

Übung zur Lehrveranstaltung „Einführung in die Energiewirtschaft“

SoSe 2017

PD Dr. Patrick Jochem
Übung 3: Methanhydrat und Erdöl

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



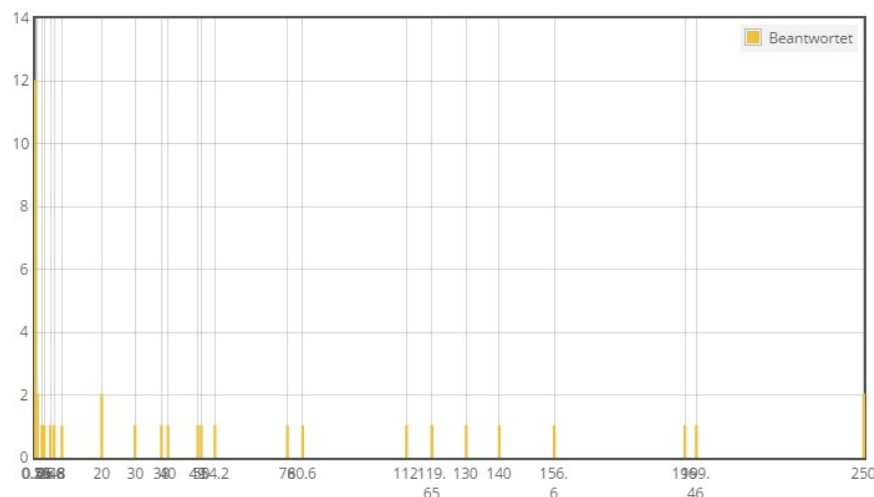
Agenda

- Lehrportfolio
- Wiederholung und Aufgaben Übung 2
- Methanhydrat / Schieferöl als Ergänzung zur Vorlesung
- Übungsaufgaben zu Erdöl

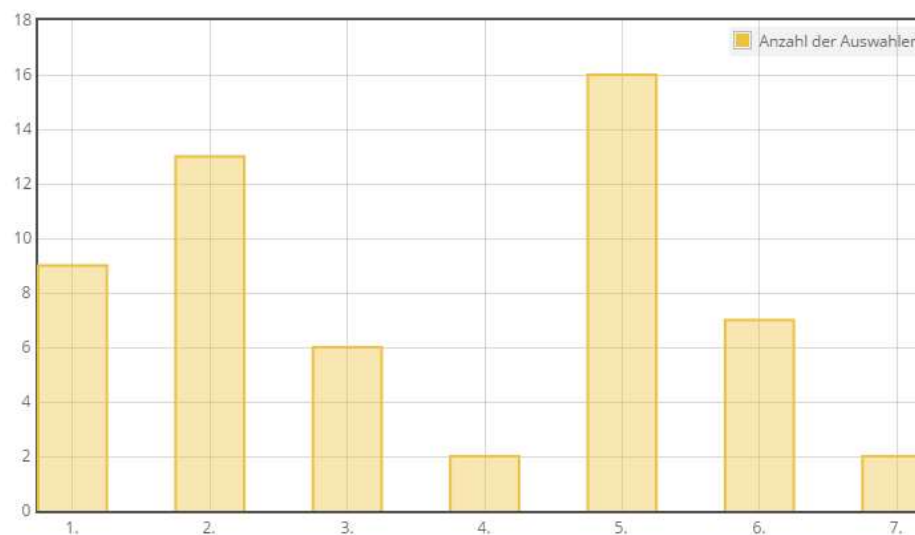
Notwendige Voraussetzung zur Klausur

- Während des Semesters müssen Sie für 7/9 Übungen bis spätestens Sonntagabend der jeweiligen Woche ein RSQC2 bei ILLIAS hochladen.
 - Kleingruppen mit bis zu drei KommilitonInnen sind möglich, jedoch müssen Verantwortungsbereiche gekennzeichnet sein
 - Plagiate (ohne Nennung der Quelle) bzw. Dokumente geringer Qualität werden als nicht bestanden gewertet
 - Alle Dokumente werden stichpunktartig überprüft
- Alternativ kann auch eine zweiseitige Zusammenfassung eines beliebigen englischsprachigen Journalartikels im Bereich der Energiewirtschaft zur letzten Übung (25.7. um 14:00 Uhr) abgegeben werden. Aufbau:
 - Wieso wurde das Paper gewählt und wie hängt es mit den Vorlesungsinhalten zusammen?
 - Kurzzusammenfassung
 - Kritische Diskussion der Inhalte, Fazit sowie weiter eigene Forschungsfragen. Die Dozenten stellen gerne Artikel bereit.

Auswertung Energie für Transport



Mittelwert: 52 kWh/Woche
d.h. 7.4 kWh/Tag!



1. Auto
2. Bahn
3. Tram
4. Bus / Fernbus
5. Fahrrad
6. zu Fuß
7. Mehrere gleichgewichtete

Wiederholung Übung 2

■ Fossile Energieträger

- Glühlampen-Investitionsrechnung
- Ressourcen vs. Reserven
- nicht- und erneuerbare Energieträger
- Brennwert und Heizwert

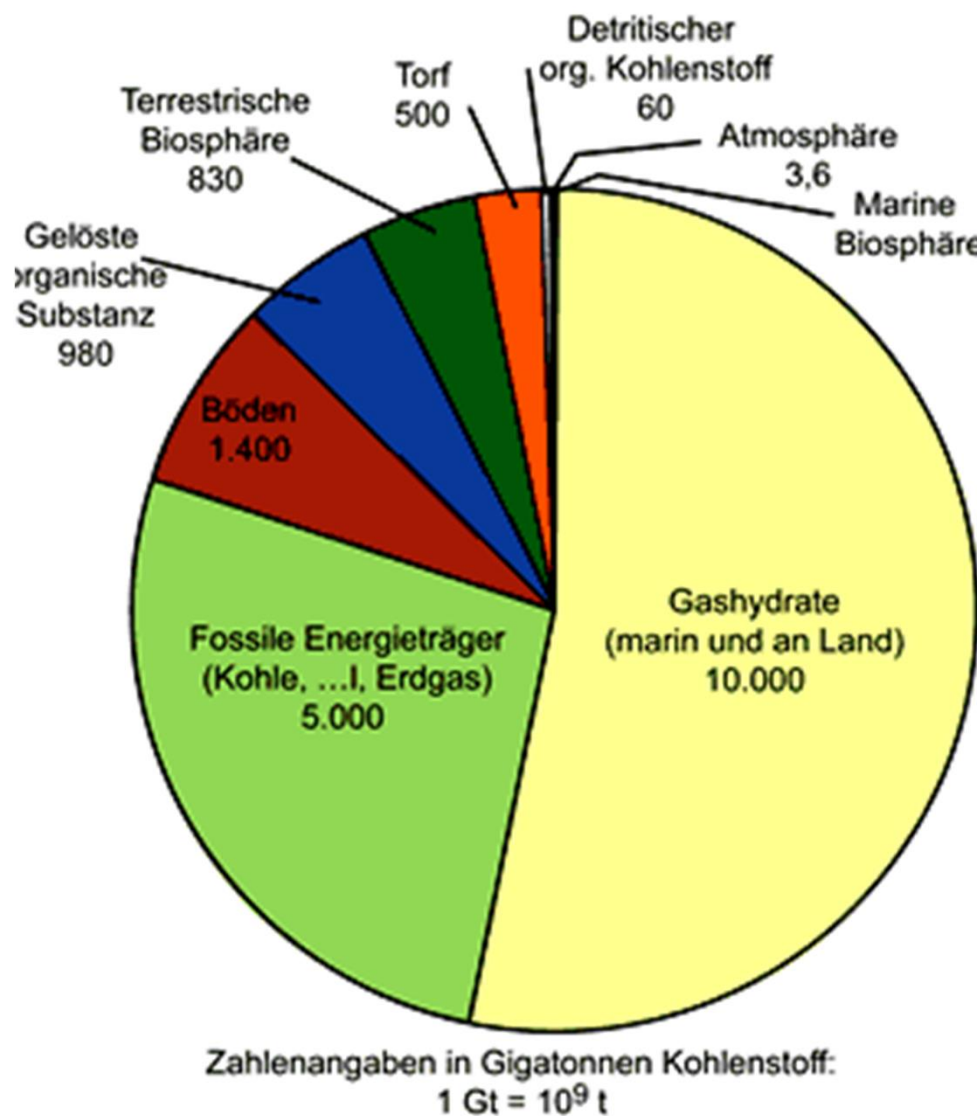
■ Erdgas

- Erdgas H und L,
- Eigenschaften,
- Anteil in Deutschland,
- Reichweite,
- Transport

Methanhydrat

- Kommt in Permafrostböden oder an den Kontinentalhängen der Ozeane als **fossiler** Energieträger vor .
- Im Methanhydrat sind geschätzt ca. 10.000 Gt Kohlenstoff gespeichert (zum Vergleich gesamte Erdöl-, Erdgas- und Kohlevorkommen ca. 5.000 Gt Kohlenstoff)
→ enormes Potential!
- Erschließung ist derzeit technisch noch nicht ausreichend entwickelt
- ABER: Im Zuge der Klimaerwärmung könnten diese Vorkommen auch ungenutzt in die Erdatmosphäre entweichen...

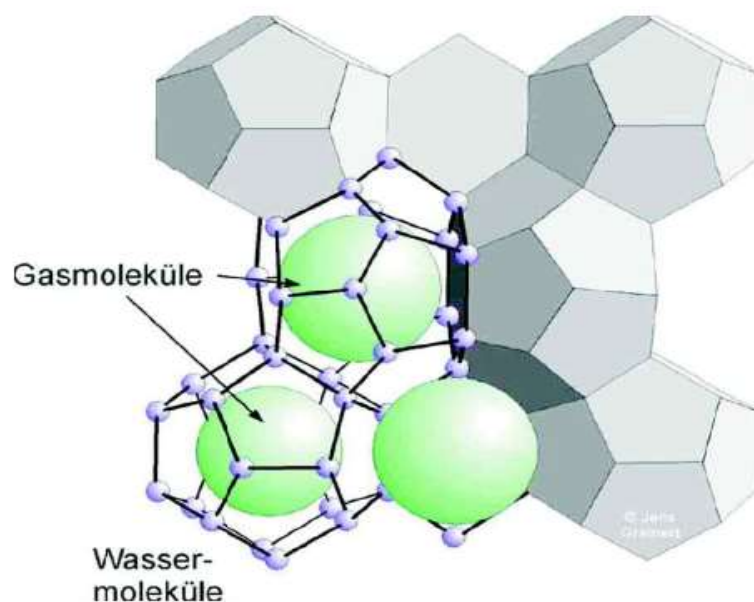
Methanhydrat – Energiepotenzial



Quelle: www.marum.de

Methanhydrat – Struktur

Methanhydrat: „Eis aus Wasser und Gas“



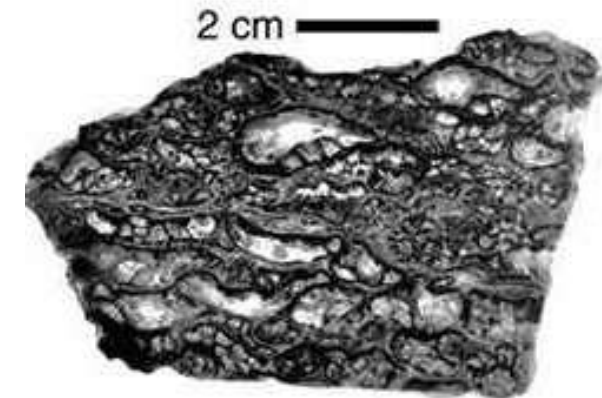
Bohmann G., Suess, E., Expedition Erde, 2002



**160 m³ Methan pro
m³ Methanhydrat**

Gashydrat-Proben vom Meeresboden

- Fotos natürlicher Gashydratgefüge aus 780 m Wassertiefe vom Hydratrücken vor der Küste Oregons (USA):
 - Eine Anschnittfläche (oben) zeigt die Verteilung von reinem Gashydrat in weiß, welches dunkles Sediment vielfach verzweigt durchdringt.
 - Ein Dünnschnitt einer reinen Gashydratlage verdeutlicht das porige, schwammähnliche Gefüge (unteres Bild).



