



## Peak Oil

### - Paradigmenwechsel, was bedeutet das?



Werner Zittel

Ludwig-Bölkow-Stiftung, · Ottobrunn

ASPO-Deutschland e.V.

Werner.Zittel@LBST.de



## Inhalt

- Die Zukunft der Ölförderung
- Was sind die Konsequenzen, Teil 1
- Exkurs: Wachstum in begrenzten Systemen
- Was können wir daraus lernen

Oldenburg, 20. Juni 2012

---



ludwig-bölkow  
Systemtechnik

## Das Finden von Erdöl



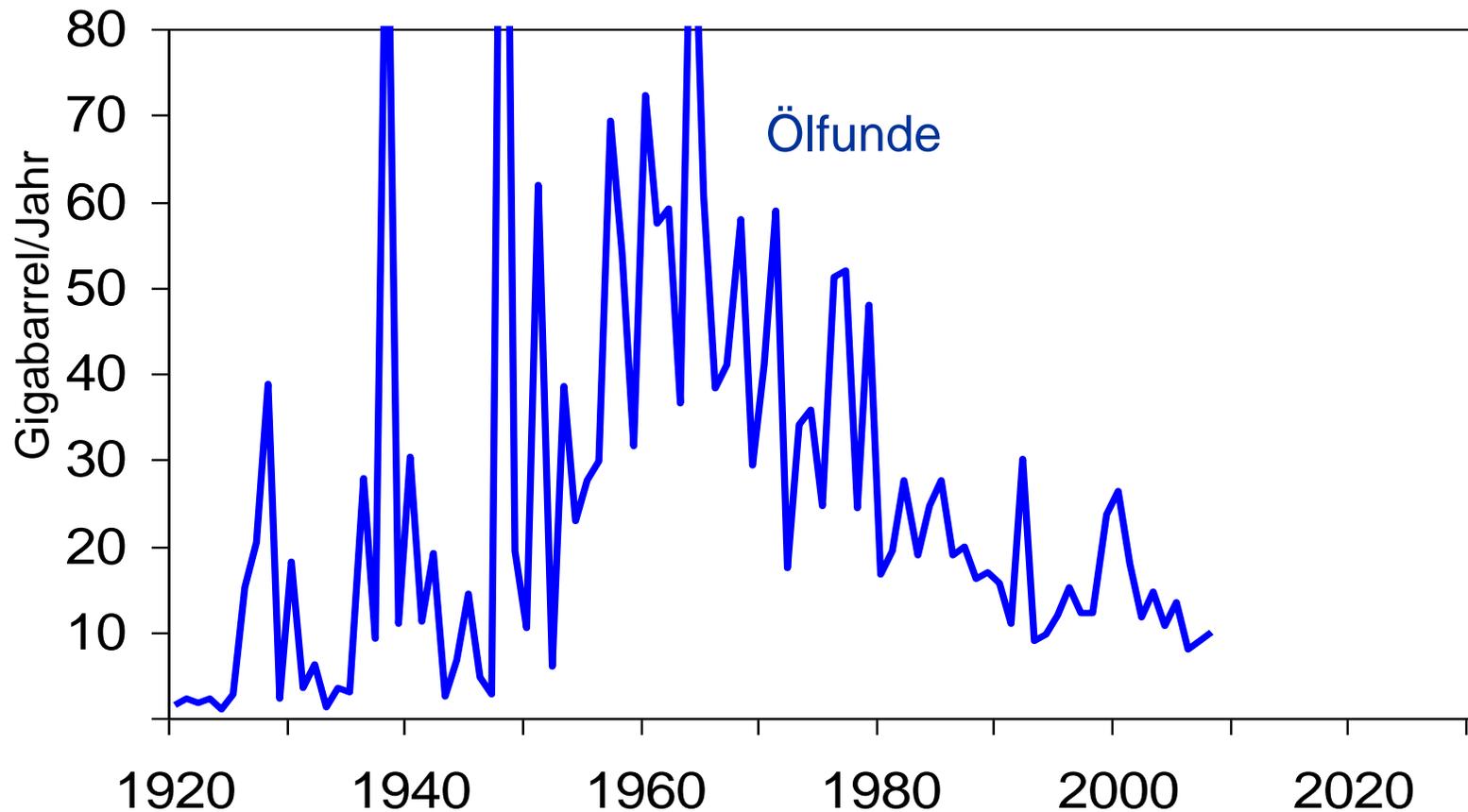
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Große Ölfelder wurden bereits sehr früh mit einfachen Methoden entdeckt



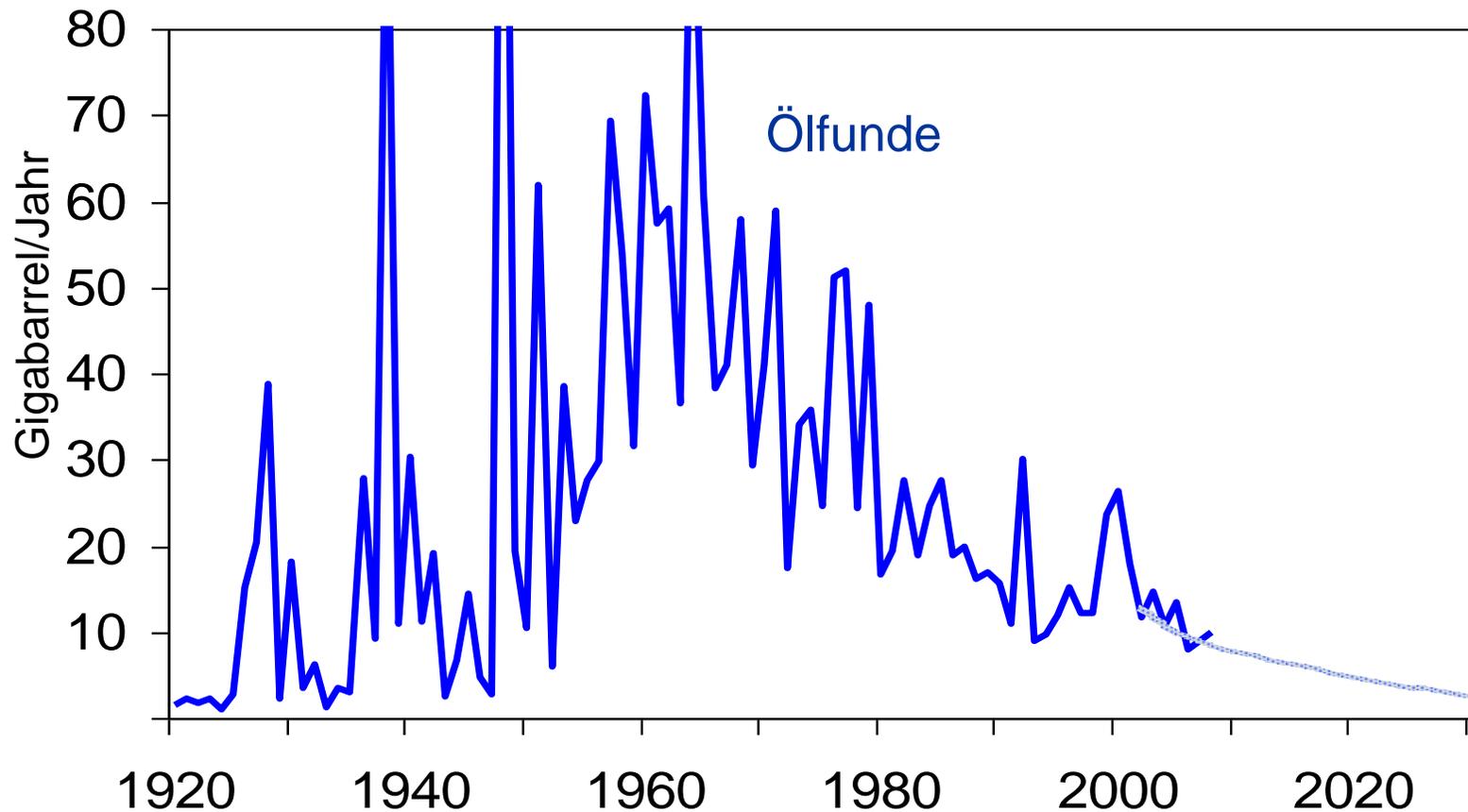
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Große Ölfelder wurden bereits sehr früh mit einfachen Methoden entdeckt



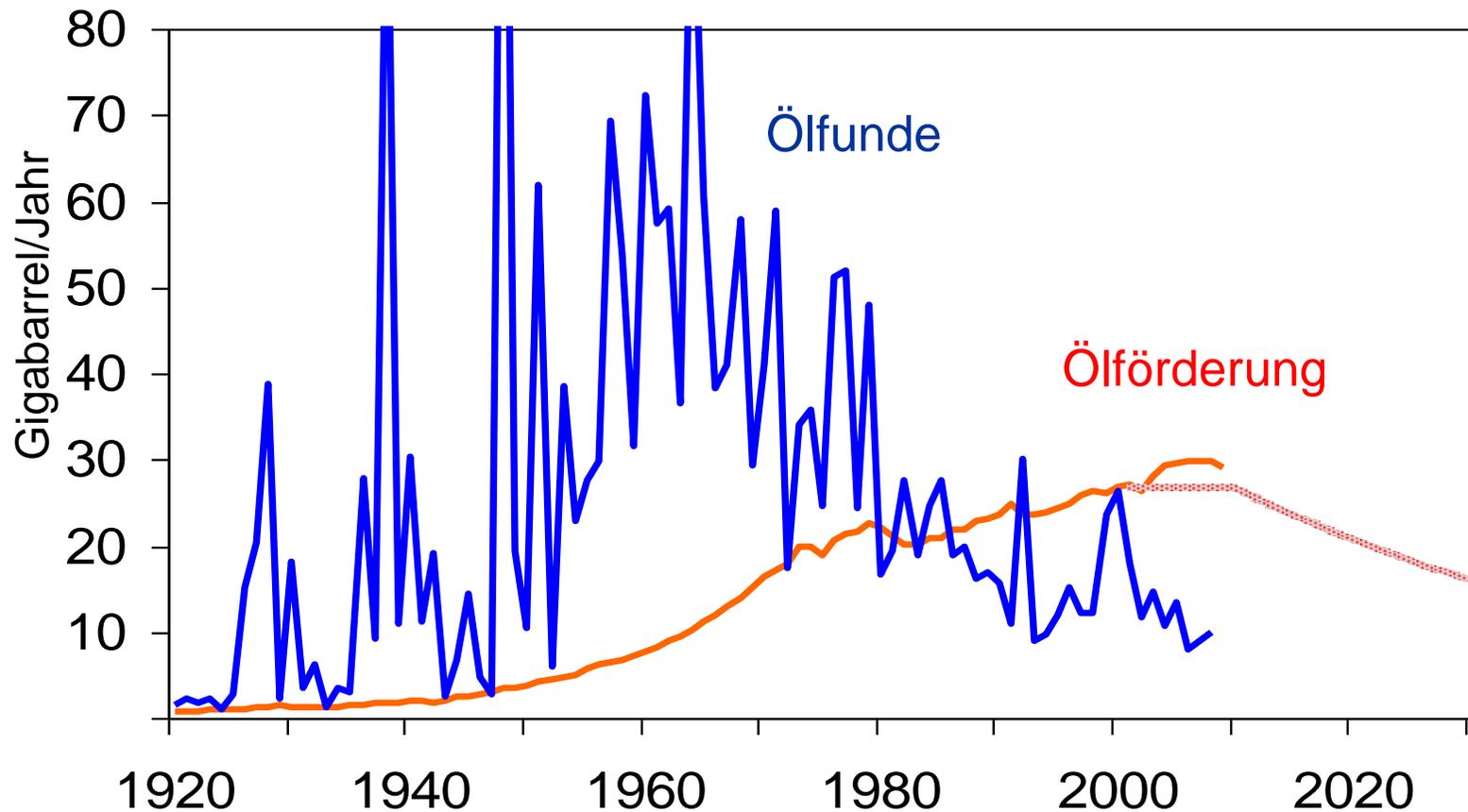
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Große Ölfelder wurden bereits sehr früh mit einfachen Methoden entdeckt



Campbell  
1995

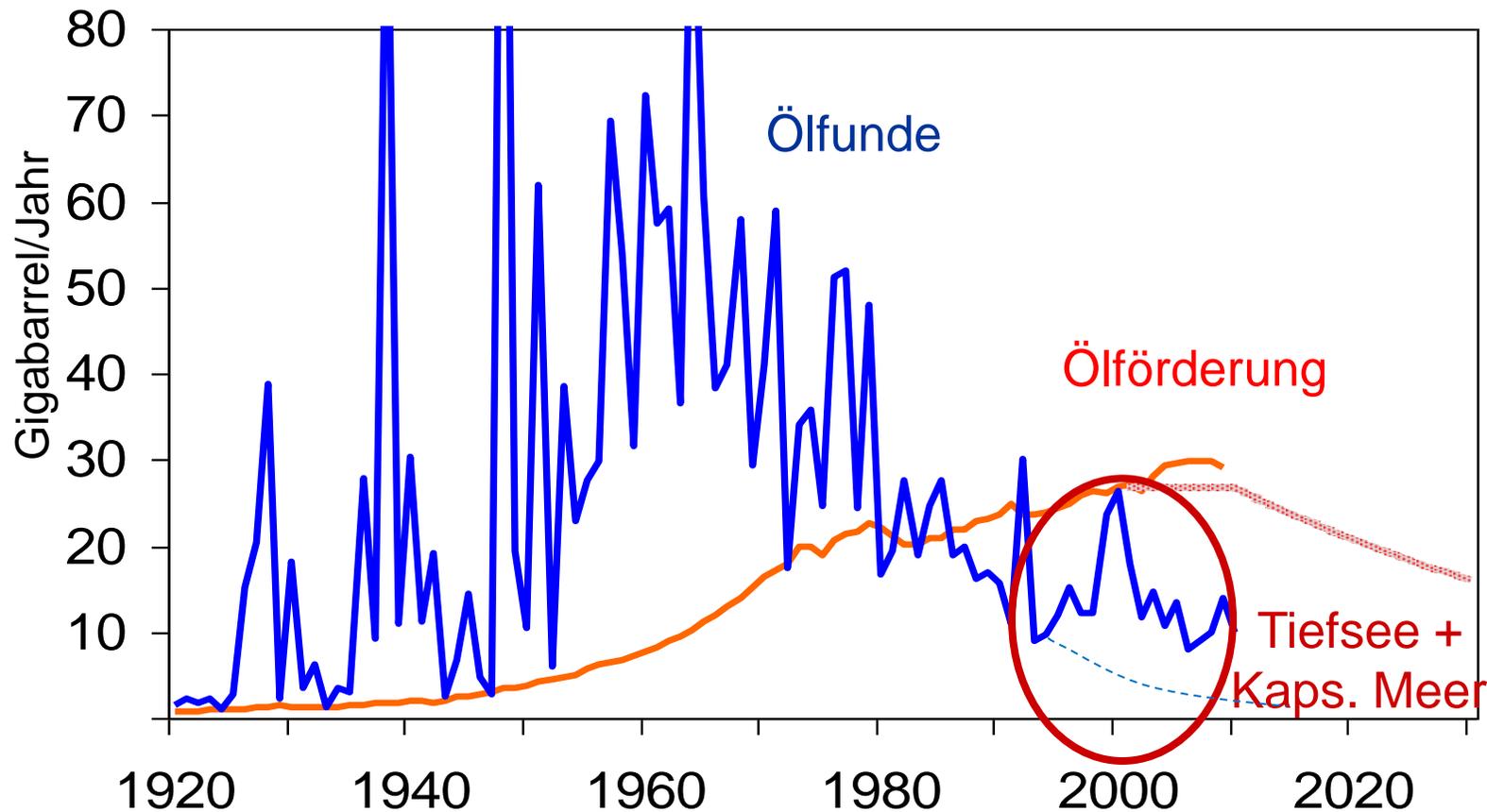
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Große Ölfelder wurden bereits sehr früh mit einfachen Methoden entdeckt



Campbell  
1995

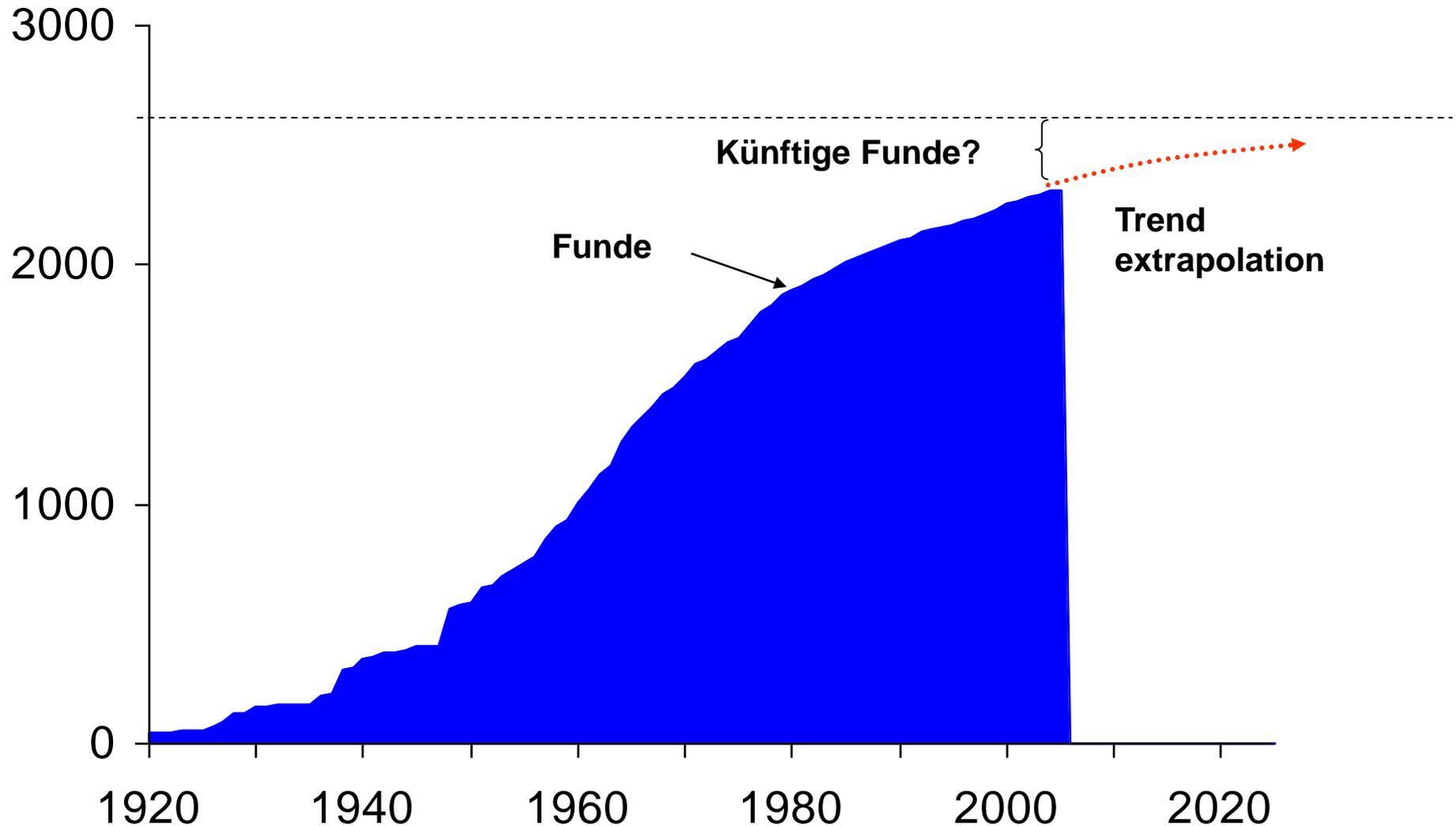
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



ludwig-bölkow  
Systemtechnik

## Gb Kumulative Funde, kumulative Förderung und Reserven



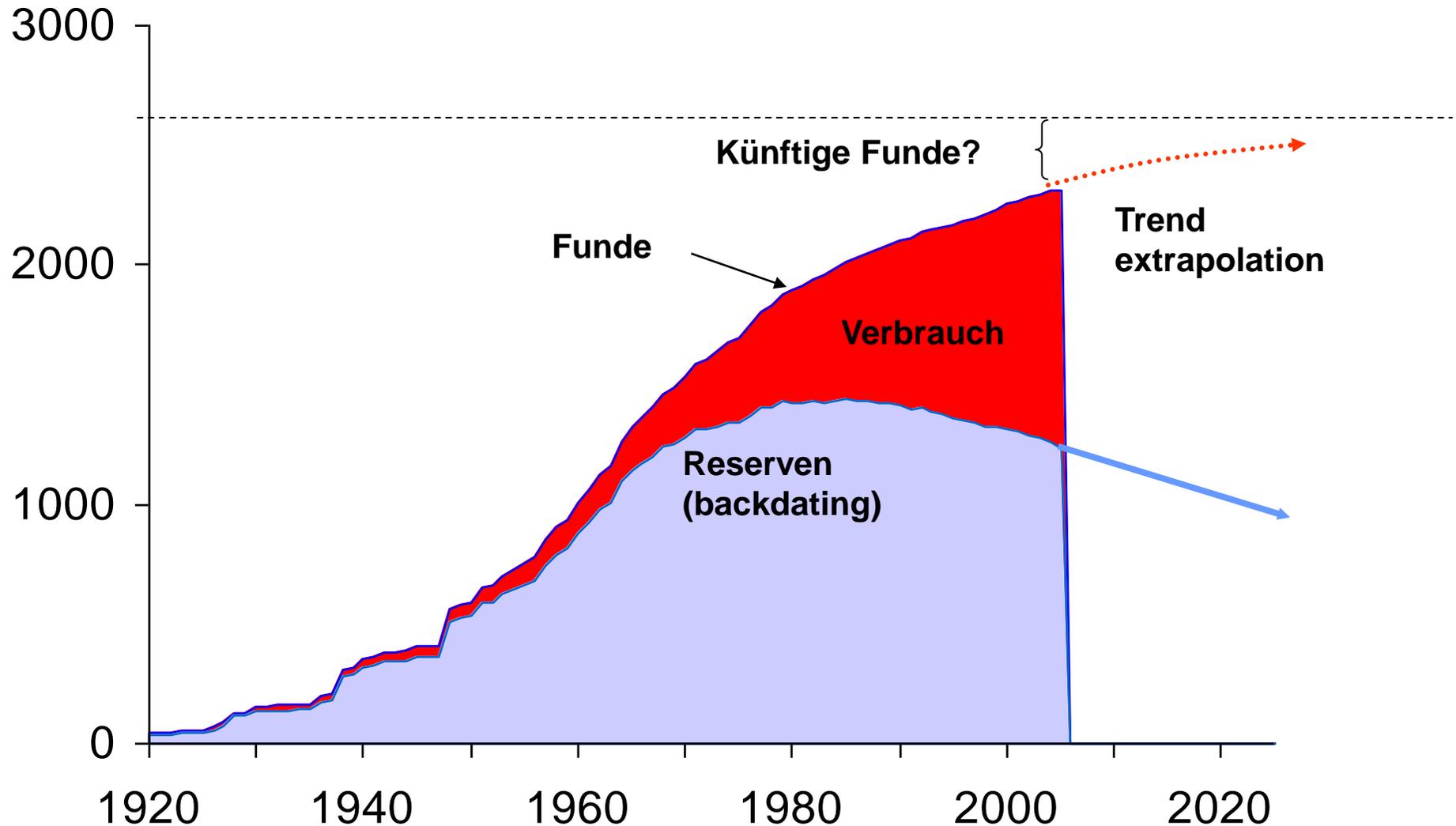
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



ludwig-bölkow  
Systemtechnik

## Gb Kumulative Funde, kumulative Förderung und Reserven



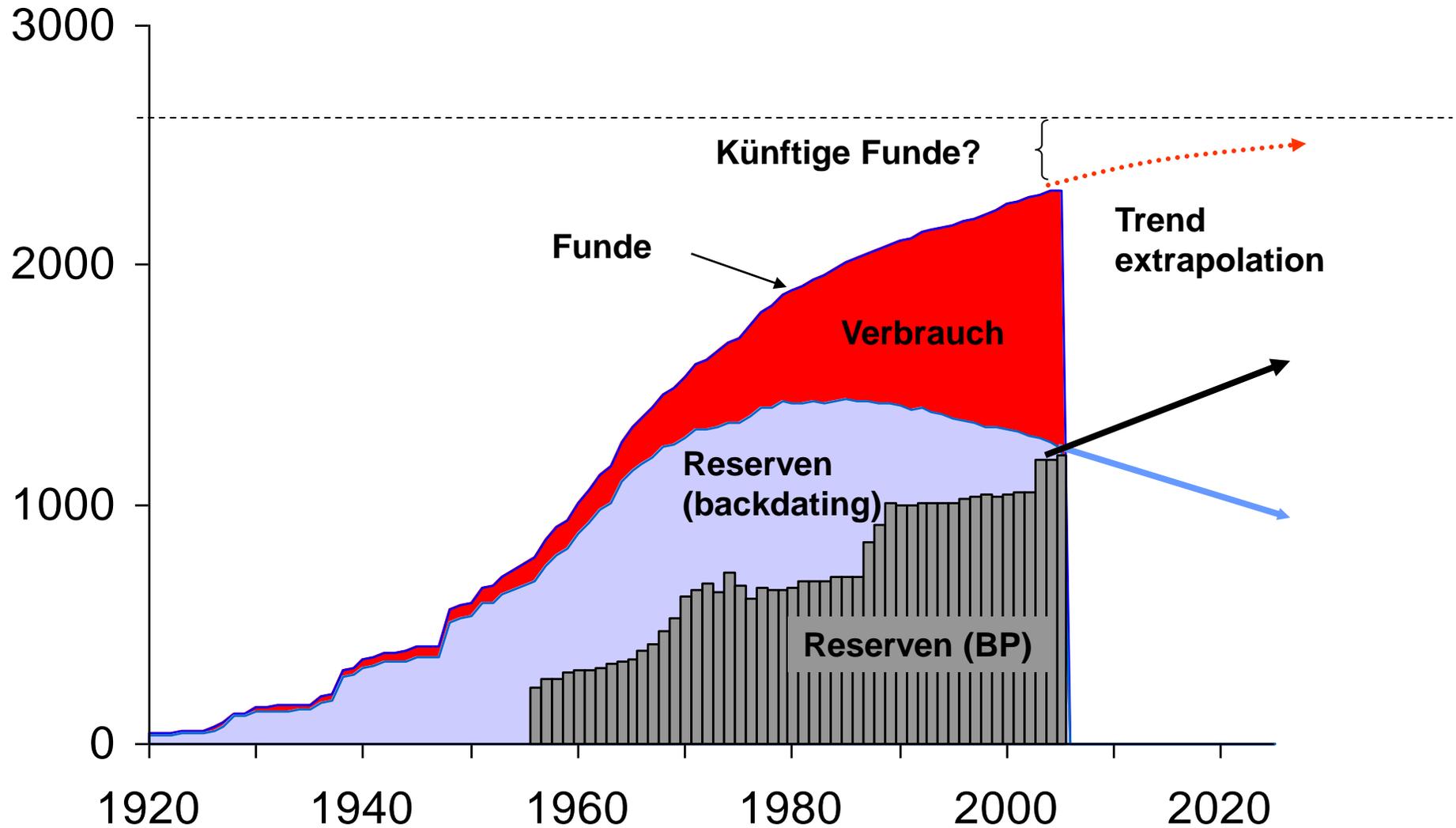
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-Bölkow  
Systemtechnik

## Gb Kumulative Funde, kumulative Förderung und Reserven

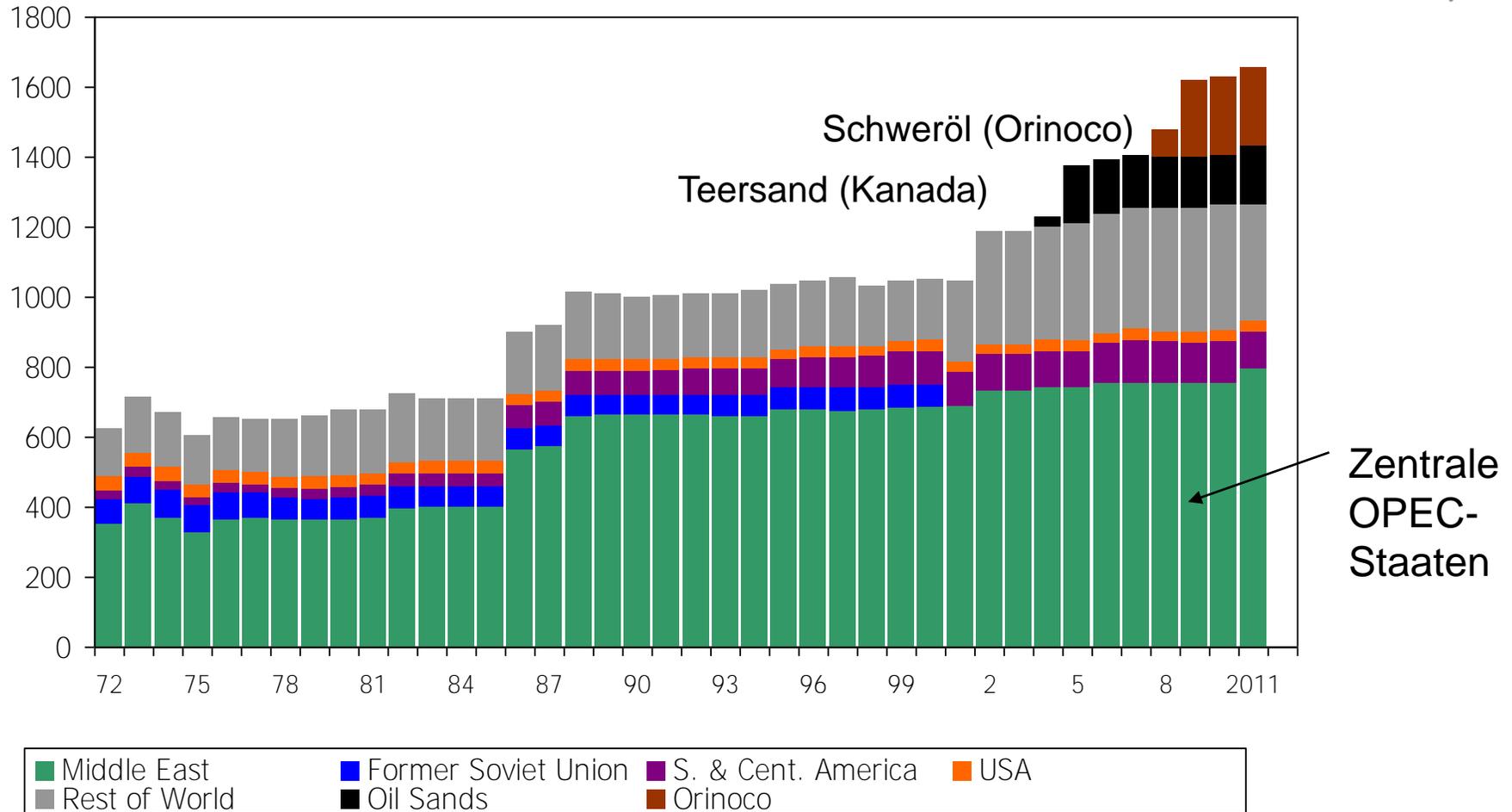


# Nachgewiesene Reserven (berichtete Reserven)



Ludwig-Bölkow  
Systemtechnik

Gb



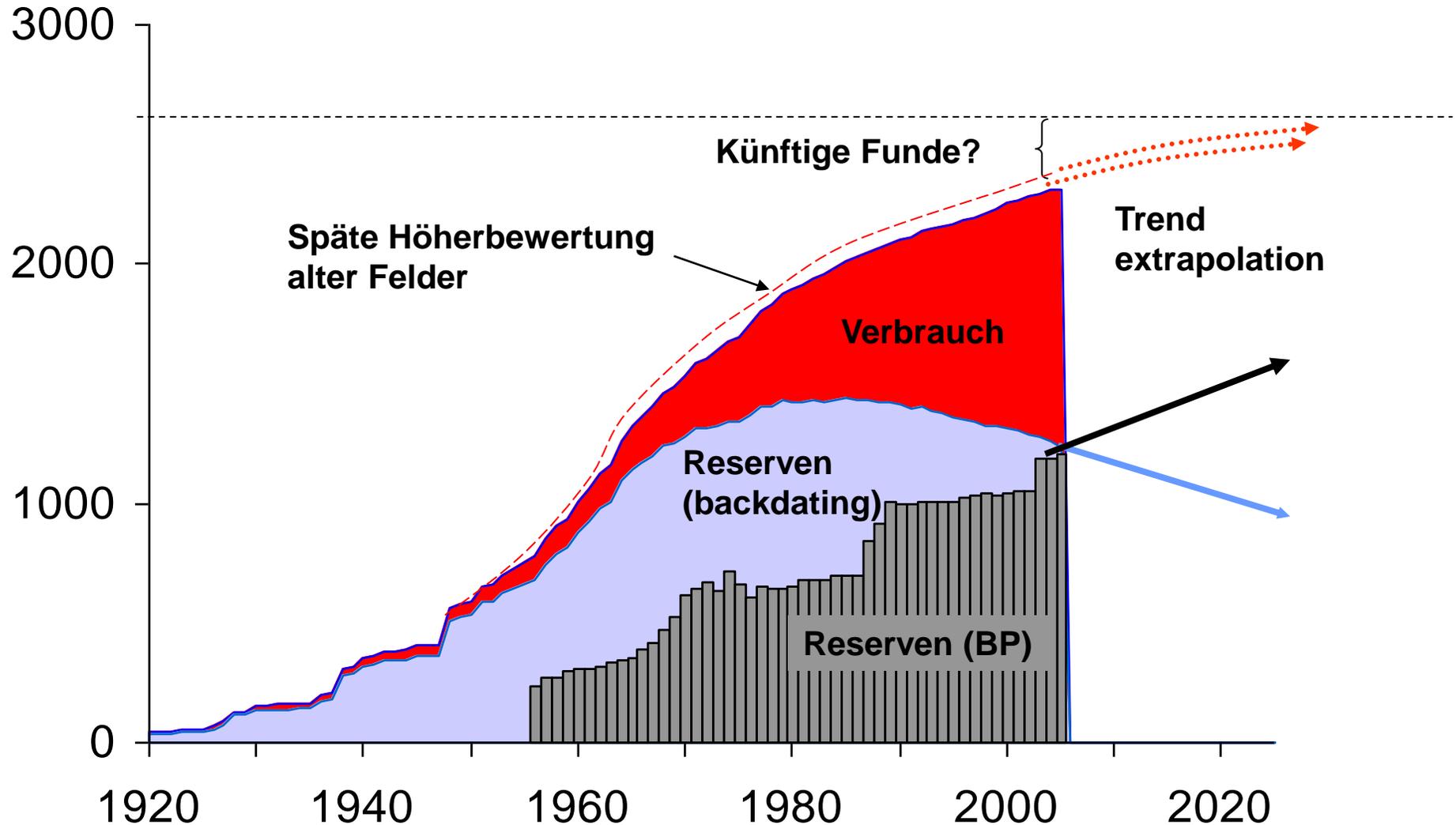
# The World's Oil Supply 1930 – 2050

C.J. Campbell, J. Laherrere, Petroconsultants 1995



Ludwig-bölkow  
Systemtechnik

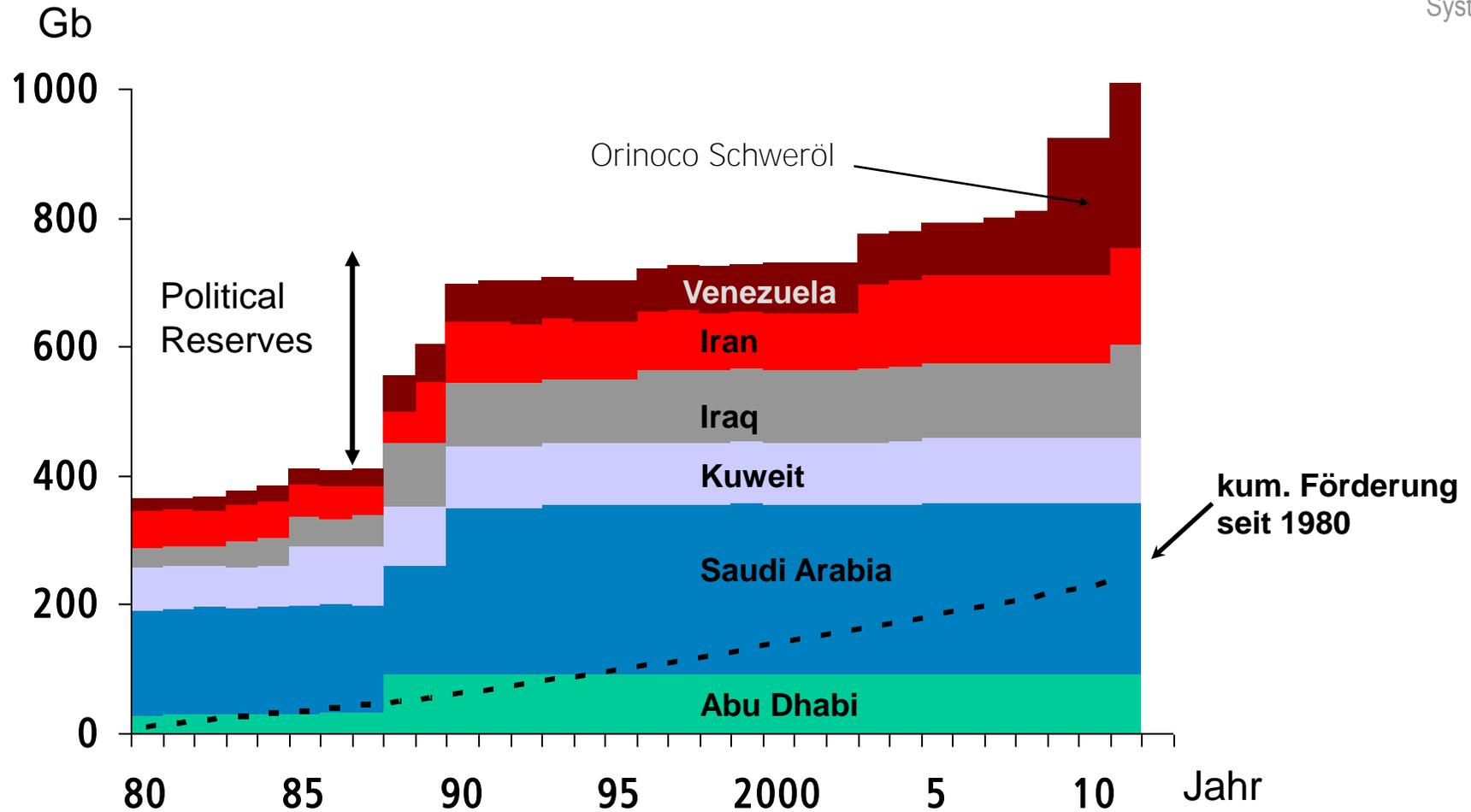
## Gb Kumulative Funde, kumulative Förderung und Reserven



# Berichtete Reserven wichtiger OPEC Staaten



ludwig-bölkow  
Systemtechnik



Quelle: BP Statistical Review

## Warum wachsen Reserven Börsen notierter Firmen mit der Zeit?

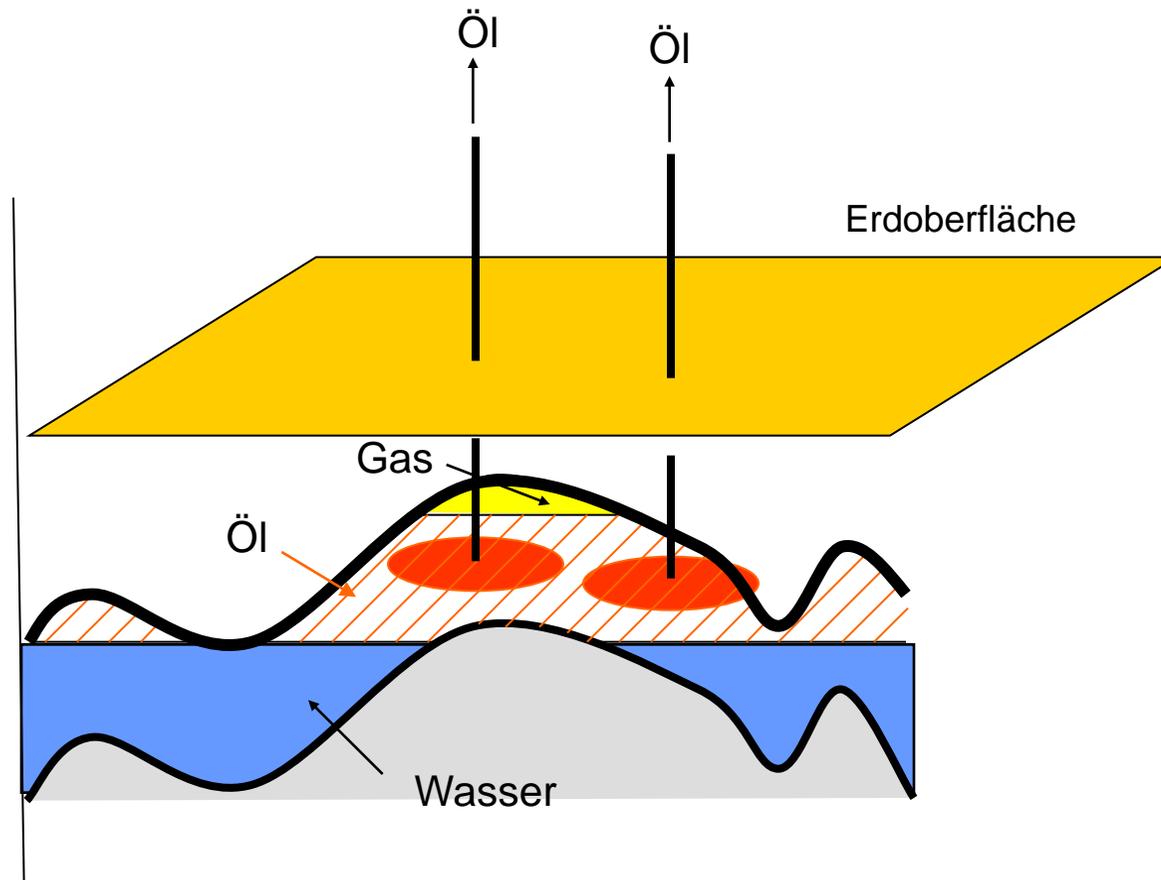
Schätzung des Geologen:  
Jahresberichte:

So groß wie vertretbar („probable reserves“)  
Nachgewiesene Reserven: Die Mengen, die mit bestehenden oder geplanten Anlagen gefördert werden können



ludwig bolkow  
systemtechnik

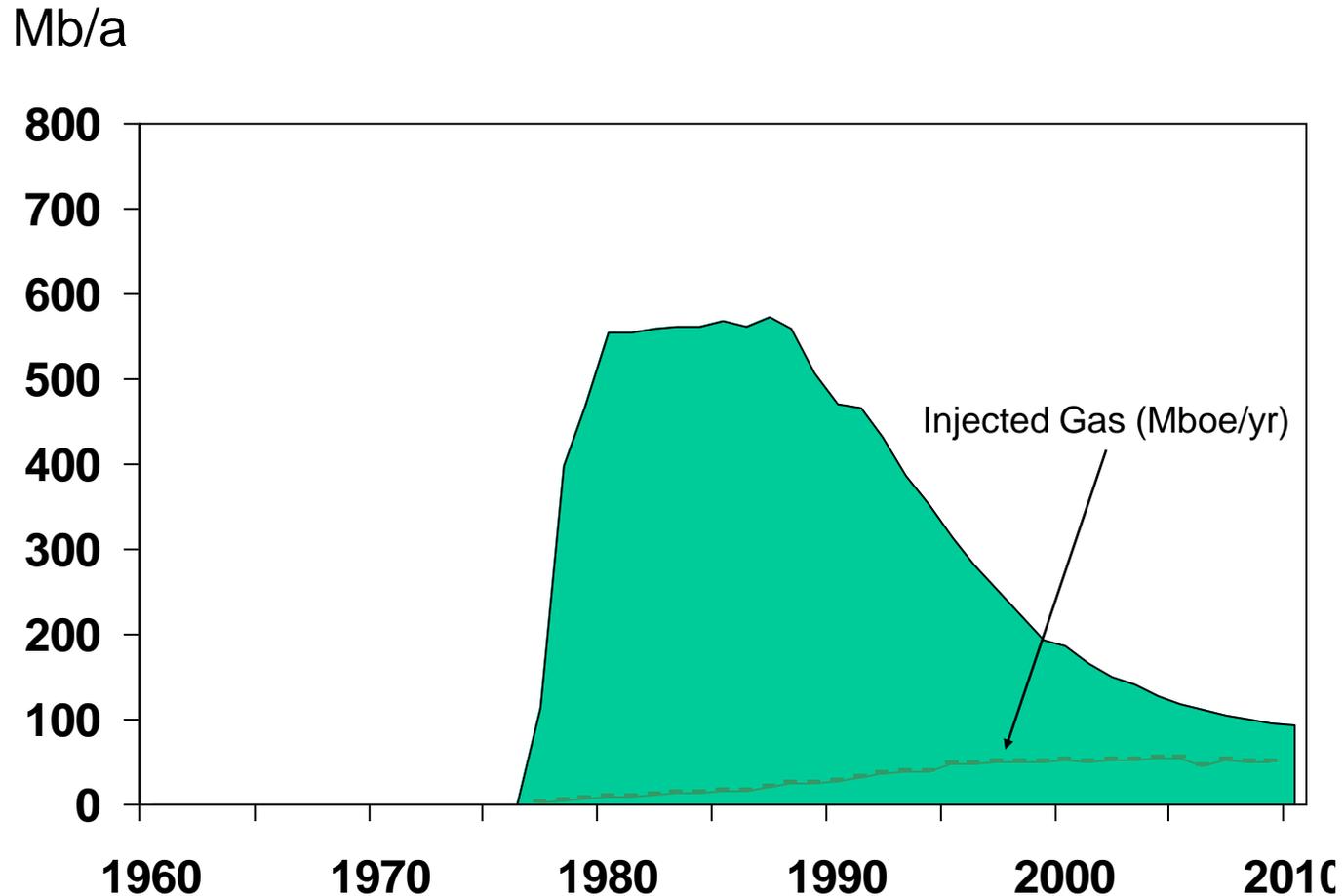
=> Neue Fördersonden lassen die Reserven wachsen



# Alaska: Förderung des größten U.S. Feldes, Prudhoe Bay in Alaska



ludwig bolkow  
systemtechnik

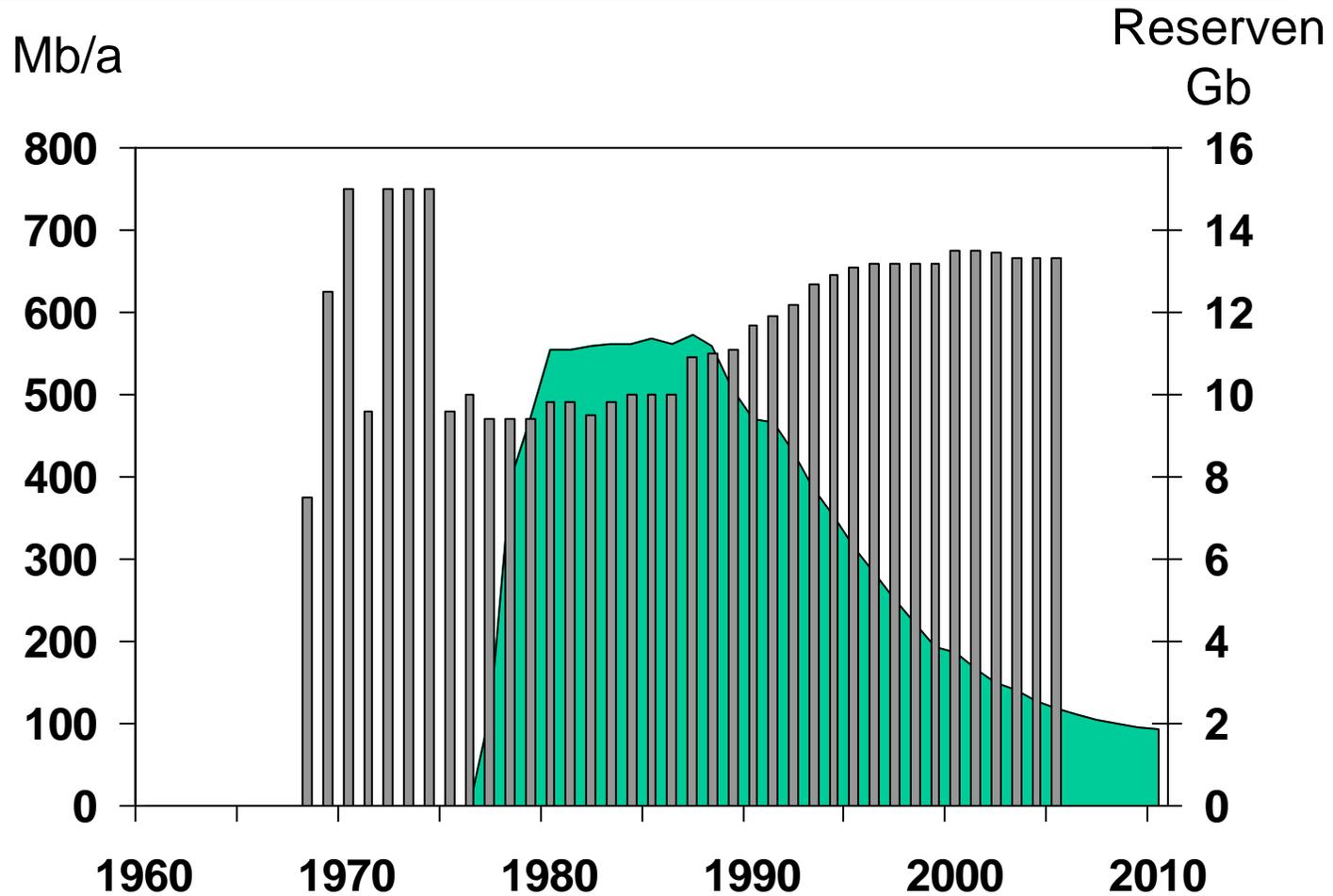


Quelle: Department of Natural Resources, Division of Oil and Gas  
2009 Annual Report and Jeremy Gilbert, 2002

# Alaska: Reservewachstum und Förderrückgang



ludwig bolkow  
systemtechnik



Quelle: Department of Natural Resources, Division of Oil and Gas  
2006 Annual Report and Jeremy Gilbert, BP



- Die zwei größten 1938 und 1948 entdeckten Ölfelder enthalten etwa 7-8 Prozent von allem bisher gefundenen Öl
- Heute kennen wir etwa 70,000 Ölfelder
- Das Maximum des Findens von Erdöl war zwischen 1960 – 1970
- Onshore Funde sind heute marginal
- Neue Funde sind kleiner und von schlechterer Qualität
- Die meisten neuen Funde sind in „frontier areas“ (Tiefsee)
- Jährliche Funde sind wesentlich geringer als die Förderung
- Dem Maximum des Findens muss ein Maximum der Förderung folgen
- Reserven sind nicht mit Funden zu verwechseln (Reservewachstum)

Oldenburg, 20. Juni 2012

---



ludwig-bölkow  
Systemtechnik

## Das Fördern von Erdöl

# Warum wachsen Reserven Börsen notierter Firmen mit der Zeit?

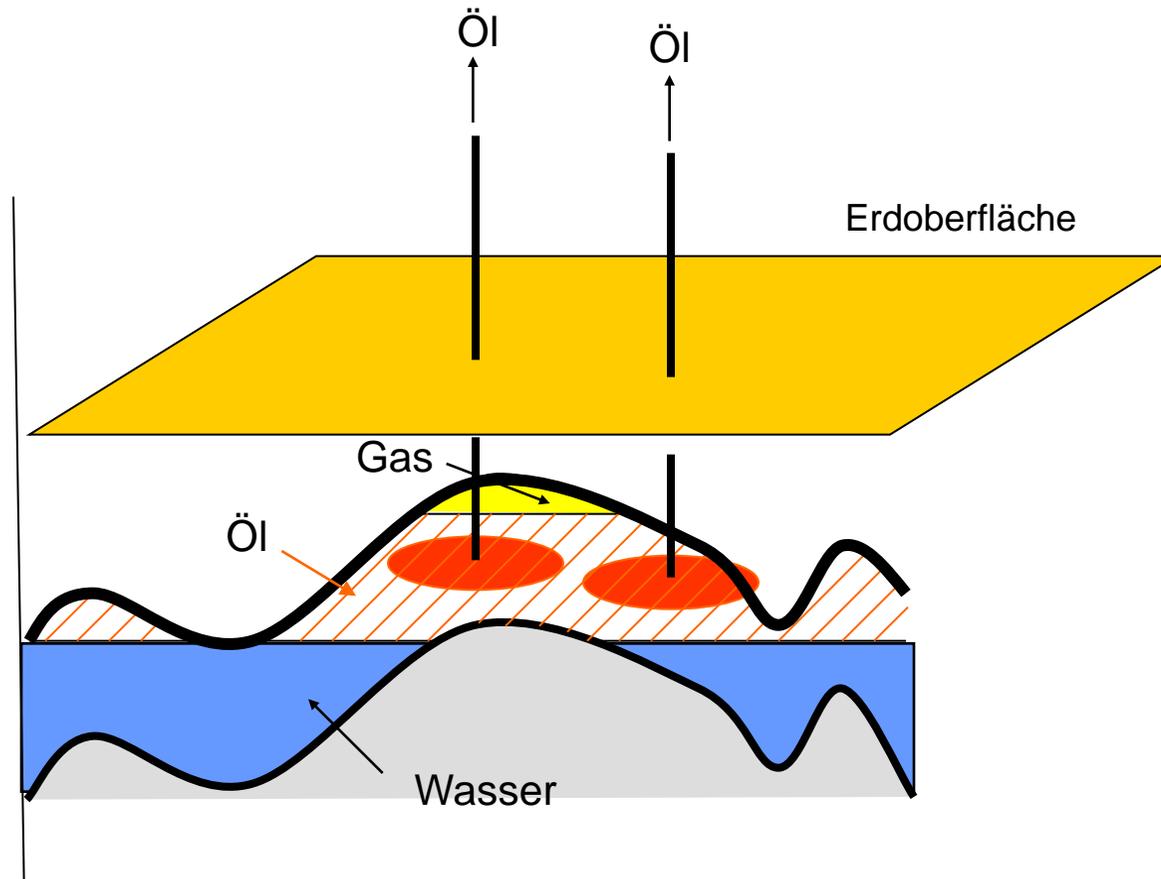
Schätzung des Geologen:  
Jahresberichte:

So groß wie vertretbar („probable reserves“)  
Nachgewiesene Reserven: Die Mengen, die mit bestehenden oder geplanten Anlagen gefördert werden können



ludwig bolkow  
systemtechnik

=> Neue Fördersonden lassen die Reserven wachsen

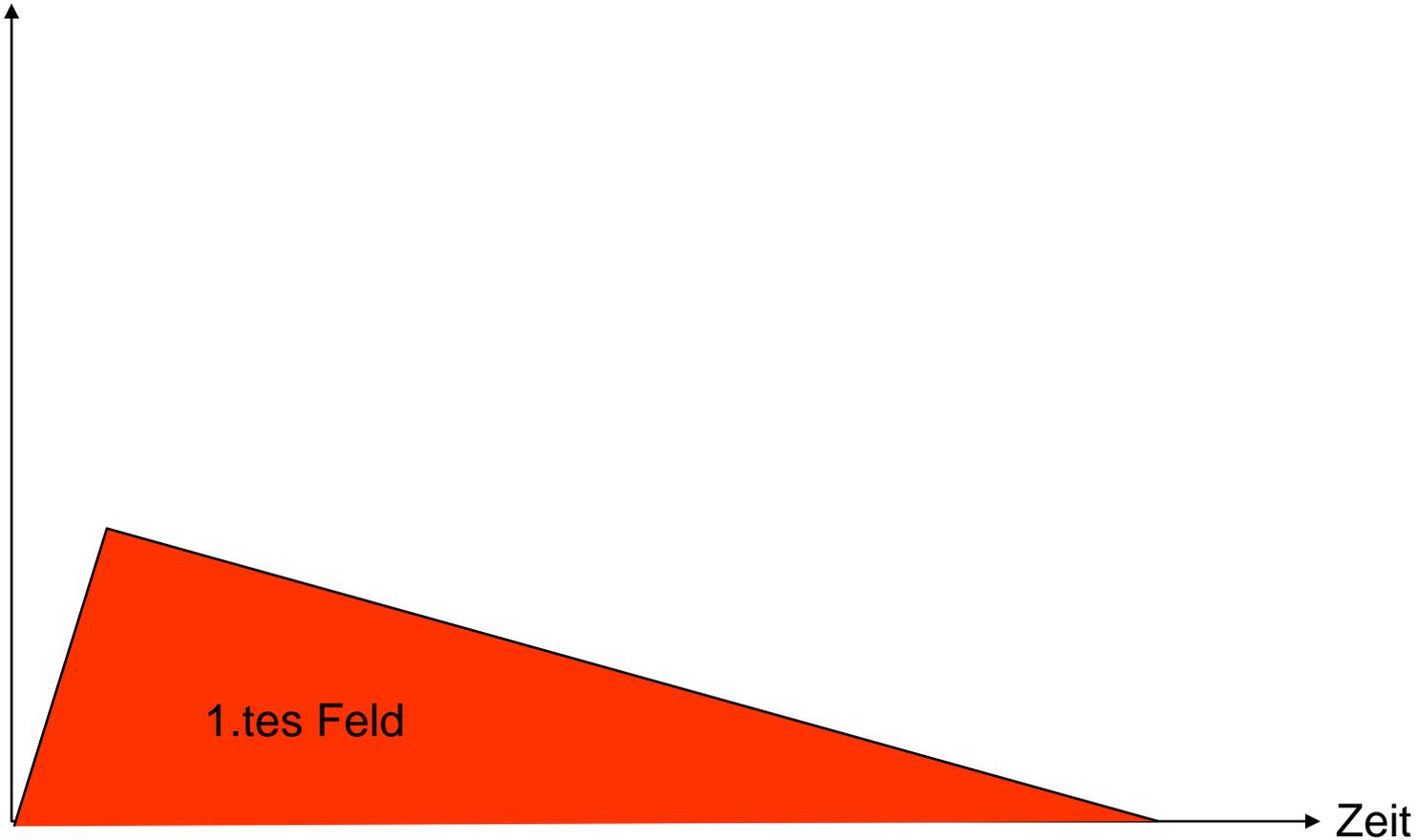


# Entwicklung der Ölförderung: Typisches Förderprofil eines Ölfeldes



ludwig bolkow  
systemtechnik

Ölförderung

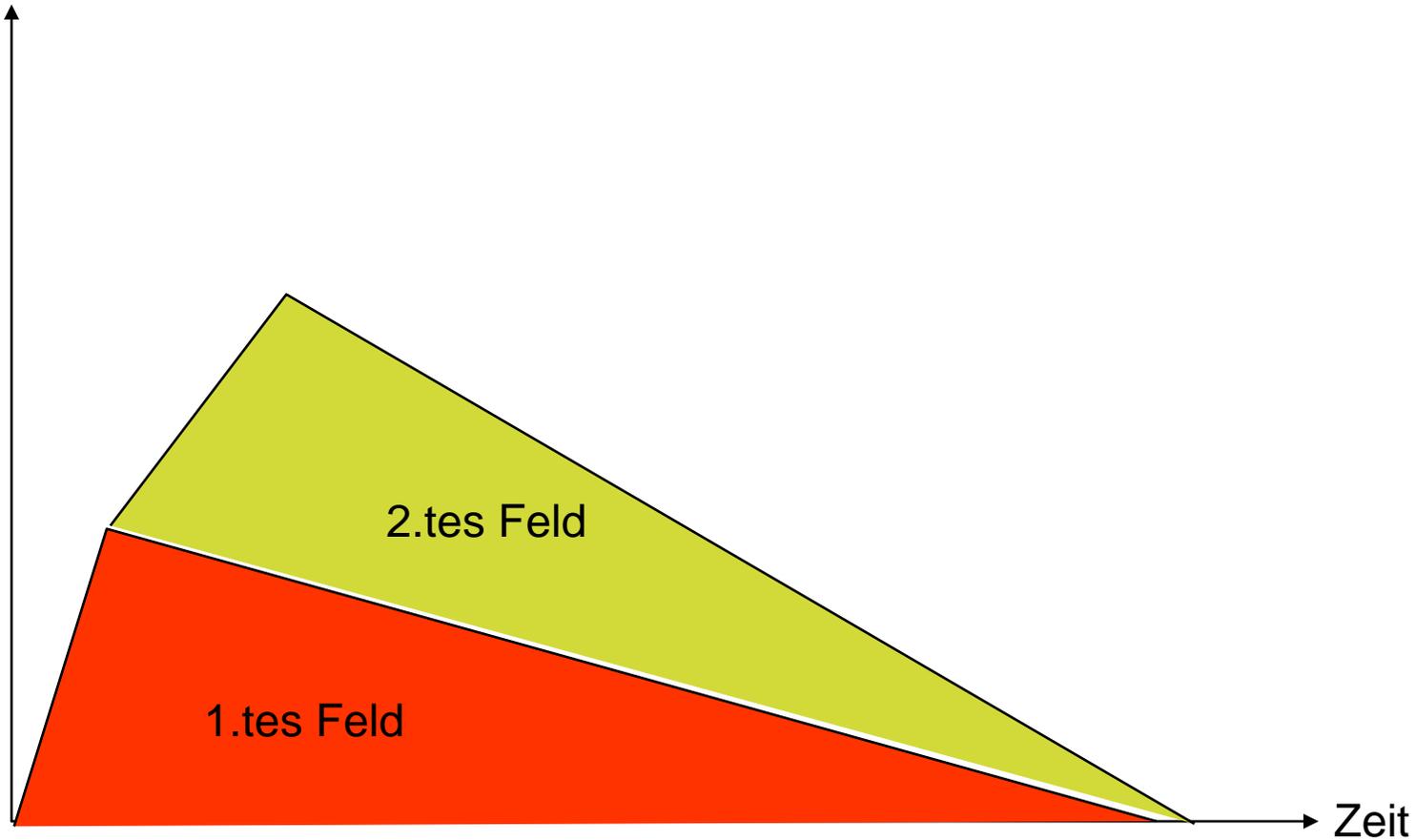


# Entwicklung der Ölförderung: Ausweitung der Förderung



ludwig bolkow  
systemtechnik

Ölförderung

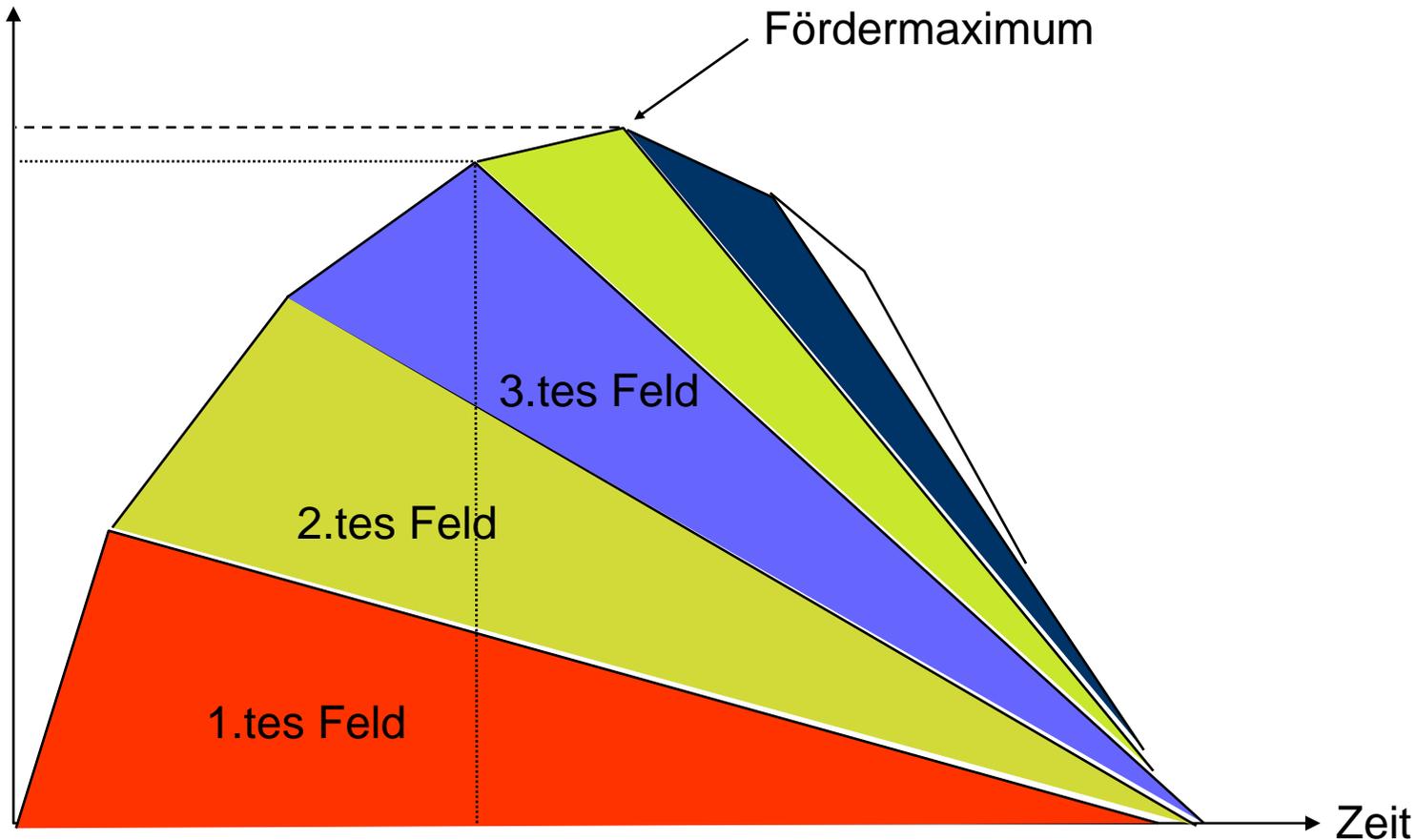


# Entwicklung der Ölförderung: Regionales Fördermaximum



ludwig bolkow  
systemtechnik

Ölförderung

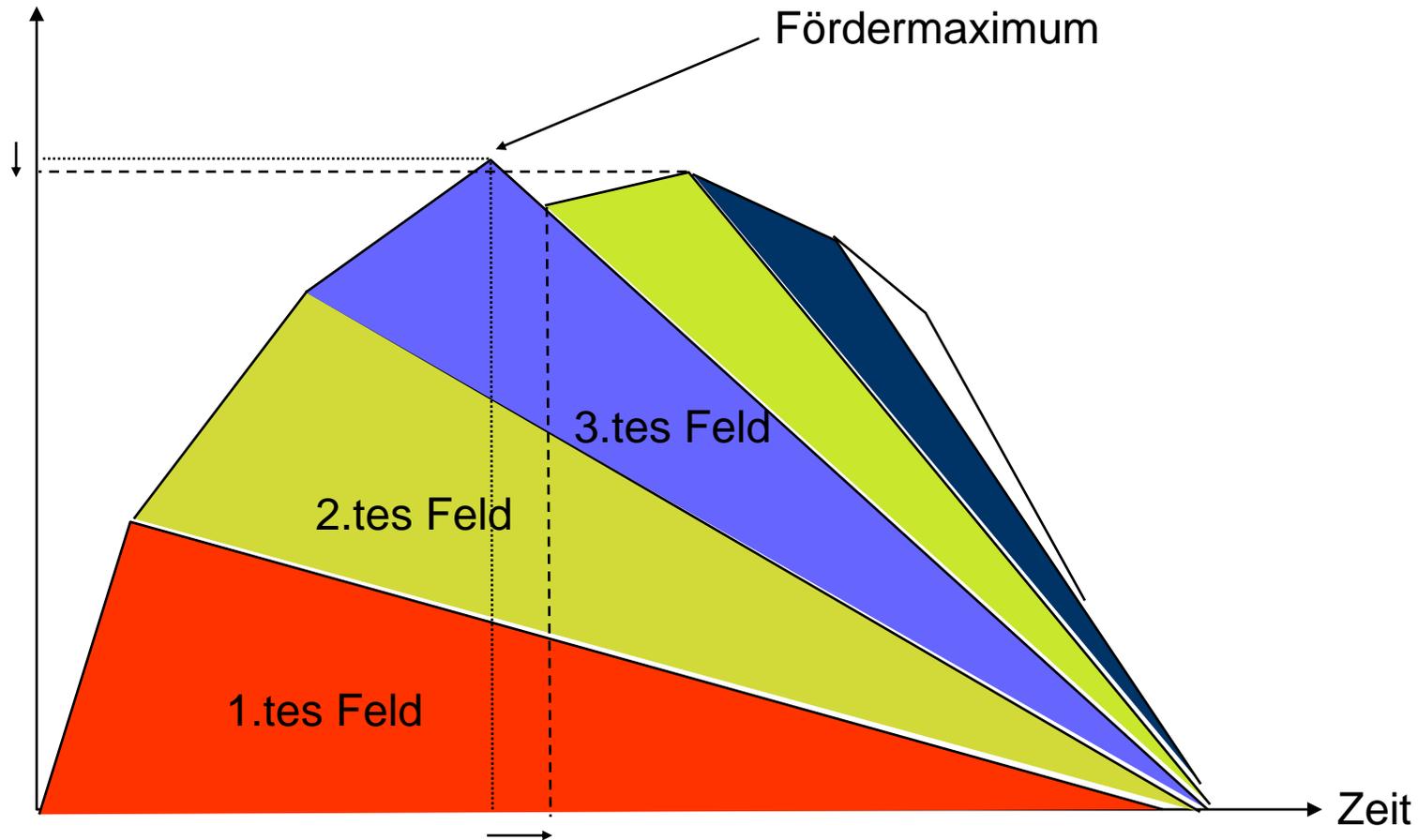


# Entwicklung der Ölförderung: Verzögerung bei neuen Feldern



ludwig bolkow  
systemtechnik

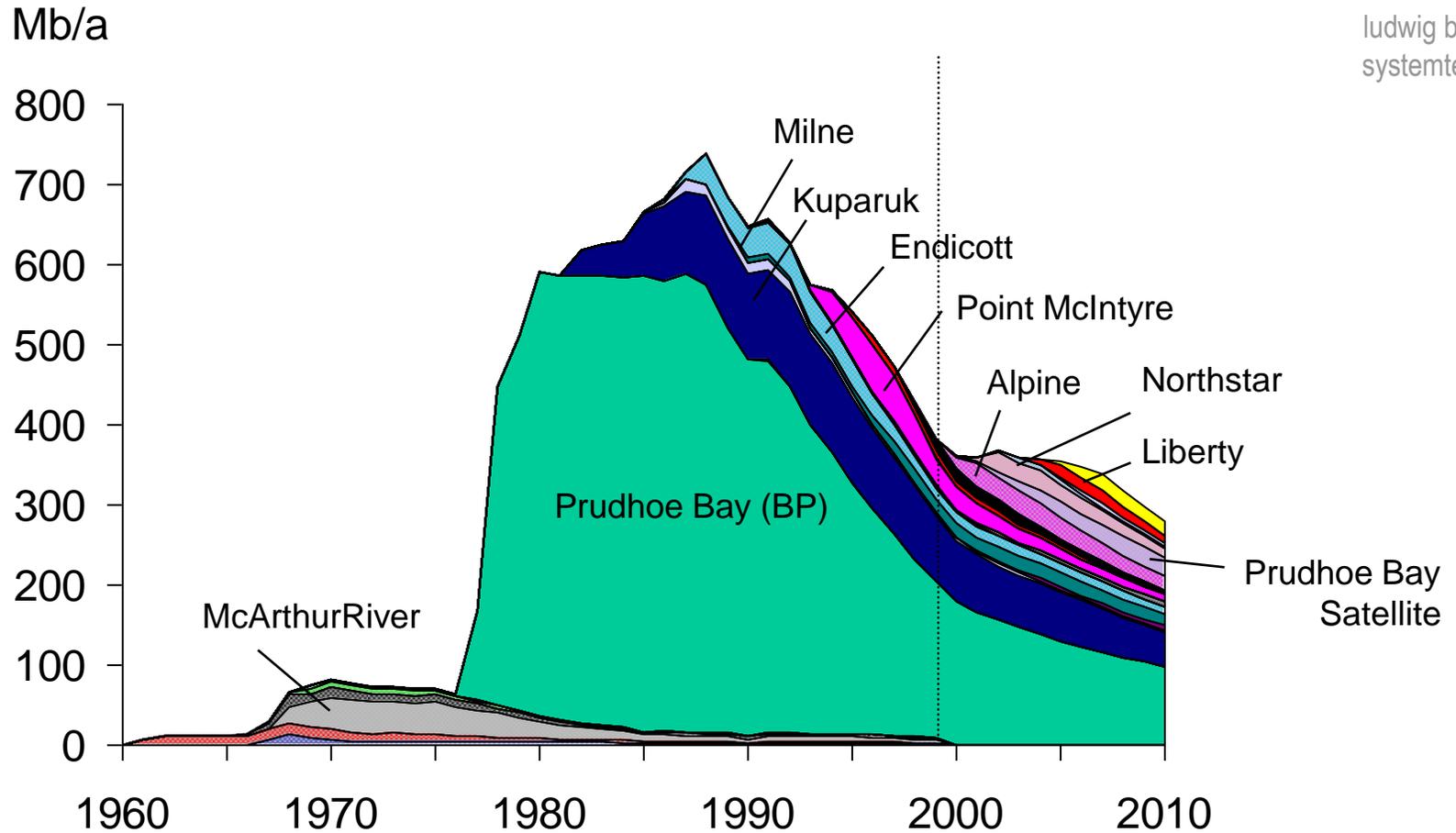
Ölförderung



# Alaska: Gesamtförderung und Förderprognose im Jahr 2000



ludwig bolkow  
systemtechnik

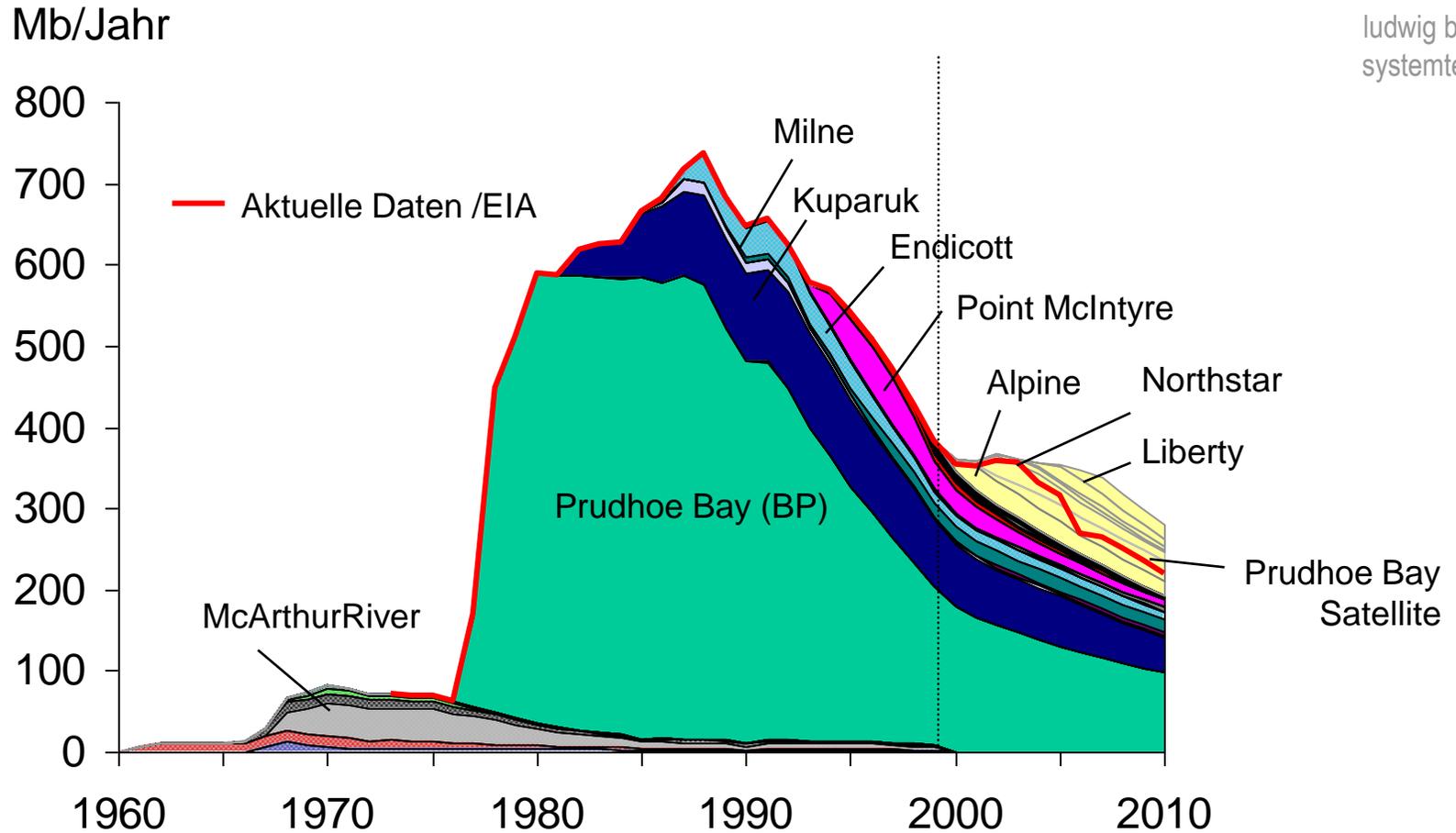


Source: Department of Natural Resources, Division of Oil and Gas  
2000 Annual Report  
actual Data: EIA

# Alaska: Förderung – Prognose und reale Entwicklung



ludwig bolkow  
systemtechnik

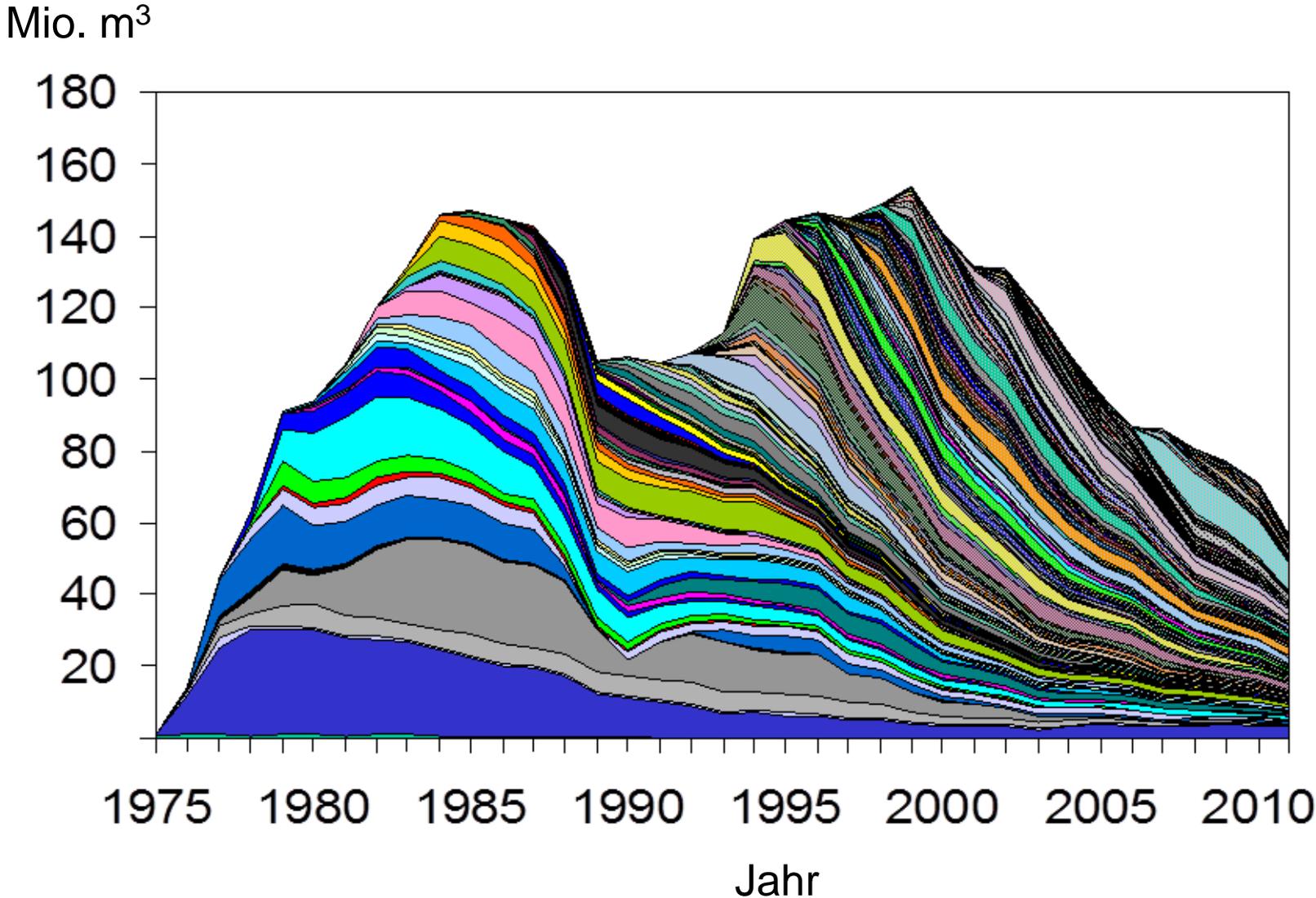


Source: Department of Natural Resources, Division of Oil and Gas  
2000 Annual Report  
Aktuelle Daten: EIA

# Die Ölförderung in Großbritannien



ludwig bolkow  
systemtechnik

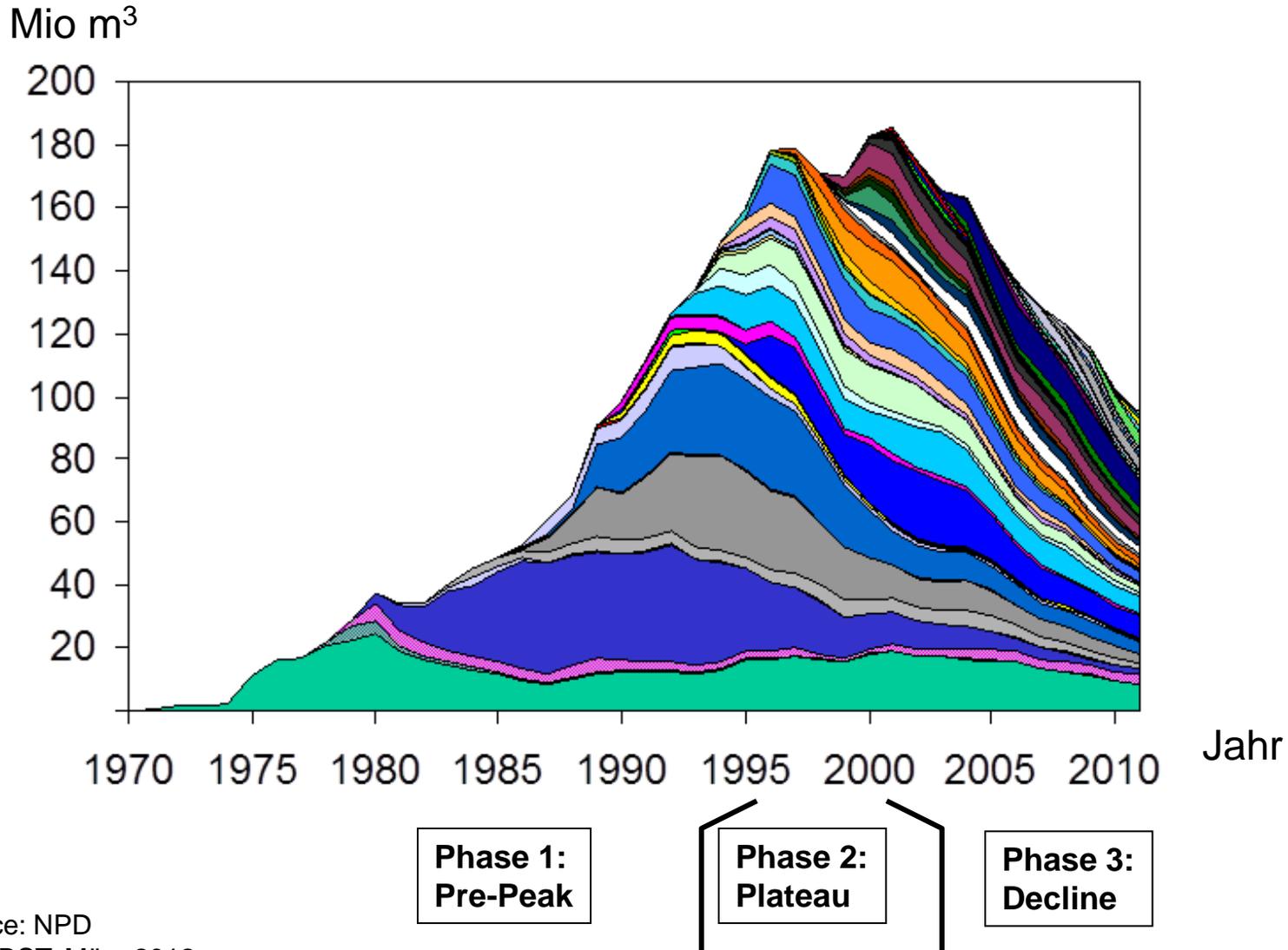


Quelle: DTI, März 2012; Forecast: LBST  
2011-Daten aus Jan-Nov extrapoliert

# Norwegen: Rohölförderung bis Ende 2011



ludwig bolkow  
systemtechnik

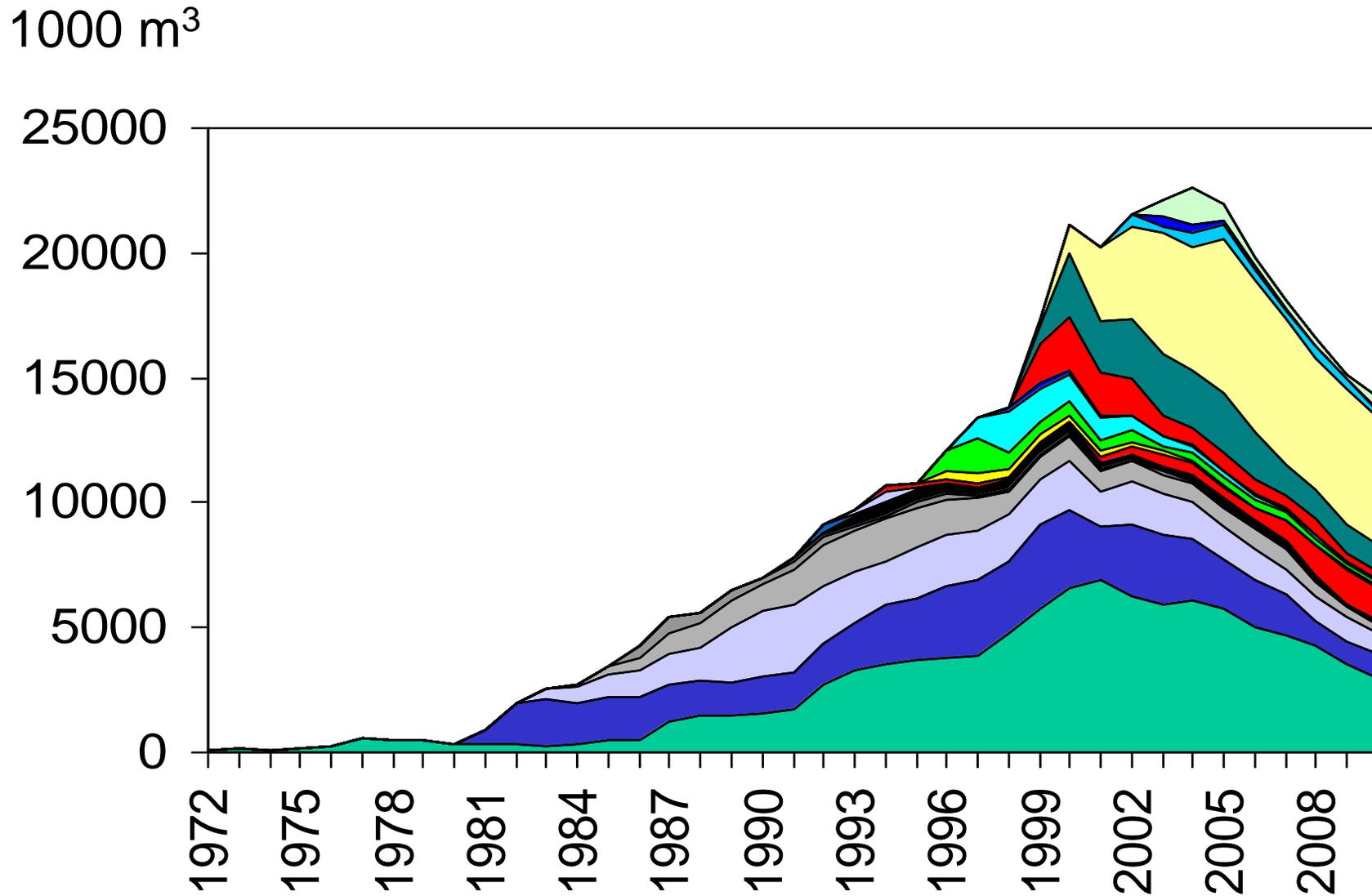


Data Source: NPD  
Analysis: LBST, März 2012

# Ölförderung in Dänemark, 1972-2010



ludwig bolkow  
systemtechnik

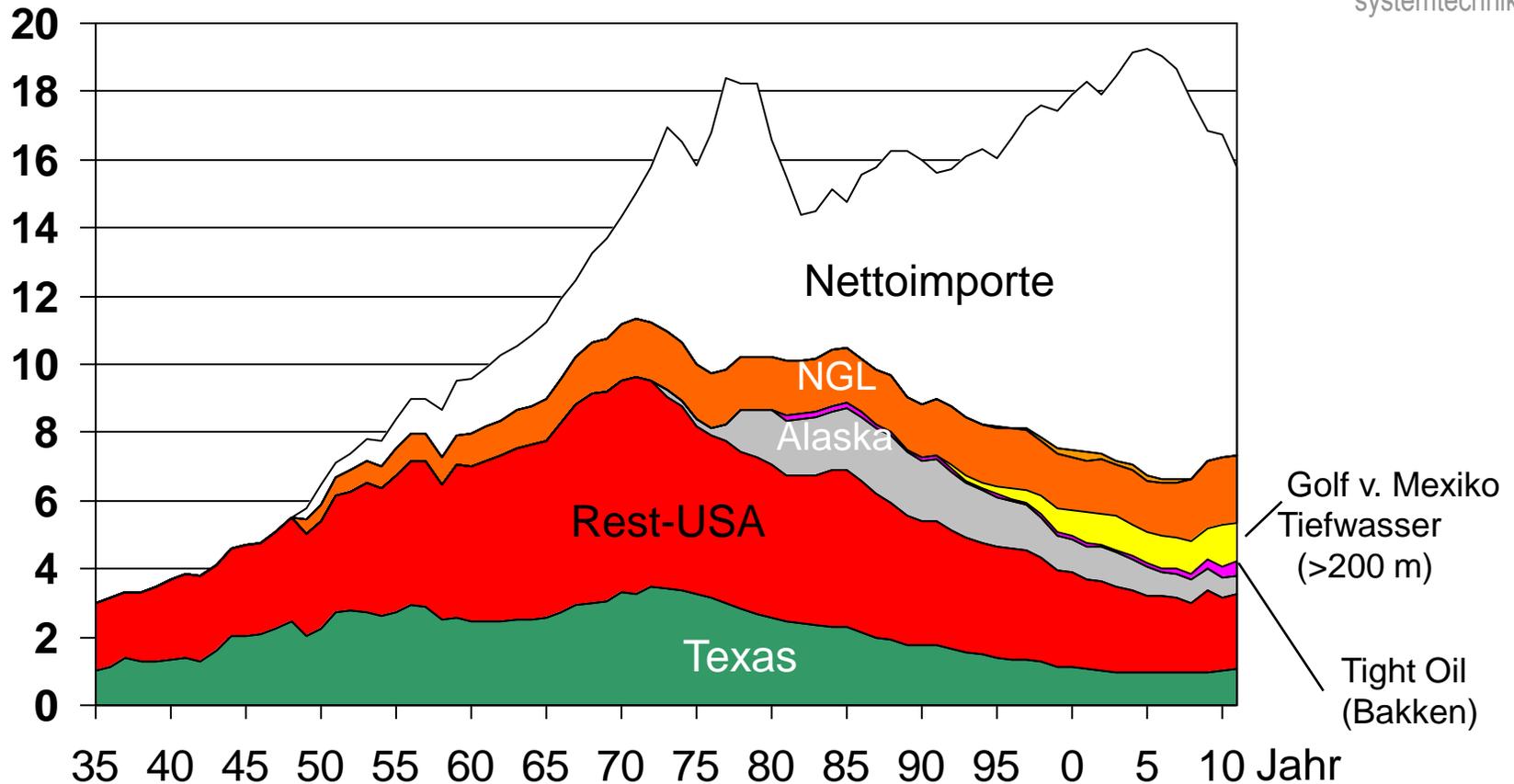


# Ölproduktion USA, Texas, Alaska Gulf von Mexiko und Nettoimporte



ludwig bolkow  
systemtechnik

Förderung (Mb/Tag)



Quelle: Texas Railroad Commission, US Energy Information Nov 2011  
2010/11-data for GOM are LBST-estimates

# Alberta Teer Sand



ludwig bölkow  
systemtechnik

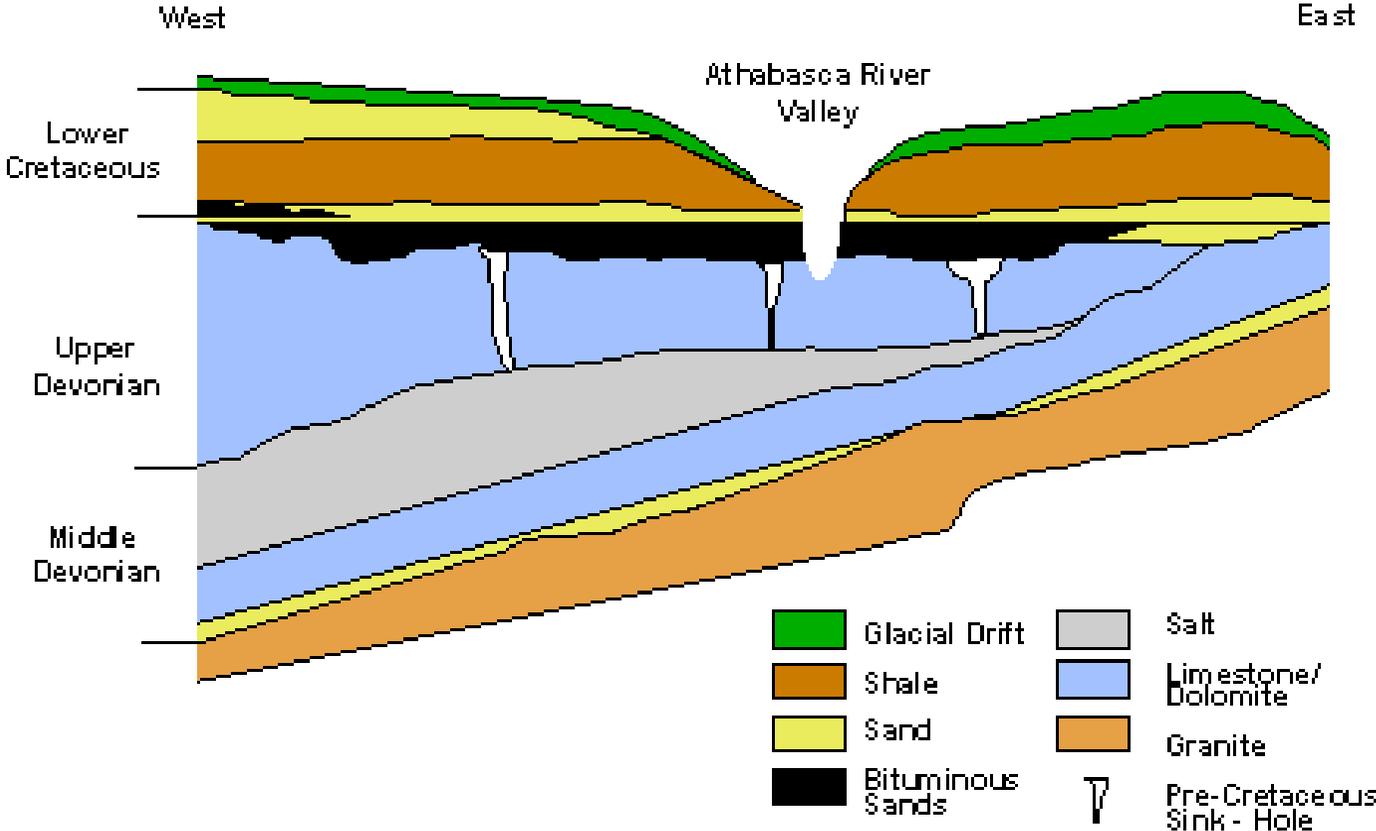


<http://www.usask.ca/education/ideas/tplan/sslp/yukon/mappage.htm>

# Geologischer Querschnitt durch die Teersandregion in Alberta



ludwig bolkow  
systemtechnik



*Simplified Geological Cross-section  
Through the Athabasca Oil Sands Region*

(after Carthy and Kramers, 1973)

# Die Zukunft der Ölförderung?



ludwig bolkow  
systemtechnik



## „High Tech“ Ölquelle



A conventional "truck and shovel" operation.

von: [www.sppcpm.com](http://www.sppcpm.com)

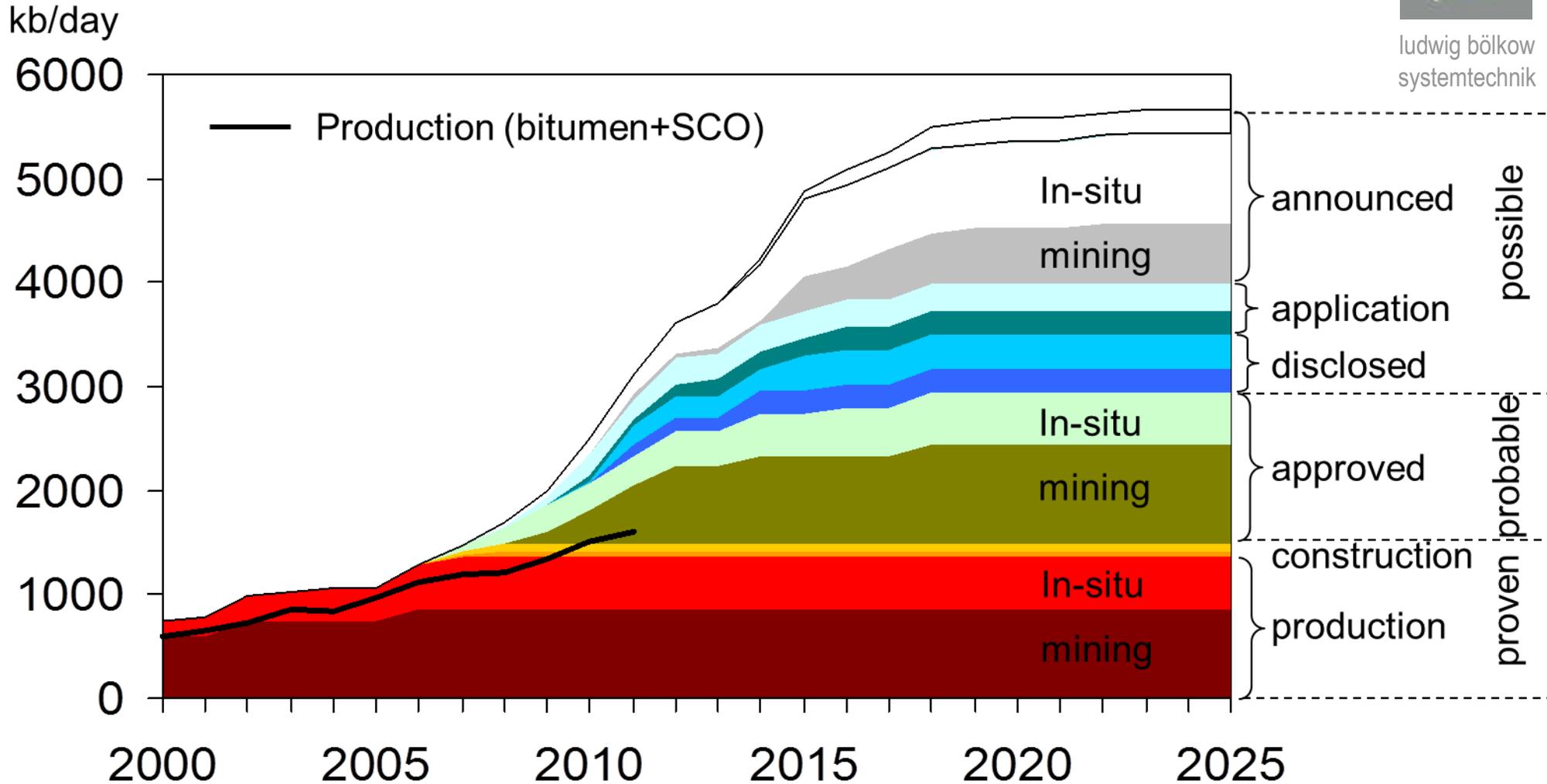


Mining sequence.

# Mining and in-situ oil sand projects production capacity



ludwig bolkow  
systemtechnik

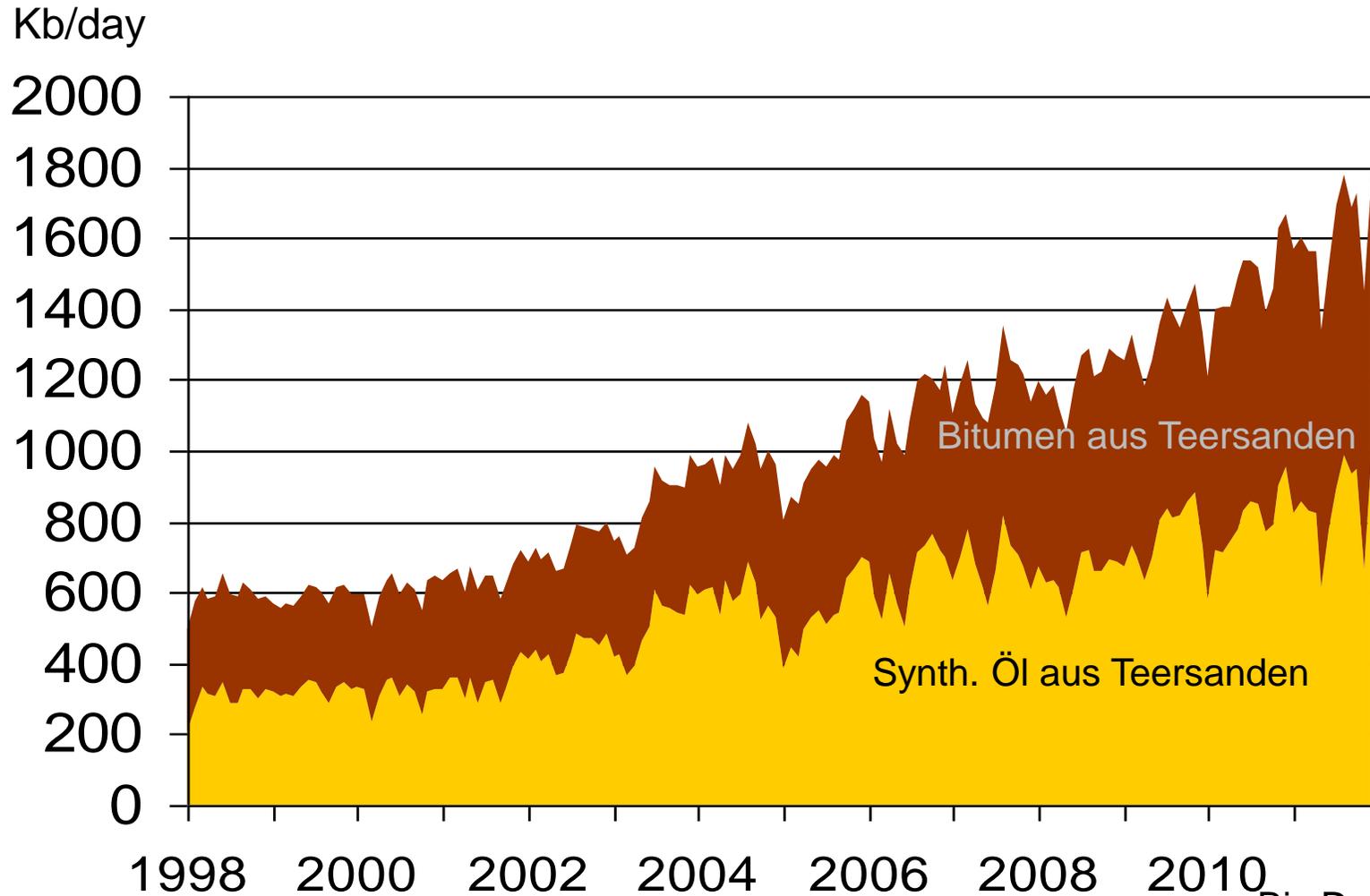


Source: Existing and proposed Canadian Commercial Oil Sand Projects, R.B. Dunbar, June 2007  
Production from NEB, June 2012

# Monatliche Öl (+ NGL) Förderung in Kanada



ludwig bolkow  
systemtechnik



Quelle: NEB Juni 2012

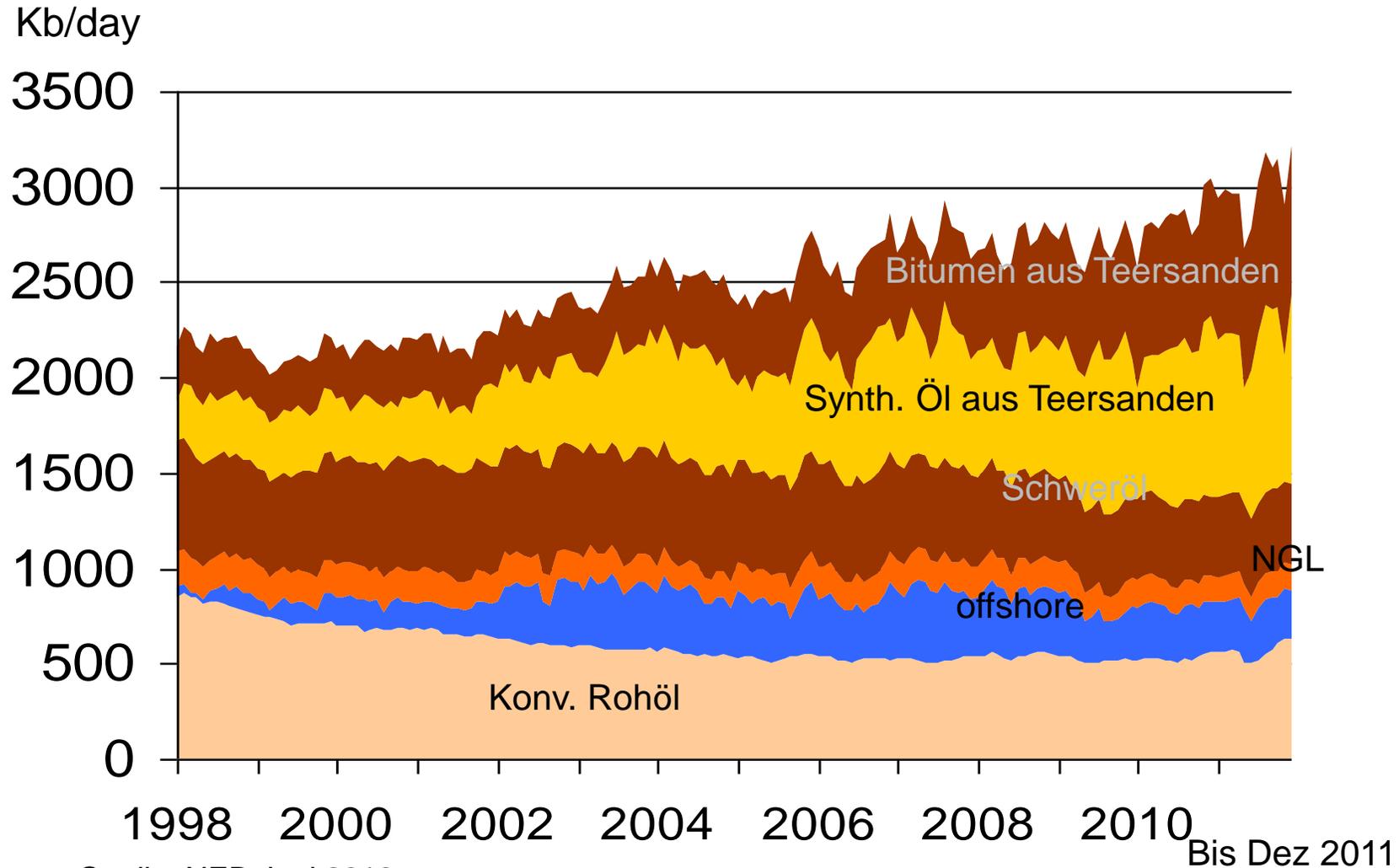
Bis Dez 2011

Ab Okt 2011 vorläufig

# Monatliche Öl (+ NGL) Förderung in Kanada



ludwig bolkow  
systemtechnik



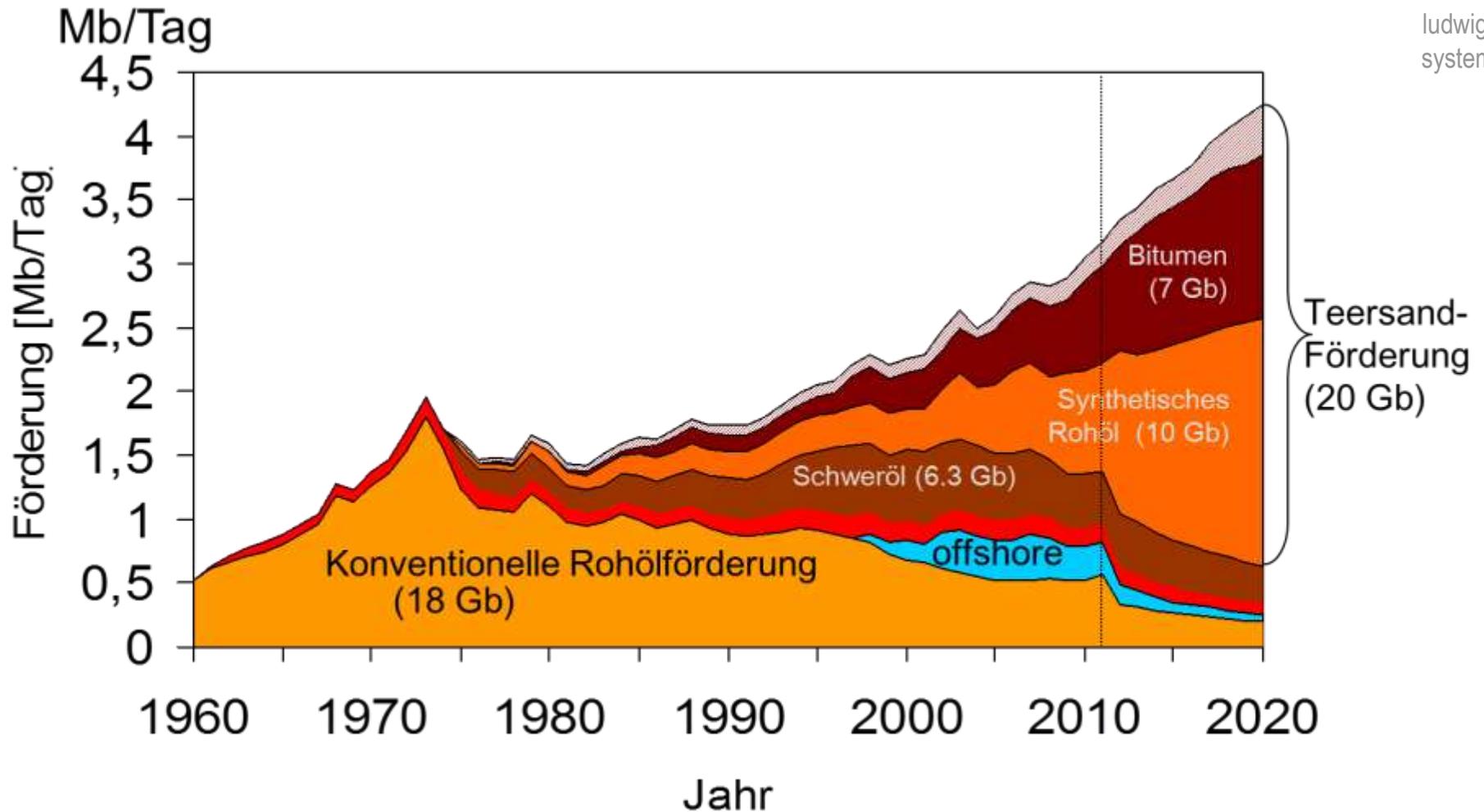
Quelle: NEB Juni 2012

Ab Okt 2011 vorläufig

# Kanadische Teersandförderung 1960-2020



ludwig bolkow  
systemtechnik



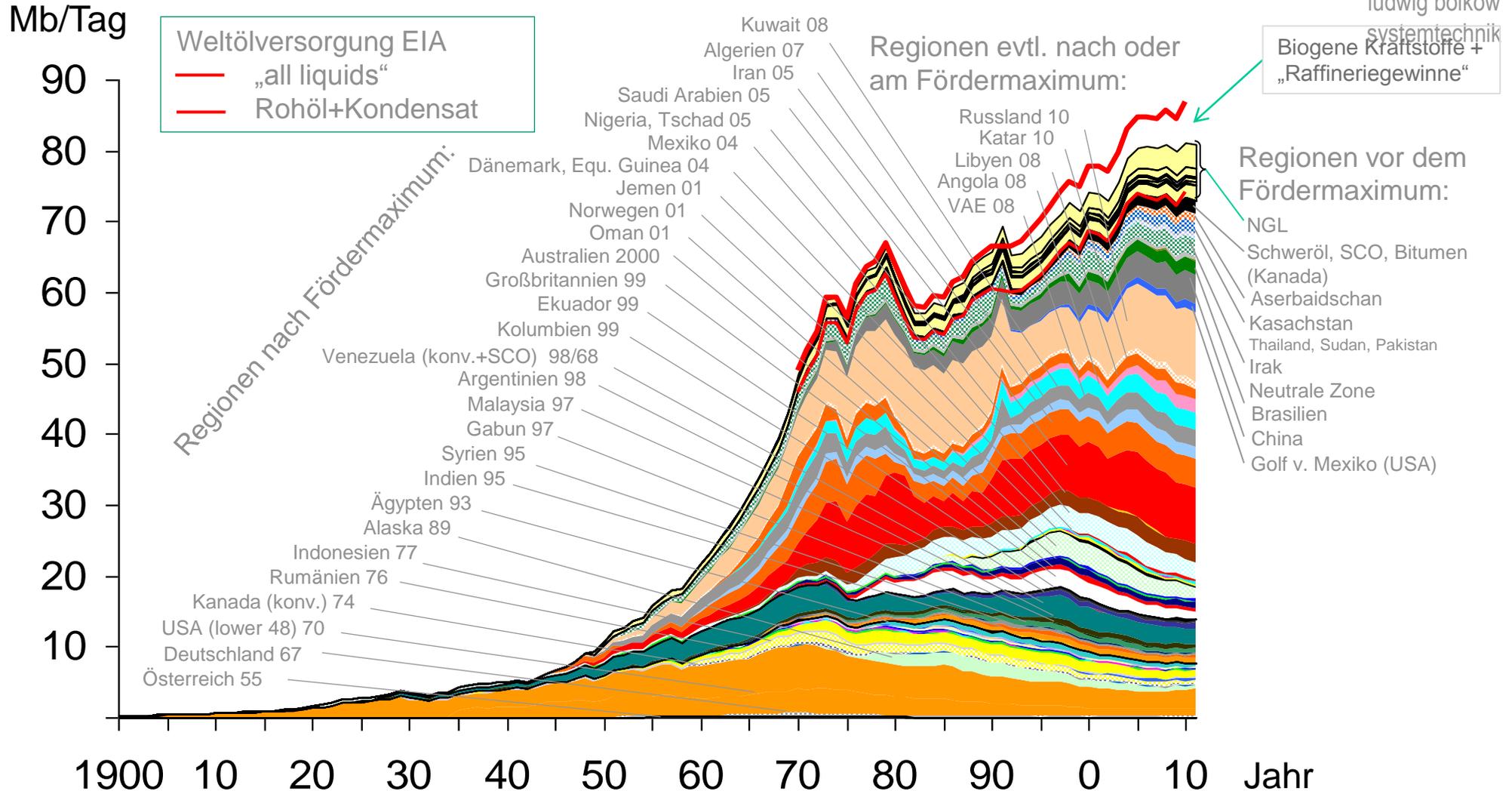
Quelle: 1975-2011: National Energy Board, CDA Juni 2012  
1960-1974: US-DoE-Energy Information Administration  
2011-2020 Forecast, tar sands based on CERI-study, October 2005,  
conventional and heavy oil based on LBST estimate

# Die weltweite Ölförderung 1900 – 2011 (Schätzung am 1 Nov 2011) (Rohöl, Kondensat, NGL, Schweröl, Teersand)



Ludwig Bolkow

systemtechnik



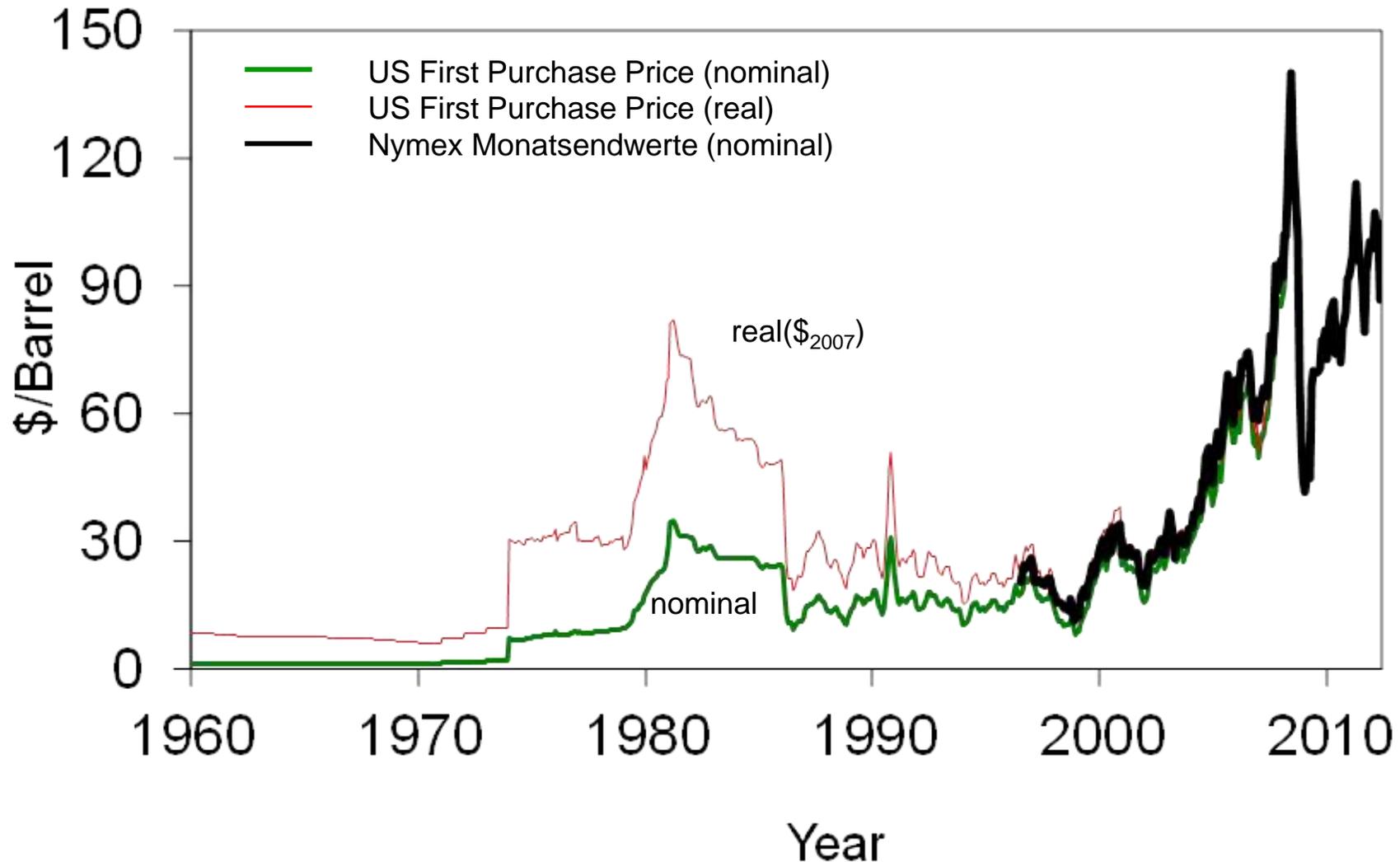
Datenquelle:

Österreich, Deutschland, USA, Kanada, Niederlande, UK, Norwegen, Dänemark, Saudi Arabien, Brasilien, Mexiko: Statistiken nationaler Behörden/Firmen;  
Für andere Staaten US-EIA, soweit verfügbar. 2011 Daten aus Jan-Sep extrapoliert bzw. für einige Staaten LBST-Schätzung  
Historische Zahlen bis 1970 bzw. für manche Staaten bis 2005: IHS-Energy soweit nicht aus oben genannten Quellen ermittelt; Analyse LBST Nov 2011

# Entwicklung des Ölpreises – seit 2001 geht die Nordseeförderung zurück



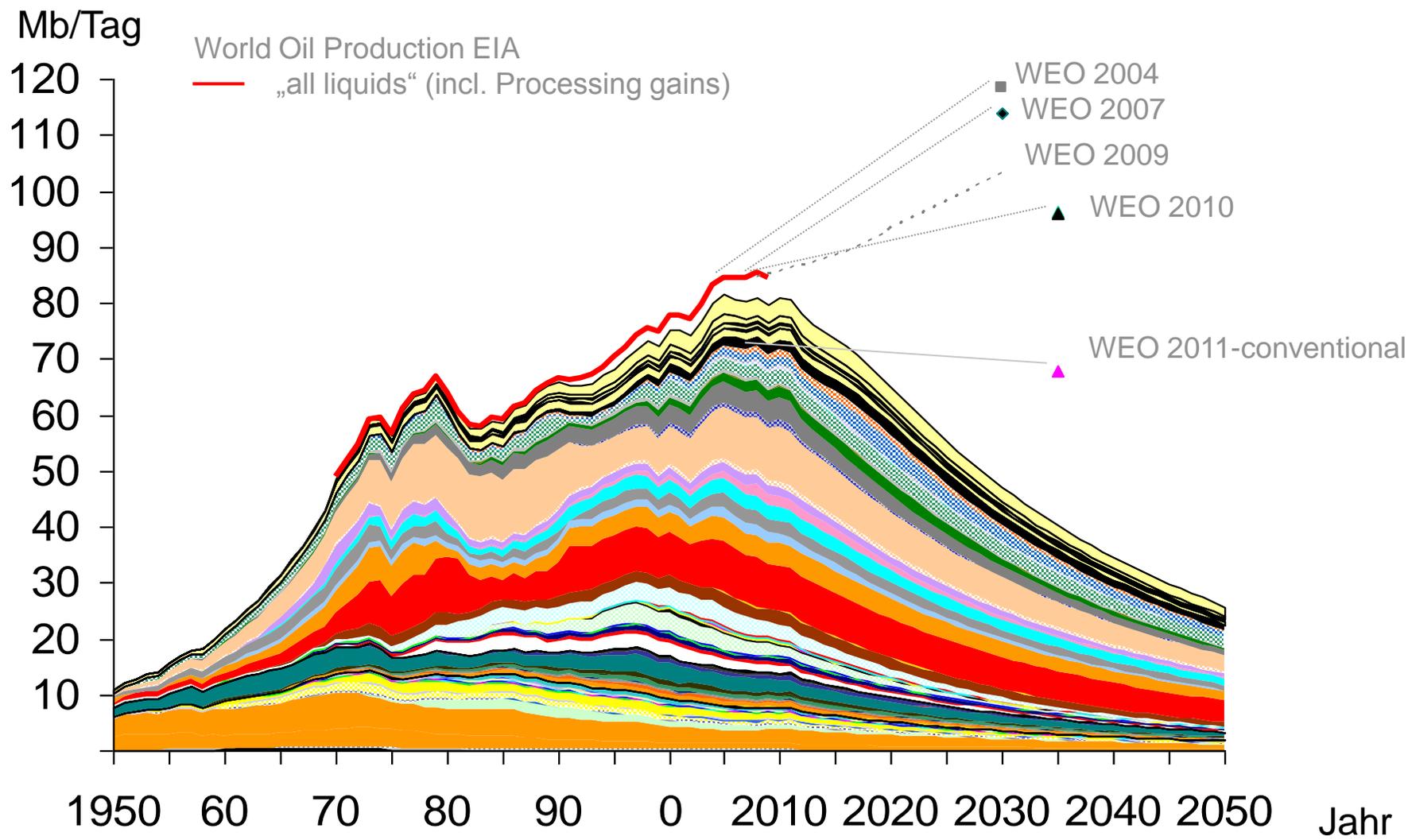
ludwig bolkow  
systemtechnik



# Weltölförderung 1950 - 2050 (Rohöl, Kondensat, NGL, Schweröl, Ölsand)



ludwig bolkow  
systemtechnik



Datenquelle: Österreich, Deutschland, USA, Kanada, Niederlande, UK, Norwegen, Dänemark, Saudi Arabien, Brasilien: Statistiken nationaler Behörden/Firmen; Für andere Staaten US-EIA, soweit verfügbar. Für die verbleibenden Staaten BP Statistical Review und LBST-Schätzung  
Historische Zahlen bis 1970 bzw. für manche Staaten bis 2005: IHS-Energy soweit nicht aus oben genannten Quellen ermittelt; Analyse LBST November 2011

Oldenburg, 20. Juni 2012

---



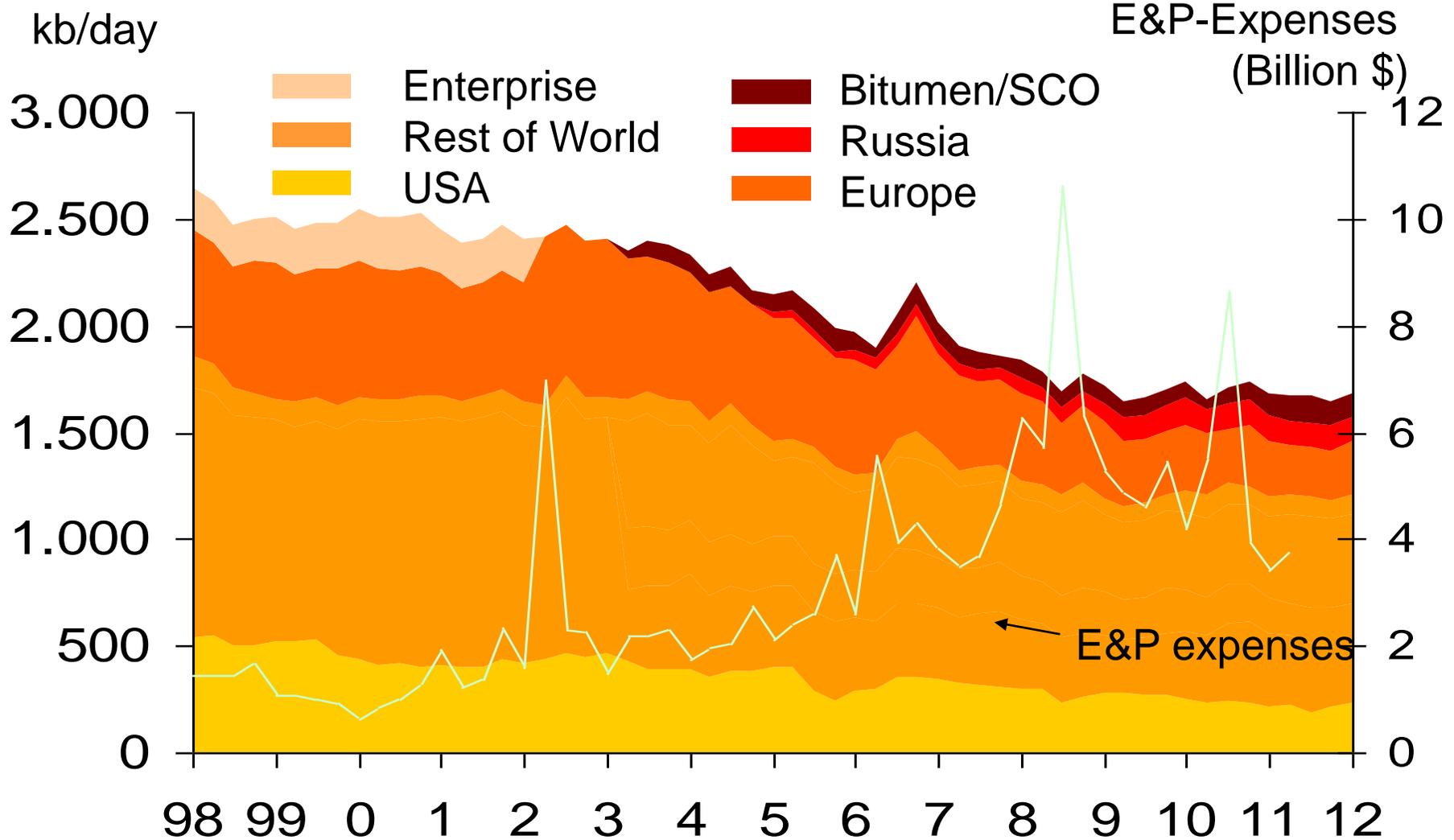
ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Was sind die Konsequenzen?

# Shell – Oil Production



ludwig bolkow  
systemtechnik



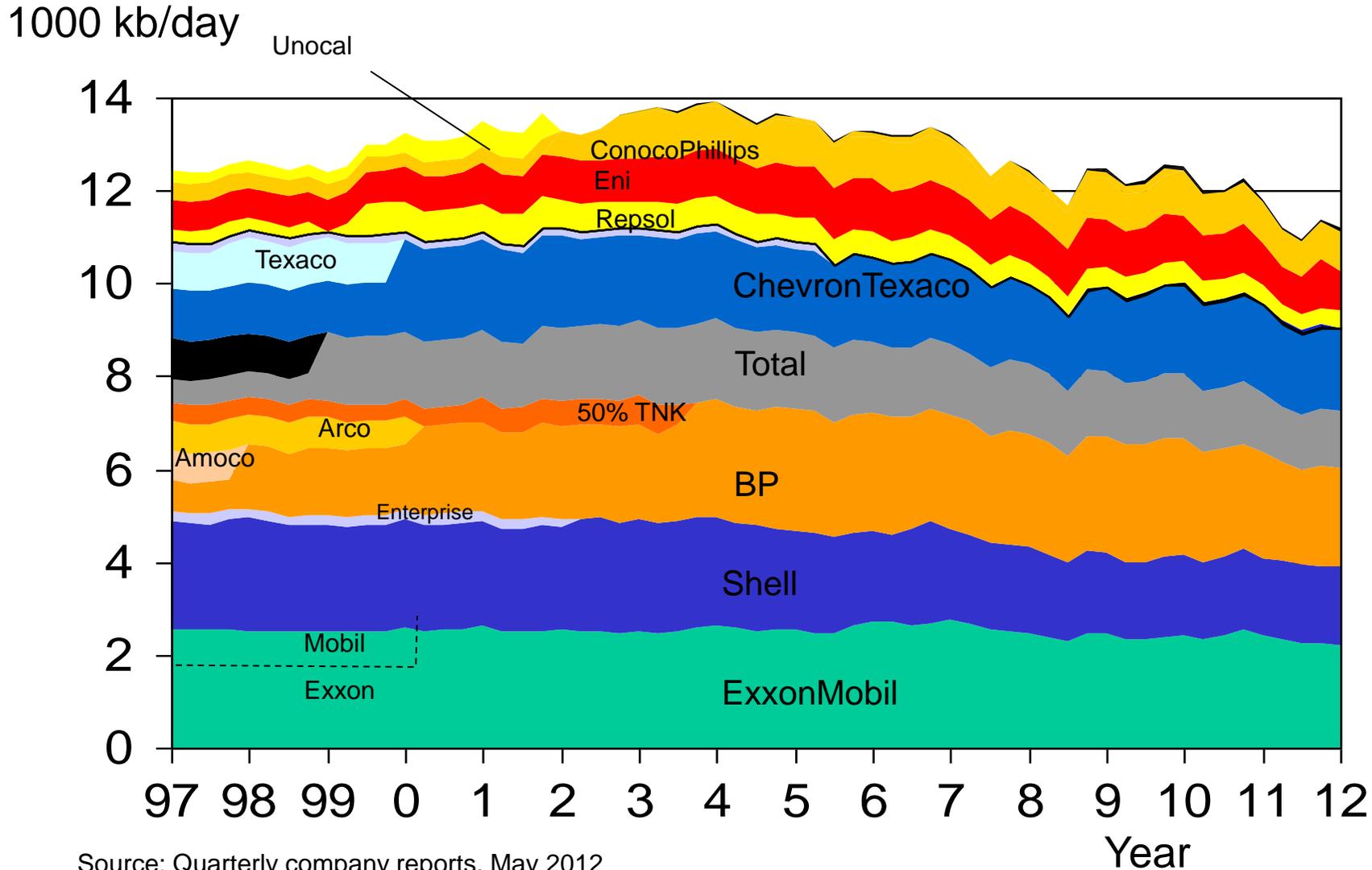
Source: quarterly reports, Shell

Year

# Oil production of 8 largest western private companies



Ludwig Bolkow  
systemtechnik

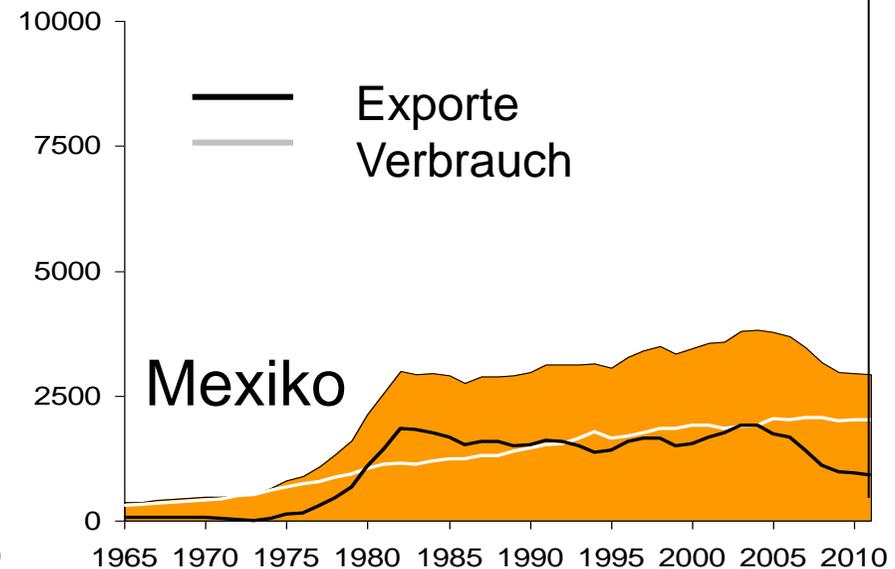
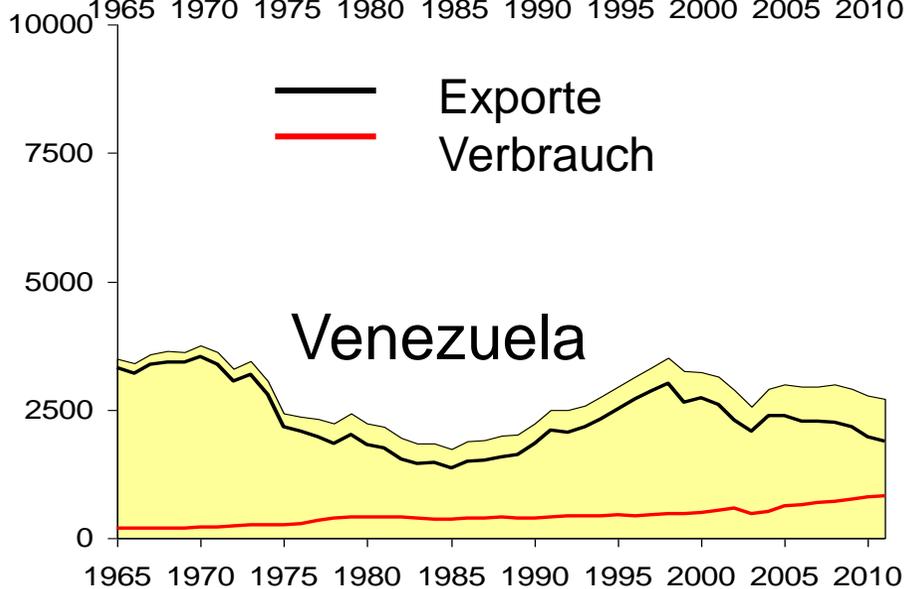
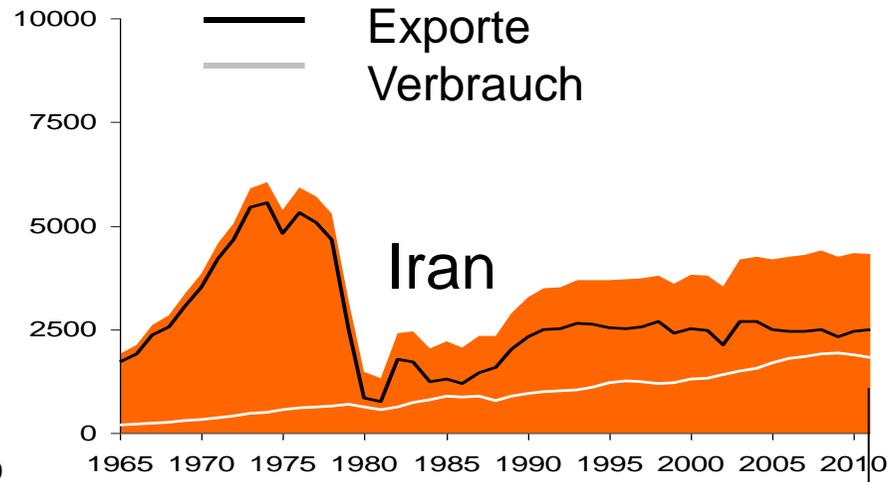
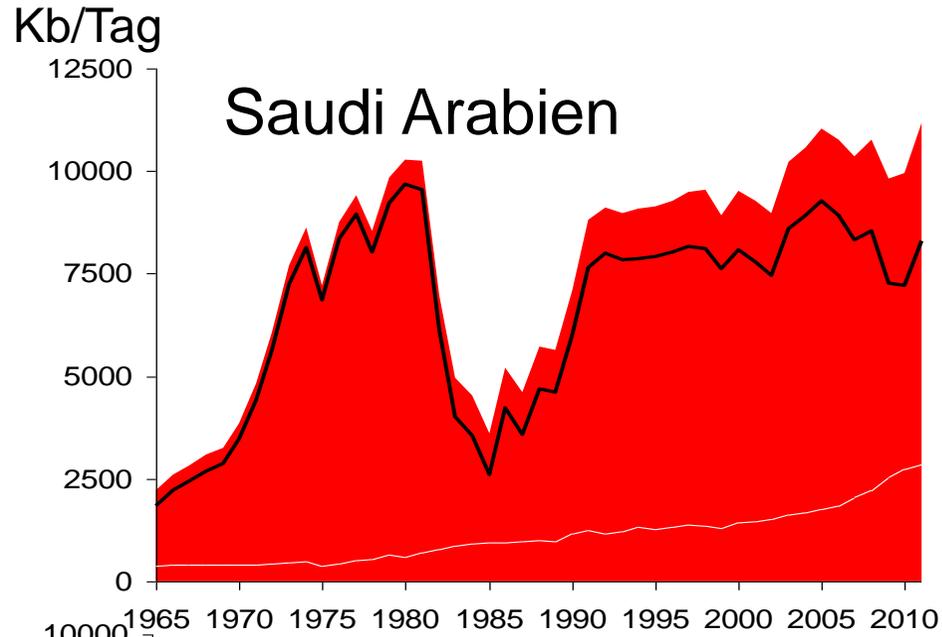


Source: Quarterly company reports, May 2012  
 Repsol 1/12 data preliminary taken identical to 4/11 data,

# Die Exporte gehen schneller zurück als die Förderung



ludwig bolkow  
systemtechnik

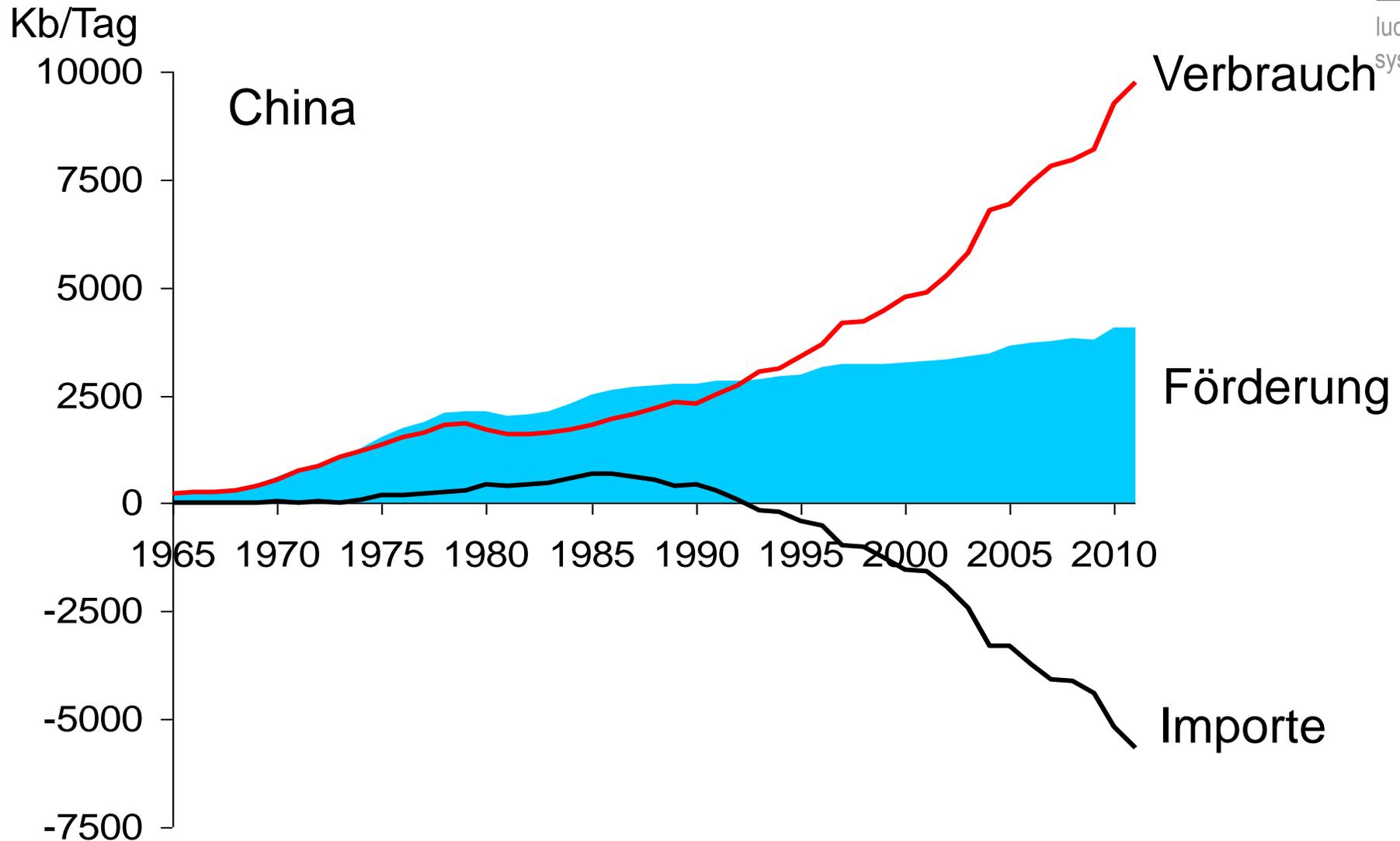


Quelle: BP Statistical Review 2012

# Förderung - Eigenverbrauch - Exporte



ludwig bolkow  
systemtechnik



Quelle: BP 2012; Analyse: LBST

# Ökonometrische Modellrechnung: Anstieg des Ölpreises nach Peak Oil



ludwig bolkow  
systemtechnik

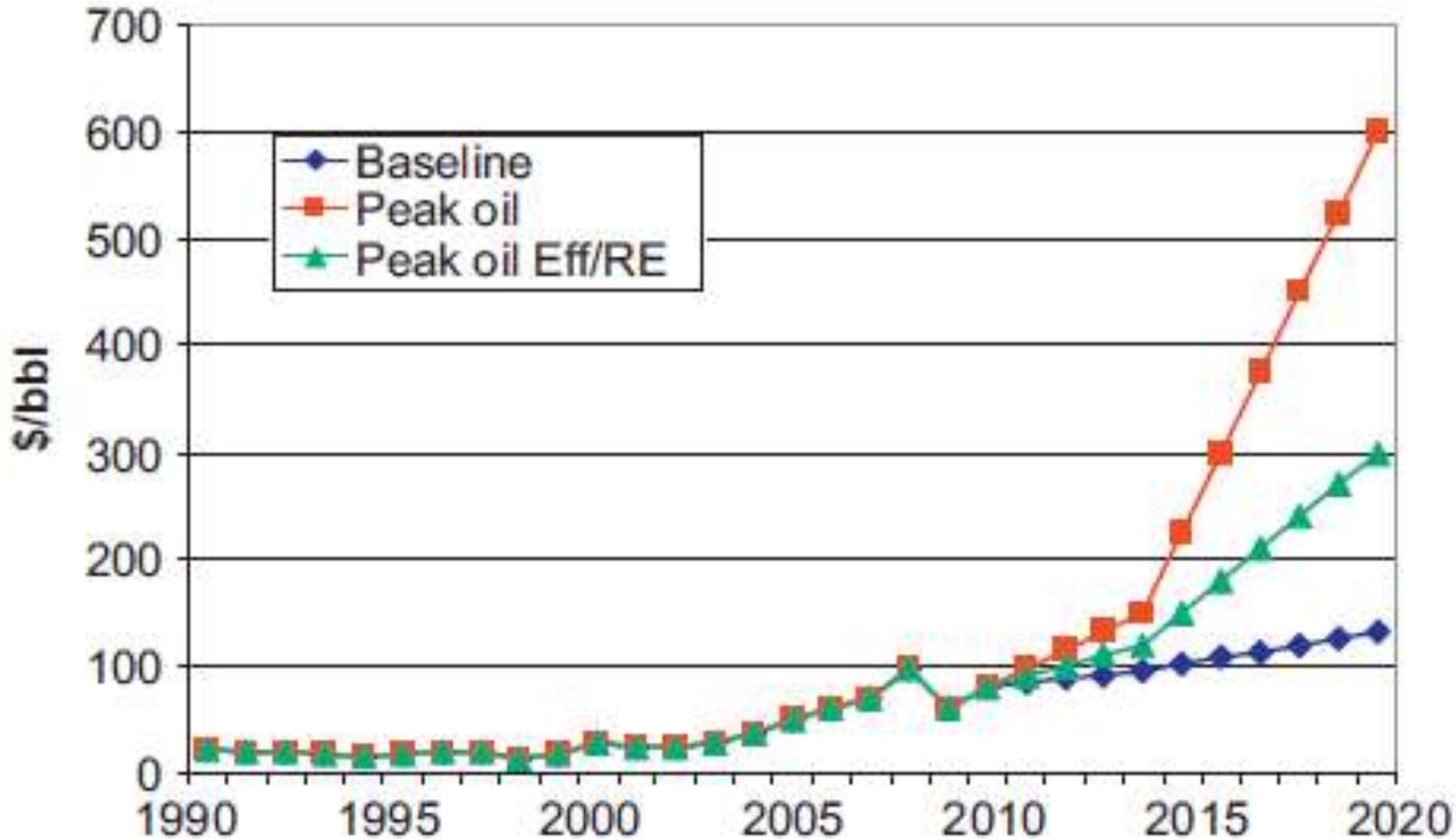


Fig. 2. Oil price development for the 3 scenarios.

# Ökonometrische Modellrechnung: Auswirkung von Peak Oil auf BIP



ludwig bolkow  
systemtechnik

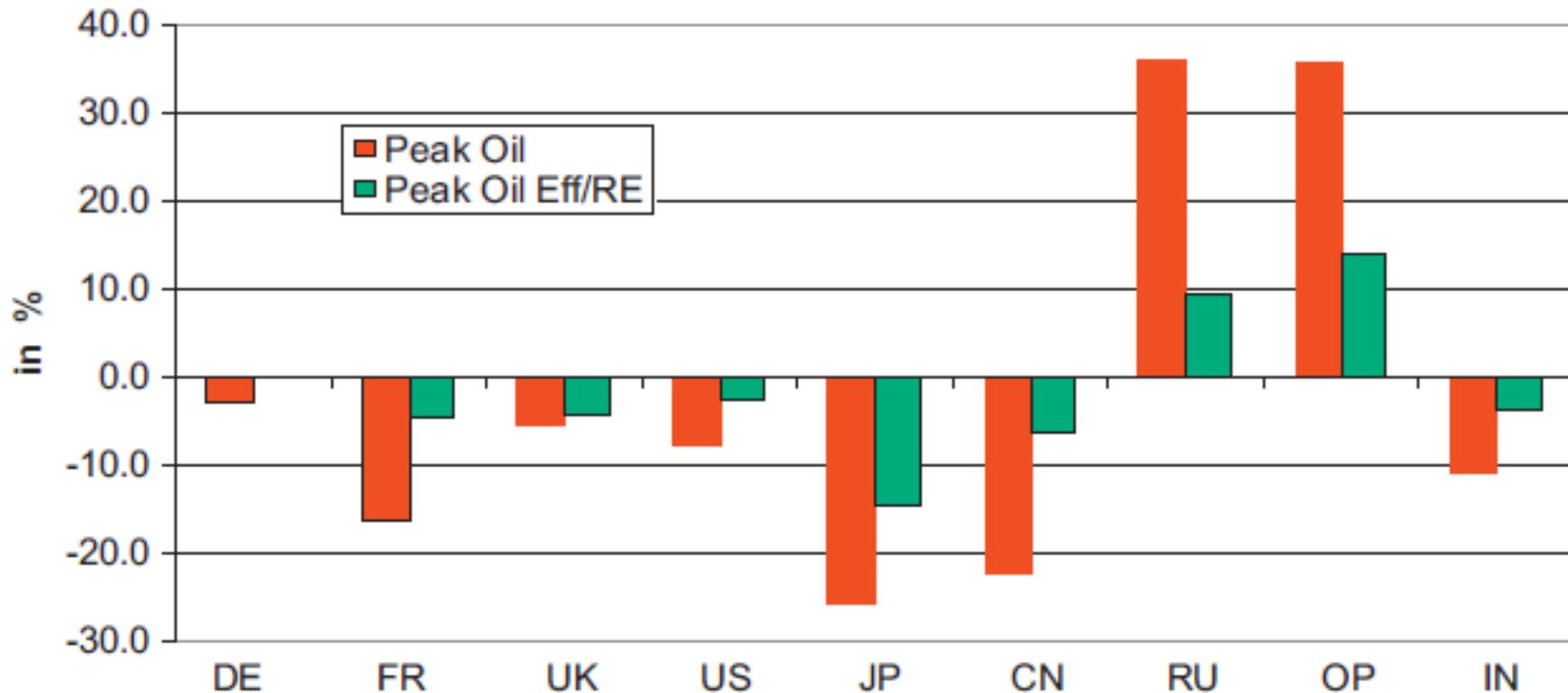
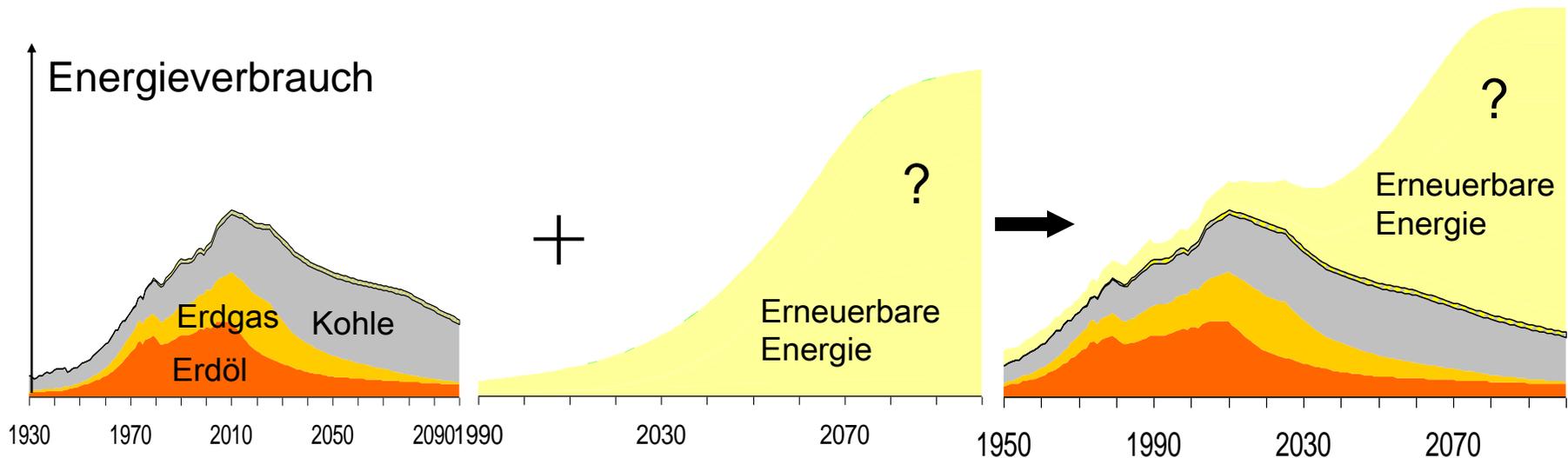


Fig. 5. GDP in 2020—differences between "Peak Oil"/"Peak Oil Eff/RE" and Baseline.

Lutz et al. 2012, Energy Policy (2012)

## These 1: „Aussetzen“ ist keine Lösung

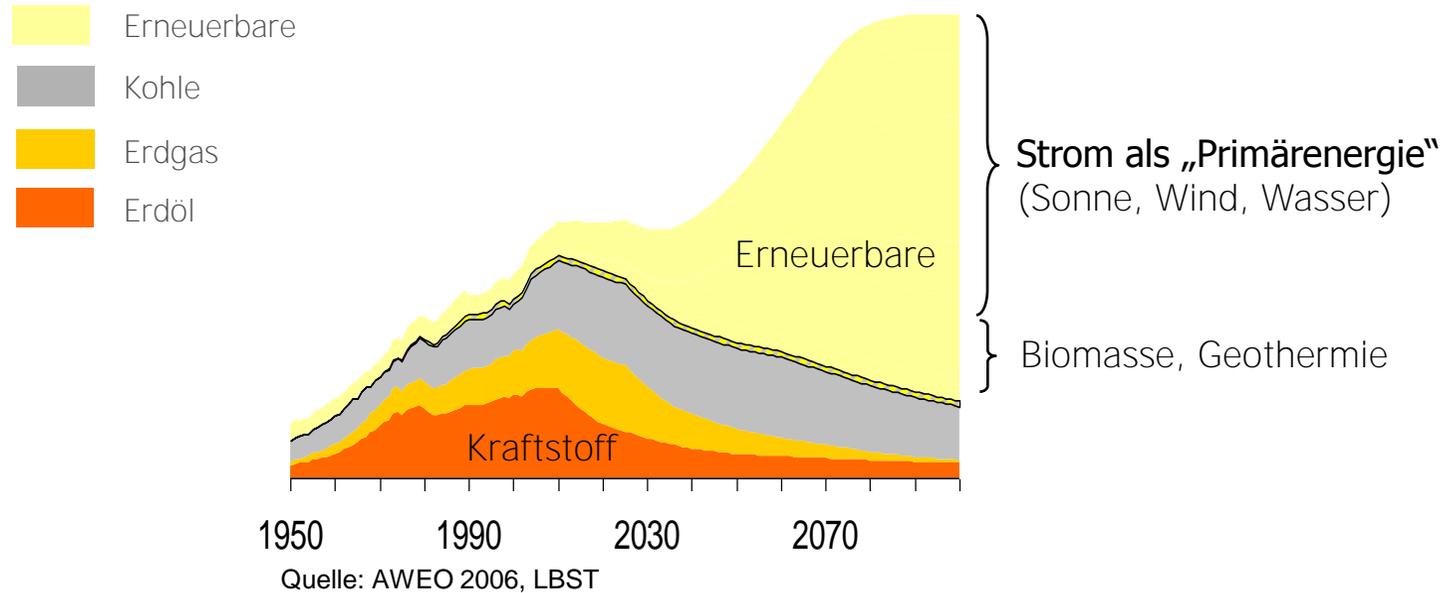
Wir stehen am Beginn eines Strukturwandels der Energieversorgung, der zu einer Neuorientierung der gesamten Wirtschaft führen wird



Quelle: AWEO 2006, LBST

- nach der Neujustierung des „Energiekompasses“ werden Investitionen in dann sinnvolle Technologien gehen
- Energieeffizienz wird wichtig

## These 2: Die Energiezukunft ist Strom dominiert



Regenerativer Strom hat andere Eigenschaften als fossile Energieträger:

- schwerer speicherbar
- starrere Kopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch
- Es fehlt die Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch (Dämpfungsmechanismus!)
- Das System wird anfälliger; Stabilität braucht Redundanz (teuer!)



ludwig bolkow  
systemtechnik

Exkurs 1:

Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum



## Cobb-Douglas Wachstumsfunktion:

$$X = \text{const} \cdot C^\gamma \cdot L^{1-\gamma}$$

X = Ökonomischer Output (Bruttoinlandsprodukt; Wertschöpfung)

C = Kapitaleinsatz

L = Arbeitseinsatz

$\gamma$  = Elastizität

## Solow (1956):

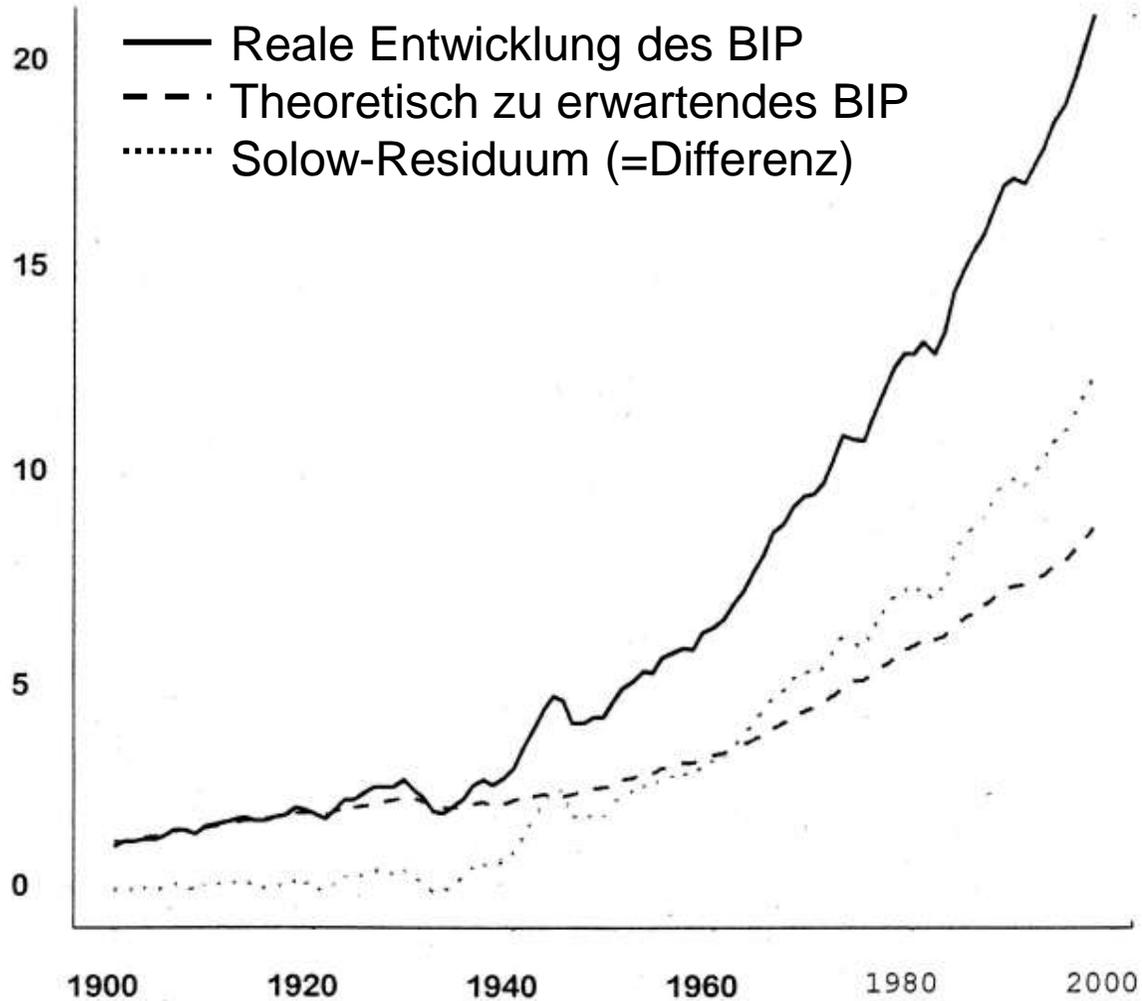
Der Output X kann wachsen, wenn

- Der Arbeitseinsatz L erhöht wird,
- Der Kapitaleinsatz C erhöht wird
- Die Konstante „const“ sich verändert

# BIP-Entwicklung in den USA und Modellierung mit C.-D.-Wachstumsfunktion



ludwig bolkow  
systemtechnik



Quelle: Produktionsfaktor Energie – der stille Riese, J Grahl, R. Kümmel, 2000



## Cobb-Douglas Growth Function:

$$X = \text{const} \cdot C^\gamma \cdot L^{1-\gamma}$$

X = Ökonomischer Output (Bruttoinlandsprodukt; Wertschöpfung)

C = Kapitaleinsatz

L = Arbeitseinsatz

$\gamma$  = Elastizität

## Solow (1956):

Wirtschaftswachstum wird vorwiegend durch Innovationen angetrieben, diese resultieren in einer Effizienzerhöhung. Dies wird durch eine Veränderung von „const“ deutlich.

Dadurch steigt auch die Wertschöpfung je Arbeitskraft

Technische Innovationen reduzieren den notwendigen Kapital- und Arbeitseinsatz und erlauben es, Kapital in zusätzliche Produktionseinheiten zu investieren.



- Ökonomisches Wachstum wird nur durch Kapital- und Arbeitseinsatz und Innovation bestimmt
- Dieser Zusammenhang läßt sich empirisch nicht belegen
- Die wachstumstreibende Kraft von Innovationen wird überschätzt
- Energie- und physikalischer Ressourceneinsatz bleiben unberücksichtigt
- Realitätsnähere Modelle müssen Energie- und Stoffströme berücksichtigen

# LINEX-Wachstumsfunktion – Beispiel USA

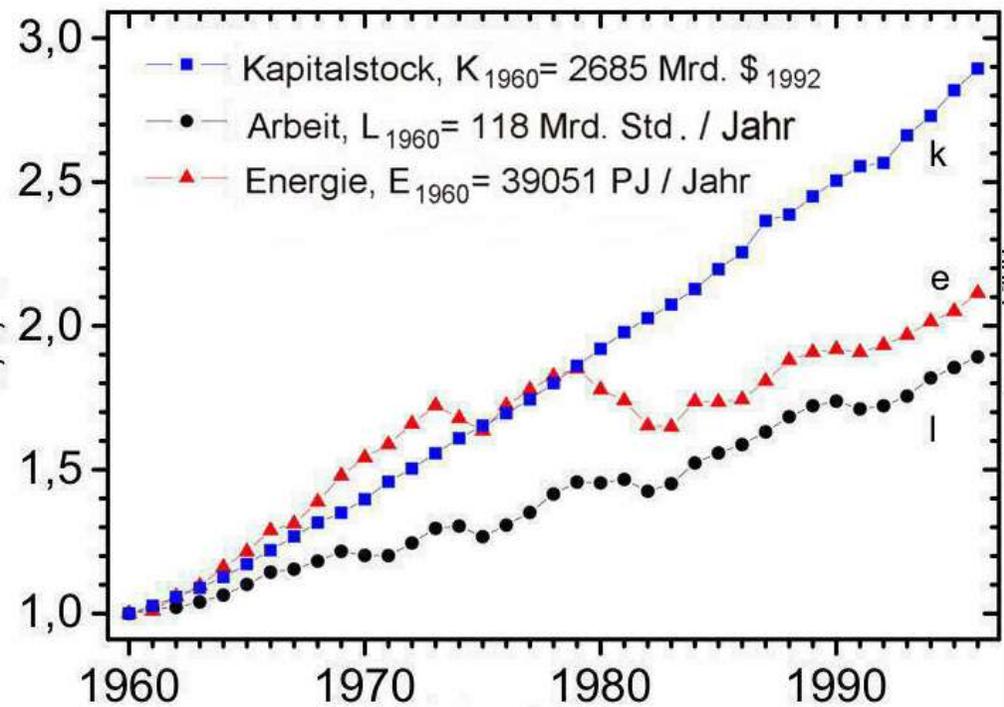


ludwig bolkow  
systemtechnik

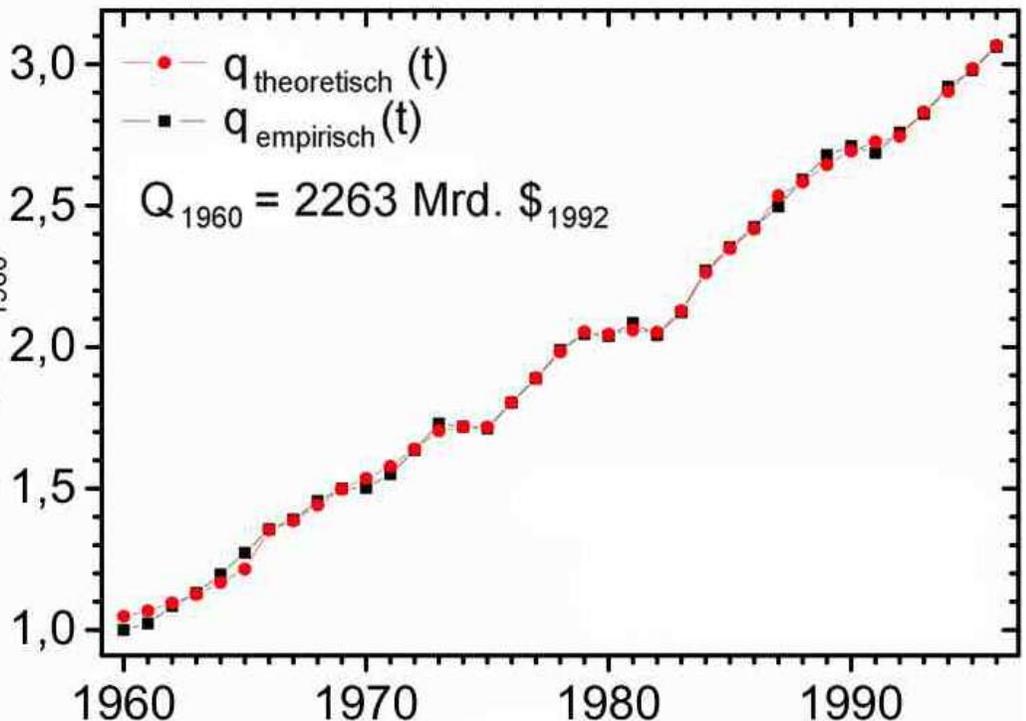
$$X = \text{const} \cdot U \cdot \exp [a \cdot L/U - b(U+L)/C]$$

L = Labor; C = capital; U = Exergy

Produktionsfaktoren USA, Gesamtwirtschaft



Wertschöpfung USA, Gesamtwirtschaft



## Vergleich von realem BIP-Wachstum und Modellierung mit obiger Formel

Quelle: R. Kümmel et al: Capital, Labor, Energy and creativity: modeling innovation diffusion,  
 Structural Change and Economic Dynamics 13 (2002) 415-433  
 Ayres et al: Accounting for growth: the role of physical work

# LINEX-Wachstumsfunktion – Beispiel Deutschland

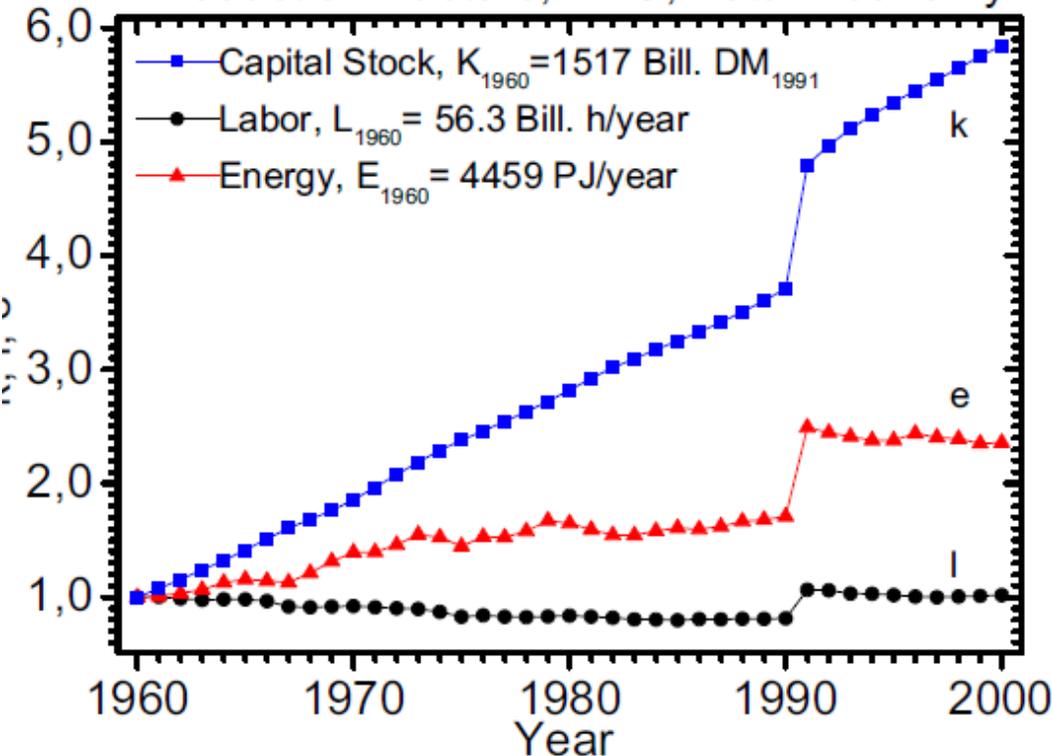


Ludwig Bolkow  
systemtechnik

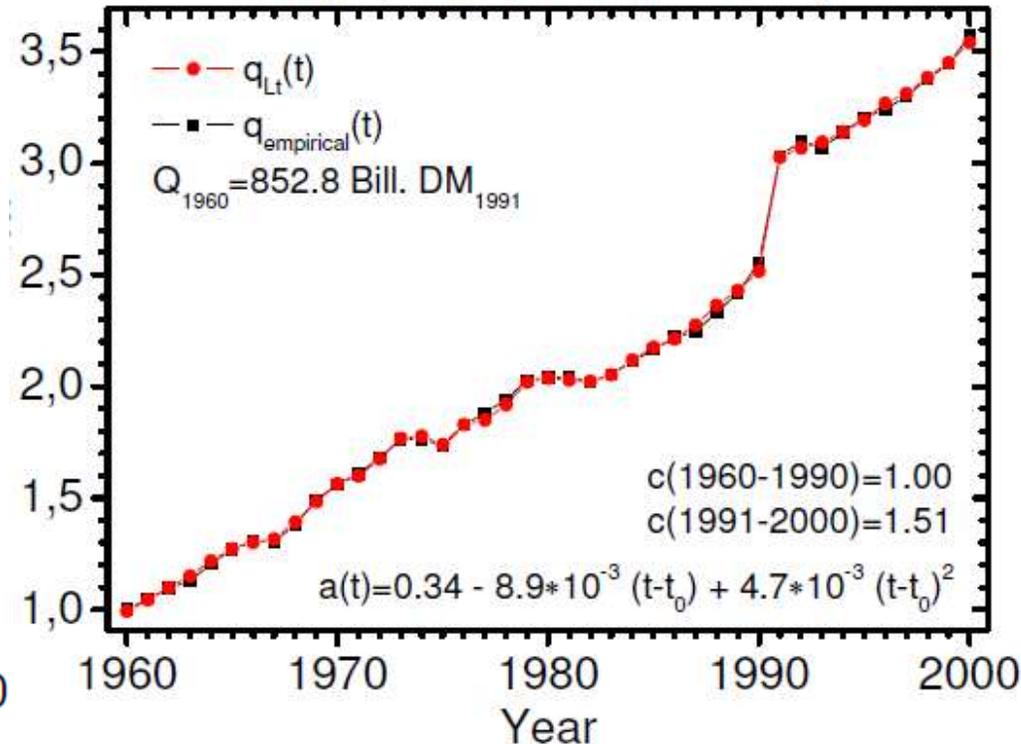
$$X = \text{const} \cdot U \cdot \exp [a \cdot L/U - b(U+L)/C]$$

L = Labor; C = capital; U = Exergy

Production Factors, FRG, Total Economy



Output, FRG, Total Economy



## Vergleich von realem BIP-Wachstum und Modellierung mit obiger Formel

Quelle: R. Kümmel et al: Capital, Labor, Energy and creativity: modeling innovation diffusion,  
 Structural Change and Economic Dynamics 13 (2002) 415-433  
 Ayres et al: Accounting for growth: the role of physical work



Innovationen bedeuteten vor allem,  
dass menschliche Arbeitskraft  
durch technische Energie ersetzt wurde

Der steigende Verbrauch fossiler Energieträger  
war maßgeblicher Wachstumstreiber

Oldenburg, 20. Juni 2012

---



ludwig-bölkow  
Systemtechnik

Exkurs 2:

Wachstum im begrenzten Systemen



## Lineares Wachstum

$$dN/dt = c$$

## Exponentielles Wachstum

$$dN/dt = \alpha \cdot N$$

## Begrenztes Wachstum

$$dN/dt = \alpha \cdot N \cdot (1 - N/R)$$

## Konstante Änderungsrate

$$\Rightarrow N = c \cdot t + c_0$$

## zunehmende Änderungsrate

$$\Rightarrow N = N_0 \exp(\alpha \cdot t)$$

## (Ricardo-Verhulst Modell)

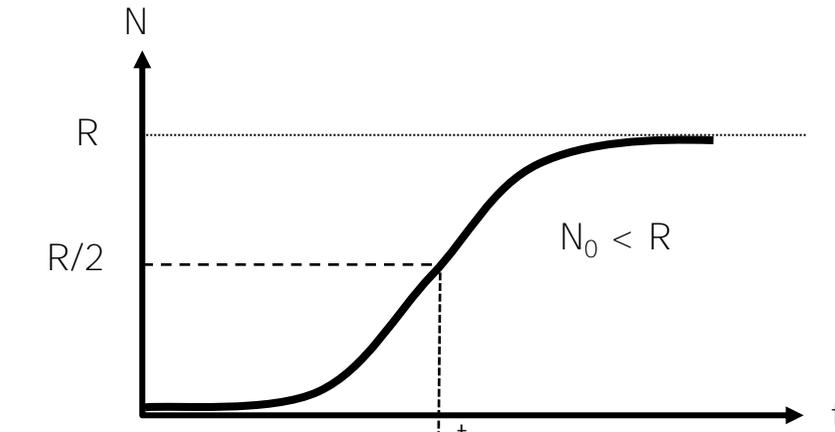
R= carrying capacity

# Logistisches Wachstumsmodell



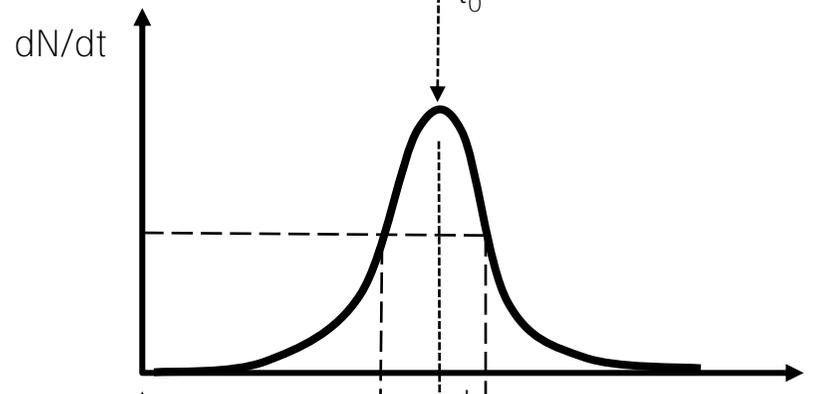
ludwig bolkow  
systemtechnik

$$N = \frac{R}{1 + e^{-\frac{t-t_0}{b}}}$$

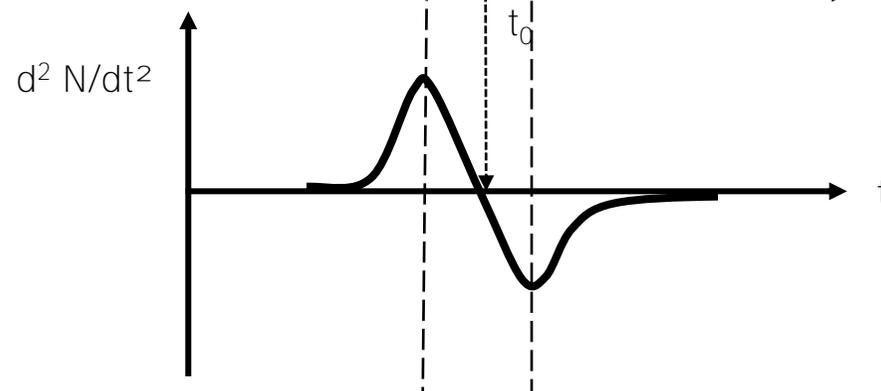


Kumulierte Entnahme

$$\frac{dN}{dt} = \alpha \cdot N \cdot (1 - N/R)$$



jährliche Entnahme



jährliche Veränderung  
der Zuwachsrates



# Overshoot and Collaps (Das Beispiel Osterinseln)

---



ludwig bolkow  
systemtechnik

Archäologische Forschungsergebnisse (z.B. Pollenanalysen) zeigen:

Erste Besiedelung ~400 A.D

frühe Aktivitäten: Bäume fällen für Boote(Fischgrätenfunde)

Holzgebrauch für Werkzeuge+Feuer; Vögel nisten in den Bäumen

schnelles Bevölkerungswachstum, Hoher Lebensstandard

mit viel Freizeit (Bildhauer, Transport von Statuen)

Sichtbare Waldreduktion ab ca. 900

Die meisten Statuen wurden zwischen 1100 und 1500 aufgestellt

~ 1400: Der Wald war weitgehend gerodet

Diätwandel: Weniger Fische und weniger Proteine

Wasserreduktion, da der Wald weniger Wasser aufnahm

Bodenerosion, Rückgang der agrarischen Erträge

Bevölkerungsmaximum bei 10,000 Bewohnern um ca. 1400

Abnehmende Bevölkerung:

~1500: neuartige Waffen (Speerspitzen), Bewohner leben in Höhlen

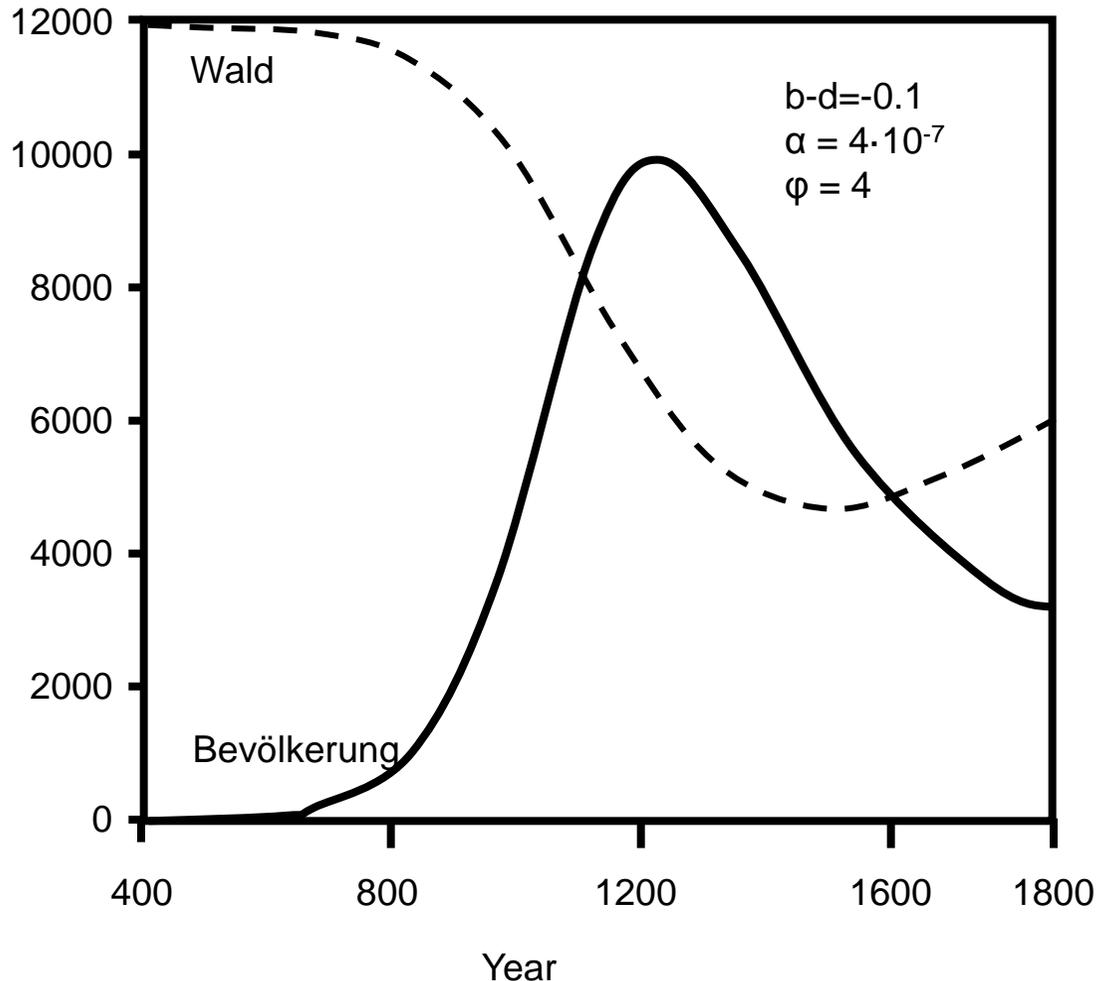
Evidenz für beginnenden Kannibalismus

2nd europ. Besuch 1774: Alle Statuen waren umgestürzt, Bevölkerung lag bei 2,000 EW

# Overshoot and Collaps (Das Beispiel Osterinseln)



ludwig bolkow  
systemtechnik



## Overshoot and collaps:

$$\frac{dR}{dt} = r \cdot R \cdot (1 - R/K) - H \cdot R$$
$$\frac{dL}{dt} = L \cdot (b - d + \varphi \cdot \alpha \cdot R)$$

$K$  = carrying capacity of renewable resource

$H = \alpha \cdot L$  (Harvest rate)

$\alpha$  = harvest efficiency

$\varphi$  = food energy content (scaling factor)

$L$  = Labour (Population)

Palm tree grows very slow (40-60 years)

- single most significant component

(Jubilea Chilensis)

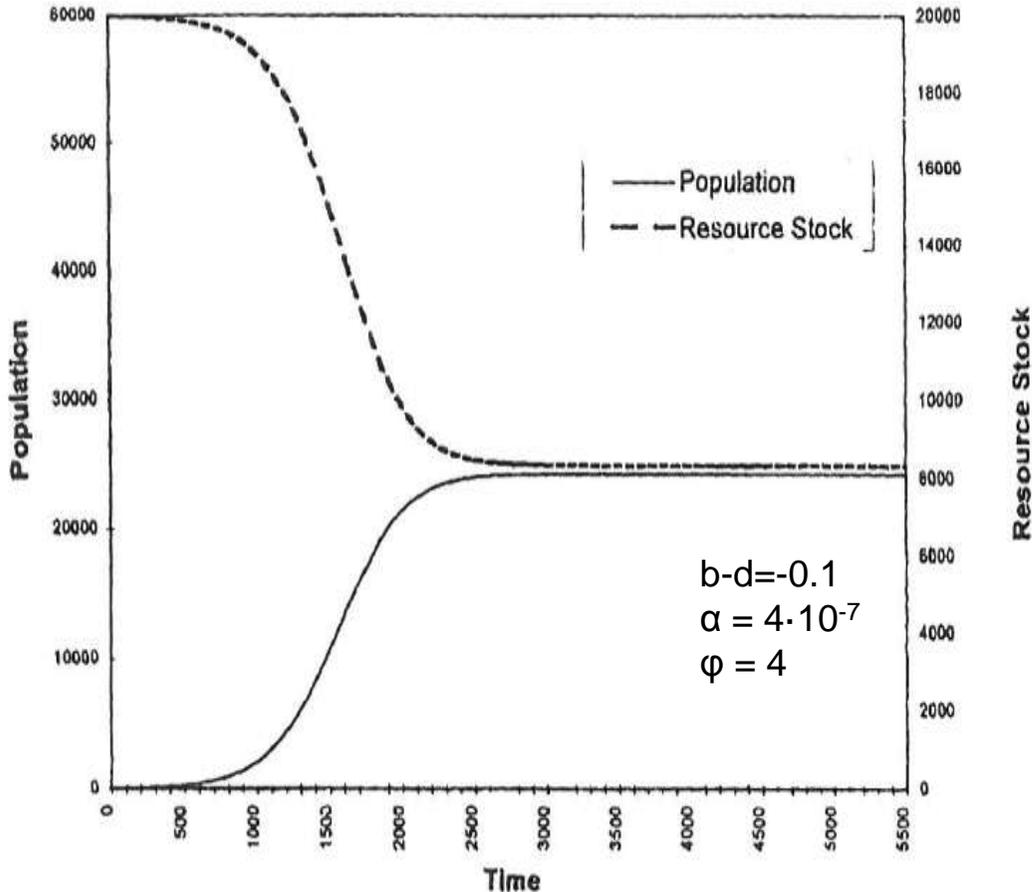
[ $r = 0.04$ ]

grows nowhere else in Polynesia (cool climate)

# Overshoot and Collaps (Stabile Bevölkerung anderer polynesischer Inseln)



Ludwig Bolkow  
systemtechnik



## Overshoot and collaps:

$$dR/dt = r \cdot R \cdot (1-R/K) - H \cdot R$$

$$dL/dt = L \cdot (b - d + \varphi \cdot \alpha \cdot R)$$

$K$  = carrying capacity of renewable resource

$H = \alpha \cdot L$  (Harvest rate)

$\alpha$  = harvest efficiency

$\varphi$  = food energy content (scaling factor)

$L$  = Labour (Population)

Two most common trees in Polynesia:  
fast growing coconut and Fiji fan palm (5-7 years)

$[r = 0.35]$

Explanation for other islands:  
If  $K$  too small, no survival is possible

## Was können wir aus dieser Analyse lernen?

---



ludwig bolkow  
systemtechnik

An kurze Regenerationszeiten der Ressourcen können sich die  
Bewohner gut anpassen

Lange Regenerationszeiträume erfordern  
langfristige vorausschauende Planung



Erkenntnis:

Je mehr Besitztümer eine Gesellschaft angehäuft hat, desto mehr Energie  
Wird sie in den Erhalt dieser Strukturen investieren

„Concorde Fallacy“

„Gutes Geld schlechtem hinterher werfen“

„Are humans less rational than lower animals?“

Das Problem der Besitzstandwahrung



- Wechsel ist immer mit Risiken und Chancen verbunden

große Player tendieren fast immer zur Verlängerung  
des Status-Quo mit allen Mitteln

- Beispiel Energiewende , Brückentechnologien
- Beispiel freiwillige „Selbstverpflichtung“ der Autoindustrie
- Beispiel Schiefergas



ludwig bolkow  
systemtechnik

# KRAFTWERKE? JA BITTE!

Investitionen in die Infrastruktur machen uns fit für die Zukunft.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

WIRTSCHAFT.  
WACHSTUM.  
WOHLSTAND.

[www.bmwi.de/go/energie](http://www.bmwi.de/go/energie)



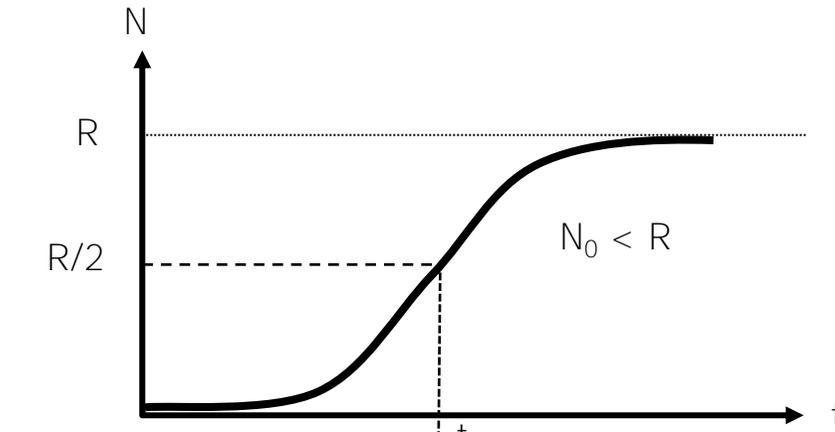
Quelle: M. Altmann  
Aufgenommen Anfang Mai 2012  
am Flughafen Berlin Tegel

# Logistisches Wachstumsmodell

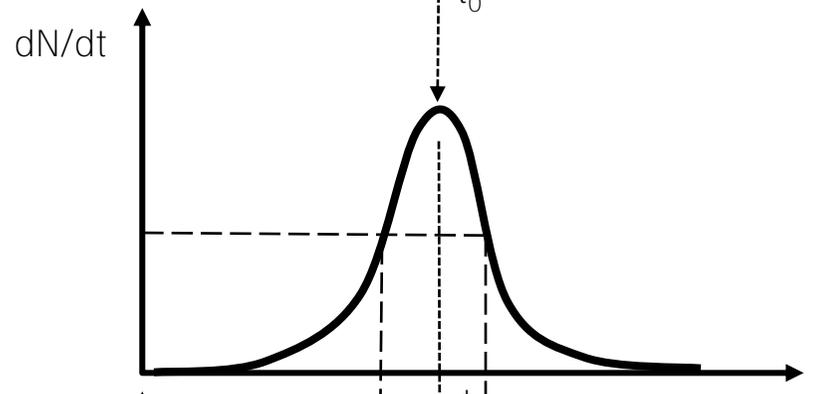


ludwig bolkow  
systemtechnik

$$N = \frac{R}{1 + e^{-\frac{t-t_0}{b}}}$$

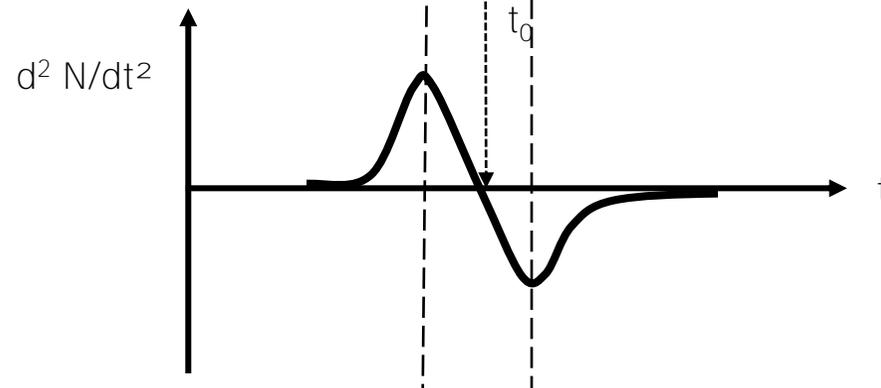


Kumulierte Entnahme



jährliche Entnahme

$$dN/dt = \alpha \cdot N \cdot (1 - N/R)$$

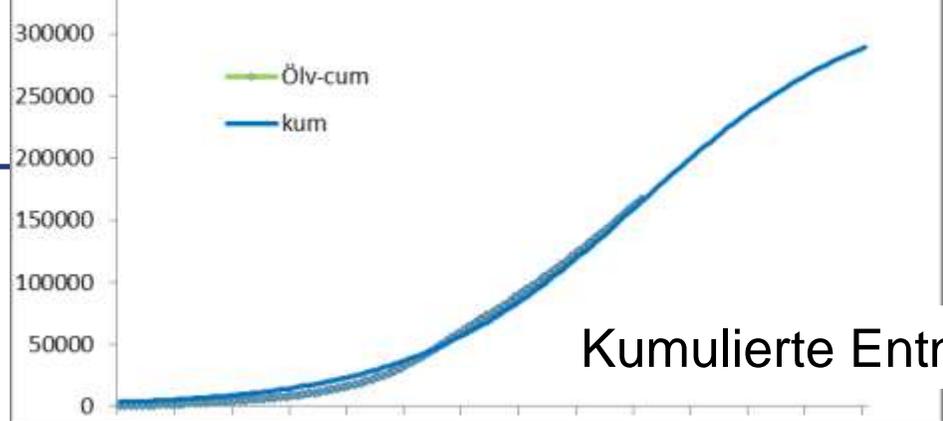
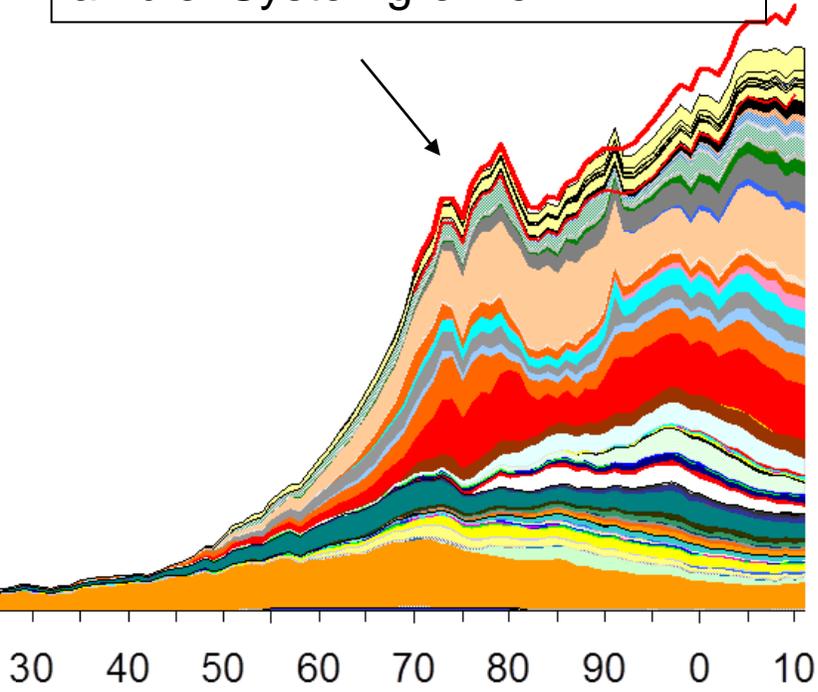


jährliche Veränderung  
der Zuwachsrates

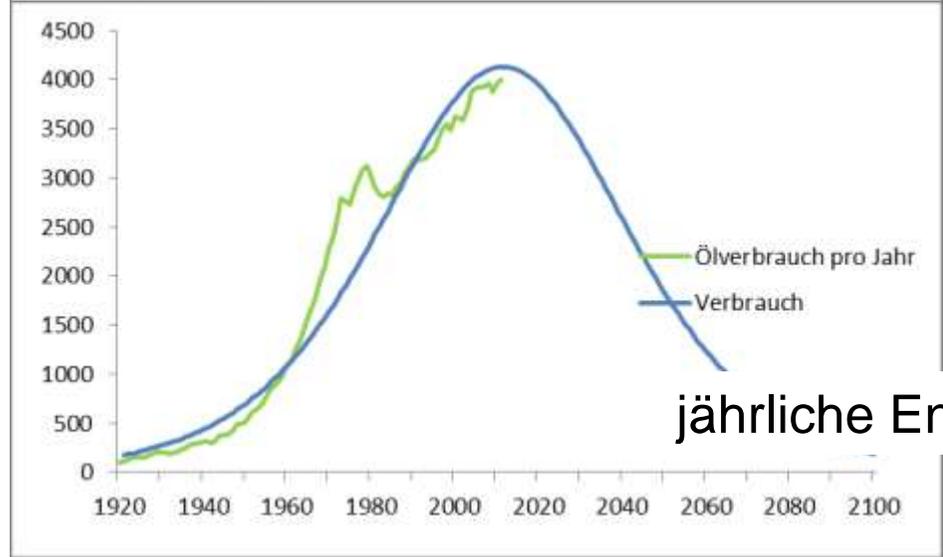


ludwig bolkow  
systemtechnik

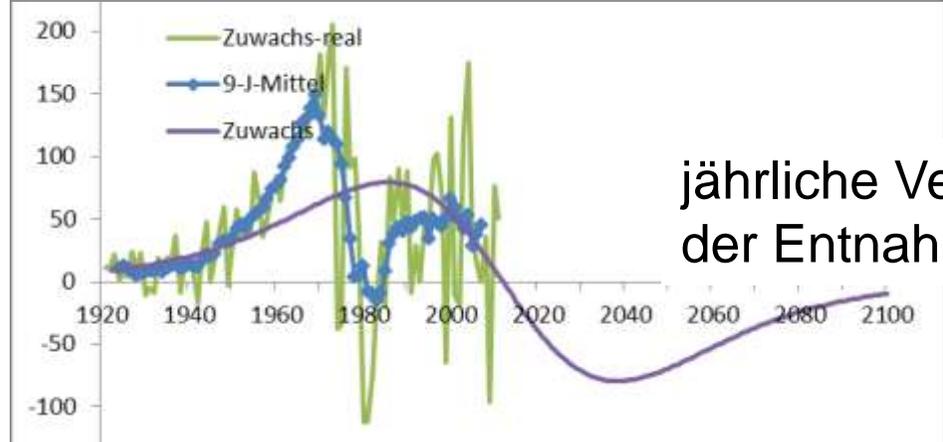
Die Krisen der 1970er Jahre  
markierten das erste Anstoßen  
an die Systemgrenzen



Kumulierte Entnahme



jährliche Entnahme



jährliche Veränderung  
der Entnahmerate

Der Wechsel von zunehmender  
zu abnehmender jährlicher  
Veränderung der Verbrauchsrate  
geschah in den 1970er Jahren



- Die 1970er Jahre markieren den Beginn der Ökobewegung,
- Aber auch den Beginn von Effizienztechnologien
- Und Investitionen in Erneuerbare Energietechnologien
- Der Bericht des Club of Rome erinnert erstmals an die physikalischen Grenzen, denen sich die wirtschaftliche Entwicklung unterwerfen muss
- 1970 erreichte die USA das Ölfördermaximum!  
Ist diese Koinzidenz zufällig?

Jevons' Paradoxon

Einerseits:

Effizienztechnologien erlauben die Ressourcen länger zu nutzen

Andererseits:

1. Damit werden neue Anwendungsfelder attraktiv
2. Damit werden Dämpfungsglieder aus dem System genommen:  
Das System wird anfälliger

## Warum sind römische Brücken stabil?

---



ludwig bolkow  
systemtechnik

Auch nach 2000 Jahren sind einige römische Brücken in Nutzung.  
In Trier, in Regensburg, aber auch in Rom fahren täglich viele Autos über diese Brücken

- Die Steinbogenkonstruktionen sind selbsttragend und werden durch das Eigengewicht stabilisiert
- Viele Einzelteile (Steine) mit Zwischenräumen sorgen für eine Dämpfung von Stößen

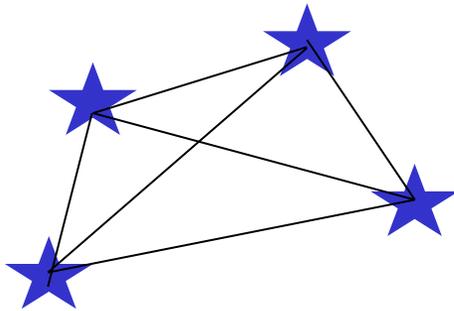
# Der Kollaps von Hochkulturen ?

---

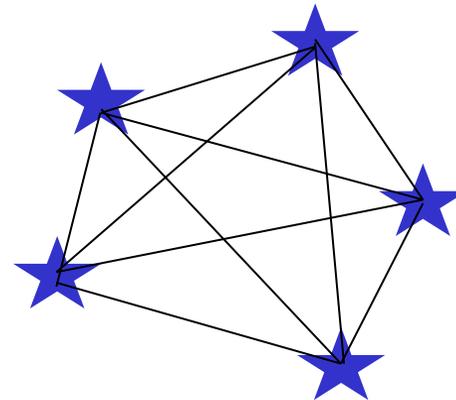


ludwig bolkow  
systemtechnik

Steigende Komplexität erfordert steigenden Aufwand  
zur Meisterung dieser Komplexität



4 Personen  
6 Beziehungsmöglichkeiten



5 Personen  
10 Beziehungsmöglichkeiten

$$n \text{ Personen} = n * (n-1)/2 \text{ Beziehungsmöglichkeiten}$$

## Der Kollaps von Hochkulturen ?

---



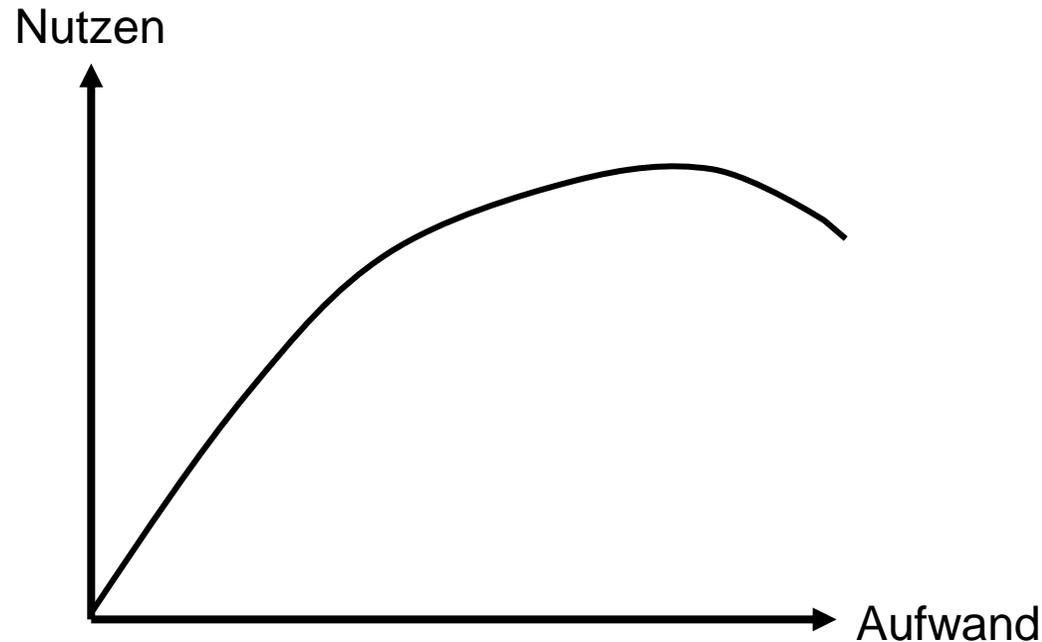
ludwig bolkow  
systemtechnik

Joseph Tainter (1988):

Steigende Komplexität erfordert überproportional steigenden Aufwand

Der Grenznutzen wird geringer

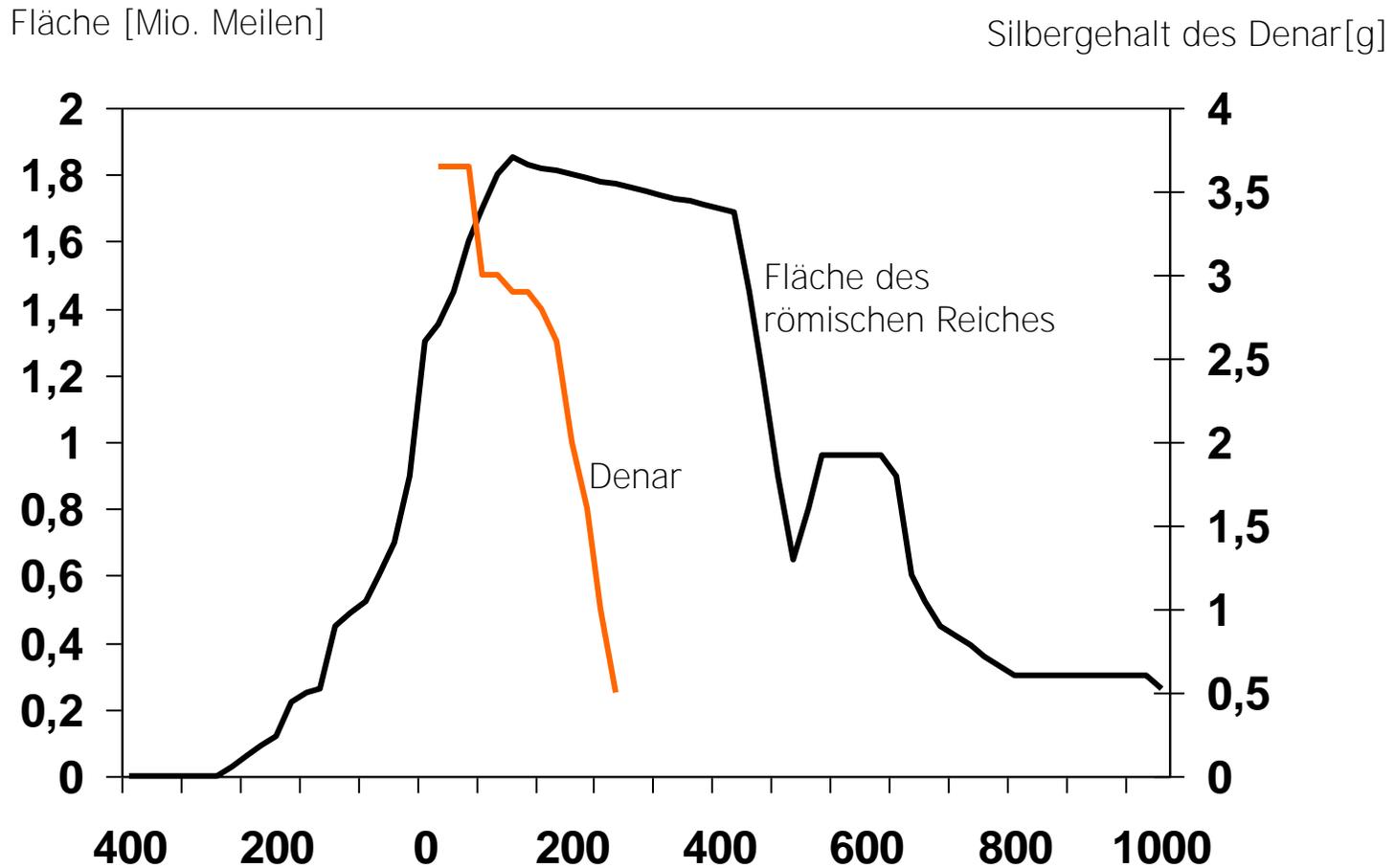
Wenn bei steigender Komplexität der Aufwand höher als der Nutzen wird,  
Dann beginnen Strukturen zu zerfallen – sie geben keinen Vorteil.



# Beispiel: Der Niedergang des römischen Weltreiches



ludwig bolkow  
systemtechnik



Source: J. Tainter, The Collaps of Complex Societies, Cambridge University Press, 1988  
C. Howgego, Ancient History from Coins, Routledge, London, 1995

# Der Kollaps von Hochkulturen ?

---



ludwig bolkow  
systemtechnik

Joseph Tainter (1988):

Steigende Komplexität erfordert überproportional steigenden Aufwand  
Der Grenznutzen wird geringer

Wenn bei steigender Komplexität der Aufwand höher als der Nutzen wird,  
Dann beginnen Strukturen zu zerfallen – sie geben keinen Vorteil.

Historisches Beispiel:

Als der Ertrag (Metalle, Sklaven, Ernte, Tribute...) aus den Kolonien des röm. Reiches geringer wurde als die Militärausgaben zu deren Sicherstellung, reagierte Der Kaiser zunächst mit Abwertung der Währung.

Als dies nicht mehr reichte, mussten die Truppen ihren Sold selbst über das Eintreiben der Tributzahlungen finanzieren.

⇒ Die Motivation zur Abwehr äußerer Feinde fiel.  
Die Motivation zur Kooperation mit äußeren Feinden stieg

Quelle: Ward-Perkins, Der Untergang des Römischen Reiches (2005)

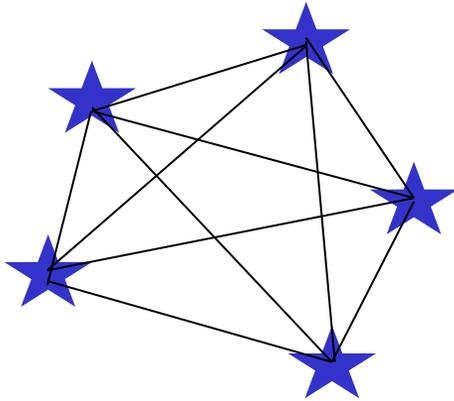
# Reduktion des Gesamtaufwandes – Beispiel Verkehr?

---

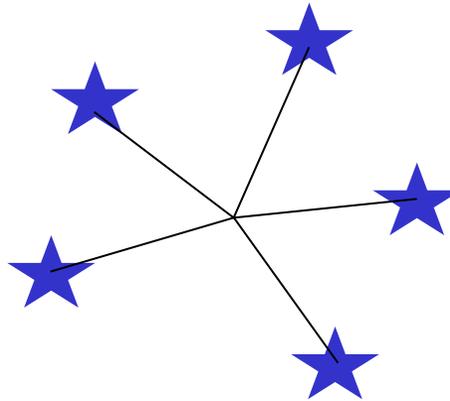


ludwig bolkow  
systemtechnik

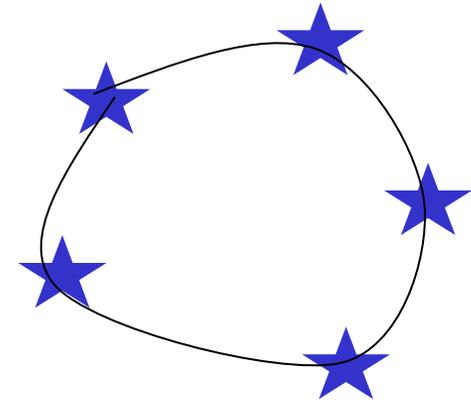
Steigende Komplexität erfordert steigenden Aufwand  
zur Meisterung dieser Komplexität



5 Quartiere  
10 Wege  
Motorisierter Individualverkehr



5 Quartiere  
5 Wege  
Öffentlicher Verkehr



5 Quartiere  
1 Ringlinie  
Öffentlicher Verkehr

## Steigende Komplexität erzwingt Effizienteres Verhalten

Der Grenznutzen kann nur noch gesteigert werden, wenn die Effizienz erhöht wird

Das aber bedeutet oft (nicht immer), dass Spielräume oder Puffer aus dem System genommen werden

Das aber resultiert in einer steigenden Krisenanfälligkeit bei Störungen

- Beispiele: Unsere Finanzsysteme agieren ohne Dämpfungsglieder
  - Firmen optimieren bis zur Grenze; einem Jahr von Rekordgewinnen kann ein Jahr mit Rekordverlusten bis zur Insolvenz folgen
  - Kurzzeitige Spitzenleistung wird der Dauerleistung angenähert. Darauf wird das System aufgebaut; Fehlende Dämpfungsglieder führen zum Zusammenbruch (Beispiel: Das US Aktiengesetz erlaubt den Firmen, den Wert an künftigen Gewinnen und am Aktienwert zu orientieren. Wenn dieser einbricht, verlieren die Kredite ihre Basis – z.B. ENRON-Pleite im Jahr 2001, Der US Shalegasförderer Chesapeake hat 2011 über 10 Mrd. \$ Kredite, der mit künftigen erwarteten Gewinnen aus den Assets abgesichert sind)
- ⇒ Das Ausfallen einzelner Glieder kann nicht mehr ausgeglichen werden
- ⇒ Die Krisenanfälligkeit ist deutlich gestiegen





## Beispiel Energieversorgung:

- Die dämpfende Eigenschaft fossiler Energieträger geht verloren
- Die „starre“ Kopplung einer Strominfrastruktur erfordert Redundanzen und Speicher
- Redundanz ist zunächst teurer als Minimalauslegung, aber damit steigt die Systemrobustheit



Planungen müssen sich an den zur Zeit der Umsetzung herrschenden Randbedingungen orientieren, ansonsten werden wir viele Fehlinvestitionen erleben:

- Verkehrswegeplanung
- Entwicklung neuer Technologien, die auf knappen Rohstoffen basieren
- Antriebssysteme (Minimierung der Ressourcenabhängigkeit)
- Fusionsforschung: Welche Randbedingungen werden dann herrschen, wenn die Technologie frühestens einsatzbereit ist:
  - Verfügbarkeit seltene Metalle
  - Grundverunreinigung von rezyklierten Stählen
  - Austausch der radioaktivierten ersten Wand bei hohm Neutronenbeschuss
  - Rezyklierfähigkeit der radioaktiven Materialien
  - Verfügbarkeit von Tritium als Erstinventar
  - ....etc.



## **Mit Peak Oil / Peak fossil steht die Welt am Beginn eines Paradigmen-Wechsels, der von der Dimension her mit dem Übergang vom Mittelalter In die Neuzeit vergleichbar ist.**

Damals wurden alte „stabile“ Werte gegen die Dynamik des Neuen eingetauscht

- Scholastik vs. Die neuen Orden (z.B. Benediktiner)
- Kredite werden positiv gesehen (zur Linderung der Armut)
- Messung der Größe des Eigentums (Doomsday Book) als Voraussetzung für gesteuertes Wachstum des Besitzes
- Arbeit wird positiv gesehen als Gestaltungsmöglichkeit des Einzelnen
- Messung der Zeit als Voraussetzung für Leistungsmessung
- Übergang zur Dreifelderbewirtschaftung erlaubt höhere Bevölkerungszahlen
- Übertragung „himmlischer“ Werte auf die Erde (z.B. Fegefeuer, Ablasshandel)

Quelle: J. Le Goff: Die Geburt Europas im Mittelalter

Der Übergang ins postfossile Zeitalter wird mit einem weitreichenden gesellschaftlichen Wertewandel einhergehen:

Die Tugenden, die in einer Wegwerfgesellschaft wachstumsbeschleunigend wirkten, müssen eingetauscht werden, gegen Tugenden, die wert- und stabilitätserhaltend wirken

**Diesen Übergang zu meistern, ist die Aufgabe der jetzt lebenden Generationen!**



- Peak Oil markiert den Beginn eines Paradigmenwechsels, der die Werte und Strukturen der gesamten Gesellschaft betreffen wird
- Zunehmende Volatilität als deutliches Indiz für instabile Verhältnisse und bevorstehende Änderungen
- Wir stehen an der Schwelle eines neuen Zeitalters

Wichtigstes Kriterium in der Übergangsphase wird die Robustheit der Systeme werden

- Lange Vorlaufzeiten erfordern umsichtige Planung und frühes Handeln, Planungen müssen sich an künftigen Randbedingungen orientieren
- Reduktion der Komplexität wirkt stabilisierend (Mut zu einfachen Lösungen)  
[aber auch: Vermeidung von Investitionen in Sackgassen]
- Reduktion von riskanten Abhängigkeiten wirkt stabilisierend
- Puffer und Redundanzen im System wirken Risiko minimierend und stabilisierend
- Peak Oil wird entschleunigend wirken!!!



- C. Campbell, F. Liesenborghs, J. Schindler, W. Zittel  
Ölwechsel! , dtv, 2.te Auflage 2007
- W. Zittel, J. Schindler, „Geht uns das Erdöl aus?“, Herder Verlag 2009
- M. Zerta, J. Yanagihara, J. Schindler, W. Zittel, Aufbruch, Finanzbuchverlag 2011
- A. Exner, L. Kranzl, W. Zittel, Kämpfe um Land, Mandelbaum Verlag 2011
- J. Schindler, M. Held, G. Würdemann, Postfossile Mobilität, VES Verlag 2011