

Fachhochschule Südwestfalen
Hochschule für Technik und Wirtschaft

Wege zu einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Energieversorgung

4. Mai 2011

Unternehmenschaft Siegen-Wittgenstein
Haus der Siegerländer Wirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

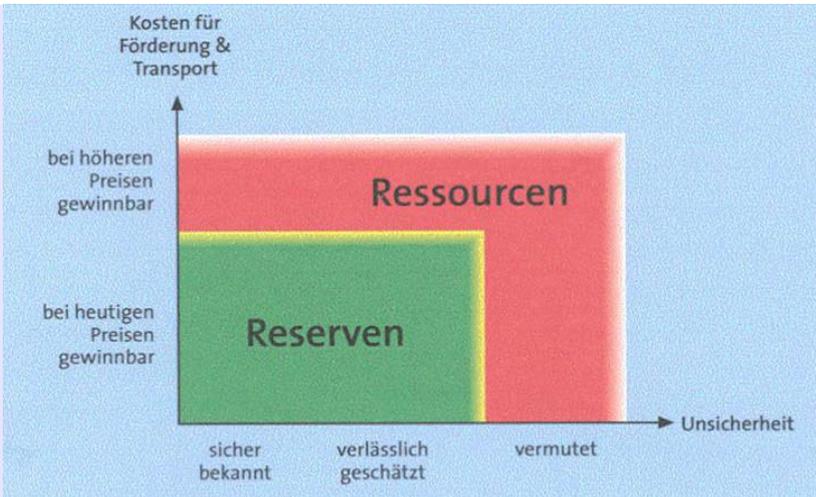
Herausforderungen für die Energiewirtschaft

- Endlichkeit der Ressourcen fossiler Energieträger
- weltweit zunehmender Energieverbrauch
- Abhängigkeit Deutschlands von Brennstoffimporten
- Klimaänderung durch die Emission von Kohlendioxid
- Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

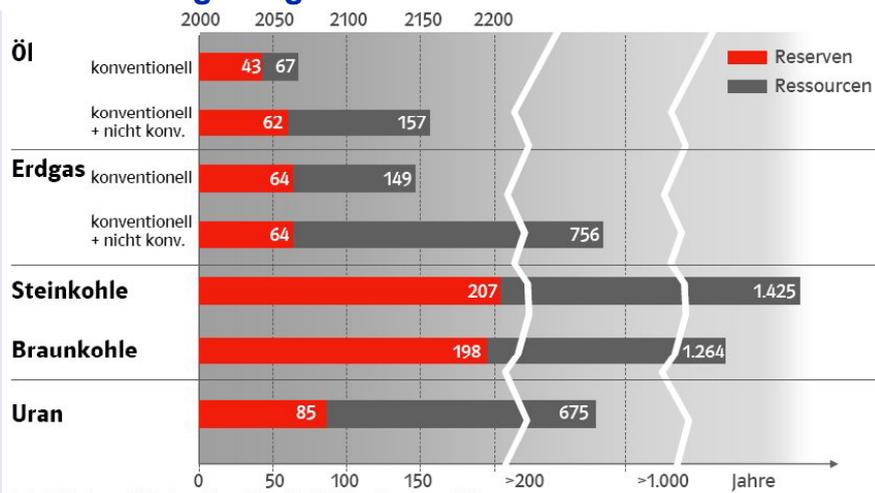
Reserven und Ressourcen fossiler Energieträger



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

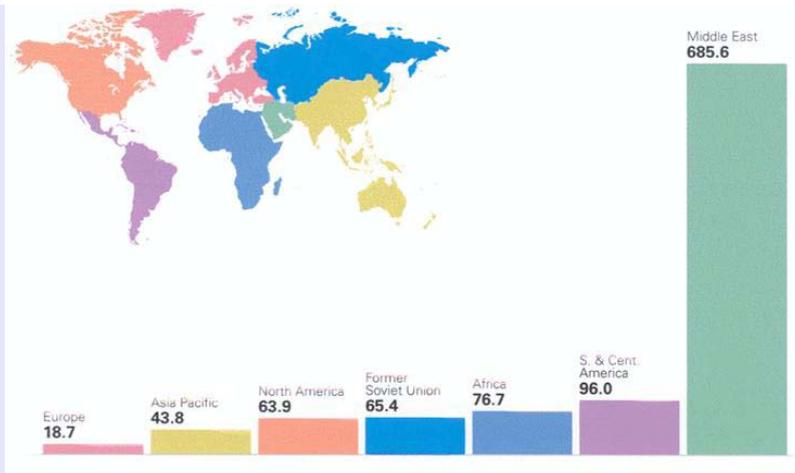
Reserven, Ressourcen und Reichweiten der Primärenergieträger



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Öl-Reserven in Gigabarrel (1 barrel ≈ 159 l)

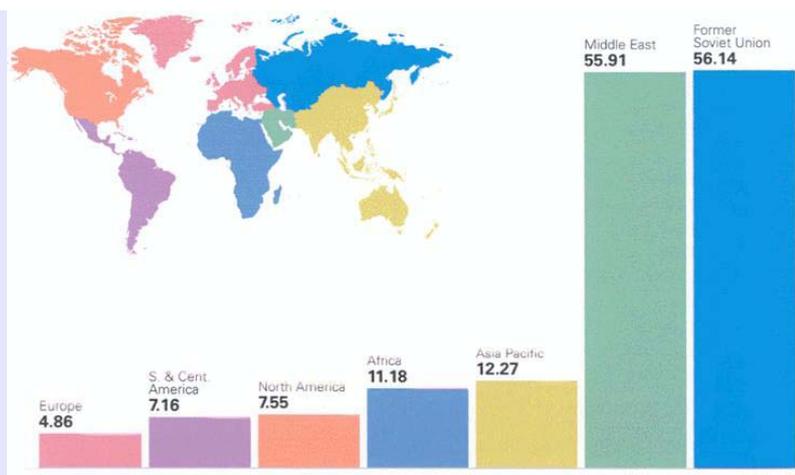


Quelle: BP Statistical Review of World Energy, 2002

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Erdgas-Reserven in Terakubikmeter

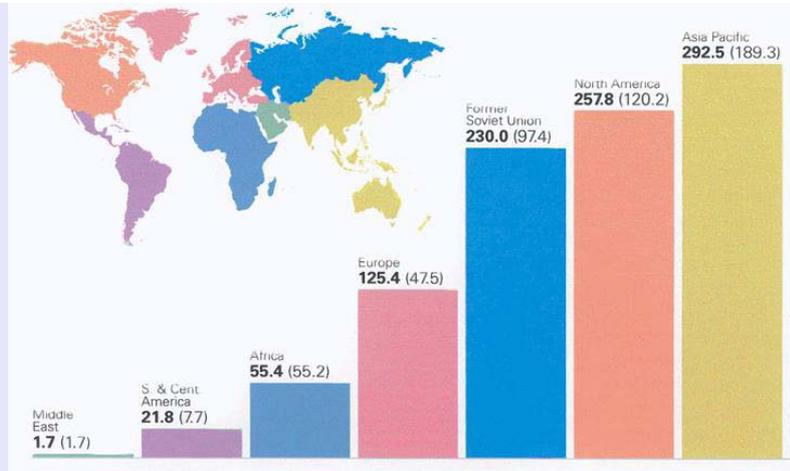


Quelle: BP Statistical Review of World Energy, 2002

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Kohle-Reserven in Gigatonnen (Anteil der Steinkohle in Klammern)

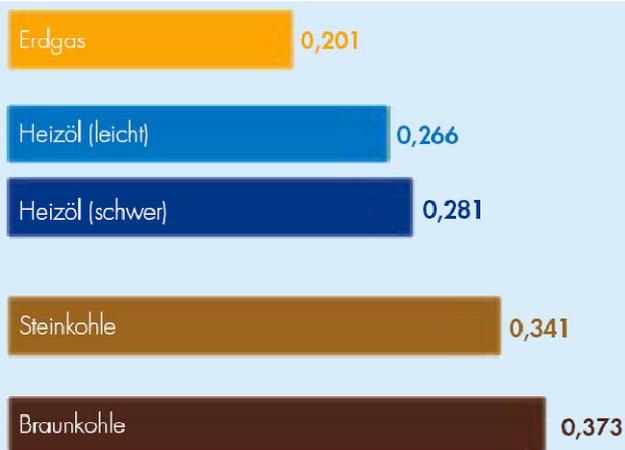


Quelle: BP Statistical Review of World Energy, 2002

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

CO₂-Emissionen fossiler Energieträger in kg/kWh (H_i)

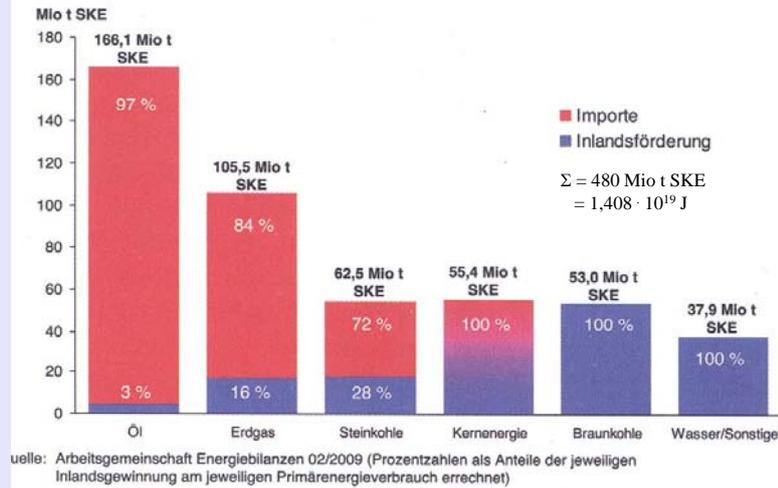


Quelle: UBA / DEHST

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Primärenergieverbrauch Deutschlands und Abhängigkeit von Energieimporten im Jahr 2008