Methanhydrat – weltweite Verteilung

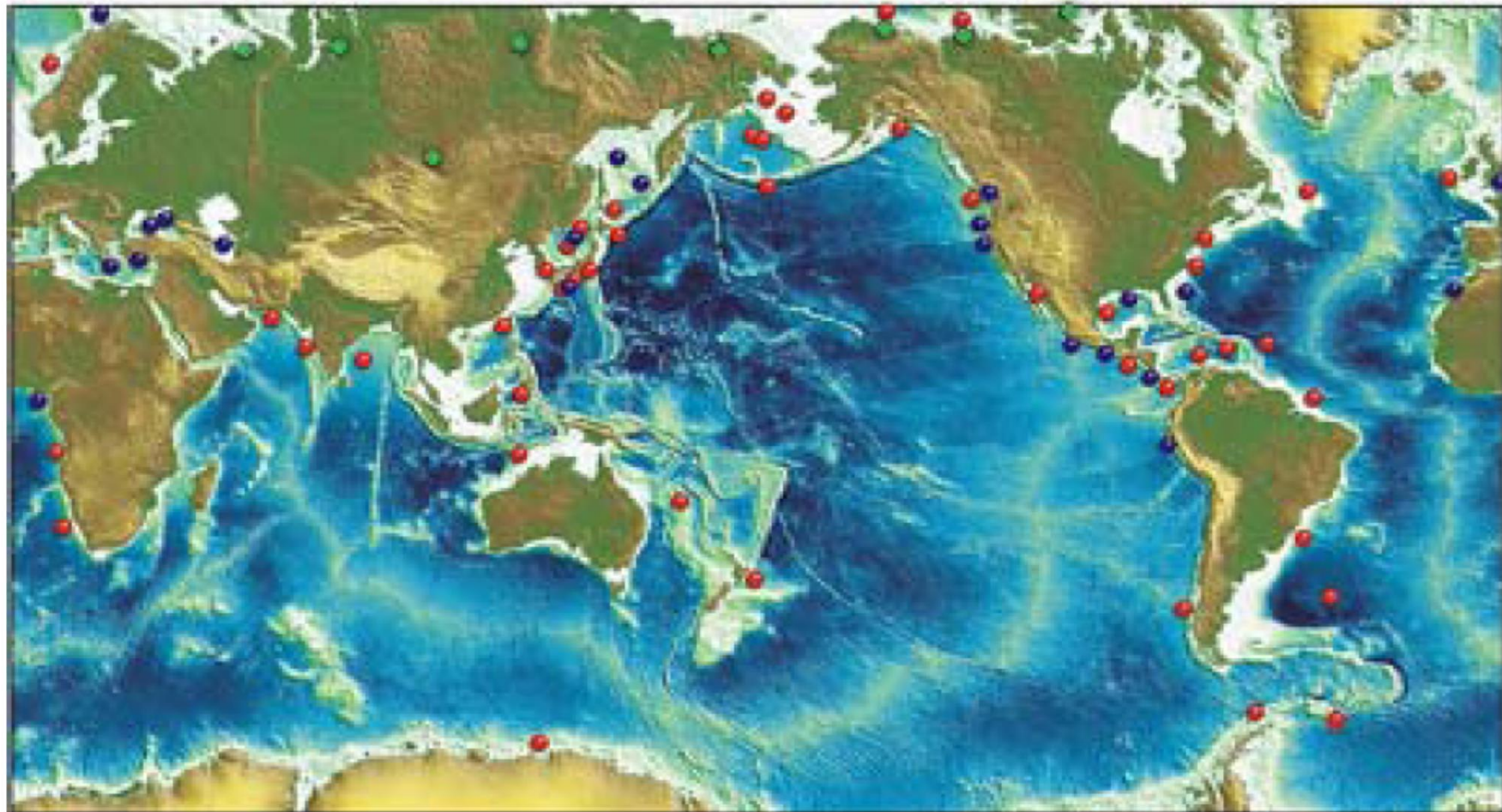


Abbildung 6: Weltweite Verteilung mariner und terrestrischer Gashydratvorkommen. Nachgewiesen in arktischen Permafrostgebieten (grüne Punkte) sowie an untermeerischen Kontinentalhängen mit geophysikalischen Methoden (rote Punkte) oder durch direkte Beprobung (blaue Punkte).
(Quelle: Kvenvolden und Lorensen, 2001)

Methan in Permafrostböden

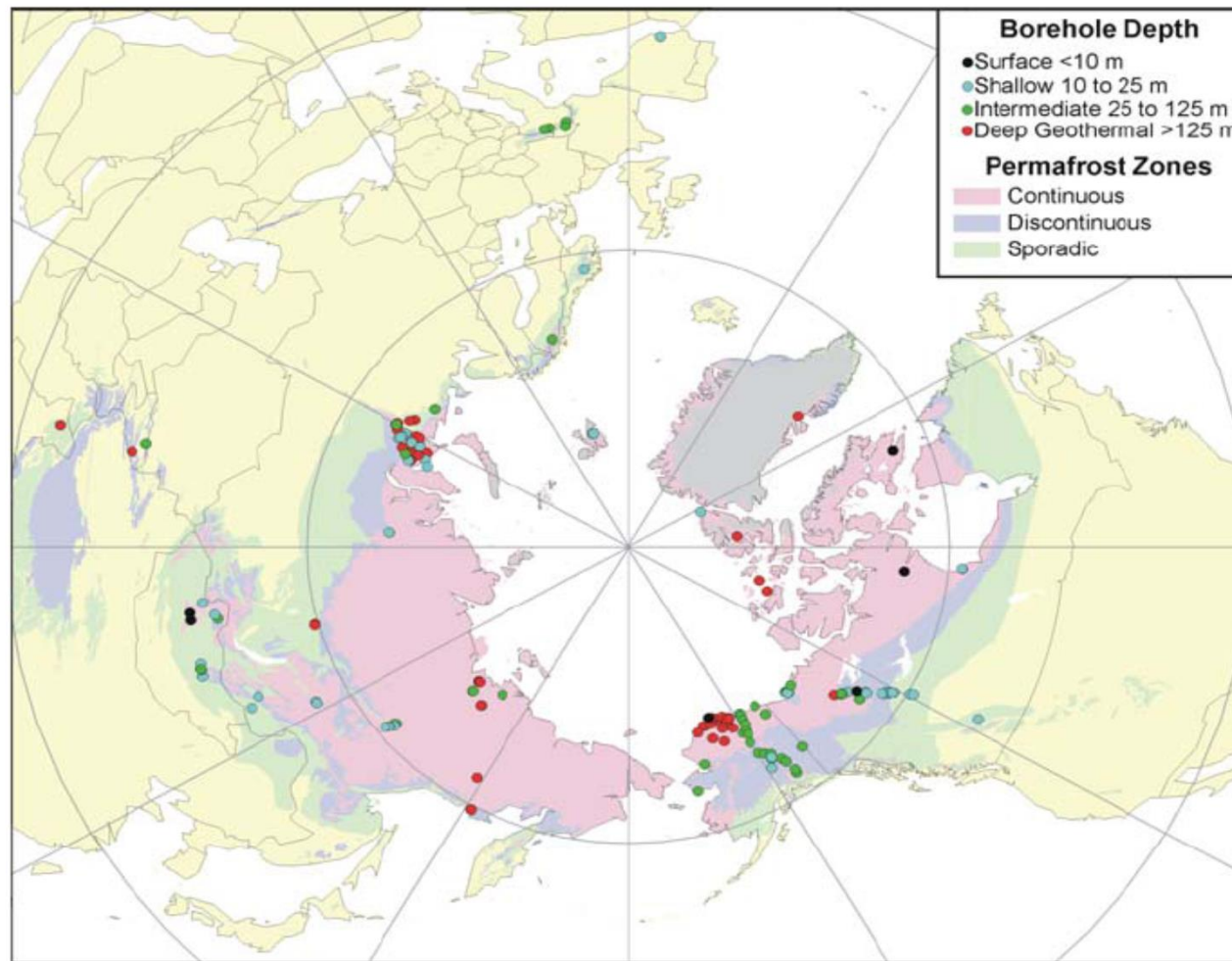
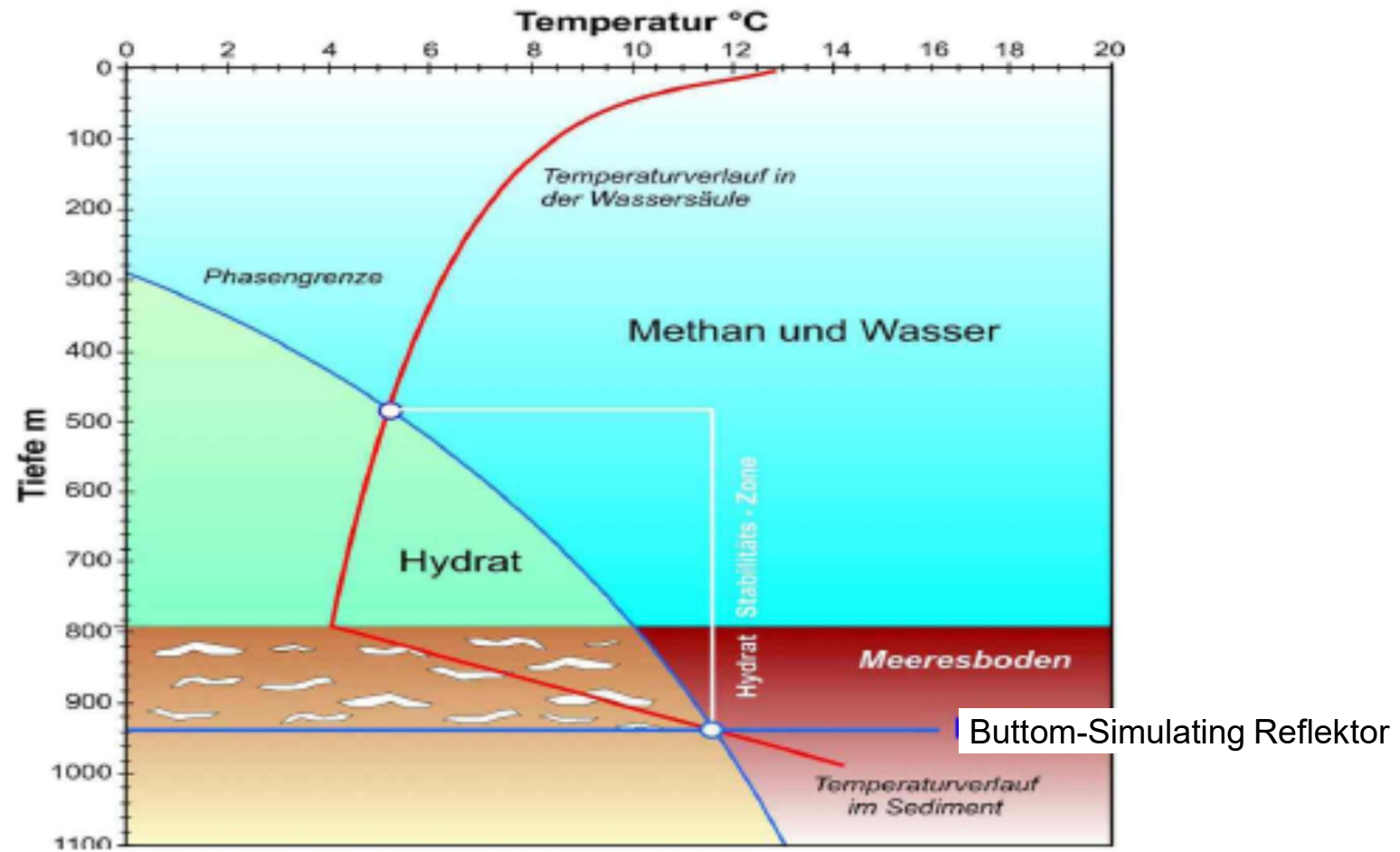


Abbildung 1: Permafrostvorkommen der Nordhemisphäre, unterteilt in Zonen kontinuierlichen, diskontinuierlichen und sporadischen Permafrostes. Bohrlöcher des Global Terrestrial Networks for Permafrost (GTN-P).
(Quelle: Smith and Burgess, 2003)

