



# Fossile Energieträger

## Teil II

## Kohle

- ▶ Verwendung von Kohle
- ▶ Braunkohle & Steinkohle
- ▶ Kohlebildung/Inkohlung, Mazerale
- ▶ Kohle und Umwelt, **Bergschäden**
- ▶ Kohleveredlung (z.B. Verkokung, Hydrierung)
- ▶ Graphit
- ▶ andere Möglichkeiten der Kohleentstehung
- ▶ Sapropelkohle
- ▶ Unkonventionelle Energierohstoffe
- ▶ Kohle als alternative Energiequelle

# Konventionelle Energierohstoffe

**Kohle**, Erdöl, Erdgas

Erdöl            aus Mikroalgen (Phytoplankton)

Erdgas            tierisches & pflanzliches Plankton

**Kohle**            aus Landpflanzen



# Verwendung von Kohle

Heizzwecke

Stromgewinnung

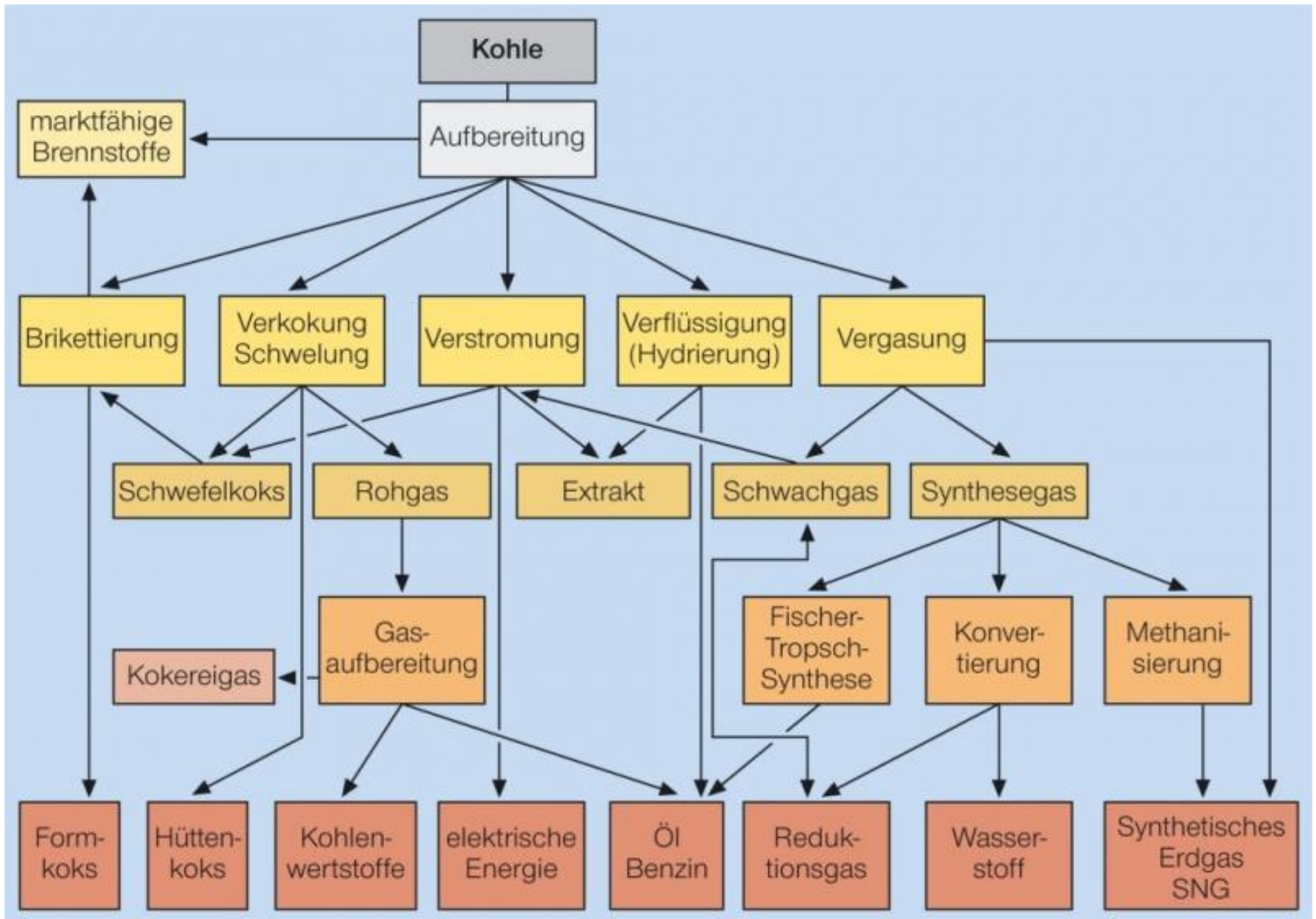
als Koks für Stahlerzeugung

# Produkte aus Kohle



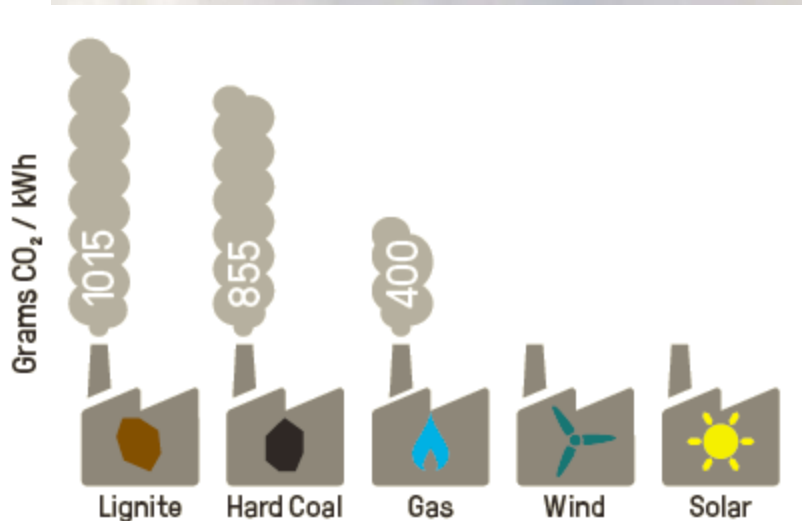


# Produkte aus Kohle



# END OF AN ERA:

WHY EVERY EUROPEAN COUNTRY  
NEEDS A COAL PHASE-OUT PLAN

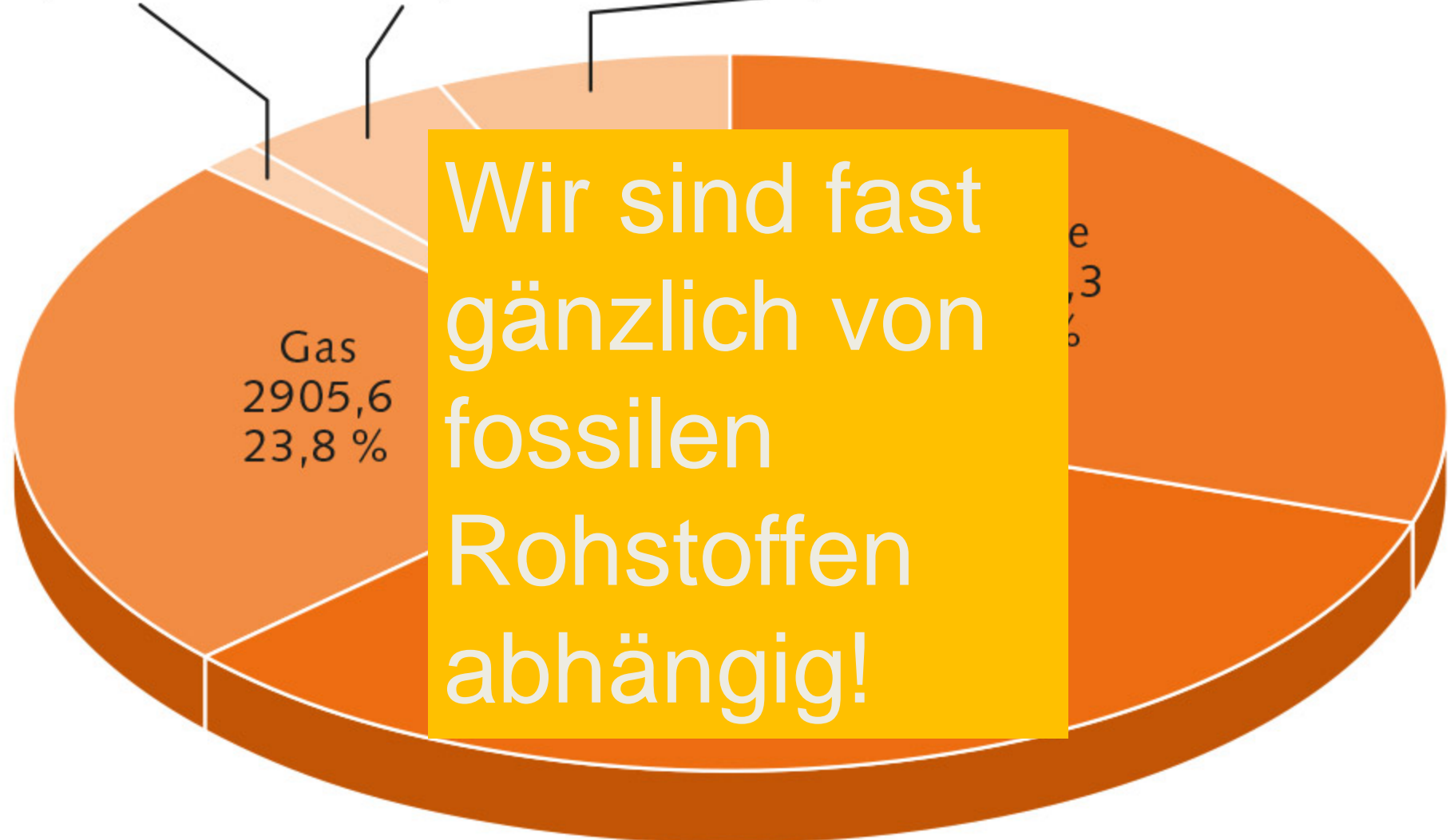


# Primärenergieverbrauch aufgeteilt nach Energiequellen

Regenerative Energie 194,8  
1,6 %

Atomenergie 599,3  
4,9 %

Wasserkraft 791,5  
6,5 %

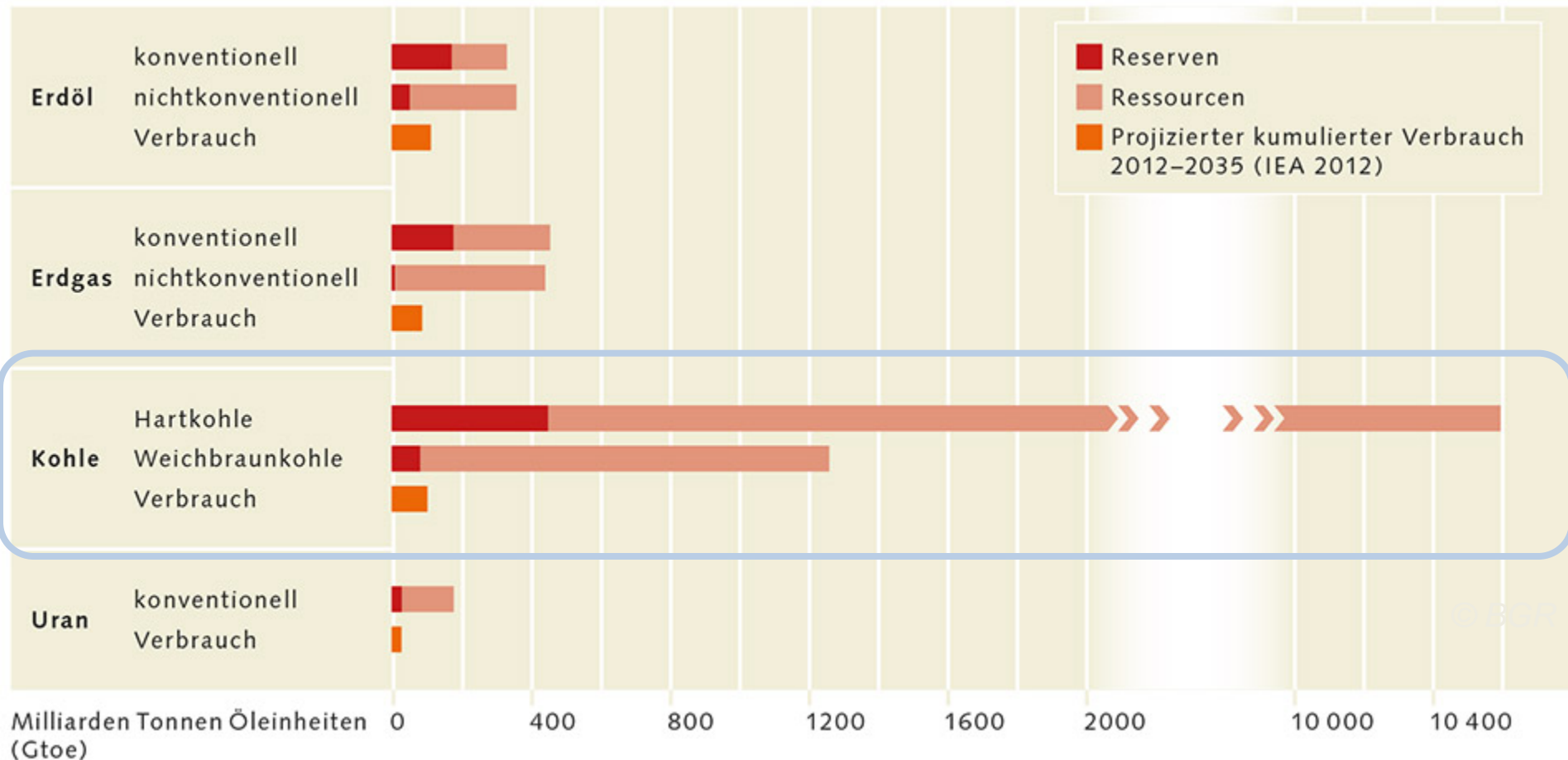


Wir sind fast  
gänzlich von  
fossilen  
Rohstoffen  
abhängig!



# Reserven und Ressourcen

Kohle noch lange Zeit in ausreichender Menge verfügbar



# Zahlen und Fakten

Die geologisch nachgewiesenen *Kohlenvorräte* der Welt betragen rund 14 200 Mrd. t Stein- bzw. Braunkohle, davon sind nach dem Stand der Technik aber nur rund 700 Mrd. t wirtschaftlich abbauwürdig (Flöze mindestens 60 cm mächtig, Tiefenlage bis 1500 m).

Die größten Kohlereserven lagern in Russland, USA und China.

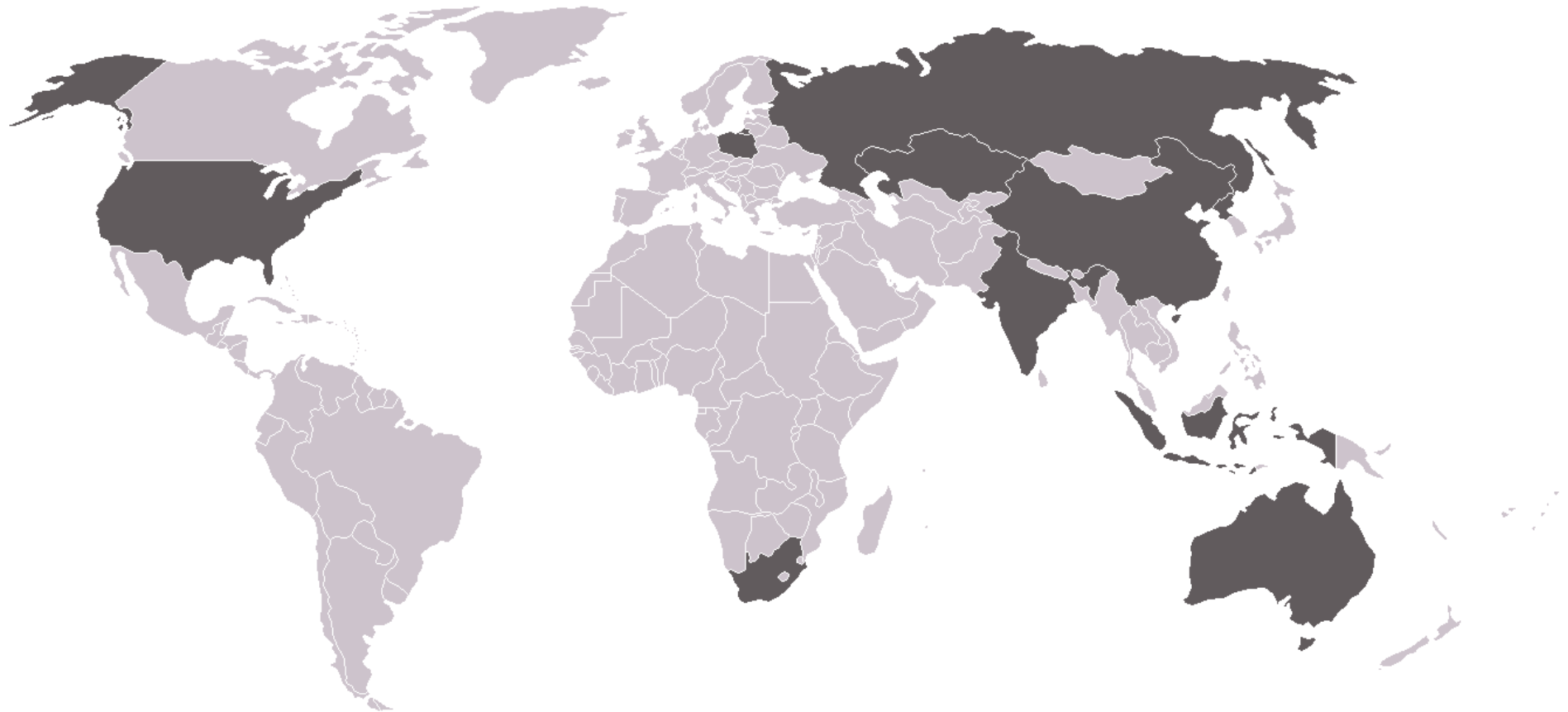
Gefördert wurden 2007 weltweit rund 5,5 Mrd. t Steinkohle (vor allem in China und USA) und 980 Mio. t Braunkohle (vor allem in Deutschland).

Die Kohle deckt zur Zeit circa 28% des Weltenergiebedarfs. Abnehmer sind die Stahlindustrie, die chemische Industrie und Elektrizitätswerke.



# Steinkohle

10 Staaten haben einen Anteil von rund 94% an der Weltförderung.  
Anteil Deutschlands: <0.4%

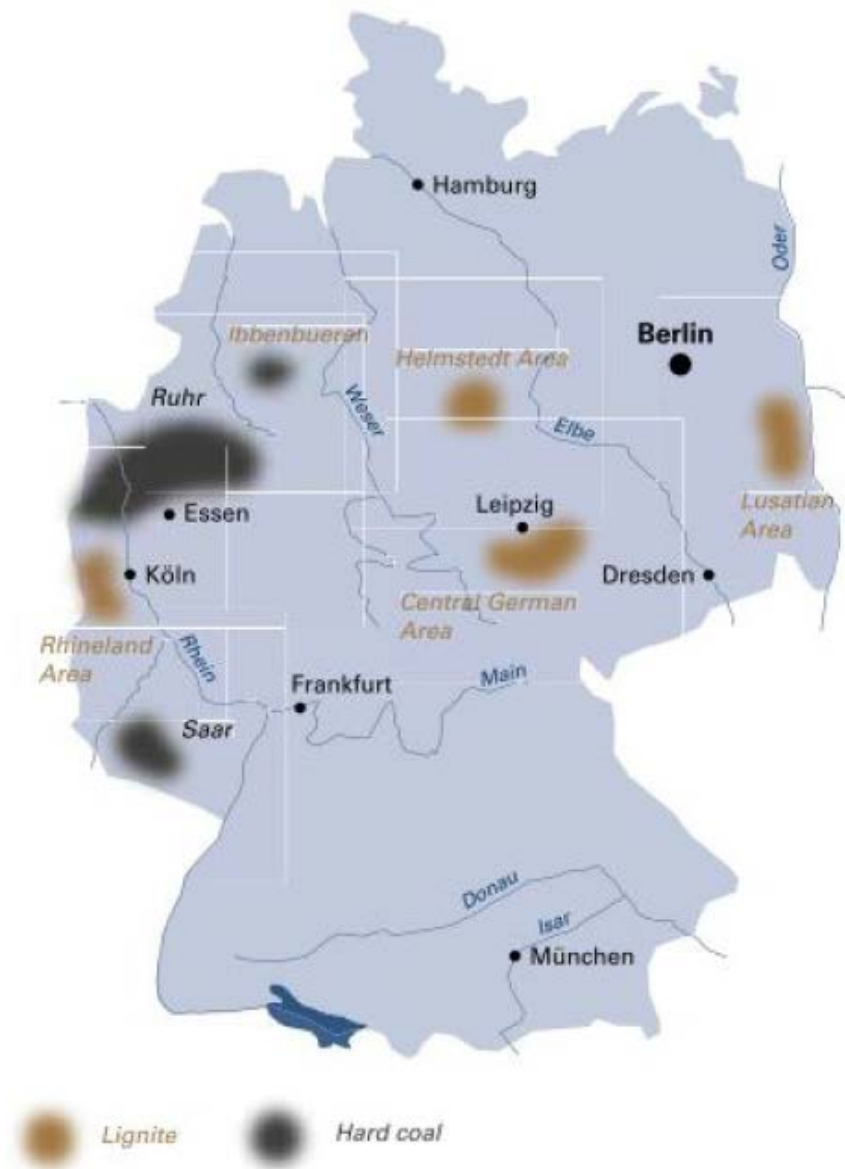


# Steinkohle

## Fördermengen in Millionen Tonnen nach BGR-Einschätzung

Rang (2009) ↕	Land ↕	1970 ↕	1980 ↕	1990 ↕	2000 ↕	2007 ↕	2008 ↕	2009 ↕	Anteil in % ↕	Kumulation in % ↕
1.	China	347,5	595,8	1034,4	1144,7	2479,2	2646,4	2930,0	48,8	48,8
2.	USA	541,6	709,9	853,6	896,3	967,9	994,3	907,4	15,1	63,9
3.	Indien	73,7	109,2	210,5	311,4	451,6	489,5	532,1	8,9	72,7
4.	Australien	49,2	72,4	158,8	239,4	323,0	325,4	348,0	5,8	78,5
5.	Indonesien	0,2	0,6	10,5	76,6	231,2	246,2	254,0	4,2	82,8
6.	Südafrika	50,3	119,7	175,3	225,8	243,6	235,8	250,6	4,2	86,9
7.	Russland	179,0	224,8	247,5	163,0	241,3	244,6	232,5	3,9	90,8
8.	Kasachstan	103,6	118,1	75,0	71,5	90,4	104,4	96,2	1,6	92,4
9.	Polen	140,1	193,1	147,5	103,1	87,8	84,3	78,0	1,3	93,7
10.	Kolumbien	2,5	4,1	20,5	38,1	69,9	73,5	72,8	1,2	94,9
11.	Ukraine	94,0	122,6	135,0	81,1	75,2	77,3	72,0	1,2	96,1
12.	Kanada	11,6	30,7	58,9	58,0	58,9	58,2	52,3	0,9	97,0
13.	Vietnam	0,0	5,3	4,6	11,6	44,6	39,9	42,1	0,7	97,7
14.	Nordkorea	19,8	34,1	35,7	22,5	28,6	28,6	28,6	0,5	98,2
15.	Großbritannien	140,9	130,4	104,1	30,6	16,8	18,1	17,9	0,3	98,5
16.	Deutschland	108,6	87,1	70,2	37,3	24,2	19,1	15,0	0,2	98,7

