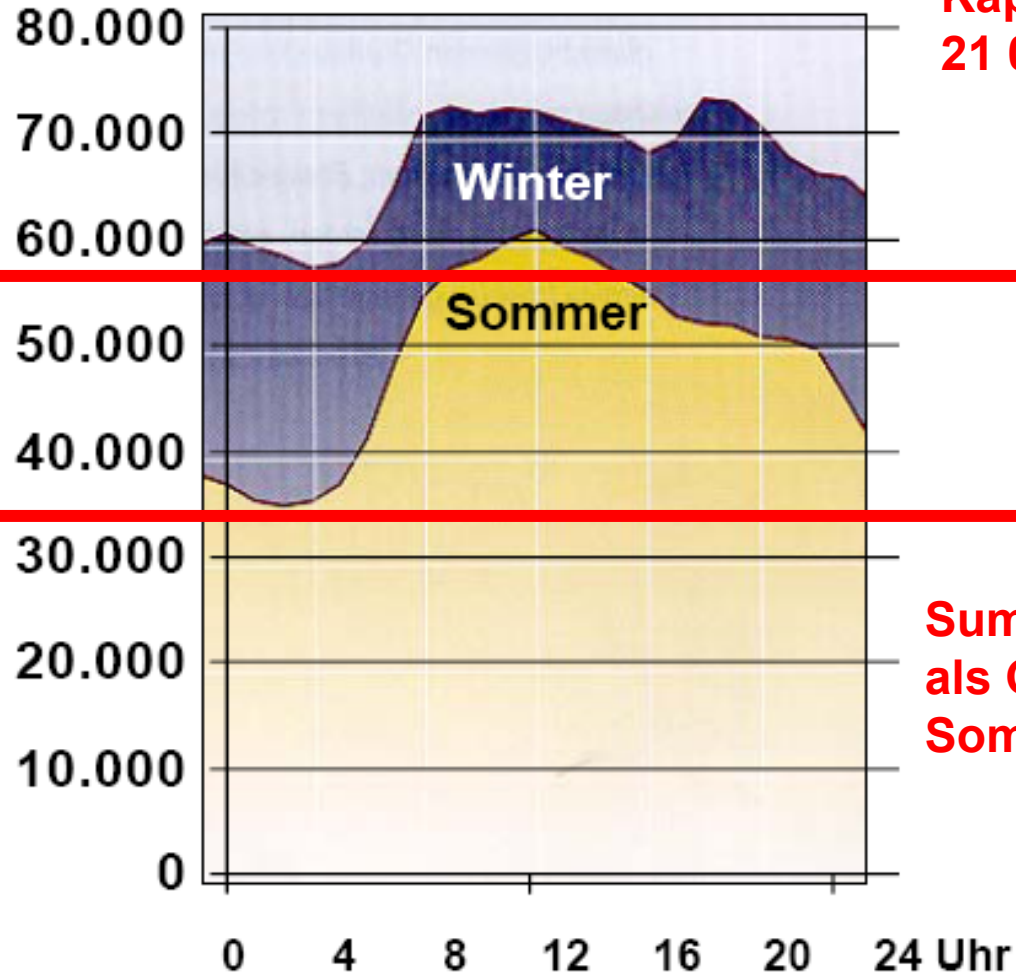
- Die Windenergie wird schon sehr lange vom Menschen genutzt (z.B. Segelschiffe)
- Wind ist allerdings nicht ständig verfügbar
- Ende des 19. Jahrhundert erfolgte erste Stromerzeugung mit Windmühlen
- Maximaler Wirkungsgrad nach Betz (1920) 59%
- Derzeitige Wirkungsgrade im Mittel ca. 40%
- Wird fälschlich als **junge Technologie** vermarktet denn:
- Technisch und betriebswirtschaftlich ist es eine **Alttechnologie**, die Komponenten werden seit mehr als 100 Jahren gebaut und kaum weiterentwickelt
- Technische und ökonomische Potentiale zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung sind nur noch gering