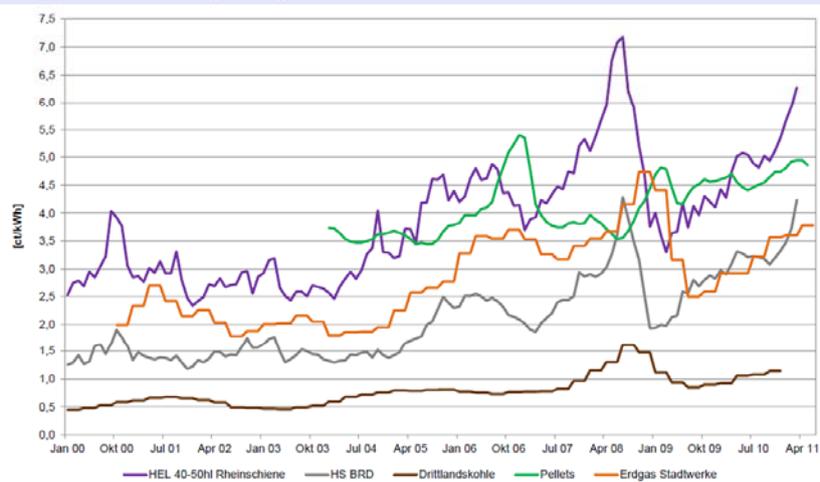


Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Entwicklung der Brennstoffpreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland von 2000 bis 2011

Nominale Preissteigerung in den letzten 10 Jahren: rund 8 %/a

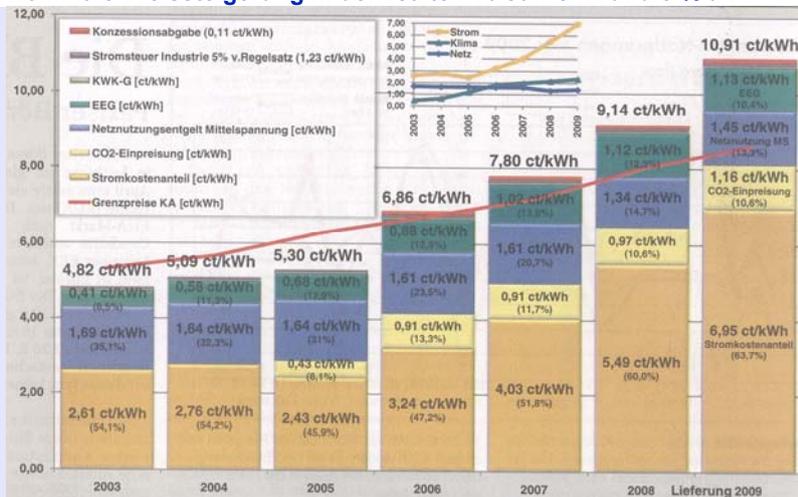


Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Entwicklung der Strompreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland von 2003 bis 2009

Nominale Preissteigerung in den letzten 10 Jahren: rund 8 %/a

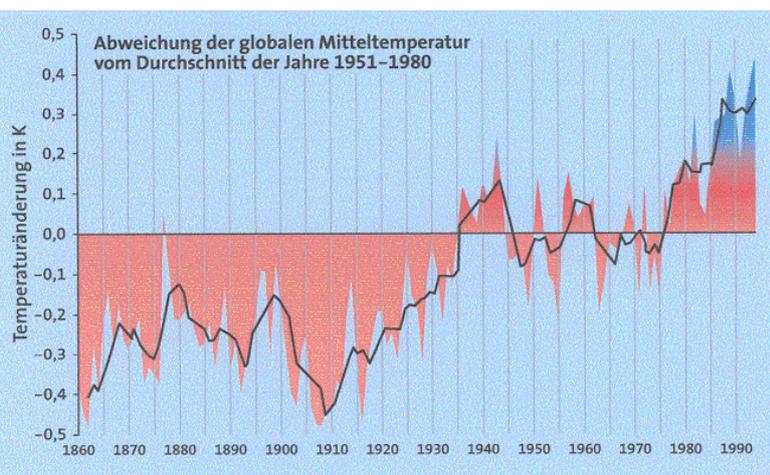


Quelle: ZfK, Juni 2009

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Anstieg der globalen Mitteltemperatur

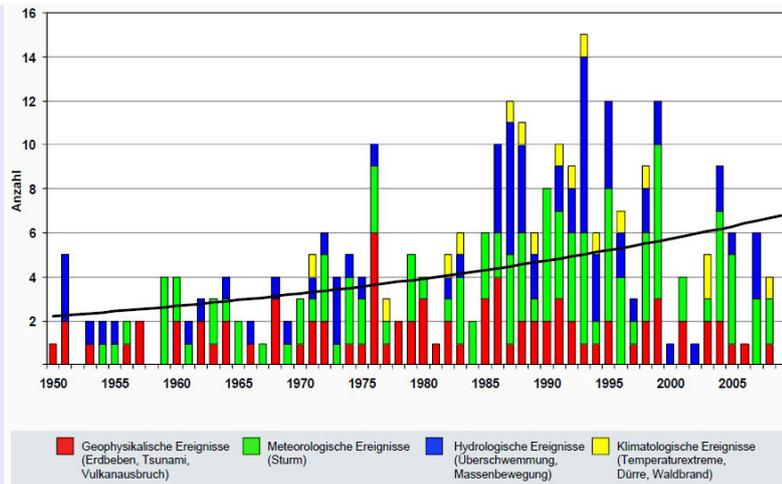


Quelle: Energien für das neue Jahrtausend, Studie von RAG und STEAG, 2002

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

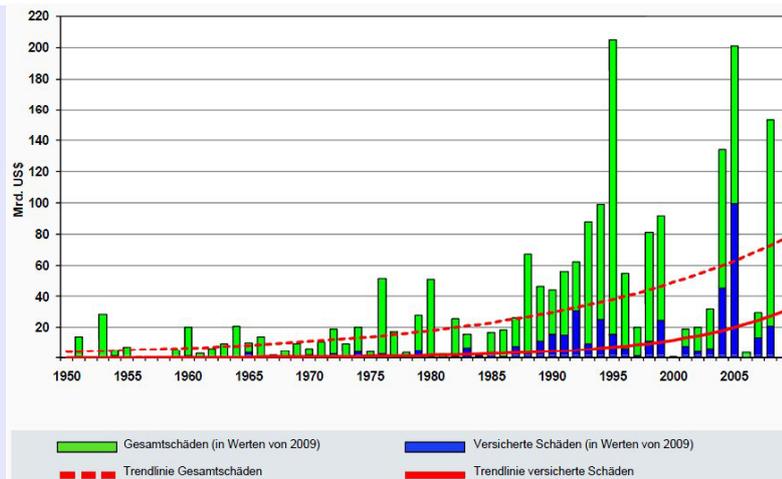
Große Naturkatastrophen 1950 – 2008, weltweit



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

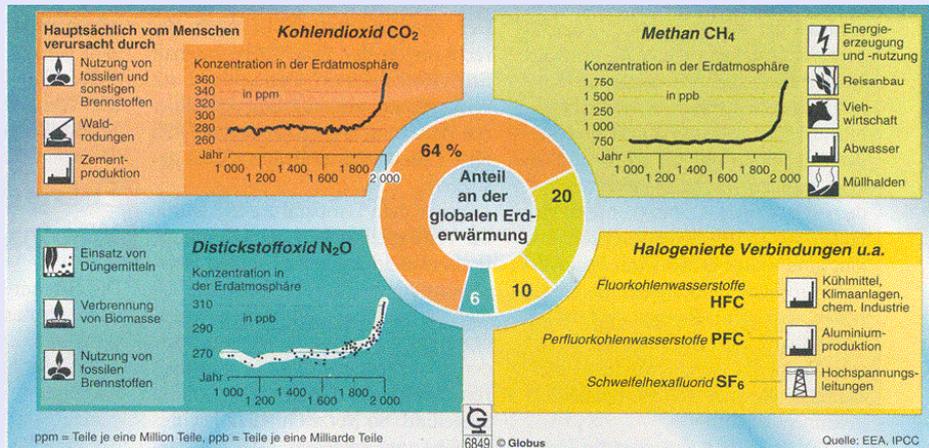
Volkswirtschaftliche und versicherte Schäden durch große Naturkatastrophen 1950 – 2008, weltweit



