

XV. Heidelberger Graduiertenkurse Physik (10-14 Oktober 2005)  
Energie und Umwelt im 21. Jahrhundert

**Dienstag 11.10 (Teil II +III)**

## **Fossile Energiequellen, exponentielles Wachstum beim Energiebedarf und der Hubbert Öl-Peak**

- die fossilen Energiequellen
- exponentielles Wachstum beim Energieverbrauch
- Energierohstoffe auf einem endlichen Planeten
- Der Hubbert Öl-Peak

## Zur Erinnerung: das physikalische Netto Energie Konzept (NER)

$$\text{Effizienz bei der Nutzung} = \frac{\text{erzeugte Energie}}{\text{eingesetzte Energie zur Bereitstellung}}$$

Man versucht, den gesamten Energieaufwand (Energiekosten!) zu berechnen:

Wieviel Energie braucht man bei der Suche, Förderung, Transport, Umwandlung und Bereitstellung der “richtigen” Endenergieform?

Eventuell versucht man sogar, die “Energiekosten” für die Umwelt zu berücksichtigen.

Man beachte den Unterschied zu ökonomischen Kostenanalysen!

## Das Gesetz von der Abnahme des NER

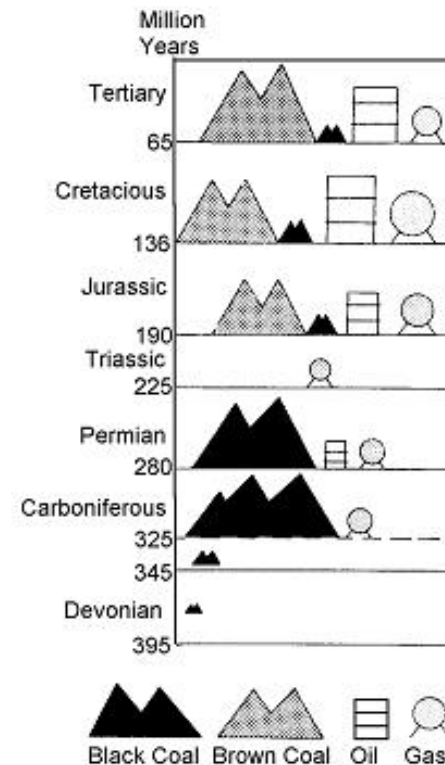
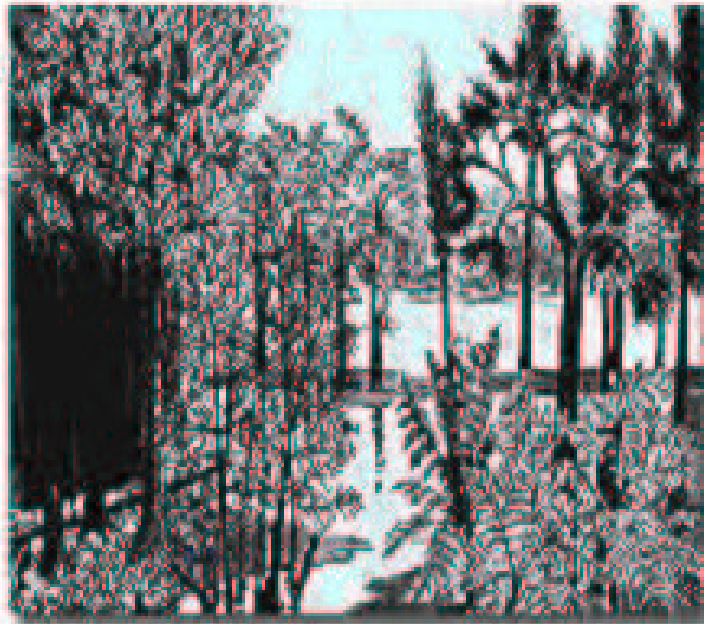
- der einfachste Abbau (Gewinn oder Vorteil) zuerst.  
Einfache Quellen werden zuerst gefunden und abgebaut. Danach wird es schwieriger und schwieriger neue Ressourcen zu finden und abzubauen!
- “keep on going” durch bessere Technik (Effizienz)
- das Ende:  $NER = 1!$

der Geophysiker: Dr. M. King Hubbert (1903-89) Dr. Hubbert (in response to remarks by David Nissen - Exxon, 1982):

“.. [T]here is a different and more fundamental cost that is independent of the monetary price. That is the energy cost of exploration and production. So long as oil is used as a source of energy, when the energy cost of recovering a barrel of oil becomes greater than the energy content of the oil, production will cease no matter what the monetary price may be.”

## Zur Entstehung von fossilen Energiequellen

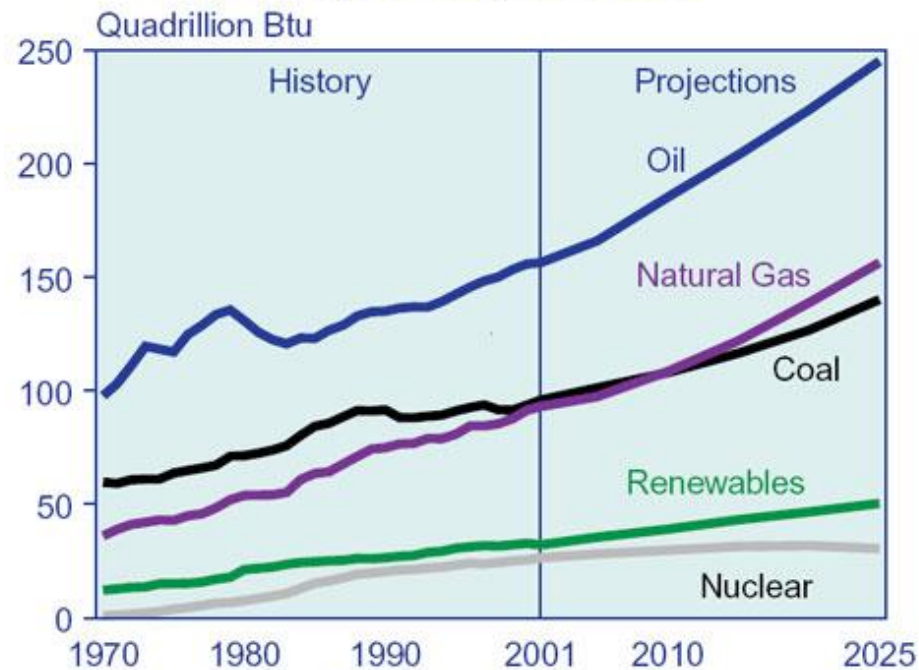
Vor Millionen von Jahren lagerten sich die Reste kleinster Lebewesen und Pflanzen auf dem Meeresgrund ab. Nach Mischung mit Sand und Schlamm und Druck durch weitere Ablagerungen gelangte das Material in den Meeresboden, die Temperatur stieg auf etwa 100 bis 200 Grad Celsius an. In Millionen von Jahren entwickeln sich daraus Ölschiefer und Sandstein. Aus Muschelschalen und ähnlichem Materialien bildet sich Kalkstein und die Reste der abgestorbenen Organismen verwandelten sich in Erdöl und Erdgas. Deshalb findet sich Erdöl nur in Gebieten mit bestimmten geologischen Bedingungen! (mehr unter [www.intuser.net/ufes.php](http://www.intuser.net/ufes.php) und "Understanding Earth" Press and Sievert [www.whfreeman.com/presssiever/](http://www.whfreeman.com/presssiever/))