Besondere Folgen der Offshore-Windenergienutzung

- **Die Fluktuationen werden noch stärker**
- **Die Windprognosen werden noch ungenauer**
- **Die Gefahr von kostenträchtigen Blackouts steigt**
- **Offshore-Windstrom kostet mindestens 12 Cent pro kWh (ohne Folgekosten) (15 Cent fordern die Windmühlenhersteller)**
- **Offshore-Windstrom führt zu hohen CO₂-Vermeidungskosten (200 bis 550 € pro Tonne)**
- **Mit Biogasanlagen oder Blockheizkraftwerken lassen sich die Fluktuationen nicht ausgleichen**
- **Bei einem Sommersturm müssten alle fossilen Kraftwerke in Deutschland abgeschaltet werden**

Stromnachfrage Sommer/Winter

MW



Kapazität Offshore
25 000 MW

Kapazität Onshore
21 000 MW

Summe ist größer als Grundlast im Sommer

Grundlast Winter



Grundlast Sommer



Quelle: **Holger Gassner**
Konzern-Energie-/Umweltpolitik
RWE AG

Zwischenfazit 1

- Mit den sog. „Erneuerbaren Energien“ lässt sich die Stromlücke von 332 TWh bis 2020 nicht schließen
- **Gleiches gilt für die Kapazitätslücke von 62 000 MW, die in jedem Fall geschlossen werden muß**

- Potential Biomasse 57 TWh
- Potential Onshore-Windenergie 7 TWh
- Potential Offshore-Windenergie 84 TWh
- Potentiale sind bis 2020 technisch nicht umsetzbar

- Ersatzbedarf 1 (worst case) 332 TWh
- Ersatzbedarf 2 (best case) 184 TWh

Ersatz durch Erdgas

Szenario 1

332 TWh entsprechen 50 Milliarden m³ Erdgas

Dies entspricht ca. 50% des derzeitigen deutschen Erdgasverbrauchs und in etwa der Kapazität der geplanten Ostseepipeline (55 Mrd. m³)

Es müssten 107 GuD-Kraftwerke à 580 MW Leistung gebaut werden

Szenario 2

184 TWh entsprechen 28 Milliarden m³ Erdgas

Dies entspricht 28% des derzeitigen Verbrauchs und in etwa der Hälfte der Kapazität der geplanten Ostseepipeline

Es müssten trotzdem 107 GuD-Kraftwerke à 580 MW Leistung gebaut werden

Versorgungssicherheit

- **Der Ersatz von 62 000 MW Kraftwerkskapazität entspricht etwa 50% der im Jahr 2020 notwendigen Engpassleistung**
- **Bei einem Ausfall der Gaslieferungen reicht die verbleibende Kraftwerkskapazität nicht aus, um den Strombedarf zu decken**
- **Zur Absicherung der Stromversorgung muss jeder der drei fossilen Energieträger 30% der Engpassleistung sicherstellen können**
- **Der Ausfall eines Energieträgers hätte dann erst mal keine Folgen**

Notwendiger Kraftwerksbau

- In jedem Fall müssten jedoch mindestens 107 GuD-Kraftwerke mit einer Nennleistung von 580 MW gebaut werden und zusätzlich mindestens eine Gaspipeline
- Gazprom oder andere Lieferanten werden zusätzliche Gaslieferungen in obiger Größenordnung nicht leisten können
- Bei einem Preis von 68 € pro Barrel Öl beträgt der Preis für die kWh Primärenergie aus Rohöl **4,23 Cent**
- Derzeit beträgt der **Gaspreis 2,06 Cent/kWh (thermisch)**
- Die Brennstoffkosten werden sich, wenn der Ölpreis bei **68 € = 100 \$ pro Barrel** bleibt, verdoppeln und ca. **7,2 Cent** pro kWh Strom statt wie jetzt **3,55 Cent** betragen
- Die Brennstoffkosten eines Kohlekraftwerkes betragen derzeit **2,2 Cent/kWh (elektrisch)** und werden nicht oder nur mäßig steigen, weil die Kohlevorräte für 250 Jahre reichen