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

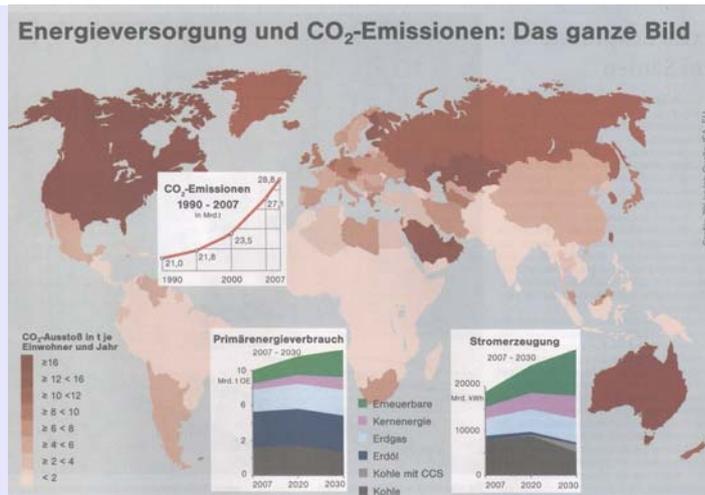
Anteile verschiedener Gase am Treibhauseffekt



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

CO₂-Emissionen pro Kopf und Jahr verschiedener Weltregionen



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Strategien für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Energieversorgung

- Verminderung des Nutzenergieverbrauches
- Erhöhung der Effizienz von Energiewandlung und -anwendung
- Nutzung erneuerbarer Energien
- Verstärkter Einsatz kohlenstoffarmer Energierohstoffe
- Rückhaltung und Speicherung von Kohlendioxid

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Politische Zielsetzungen der EU

EU-targets 20 – 20 – 20 in 2020

- 20 % decrease of CO₂
- 20 % increase of energy efficiency
- 20 % share of renewables

Im Vergleich zu 1990

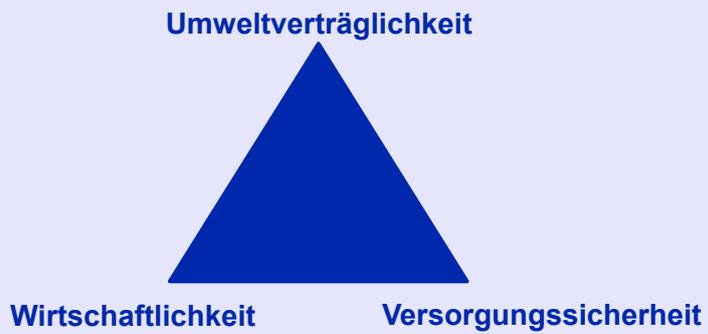
EU-Energy package with three main directives

- RES: Utilisation of renewable energy sources
- CCS: CO₂-Capture and Storage
- ETS: Emission Trading Scheme for CO₂-certificates

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Magisches Dreieck der Energiepolitik



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Erdgas-GUD-Kraftwerk Irsching

Block 5, Neubau 2010, 860 MWel, Wirkungsgrad 60 %



Bild: E.ON

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Steinkohlekraftwerk Westfalen (Hamm-Uentrop)

Block D und E, Neubau 2011, 2 x 765 MWel, Wirkungsgrad > 46%,
Dampfzustände FD 285 bar / 600 °C, ZÜ 62 bar / 610 °C



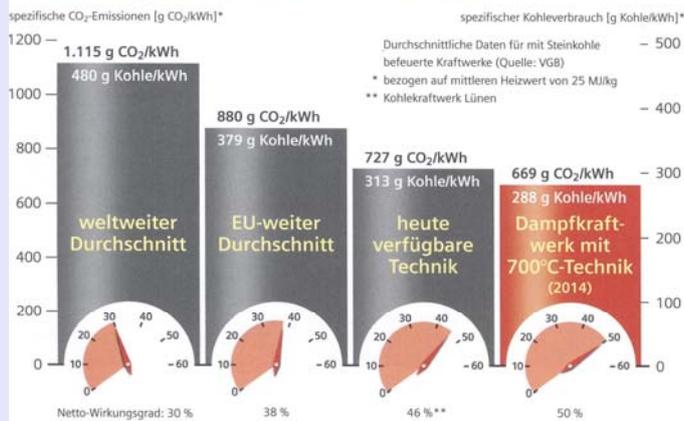
Bild: RWE

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Spezifische CO₂-Emissionen steinkohlebefuerter Dampfkraftwerke

Effizienzgewinn bei Kohlekraftwerken



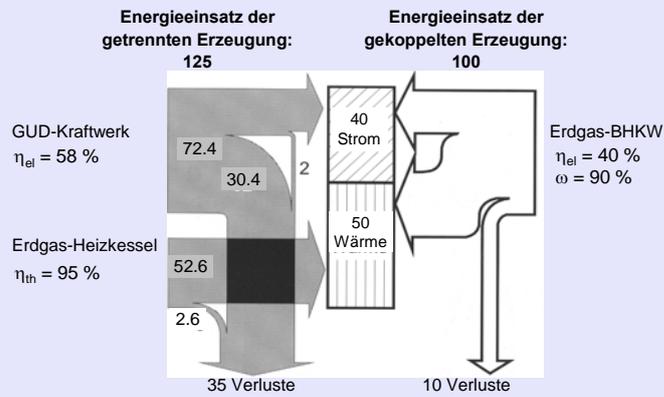
Klimafreundlich: Mit steigendem Wirkungsgrad sinken der Kohleverbrauch und die CO₂-Emissionen.

Quelle: Siemens AG, Pictures of the Future, Frühjahr 2008

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Primärenergieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung am Beispiel eines Blockheizkraftwerkes (BHKW)



⇒ Primärenergieeinsparung: $(125 - 100) / 125 = 20\%$

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Zukunftstechnologie Brennstoffzelle (Bsp.: MCFC, $P = 345 \text{ kW}_{el}$, $Q = 230 \text{ kW}_{th}$, $\eta = 47\%$, $\omega = 87\%$)



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Reduktion der Energiekosten durch Optimierung der Energieversorgung

Die hohen Energiekosten und die zu erwartenden weiteren Preissteigerungen erfordern eine Optimierung der Energieversorgung.

Nachfolgend werden am Beispiel von Anlagen für den industriellen und kommunalen Bereich (Feuerungsleistung zwischen 10 MW und 20 MW, keine Teilnahme am Emissionshandel) Ergebnisse einer entsprechenden Studie gezeigt.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Wirkungsgrade und spezifische Anlagenkosten der betrachteten Anlagen

	therm. Wirkungs- grad	elektr. Wirkungs- grad	Anlagen- kosten	Anlagen- kosten
	(%)	(%)	(€/kW _{th})	(€/kW _{el})
Erdgas-Heizwerk	95	-	90	-
Holz-Heizwerk	86	-	410	-
Braunkohlenstaub- Heizwerk	88	-	360	-
Gasturbinen-Heizkraftwerk mit Zusatzfeuerung	65	20	-	1425
Holz-Heizkraftwerk mit Entnahme-Kond.-Turbine	50	15	-	6500

- Prozessdampferzeugung bei 10 bar
- Feuerungsleistung zwischen 10 MW und 20 MW

- Preise von 2009

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Annahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung

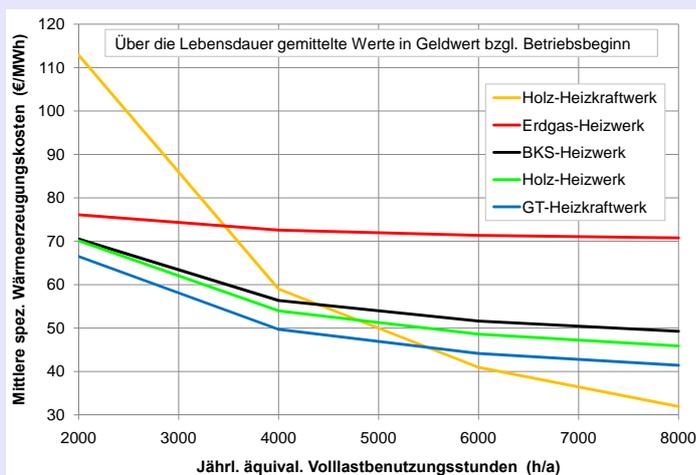
- Abschreibungszeitraum 15 Jahre
- Lebensdauer 20 Jahre
- Nominalzinssatz 7 %
- Inflationsrate 2,5 %
- Erdgaspreis 39,5 €/MWh H_i (inkl. Energiesteuer)
- Preis Holzhackschnitzel 17 €/MWh H_i
- Preis Braunkohlenstaub 20 €/MWh H_i (inkl. Energiesteuer)
- Strompreis Vollversorgung 107 €/MWh
- Strompreis Zusatzversorgung 115 €/MWh
- Wert des eigenerzeugten Stroms 102 €/MWh
- Nominale Preissteigerung Strom u. Brennstoffe 7,5 %/a
- Nom. Preissteigerung Personal, Betriebsmittel, Wartung 3,5 %/a

Preisbasis 2009

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

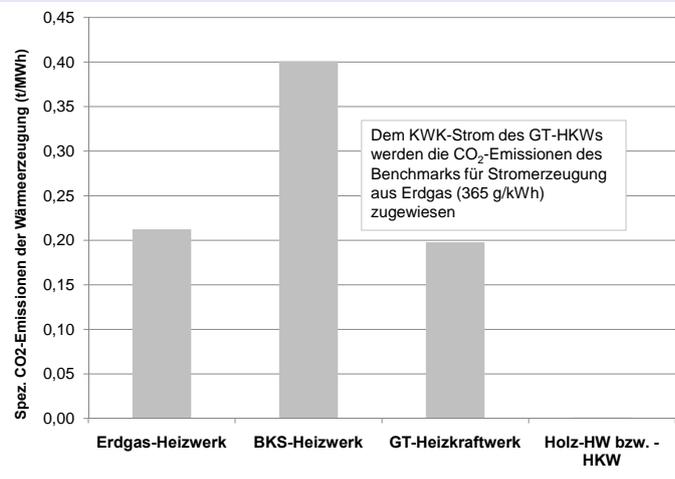
Die Heizkraftwerke (KWK-Anlagen) sind bei den getroffenen Annahmen immer wirtschaftlicher als die Heizwerke