# Kohlevorkommen in Deutschland



# Steinkohlebergbau in Deutschland

## Saarland

260 Jahre langer Abbau (Spielball zwischen Frankreich und Deutschland)

Bergbau endete mit der Schließung des Bergwerks Saar,  
Juni 2012



# Steinkohlebergbau in Deutschland

## Ibbenbüren

Knapp 2.200 Mitarbeiter

1,9 Millionen Tonnen hochwertige Anthrazitkohle pro Jahr

Größte Teufe: 1600 Meter

Abbau bis 2018





# Steinkohlebergbau in Deutschland

## Ruhrgebiet

Das Ruhrgebiet gründet auf Kohle

Herz des deutschen Steinkohlenbergbaus (das „Revier“)

In Hochzeiten bis zu 600.000 Bergarbeiter

Heute: "Prosper-Haniel" in Bottrop

Abbau bis 2018



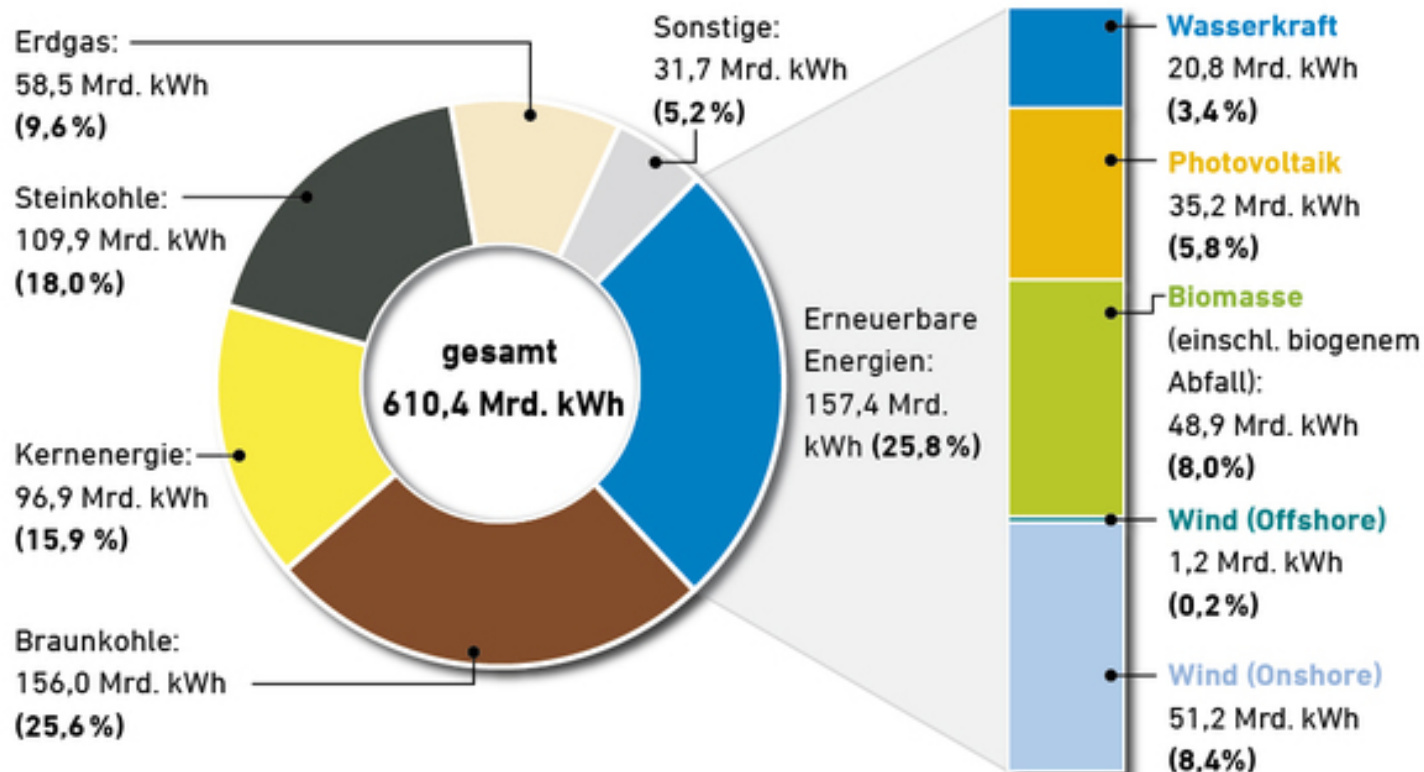
# Steinkohlebergbau in Deutschland

das heißt also in Deutschland gibt es mittlerweile nur noch 2 Steinkohlezechen! Rund vier Fünftel der Steinkohle werden bereits jetzt aus dem Ausland importiert



# Der Strommix in Deutschland im Jahr 2014

Mit 157 Milliarden Kilowattstunden lieferten Erneuerbare Energien mehr als ein Viertel der deutschen Bruttostromerzeugung. Zusammen hatten sie damit erstmals den größten Anteil im Vergleich zu den einzelnen anderen Energieträgern. Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch betrug 27,3 %.

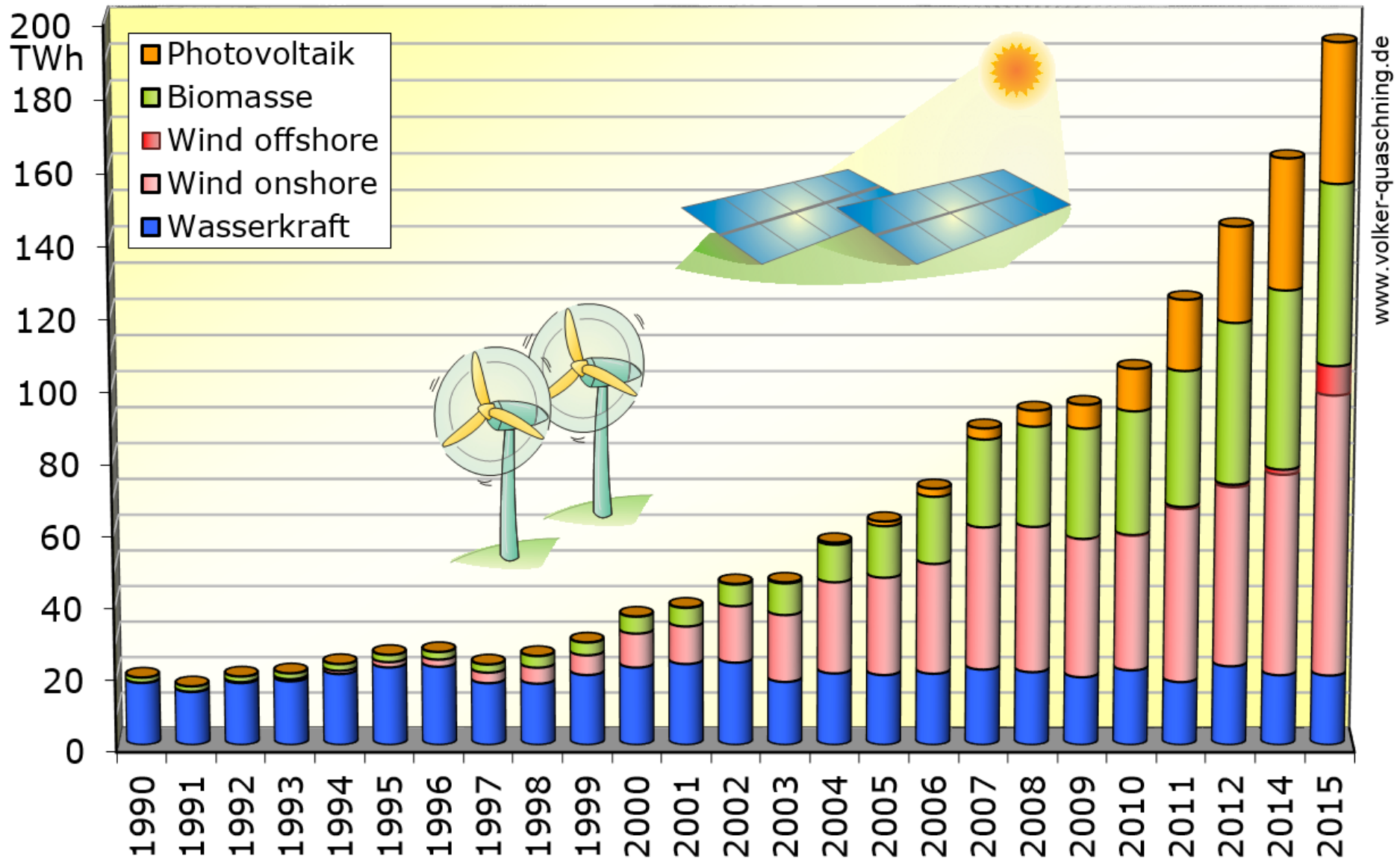


Quelle: BDEW; Stand: 12/2014



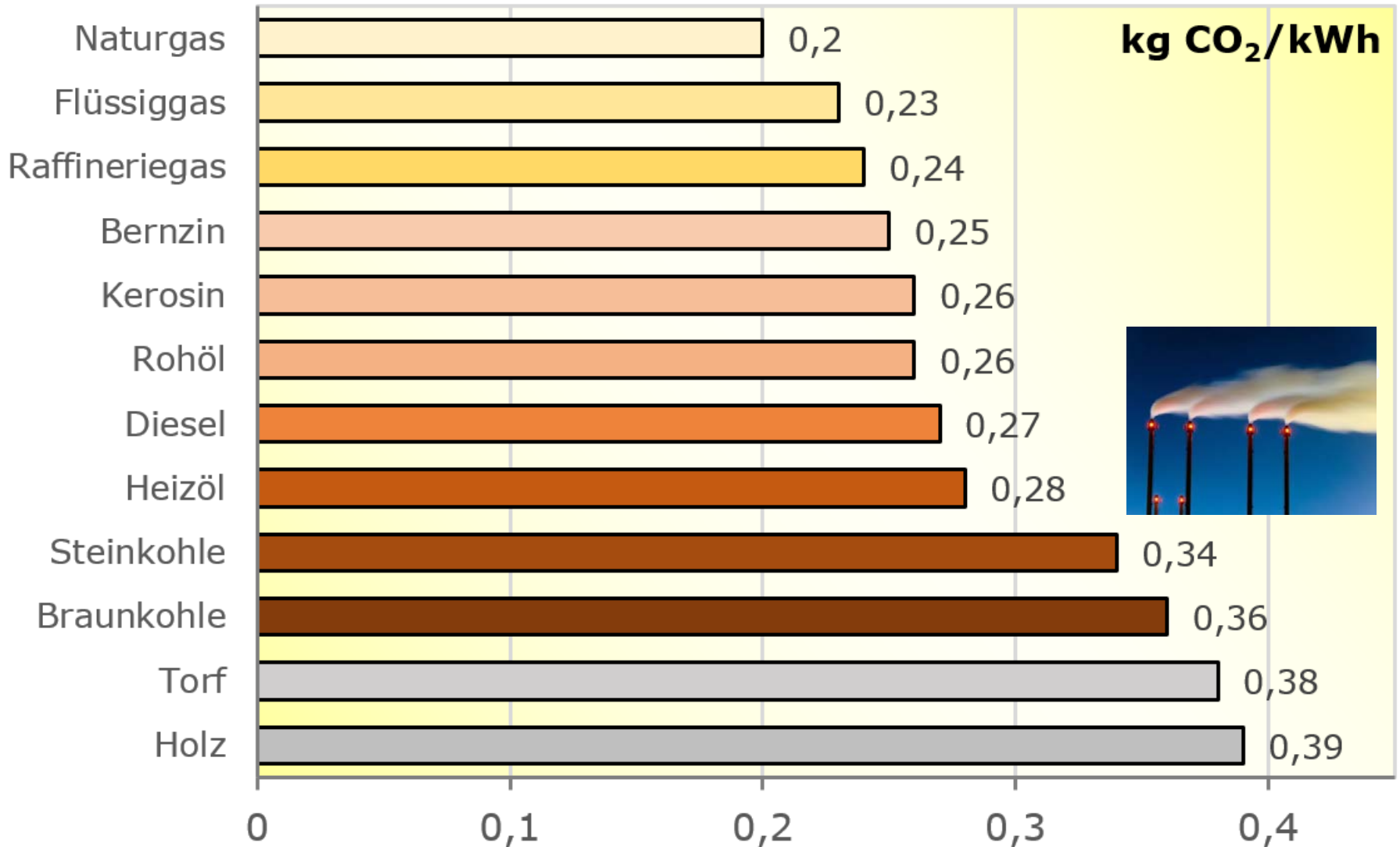
AGENTUR FÜR  
ERNEUERBARE  
ENERGIEN  
[unendlich-viel-energie.de](http://unendlich-viel-energie.de)

# Regenerative Stromerzeugung in Deutschland



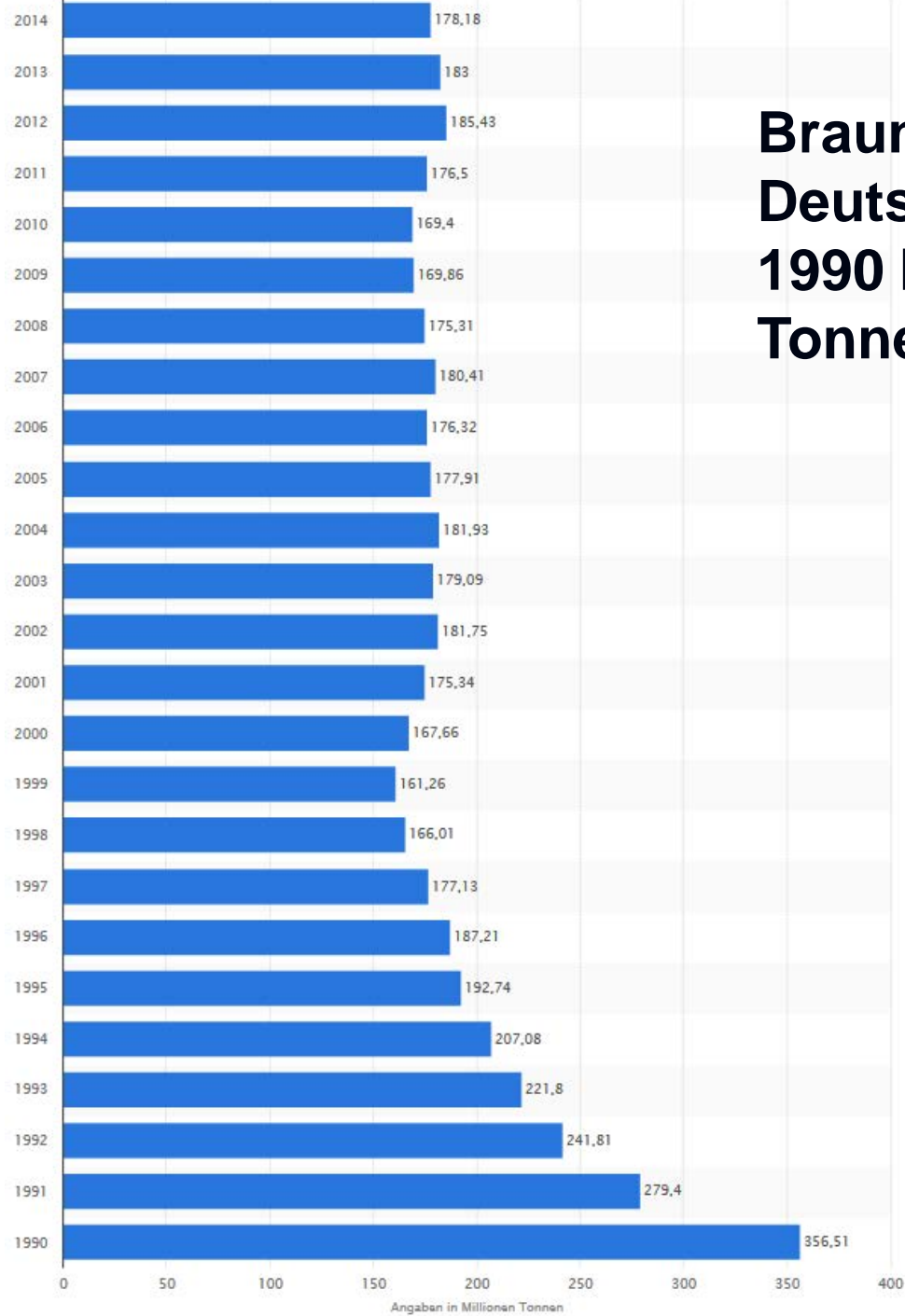
# Braunkohle

Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe

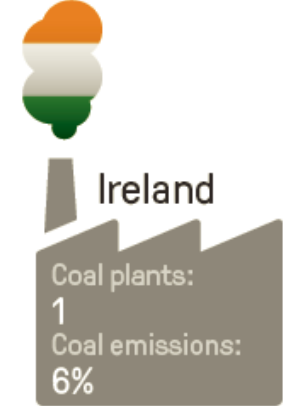
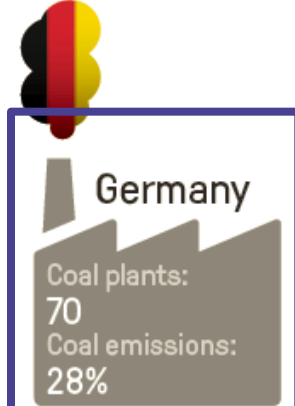
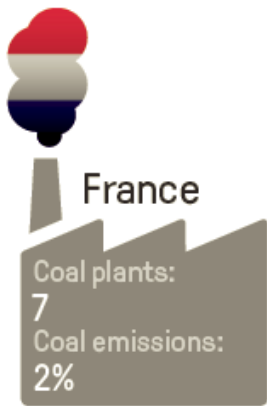




# Braunkohleförderung in Deutschland in den Jahren von 1990 bis 2014 (in Millionen Tonnen)

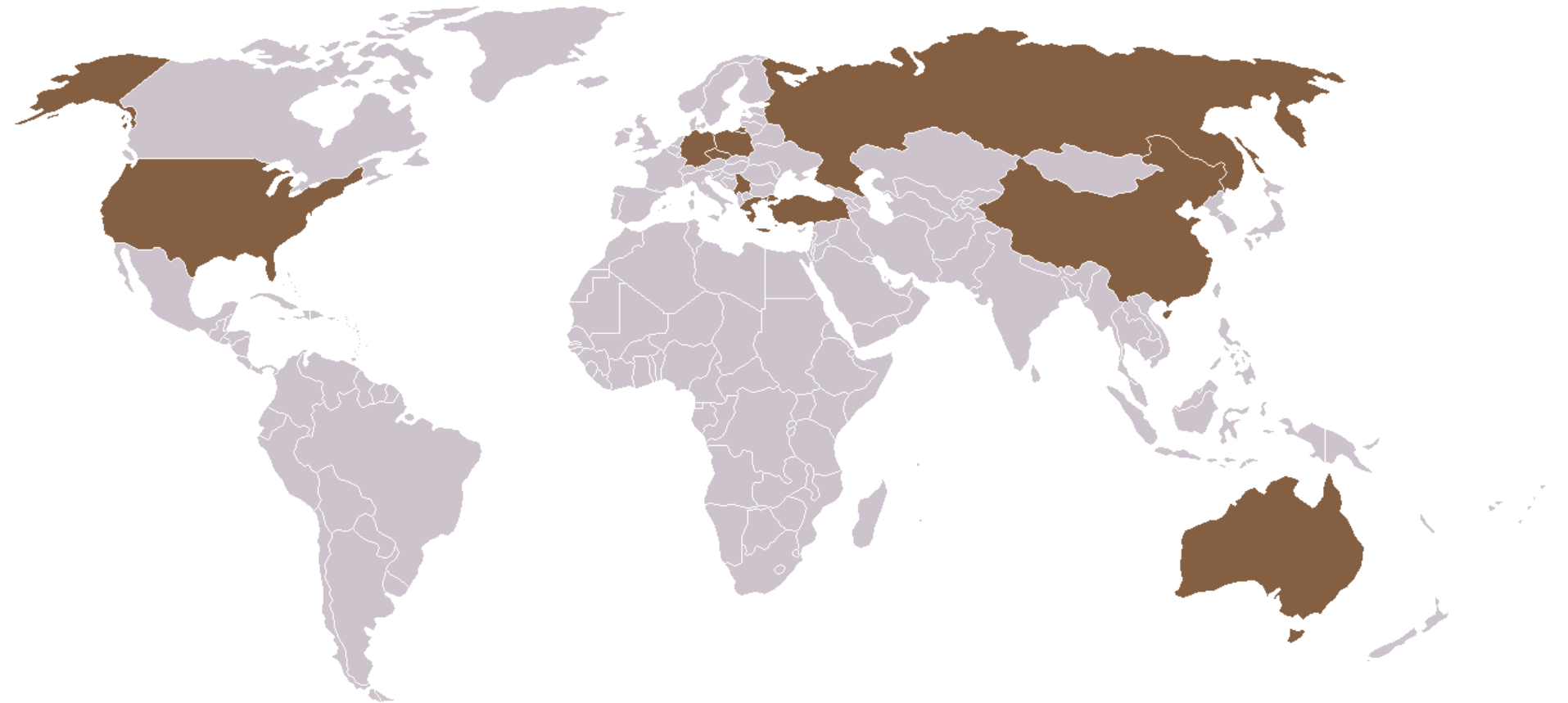


# Anzahl Kohlekraftwerke, EU Staaten 2015



# Braunkohle

10 Staaten haben einen Anteil von rund 78% an der Weltförderung  
Anteil Deutschlands: c. 17%



# Braunkohle

## Fördermengen in Millionen Tonnen nach BGR-Einschätzung

Rang (2009) ▲	Land	1970	1980	1990	2000	2007	2008	2009	Anteil in %	Kumulation in %
1.	Deutschland	369,0	387,9	356,5	167,7	180,4	175,3	169,9	17,2	17,2
2.	China	15,4	24,3	45,5	47,7	97,4	115,0	120,0	12,1	29,3
3.	Türkei	4,0	14,5	44,4	60,9	70,0	81,5	70,5	7,1	36,5
4.	Russland	116,2	141,5	138,5	87,8	71,3	82,0	68,2	6,9	43,4
5.	Australien	24,2	32,9	46,0	67,3	72,3	72,4	68,0	6,9	50,2
6.	USA	5,4	42,8	79,9	77,6	71,2	68,6	65,7	6,7	56,9
7.	Griechenland	7,9	23,2	51,9	63,9	64,4	65,7	64,7	6,5	63,4
8.	Polen	32,8	36,9	67,6	59,5	57,5	59,6	57,1	5,8	69,2
9.	Tschechien	77,0	90,1	76,0	50,3	54,5	46,8	45,6	4,6	73,8
10.	Indonesien	0,0	0,0	0,0	13,8	28,0	38,0	38,2	3,9	77,7
11.	Indien	3,5	5,0	14,1	24,2	32,8	32,2	34,1	3,4	81,2

# Braunkohle

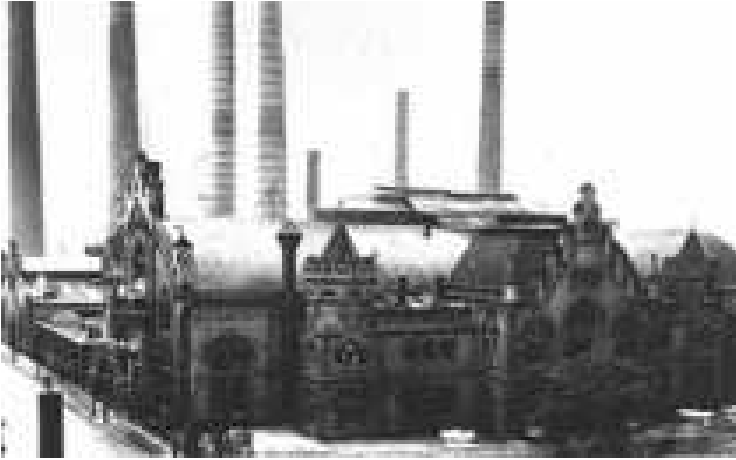
vor der Erfindung der Brikettpresse

Klüttenbäcker  
beim Treten der  
Kohlemasse.  
Im Hintergrund  
die Klüttenhalde





# Die ersten Braunkohlekraftwerke



1900 Erste Stromlieferung aus Kohlekraftwerk RWE-Stammzentrale Essen auf dem Gelände der Zeche Victoria Mathias mit einer Leistung von 1,2 MW



Elektrizitätswerk Berggeist in Brühl um 1906

# Braunkohle

Deutschland baut sich ab

M. Kriener: *Chronik einer Verwüstung*

DIE ZEIT 6. August 2015



*Braunkohletagebau nahe Wezlow in Brandenburg*



# Braunkohle

Abraumförderbrücken in Braunkohlebergbau Jänschwalde



# Braunkohle

Seit 1924 wurden 313 Siedlungen in Deutschland weggebaggert (Devastierung bzw. Ortsinanspruchnahme)

Bergrecht ermöglicht Enteignungen; Hauseigentümern gehört zwar das Grundstück, nicht aber die Bodenschätze darunter

Was wiegt stärker – Energieversorgung oder Recht auf Heimat?

