

Produktionsspitze des Erdöls „Peak Oil“

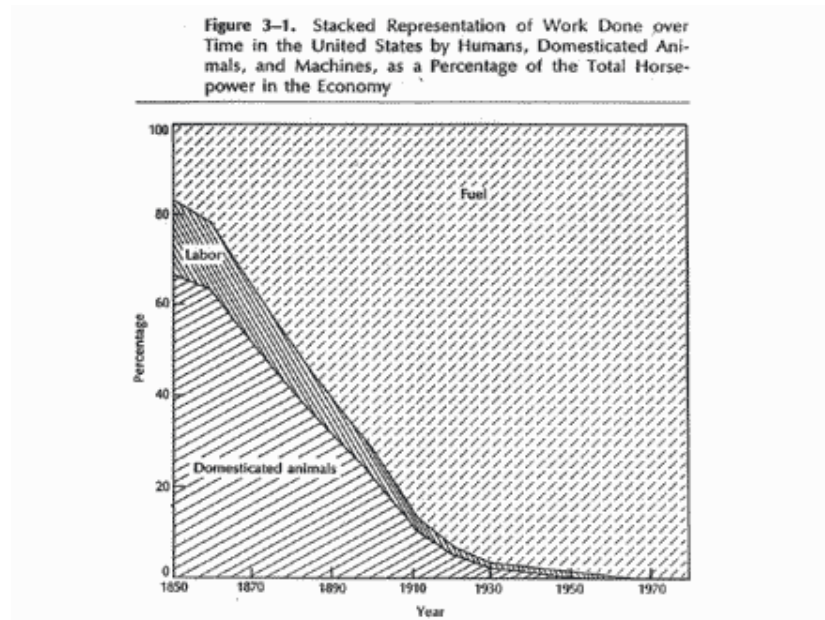


Stephen Keeling

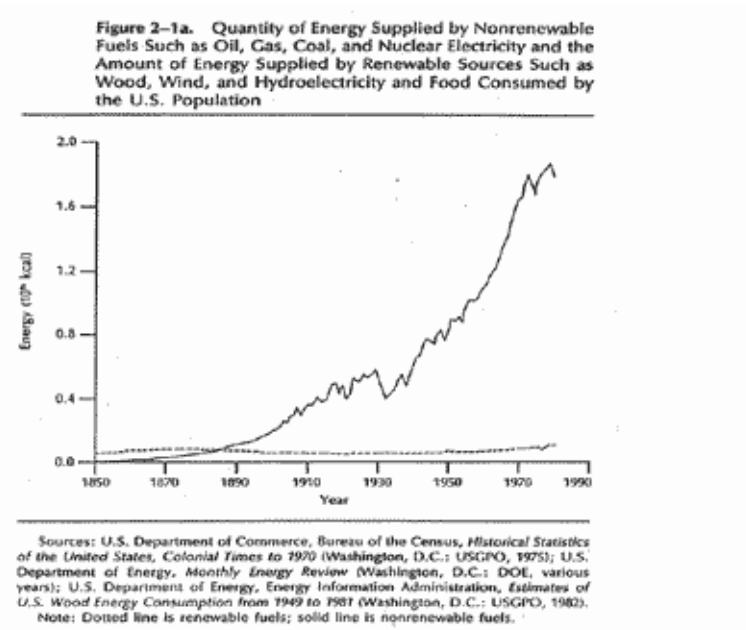
Institut für Mathematik und Wissenschaftliches Rechnen
Karl Franzens Universität Graz

Warum ist Öl überhaupt wichtig?

Arbeit von Tieren, Menschen und Treibstoff/Maschinen vs. Zeit:



Verbrauch von erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie vs Zeit:



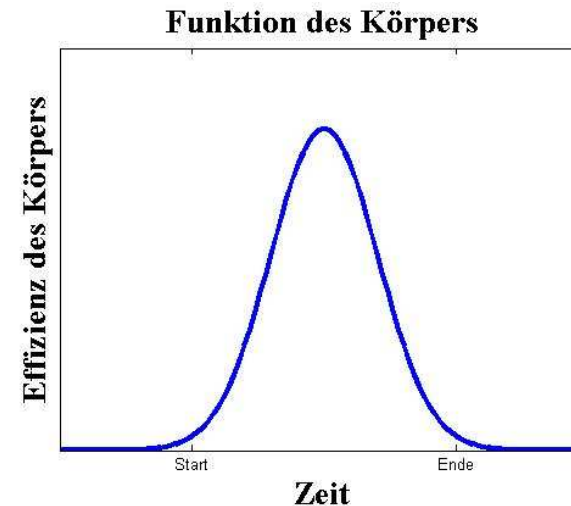
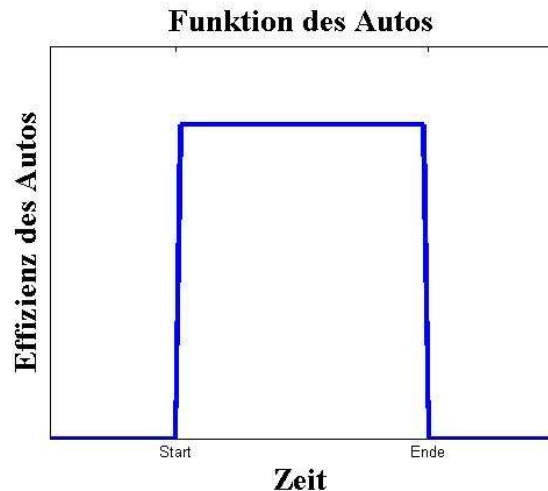
- Jeder Mensch im Westen hat 300 „Energie-Sklaven“ zur Verfügung.
- Öl/Erdgas notwendig für Landwirtschaft (Düngemittel), Arzneimittel, Kleidung, Plastik...

Energy Profit Ratios

Prozess	EPR	Prozess	EPR
<i>Nicht erneuerbar</i>		<i>Erneuerbar</i>	
Öl & Erdgas		Ethanol (Zuckerrohr)	0.8-1.7
1940s	>100	Ethanol (Mais)	1.3
heute	10	Ethanol (Maisreste)	0.7-1.8
Kohle		Methanol (Holz)	2.6
1950s	80	Solarheizung (+Backup)	
heute	8	Flachkollektoren	1.9
Verflüssigte Kohle	0.5-8.2	Konz. Kollektoren	1.6
Erdgedrucktes Erdgas	1-5		
<i>Stromproduktion</i>		<i>(Wasserstoff?)</i>	<i>(1)</i>
Kohle		Solar	
US Durchschnitt	9	Kraftsatellit	2
Überflächliche Kohle		Kraftturm	4.2
Keine Bürste	6	Photovoltaik	1.7-10
Bürste	2.5	Geothermisch	
Wasserkraft	11.2	Flüssigkeit dominiert	4
Kern (Leichtwasser)	4	Heiße trockene Erde	1.9-13

Ist Öl jetzt *knapp*?

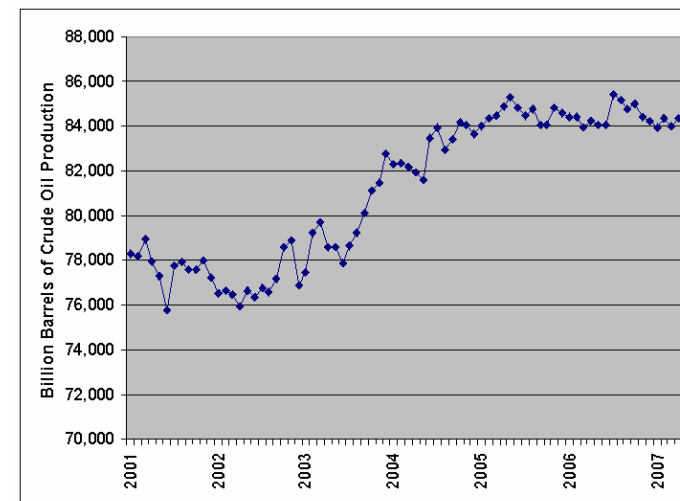
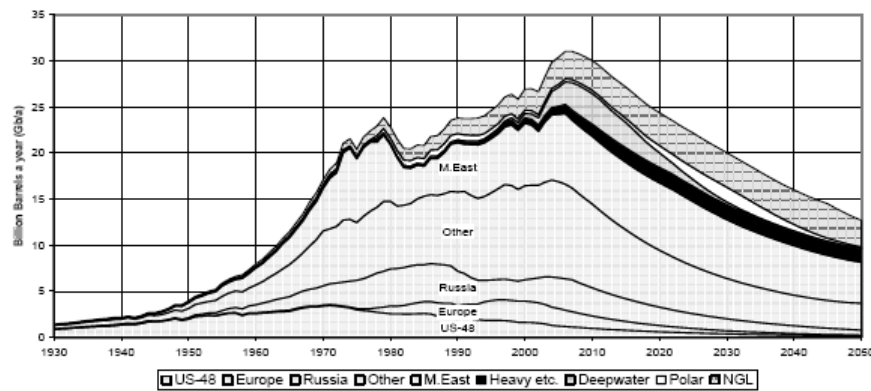
- Die Ölquellen sind nicht leer, wie bei einem erschöpften Benzintank:
- Aktuelle Öl-Produktion ist eher wie die Körperleistung bei einem Rennen.