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

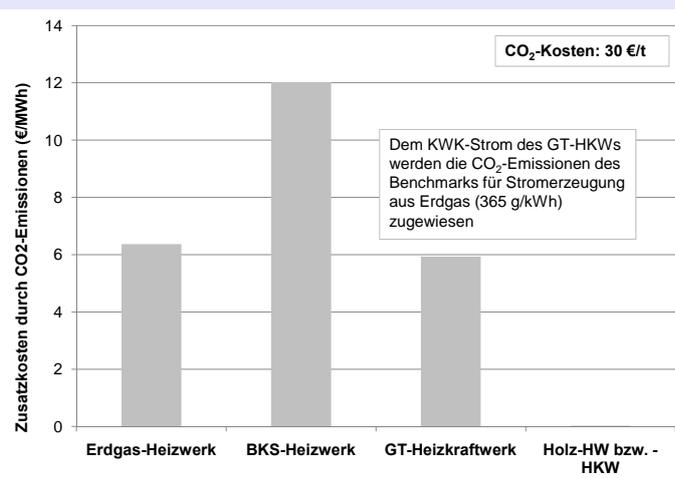
Spezifische CO₂-Emissionen der Wärmeerzeugung



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Bei Berücksichtigung von CO₂-Kosten (30 €/t) verliert das GT-HKW seinen Kostenvorteil gegenüber dem Holz-Heizwerk



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

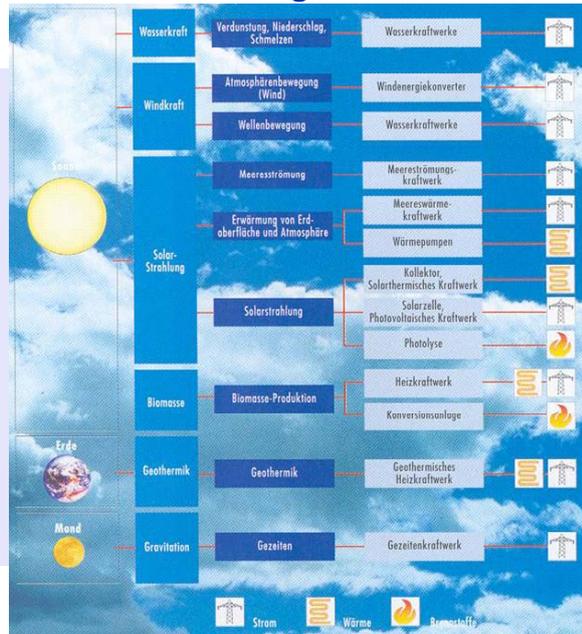
Vor- und Nachteile / Chancen und Risiken der verschiedenen Brennstoffe

- Erdgas:**
- + sauberer Brennstoff mit geringen CO₂-Emissionen
 - + niedrige spezifische Anlagenkosten
 - hoher Preis, hohe Preisrisiken (keine langfristigen Verträge)
 - hohe Importabhängigkeit, mäßige Versorgungssicherheit
- Braunkohlenstaub:**
- + niedriger Preis, geringe Preisrisiken (langfristige Verträge möglich)
 - + heimischer Energieträger mit großen Reserven, hohe Versorgungssicherheit
 - hohe CO₂-Emissionen (CO₂-Kosten?)
 - Verkehr, Feinstaub
 - hohe spezifische Anlagenkosten
- Holz:**
- + nachwachsender Rohstoff, CO₂-neutral
 - + heimischer Energieträger
 - + niedriger Preis (aber meistens keine langfristigen Verträge möglich)
 - Verkehr, Feinstaub
 - Schwankungen der Brennstoffqualität
 - beschränktes Potenzial (Risiko für Preis und Versorgungssicherheit)
 - hohe spezifische Anlagenkosten

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Erneuerbare Energien im Überblick



Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Flächenbedarf in der Sahara für die Erzeugung der benötigten Nutzenergie aus Solarenergie

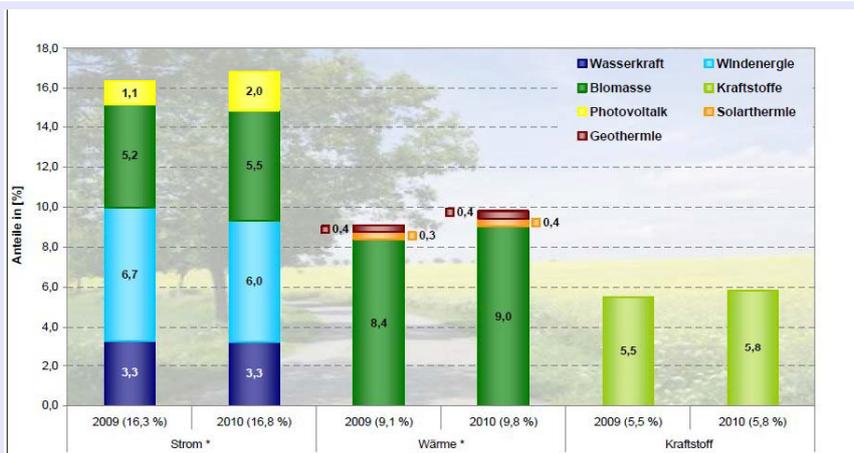


LBST 1988

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Anteile erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland 2009/2010



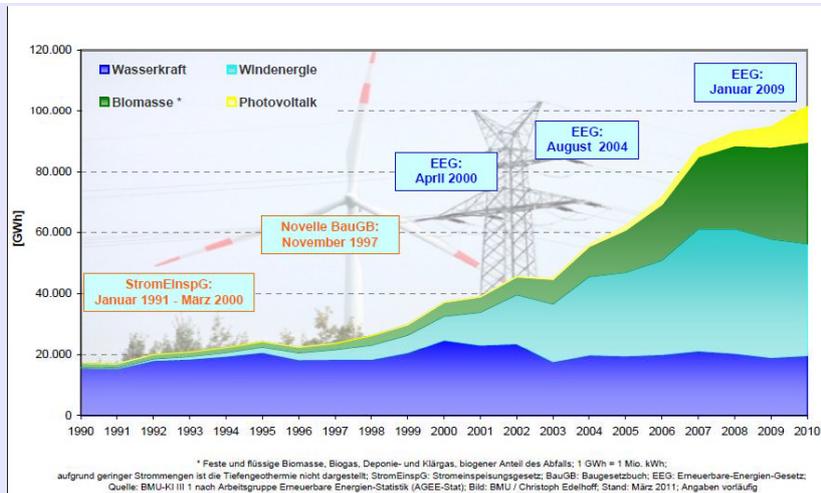
* Biomasse: Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls; aufgrund zu geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt; Abweichungen in den Summen durch Rundungen. Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Bild: BMU / Dieter Böhme, Stand: März 2011; Angaben vorläufig

Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Zeitliche Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien



Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Beitrag erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2010

Wasserkraft		19,7
Windkraft		36,5
Biomasse (gesamt)		33,5
davon:		
<i>feste Biomasse, einschl. biogener Abfall</i>	[TWh = Mrd. kWh]	16,9
<i>flüssige Biomasse</i>		2,0
<i>Biogas</i>		12,8
<i>Deponie- und Klärgas</i>		1,8
Photovoltaik		12,0
Geothermie		0,027
Summe Strom		101,7

Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Geschätzte Stromerzeugungskosten und CO₂-Emissionen

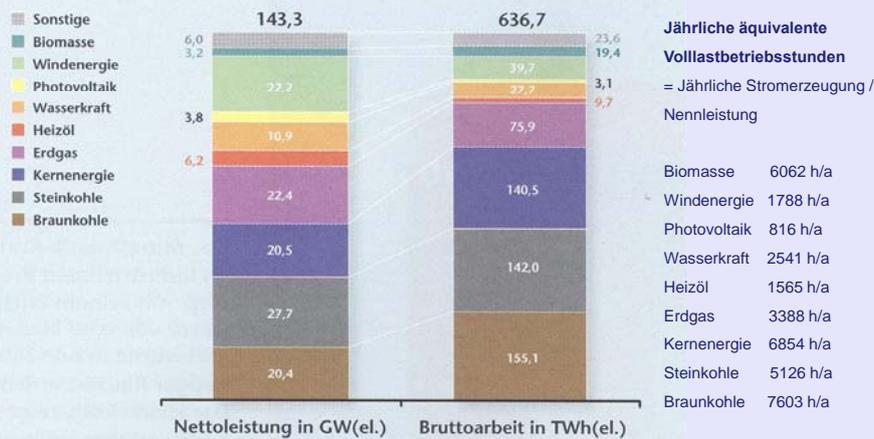
Kraftwerkstyp	Erzeugungskosten	CO ₂ -Emission
Atomkraftwerke	1,0-3,5 ct/kWh **	-
Braunkohle-Kraftwerke	2,8 ct/kWh	1153 g/kWh
Gas-Kraftwerke	4,2 ct/kWh *	428 g/kWh
Steinkohle-Kraftwerke	3,3-4,0 ct/kWh *	949 g/kWh
Biomasse-Kraftwerke	9,6 ct/kWh	Zu vernachlässigen, da CO ₂ bei Pflanzenwachstum der Atmosphäre entzogen wurde
Offshore-Windkraftanlagen	10-16 ct/kWh ***	-
Onshore-Windkraftanlagen	7,6-12,7 ct/kWh	-
Photovoltaik	20-30 ct/kWh	-
Wasserkraftwerke	10,2 ct/kWh	-