Ist Braunkohleabbau noch mit Energiewende vereinbar?

# Braunkohle



Mölbis (Espenhain) -  
schmutzigster Ort  
Europas

Buschhaus – Dreckschleuder der  
Nation. Bei Inbetriebnahme 1984  
noch ohne Rauchgas-  
entschwefelung



# Buschhaus Debatte

27. Entspricht es der Zielsetzung der Bundesregierung bei der Energiepolitik und der Luftreinhaltepolitik möglichst schadstofffreie Energieträger einzusetzen, um anschließend durch kostspielige und komplizierte Umwelttechnologien die Problemlösungen zu verkomplizieren, wie dies im Falle Buschhaus geschieht?

Nein. Ziel der Bundesregierung ist es vielmehr, die Emissionen bei Anlagen, bei denen der Einsatz schadstoffreicher Energieträger notwendig ist, durch besonders fortschrittliche Reinigungstechniken möglichst weitgehend zu vermindern.



# Braunkohle

## Lausitzer Revier

Zu DDR Zeiten  
industrielles  
Kohlezentrum:  
Braunkohlekombinat  
**Schwarze Pumpe**



Lausitzer Revier mit Kraftwerken  
und Braunkohleabbaugebieten

# Braunkohle

## Lausitzer Revier

Vattenfall zieht sich 2016 zurück (5 Tagebaue 4 Kraftwerke, darunter Jänschwalde). Kohle-Kompromiss statt Klimaabgabe

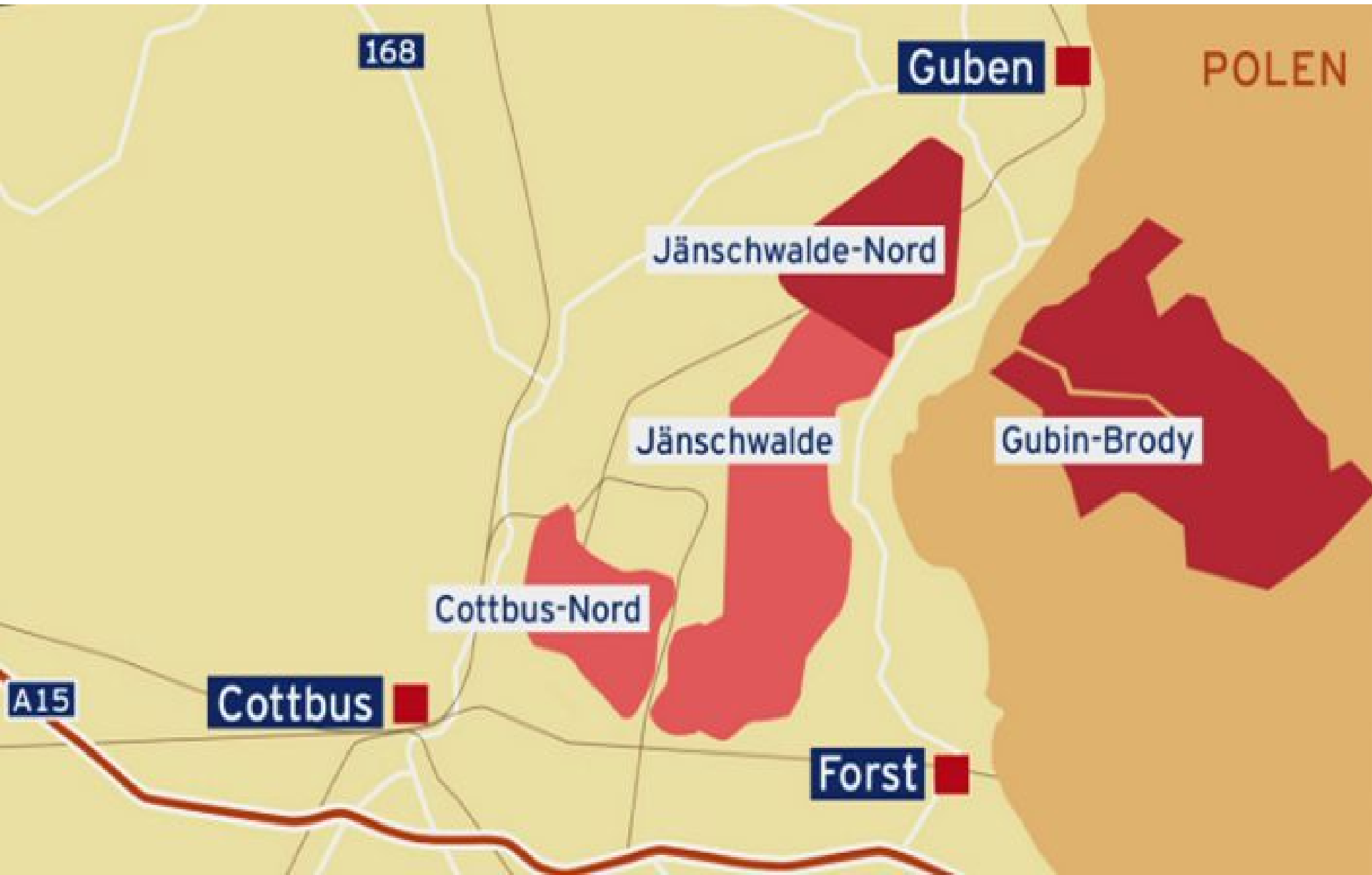


„Restloch“



Tagebau Welzow-Süd (2007)

# Neuer Tagebau in Gubin, Polen, hinter der Grenze



# Der Fall Horno (Rogow)

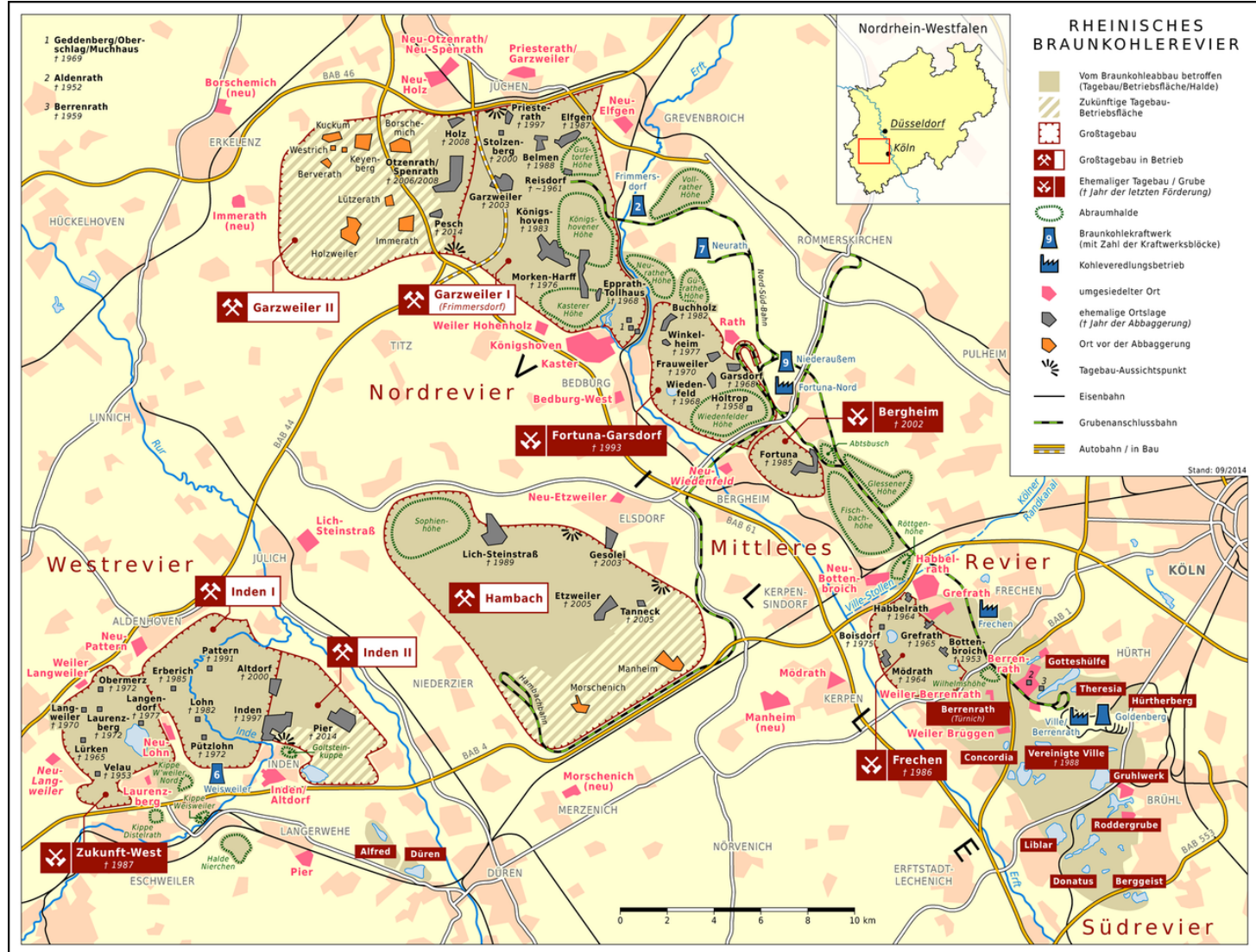


Das Ehepaar Domain kämpfte um  
ihr Haus bis die Bagger kamen



# Braunkohleabbau

## Rheinisches Braunkohlerevier





# Braunkohleabbau

Beispiel Tagebau Garzweiler



Liegt westlich von Grevenbroich

Braunkohle in drei Flözen, zusammen c. 40 Meter mächtig

Zur Stromerzeugung in den nahe gelegenen Kraftwerken

Abbau geplant bis 2045 (1,3 Milliarden Tonnen Braunkohle)

Mit dem Abraum (Löß, Kies, Sand) werden bereits ausgekohlte Bereiche des Tagebaus rekultiviert

# Braunkohleabbau



Betroffene Grubenranddörfer vom Tagebau Garzweiler II. A61 ab 2017 unterbrochen





# Braunkohle

Rekultivierte Gebiete

Hier: Braunkohlelandschaften in Australien



Source: Queensland Resources Council

# Kohle - Verwendung früher

Dampfmaschinen  
Eisenbahn  
Stadtbeleuchtung  
**Stadtgas** oder  
*Leuchtgas – Gasgemisch*

Zusammensetzung von Stadtgas  
(Gaswerk Simmering):

Wasserstoff H<sub>2</sub> (51 %)  
Methan CH<sub>4</sub> (21 %)  
Stickstoff N<sub>2</sub> (15 %)  
Kohlenstoffmonoxid CO (9 %)



*"Einen auf die Lampe gießen"*  
*"Die Lampe an haben"*

# Kohleentstehung

Über die Erdgeschichte hinweg - vom Paläozoikum bis rezent

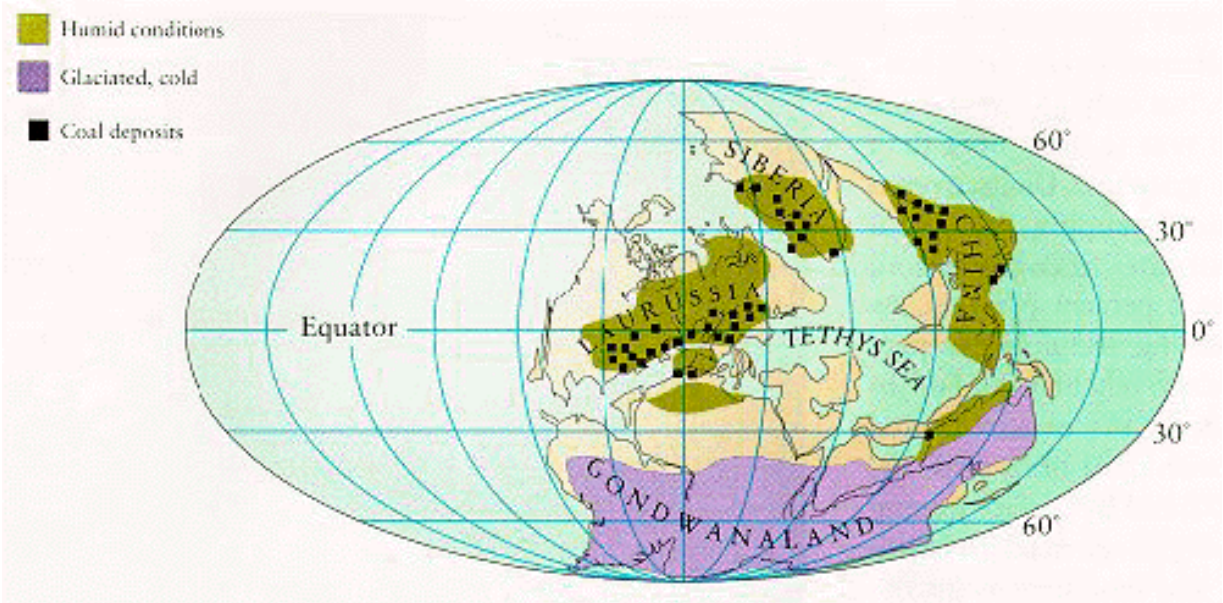
Besonders aber im Karbon (zyklische Bildung)

Auch im Präkambrium (***Shungite*** - aus Algen, Ostfinnland, Russland)

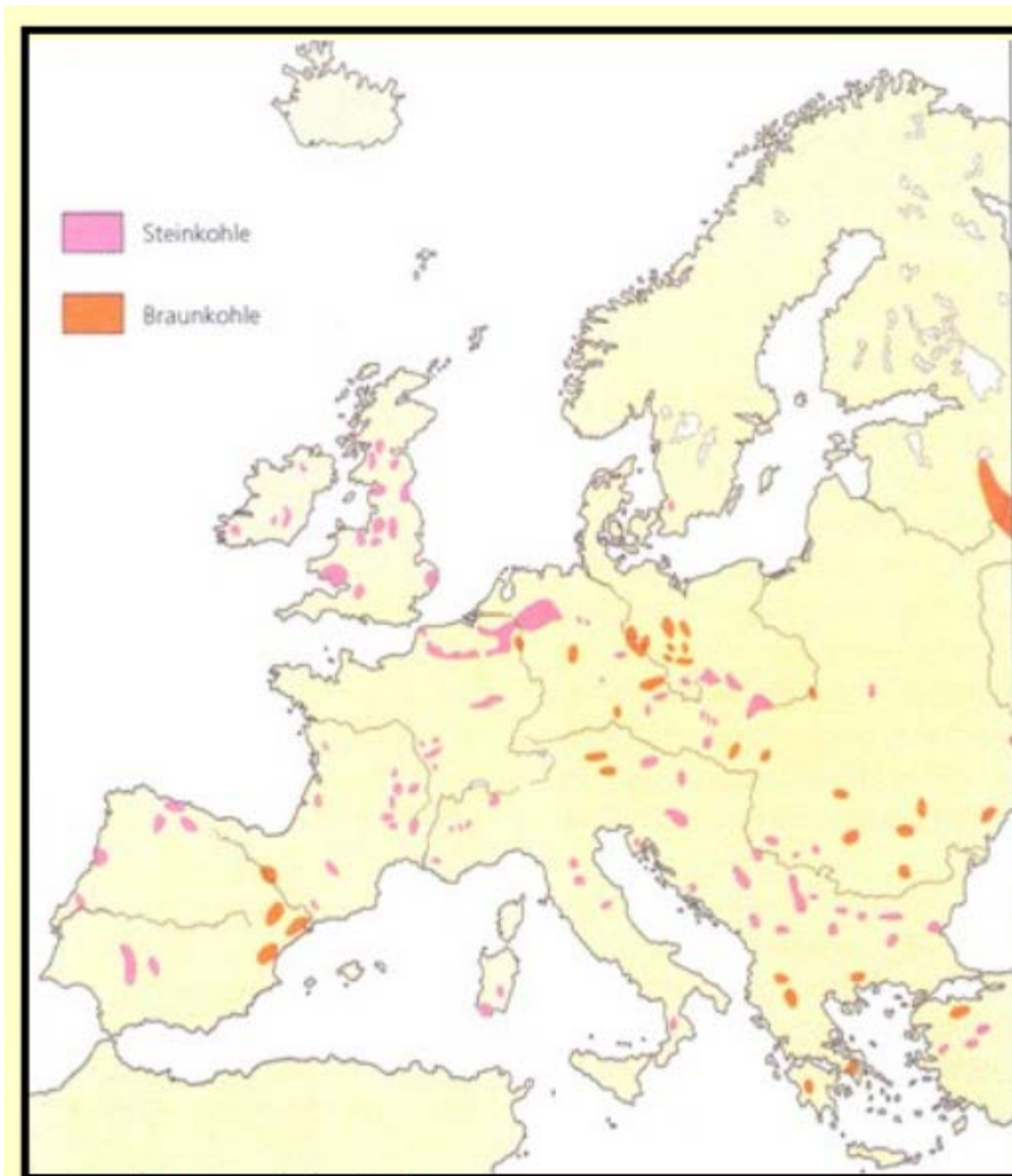
Kohle ist auf allen Kontinenten vorhanden



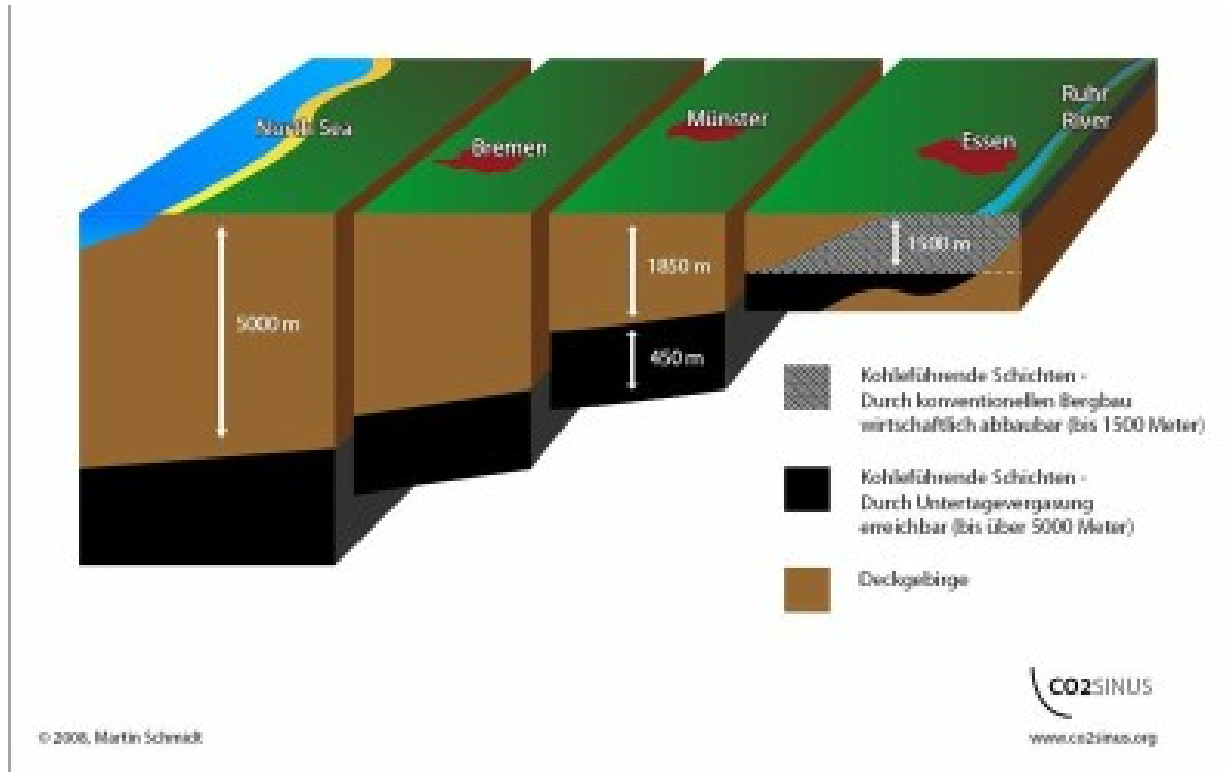
# Kohlevorkommen im Karbon



# Kohlevorkommen in Europa



# Steinkohle in Deutschland



75 abbauwürdige Flöze, von 1-3 m Mächtigkeit  
Abtauchen der Kohle nach Norden mit c. 6°C

# Die Montanunion - 1952

Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl  
Erster Schritt zur europäischen Integration



# Kohle - Definition

Kohle: Sedimentgesteine die über 50% Kohlenstoff enthalten

Torf ≠ Kohle

Graphit – 100% Kohlenstoff, gehört ebenfalls nicht zur Kohle



# Kohleentstehung - Palaeoumwelt

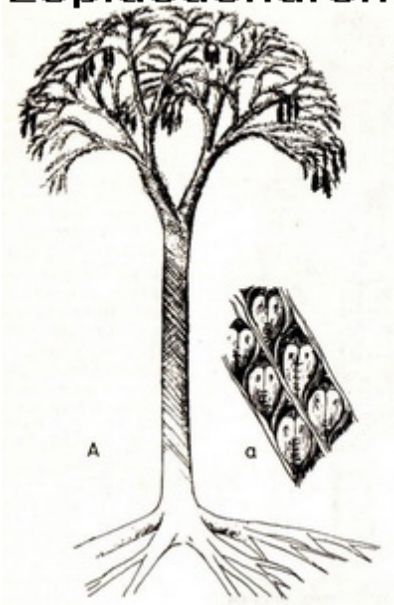
(Sub)tropisches Klima, humide Gebiete, üppige Vegetation

Bärlapp- und Schachtelhalmwälder, Schuppenbäume, ab Karbon Koniferen





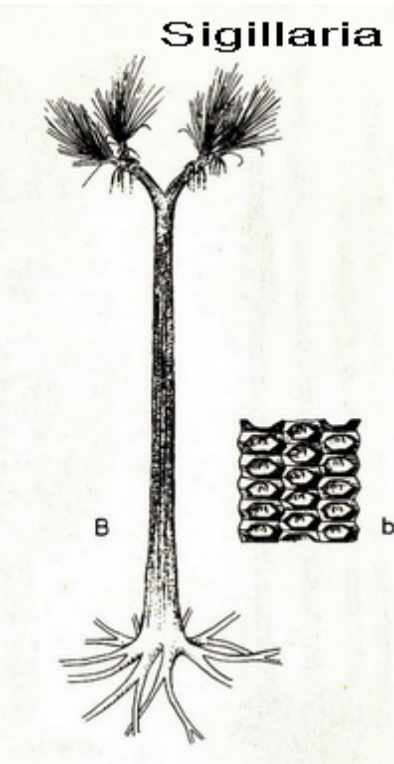
## Lepidodendron



Schuppenbaum (Lepidodendron - bis zu 30 m hoch)