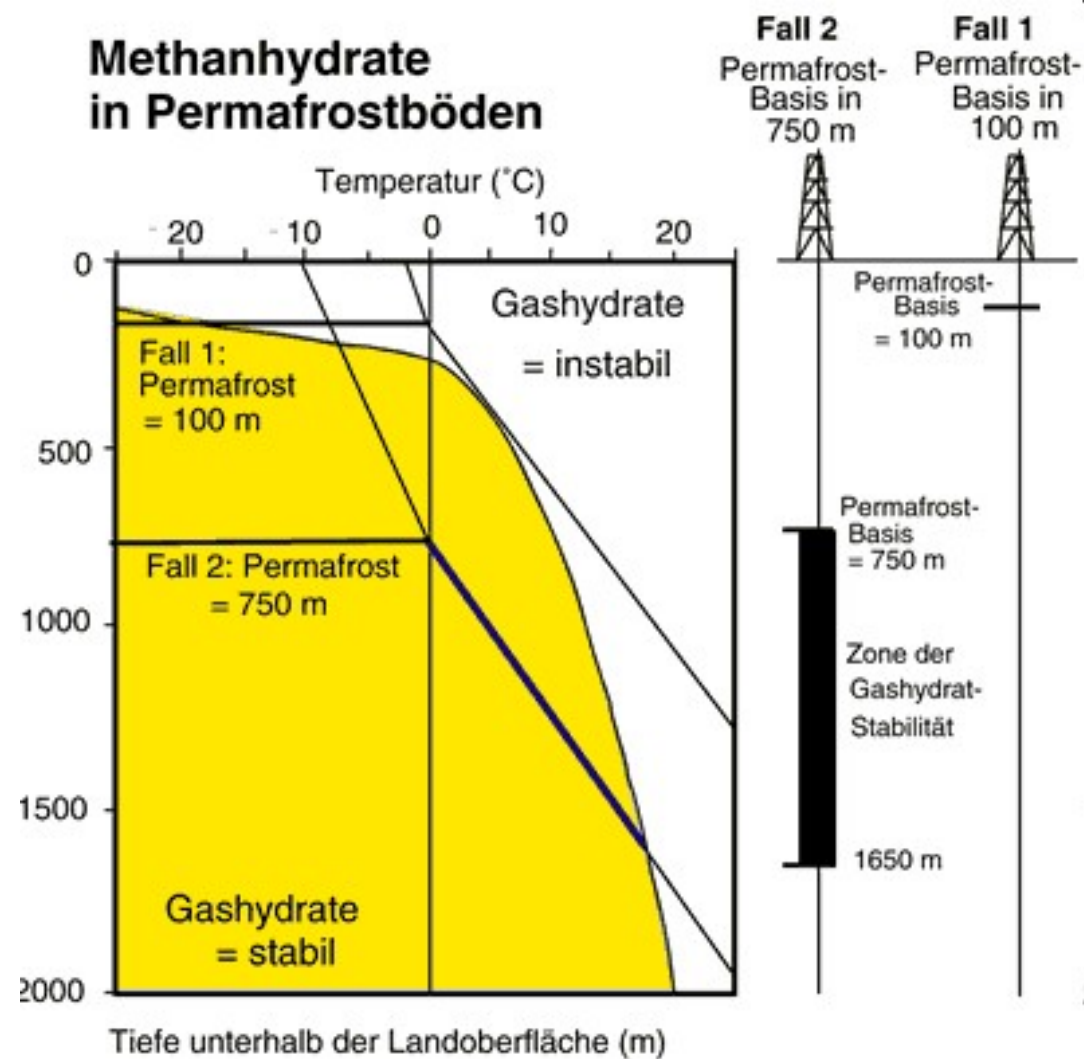
Quelle: UBA 2006

Methanhydrat – Stabilitätsfeld 1



Bohmann G., Suess, E., Expedition Erde, 2002

Methanhydrat – Stabilitätsfeld 2



Methanhydrat und Methan in Permafrost 1

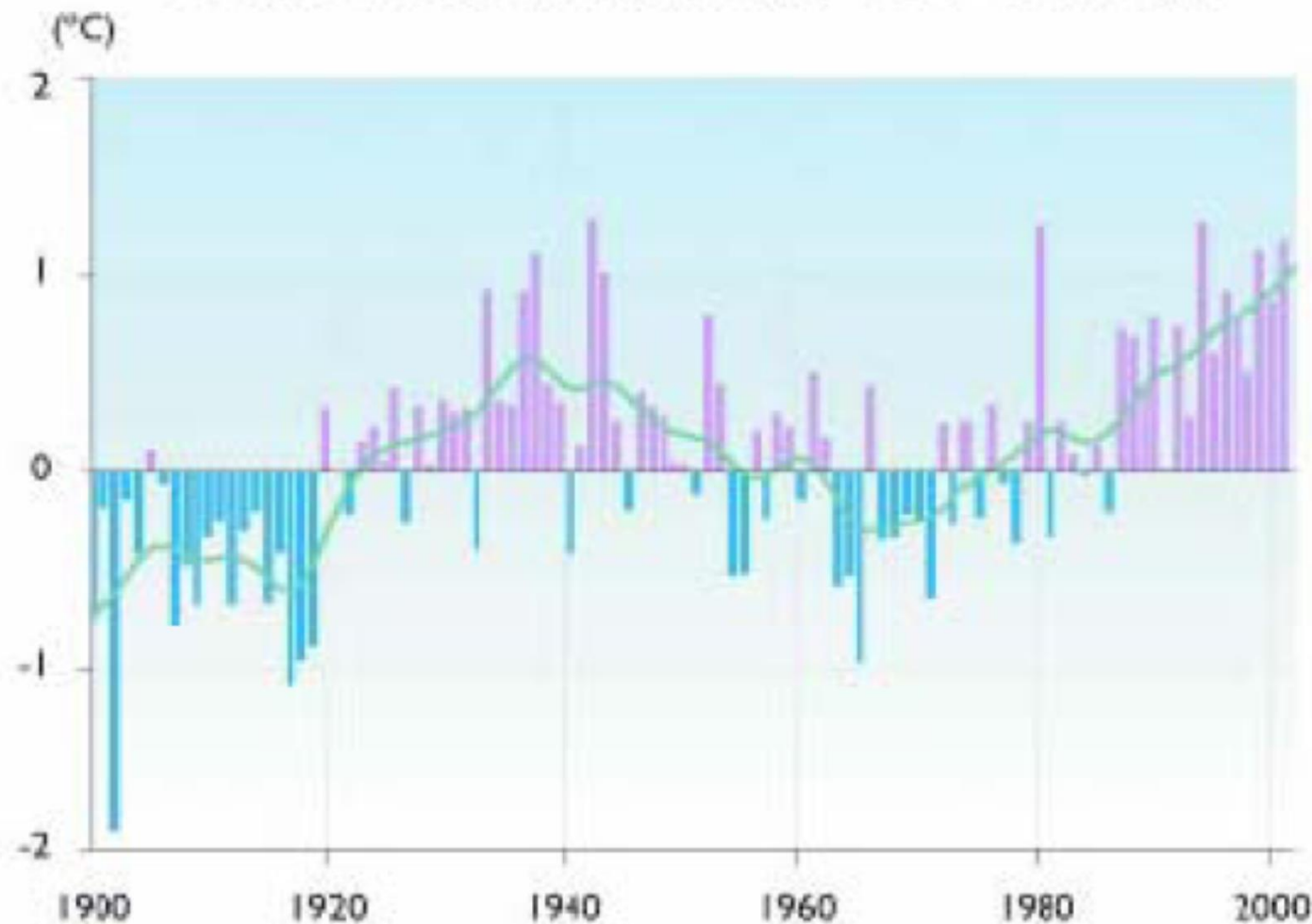
- Es ist zu befürchten, dass durch das **Auftauen des Permafrostes** große Mengen Kohlenstoff aus den eingelagerten Substanzen vorrangig in Form von **Methan aber auch als Kohlendioxid emittieren**.
- Derzeit liegen **noch keine sicheren wissenschaftlichen Erkenntnisse** über die dabei zu erwartenden frei werdenden Kohlenstoffmengen vor.
- Die Schätzungen der Kohlenstoffvorräte der Permafrostböden der hohen Breiten liegen bei 455 Gt (entspricht **25% des weltweiten Bodenkohlenstoffs**)

Methanhydrat und Methan in Permafrost 2

- Die Freisetzung von Methan aus Methanhydrat könnte auf lange Sicht ein **klimarelevantes Problem** werden.
 - Vor Beginn der Industrialisierung betrug der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre (hauptsächlich in Form von CO_2) etwa 540 Gt, derzeit etwa **730 Gt**. Jährlich werden aus der Verbrennung von Öl, Kohle und Gas etwa 6,5 Gt C emittiert, wovon im mehrjährigen Mittel etwa die Hälfte in der Atmosphäre verbleibt.
- Zur Erinnerung: allein in den Permafrostböden sind bis zu **1.000 Gt** Kohlenstoff gebunden...

Methanhydrat und Methan in Permafrost 3

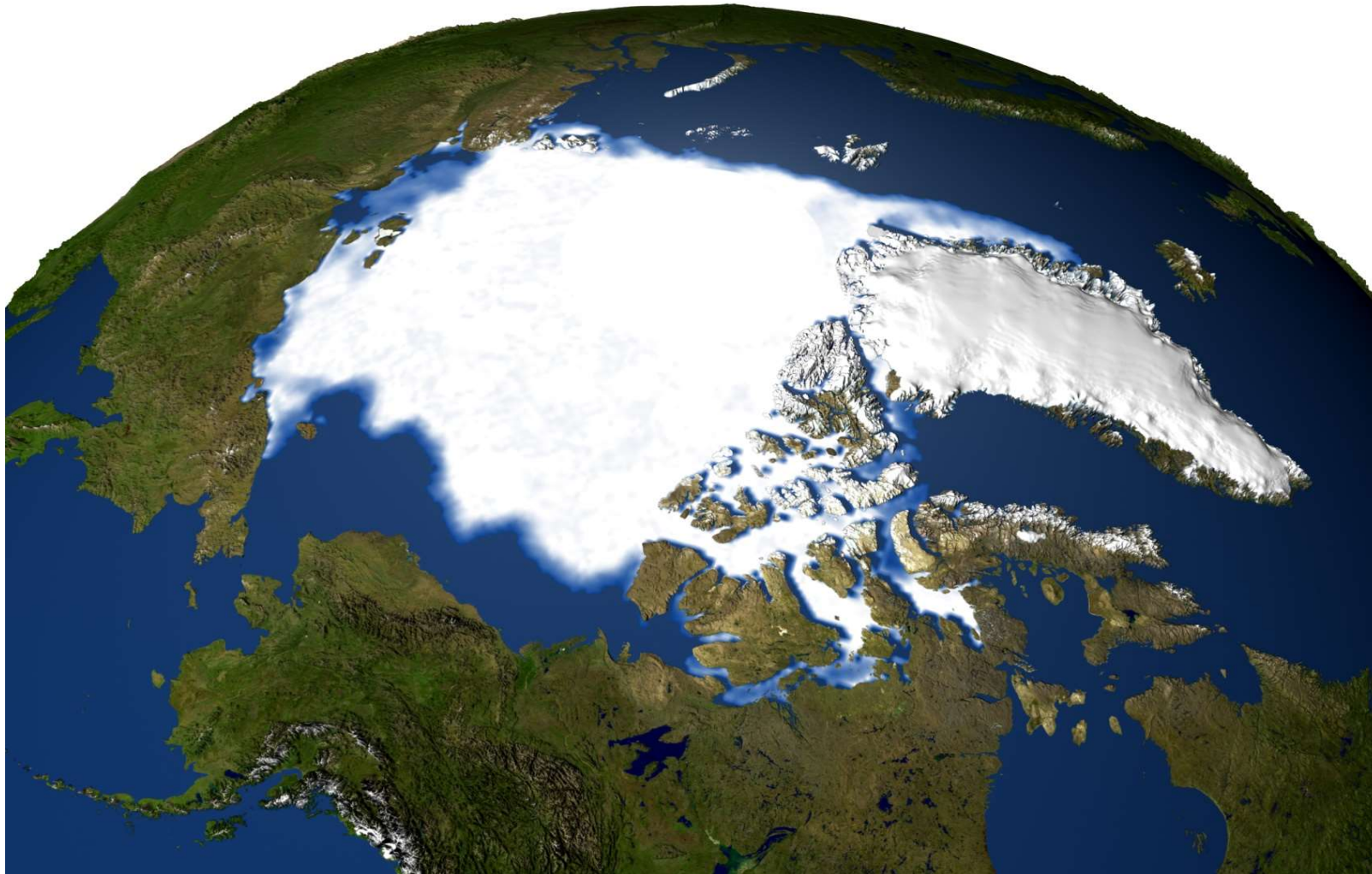
Beobachtete Arktische Temperatur seit 1900



Quelle: UBA 2006

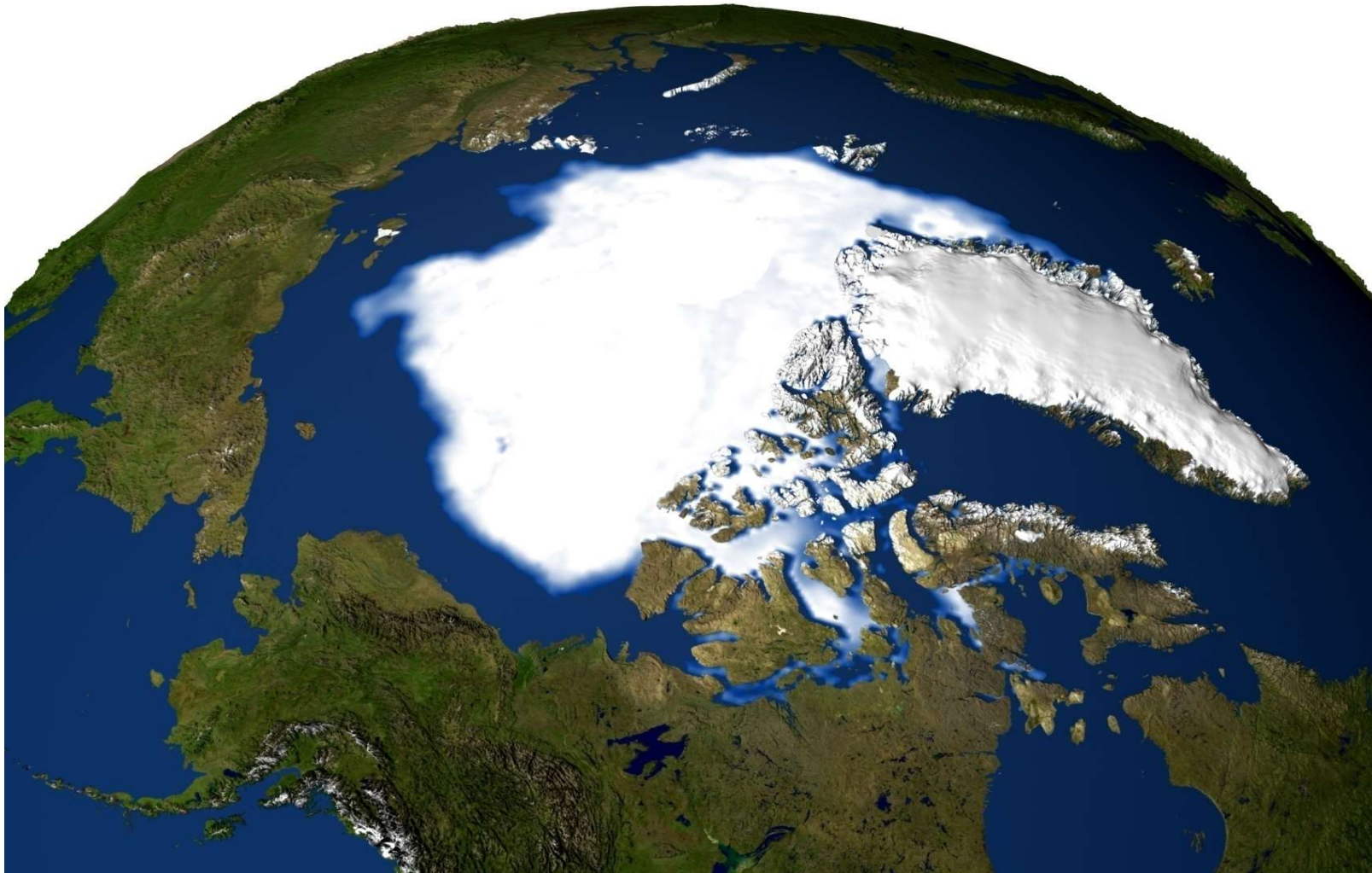
Methanhydrat und Methan in Permafrost 4

Arktische Eisbedeckung 1979; Quelle: NASA 2006



Methanhydrat und Methan in Permafrost 5

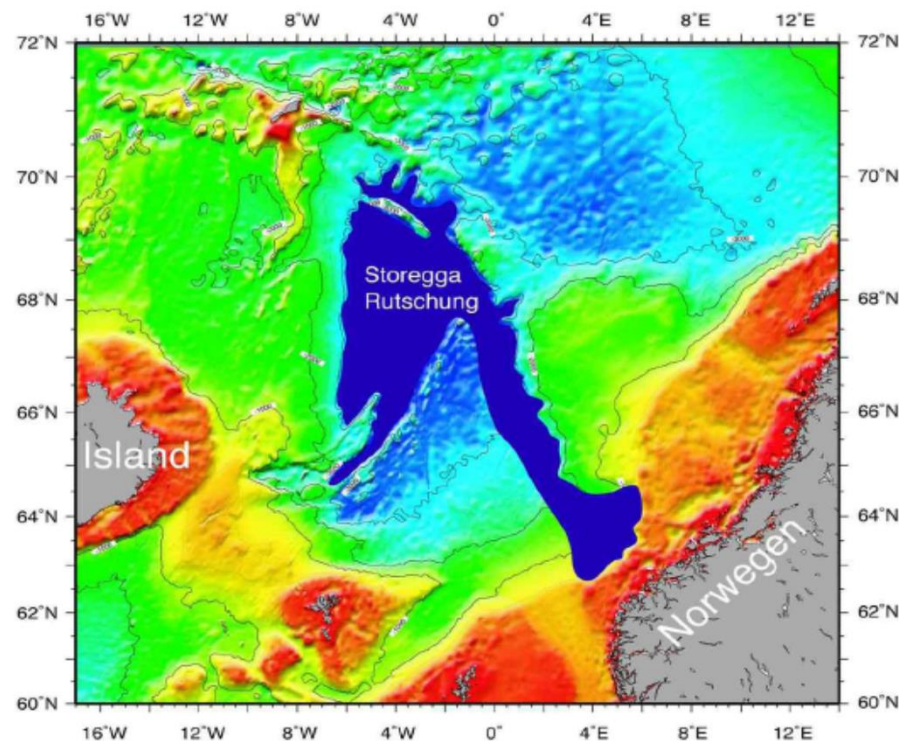
Arktische Eisbedeckung 2005; Quelle: NASA 2006





Methanhydrat – Storegga-Rutschung

Die Storegga-Rutschung: Eine Tsunami-Katastrophe vor 8000 Jahren



... könnte
beim
Abbau
verursacht
werden!