Quelle: Mark-E, 2011 *stark vom Brennstoffpreis abhängig **ohne Entsorgung ***noch mit Testcharakter

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Installierte elektr. Leistung, Stromerzeugung und jährl. äquivalente Volllastbetriebsstunden der versch. Kraftwerkstypen in Deutschland im Jahr 2007



Jährliche äquivalente Volllastbetriebsstunden = Jährliche Stromerzeugung / Nennleistung

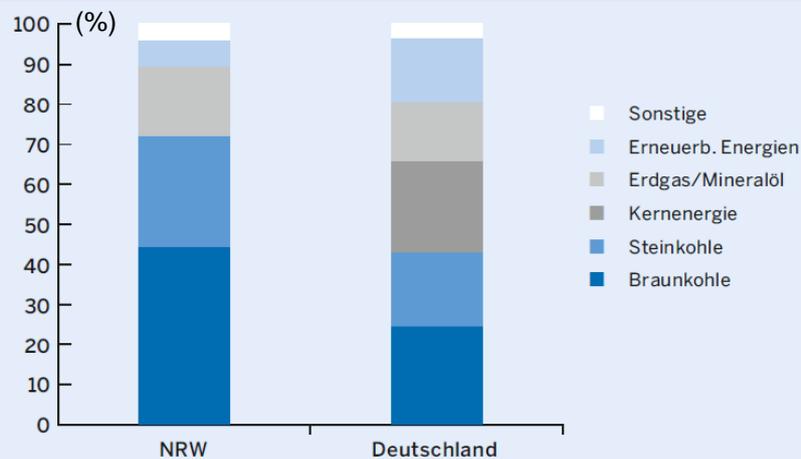
Biomasse	6062 h/a
Windenergie	1788 h/a
Photovoltaik	816 h/a
Wasserkraft	2541 h/a
Heizöl	1565 h/a
Erdgas	3388 h/a
Kernenergie	6854 h/a
Steinkohle	5126 h/a
Braunkohle	7603 h/a

Quellen: BDEW, BMU, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stand 2007

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Struktur der Stromerzeugung in NRW und Deutschland im Jahr 2009



Quelle: EnergieAgentur.NRW, 2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in NRW im Jahr 2009

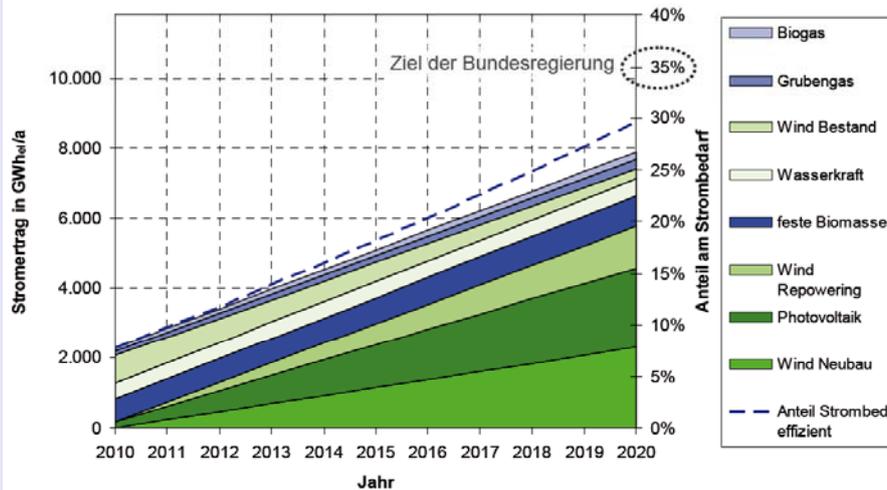
	TWh	%	zum Vergleich Deutschland in %
Windenergie	4,1	2,5	6,5
Biomasse	4,5	2,7	5,2
davon feste Biomasse	1,3	0,8	2,1
davon Biogas	0,9	0,5	1,8
davon flüssige Biomasse	0,4	0,2	0,2
davon biogener Abfall	1,4	0,8	0,8
davon Klärgas	0,3	0,2	0,2
davon Deponiegas	0,2	0,1	0,1
Wasserkraft	0,5	0,3	3,2
Photovoltaik	0,7	0,4	1,1
Tiefengeothermie	–		
Gesamt Regenerativ	9,8	5,9	16,1

Quelle: EnergieAgentur.NRW, 2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Beitrag und Ausbau der erneuerbaren Energieträger zur Stromerzeugung im Regierungsbezirk Arnsberg



Quelle: Studie von Siemens für die Bezirksregierung Arnsberg, 2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfordert Maßnahmen zur Verstetigung

- Weiträumiger Ausbau der Stromnetze von Skandinavien bis zum Mittelmeer, um Windenergie, Wasserkraft und Solarenergie verbinden zu können
- Bau von Stromspeichern
- Bau von flexiblen Kraftwerken mit hohen zulässigen Laständerungsgeschwindigkeiten
- Speicherung von Strom in Elektrofahrzeugen (notw. Voraussetzung: Smart Grid)

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

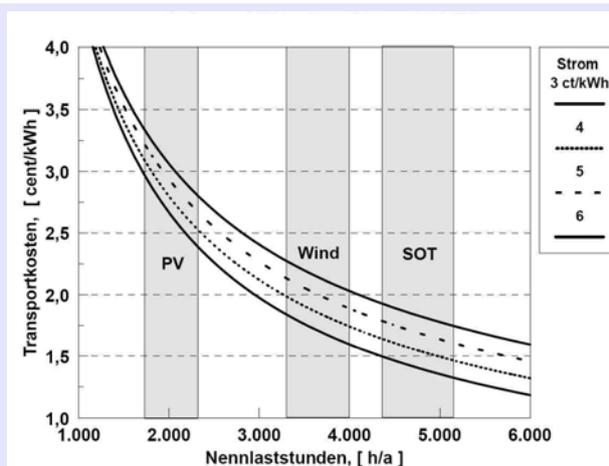
Vernetzung der erneuerbaren Energien zur Kompensation der fluktuierenden Stromerzeugung



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Stromtransportkosten einer Hochspannungsgleichstromübertragung mit 3000 km Entfernung



Bruttoleistung 4 800 MW, Transportverluste 12 %

Quelle: BMU, Ökologisch optimierter Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland, 2004

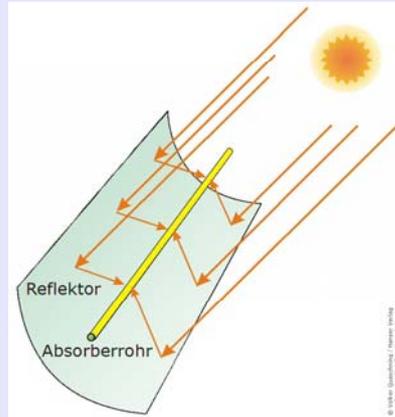
Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Parabolrinnenkollektor eines solarthermischen Dampfkraftwerkes



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail



Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

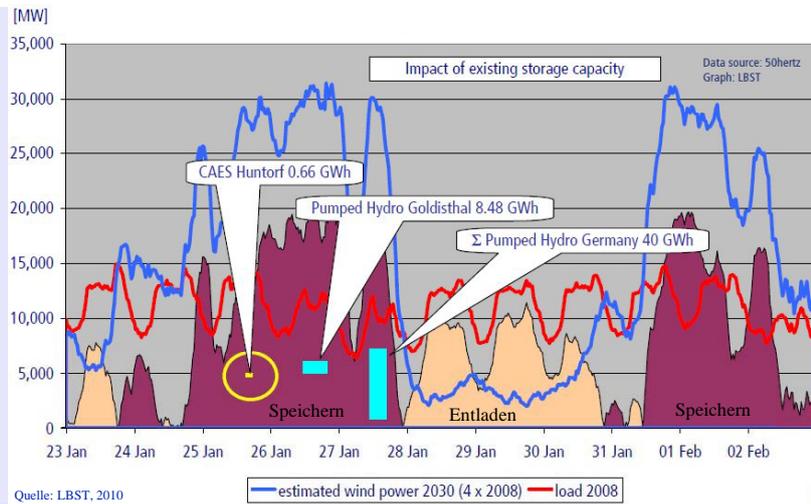
Offshore-Windpark



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Prognose über die Einspeisung von Windstrom ins Vattenfall-Netz im Jahr 2030 und die Notwendigkeit der Speicherung von Strom



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Pumpspeicherkraftwerk Herdecke (153 MW, 590 MWh, Wirkungsgrad 75 %, Anfahrtzeit 75 s)



Quelle: RWE

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Druckluftspeicherkraftwerk CAES (A-CAES)

Zentrale Speicherkraftwerke

Studie BMW I 2050



© EON – Druckluftspeicherkraftwerk Hüntorf

Technologie

- Druckluftzeugung mittels (adiabater) elektr. Kompressoren
- Druckluftspeicherung in Erdkavernen, (Wärmespeicherung)
- Rückverstromung mittels Erdgas-Turbinen (Turbinen)

Vorteile

- CAES: mäßiger Gesamtwirkungsgrad (42 - 54 %)
- A-CAES: voraus. guter Gesamtwirkungsgrad (60 - 70 %)
- freie Skalierbarkeit von Ein-/Auspeicherleistung, Kapazität

Nachteile

- geringe Energiedichte
- Kavernenbau notwendig

Anwendung

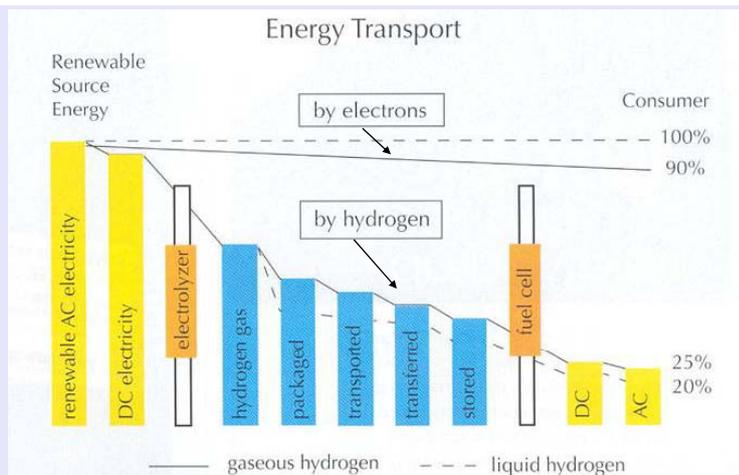
- kurz-/mittelfristig: tageszyklische Speicherdienstleistung
- mittel-/langfristig: Anstatt Windparks abzuregeln, speichern im Tageszyklus

Quelle: Fraunhofer UMSICHT, 2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Wirkungsgradkette der Speicherung von Strom in Wasserstoff

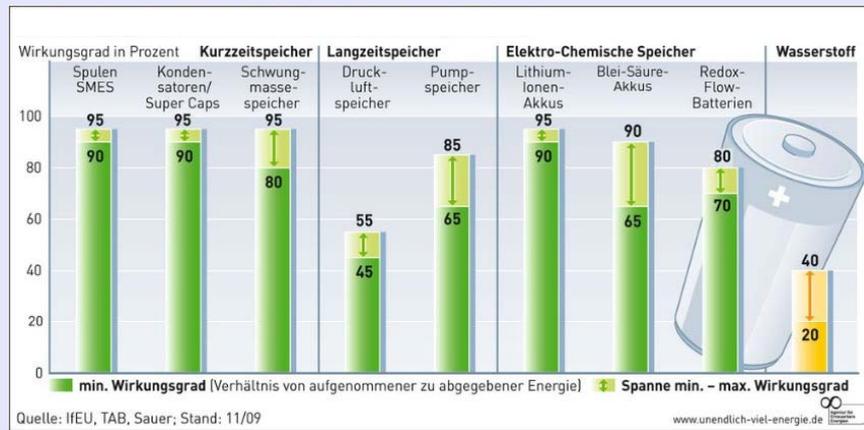


Quelle: PEI, September 2004

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

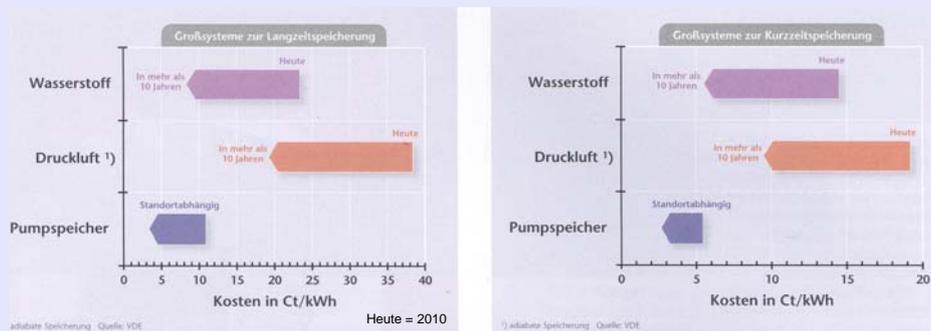
Wirkungsgrade verschiedener Stromspeicher



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

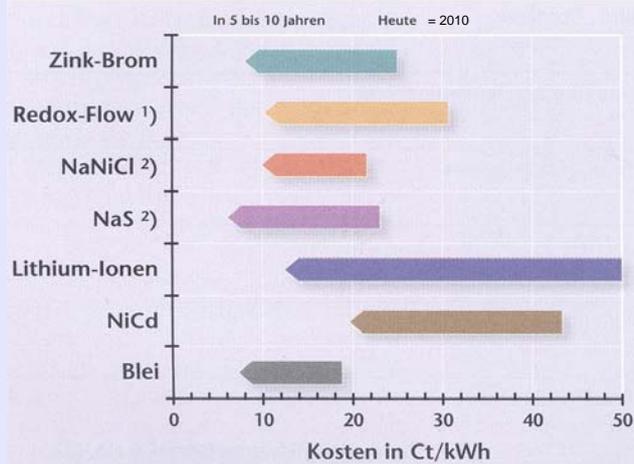
Kosten der Lang- und Kurzzeitspeicherung von elektrischer Energie



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Kosten der Speicherung von elektrischer Energie in Akkumulatoren

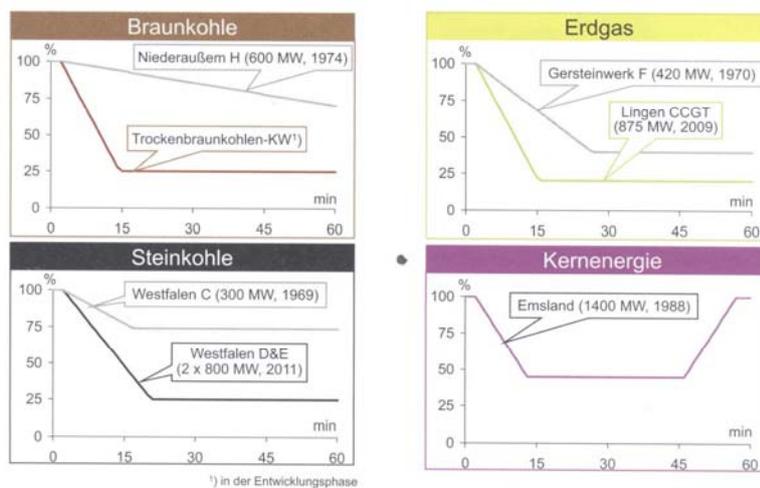


1) Vanadium 2) Hochtemperatur Quelle: VDE

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Moderne, flexible Großkraftwerke zur Kompensation der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

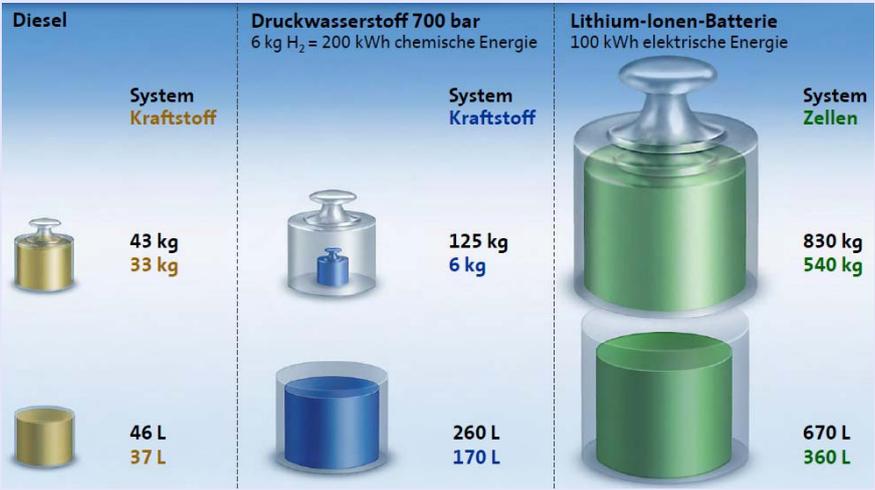


Quelle: BWK Bd. 62 (2010) Nr. 11

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Energiespeicherung im Fahrzeug für 500 km Reichweite

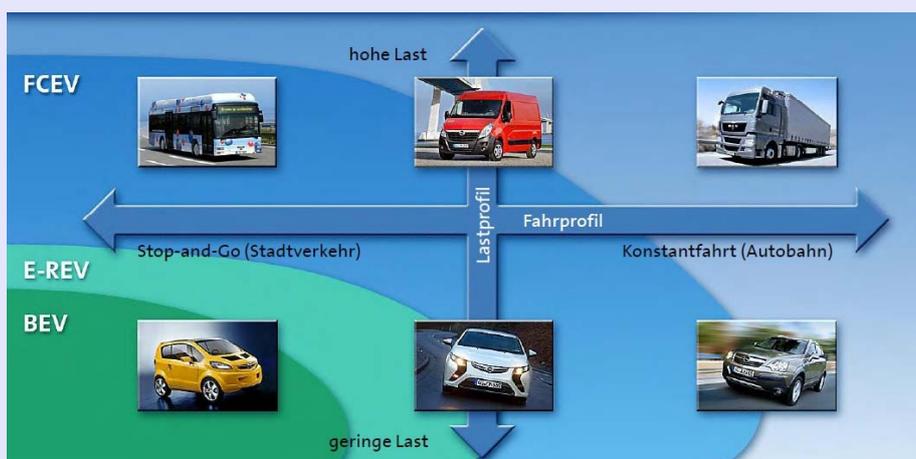


Quelle: Opel, 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Anwendungsfelder für verschiedene Antriebskonzepte

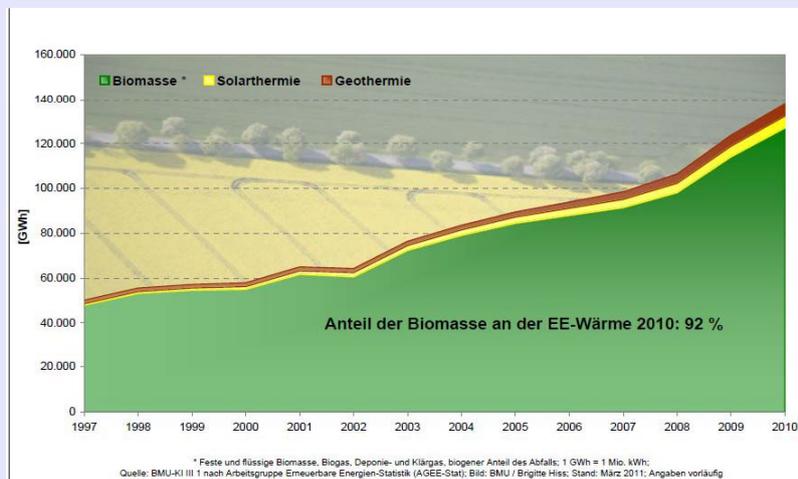


Quelle: Opel, 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Zeitliche Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien



Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Beitrag erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung in Deutschland im Jahr 2010

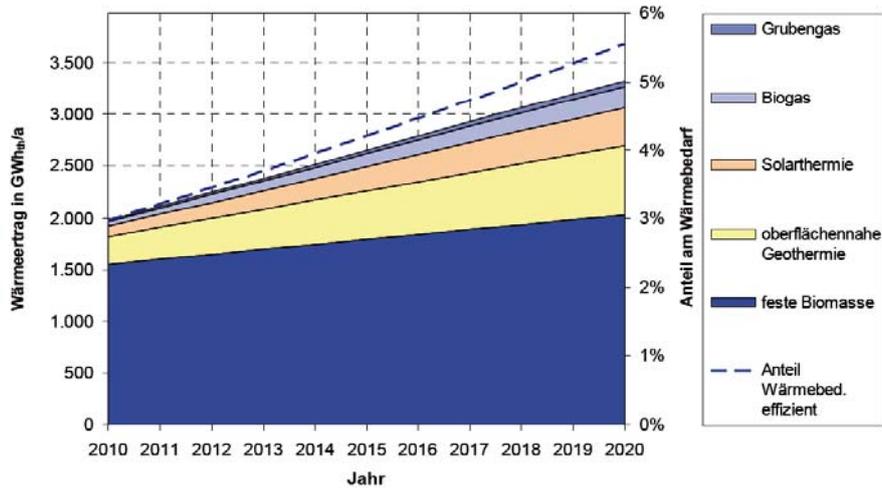
Biomasse (gesamt)		127,0
davon:		
<i>feste Biomasse, einschl. biogener Abfall</i>		113,4
<i>flüssige Biomasse</i>		4,6
<i>Biogas</i>	[TWh = Mrd. kWh]	7,6
<i>Deponie- und Klärgas</i>		1,5
Solarthermie		5,2
tiefe Geothermie		0,3
oberflächennahe Geothermie		5,3
Summe Wärme		137,8

Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Beitrag und Ausbau der erneuerbaren Energieträger zur Wärmeerzeugung im Regierungsbezirk Arnsberg

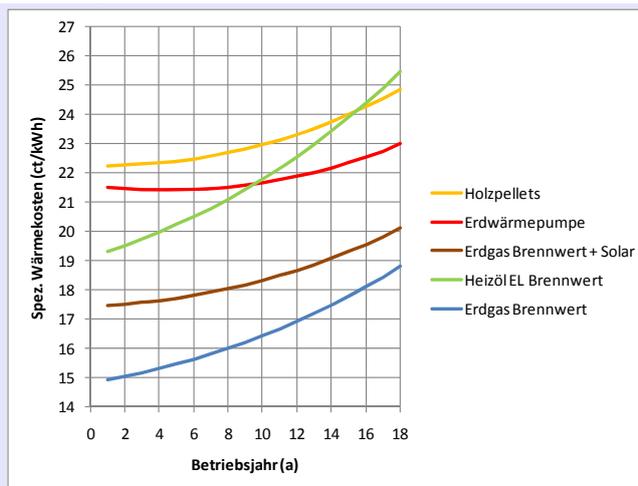


Quelle: Studie von Siemens für die Bezirksregierung Arnsberg, 2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

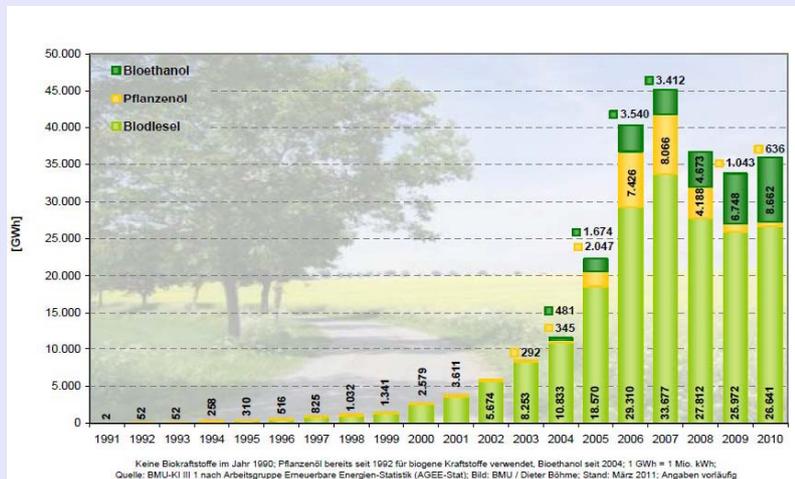
Spezifische Wärmeerzeugungskosten verschiedener Heizsysteme für ein Einfamilienhaus (Neubau, 2011)



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Beitrag erneuerbarer Energien an der Kraftstoffbereitstellung in Deutschland

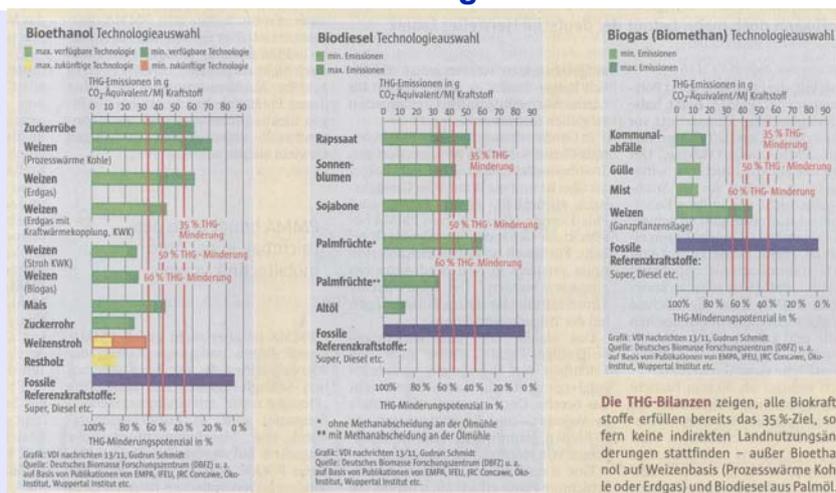


Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Treibhausgasemissionen von Biokraftstoffen unterschiedlicher Herstellung

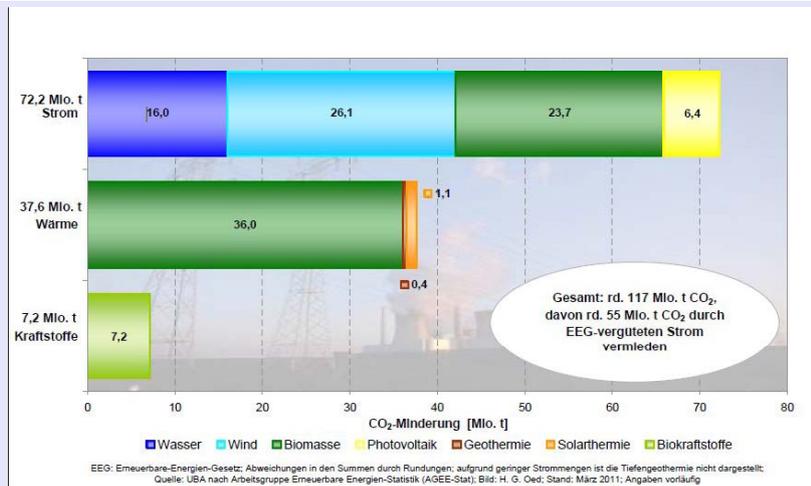


Quelle: VDI nachrichten, 01.04.2011

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Vermiedene CO₂-Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2010

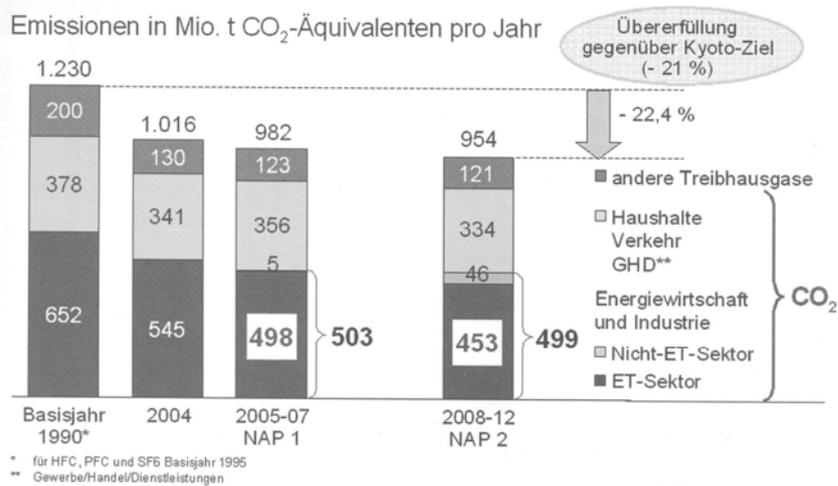


Quelle: BMU, Erneuerbare Energien 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

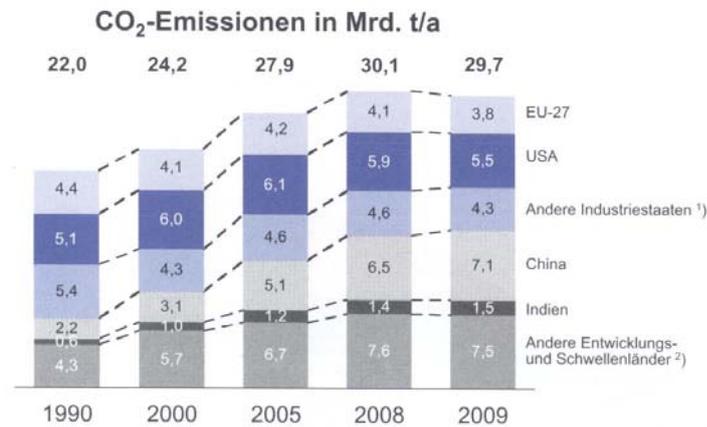
Treibhausgas-Emissionsbudgets in Deutschland



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

Weltweite energiebedingte CO₂-Emissionen von 1990 bis 2009



Quelle: BWK Bd. 62 (2010) Nr. 11

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Eckdaten des RWE-Projekts „450 MW CO₂-freies Kraftwerk“ (IGCC-CCS: Integrated Gasification Combined Cycle – Carbon Capture and Storage)



- Basic technology: IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle)
- Capacity: 450 MW_{gross}, 320 MW_{net}
- H₂ production: ~ 21 t/h (~ 230,000 Nm³/h)
- CO₂ capture rate: > 90% of produced CO₂
- CO₂ storage: ~ 2.6 m t/a
- CO₂ pipeline: ~ 500 km from power plant to the storage

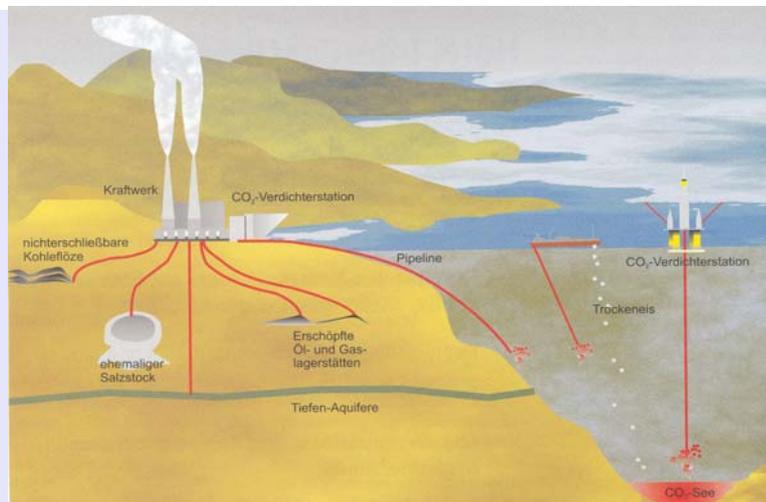
Gesamtinvestition: 2,2 Mrd. € (Kraftwerk: 1,6 Mrd. €, Pipeline: 0,4 Mrd. €, Speicher: 0,2 Mrd. €)

Quelle: RWE AG

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

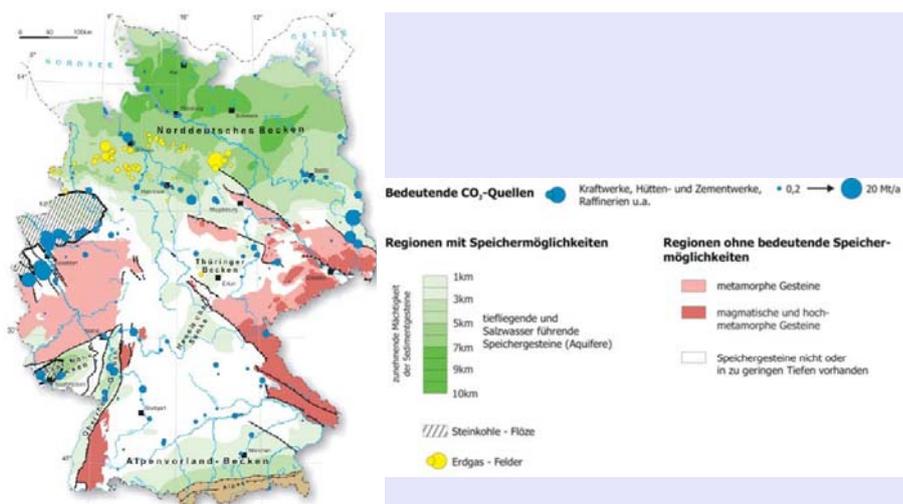
Varianten der Speicherung von Kohlendioxid



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

CO₂-Quellen und -Senken in Deutschland

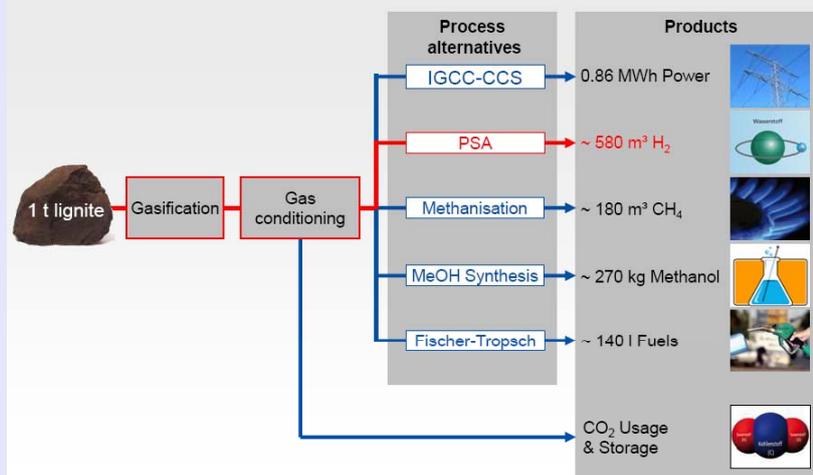


Quelle: BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2008

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Zusätzliche Optionen der Kohlevergasung für Zeiten unsicherer und teurer Gas- und Ölimporte



Quelle: RWE AG, 2010

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Fazit 1/2

- Windenergie ist diejenige erneuerbare Energie, die in Deutschland, NRW und Südwestfalen das größte Ausbaupotenzial bietet und relativ niedrige Stromerzeugungskosten aufweist.
- Wasserkraft und Biomasse weisen ebenfalls günstige Kosten auf, haben jedoch nur beschränkte Ausbaupotenziale (max. + 50 %).
- Solarenergie führt aufgrund der eher geringen Solarstrahlung in Deutschland, NRW und vor allem in Südwestfalen zu relativ hohen Erzeugungskosten.
- Die Fluktuation der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sollte durch einen weiträumigen Ausbau der Netze und den Bau von Speichern, bevorzugt Pumpspeicherkraftwerke, kompensiert werden.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kall

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Fazit 2/2

- Effizienztechnologien (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung) sollten verstärkt eingesetzt und weiterentwickelt werden.
- Die Abtrennung und Speicherung des Kohlendioxids aus Kraftwerken sollte vorangetrieben werden, da auf Gas- und Kohle-Kraftwerke mittelfristig (> 50 Jahre) nicht verzichtet werden kann.
- Ein Ausstieg aus der Atomenergie ist in Deutschland in den nächsten 15 bis 20 Jahren möglich, führt jedoch zu höheren Strompreisen. Der Atomstrom ist bisher relativ günstig, da die Entsorgungskosten nur teilweise im Strompreis enthalten sind.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gerne stehe ich für Fragen zur Verfügung, jetzt
oder später unter kail@fh-swf.de

Der Vortrag steht unter [www.fh-
meschede.de/public/kail](http://www.fh-meschede.de/public/kail) zum Download zur
Verfügung.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail

Fachhochschule
Südwestfalen
University of Applied Sciences