## Der Weltenergieverbrauch zwischen 1970 und der Bedarf bis 2025(?)

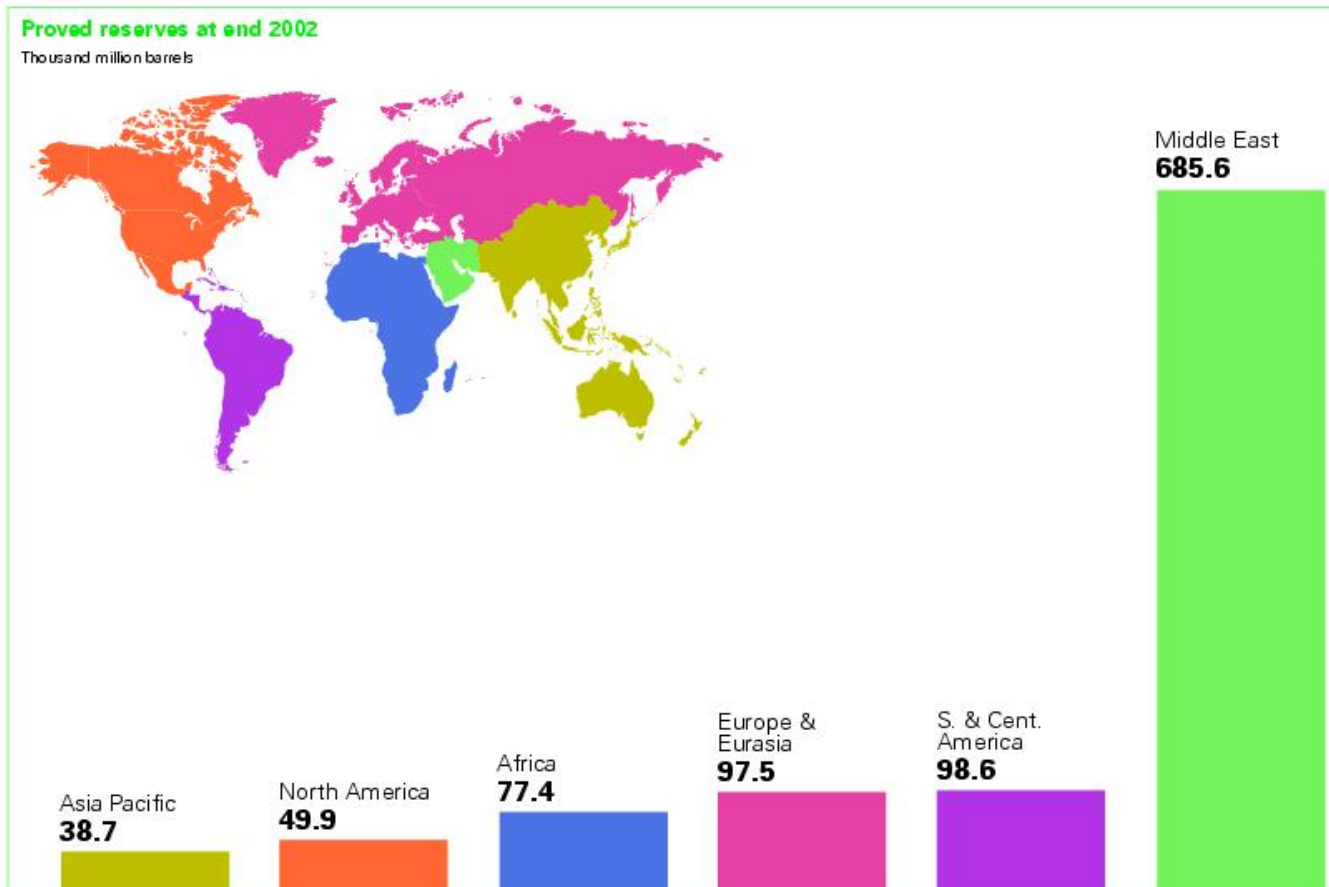
Erwartungen der EIA und der IEA: der weltweite Bedarf an fossilen Energiequellen steigt weiter jedes Jahr um etwa 2%! Energie aus der Kernspaltung bleibt etwa konstant und Energie aus "Renewables" (inklusive Wasserkraft) soll ein wenig steigen.

**Figure 5. World Marketed Energy Consumption by Energy Source, 1970-2025**



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site [www.eia.doe.gov/iea/](http://www.eia.doe.gov/iea/). **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

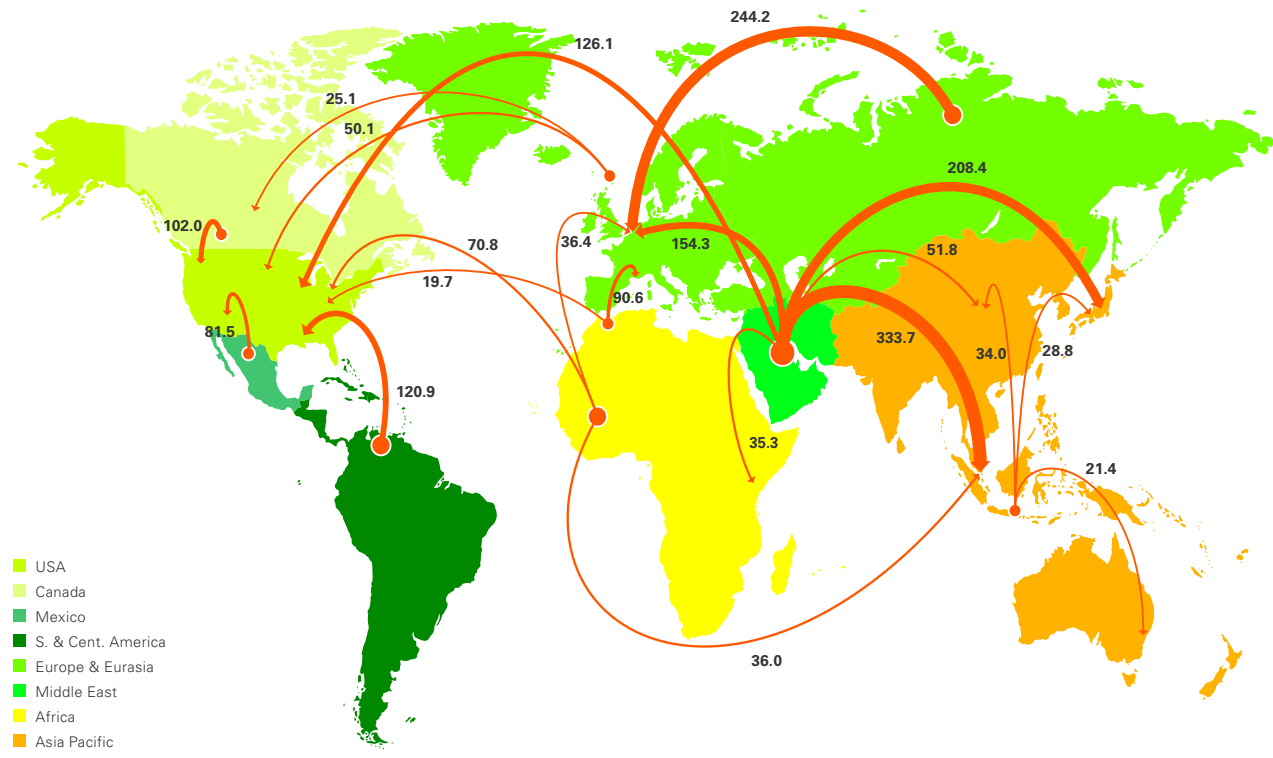
# Öl Reserven (BP World Energy Review)



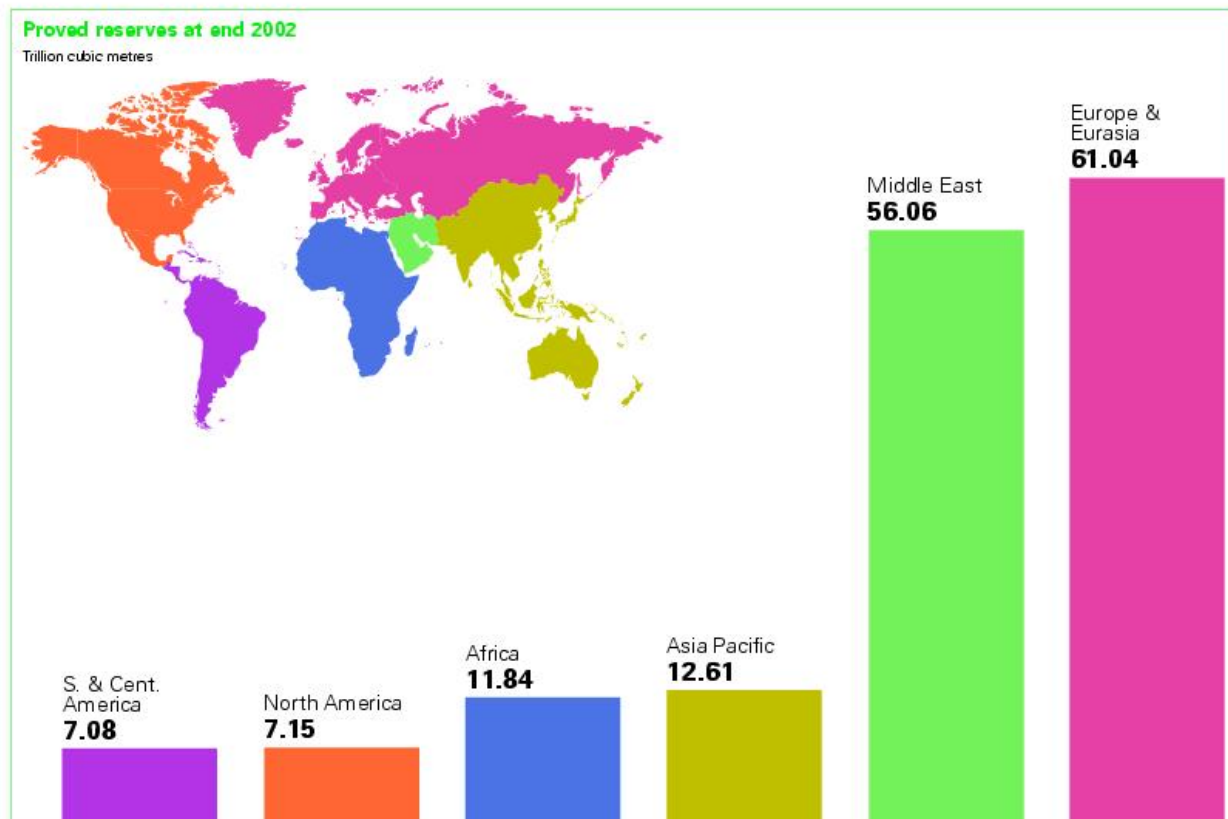
# Welt Öl Transport (BP World Energy Review)

## Major trade movements

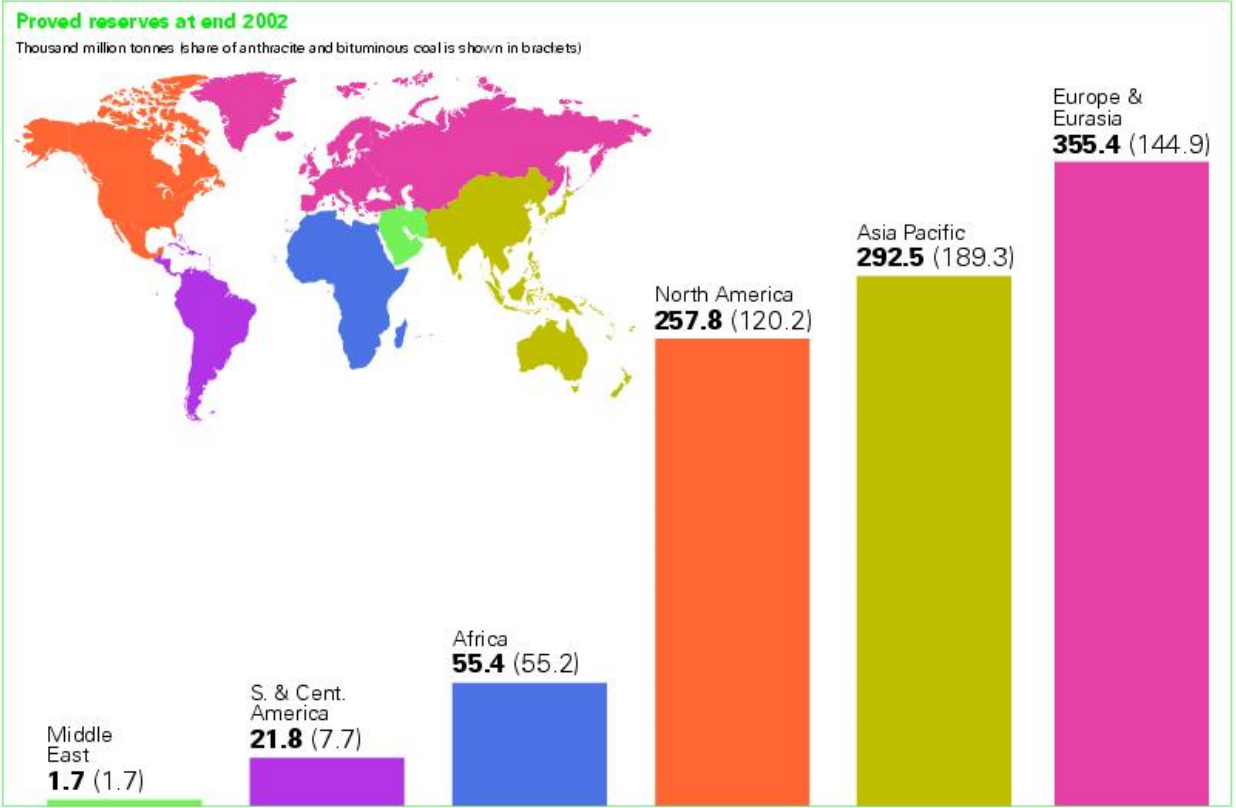
Trade flows worldwide (million tonnes)



# Gas Reserven (BP World Energy Review)



# Kohle Reserven (BP World Energy Review)



# Reichweite der bekannten abbauwürdigen fossilen Reserven bei "heutiger" Nutzung

(BP World Energy Review 2004 und EIA Report 2004)

- Öl  $\approx$  41 Jahre (Anteil am Weltenergieverbrauch 38.0%);
- Gas  $\approx$  65 Jahre (Anteil am Weltenergieverbrauch 23.0%);
- Kohle  $\approx$  250 Jahre (Anteil am Weltenergieverbrauch 24%).
- Anteile anderer Energiequellen: Uran 6.6%, Hydropower 6.6% Geothermal, Wind etc 1.5%

**Stimmen diese Zahlen?**

**Was bedeuten diese Zahlen in einer  
Wachstumsgesellschaft?**

**Gibt es andere fundamentale Grenzen?**

# Reichweite der Reserven bei exponentiellem Wachstum?

“The greatest shortcoming of the human race is our inability to understand the exponential function”