Zwischenfazit 2

- Bei einem **zukünftigen Brennstoffpreis von 7,2 Cent pro kWh erzeugtem Strom** ist kein Kraftwerksbetreiber in der EU wettbewerbsfähig, der Grundlast mit einem GuD-Kraftwerk erzeugen und verkaufen will (muss?)
- Investitionen in derartige Kraftwerke werden deshalb und wegen der Versorgungsunsicherheit mit Erdgas (lange Pipelines, Terrorattacken) weitgehend unterbleiben
- Die bisherigen Kraftwerke werden also weiter genutzt werden, weil deren Betrieb billiger ist und es keine technische Nutzungsdauergrenze gibt
- Allenfalls wird die KKW-Erzeugungskapazität durch GuD-Kraftwerke ersetzt werden
- **Grundlast werden dann die alten Kohlekraftwerke liefern**
- Die **CO₂-Emissionen werden** also nicht reduziert werden sondern **steigen**

Zwischenfazit 2

- **Da aus obigen Gründen nur ein Ersatz der KKW-Lkapazität erfolgt - GuD-Kraftwerke werden nicht zur Grundlastzeugung gebaut werden -, wird Deutschland Strom importieren müssen oder Strom aus alten Anlagen (Kaltreserve) beziehen**
- **Leitungskapazitäten zum Import stehen nicht ausreichend zur Verfügung**
- **Zusätzliche Erzeugungskapazitäten in der EU stehen ebenfalls nicht in zur Verfügung**
- **Wie soll das Problem gelöst werden?**
- **Ist das von der Politik verursachte Problem überhaupt lösbar?**

Lösung durch Blockheizkraftwerke und das „Virtuelle Kraftwerk“?

- Blockheizkraftwerke brauchen Erdgas
- Wirkungsgrad Blockheizkraftwerk < 37%
- Wirkungsgrad mit Abwärmenutzung < 55 %
- Blockheizkraftwerke brauchen im Sommer einen Kühlturm
- GuD-Kraftwerk ohne KWK erreicht 58 - 60 %
- GuD-Kraftwerk mit KWK erreicht 70 %
- Kohlekraftwerk mit KWK erreicht 64 %

- Das „Virtuelle Kraftwerk“ soll aus Biogas-, Wind-, Solar- und Pumpspeicherkraftwerken bestehen

Kraftwerk Goldisthal: Quelle: Tobias Rosenbaum



©Tobias Rosenbaum
www.Herrnhaus.de

Das „virtuelle Kraftwerk“

- **Die Pumpspeicherkapazität beträgt derzeit 6000 MW**
- **Goldisthal kann ca. 8400 MWh speichern**
- **Mit dem Kraftwerk Goldisthal könnten im Verbund 8 Anlagen des Typs 5M von Repower betrieben werden**
- **Kosten Goldisthal: ca. 1 Milliarde €**
- **Dauerleistung wäre dann 6,2 MW = 0,054 TWh/Jahr**
- **6 mal Goldisthal wären dann 0,324 TWh/Jahr**
- **Biogaspotential 24 TWh**
- **Gesamterzeugungspotential mit Wind 50 TWh**

Fazit: Versorgungslücke bleibt – „Virtuelle Kraftwerke“ nebst Biogasblockheizkraftwerken sind keine Lösung

Kriterien der Kraftwerksstandortwahl

- **Kostengünstige Brennstoffversorgung per Schiff**
- **Großes Kühlwasserreservoir**
- **Nähe zu Verbrauchsstandorten oder Anbindung an das Höchstspannungsnetz**
- **Bei KWK-Nutzung Nähe zu Großstadt oder anderen Nutzern von Fernwärme**

- **Wilhelmshaven erfüllt 3 dieser Voraussetzungen**
- **KWK-Nutzung zu Heizzwecken ist allerdings nicht im Sommer möglich**

Die Option Kohlekraftwerk

- **Ersatz von altem Kraftwerk mit 37% Effizienz durch eines mit 46 %**
- **ca. 24 % weniger Brennstoffverbrauch**
- **CO₂ – Minderemission ca. 24 %**
- **Gilt auch für alle anderen Emissionen**
- **14 % weniger Abwärme**
- **50%-Wirkungsgrade (700°-Technik) erst in ca. 5 bis 10 Jahren verfügbar - 35% Einsparung**
- **KWK erhöht Gesamtjahreswirkungsgrad auf 64%**