## Sigillaria



Sigillaria (auch Siegelbaum nach dem Blattnarbenmuster)



aus deren Sporen oder Harzen:  
**Kännelkohle**



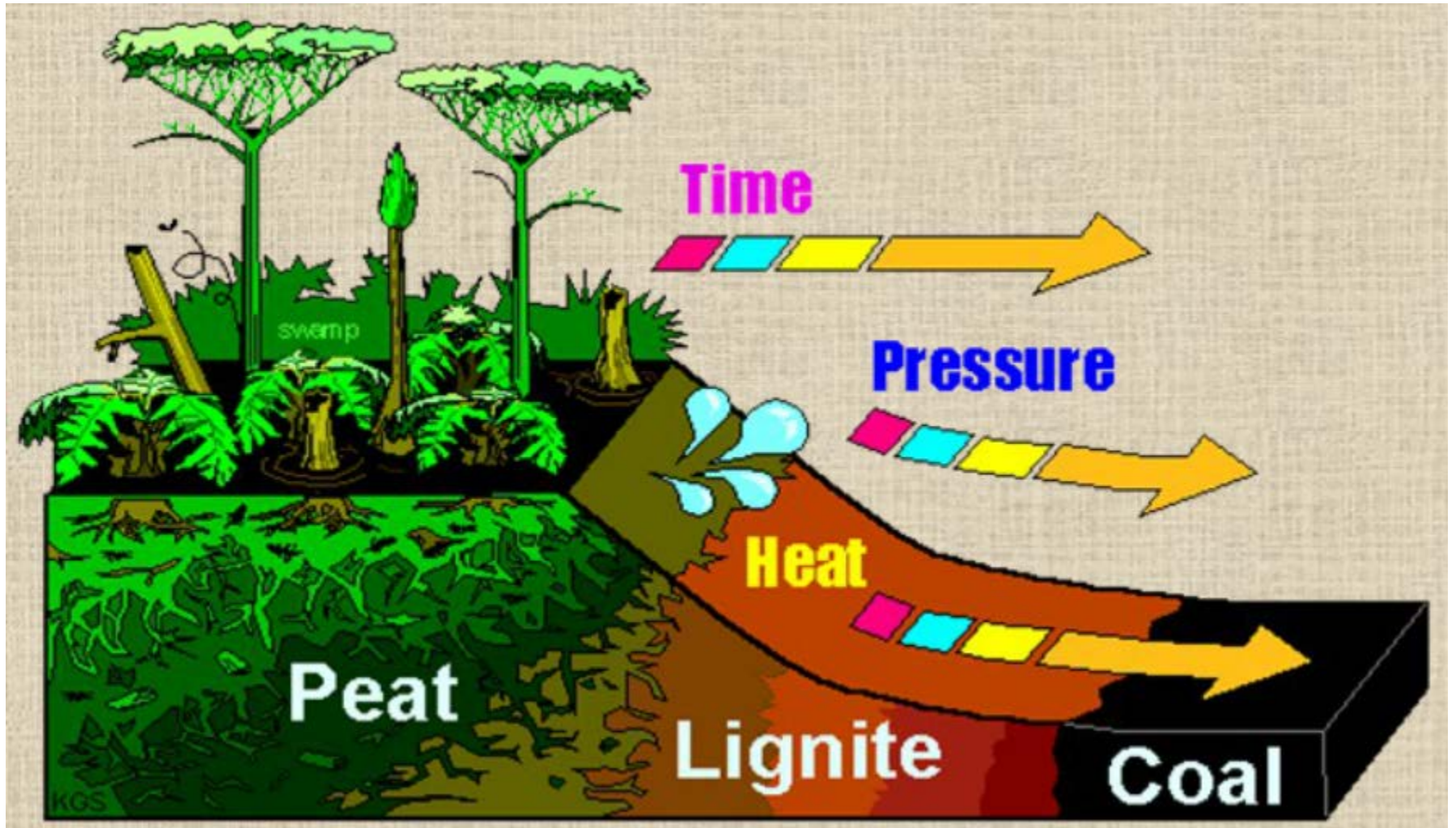
# Rezenter Mangrovenwald

Nationalpark Los Haitises, Dominikanische Republik





# Kohlebildung



# Kohlebildung

## 1. Schritt

Ablagerung organischer Substanz  
unter anoxischen Bedingungen





# Kohlebildung

## 2. Schritt

### Überdeckung und Umwandlung der organischen Substanz

Produkte

Fest: Kohle

Flüssig: Erdöl

Gasförmig: Erdgas

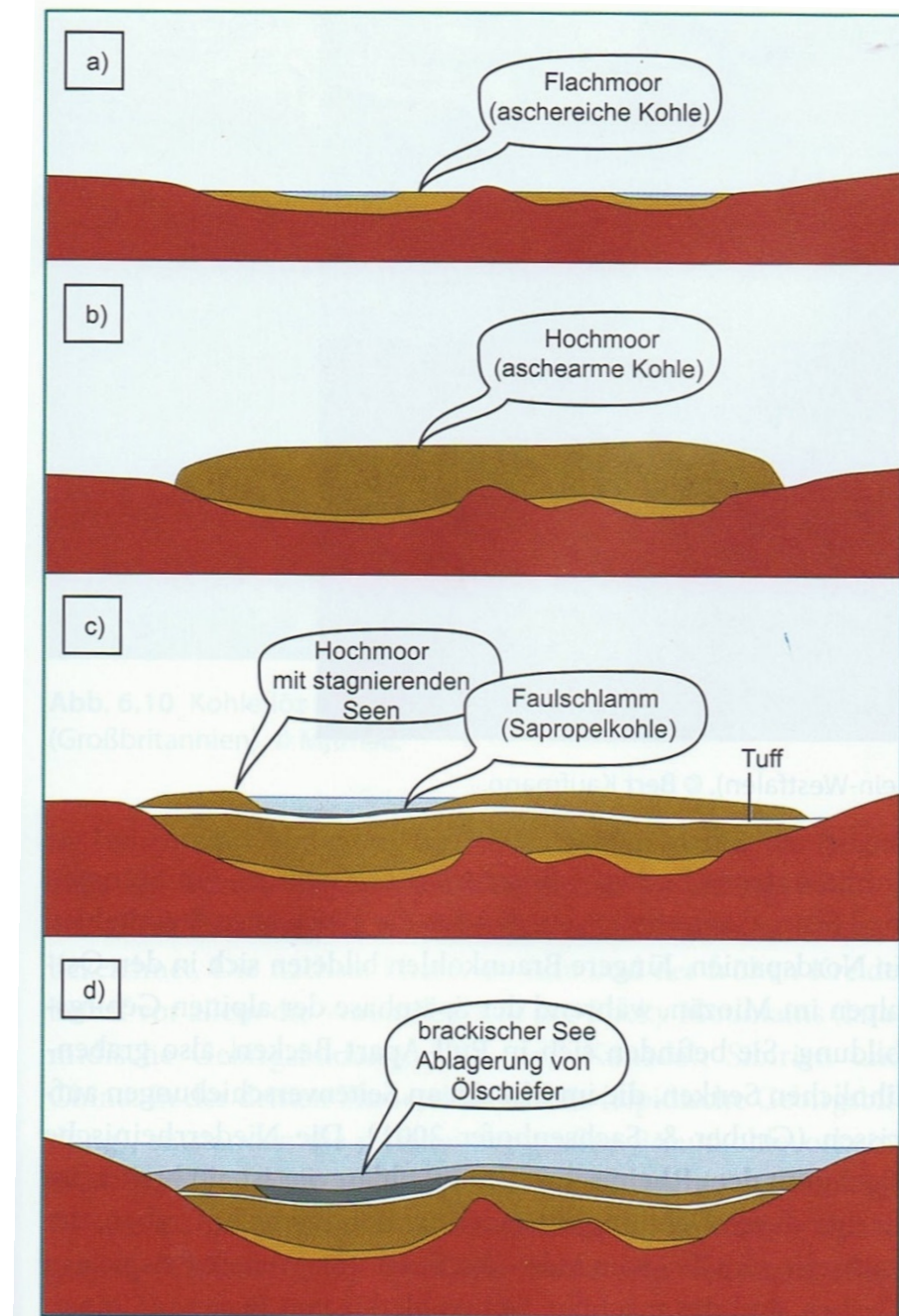
# Entstehung eines Kohleflözes

**Brackwasser bzw. paralisch**

Deltas

Ästuare

Verdünnungsbecken



# Kohlebildung

Mit zunehmender Tiefe in Sediment:

- Kohlenstoff wird angereichert
- Gehalt anderer Komponenten nimmt ab
- Methanfreisetzung → Erdgasentstehung

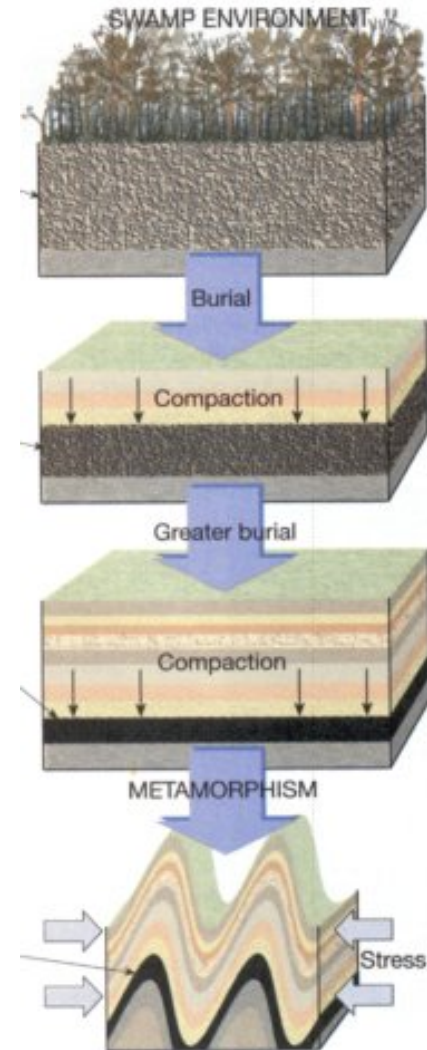
# Kohlebildung und Kohlearten

Torf (peat)

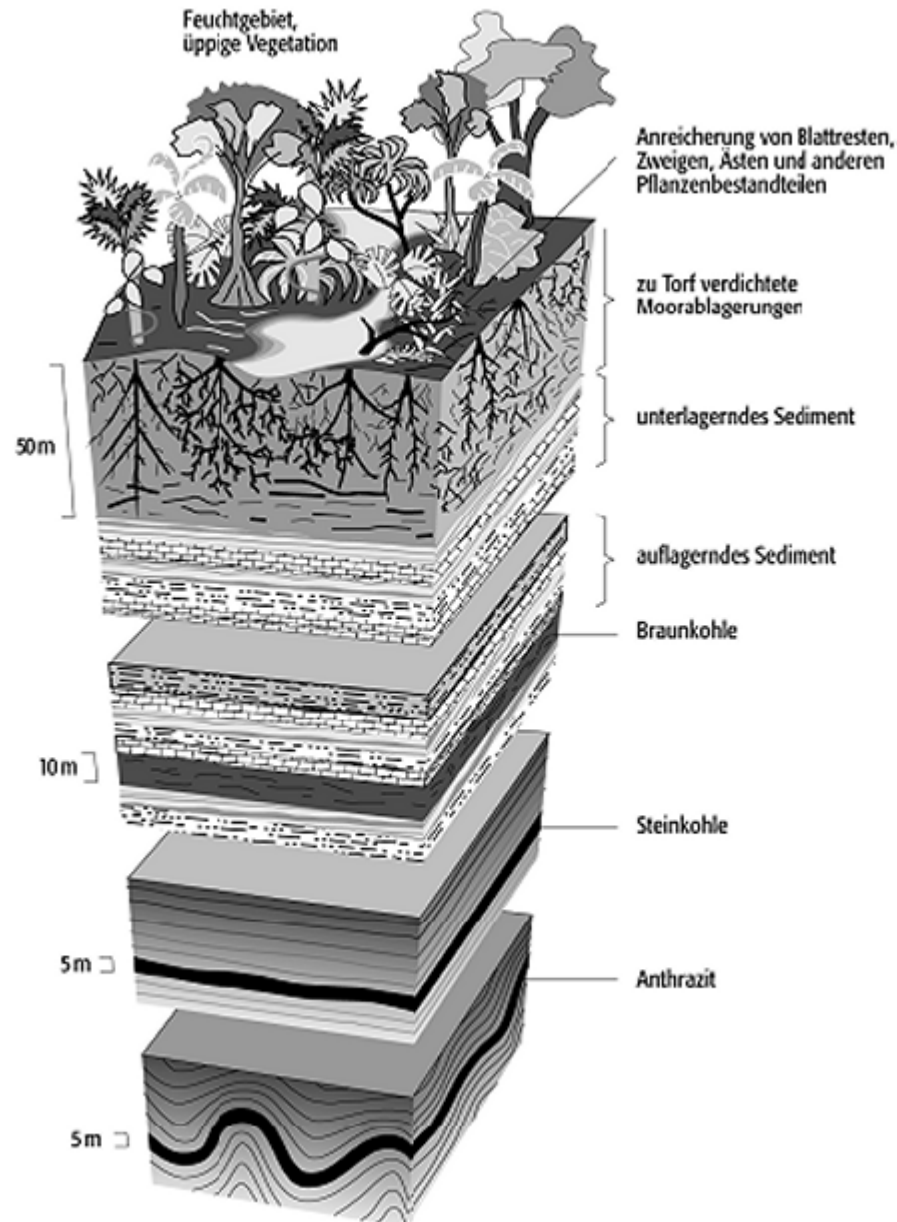
Braunkohle  
(lignite)

Steinkohle  
(bituminous coal)

Anthrazit



# Kohlebildung und Kohlearten





# Kohle-Klassifikation

Einteilung nach der Abnahme von flüchtigen Bestandteilen (Gasen)

<b>German Classification</b>	<b>English Designation</b>	<b>Volatiles %</b>	<b>C Carbon %</b>	<b>H Hydrogen %</b>
<i>Braunkohle</i>	Lignite (brown coal)	45–65	60–75	6.0–5.8
<i>Flammkohle</i>	Flame coal	40-45	75-82	6.0-5.8
<i>Gasflammkohle</i>	Gas flame coal	35-40	82-85	5.8-5.6
<i>Gaskohle</i>	Gas coal	28-35	85-87.5	5.6-5.0
<i>Fettkohle</i>	Fat coal	19-28	87.5-89.5	5.0-4.5
<i>Esskohle</i>	Forge coal	14-19	89.5-90.5	4.5-4.0
<i>Magerkohle</i>	Nonbaking coal	10-14	90.5-91.5	4.0-3.75
<i>Anthrazit</i>	Anthracite	7-10	>91.5	<3.75

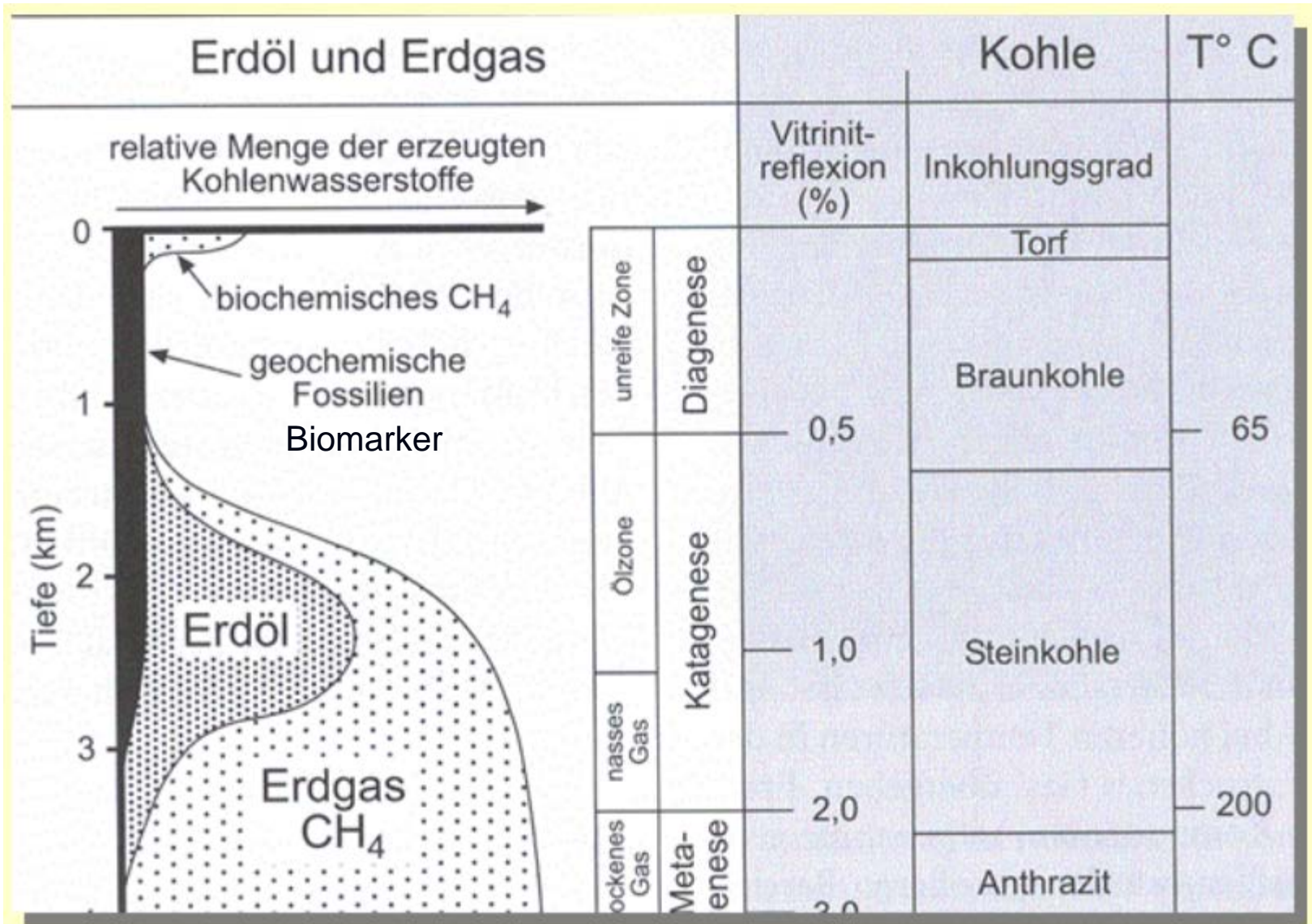
Note, the percentages are percent by mass of the indicated elements

# Klassifikation

	Rang (D)	Rang (USA)	R %	C waf %	H <sub>2</sub> O %
	Torf	<i>peat</i>	0,2		
Braunkohle	Weichbraunkohle	<i>lignite</i>	0,3	60	75
	Mattbraunkohle				35
	Glanzbraunkohle	<i>sub-bituminous</i>	C	71	25
			B		
	Flammkohle	<i>high volatile bituminous</i>	A	77	8-10
Gasflammkohle	B				
Gaskohle	A				
Steinkohle	Fettkohle	<i>medium volatile bituminous</i>	1,2	87	
	Esskohle				
	Magerkohle	<i>low volatile bituminous</i>	1,6		
			1,8		
Anthrazit	<i>semi-anthracite</i>	2,0	91		
Metaanthrazit					
		<i>anthracite</i>			3,0
			4,0		

R = Vitrinitreflexion  
 C waf = wasser- und aschefrei (Brennstoff getrocknet und ohne Asche) Kohlenstoffgehalt abzügl. Wasser & Asche

# Vergleich Kohle, Erdöl und Erdgas





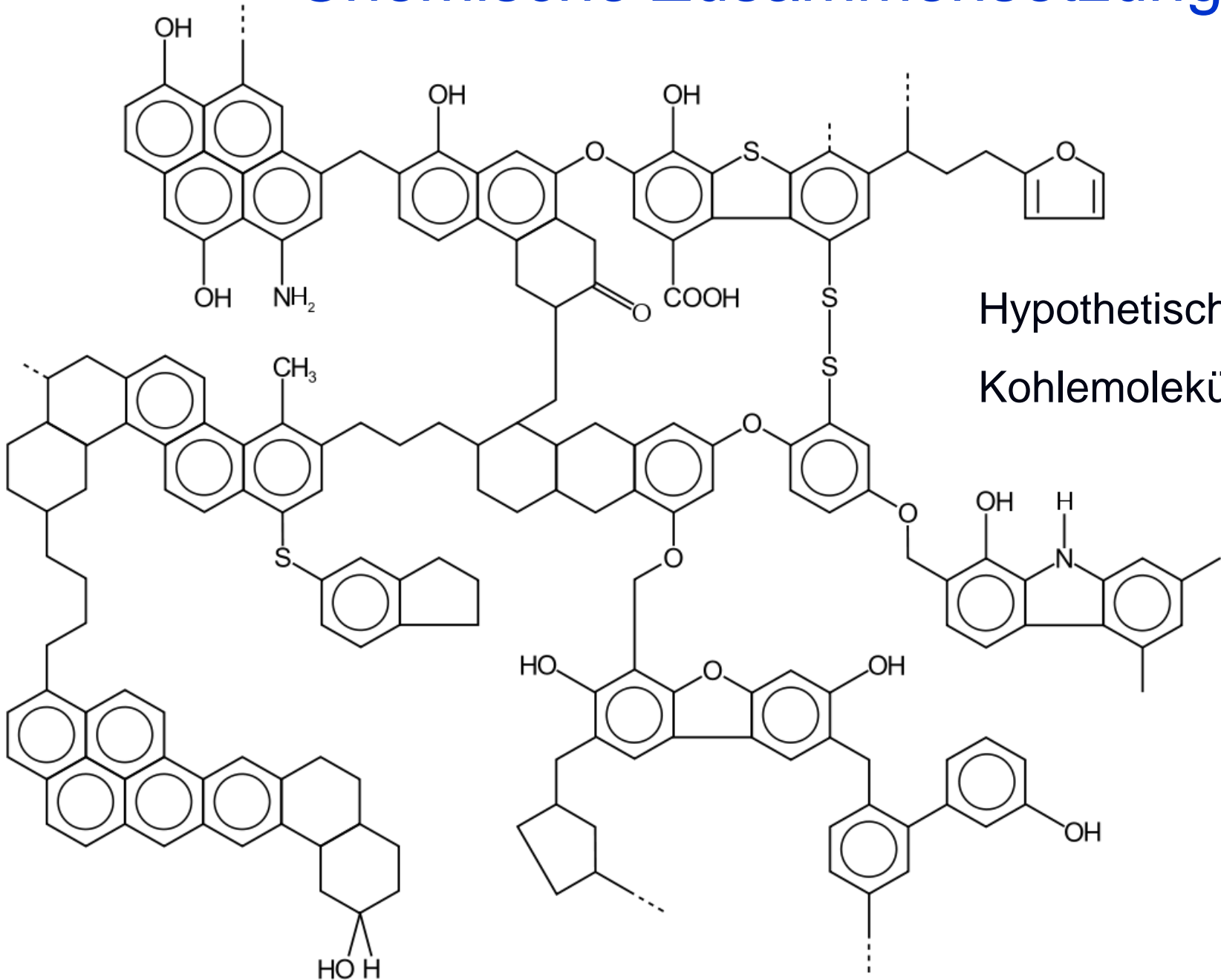


Organische  
Substanz,  
Wasser,  
Mineralstoffe  
  
hauptsächlich  
C, H, O, N, S

<b>Material</b>	<b>Kohlenstoff</b>	<b>Wasserstoff</b>	<b>Sauerstoff/Stickstoff</b>
Holz	50	5	44
Torf	55–64	5–7	35–39
Braunkohle	60–75	4–8	17–34
Steinkohle	78–90	4–6	4–19
Anthrazit	94–98	1–3	1–3
Graphit	100	–	–



# Chemische Zusammensetzung



Hypothetisches  
Kohlemolekül

# Inkohlung

## Biochemische Phase (Vertorfung)

Umwandlung von Zellulose und Lignin in Huminstoffe (Humifizierung) durch Pilze und Bakterien

Pflanzenmaterial → Huminsäuren → Torf

## Geochemische Phase

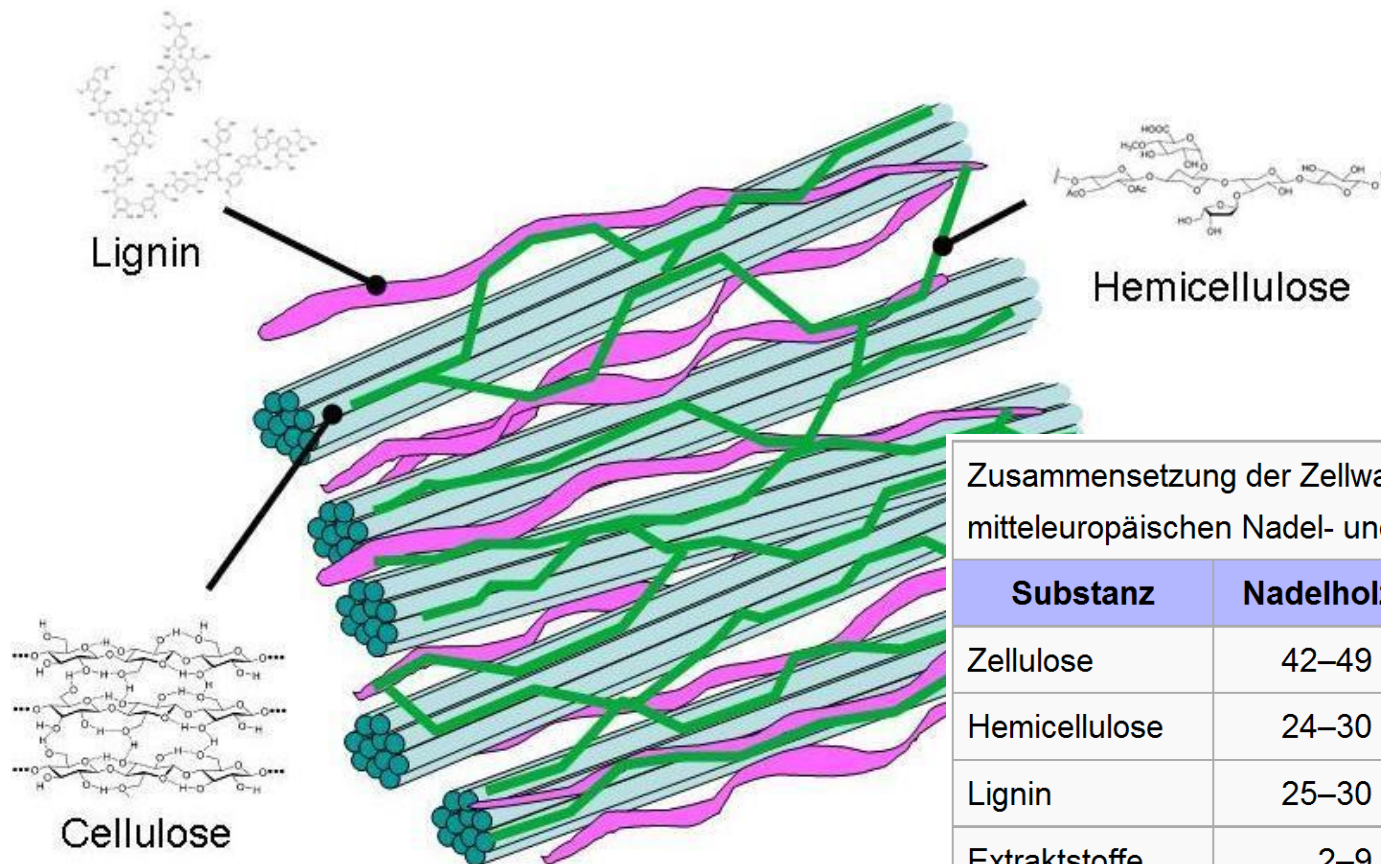
hauptsächlich durch Temperatur- und Druckverhältnisse beeinflusst

Braunkohle → Steinkohle → Anthrazit

# Inkohlung

## Biochemische Phase - Vertorfung

Umwandlung von Biopolymeren (Cellulose und Lignin) in Humisstoffe

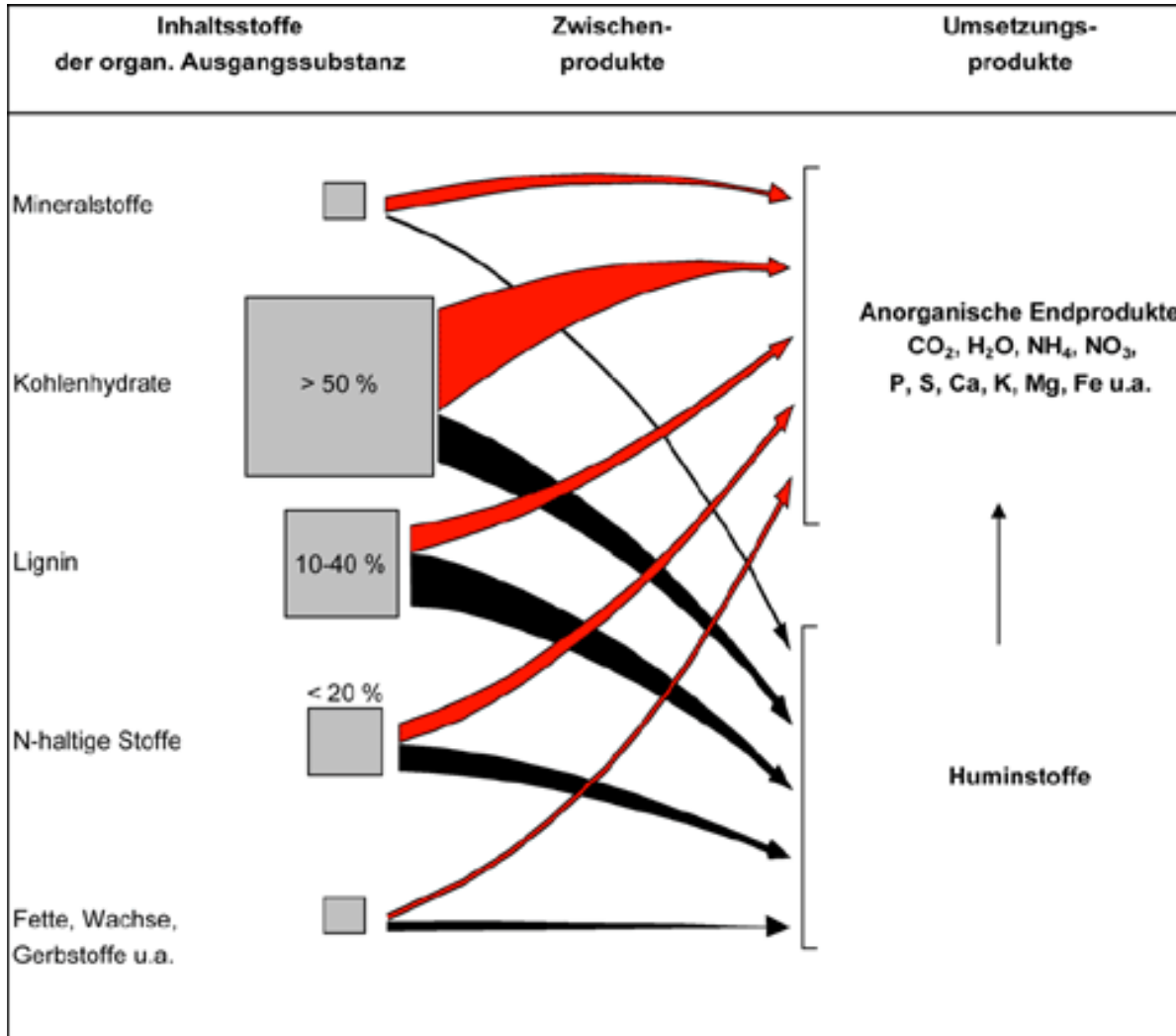


Zusammensetzung der Zellwand bei mitteleuropäischen Nadel- und Laubhölzern<sup>[2]</sup>

Substanz	Nadelholz	Laubholz
Zellulose	42–49 %	42–51 %
Hemicellulose	24–30 %	27–40 %
Lignin	25–30 %	18–24 %
Extraktstoffe	2–9 %	1–10 %
Mineralien	0,2–0,8 %	

# Inkohlung

## Übersicht über die Umsetzungsprodukte



Mineralisierung  
(rot) und  
Humifizierung  
(schwarz) der  
organischen  
Ausgangs-  
substanzen  
(Schröder 1992)



# Inkohlung

## Geochemische Phase

Wassergehalt nimmt weiter ab: Von 75 % am Übergang Torf/Braunkohle bis auf 10 % an der Grenze Braunkohle/Steinkohle.

Kohlenstoffanteil nimmt durch Abgabe von  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  weiter zu.

Während in junger Braunkohle noch **Zellulose** und **Lignin** zu finden sind, verschwindet mit weiterem Fortschreiten des Prozesses zuerst die Zellulose und am Übergang zur Steinkohle auch das Lignin.

Im Steinkohlestadium ist die Abspaltung von Methan bestimmend, es werden aber auch zunehmend Hydroxy-, Carboxy-, Methoxy- und Carbonylgruppen abgespalten. Auf diese Weise bilden sich die gesteinsbildenden Elemente der Kohle, die **Mazerale**.

# Mazerale

organische gesteinsbildende Komponenten der Kohlen  
und Kerogene

bestehen größtenteils aus Pflanzenresten, die unter  
dem Druck überlagernder Gesteinsablagerungen, durch  
die erhöhte Temperatur und das Wirken fluiden Phase  
chemisch umgewandelt wurden

# Mazerale (Kerogene)

## 1. Liptinite

Aus Bakterien und Algen, in Schlämmen als Ölschiefer gebildet. Ausgangsbasis für Öl. Bsp.: Ölschiefer Grube Messel

## 2. Exinite

Marine Ablagerungen aus Plankton und Bakterien, tw. auch aus Sporen, Pollen und Harzen. Bsp.: Pariser Becken

## 3. Vitrinite

Verholzte Pflanzenreste; vergleichbar mit Kohle, kann als Methan-Produzent dienen.

## 4. Inertite

Fast reiner Kohlenstoff (wird als unechtes Kerogen betrachtet)

# Mazerale (Kohle)

*Exinite* umgewandelte Harze, Wachse, Sporen und Pollen; lipidreich; im Fluoreszenzmikroskop gelbe bis rot;

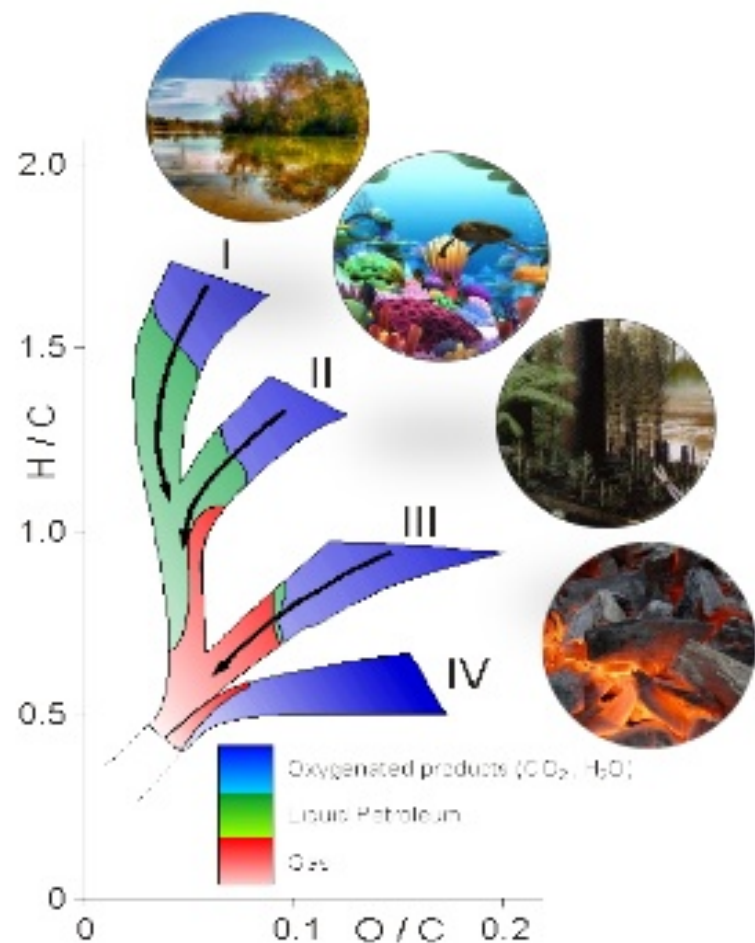
*Vitrinite* Hervorgegangen aus Zellen; Hauptbestandteil der Humuskohlen. Bei hohem Inkohlungsgrad zunehmender Glanz.

*Inertinite* nicht brennbare Mazerale (frühzeitig oxidiertes organisches Material bzw. bereits verbranntes Pflanzengewebe). Zellstrukturen noch immer zu erkennen (z. B. von Pflanzenharzen oder Pilzresten).



# Kerogen Types

- Type I kerogens
  - Lacustrine organic matter
  - High H/C (> 1.5), Low O/C (< 0.1)
- Type II kerogens
  - Marine organic matter
  - High H/C (~0.1), Low O/C (~0.1)
- Type III kerogens
  - Land organic matter
  - Low H/C (<0.1), High O/C (<0.3)
- Type IV kerogens
  - No petroleum potential



## Types of Kerogen and Their Hydrocarbon Potential

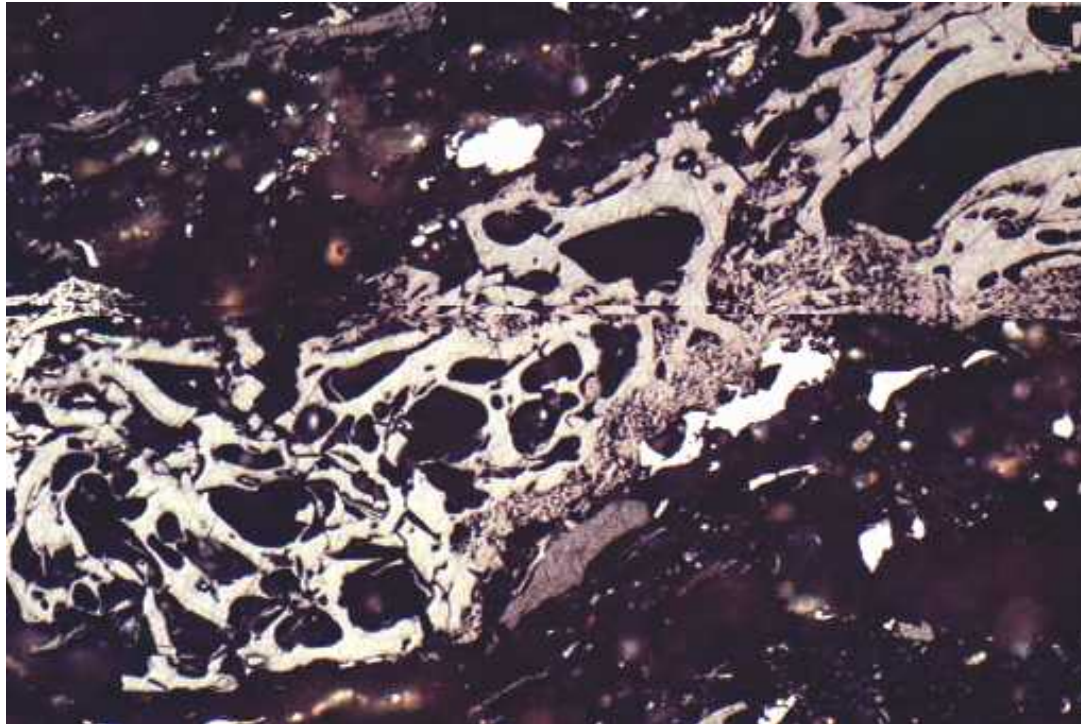
Environment	Kerogen Type	Kerogen Form	Origin	HC Potential
Aquatic	I	Alginite	Algal bodies	Oil
		Amorphous Kerogen	Structureless debris of algal origin	
			Structureless planktonic material, primarily of marine origin	
Terrestrial	II	Exinite	Skins of spores and pollen, cuticle of leaves and herbaceous plants	Gas, some oil
			III	
	IV	Inertinite		Oxidized, recycled woody debris

# Vitrinite

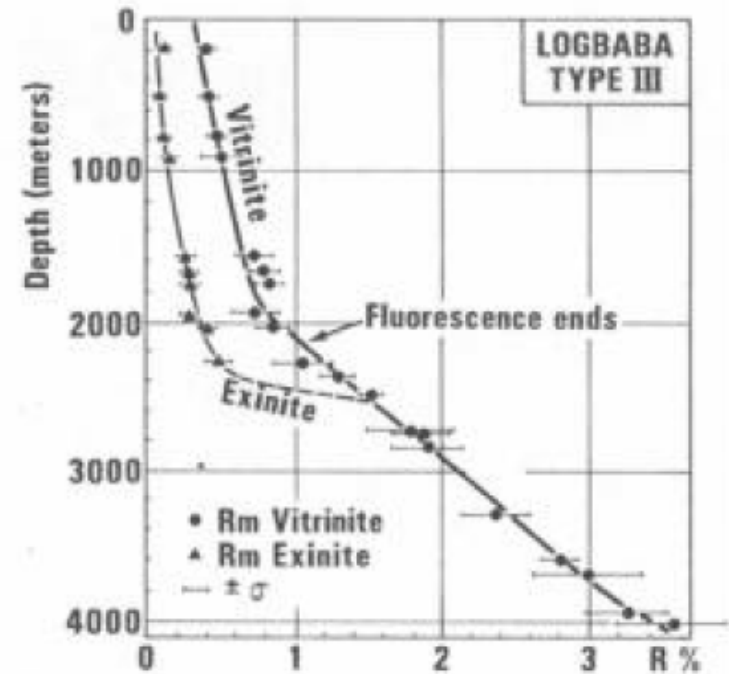
Hauptbestandteile der Humuskohlen

gehen aus der **Humifizierung** holzigen Materials hervor, sind von dunkelbrauner bis schwarzer Eigenfarbe, im Durchlichtmikroskop opak, und zeigen einen bei hohem Inkohlungsgrad zunehmenden Glanz

# Vitrinitreflexion



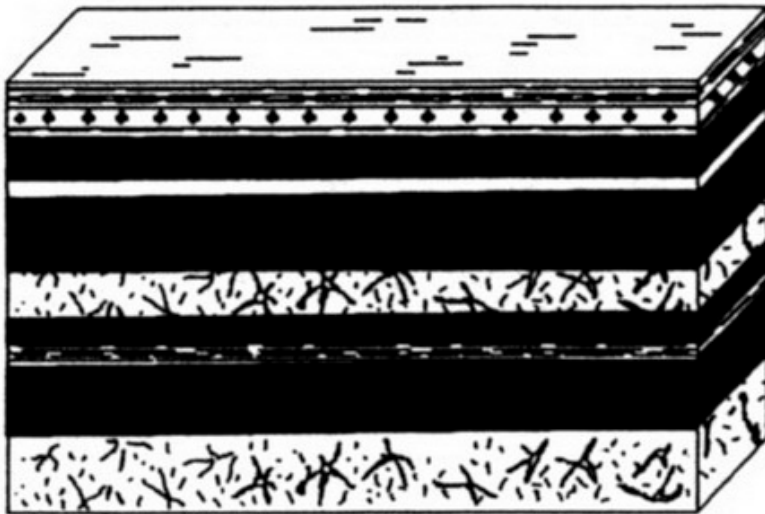
Helles Vitrinitband mit noch erkennbarer zellulärer Struktur des organischen Materials. Die gemessene Reflexion ( $R_m$ ) liegt bei ca. 1,7%. Bildbreite = 300  $\mu\text{m}$ .





# Flözausbildungen

1. Normale Ausbildung  
Paket aus Kohle mit Einlagerungen  
von Sanden, Schluffen oder Tonen  
(Bergemitteln)



**Einlagerung von Bergemitteln**

2. Vertaubung – Auskeilen der  
Flöze



**Flözvertaubung**

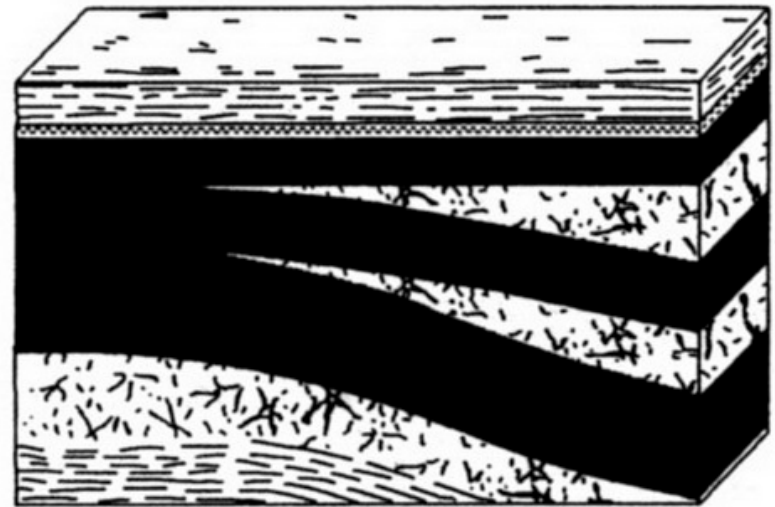
# Flözausbildungen

3. Sandsteineinlagerung –  
entstanden bei Schlammlawinen  
oder extremen Hochwässern



**Sandsteineinlagerung**

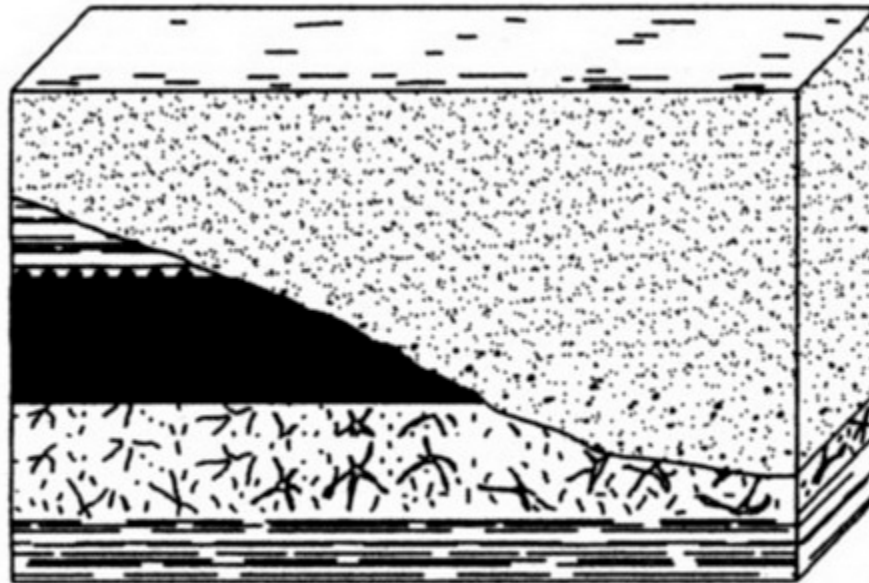
4. Flözscharungen - wenn sich ein  
Teil eines Steinkohlensumpfs  
längere Zeit absenkte und  
Bergemittel eingeschaltet wurden,  
dass heute getrennte Flöze  
vorliegen



**Flözscharung**

# Flözausbildungen

## 5. Auswaschungen durch Flußläufe



**Ausgefüllte Erosionsrinne**

An aerial photograph of a vast open-pit coal mine. The foreground and middle ground are filled with dark, terraced layers of coal and earth, showing the extensive scale of the excavation. In the far distance, a power plant with several cooling towers and smokestacks is visible, with white steam or smoke rising from it. The sky is filled with heavy, grey clouds, with some light breaking through near the horizon.

# Abbau methoden



# Kohleabbau und Abbaumethoden

## Steinkohle

Mienerarbeiter 1942



Jahrhundertlang war der Einsatz von Muskelkraft gefragt

heute

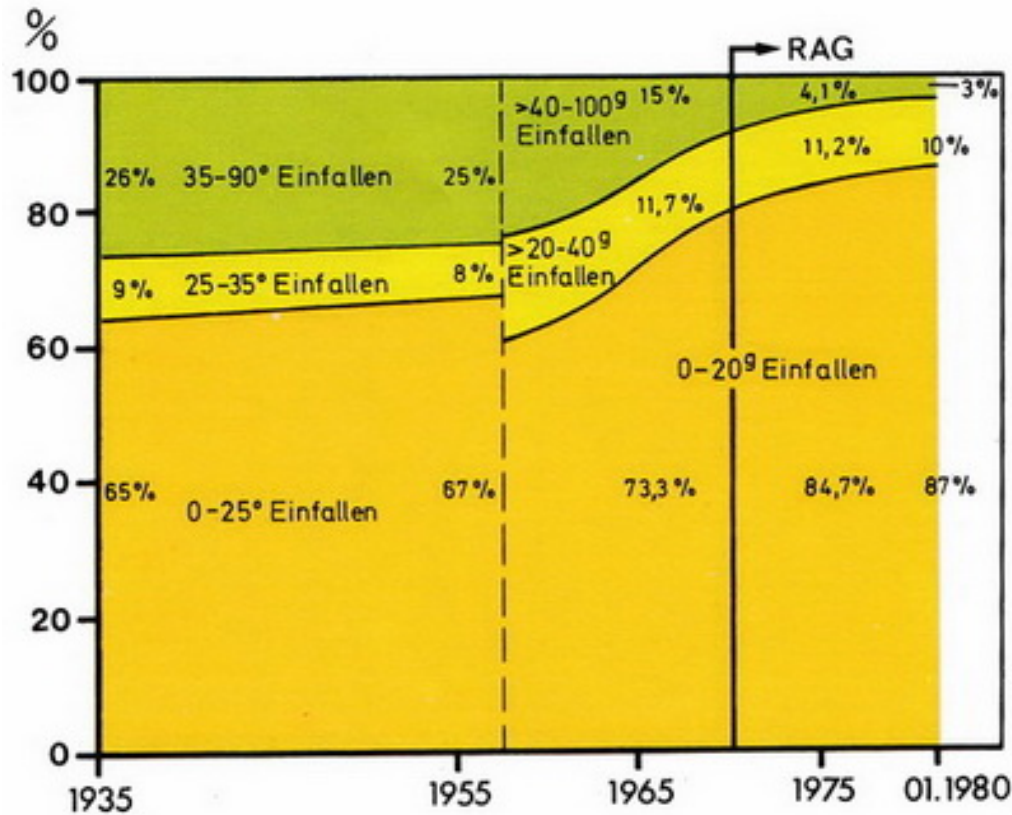


Source: Queensland Resources Council

Schildausbau. Kohlegewinnung mit sog. Walzenschrämladern. Schilde wandern mit dem Abbau im Flöz

# Abbaumethoden

## Steinkohle – Ruhrgebiet



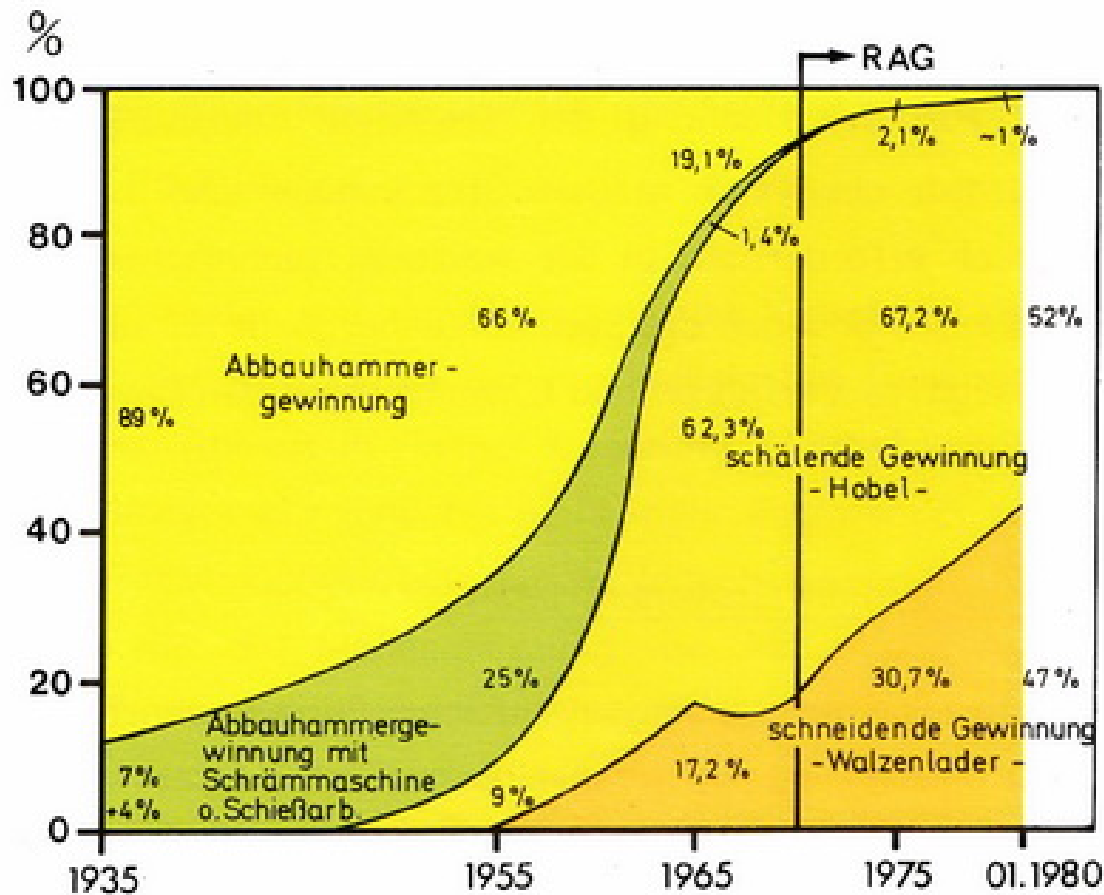
Zusammenhang zwischen Abbau und Lagerung der Flöze.

Presslufthämmer nur noch bei der Vorrichtung eines neuen Abbaubetriebes und vereinzelt beim Abbau sehr hochwertiger Kohle in steiler Lagerung

# Abbaumethoden

## Steinkohle – Ruhrgebiet

Veränderung der Abbautechniken über die Zeit



Schrämmaschine



Kohlenhobel



Walzenlader



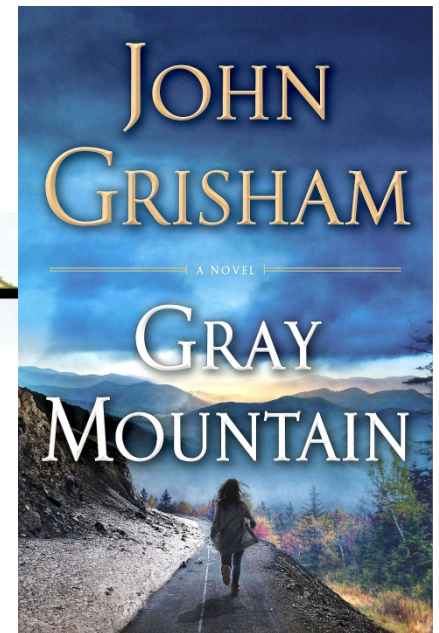
# Steinkohleabbau USA

*Mountaintop removal mining, Bergbau durch Gipfelabsprengung*

verbreitetste Kohlegewinnungsart in den Appalachen  
nach dem Kohleabbau bleibt ein künstliches Bergplateau zurück



von den 1970er  
Jahren bis 2008  
rund 500  
Bergkuppen  
abgetragen.





# Abbaumethoden

## Braunkohle

Braunkohle wird nur im Tagebau gewonnen

Gewinnung unter Tage wegen der lockeren tertiären Deckschichten in Deutschland nicht möglich

*Tenova TAKRAF*



# Abbau früher: mit Schrämbaggern (ab 1907)

*„Eiserner Mann“*





# Abbau heutzutage mit Schaufelradbaggern







Größen-  
vergleich  
zwischen  
Schaufel-  
radbagger  
(1556SRs)  
und Mobil-  
bagger



# Braunkohleabbau



# Braunkohleabbau



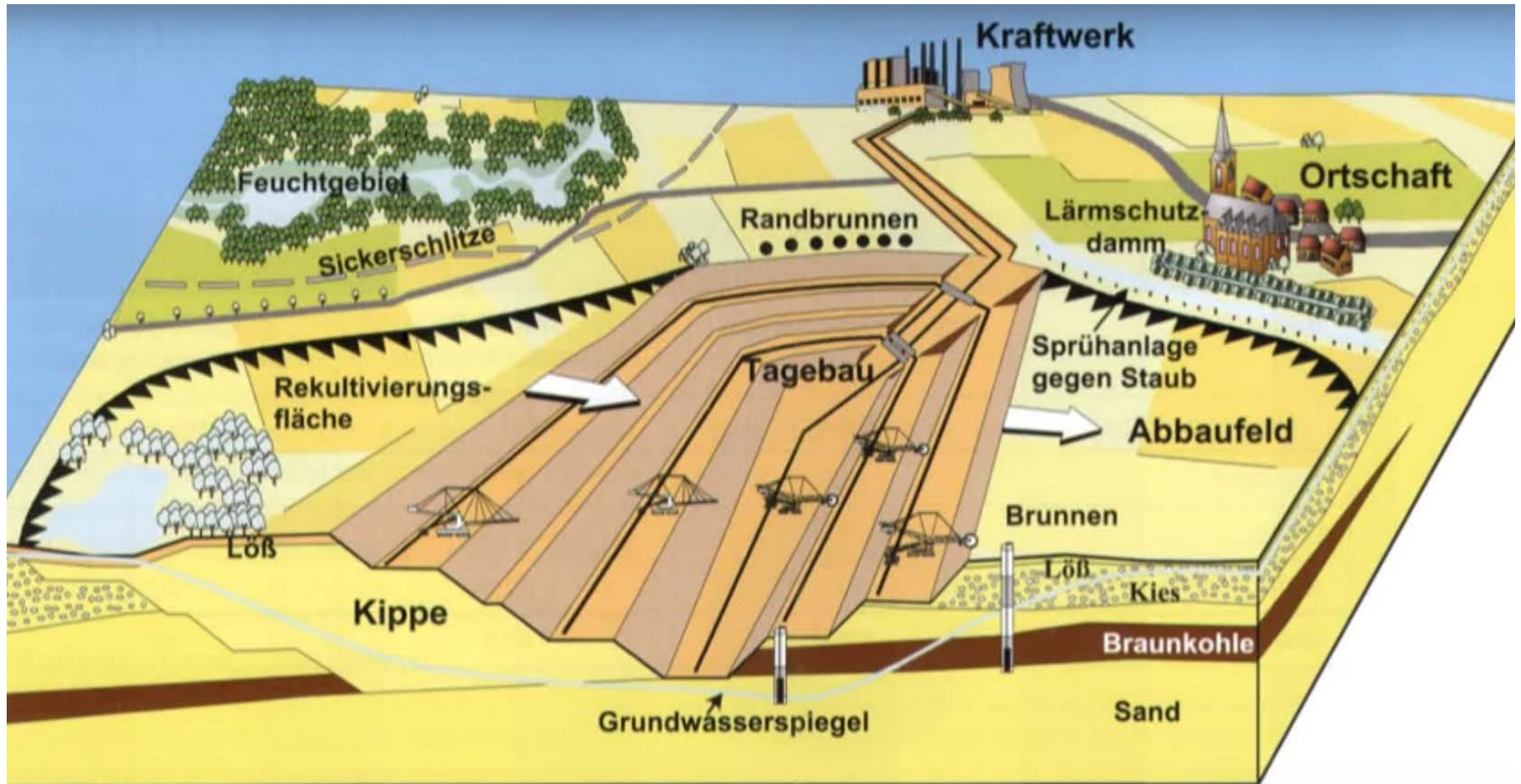
Tagebau terrassenförmig aufgebaut.

Förderkombination Bagger-**Bandanlagen**-Absetzer

Fortschreiten des Tagebaus von links nach rechts (weiße Pfeile)

Verfüllung bereits ausgekohlter Bereiche (Gewinnungsseite, Verkippungsseite)

Rekultivierung



▼▼▼ Abbaugrenze



# Braunkohleabbau



Schaufelrad im Einsatz





# Ferropolis





# Bergschäden und Grubenunglücke

Brennende Kohleflöze

Schlagwetterexplosionen

Kohlestaubexplosionen



# Kohleflözbrände

Entstehen spontan durch Selbstentzündung

Auch nach der Umlagerung „brennende Halden“

Oberflächennahe Brände in ausstreichenden Flözen (Sauerstoff aus der Luft)

Brände in Bergwerken (Sauerstoff aus Bewetterung)

# Kohleflözbrände

**physikalische Adsorption** von Sauerstoff findet bis zu einer Temperatur von etwa 50°C - liefert 42 kJ/mol

**chemische Oxidation** von Kohlenstoff zu CO oder CO<sub>2</sub> über Zwischenstadien. In der Summe liefern die Reaktionen





# Kohleflözbrände

„Brennender Berg“ im saarländischen Dudweiler (1668 bis heute)





# Bergschäden und Grubenunglücke

Brennende Kohleflöze

Schlagwetterexplosionen

Kohlestaubexplosionen



# Spontane Kohleflözbrände



## **Selbstentzündung – Auslöser/Faktoren:**

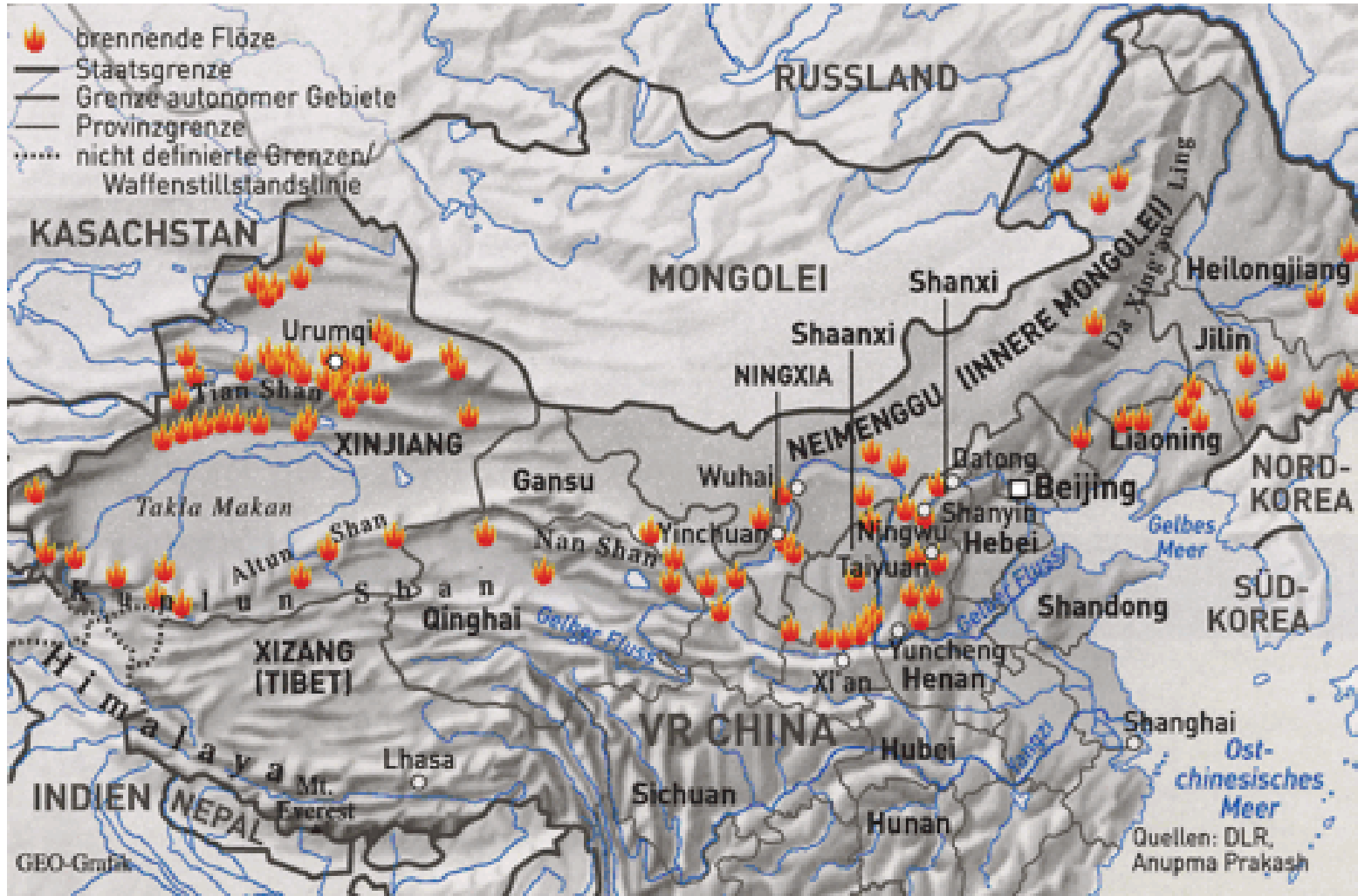
Schüttungsgröße

Umgebungstemperatur

Luftzirkulation, Kohleart, Partikelgröße

# Kohleflözbrände in China

Sino-German Coal Fire Research 2003-2010



In China verbrennen auf diese Weise jährlich ~20 Mio Tonnen Kohle,



# Brennende Kohle, brennendes Gas und Vulkanismus



*Tor zur Hölle (1971-heute), Turkmenistan*

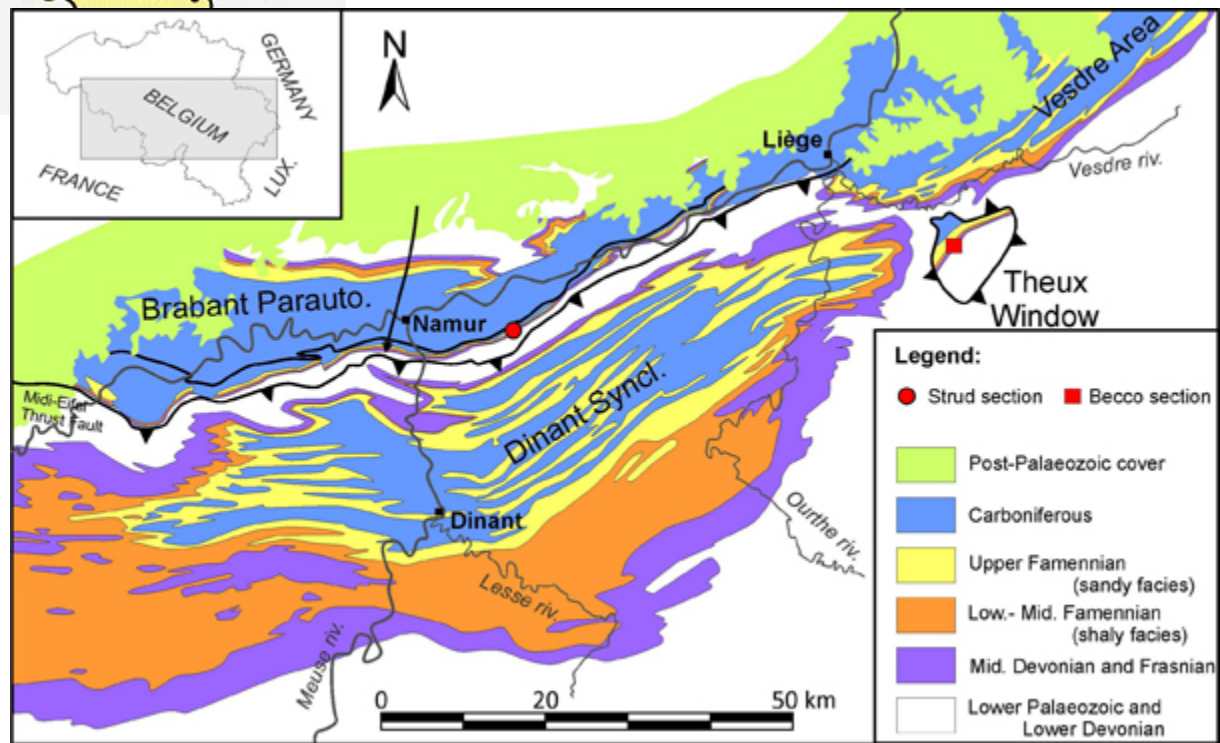
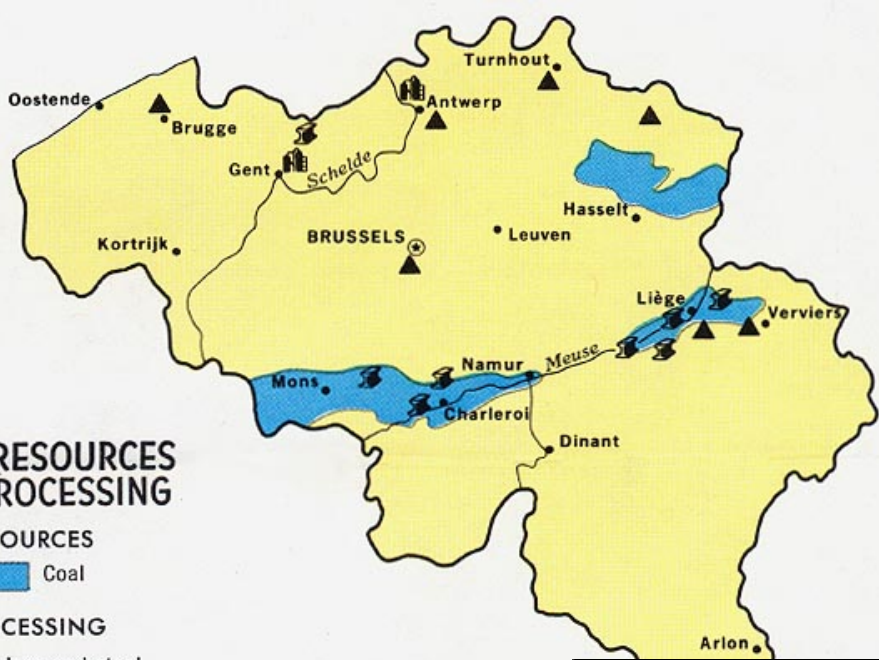
*Krater von Derweze*

Die Vorstellung dass  
brennender Kohleflöze  
Ursache der  
unterirdischen Wärme  
und Vulkanismus seien  
hielt sich über 250  
Jahre (von Agricola bis  
Abraham Gottlob  
Werner)

# Schlagwetter und Kohlenstaubexplosionen



In **Courrières** kamen 1906 bei einer Schlagwetterexplosion über tausend Menschen ums Leben. Die Smog-Katastrophe von London kostete im Dezember 1952 fast 4000 Menschen das Leben.





# Schlagwetter Marcinelle 1956





# Schlagwetterexplosion Luisenthal 1962

Schlagwetterexplosion häufig Vorläufer und Auslöser von Kohlenstaubexplosionen



Schlagwetterexplosion hat Kohlenstaub aufgewirbelt und dieser hat sich dann entzündet

# Weitere Kohlearten

## Humuskohlen

(aus Pflanzenresten)

## Sapropelkohle

(aus Faulschlamm)

**Boghead Kohle** (aus Algen)

**Cannel Kohle** (von engl.:  
*candle* = Kerze, aus Sporen)

**Dysodil** Blätterkohle, Papierkohle

Mit zunehmendem Mineralgehalt  
(Tongehalt) Übergang in  
**Schwarzschiefer**



Kunstobjekte aus Cannelkohle

# Sapropel

entsteht unter natürlichen Bedingungen am Grund nährstoffreicher, stehender Gewässer

Umwandlung des organischen Material erfolgt bei Abwesenheit von Sauerstoff:  
sauerstofffreies (**anoxisches**) und  
reduzierendes, sulfidisches (**euxinisches**)  
Milieu

→ Sapropelit



# Sapropel

## Bekannte fossile Faulschlämme

Devonische Schwarzschiefer (Dachschiefer)

Kupferschiefer

Posidonienschiefer

Ölschiefer Messel

Bituminöse Schiefer und Faulschlammkohlen (Dysodil) von Sieblos, Rhön

# Sapropelle im Mittelmeer



*Miozäne Sapropellagen, Sizilien*



# Weitere Sapropelkohlearten

## Gagat/Jet

Fossiles Holz welches im Faulschlamm lithifiziert wurde (durch Humusgel oder Bitumen impregniert), also versteinerte Holzkohle.

Bildungsbedingungen:  
Übergangsstadium  
Braunkohle - Steinkohle





# Unkonventionelle fossile Energierohstoffe

Schweröl (Rückstandsprodukt)

Ölsand, Teersand (Öl vermischt mit Sand, Athabasca-Ölsande)

Ölschiefer (Fracking)

Schiefergas (Fracking)

Methanhydrate

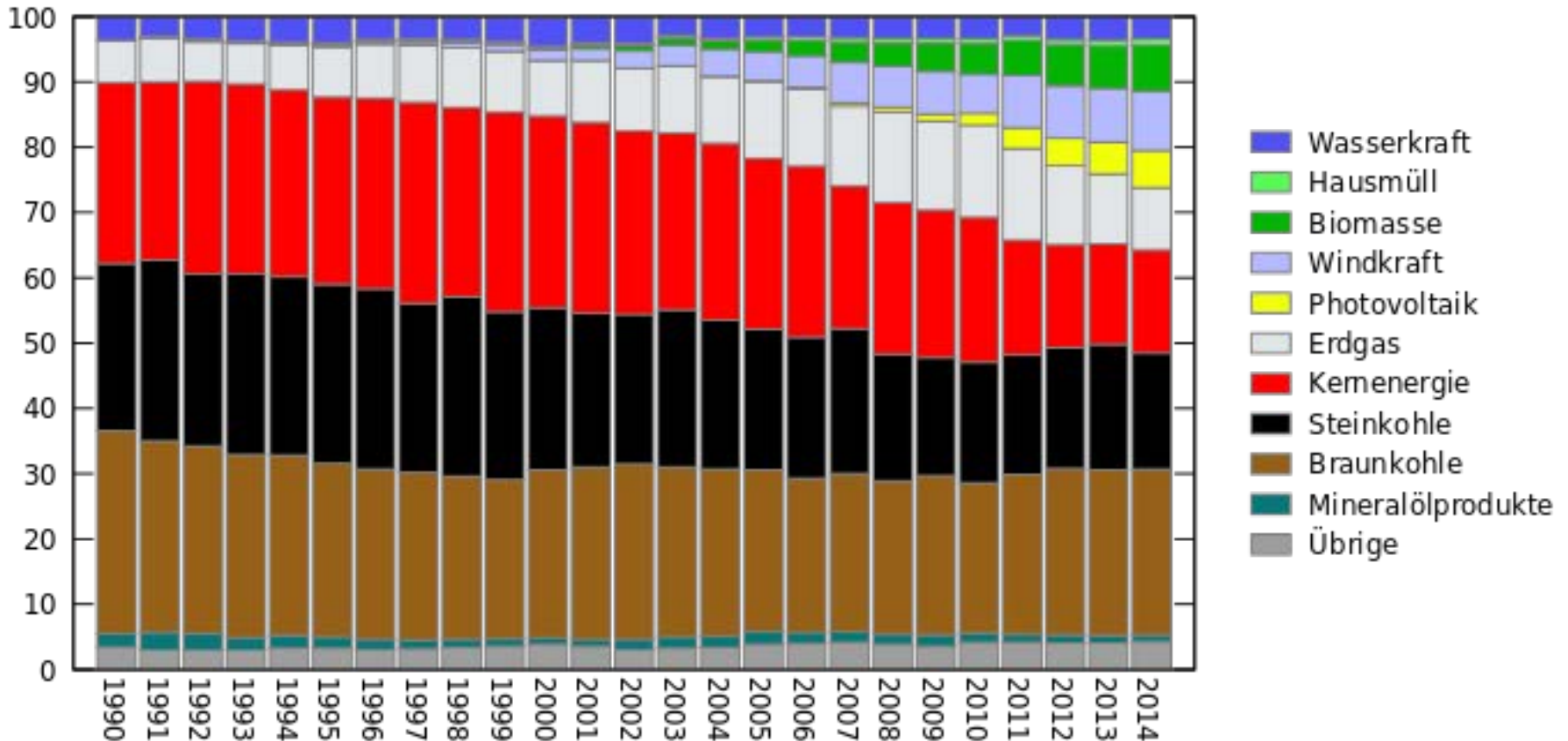


# Verwendung von Kohle

- a) Verstromung (Kohlekraftwerke)
- b) Heizzwecke
- c) Verkokung (Veredlungsart)

Prozentualer Strommix in Deutschland 1990–2014

Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträger 1990 - 2014 in Prozent



# Kohleveredlung

1. **Kohleentgasung** (Verkokung, Schwelung, *seit 1849*): Kohle wird unter Luftabschluss erhitzt; **Koks** und **Teer** entstehen
2. **Synthesegaserzeugung** (Kohlevergasung): Durch Umsetzung von Kohle mit Luft und Wasserdampf erhält man Gasgemische ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) zur Synthese von **Ammoniak** oder **Methanol**
3. **Kohlehydrierung** (Kohleverflüssigung, Methangasgewinnung, *F. Bergius 1913*): Kohle wird unter hohem Druck mit Wasserstoff umgesetzt, wobei **Benzine** und **Heizöle** gebildet werden.

# 1. Kohleentgasung (Verkokung)



Osterfeld, 1758

Der erste Hochofen im Ruhrgebiet  
noch Holzkohle statt Koks verwendet



# 1. Kohleentgasung (Verkokung)

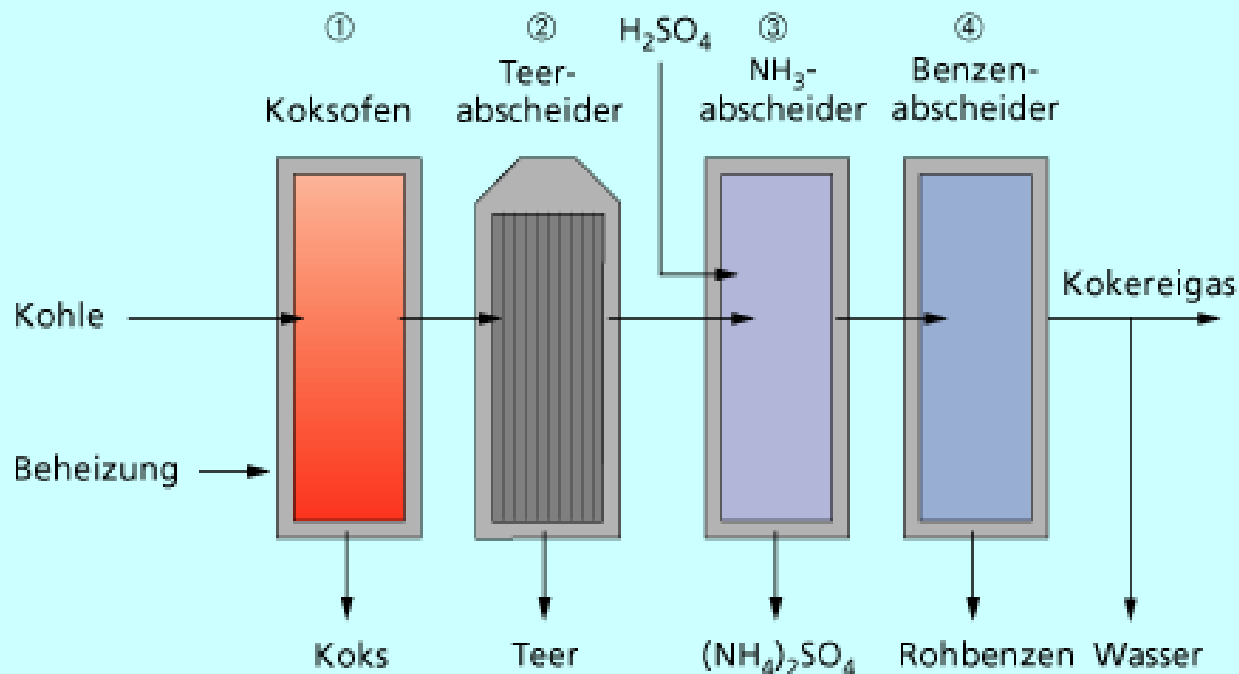
als die steigende Eisenproduktion zur Verknappung des Brennstoffs Holz führte, versuchte man die Holzkohle durch Steinkohlenkoks zu ersetzen.

Nach vielen Experimenten mit verschiedenen Kohlenarten gelang es schließlich **1849** hochofentauglichen Koks aus Ruhrkohle zu produzieren.

# 1. Kohleentgasung (Verkokung)

Kohle wird unter Ausschluss von Luft erhitzt und „gegart“. Thermische Spaltung unter Freisetzung von leichten Paraffinen und Aromaten und Naphthenen (Rohgas). Als Produkt erhält man kohlenstoffreichen Koks. Aus dem Rohgas erhält man beim Abkühlen Teer, Ammoniak (als Ammoniumsulfat), Rohbenzen und Kokereigase.

## Kokerei



# 1. Kohleentgasung (Verkokung)

Bei Verkokung von 1 000 kg trockener Kohle entstehen:

750 kg Koks

35 kg Teer

10 kg Ammoniak

10 kg Benzol

320 m<sup>3</sup> Kokereigas

61% H<sub>2</sub>

26% Methan

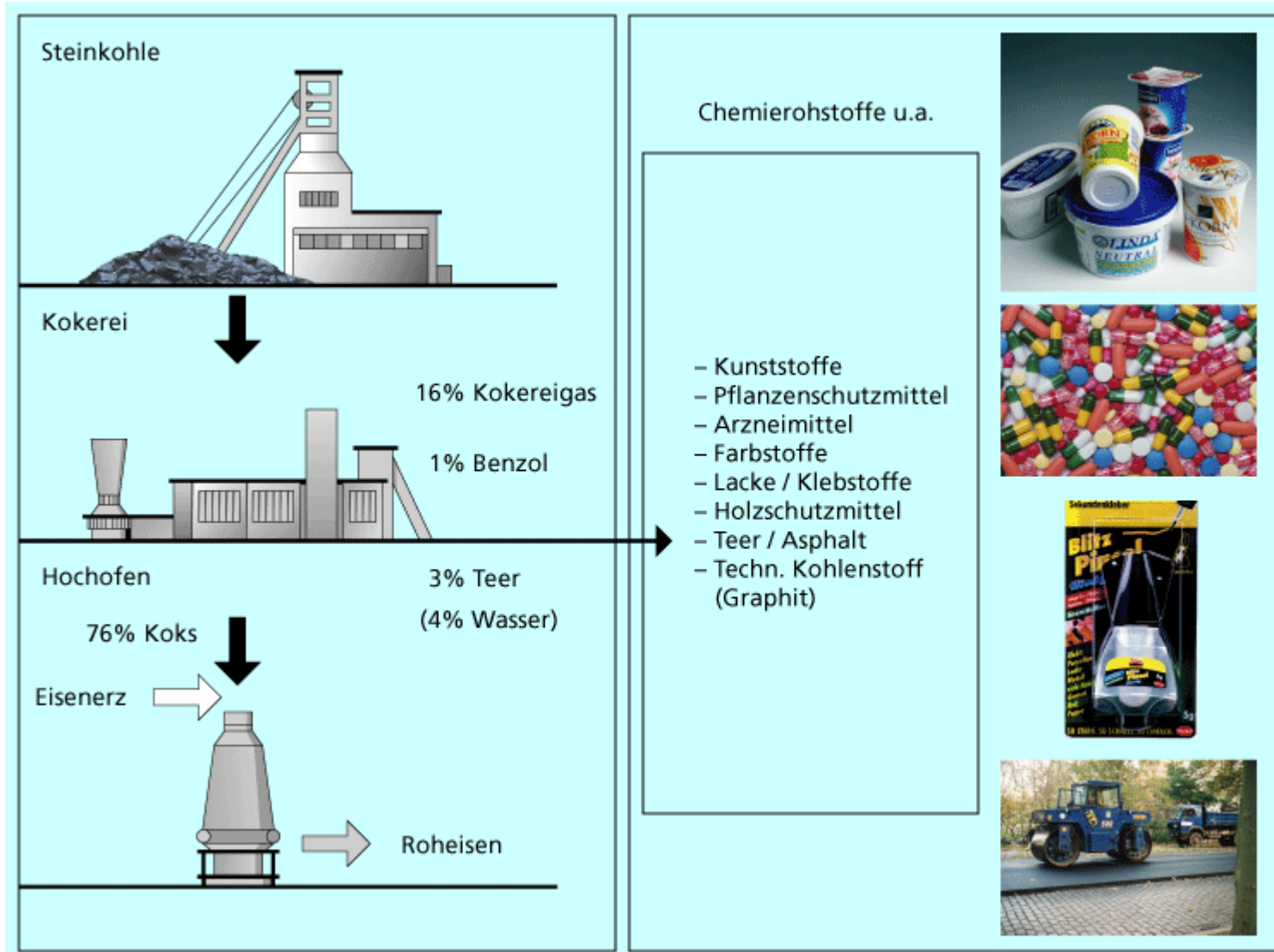
5% CO

1,6% CO<sub>2</sub>

2,2% N<sub>2</sub>

3% höherer C-H

# 1. Kohleentgasung (Verkokung)





# Koksverwendung



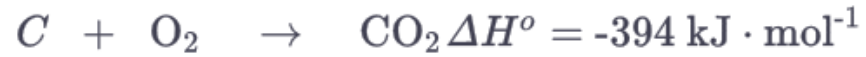
Roheisenerzeugung

liefert beim  
Hochofenprozeß  
benötigte Wärme

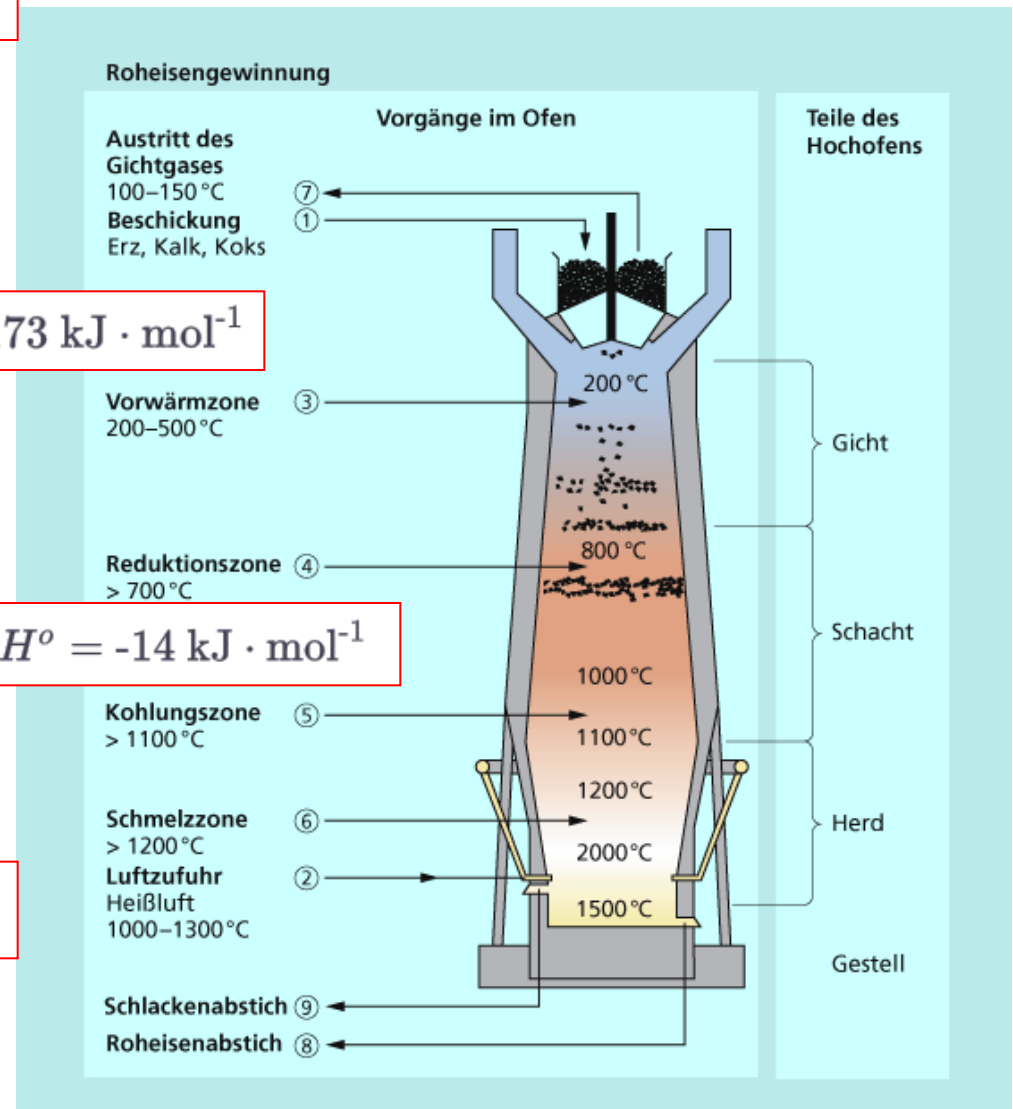
entzieht dem  
Eisenerz (Eisenoxid)  
beim Schmelz-  
vorgang den  
Sauerstoff

Kokerei Prosper in Bottrop

# Roheisenherstellung - Abläufe im Hochofen



Boudouard-Gleichgewicht



# Weitere Verwendung von Koks

- Herstellung von Generatorgas:



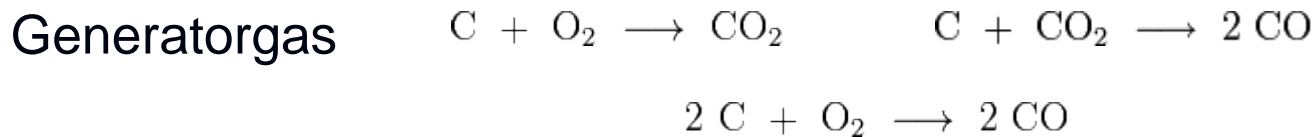
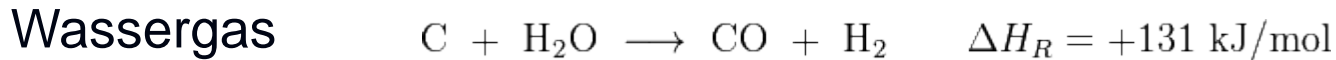
- Herstellung von Calciumcarbid:



- in der Abwassertechnologie gelegentlich als Ersatz für Aktivkohle
- als Adsorbentien in der Rauchgas-Reinigung

## 2. Kohlevergasung

Überführung von Kohlenstoff (C) in brennbare gasförmige Verbindungen, speziell Wassergas (Synthesegas), Generatorgas und Stadtgas



Das „Kohlemolekül“ wird bei dieser Reaktion vollständig abgebaut

Methanol-Synthesegas:  $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow$  Methanolherstellung

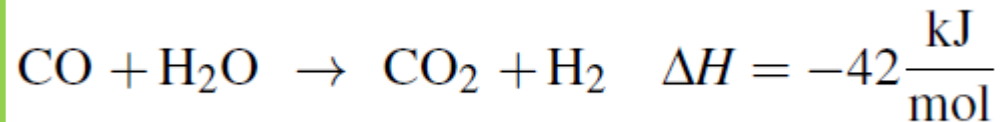
Ammoniak-Synthesegas:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow$  Ammoniakherstellung



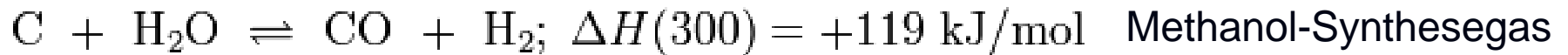
## 2. Kohlevergasung

Bildung von Synthesegas Gemische aus Stickstoff und Wasserstoff und zum anderen Gemische aus Kohlenstoffmonooxid und Wasserstoff.

Synthesegase zur Herstellung von **Ammoniak** bzw. **Methanol**

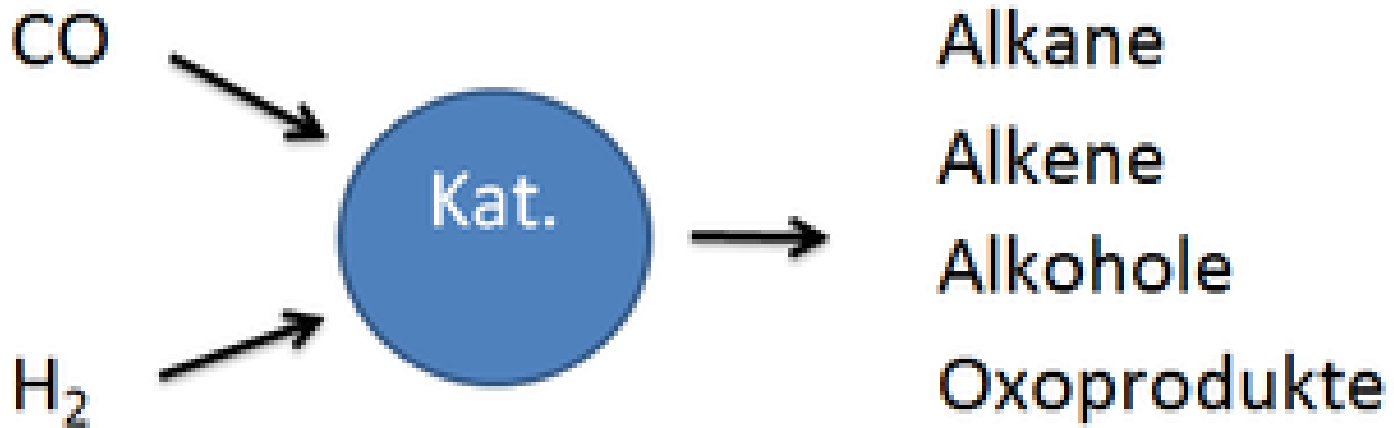


Reaktionen bei der Methanolherstellung



# 3. Kohlehydrierung

## Fischer-Tropsch Verfahren



### 3. Kohlehydrierung

Bei der Kohlehydrierung entstehen Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Kettenlängen:



Je nach Kettenlänge sind die Reaktionsprodukte gasförmig (Methan, Ethan, Propan, Butan) oder flüssig → Kohleverflüssigung

## 2. Kohlevergasung

mit Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Luft ( $\text{O}_2$  oder  $\text{N}_2$ )

Kontinuierlicher Prozess

Kohlepartikel pulverisiert ( $<90 \mu\text{m}$  bei Flugstromvergasung)

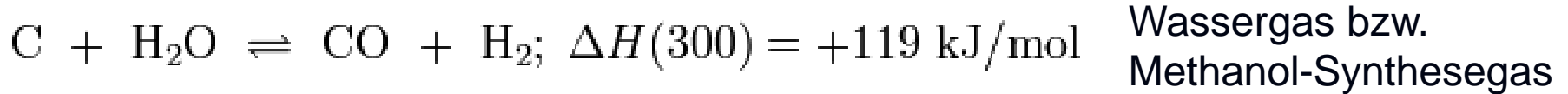
Reaktortemperaturen  $800\text{-}1300^\circ\text{C}$

Autothermer Prozess:

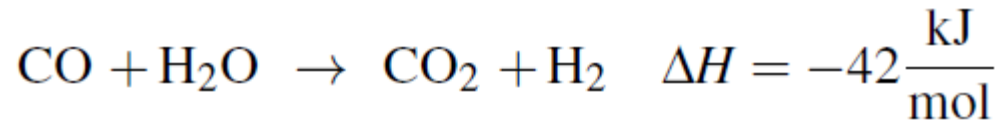
Exotherme Reaktionen (z.B.  $\text{C} + \text{O}_2$ ) liefern Energie für endotherme Reaktionen (z.B.  $\text{C} + \text{H}_2\text{O}$ )



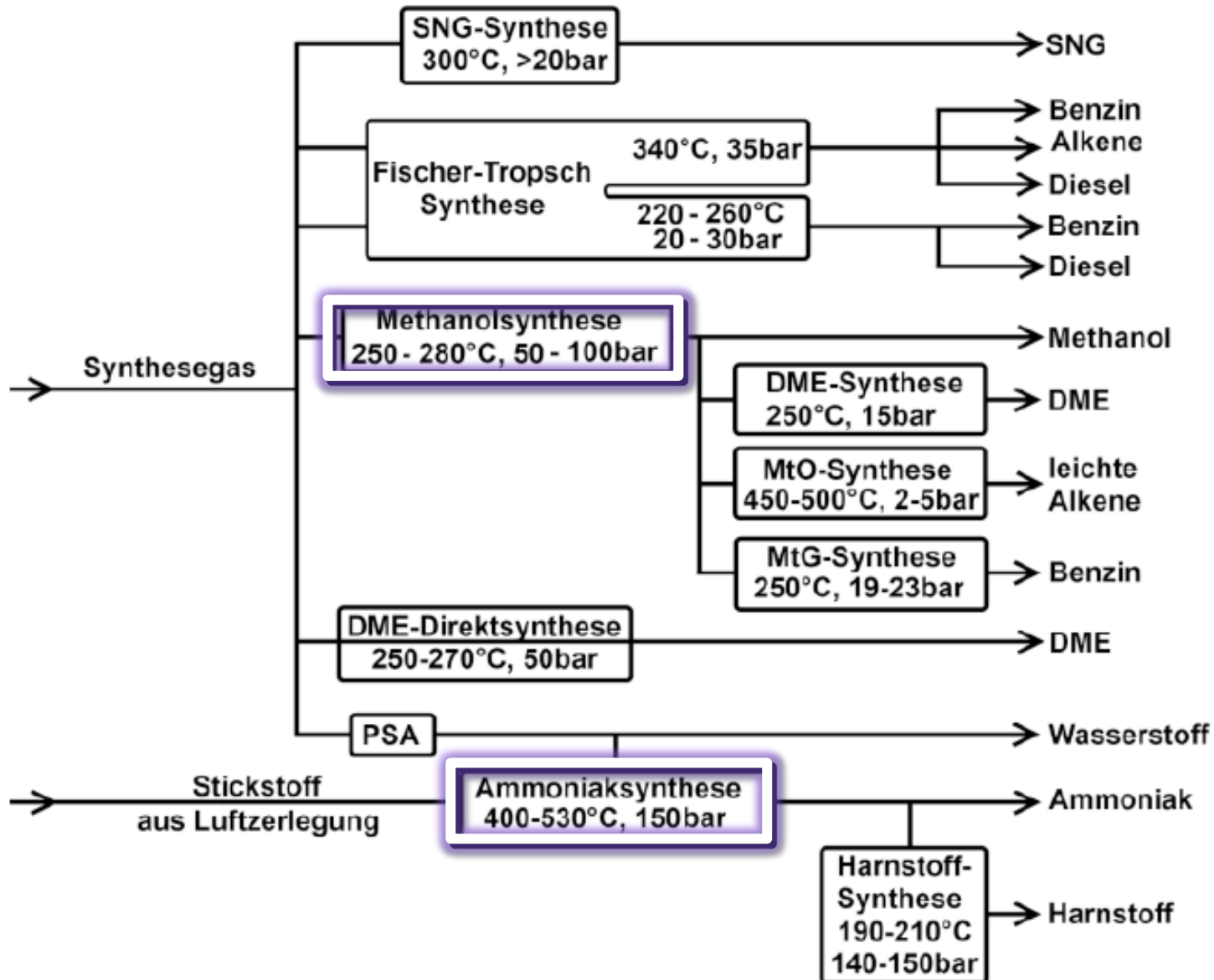
## 2. Kohlevergasung



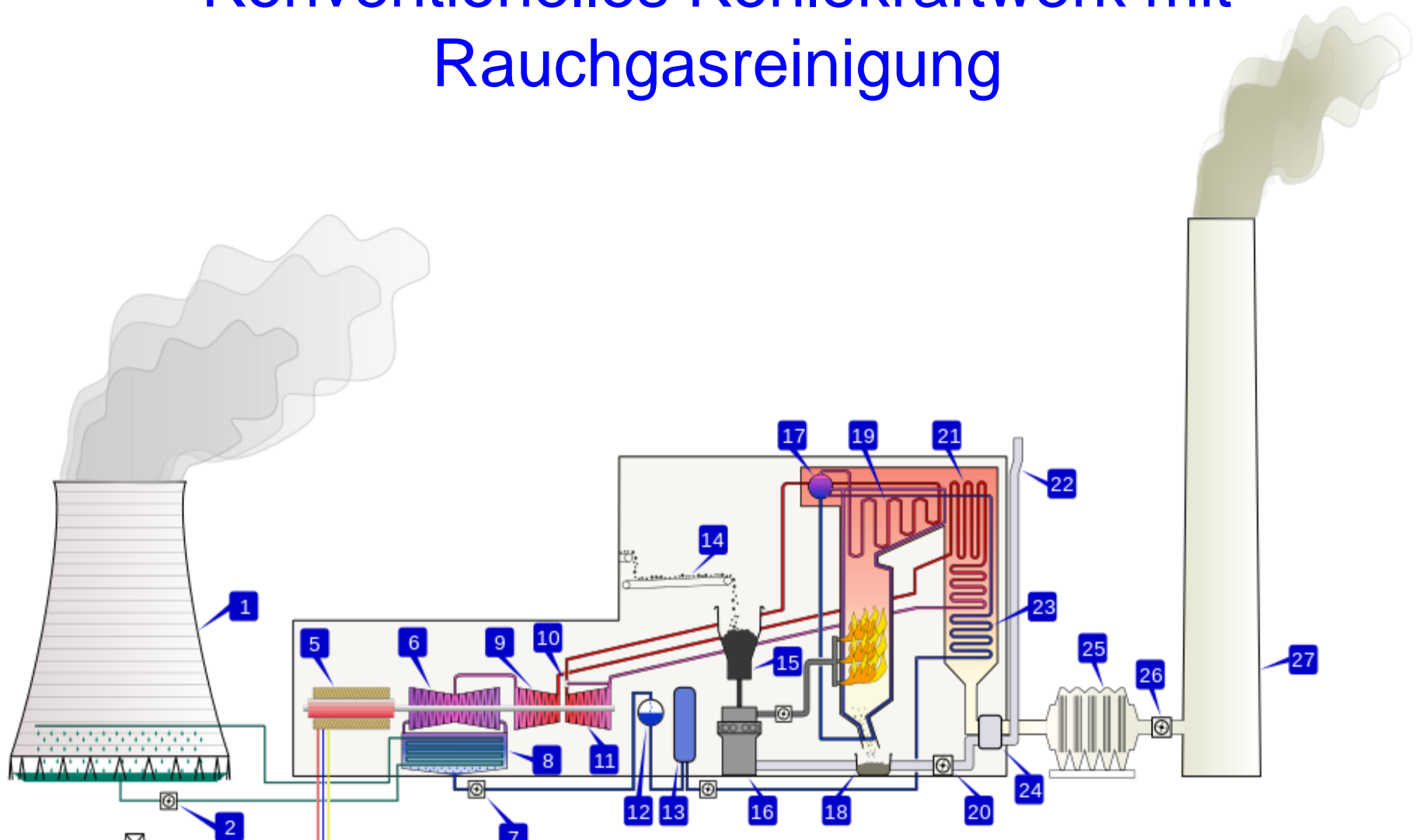
Einstellung der gewünschten Kohlenstoffmonoxid zu Wasserstoffverhältnisse durch die **Wassergas-Shift-Reaktion** (Verfahren zur Verringerung des Kohlenstoffmonoxid-Anteils in Synthesegas und zur Erzeugung von Wasserstoff):



# Überblick über die Nutzungspfade von vergaster Kohle



# Konventionelles Kohlekraftwerk mit Rauchgasreinigung



**Legende**

1. Kühlturm	8. Kondensator	15. Kohlebunker	22. Lufteinlaß
2. Kühlwasserpumpe	9. Mitteldruckturbine	16. Kohlemühle	23. Economizer (Rauchgaskühler)
3. Hochspannungsleitung	10. Dampfregler	17. Dampfkessel	24. Luftvorwärmer
4. Maschinentransformator	11. Hochdruckturbine	18. Aschebunker	25. Rauchgasreinigung
5. Generator	12. Entgaser	19. Überhitzer	26. Saugzuggebläse
6. Niederdruckturbine	13. Speisewasservorwärmer	20. Gebläse	27. Schornstein
7. Kesselspeisepumpe	14. Kohle Förderanlage	21. Zwischenerhitzer	

# Neue Technologien

## Renaissance der Kohle?

### **Braunkohletrocknung**

Wirbelschichttrocknung mit interner Abwärmenutzung (WTA). Geringere Restfeuchte, höherer Wirkungsgrad

### **Kohlebefeuerte Kombikraftwerke**

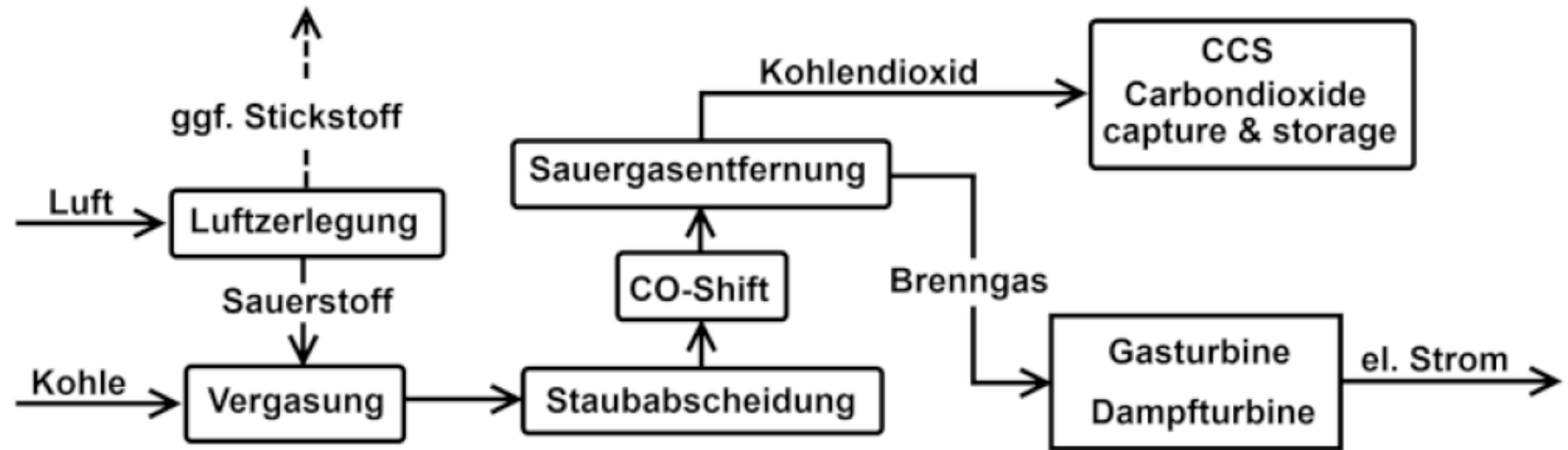
Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Kraftwerk

IGCC-CCS Kraftwerk (CCS = Carbon Capture and Storage)

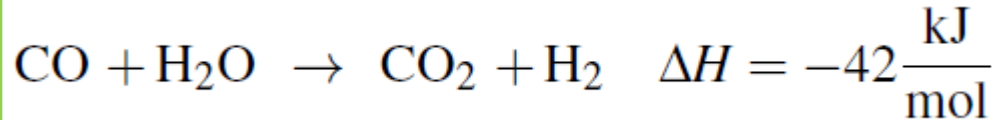


# Die Renaissance der Kohle

IGCC-Kraftwerk mit nachgeschalteter „Carbon-Capture and Storage“ (CCS) Technologie



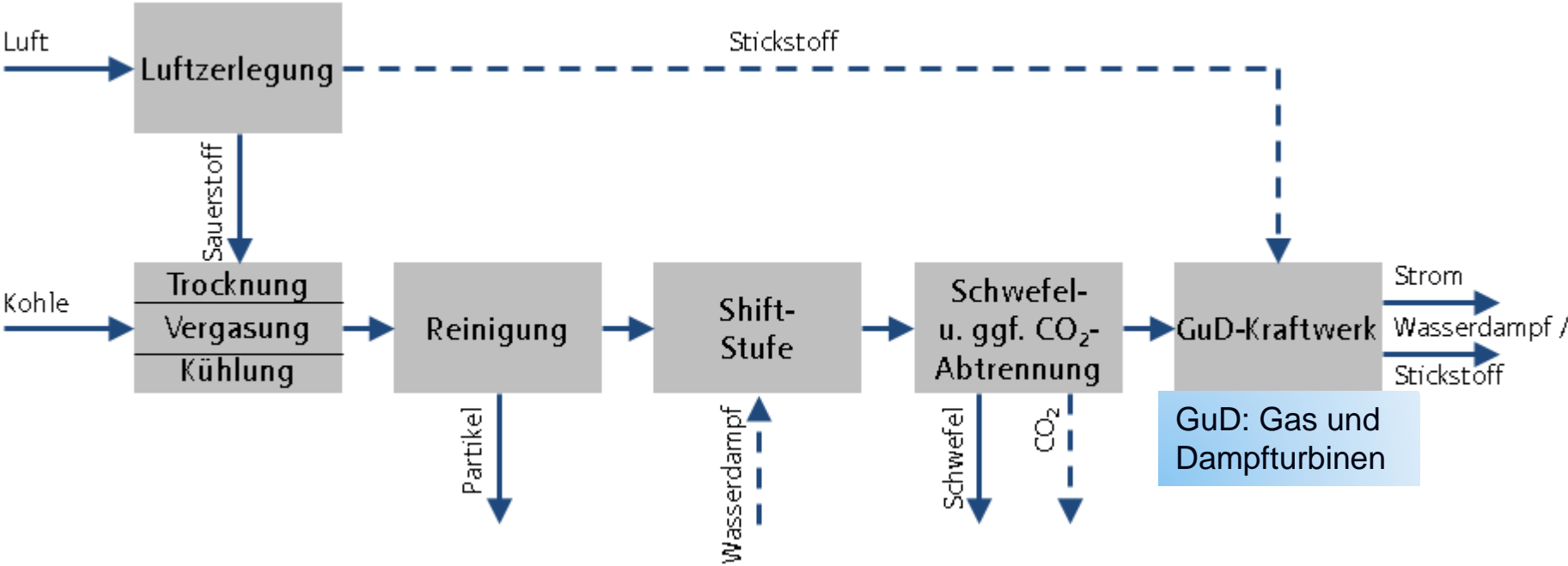
**Wassergas-Shift-Reaktion**



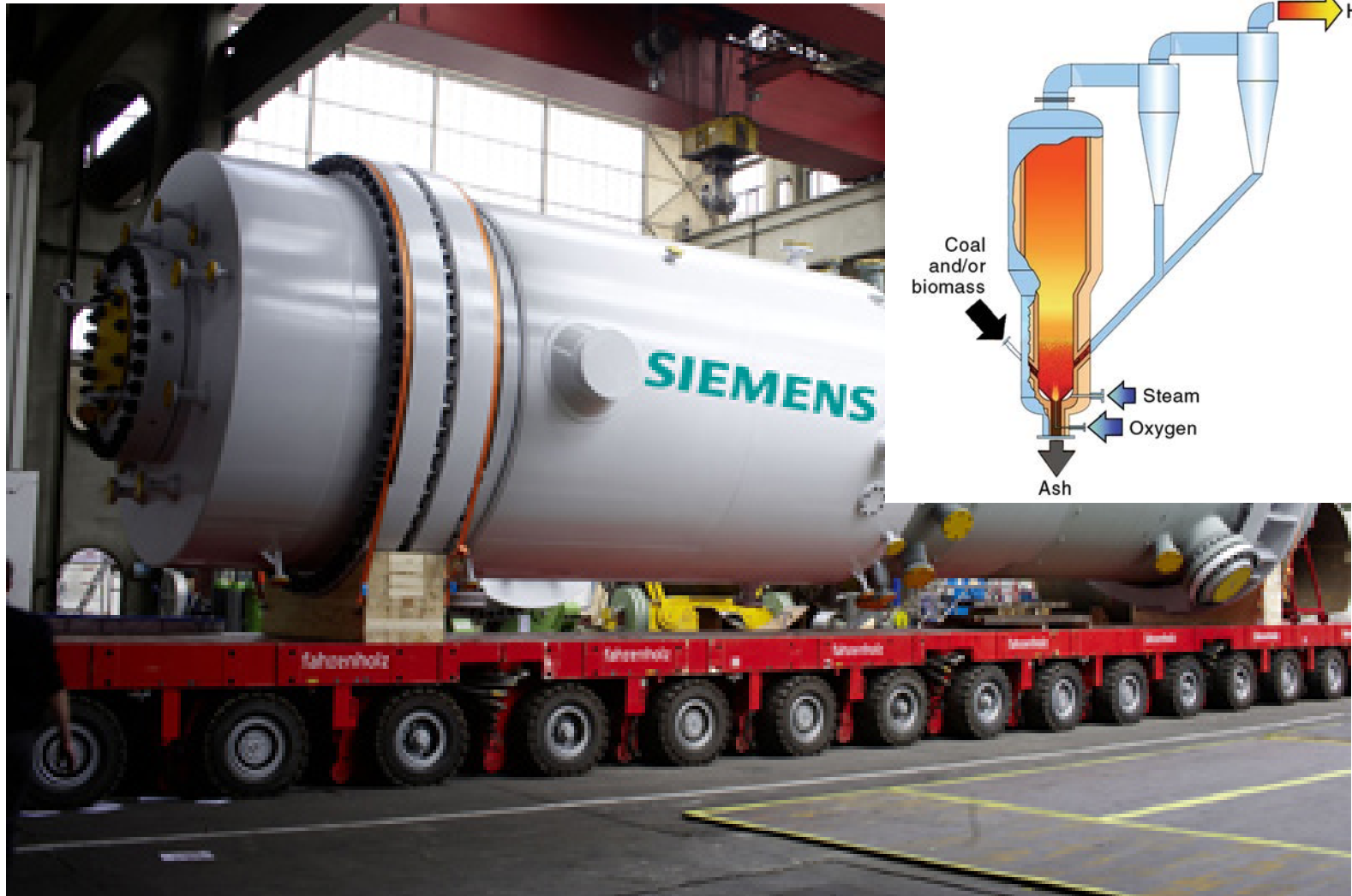
**H/C-Verhältnisse: Kohle ca. 1 : 1, Erdöl, ca. 2 : 1; Erdgas, ca. 4 : 1**



### IGCC-Kraftwerk (Kombikraftwerk)



# Renaissance der Kohle



**Kohlevergaser** made in Germany (Freiberg) - Siemens Fuel Gasification Technology

# Flugstromvergaser

Coalfeeding – Kohleeinspeisung

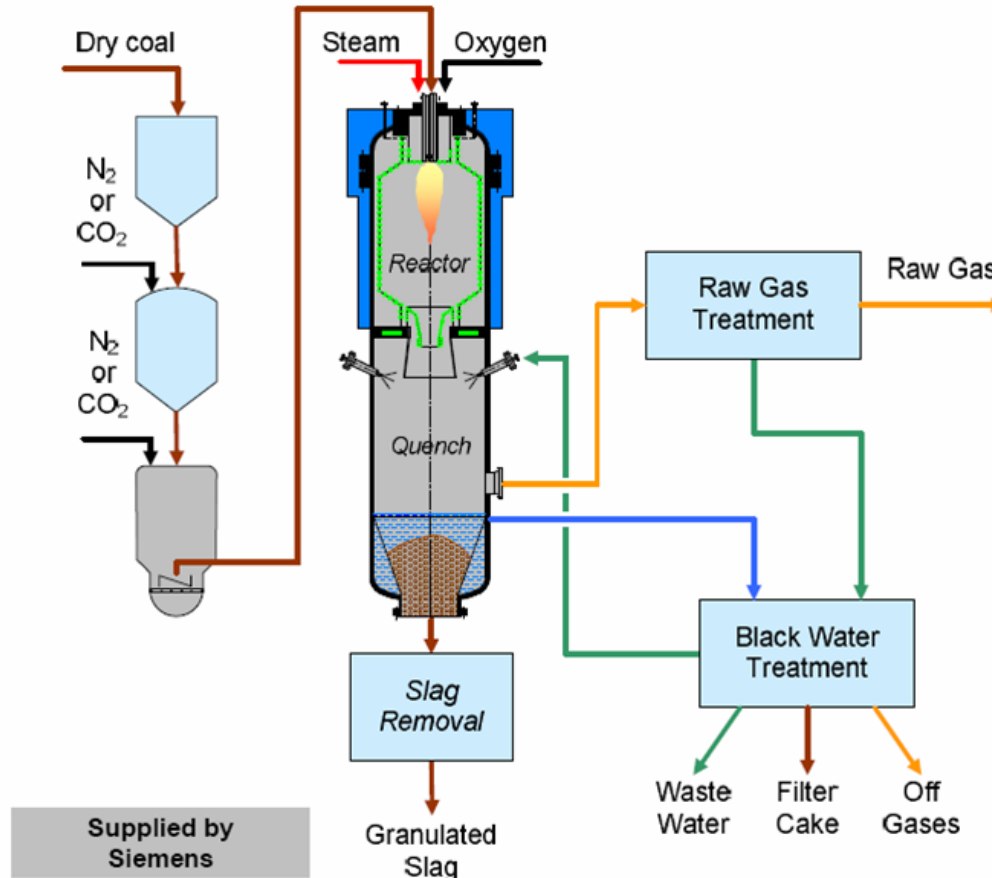
Burner / Reactor – Brenner / Reaktor

Quench – Gaskühlung

Slag Discharge – Schlackeentsorgung

Raw Gas Treatment – Rohgasreinigung

Black Water Treatment – Rußwasseraufbereitung





# Flugstromvergaser

Coalfeeding – Kohleeinspeisung

Burner / Reactor – Brenner / Reaktor

Quench – Gaskühlung

Slag Discharge – Schlackeentsorgung

Raw Gas Treatment – Rohgasreinigung

Black Water Treatment – Rußwasseraufbereitung