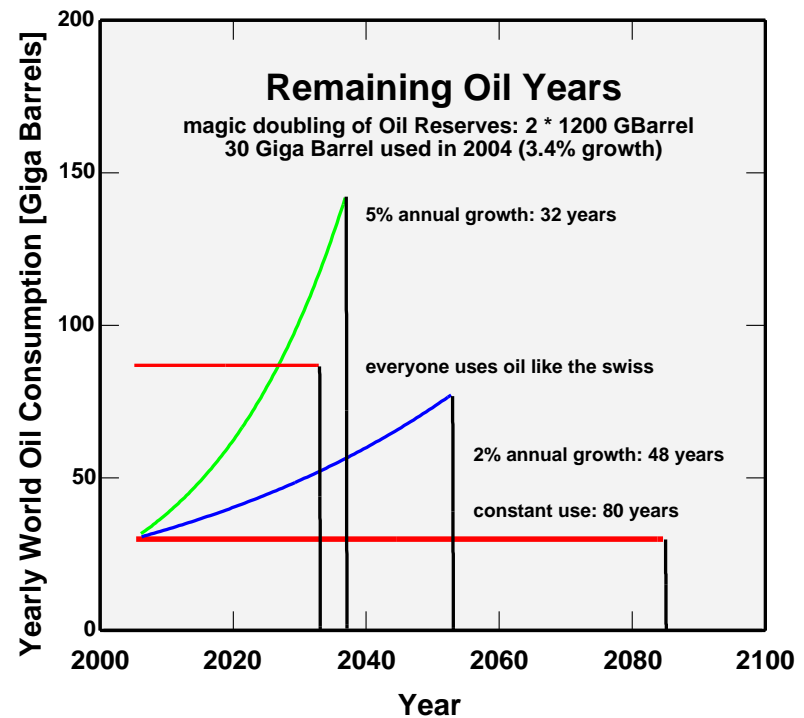
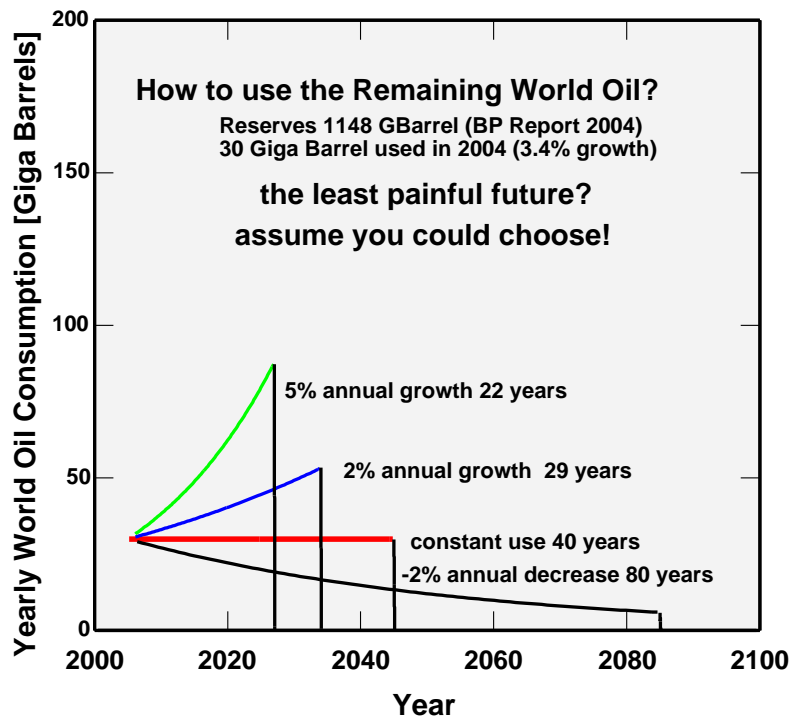
Professor A. Bartlett (now retired), Dep. of Physics, University of Colorado at Boulder Paper on: “Forgotten Fundamentals of the Energy Crisis” 1978 ([www.energycrisis.com/bartlett/](http://www.energycrisis.com/bartlett/))

Wie lange reichen endliche Reserven  $R$  bei exponentiellem Wachstum des Verbrauches  $r(t)$ ?

- Die sogenannte EET Gleichung (exponential expiration time).  
Die EET Gleichung erlaubt eine “first order estimate” für bekannte Reserven bei etwa konstantem Wachstum.
- mit  $k$  = prozentuales Wachstum pro Zeitintervall:  $r(t) = r_0 \times (1 + k)^t = r_0 e^{kt}$   
(mit  $\ln(1 + x) \approx x$  für kleine  $x$ ) erhält man für die Verdopplungszeit  
 $\rightarrow 2 = (1 + k)^t \rightarrow t = \ln 2 / k$   
 $T_2 \approx 0.7/k \rightarrow T_2 = 14 \text{ Jahre!}$  (bei  $k=0.05$  (5% Wachstum))!
- die EET Gleichung (exponential expiration time):  
 $EET = T_{exp} = (1/k) \times \ln(kR/r_0 + 1)$

Wenn es stimmt, dass die bekannten Reserven ( $R$ ) bei heutigem Verbrauch  $r_0$  etwa 45 Jahre reichen und es ein jährliches Wachstum beim Verbrauch von 5% gibt dann reduziert sich die Lebensdauer auf nur 23.6 Jahre!

# unrealistische Hypothesen zum zukünftigen Welt Öl Verbrauch:



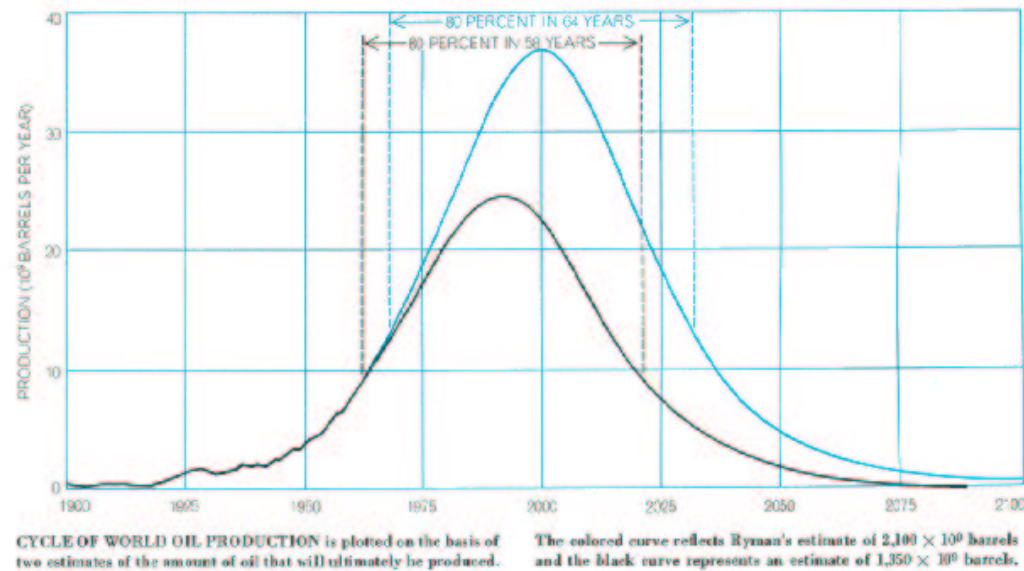
## der Hubbert Öl Peak I

*Hubbert: "Our ignorance is not so vast as our failure to use what we know."*

Die Hubbert Kurve und der Hubbert Peak (z.B. Wikipedia on M. King Hubbert)

Marion King Hubbert (October 5, 1903 - October 11, 1989) often referred to as "M. King Hubbert" or "King Hubbert" was a geophysicist who worked at the Shell research lab in Houston, Texas. He made several important contributions to geology and geophysics, with important political ramifications. He attended the University of Chicago, where he received his B.S. in 1926, his M.S. in 1928, and his Ph.D in 1937, studying geology, mathematics, and physics. He worked as an assistant geologist for the Amerada Petroleum Company for two years while pursuing his Ph.D. He joined the Shell Oil Company in 1943, retiring in 1964. After he retired from Shell, he became a senior research geophysicist for the United States Geological Survey until his retirement in 1976. He also held positions as a professor of geology and geophysics at Stanford University from 1963 to 1968, and as a professor at Berkeley from 1973 to 1976.

## der Hubbert Öl Peak II

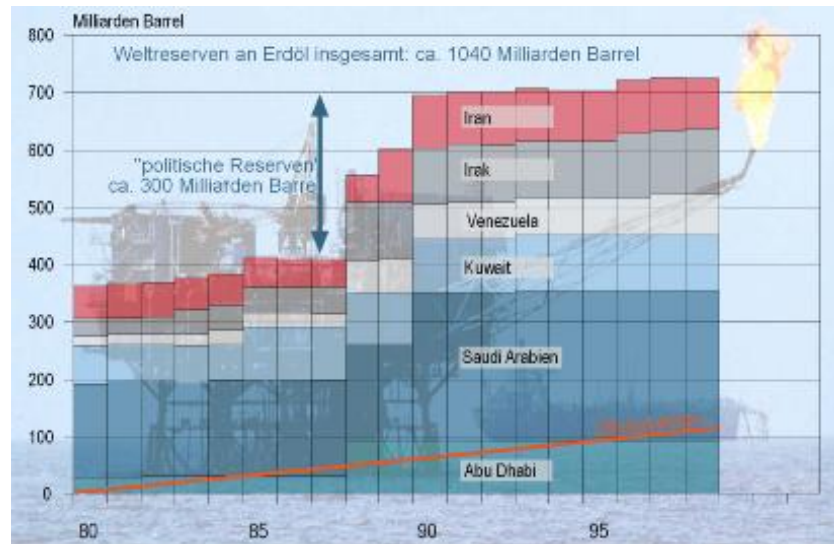
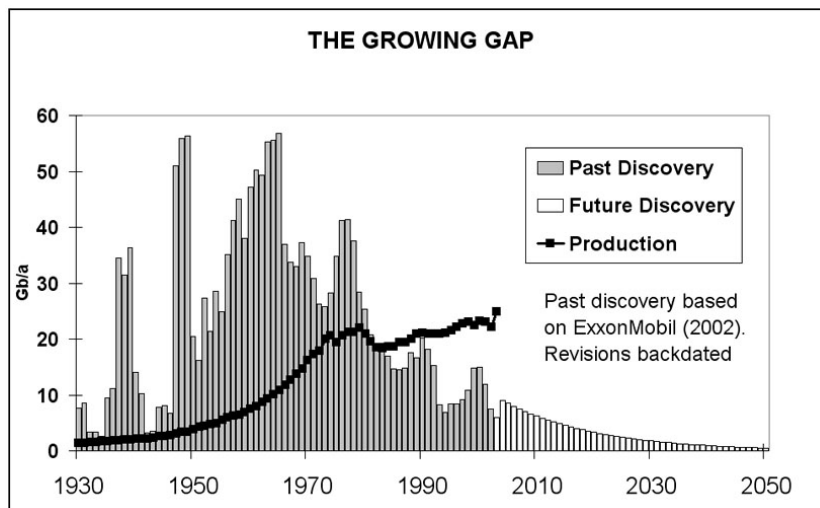


(Energy and Power, A Scientific American Book, 1971, pg 39 world oil reserves:  
blue curve 2100 GBarrel

Die Gretchenfrage ist nicht "wie lange reicht das Öl bei konstantem Verbrauch" sondern:  
Wieviel Öl mit  $NER \gg 1$  gibt(gab) es und wann wird das Maximum der Ölförderung erreicht?

## Die bekannten(?) Ölreserven?

Was man verbrennen will muss zuerst gefunden werden! Maximum der Ölfunde zwischen 1960-70!



stimmen die OPEC Zahlen?  
(OPEC = Öl produzierenden und exportierenden Länder)

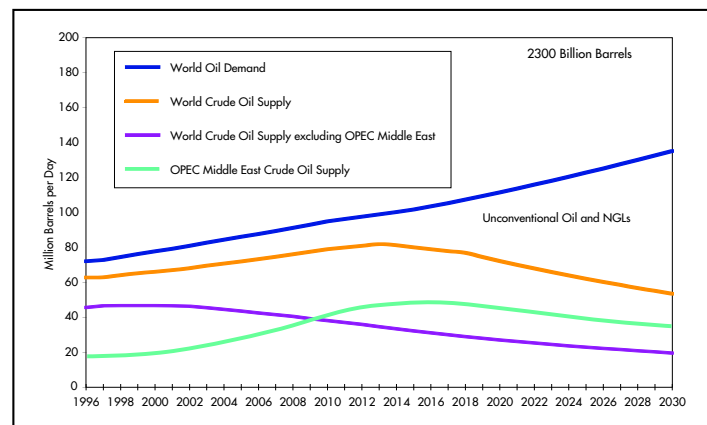
# Wie gross sind die wirklichen Ölreserven? I

World Energy Outlook (1998) IEA

*Table 3.1: Oil Supply 1996-2020*  
**Conventional Oil Reserves of 2.3 trillion barrels**

million barrels per day	1996	2010	2020
Total Demand for Liquid Fuels	72.0	94.8	111.5
Total Natural Gas Liquids, processing Gains and Identified Unconventional Oil	9.3	15.9	20.1
<b>Conventional Crude Oil</b>			
Middle East OPEC	17.2	40.9	45.2
World excluding Middle East OPEC	45.5	38.0	27.0
<b>Total Crude Oil</b>	<b>62.7</b>	<b>79.0</b>	<b>72.2</b>
World Liquids Supply excluding Unidentified Unconventional Oil	72.0	94.8	92.3
Balancing Item - Unidentified Unconventional Oil	0.0	0.0	19.1

*Figure 3.9: Oil Supply Profiles 1996-2030*



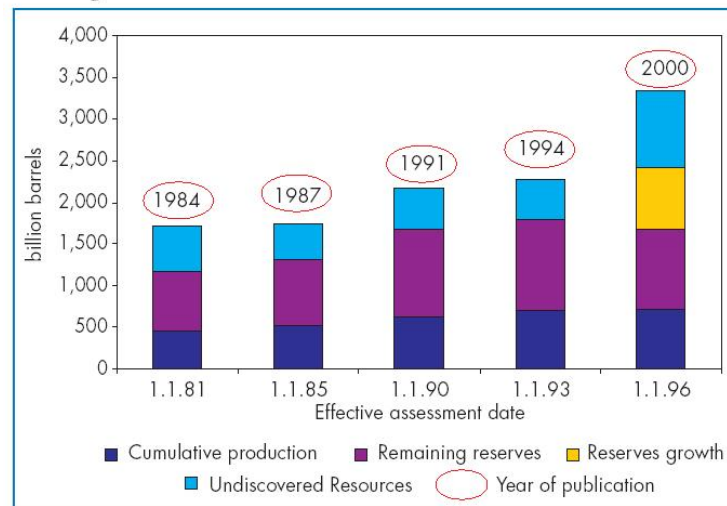
## Wie gross sind die wirklichen Ölreserven? II

World Petroleum Assessment 1995-2025

die U.S. Geological Survey (USGS) Studien 2000 (und 1996)

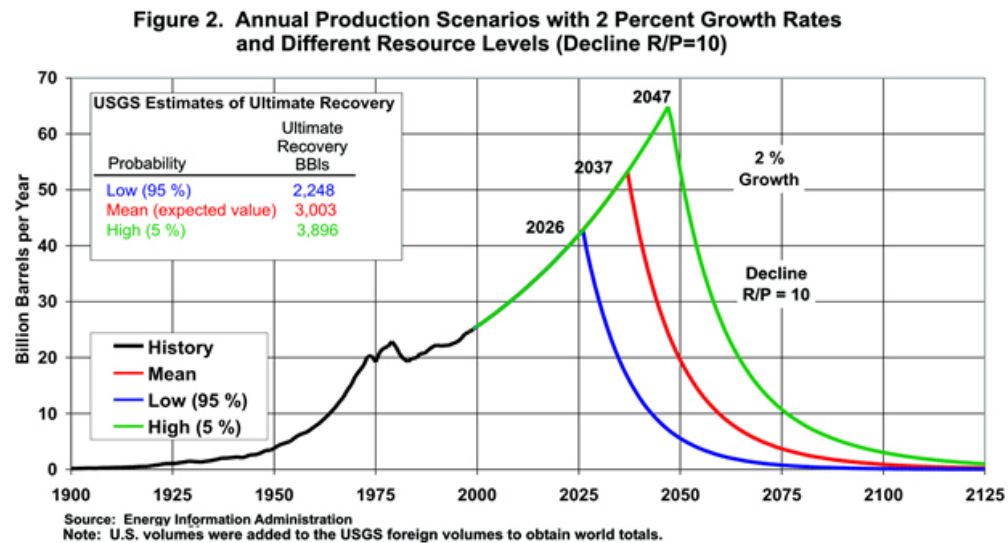
die optimistischen grössten Zahlen:

Figure 2.3: Historical Evolution of USGS Resource Estimates



Note: USGS 2000 world reserve and cumulative production data reflect only those parts of the world actually assessed. For a detailed description of the change in methodology to add a reserve growth category, see USGS (2000). Source: USGS (2000).

## USGS Vorhersagen und der Hubbert Öl Peak



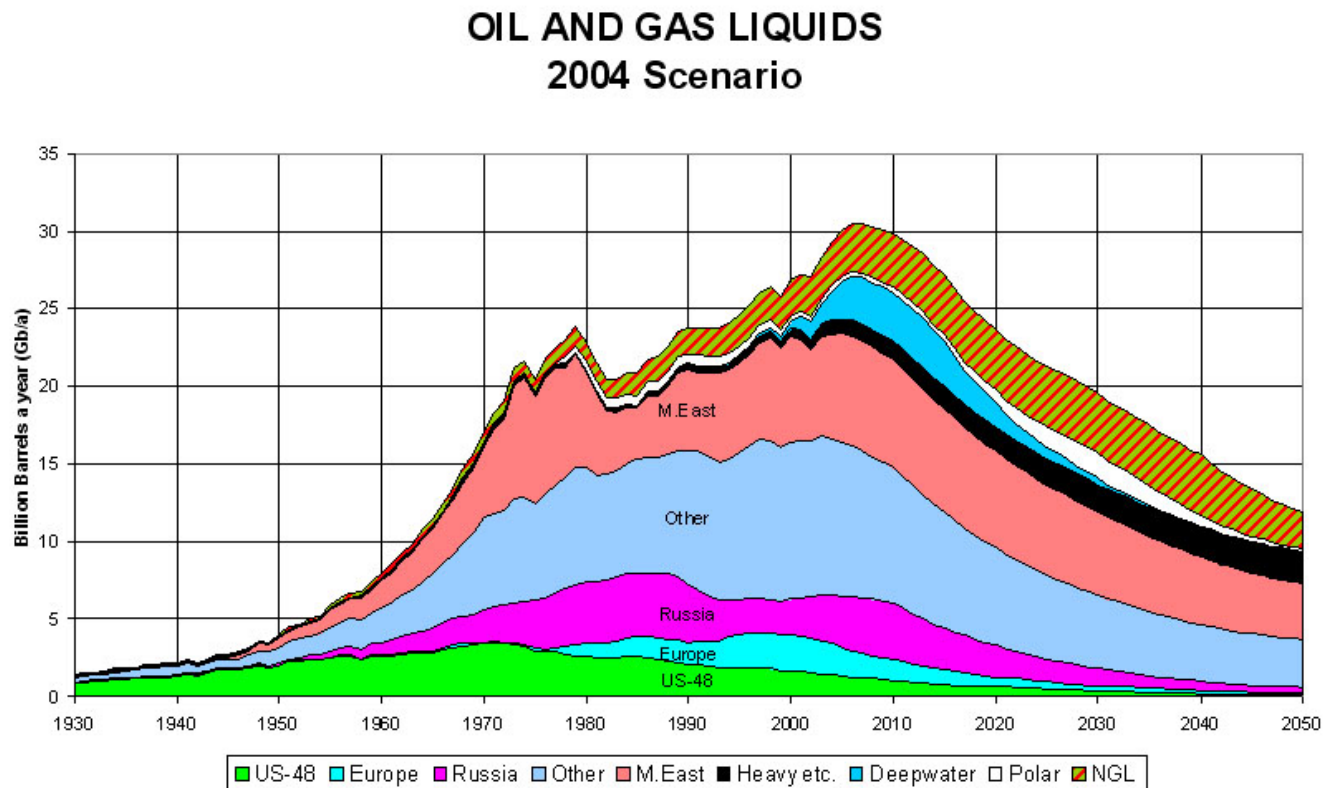
Achtung I: Die Form des "Peaks" ist unrealistisch!

Achtung II: Die tatsächlichen Öl Funde der Jahre 1995-2003 entsprechen in etwa den Zahlen mit der "95%" Wahrscheinlichkeit!

Angebliche ursprüngliche Reserven 2248 GBarrel (wenn die OPEC Zahlen stimmen). Davon haben "wir" etwa die Hälfte verbraucht!

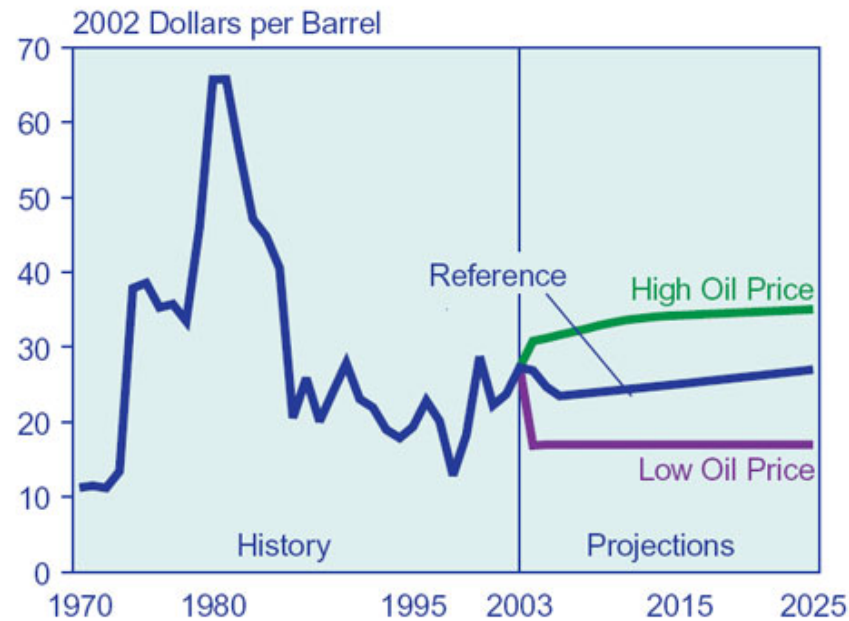
## die Peak Öl-Geologen (Realisten oder Pessimisten?)

Das 2004 Szenario der ASPO Colin J. Campbell, 2004-05-15 [www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm](http://www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm)



# Der EIA Ölpreis: die Vorhersagen der Ökonomen

Figure 26. World Oil Prices in Three Cases, 1970-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site [www.eia.doe.gov/iea/](http://www.eia.doe.gov/iea/). **Projections:** 2003-2004—EIA, *Short-Term Energy Outlook*, on-line version (April 2004), web site [www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/contents.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/contents.html). 2004-2025—EIA, *Annual Energy Outlook 2004*, DOE/EIA-0383 (2004) (Washington, DC, January 2004).

# Der reale Ölpreis 2003 - 2004

Die tägliche Entwicklung beim Ölpreis  
<http://www.tecson.de/prohoel.htm>



# Zusammenfassung: Die reale Situation beim Öl?

- Fossile Energiespeicher sind endlich und die Reserven sind sehr ungleich in der Welt verteilt.
- Die naturwissenschaftlichen Fragen:  
Wie lange können Ressourcen mit  $NER \gg 1$  abgebaut werden?  
Wie lange reichen die Ressourcen bei einem exponentiellen Anstieg des Weltverbrauches?  
Wann wird der Hubbert Peak auf unserem Planeten erreicht?  
(wann wird der Hubbert Peak in Saudi Arabien erreicht?)
- Der gegenwärtige Ölverbrauch ist etwa drei (-vier) mal grösser als die neuen Funde!
- Die Ölreserven sind in etwa bekannt und “gute” Quellen (Giants) sind immer schwieriger zu finden.  
Zwischen 1960-1970 wurden die meisten Funde gemacht (das Maximum)
- Praktisch alle Zukunftsprognosen basieren auf den als total unrealistisch erscheinenden USGS Studien der Jahre 1994-2000!  
Um eine Weltölkrise zu vermeiden müssten schnellstens einige neue Regionen wie “Saudi Arabien” gefunden und erschlossen werden!
- Wann der Ölpeak erreicht wird, hängt vom tatsächlichen Verbrauch (geregelt auch durch den Preis) und von den wirklichen Reserven in Saudi Arabien ab!
- Der Öl Peak wird zwischen den Jahren 2004/05 (die pessimistischen Pessimisten), 2007/8 (C. Cambell et al.) und 2010 (J. Laherrere) erreicht.
- Wir werden es bald genau(er) wissen!

# Was uns beim Öl erwartet:

