

Übung zur Lehrveranstaltung „Einführung in die Energiewirtschaft“

SoSe 2017

PD Dr. Patrick Jochem
Übung 4: Kohle

INSTITUT FÜR INDUSTRIEBETRIEBSLEHRE UND INDUSTRIELLE PRODUKTION (IIP)
Lehrstuhl für Energiewirtschaft (Prof. Fichtner)



Agenda

- Wiederholung Übung 3
- Hotelling
- Kohle
 - Kohlearten
 - Reserven/Ressourcen von Braun- und Steinkohle
 - Subventionierung von Steinkohle
- Übungsaufgaben zu Kohle
 - Reichweite verschiedener Kohlevorkommen
 - Vergleich Braun- und Steinkohle
 - Entschwefelung
 - Subvention

IPCC fifth assessment Report 2013 WG1

- Human influence on the climate system is clear. This is evident from the increasing greenhouse gas concentrations in the atmosphere, positive radiative forcing, observed warming, and understanding of the climate system.
- Human influence has been detected in warming of the atmosphere and the ocean, in changes in the global water cycle, in reductions in snow and ice, in global mean sea level rise, and in changes in some climate extremes (see Figure SPM.6 and Table SPM.1). This evidence for human influence has grown since AR4. It is extremely likely that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century.
- Cumulative emissions of CO₂ largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond. Most aspects of climate change will persist for many centuries even if emissions of CO₂ are stopped. This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO₂.

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

Hotelling-Regel

Annahmen:

- Polipolistischer Markt (Anbieter sind Preisnehmer)
- Vollständige Eigentumstitel (Verteilung der Reserven vollständig bekannt und unveränderlich; keine Ressourcen)
- Vollkommene Voraussicht: Ressourcenbestand und Nachfrage in allen Perioden bekannt
- Konstante Nachfrage
- Keine privaten Abbaugrenzkosten
- Hierdurch führt die berechnete Preisentwicklung (s. ff) dazu, dass diese konstante Nachfrage effizient bis zur Periode T befriedigt wird.

→ Extremes Beispiel

- Weiterentwicklungen: beispielsweise Hartwick-Regel (1977)
[Substituierbarkeit der Primärenergieträger]

Herleitung der optimalen Abbaurate für Ressourcenbesitzer

- Maximierung des Gewinns des Anbieters

$$G = \sum_{t=0}^T \frac{p_t \cdot q_t}{(1+r)^t}$$

unter der Nebenbedingung

$$\sum_{t=0}^T q_t = R_0$$

- q_t = Abbaumenge zum Zeitpunkt t
- p_t = Preis zum Zeitpunkt t
- T = Entscheidungshorizont
- r = Diskontierungssatz
- R_0 = Bestand des Ressourcenbesitzers

Herleitung der optimalen Abbaurate für Ressourcenbesitzer

- Lagrange'sche Multiplikatormethode

$$L = \sum_{t=0}^T \frac{\tilde{p}_t \cdot q_t}{(1+r)^t} + \lambda \left(R_0 - \sum_{t=0}^T q_t \right)$$

- Notwendige Bedingungen für $t = 0, 1, \dots, T$

$$\frac{\partial L}{\partial q_t} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 = R_0 - \sum_{t=0}^T q_t$$

- Lösung

$$p_0 = \frac{p_1}{(1+r)^1} = \dots = \frac{p_T}{(1+r)^T} = \lambda$$

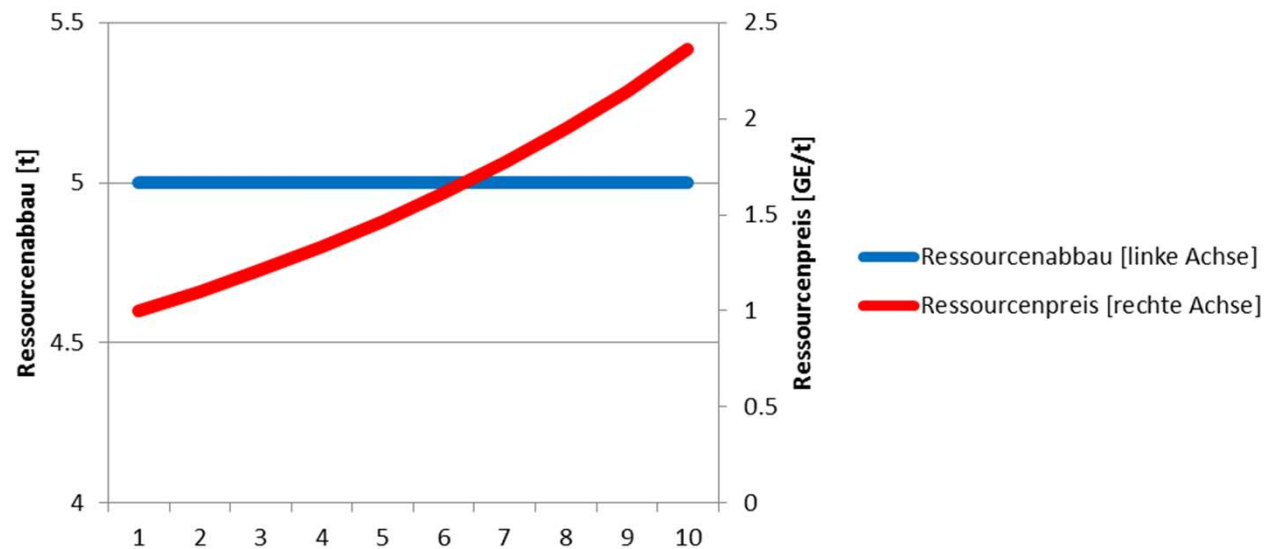
Marktteilnehmer erwarten, dass die Preissteigerung für die Ressource genau dem Zins entspricht.



Der Preis steigt im Zeitverlauf mit einer Rate, die dem Zins entspricht. (Hotelling Regel)

Beispiel zu Hotelling

- q_t = Abbaumenge zum Zeitpunkt $t = 5$
- p_t = Preis zum Zeitpunkt t ($p_0 = 2$)
- T = Entscheidungshorizont = 10
- r = Diskontierungssatz = 10%
- R_0 = Bestand des Ressourcenbesitzers = 50