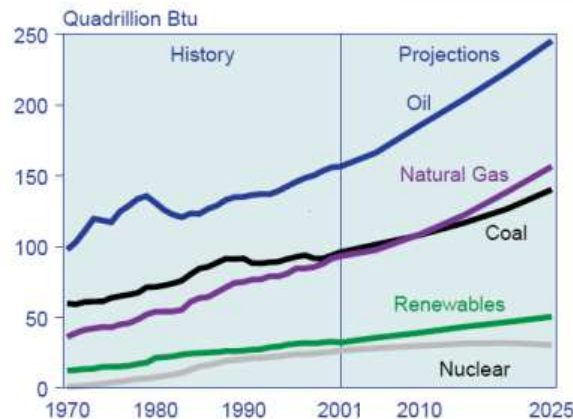
- Wir haben den „Peak“ (die Spitze) der Öl-Produktion schon erreicht.
- *Peak Oil* hat mit konkurrierenden Raten zu tun: Angebot & Nachfrage

Angebot & Nachfrage

- Weltölproduktion wird flacher,

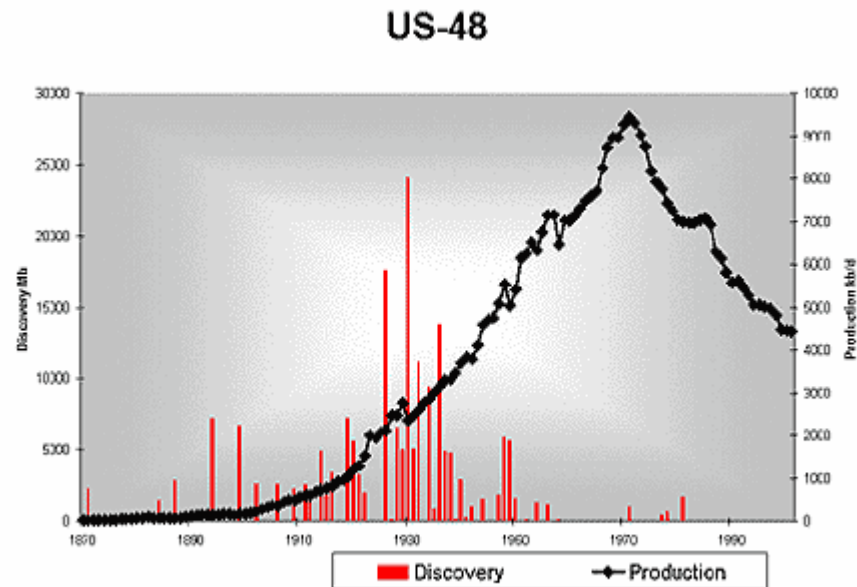


- aber...
- Weltkonsum nicht:



Der erste *Peak* war in Amerika

- US-Entdeckung im Jahr 1930, US-Produktion im Jahr 1970:



- Vorher hätte OPEC kein Druckmittel gehabt! Gäbe keine Öl-Krise.
- USA war führender Produzent, und niemand hat an *Peak* geglaubt.
- Nun globaler Peak: USA ist in Iraq und Afghanistan.

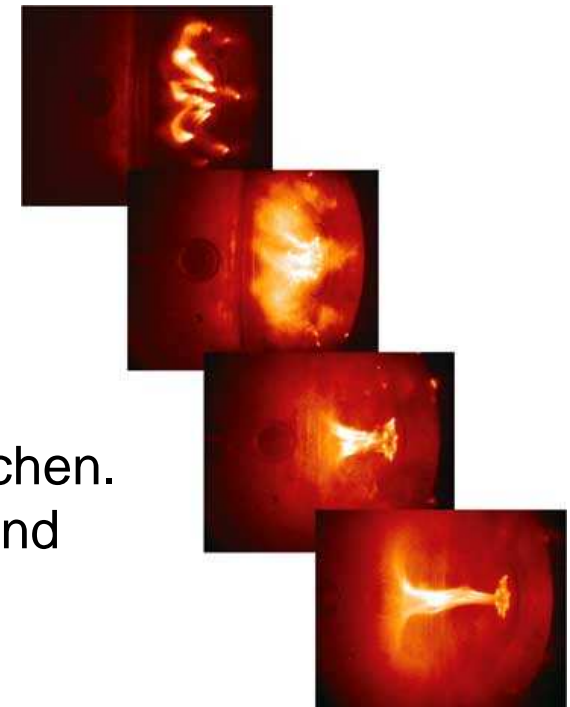
Der Übergang vom Öl

- Ölkrise im Jahr 1973...



...hatte mit einer 5% Reduktion im Angebot zu tun.

- Optimistischste Aussage über Alternativen:
 - Können zusammen 50% des jetzigen Ölverbrauchs abdecken.
 - Für den Rest sollen wir *sparen*.
- Vice Provost & Prof. David Goodstein, CalTech:
 - Lebensweise fortsetzen: Fusion nutzbar machen.
 - Lösung des Problems ist 25 Jahre entfernt, und
 - ist seit 50 Jahren so geblieben.



Aspekte des Projektes

- Ölentdeckung?
- Ölproduktion?
- Nachfrage?
- Angebot?
- Kapital?
- Bevölkerung?
- Alternative Energien?
- Kopplungen?
- Komplexität=-Entropie?
- Ressourcenteilung?

Einführung in die Modellierung

1. Definition eines physikalischen Systems
 - a. Innen, Aussen, Rand, Tausch, Annahmen, z.B.
 - (1) Bevölkerung in einem Land.
 - (2) Konstante Einwanderung und Auswanderung.
 - (3) Fertilität und Mortalität gleich für alle.
 - b. Fragestellung, z.B.
 - (1) Voraussage der Bevölkerung nach 10 Jahren?
 - (2) Gibt es ein Max für die Bevölkerung?
 - (3) Kann die Bevölkerung sinken? Plötzlich?

Einführung in die Modellierung

2. Symbolische Beschreibung des Systems

a. Prinzip, z.B. Mengenbilanz, Erhaltungssatz,

$$\text{Änderungsrate} = \begin{array}{c} \text{innere} \\ \text{hin} \end{array} \begin{array}{c} \text{über} \\ \text{den Rand} \end{array} - \begin{array}{c} \text{heraus} \\ \text{über} \\ \text{den Rand} \end{array} + \begin{array}{c} \text{innere} \\ \text{Quellen} \end{array} - \begin{array}{c} \text{innere} \\ \text{Senken} \end{array}$$

Für die Bevölkerung,

$$\text{Populationsänderung} = \begin{array}{c} \text{Einwanderung} \\ \text{pro Zeiteinheit} \end{array} - \begin{array}{c} \text{Auswanderung} \\ \text{pro Zeiteinheit} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Geburten} \\ \text{pro Zeiteinheit} \end{array} - \begin{array}{c} \text{Todesfälle} \\ \text{pro Zeiteinheit} \end{array}$$

b. Mathematische Formulierung,

$$P' = E - A + G - T, \quad P(0) = P_0, \quad E = \varepsilon, \quad A = \alpha, \quad G/P = \beta, \quad T/P = \mu$$

c. Antwort zur Fragestellung:

$$P(10 \text{ Jahre}) = ?$$

Einführung in die Modellierung

3. Untersuchung des mathematischen Modells

a. Lösung, analytisch:

$$P' = \varepsilon - \alpha + \beta P - \mu P \equiv a - bP, \quad P(0) = P_0, \quad P_\infty \equiv a/b$$

$$\ln \left| \frac{P(t) - P_\infty}{P_0 - P_\infty} \right| = \ln |P(t) - P_\infty| - \ln |P_0 - P_\infty| = \int_0^t \frac{P'(s)}{P(s) - P_\infty} ds = - \int_0^t b ds = -bt$$

$$P(t) = P_\infty + (P_0 - P_\infty) \exp(-bt)$$

b. Lösung, numerisch: Gitter, $t_i = i\Delta t$, $i=0,1,2,\dots$

$$\frac{(P_{i+1} - P_\infty) - (P_i - P_\infty)}{\Delta t} = \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta t} = -b(P_i - P_\infty)$$

$$(P_{i+1} - P_\infty) = (1 - b\Delta t)(P_i - P_\infty), \quad i = 0,1,2,\dots$$

$$(P_i - P_\infty) = (1 - b\Delta t)^i (P_0 - P_\infty)$$

Einführung in die Modellierung

3. Untersuchung des mathematischen Modells

c. Qualitative Untersuchung:

$$P' = (\varepsilon - \alpha) - (\mu - \beta)P \equiv a - bP, \quad P(0) = P_0, \quad P_\infty \equiv a/b$$

Ist die Lösung,

$$P(t) = P_\infty + (P_0 - P_\infty)\exp(-bt)$$

überhaupt sinnvoll? Grafik von $\exp(-bt)$?

Gleichgewicht:

$$0 = P' = -b(P - P_\infty) \quad \Rightarrow \quad P = P_\infty$$

Stabilität?

$$\forall P_0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = P_\infty ?$$

Einführung in die Modellierung

3. Vergleich mit dem physikalischen System

a. Antwort zur Fragestellung:

$$P(10) = P_{\infty} + (P_0 - P_{\infty})\exp(-10b)$$

b. Stimmt mit Daten überein? Wenn es Schwingungen in Messdaten gibt, sind diese Messfehler oder systematische Abweichungen vom Modell?

c. Wenn es übereinstimmt, ist Modell vielleicht voraussagefähig.

(1) Parameter bestimmen: $\min = E(b, P_{\infty}) = \sum [P_n - P(t_n; b, P_{\infty})]^2$

(2) Verwende das empirische Modell: $P(t, b, P_{\infty})$
Ansonsten sind Verbesserungen notwendig, z.B.

(1) Bevölkerung wird flacher, logistisch:

$$\frac{G}{P} = \beta_1 - \beta_2 P, \quad \frac{T}{P} = \mu_1 + \mu_2 P, \quad P' = (a - bP)P$$

(2) Osterinsel hatte einen Zusammenbruch:

$$P' = [a(L, N) - b(L, N)P]P, \quad L' = \dots, \quad N' = \dots$$

Ölentdeckung

Wir suchen Öl in einem Gitter (der Welt):

X=Ressource

□=Leer

			x	x					
			x						
							x		
	x			x	x				
	x								

N=Anzahl der
Ölzellen
M=Anzahl der
Leerezellen

Zu Beginn: Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Entdeckung = $N/(N+M)$.

Was ist die kumulative Entdeckung $E(t)$ (oder Erwartungswert) zur Zeit t ?

Ölentdeckung

Was ist die kumulative Entdeckung $E(t)$ (oder Erwartungswert) zur Zeit t ?

- Von oben nach unten: analog zu Bevölkerung
 - keine Einwanderung, keine Auswanderung
 - Geburten aber keine Todesfälle
 - Wie hängt die Geburtsrate von der Population ab?

$$E' = F(E), \quad F(E) = ?$$

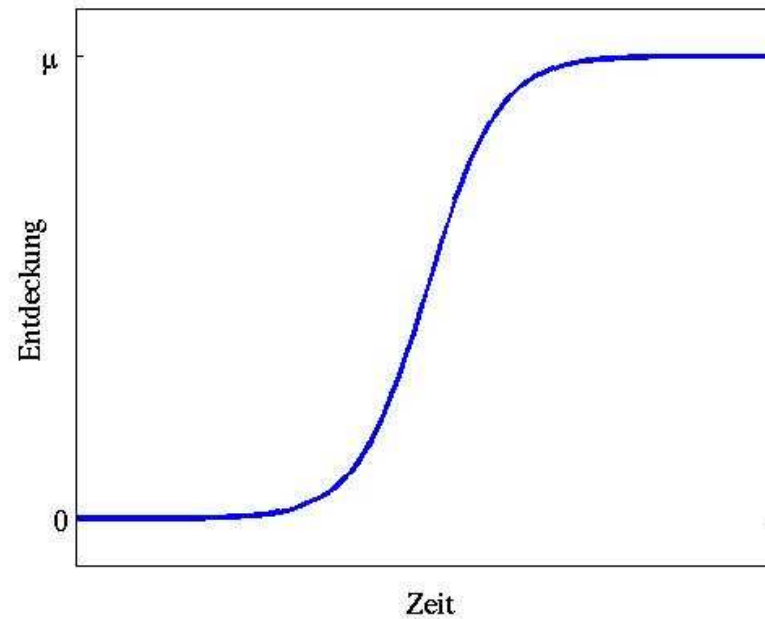
- Von unten nach oben:
 - $p_n(t)$ = Wahrscheinlichkeit dass zur Zeit t , n Quellen gefunden.
 - Beispiel: $P(5 \text{ Kinder heute}) = P(5 \rightarrow 5) \cdot P(5 \text{ Kinder gestern})$
 $+ P(4 \rightarrow 5) \cdot P(4 \text{ Kinder gestern})$

$$\begin{aligned} \text{Ölquellen: } p_n(t + dt) &= P(n_t \rightarrow n_{t+dt}) \cdot p_n(t) \\ &+ P(n-1_t \rightarrow n_{t+dt}) \cdot p_{n-1}(t) \end{aligned}$$

$$p'_n(t) = f(p_n(t), p_{n-1}(t)), \quad f(p, q) = ? \quad E(t) = \sum_n n \cdot p_n(t) = ?$$

Ölentdeckung

Daten für die kumulative Entdeckung sehen *logistisch* aus:



Warum?

Ölproduktion

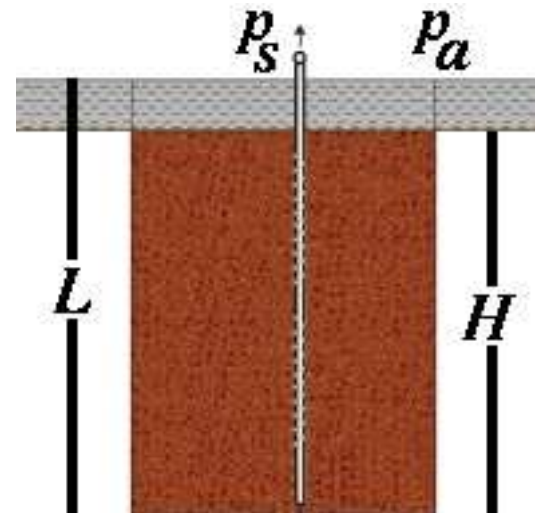


Das einfachste Modell der Produktion: Ein Brunnen

Bernoulli-Poiseuille:

$$p_s + \rho g L + W(L)F = p_a + \rho g H$$

$$p_s < p_a$$



Ölproduktion

Bernoulli-Poiseuille:

$$p_s + \rho g L + W(L)F = p_a + \rho g H$$

Fluss:

$$F = \frac{p_a - p_s + \rho g (H - L)}{W(L)} \quad p_s = p_a - \rho g L \quad \rightarrow \quad \frac{\rho g H}{W(L)}$$

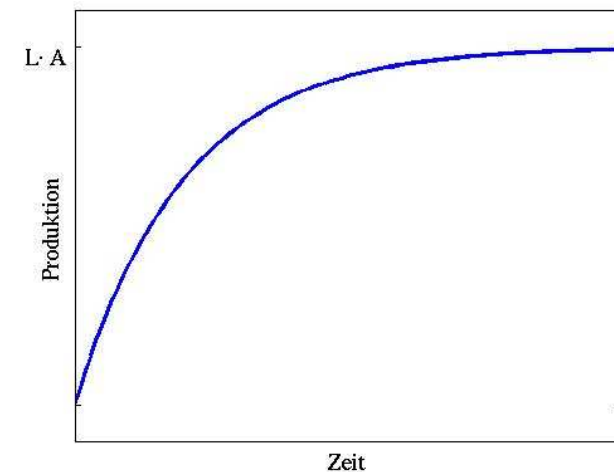
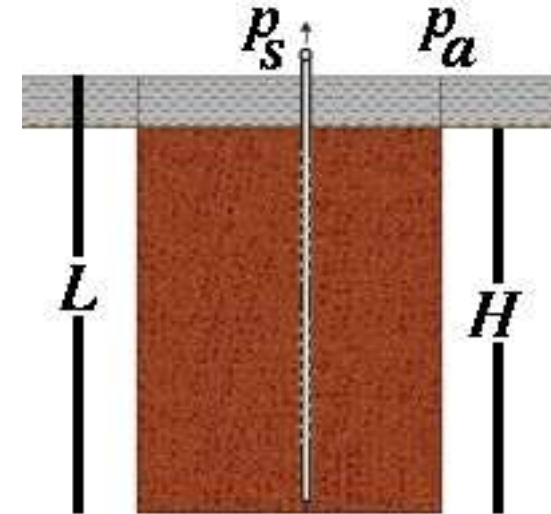
$(p_s < p_a)$

Volumenänderung:

$$-AH' = -V' = F = \frac{\rho g H}{W(L)} \frac{A}{A} \equiv \frac{V}{\tau}, \quad V(0) = L \cdot A$$

Kumulative Produktion *nicht* logistisch:

$$P(t) = V(0) - V(t) = L \cdot A (1 - e^{-t/\tau})$$



Ölproduktion

Salzwasseransatz. Bernoulli-Poiseuille:

$$p_s + \rho g L + W(L)F = p_a + \rho g L, \quad H = L$$

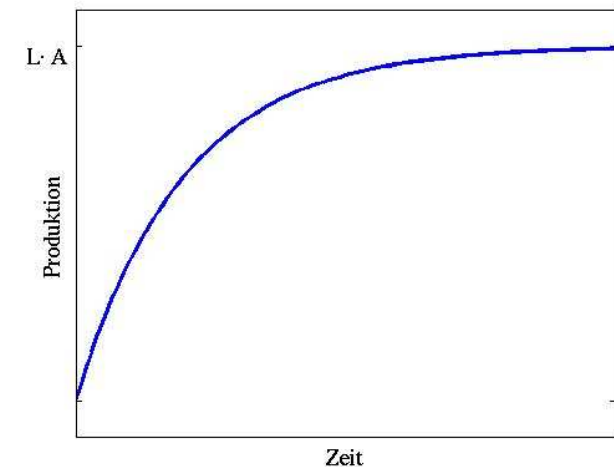
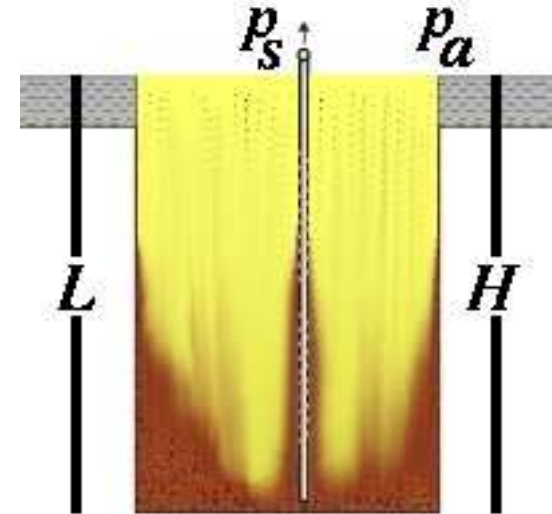
$$\text{Fluss: } F = \frac{p_a - p_s}{W(L)}$$

Mit Mischung - Konzentrationsänderung:

$$VS' = -FS = -\frac{p_a - p_s}{W(L)} S \equiv -\frac{VS}{\tau}, \quad S(0) = \rho$$

Produktion mit Mischung *nicht* *logistisch!*

$$P(t) = \frac{V}{\rho} [S(0) - S(t)] = L \cdot A(1 - e^{-t/\tau})$$



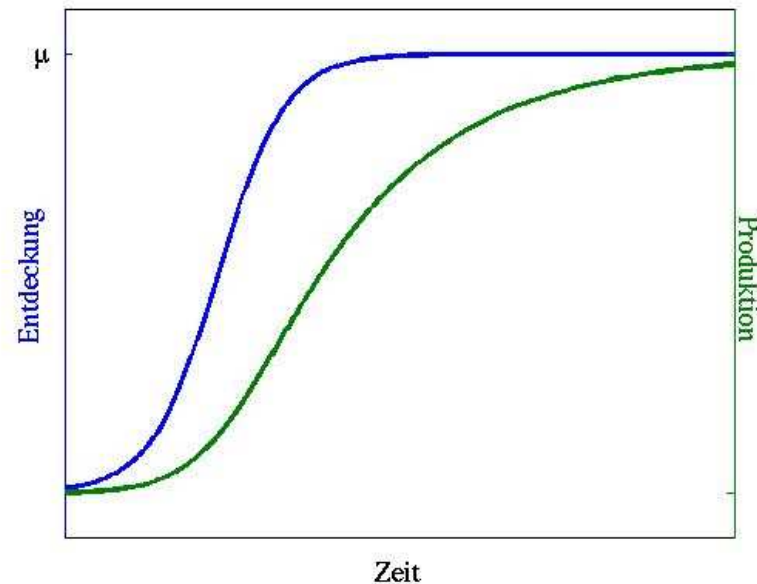
Ölproduktion

Kopplung zwischen Entdeckung und Produktion:

$$E'(t) = F(E, P) = ?$$

$$P'(t) = G(E, P) = ?$$

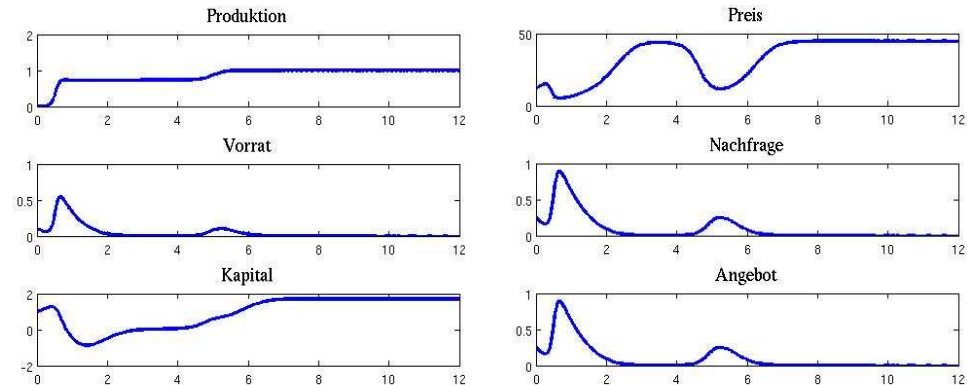
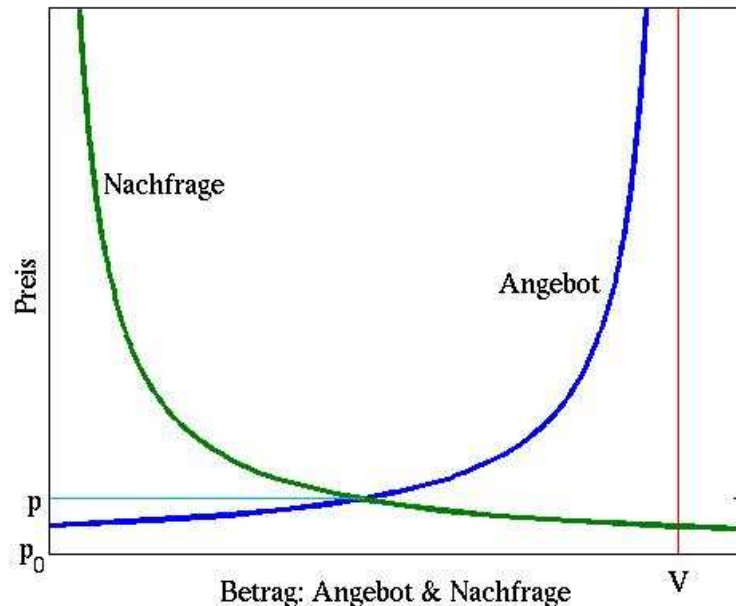
Wenn gekoppelt sollen beide logistisch aussehen,
Produktion verzögert nach Entdeckung:



Kopplung mit Vorrat, Kapital, Bevölkerung

Entdeckung, Produktion, Vorrat, Kapital & Bevölkerung:

- Entdeckung' = logistisch? Bevölkerung' = logistisch
 Produktion' = logistisch? mit Überschuss?
 Vorrat' = Produktion' - Nachfrage', Einkommen' = Preis × Nachfrage'
 Kapital' = Einkommen' - Kosten', Kosten' ∝ Angebot'

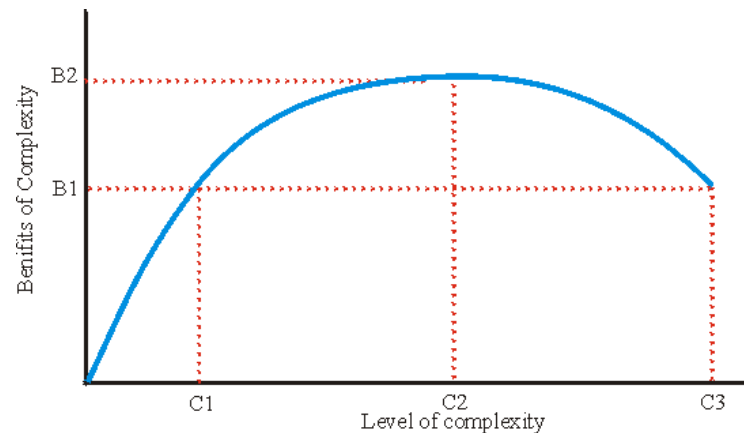


Warum? Grobe Voraussage?

Entropie/Komplexität & Energie

Das Ertragsgesetz von Tainter:

- Zivilisationen gewinnen erst schnell an Komplexität: neue günstige Lösungen, schnelle Auszahlungen, usw.



- Die Energiekosten steigen schnell und überholen Auszahlungen.
- In flacher Zone wird eine Zivilisation bei Herausforderungen verwundbar: Krieg, Umwelt, Ressourcen.
- Komplexität fällt, das Leben wird durchschnittlich einfacher.

Thermodynamik:

- Komplexität=-Entropie verlangt Energie!
- Woher kommt diese Kurve?

Spieltheoretische Kooperation

Beispiel: X und Y teilen eine Ressource.

X:	Y:	kooperieren	schwindeln
kooperieren:		(😊, 😊)	(😞, 😄)
schwindeln:		(😄, 😞)	(🙊, 🙊)

- Gewinn wenn beide kooperieren: 😊
- Gewinn wenn allein schwindeln: 😄
- Verlust wenn allein kooperieren: 😞
- Verlust wenn beide schwindeln: 🙊

Was passiert wenn das Spiel wiederholt wird?

- Wenn wir heute spielen, werden wir morgen oder übermorgen?
- Wenn die Ressource ausläuft, ändern sich die Auszahlungen?