Quelle: Uni Basel 2005

Übungsaufgaben

Übungsaufgaben 4 – Erdgas

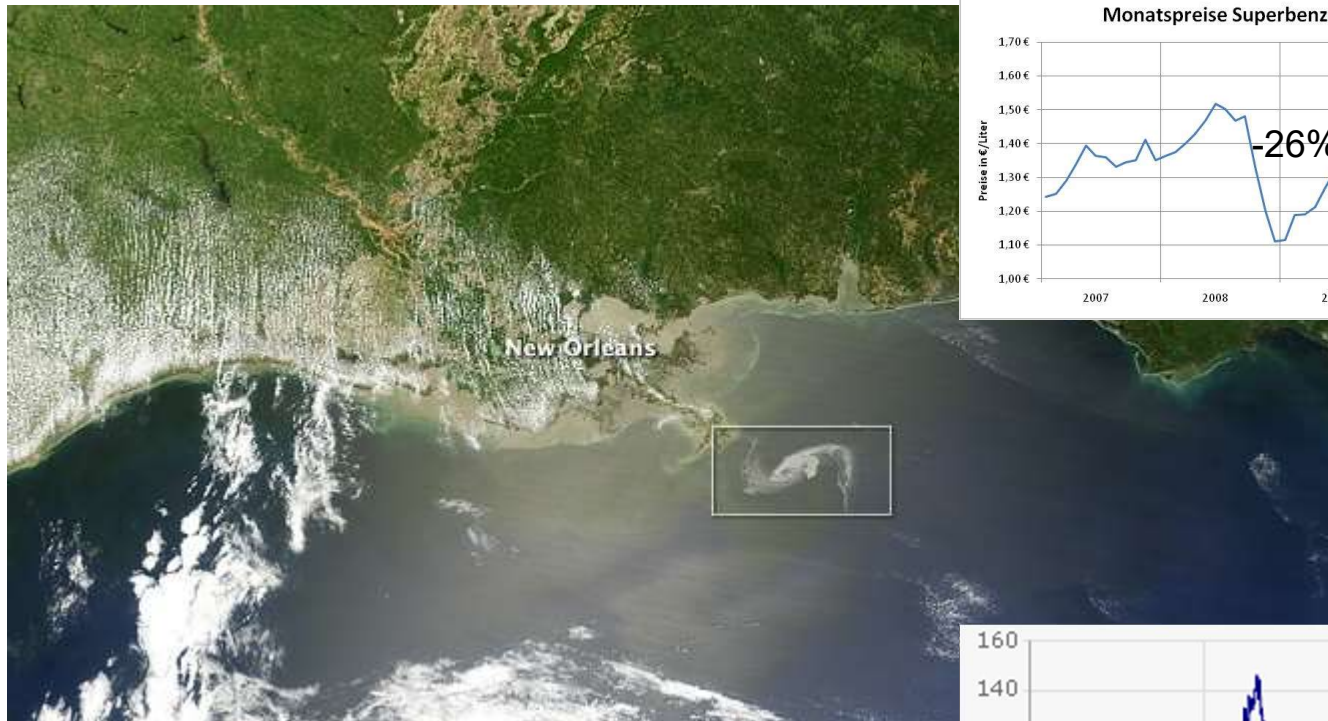
4. Erläutern Sie die Klimaproblematik, die langfristig im Zusammenhang mit Gashydraten zu erwarten ist.

Auftauen des Permafrostboden → Entweichen von Methan
→ Beschleunigter Treibhauseffekt → Beschleunigtes Auftauen
des Permafrostbodens → ... [Teufelskreis]

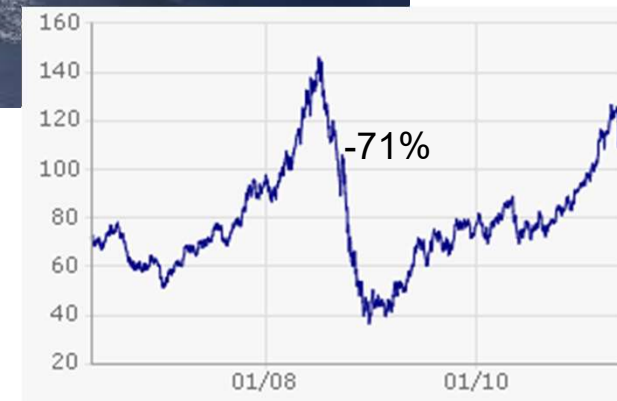
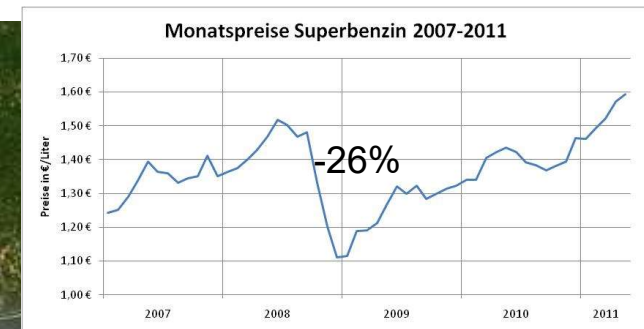
Der fossile Energieträger Erdöl



Ölkatastrophe im Golf von Mexiko

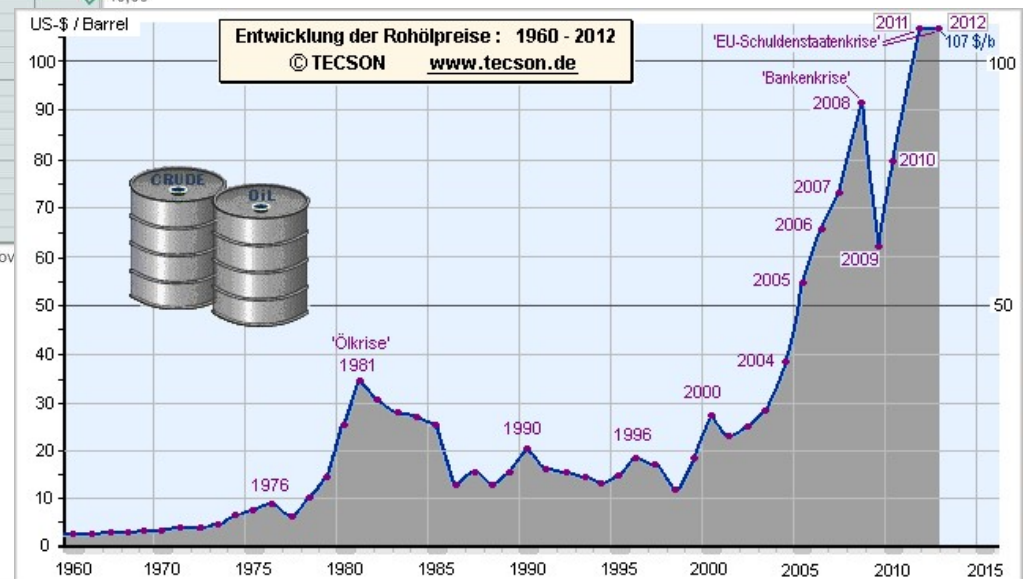
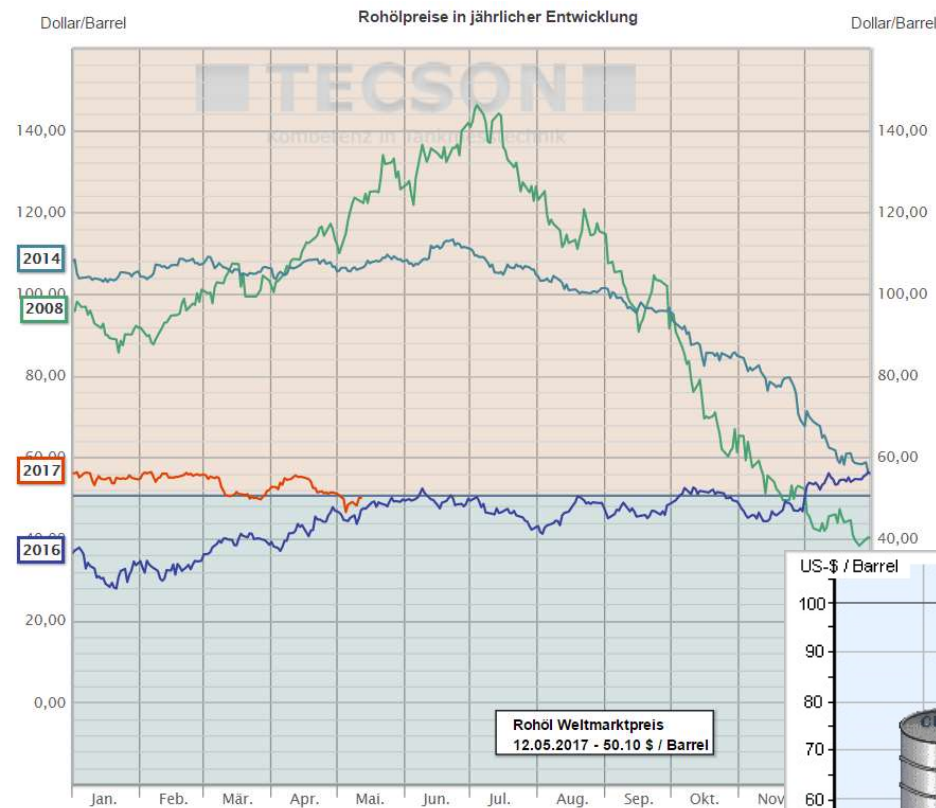


- 20. April 2010: Explosion der Plattform
- Kaum einen Effekt auf die Preisentwicklung



Quelle: Finanzen.net

Ölpreise heute



Der fossile Energieträger Erdöl – Eigenschaften

- Gemisch verschiedener fossiler, bei Umgebungstemperatur (halb-)flüssiger Kohlenwasserstoffe
- Einsatz:
 - zur Strom- und Wärmeerzeugung und als Treibstoff für Verkehrs- und Transportmittel (> 50%)
 - in der chemischen Industrie (ca. 20%)
- Dichte des Rohöls wird in °API angegeben (American Petroleum Institute)
- Verwendete Einheit: 1 Barrel (bbl) $\approx$ 159 Liter (42 gal)
- **Eigenschaften:**
 - transparent und dünnflüssig bis tiefschwarz und dickflüssig
 - Dichte typisch zwischen 0,82 und 0,94g/cm³
 - nicht wasserlöslich

Erdöl (Rohöl) – Zusammensetzung

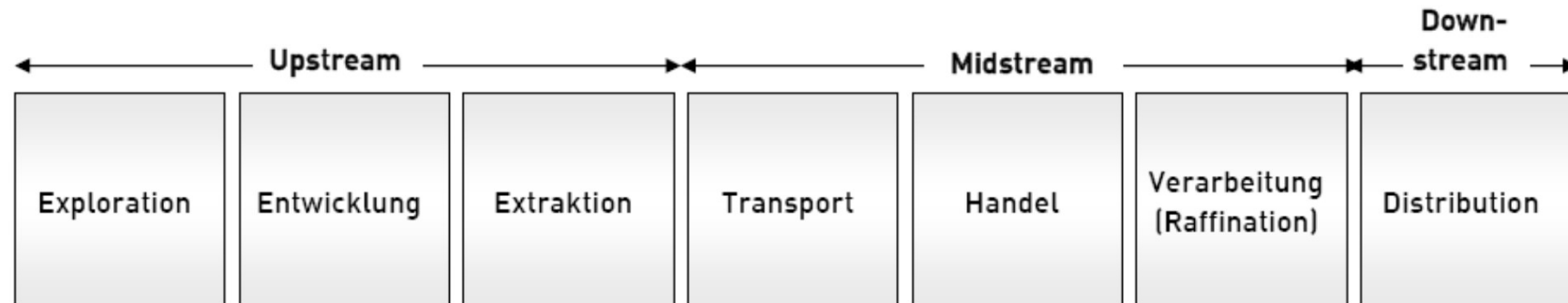
- 85 - 90% Kohlenstoff (C)
- 10 - 14% Wasserstoff (H) – insb. gebunden als Alkane, Cycloalkane und Aromate
- 0 - 1,5% Sauerstoff (O) – gebunden in Naphthensäuren, Phenolen, Harzen, Aldehyden, u.a.
- 0,1 - 3,0 (max. 7%) Schwefel (S) – meist gebunden in Thiolen, Sulfiden und heterocyclischen Verbindungen
- 0,1 - 0,5 (max. 2 %) Stickstoff (N)
- geringe Mengen (0,001 - 0,05 %) Aschenbestandteile mit Spuren zahlreicher Elemente wie Chlor, Iod, Arsen, Phosphor, Kalium, Natrium u.a.

	Gew. [g]	% of Total
■ Kohlenstoff	83	83.00 %
■ Wasserstoff	11	11.00 %
■ Schwefel	5	05.00 %
■ Sauerstoff, Stickstoff, Metall	1	01.00 %
	100	Total

www.aral-forschung.de

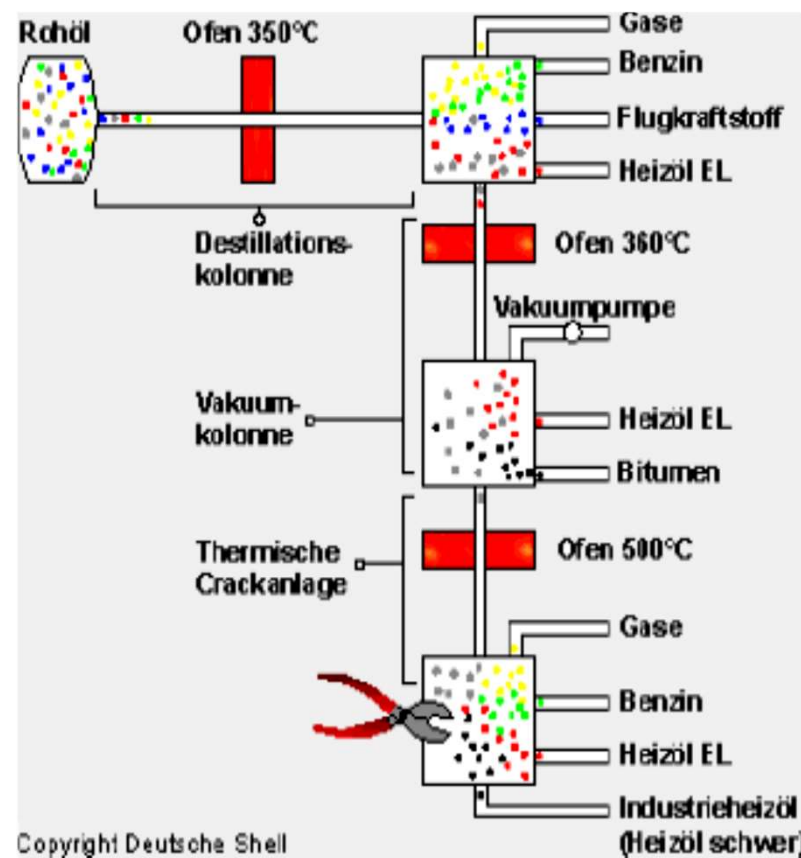
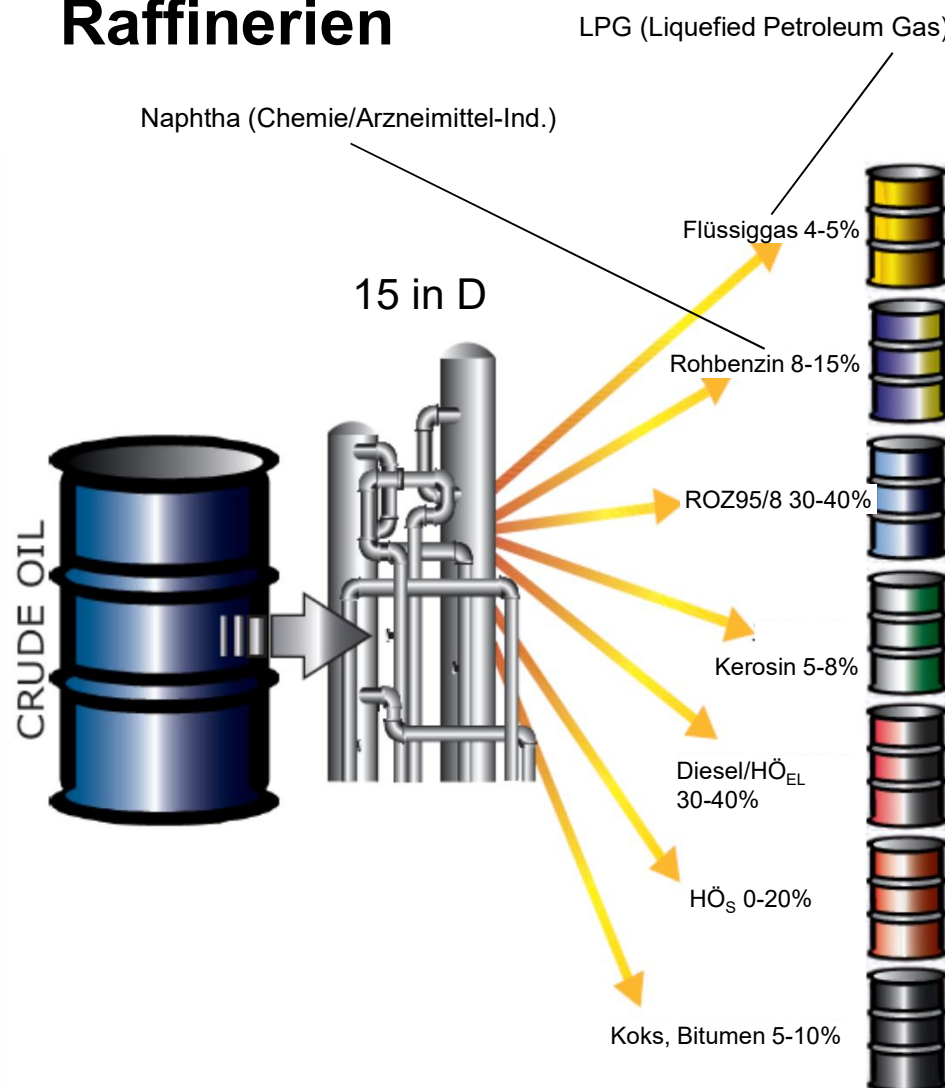


Wertschöpfungskette von Rohöl



- Auf dem Ölmarkt besteht der Anreiz zur vertikalen Integration entlang der Wertschöpfungskette (Monopolstellung).
- Unterschiedliche Rohöle mit ihren Zusammensetzungen erzeugen unterschiedliche Produktspektren.
- Raffinerien sind i.d.R. an die jeweilig verfügbare Rohölsorte angepasst (Cracker, Coking usw.).

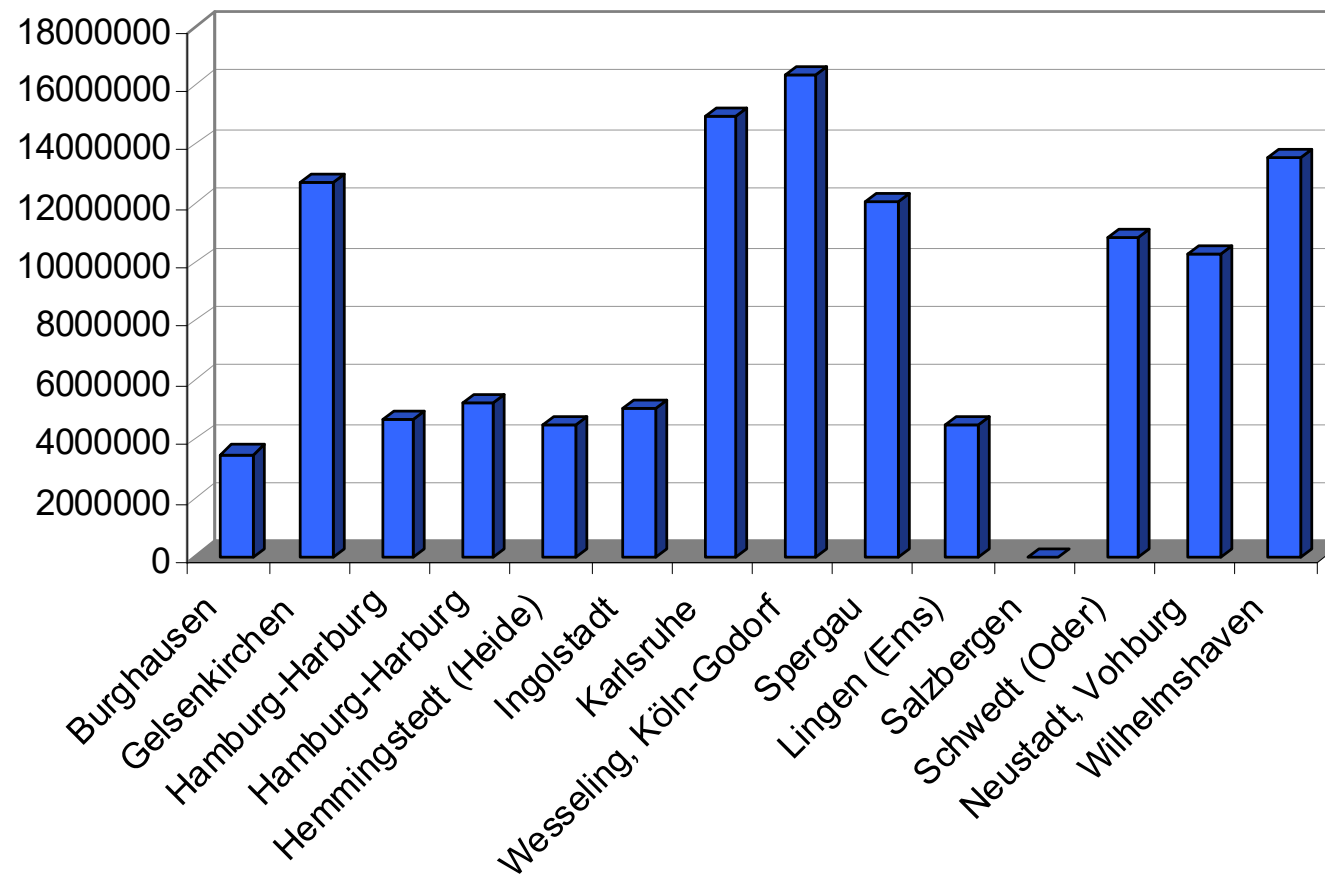
Raffinerien



Quelle: Europa 2005

Raffinerien – Kapazitäten in Deutschland

Kapazität deutscher Erdölraffinerien [t p.a.]



Quelle: MWV, 2010

Übungsaufgaben – Erdöl 1

1. Eine Rohölraffinerie arbeitet mit einer Ausbeute von 50%_w Diesel und Heizöl leicht, 30%_w Benzin.

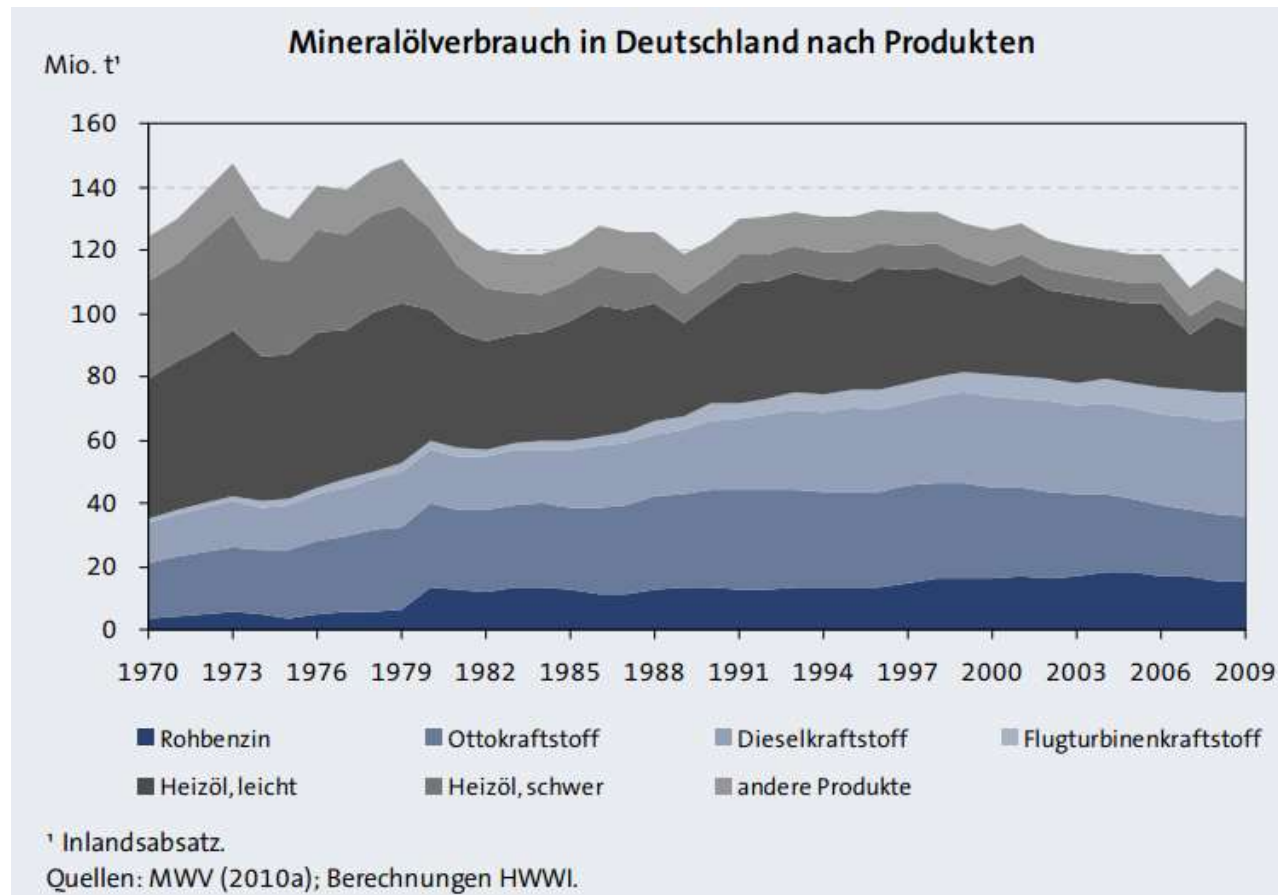
- a) Welche Mengen werden bei einem Rohöleinsatz von 10 Mio. t/a und einem Wirkungsgrad der Raffinerie von 92% erzeugt?
- b) Welche Menge [t] an Reststoffen (Koks, Teer etc.) ergeben sich pro Jahr, wenn zudem noch 1,15 Mrd. m³ Gase [Dichte: 0,8 Kg/m³] pro Jahr gewonnen werden können?

[Hinweis: %_w = Massenanteil; Nehmen Sie zudem an, dass die Gesamtmasse konstant bleibt.]

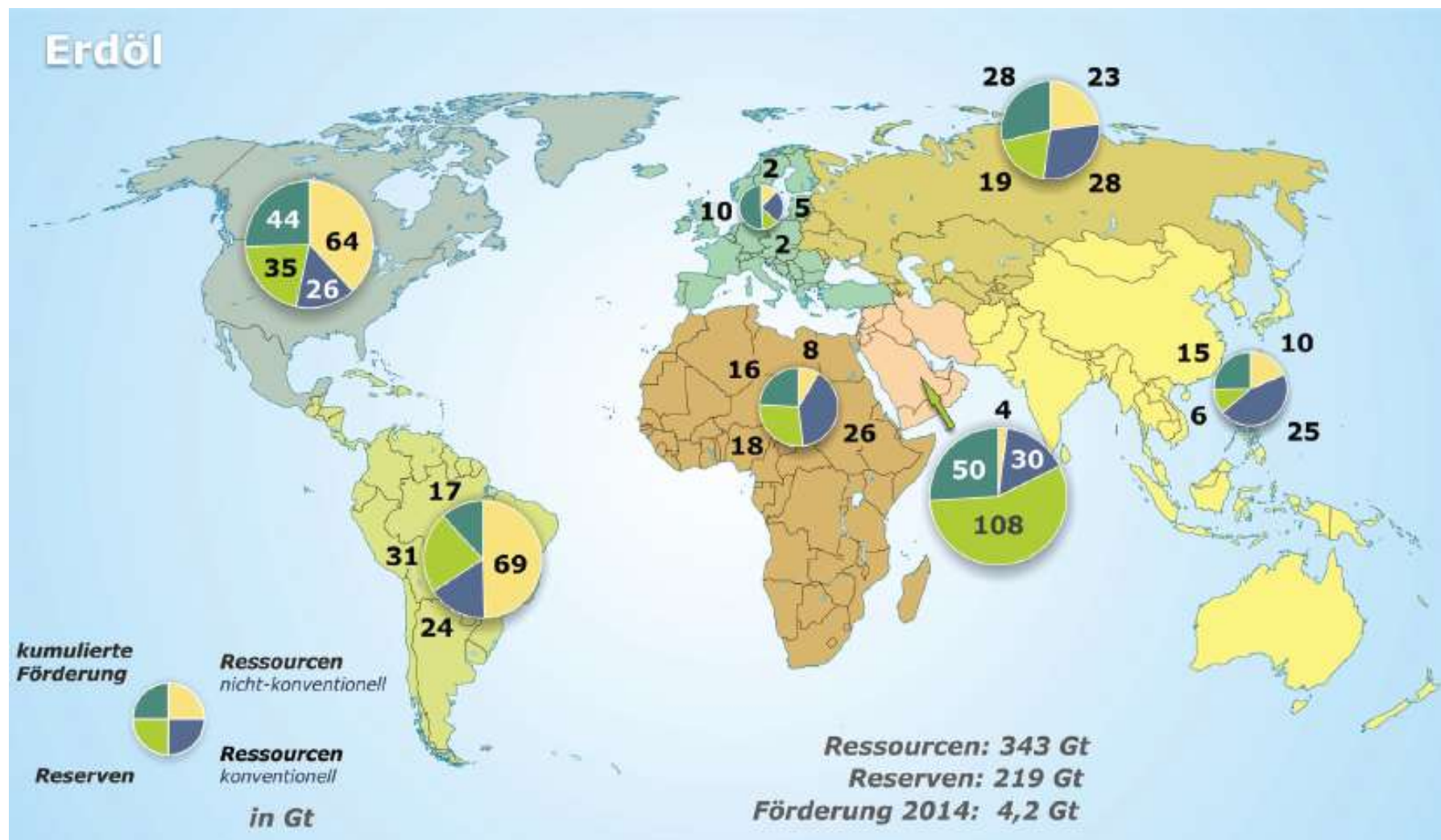
Übungsaufgaben – Erdöl 1 – Lösung

- a) Diesel und H_{EL} : 4,6 Mio. t/a
Benzin: 2,76 Mio. t/a
- b) Gas: 0,92 Mio. t/a
Sonstiges: 0,92 Mio. t/a

Mineralölverbrauch in Deutschland

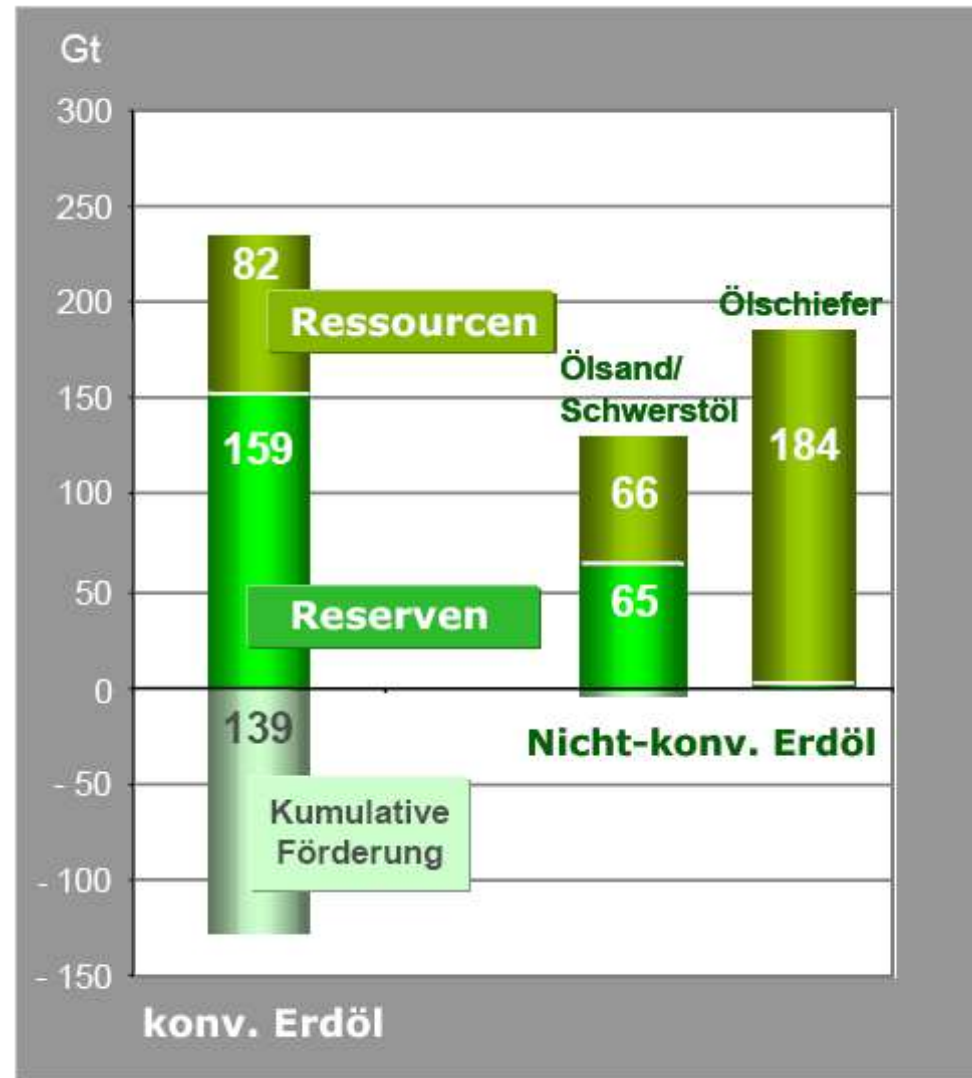


Globale Erdölreserven – Vorkommen



BGR, 2015

Globale Erdölreserven – Ressourcen



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Übungsaufgaben – Erdöl 2

2. Berechnen Sie die statische und dynamische Reichweite der heute wirtschaftlich gewinnbaren Energievorräte bei einer jährlichen Förderung von 3,9 Mrd. t:

- a) konventionellem Erdöl,
- b) konventionellem und nicht-konventionellem Erdöl.

Bei der dynamischen Betrachtung soll eine Steigerungsrate von 3% pro Jahr bedingt durch Bevölkerungswachstum und Verbesserung des Lebensstandards angenommen werden.

Erdöl	in Milliarden Tonnen	Reserven	Ressourcen	Gesamtpotential
konventionell		149	89	238
nicht konventionell		134	574	708
davon Schweröl		33	77	110
Ölsand/Schwerstöl		100	15	115
Ölschiefer		1	482	483
Total		283	663	946

Übungsaufgaben – Erdöl 2 – Lösung

Reichweite	a)	b)
statische	38 Jahre	73 Jahre
dynamische	25 Jahre	38 Jahre

■ Hinweis für die Berechnung der dynamischen Reichweite:

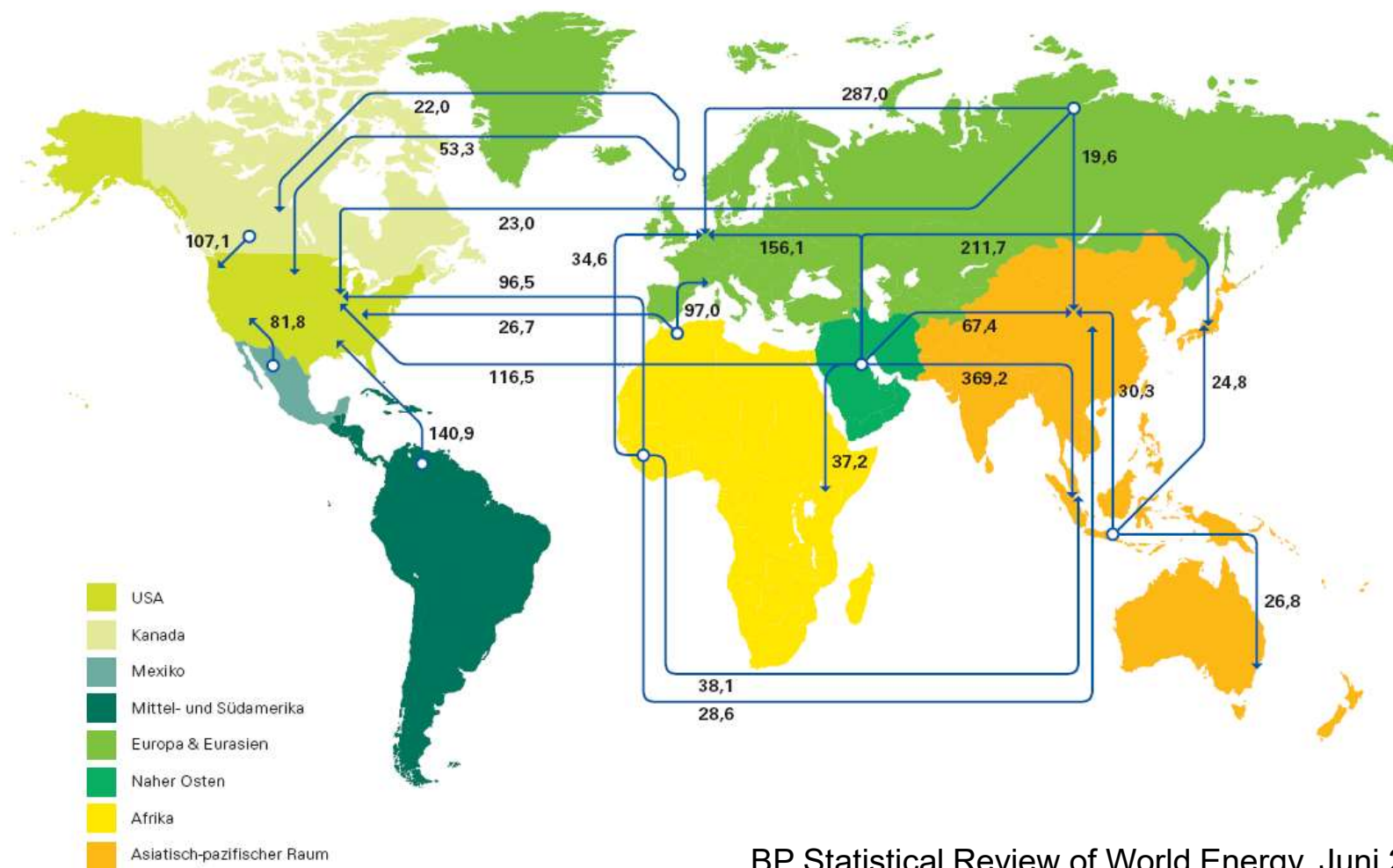
$$149 \cdot 10^9 = 3,9 \cdot 10^9 \cdot \sum_{t=0}^n 1,03^t$$

$$149 = 3,9 \cdot \frac{1,03^{n+1} - 1}{1,03 - 1}$$

Erdöl – Internationale Transportwege

Wichtigste Handelsströme

Weltweite Handelsströme (in Millionen Tonnen)



BP Statistical Review of World Energy, Juni 2011

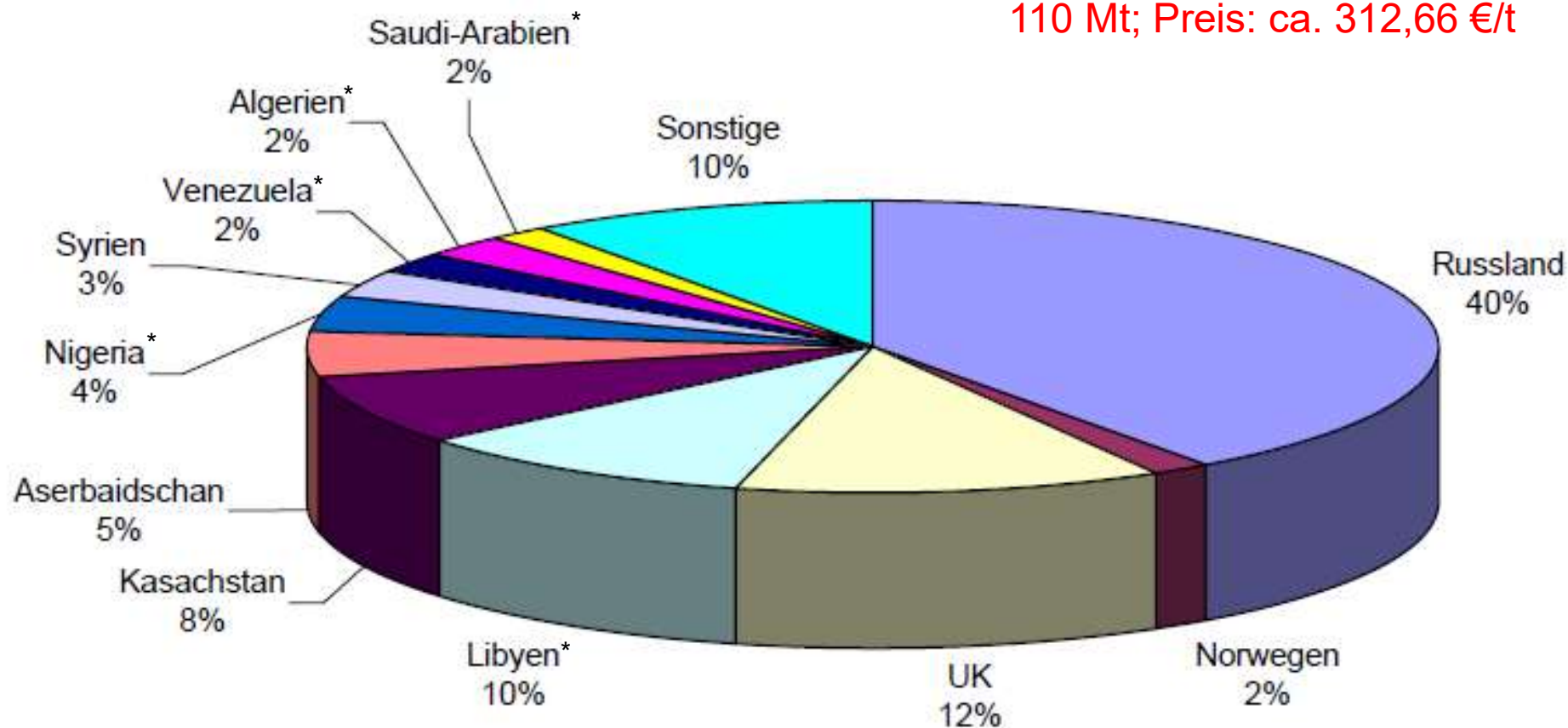
Erdölpipelines in Europa



Quelle: EIA, 2009

Erdöl – Herkunft der Deutschen Importe 2009

110 Mt; Preis: ca. 312,66 €/t



20% aus OPEC-Staaten [*]

Quelle: BMWi, 2010

Prognose der Erdölnachfrage bis 2050

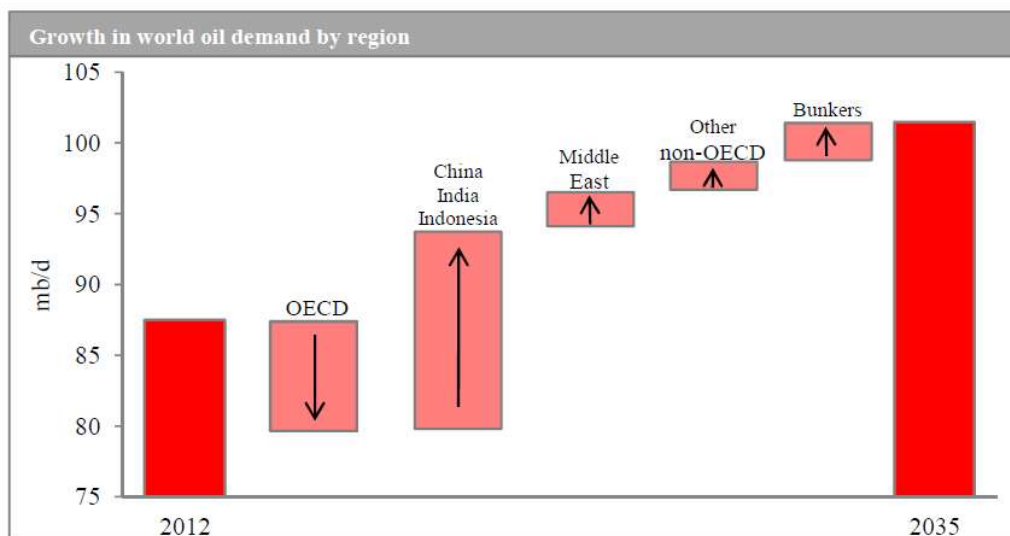
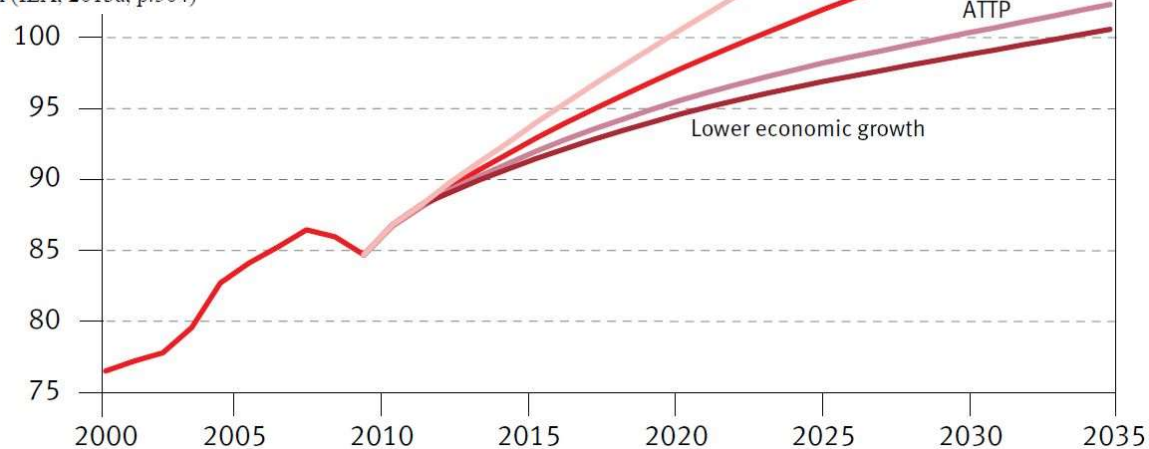
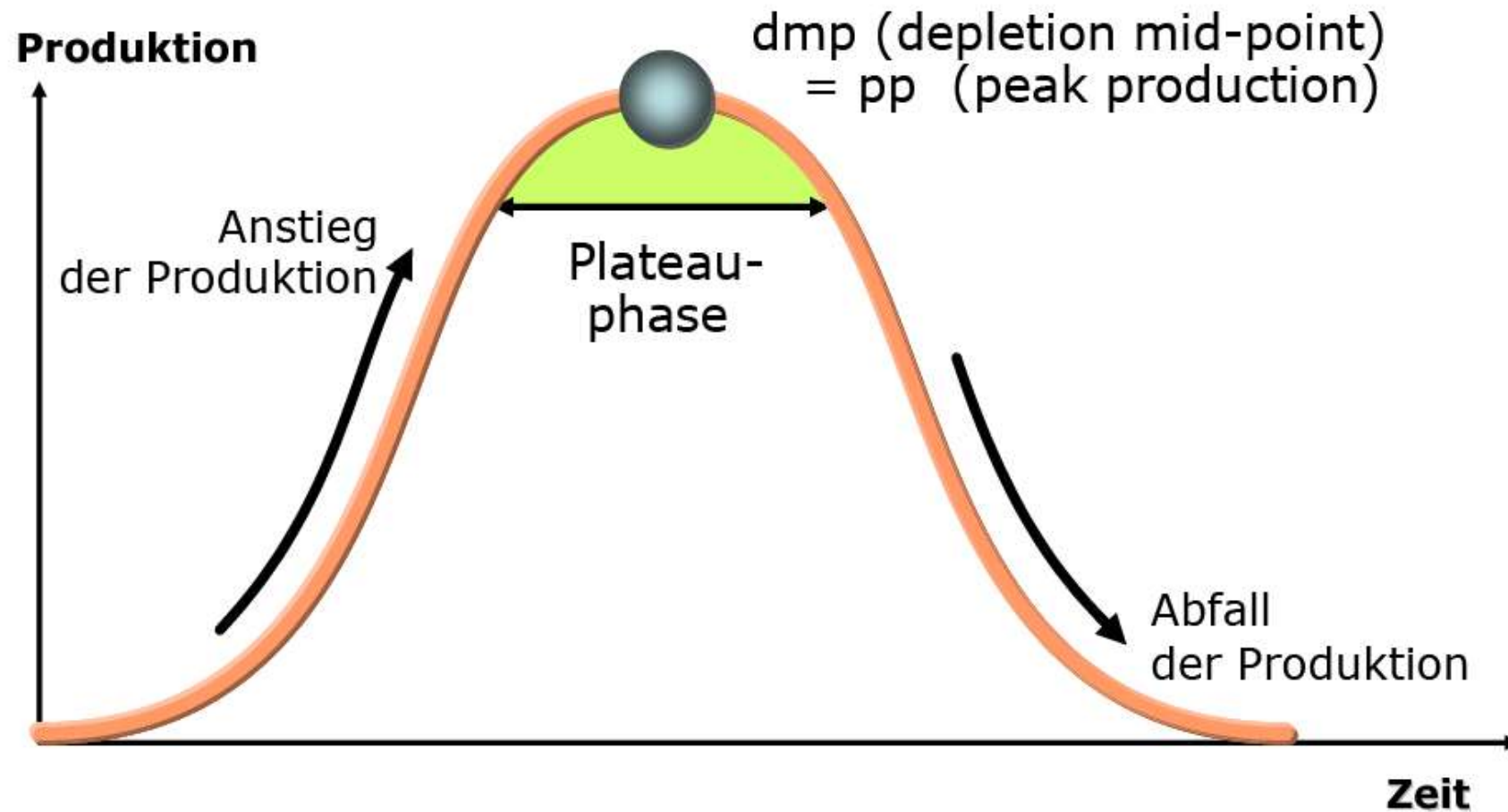


Figure 3-2: Growth in world oil demand by region (IEA, 2013a, p.504)



Quelle: OECD – World Oil Outlook 2011

Erdöl – Depletion mid-point 1 („Peak Oil“)



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Übungsaufgaben – Erdöl 3

3. Erläutern Sie, warum die Bestimmung des dmp/pp für Erdöl mit Unsicherheiten behaftet ist!
- Bestimmung der Reserven/Ressourcen unsicher (Exploration, Interessen der Förderunternehmen [Bilanzfälschung Shell], Reserven abhängig von Preisniveau)
 - nicht-konventionelle Vorkommen wenig erkundet
 - Verbrauchsprognosen unsicher
 - Technologieentwicklung Nutzungsgrad der Lagerstätten

Übungsaufgaben – Erdöl 4 – Lösung

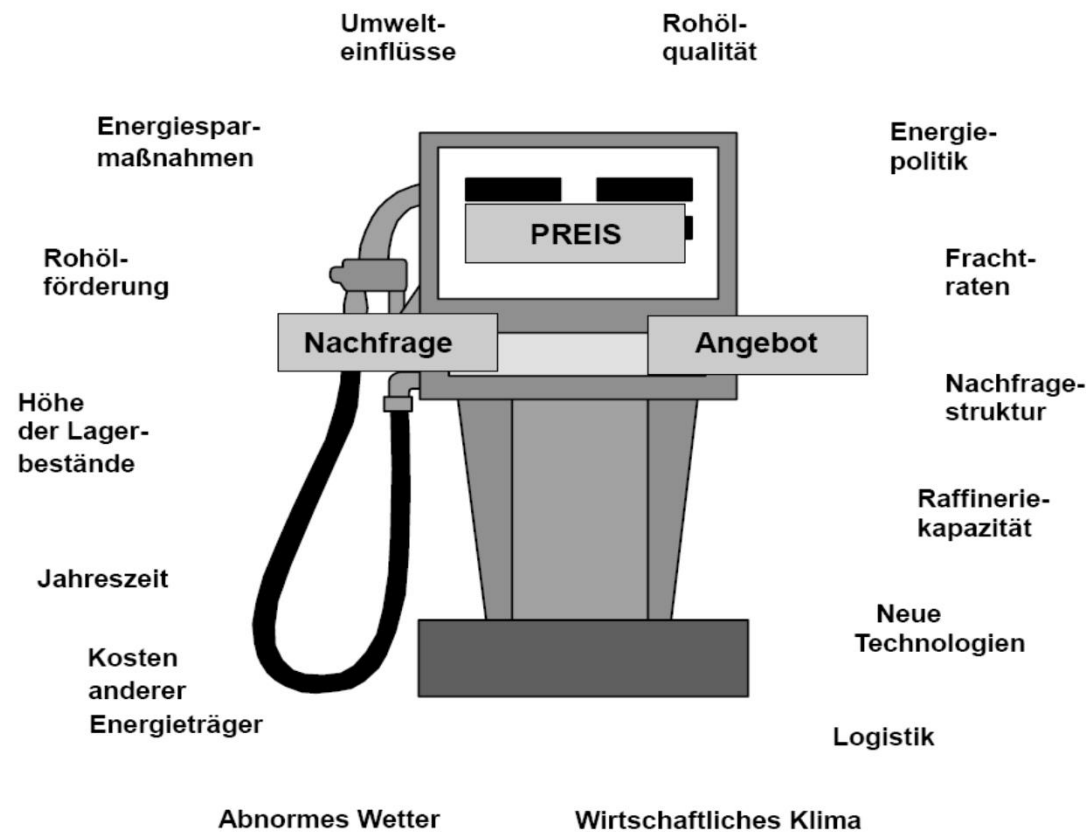
4. Angenommen seien ein noch vorhandenes globales Gesamtpotenzial an konventionellem Erdöl von 240 Mrd. t, ein bisheriges Produktionsvolumen von 139 Mrd. t und eine jährliche Produktion von 3,9 Mrd. t.
- a) Wann ist/wäre der dmp erreicht? [Ann.: Konstante Produktion]
 - b) Welcher dmp ergibt sich, wenn das Potenzial des nicht-konventionellem Erdöl (315 Mrd. t) berücksichtigt wird?
 - c) Was denken Sie, wird dieser dmp eher früher oder später erreicht werden?

■ Lösung:

- a) 13 Jahre
- b) 53 Jahre
- c) Früher, da Nachfrage weiterhin stark steigt.

Übungsaufgaben – Erdöl 5

5. Nennen und erläutern Sie die wesentlichen Faktoren, die den Weltmarktpreis von Rohöl bestimmen!



Ölpreiskrise 1973 und 1979/80

■ „Ölembargo“

- OPEC drosselte bewusst die Fördermengen um ca. fünf Prozent (politisches Druckmittel → Yom-Kippur-Krieg)
- Am 17. Oktober 1973 Ölpreisanstieg von rund 3\$ pro Barrel auf über 5\$. Dies entspricht einem Anstieg um ca. 70 Prozent. Im Verlauf des nächsten Jahres stieg der Weltölpreis auf über zwölf Dollar.
- In Deutschland Sonntagsfahrverbot + Geschwindigkeitsbegrenzung
- Einführung der Sommerzeit → Energieeinsparung?
- 1974 musste die BRD für Ölimporte rund 17 Mrd. DM mehr zahlen als im Vorjahr (Ölpreisschock) → Konjunkturkrise

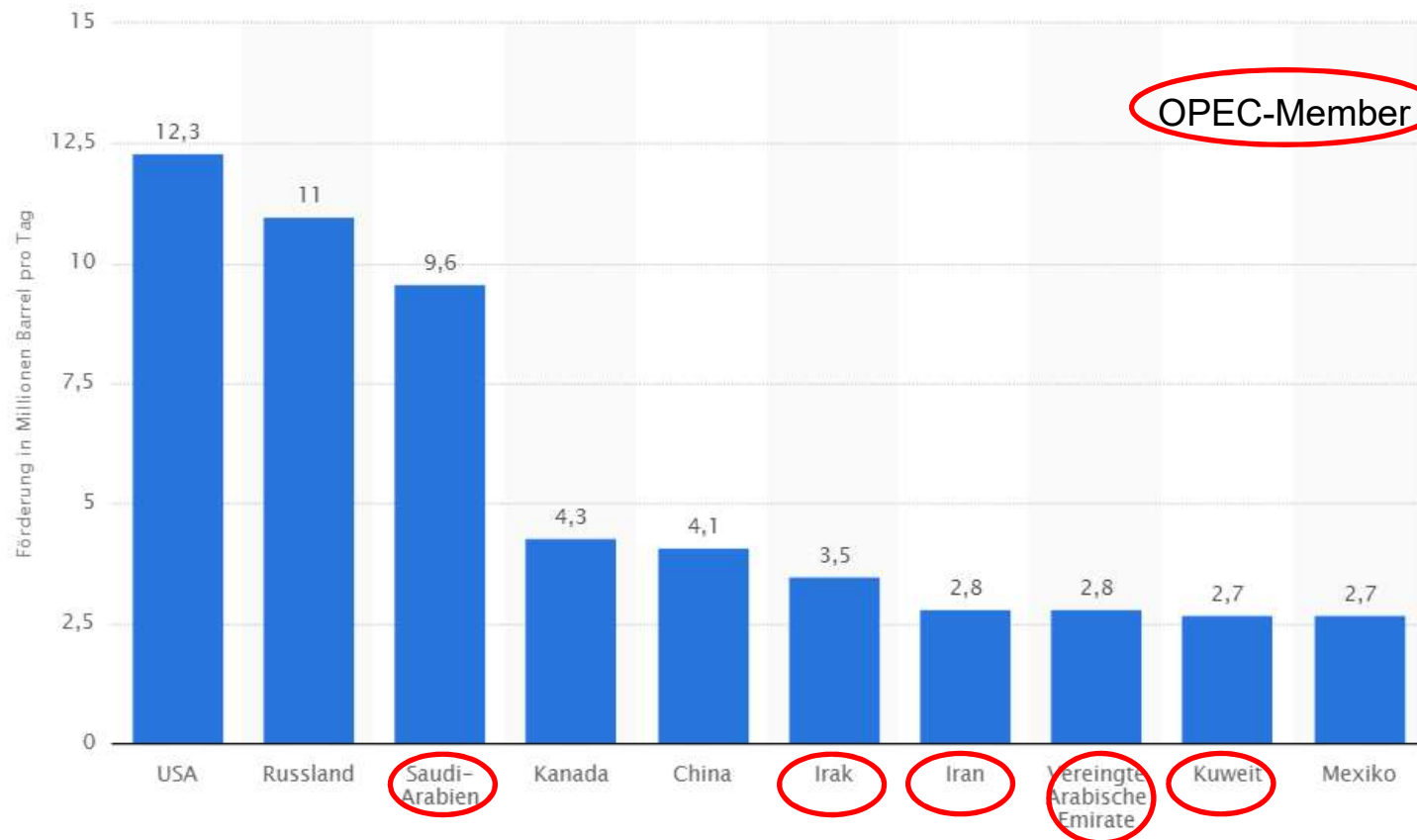
■ Ölpreiskrise 1978/80

- ausgelöst durch Förderungsausfälle und Verunsicherung nach der Revolution im Iran und dem folgenden Angriff Iraks auf Iran (1. Golfkrieg).
- Preisanstieg bis ca. 35\$ pro Barrel

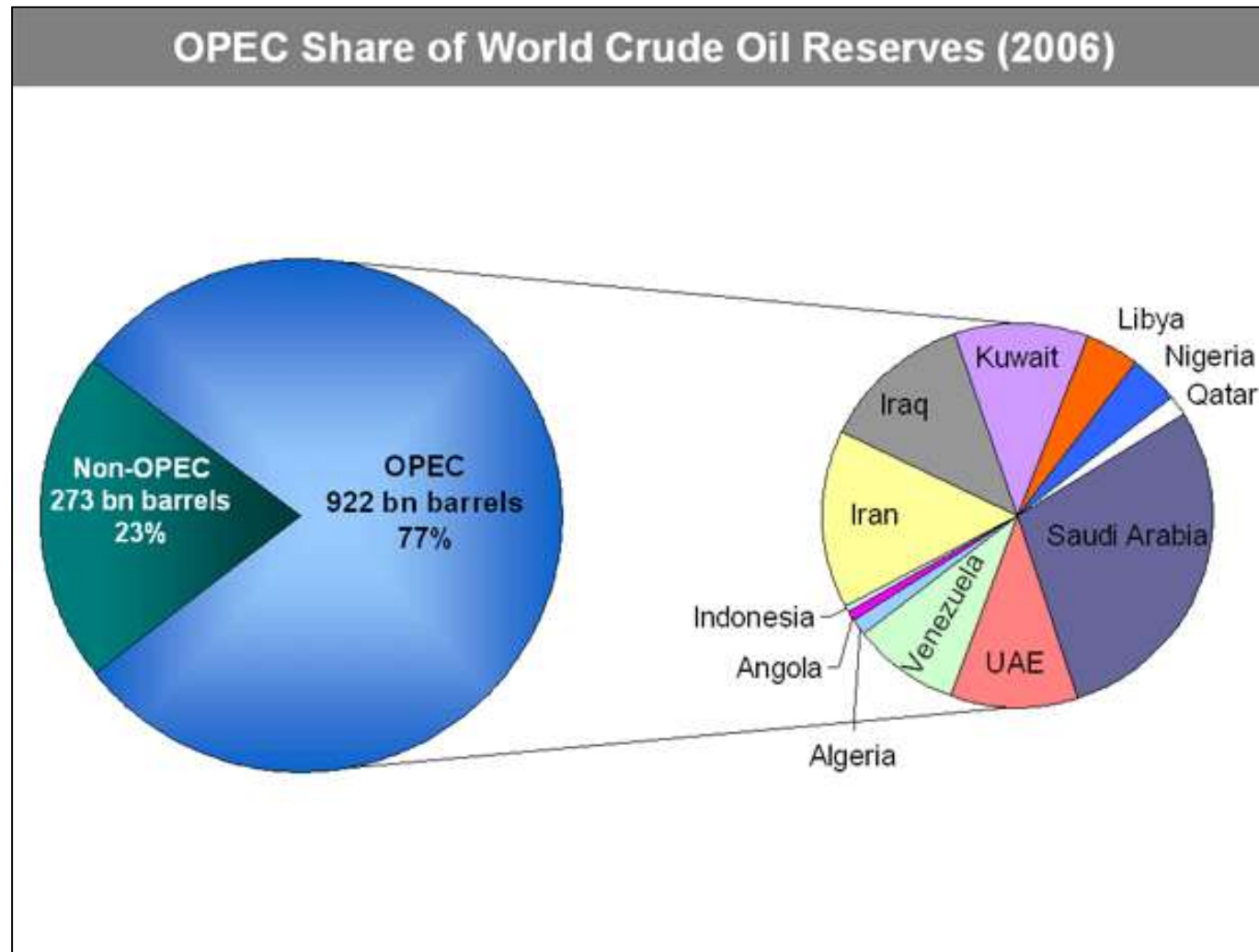
Übungsaufgaben – Erdöl 6

6. Welche sind die wesentlichen Erdölfördernden Länder?

Top 10 Länder bei der Erdölförderung weltweit im Jahr 2015 (in Millionen Barrel pro Tag)



OPEC-Anteile an globalen Erdölreserven



<http://www.opec.org/>

OPEC – Organization of Petroleum Exporting Countries

■ Historie

- Erste Erdöl-“Förderung“ im Elsass
- In den 30er Jahren beginnt die Ölförderung in den arabischen Ländern
- Nach dem 2. Weltkrieg führt das Ende des Kolonialismus und die volle Souveränität der Ölförderstaaten dazu, dass die Ölfördergesellschaften die Länder zunehmend an den Gewinnen beteiligen.

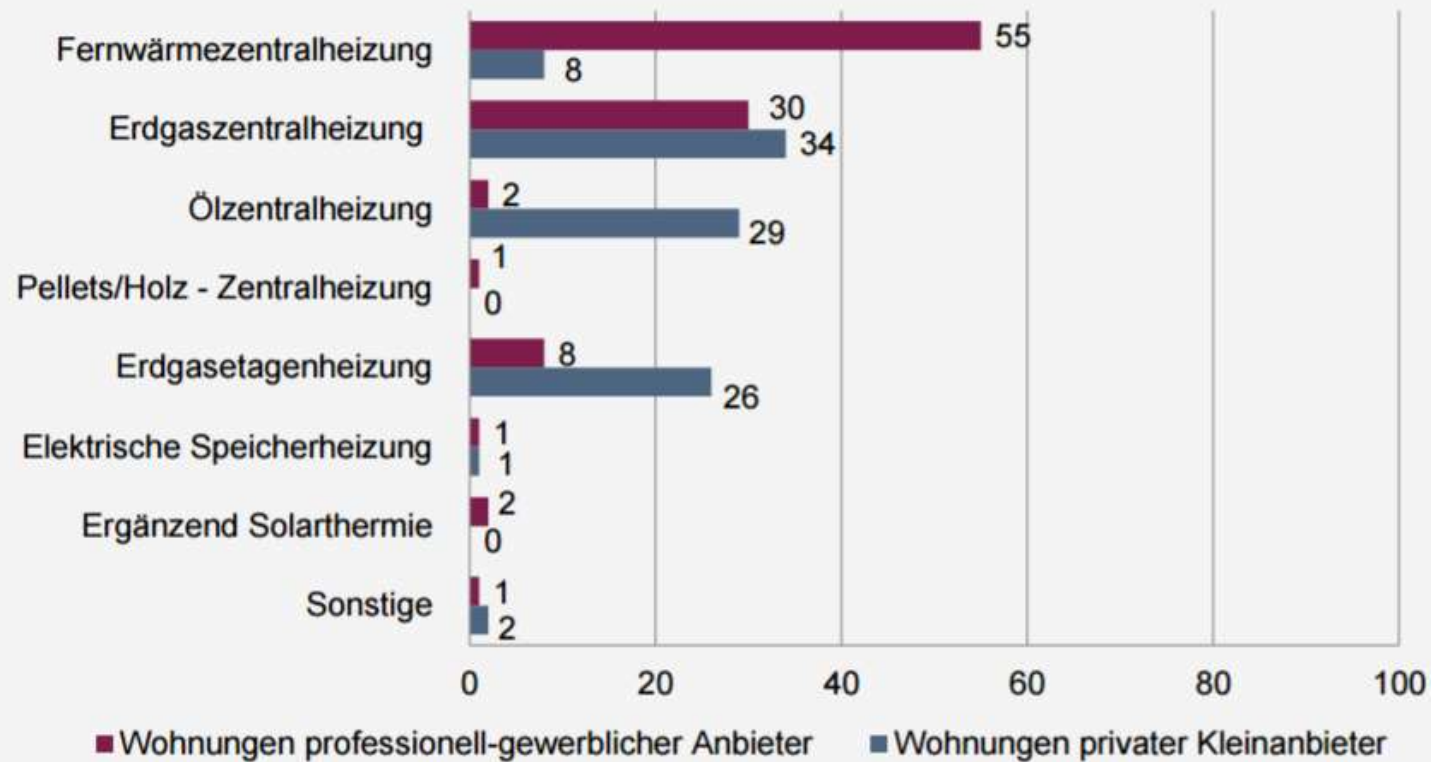
■ OPEC-Gründung 1960

- Übernahme des Ölbesitzes durch Förderländer (Enteignung) und autonome Preisfestsetzung
- etwa 40% der weltweiten Erdölproduktion
- etwa drei Viertel der weltweiten Erdölreserven

Bestand an Ölheizungen ist immer noch hoch

Heizungsart nach Vermietertyp

„Wie werden die Wohnungen beheizt?“



Quelle: BDEW Befragung zum Thema Heizen und Energie in der Wohnungswirtschaft

Wohnungsbestand in %

Quelle: BdeW, 2017

Übungsaufgaben – Erdöl 7

7. Wie groß ist der Primärenergieverbrauch Deutschlands (2008) in Höhe von ca. 478 Mio. t SKE pro Jahr ausgedrückt in Barrel Öl (1 Barrel $\approx$ 0,136 t_{Erdöl})?

Übungsaufgaben – Erdöl 8

8. Ein Auto habe einen Benzintank mit 50 Liter Fassungsvermögen. Benzin hat einen Heizwert von 32,4 MJ/Liter.
- a) Welcher Energiemenge entspricht einmal volltanken [MJ, kWh]?
 - b) Der Betankungsvorgang dauert 2 Minuten. Wie groß ist die „Umfüll-Leistung“ der Zapfsäule in MW?
 - c) Wie lange dauert dieser Tankvorgang bei einem Elektrofahrzeug mit einer gewöhnlichen Haushaltssteckdose (max. 3,5kW)?
 - d) Nun sei das Elektrofahrzeug jedoch doppelt so effizient, wie lange benötigt der Tankvorgang nun um die gleich Strecke fahren zu können? Und bei 32kW oder sogar 100 kW Ladeleistung?

Wieso wird die nördliche Spur öfters erneuert?