Wiederholung Übung 3

■ Methanhydrat

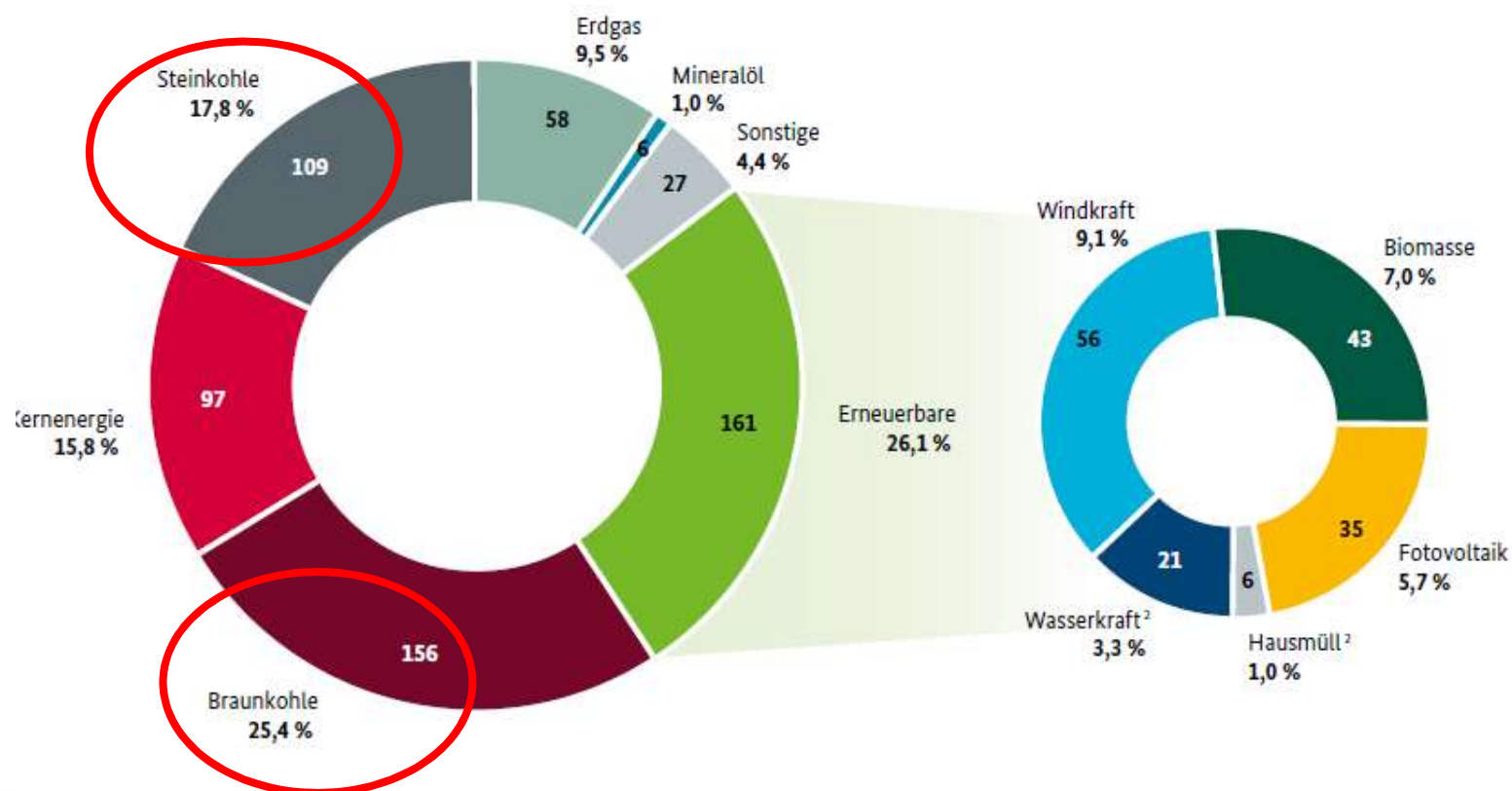
- kommt in Permafrostböden oder an den Kontinentalhängen der Ozeane vor
- hohes Potential als fossiler Brennstoff (Aber: Abbau??)
- Problematik der Klimaerwärmungsbeschleunigung

■ Erdöl

- Importe in Deutschland insb. aus Russland (ca. 20% von OPEC)
- Verwendung: Verkehr, Chemieindustrie, und Strom- und Wärmeerzeugung
- Dichte des Rohöls wird in °API angegeben (American Petroleum Institute)
- Verwendete Einheit: 1 Barrel (bbl) $\approx$ 159 Liter (42 gal)
- In D stellen ca. 15 Raffinerien aus Rohöl Flüssiggas (4-5%), Rohbenzin (8-15%), ROZ98 (30-40%), Kerosin (5-8%), Diesel (30-40%), schweres Heizöl (0-20%), Koks etc (5-10%) her.
- Reserven sind auf den Nahen Osten konzentriert (Produktion aber nur 40%)
- Depletion-mid-point-Berechnungen, Ölpreisentwicklung, OPEC

Bedeutung von Kohle für Deutschland

Bruttostromerzeugung in Deutschland 2014 (614 TWh)



BMWi, 2015

Molekulare Struktur von Steinkohle

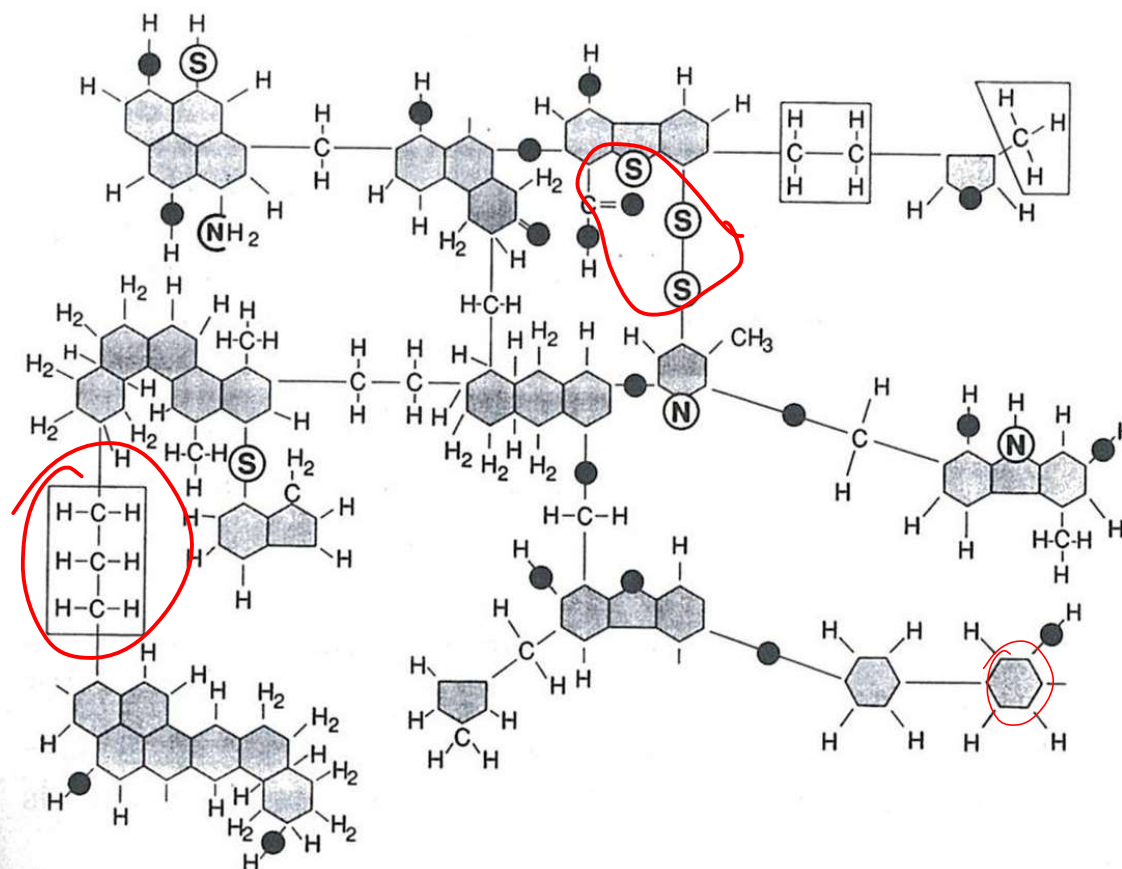


Abb. 2.1. Molekulare Struktur von Steinkohle

Bestandteile von Gasflamm-SK:

82-85% C

7-10% O

ca. 6% H

0,5-2% S

ca. 2% N

Quelle: Strauß, Kraftwerkstechnik

Kohlearten

Kohlearten			Wasser- gehalt (%)	Energie- gehalt af* (kJ/kg)	flüchtige Anteile waf** (%)
UN-ECE	USA (ASTM)	Deutschland (DIN)			
Peat	Peat	Torf			
Ortho- Lignite	Lignite	WEICHBRAUNKOHL	75	6,700	
Meta- Lignite		Mattbraunkohle	35	16,500	
Subbitum. Coal	Sub- bituminous Coal	Glanzbraunkohle	25	19,000	
		Flammkohle	10	25,000	45
		Gasflammkohle			40
		Gaskohle			35
		Fettkohle			28
		Eßkohle			19
		Magerkohle			14
Anthracite	Semi- Anthracite	Anthrazit	3	36,000	10

af* = aschefrei waf** = wasser- und aschefreie Substanz

Quelle: BGE

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.

Eigenschaften ausgewählter Festbrennstoffe

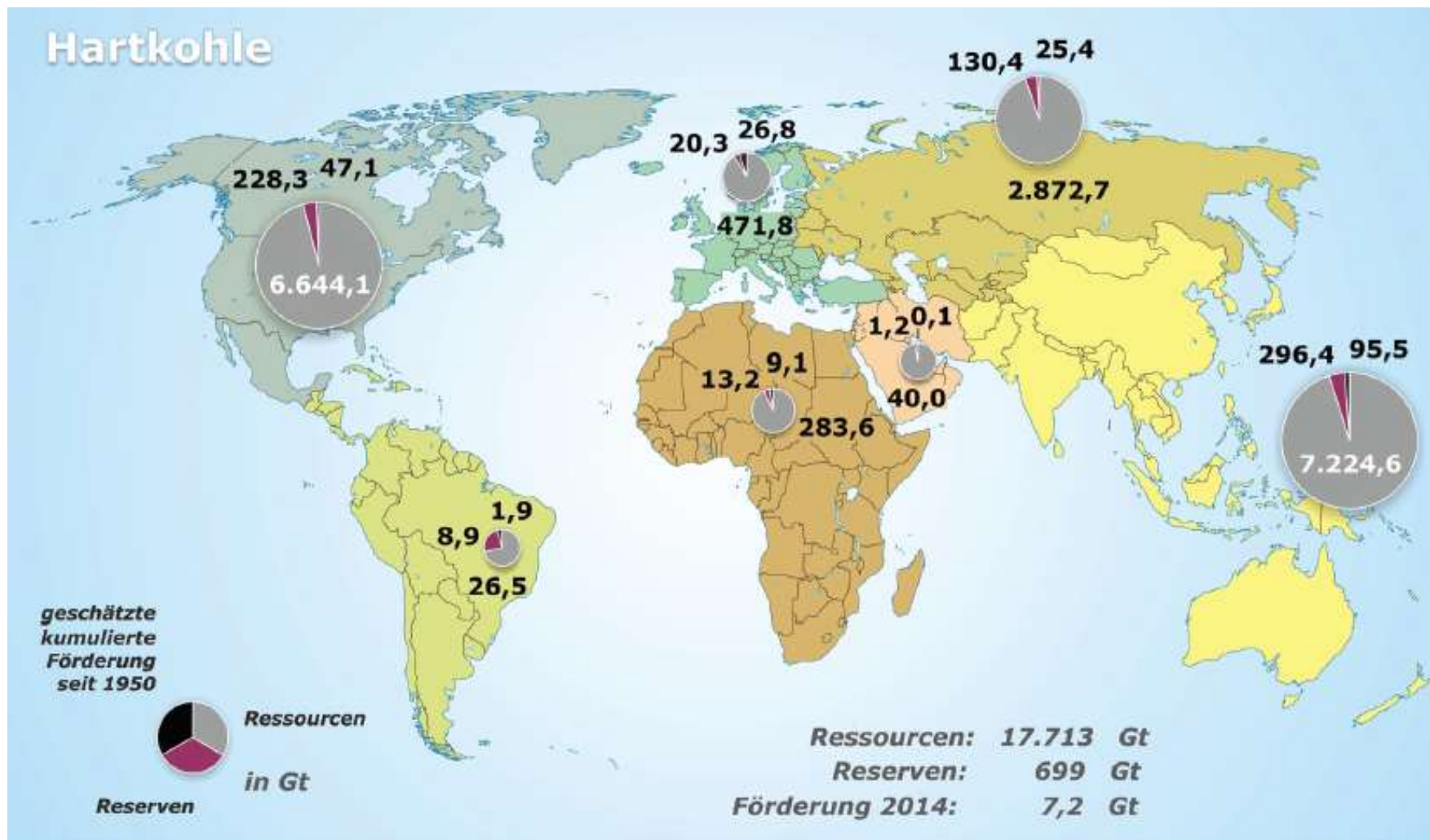
	Spez. Gewicht (g/cm ³)	Heiz- wert (MJ/kg)	Wasser (in %)	Flüchtige Bestand- teile (in %) der Trocken- substanz	Kohlen- stoff (in %) der Trocken- substanz
Holz	0,2 - 1,3	~ 15	(trocken)	80	50
Torf	1,0	6 - 8	60 - 90	65	55 - 65
Weichbraunkohle	1,2	7 - 13	30 - 60	50 - 60	65 - 70
Hartbraunkohle	1,25	16 - 29	10 - 30	45 - 50	70 - 80
Flamm-, Fettkohle *	1,3	29 - 33	3 - 10	17 - 45	80 - 90
Eß-, Magerkohle *	1,35	33 - 36	3 - 10	7 - 17	90 - 93
Anthrazit *	1,4 - 1,6	36 - 38	1 - 2	4 - 7	93 - 98

* Steinkohlearten

Zum Vergleich: Erdgas 32 MJ/m³
Erdöl 43 MJ/kg

v.Hirschhausen, TU Dresden (2005) in Anlehnung an: Seidel (1992)

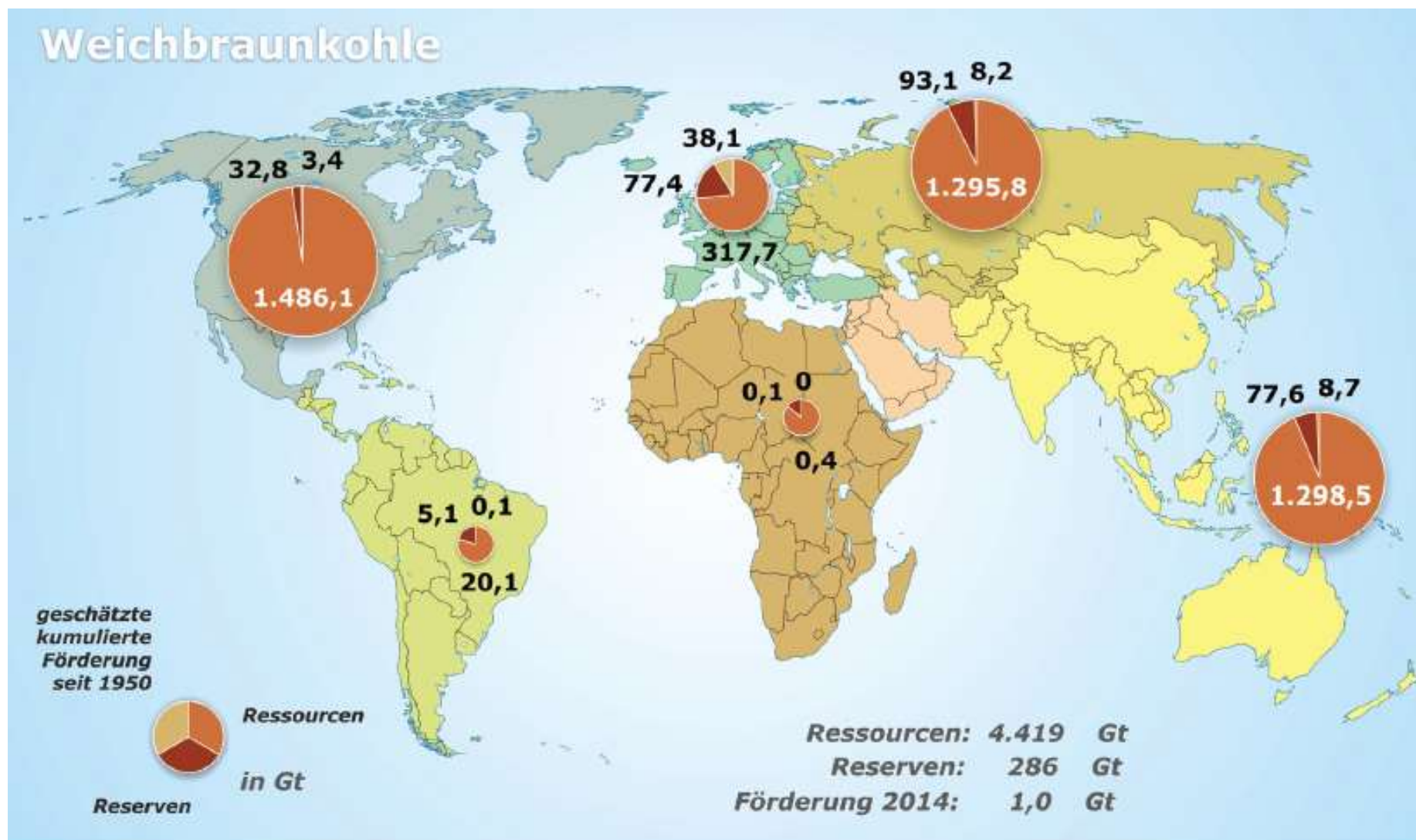
Hartkohlereserven (GT)



BGR, 2015

Globale Braunkohlevorkommen

Weichbraunkohle



BGR, 2015

Kohleförderung, Reserven und Ressourcen (BK)

	Förderung		Reserven	Ressourcen
	1995	2003	2001	
	Mio. t			
Deutschland	192,7	179,1	41.300	77.600
Griechenland	54,1	68,1	4.200	1.050
Spanien	10,8	8,0	50	80
Tschechien	60,9	53,3 (a)	1.367	1.892
Slowakei	0,8		83	698
Polen	63,5	60,9	1.955	31.000
Ungarn	13,7	12,0	3.203	2.402
Andere EU-Staaten	10,8	7,6	170	463
EU-25	407,4	389,0	52.328	115.185
Rumänien	35,5	33,0	1.456	2.500
Bulgarien	30,6	27,2	382	2.473
Albanien	0,2	0,1	n.v.	375
Andere Balkan-Staaten	53,1	33,0	3.628	23.419
Russland	111,6 (a)	97,5 (a)	8.876	193.000
Andere GUS-Staaten			3.090	93.669
Türkei	52,8	43,5	5.900	400
China	63,7	47,7 (b)	20.108	86.800
Indien	22,1	26,0	2.000	3.932
Indonesien	0,5	2,0 (b)	4.450	14.100
Thailand	14,4	20,0	1.268	1.391
Nordkorea	26,5	24,0	180	500
Andere Staaten Asien	7,0	6,1	1.240	2.253
Kanada	36,3	36,3	2.827	2.961
USA	75,0	75,0	33.327	393.822
Australien	50,7	50,7	43.100	41.900
Andere Staaten	0,3	0,3	87	12.561
Welt	987,6	911,5	184.246	991.241
Anmerkungen: (a) keine differenzierten Daten verfügbar. - (b) Daten für 2001				

Anmerkungen: (a) keine differenzierten Daten verfügbar. - (b) Daten für 2001

Quelle: Matthes/Ziesing (2005): Sicherheit der Rohstoffversorgung S.27: Förderung, Reserven, Ressourcen von Braunkohle

Übungsaufgaben

Übungsaufgaben 1 – Kohle

1. Berechnen Sie mit dem vorliegenden Datenmaterial die statische Reichweite von Braunkohle (Reserven und Ressourcen) in der Welt und in Deutschland!

Statische Reichweite = Reserve / Förderung

$D_{2003} = 118.900 \text{ Mio. t} / 179,1 \text{ Mio. t/a} = 663,9 \text{ Jahre}$

$\text{Welt}_{2003} = 1.175.487 \text{ Mio. t} / 911,5 \text{ Mio. t/a} = 1290 \text{ Jahre}$

2. Berechnen Sie die dynamische Reichweite von Steinkohle in der Welt. Gehen Sie dabei von Reserven in Höhe von 728 436 Mt und einer jährlichen Förderung von $1,67 \cdot 10^{12}$ Kg SKE sowie einer Steigerungsrate der Förderung von 3 % pro Jahr aus.

The map illustrates trade flows between various countries, with arrows indicating the direction and volume of trade. The map includes labels for Canada (23), USA (26), Kolumbien/Venezuela (59), Südafrika (68), Australien (225), Indonesien (105), China (87), Russland (66), Polen (12), and nach Fernost (2). Arrows are labeled with numbers representing trade volume, such as 13, 5, 2, 32, 14, 8, 3, 22, 59, 63, 68, 31, 6, 1, 175, 86, 81, 12, 3, 5, 12, 2, 32, 12, 17, 13, and 5 von USA.

Prof. Fichtner, Lehrstuhl für Energiewirtschaft, IIP

Übungsaufgaben 2 – Kohle

3. Vergleichen Sie die Energieträger Steinkohle und Braunkohle.

Lösung:

- Preis BK: 4€/MWh, SK: 14€/MWh
- C-Gehalt: 60-65%; 82-85%;
- BK: höherer Wassergehalt
- BK: Tagebau; SK: Bergbau
- BK: kein Ferntransport
- BK: jüngere Kohle, weniger „Entwickelt“
- BK: kein Markt
- BK: längere Reichweite

Übungsaufgaben 2 – Kohle

4. Um die SO_2 -Emission von Kohlekraftwerken zu reduzieren, kann man der schwefelhaltigen Kohle Calciumcarbonat zusetzen.
- Stellen Sie eine vollständige Reaktionsgleichung für die Reaktion auf.
 - Welche Masse an Calciumcarbonat benötigt man, um das aus 1.000 t Kohle mit einem gewichtsspezifischen Schwefelanteil von 2,5 % entstehende Schwefeldioxid zu binden?
 - Wie viel zusätzliches CO_2 entsteht dabei?

Angaben:

- Molare Masse von Schwefel $M(\text{S}) = 32 \text{ g/mol}$
- Molare Masse Calciumcarbonat $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g/mol}$
- Molare Masse Kohlenstoffdioxid $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$
- Verwenden Sie den Zusammenhang: Stoffmenge $n = \text{Masse } m / \text{molare Masse } M$

Übungsaufgaben 3 – Kohle

5. Die Förderkosten für eine Tonne Steinkohle beträgt in Deutschland 140 €. Der Weltmarktpreis für Steinkohle beträgt 65 \$/t (incl. Transportkosten). Der Wechselkurs betrage 1,20 \$/€.
- a. Berechnen Sie überschlägig die Subventionen, die jährlich in Deutschland an die Steinkohleindustrie bezahlt werden, wenn die Importquote für Steinkohle bei 63% liegt und ein Jahresbedarf in Höhe von 63,0 Mio. t Steinkohle angenommen wird!
 - b. Wie hoch sind die Subventionen pro Arbeitnehmer in der Steinkohleindustrie, wenn diese mit 25.000 Beschäftigten angenommen wird?

Übungsaufgaben 4 – Kohle

6. Skizzieren Sie die Subventionierung von Steinkohle in Deutschland! War die Politik erfolgreich?

- Bis 1996 (Beginn der Liberalisierung des Importkohlemarktes) gab es rigide Einfuhrbeschränkungen und Abnahmeverpflichtung der Stromwirtschaft/Stahlindustrie
- Kohlepfennig (1974-1995); 1994: Urteil zur Verfassungswidrigkeit, da er eine steuerähnliche Belastung der Stromkunden bedeutet, die nicht vom Parlament, sondern durch eine privatrechtliche Vereinbarung zwischen marktbeherrschenden Unternehmen. Im liberalisierten Markt würden außerdem die Kunden zu einem ausländischen Versorger ohne Abnahmeverpflichtung wechseln.
- Direkte Subventionen: 1997 Genehmigung jährl. Subventionen von 5,2 Mrd. € durch EU-Kommission (2005: 2,8 Mrd. €)
- Ziel: Ausstieg bis 2018

- **→ Nicht erfolgreich: Schere zwischen Import und inländischer Förderung ging trotzdem auseinander, inländische Kosten sind immer mehr gestiegen, einheimische Förderung ging zurück**

Übungsaufgaben 4 – Kohle

7. Nennen Sie Gründe, warum Kohlesubventionen aus volkswirtschaftlicher Perspektive nachteilig sind?

- Subventionierte Kohleförderung entzieht der Volkswirtschaft Ressourcen, die in anderen Sektoren produktiver eingesetzt werden können (→Wohlfahrtsverluste)
- Verlust an gesamtwirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit vernichtet mehr Arbeitsplätze außerhalb des Kohlebergbaus als im Sektor selbst erhalten werden können.
- Die Zustimmung der EU-Kommission zur Fortsetzung der Subventionszahlungen muss erkaufte werden durch das Zugeständnis, dass andere Mitgliedsstaaten ebenfalls gefährdete Branchen subventionieren dürfen. Durch den damit verbundenen Protektionismus der Handelspartner verliert die deutsche Wirtschaft möglicherweise Exportmöglichkeiten.
- „Einziges“ Plus: Reduzierung der Importabhängigkeit (bei Kohle aber unbegründet)

Zusatzaufgabe (kurze Gruppenarbeit; 10')

- Wie sieht das Energiesystem/Stromerzeugung 2050 aus?

- Besteht Grillkohle aus Braun- oder Steinkohle?

Literatur

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
www.bgr.de (Kurzstudie Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2005)
- BP p.l.c., London www.bp.com BP Statistical Review of World Energy 2006, June 2006
- ENI S.p.A. www.eni.it World Oil and Gas Review 2006
- Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen
www.gvst.de
- G. Erdmann, P. Zweifel (2007): Energieökonomik – Theorie und Anwendungen. Springer 2007
- Strauß: Kraftwerkstechnik