- **Bei Nutzung der Option CO₂-Abscheidung in ca. 15 Jahren praktisch emissionsfrei**

Umweltauswirkungen

- **CO₂-Emissionen sind generell völlig ungefährlich**
- **Die anderen Emissionen liegen weit unter denen des örtlichen Straßenverkehrs**
- **Ca. 400 Mio. m³ beträgt die Wassermenge, die mit jeder Tide an Wilhelmshaven vorbeifließt**
- **Das Kühlwasser vermischt sich zu fast 100% mit dem Jadewasser (Auskunft IfM Uni Hamburg)**
- **Kühlwassermenge 2,59 Mio. m³/Tag (30 m³/s)**
- **Erwärmung Kühlwasser 7 °C**
- **Erwärmung des Jadewassers maximal 0,043 °C pro Tag**
- **Das ist wesentlich weniger als die Erwärmung des Jadewassers an einem Sonnentag im Juni**

Szenariovergleich Emissionen

Kein Neubau versus Neubau

Ersatz AKW durch Erdgas

Vollausbau Bio und Wind 2020

	Vollaststunden	Nennleistung	Strommenge	Emissionen 1	Emissionen 2
	[h]	[MW]	[TWh]	[Mio. t CO2]	[Mio. t CO2]
Steinkohle	6500	32000	208	198	160
Braunkohle	6800	19000	129	155	123
Erdgas	2800	53000	148	57	51
Wind (Land)	1500	21000	32	-	-
Wind (See)	3350	25000	84	-	-
Bio	?	?	70	-	-
Wasser	2450	9000	22	-	-
	Summe	113000	693	411	333

Quelle: Eigene Annahmen
Eigene Berechnungen

Investitionskosten

Derzeitiger Mix

	Vollaststunden	€/kW Nenn	€/kW real
Steinkohle	4400	1200	2400
Braunkohle	6800	1400	1800
Erdgas	4000	500	1100
Wind (Land)	1500	1200	7000
Wind (See)	3350	3000	7850
Kernenergie	7200	3000	3650

Reale Nennleistung

= Nennleistung*erzeugte Strommenge/maximale Strommenge

Die CO₂-Vermeidungskosten

- **Biogas (Mist, Gülle)** **130 - 160 €/t**
- **Wind Nordsee** **150 - 550 €/t**
- **Wind Binnenland** **150 - 300 €/t**
- **Solarstrom** **700 - 1800 €/t**
- **Co-Verbrennung** **-10 - 40 €/t**

- **Neue Kraftwerke** **-10 - 40 €/t**

Wirtschaftliche Folgen der Subventionierung von Windmühlen und BHKW zur Stromerzeugung

- Investitionen in Windmühlen und BHKW verhindern die Erneuerung des fossilen Kraftwerksparks**
- Investitionen in Offshore-Windmühlen und BHKW führen zu untragbaren CO₂-Vermeidungskosten**
- Die Kaufkraft der Bevölkerung wird vermindert**
- Die über das EEG erfolgende Direktsubventionierung von nicht wettbewerbsfähigem Strom vernichtet langfristig Arbeitsplätze wie zwei Studien bewiesen haben (Studie Bremen und Studie Münster)**
- Die Nutzung der Windenergie als Alttechnologie ist wirtschaftlich nicht vertretbar, auch nicht zum Schutze des „Klimas“, da ökonomisch kontraproduktiv**

Zusammenfassung

- **Biogasnutzung (Mais) ist kontraproduktiv (Lachgas)**
- **Biomassepotential (Stroh) ist unzureichend**
- **Windenergie ist kein Ersatz für Grundlast**
- **Windenergie gefährdet die Netzstabilität**
- **Ersatz der Kernenergiekapazität durch Erdgas allein gefährdet Versorgungssicherheit**
- **Zusätzliches Kohlekraftwerk in WHV bedeutet marginale Wärmebelastung der Jade (max 0,045 °C/ Tag)**
- **Verzicht auf Ersatz der alten Kohlekraftwerke durch effizientere führt zu Mehremissionen von 78 Millionen Tonnen/Jahr und höheren Stromkosten**
- **Ersatz der Kernkraft nur durch Erdgas führt zu stark steigenden Strompreisen**

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit

