

Die Energieversorgung in der Schweiz gestern, heute und morgen

Prof. Dr. François E. Cellier

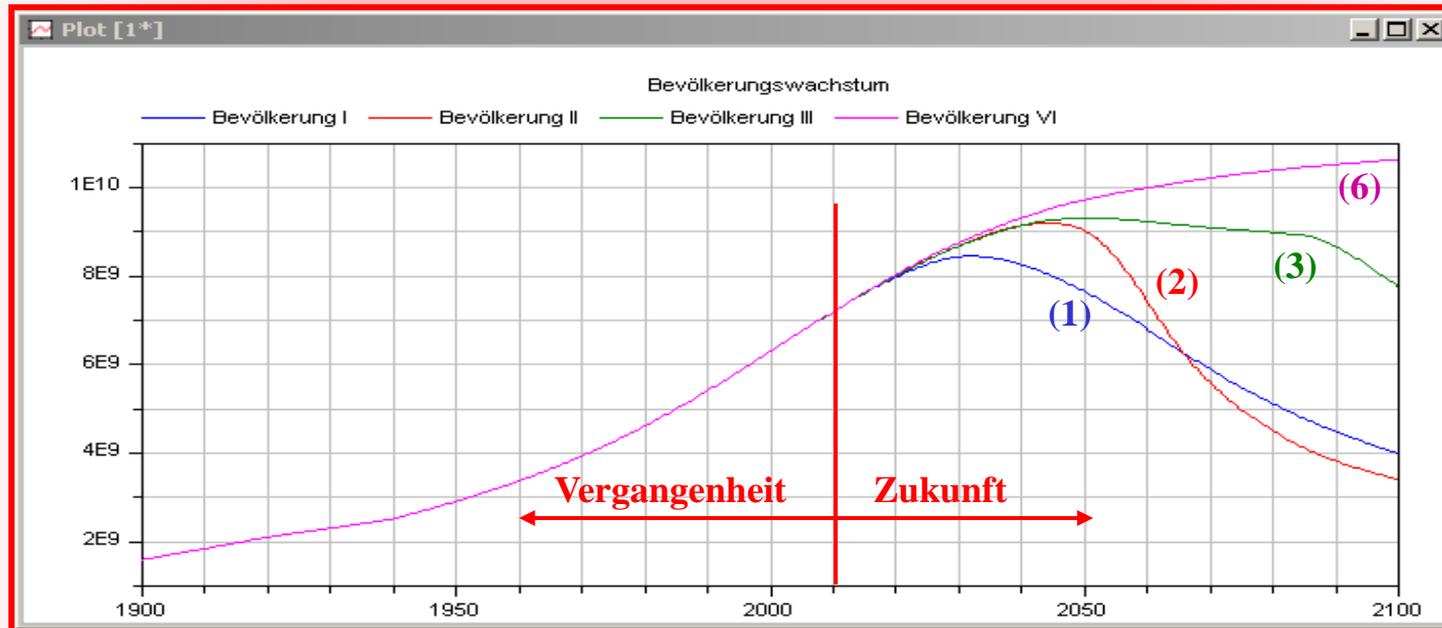
Departement Informatik

ETH Zürich

<http://www.inf.ethz.ch/~fcellier/>



Vorhersagen des Weltbevölkerungswachstums



Vorhersagen ist schwierig ...

... besonders wenn es die Zukunft betrifft

Interpretation der Simulationsresultate

- Insbesondere die beiden Szenarien I und II wären absolut fürchterlich, wenn sie sich bewahrheiten sollten.
- Betrachten wir die historischen Daten, so sehen wir, dass selbst die beiden Weltkriege zu keinem wahrnehmbaren Einbruch des Bevölkerungswachstums geführt haben. Die Weltbevölkerung ist einfach weiter gewachsen.
- Auch die spanische Grippe vom Winter 1918, bei der ca. 50 Millionen Menschen umkamen, führte nicht zu einem Einbruch des Bevölkerungswachstums.
- Um ein Absinken der Bevölkerung so wie in Szenario II vorhergesagt zu bewirken, müssten auf dem ganzen Planeten während 30-50 Jahren Bedingungen herrschen, die die Situation im Irak in der ersten Periode nach dem Krieg um einen Faktor 6 übertrumpfen.



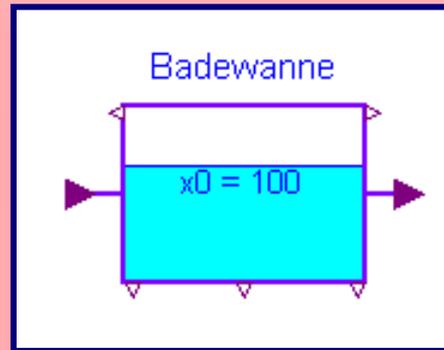
Wie kommt man zu solchen Vorhersagen?

- Wie kommt man dazu, solche Vorhersagen zu machen?
- Warum kann die Weltbevölkerung nicht einfach weiter so anwachsen wie bisher?
- Welches sind die Ursachen, die zu einem Einbruch des Bevölkerungswachstums führen können?
- Warum wächst die Weltbevölkerung überhaupt an?
- Dies sind Fragen, die wir erörtern wollen.



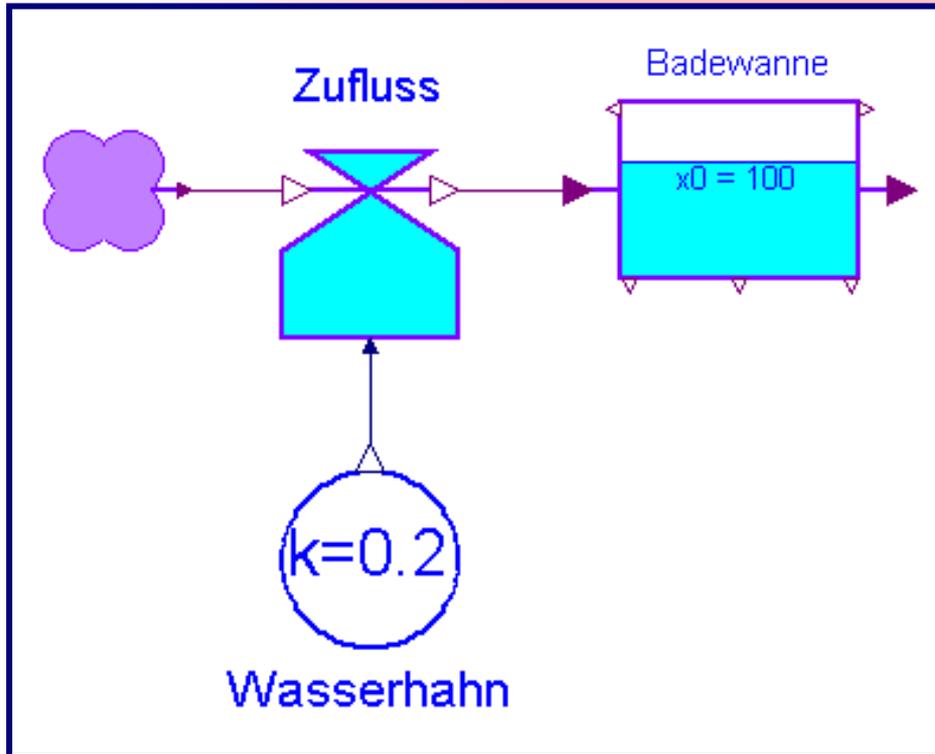
Mathematische Modellierung des Wachstums

- Betrachten wir einmal eine Badewanne.



- Es soll am Anfang 100 Liter Wasser in der Wanne haben. Somit hat das Wasser einen gewissen vorgegebenen Wasserspiegel.
- Der Wasserspiegel verändert sich nicht, es sei denn, es werde Wasser entweder hinzugefügt oder aber abgelassen.

Mathematische Modellierung des Wachstums II



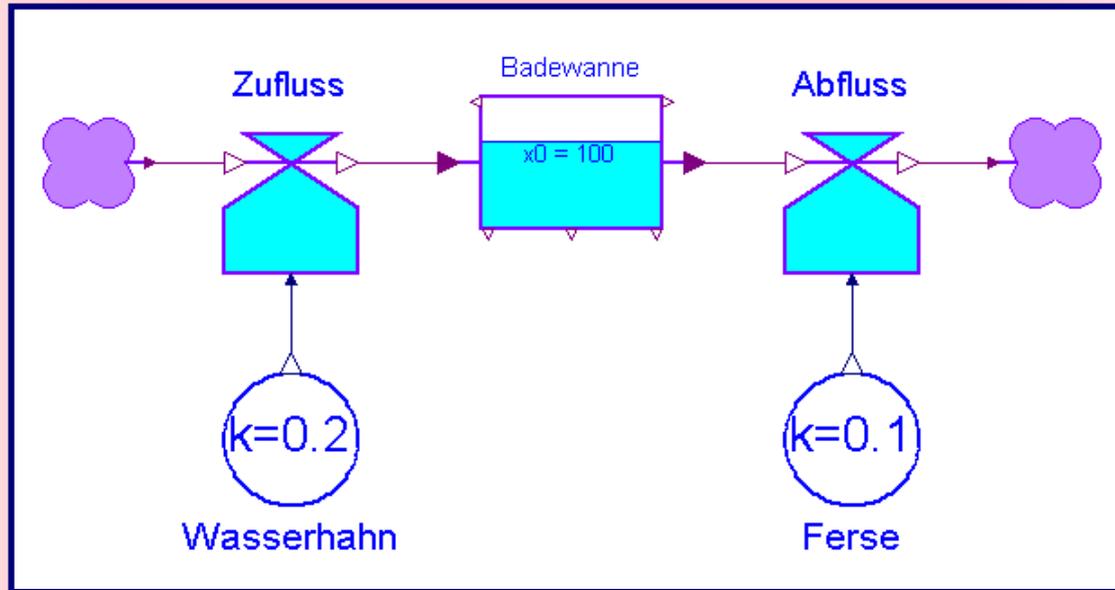
Ich lasse jetzt Wasser in die Wanne einlaufen.

Somit wird der Wasserspiegel in der Wanne ansteigen.

Der Wasserhahn regelt die Menge des zufließenden Wassers.

Die Geschwindigkeit des Wasserspiegelanstiegs ist proportional zur Menge des in die Wanne einfließenden Wassers.

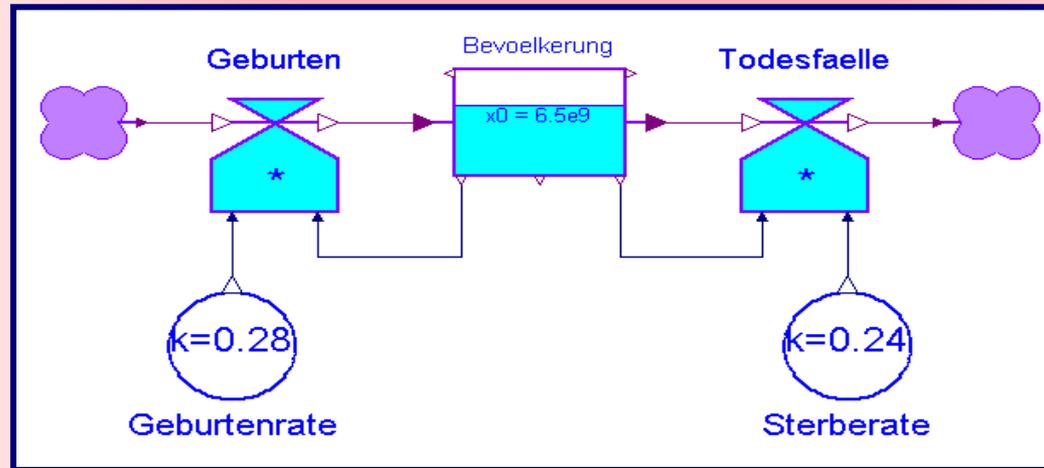
Mathematische Modellierung des Wachstums III



- Ich kann zusätzlich Wasser abfließen lassen.
- Ich ziehe den Stöpsel heraus und regle die Abflussmenge mit der Ferse.
- Falls mehr Wasser abfließt als zufließt, sinkt der Pegel.
- Falls mehr Wasser zufließt, steigt der Pegel an.

Mathematische Modellierung des Wachstums IV

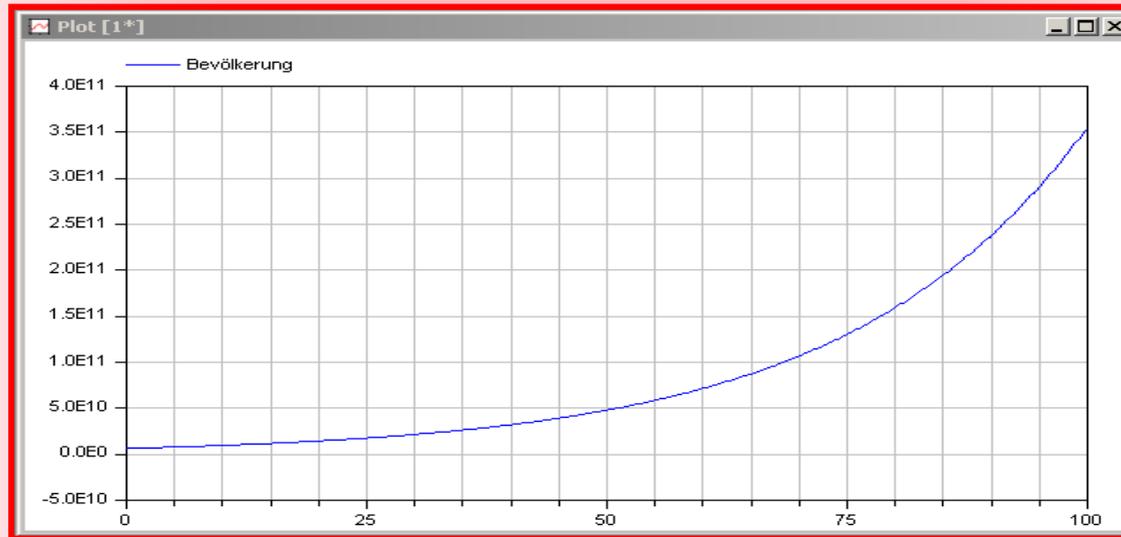
- Die Methode funktioniert nicht nur für Wasser. Es darf abstrahiert werden.
- Wir wollen jetzt die Weltbevölkerung betrachten.



- Die Bevölkerung verändert sich auf Grund der Geburtenrate und der Sterberate.
- Sowohl Geburten wie Todesfälle wachsen proportional mit der Bevölkerung.
- Bei einem Überschuss an Geburten wächst die Bevölkerung an.
- Bei einem Geburtendefizit reduziert sich die Bevölkerung.

Simulation des Wachstums

- Wir können das Modell nun simulieren.



- Die Bevölkerung wächst exponentiell an.
- Bei diesem Modell wächst die Bevölkerung ins Uferlose.
- Biologische Systeme zeichnen sich in der Tat durch exponentielles Wachstum aus.
- Jedes biologische System wächst bis an seine Grenzen.

Die Grenzen des Wachstums

- Das Wachstum erreicht seine Grenzen, wenn es entweder nicht mehr genug Nahrungsmittel oder aber nicht mehr genügend Lebensraum gibt, damit sich die Bevölkerung noch weiter vermehren könnte.
- Dabei kann sich die Bevölkerung entweder asymptotisch einem maximalen Wert annähern, oder aber sie kann überschwingen und dann zumindest temporär wieder auf einen Wert absinken, der kleiner ist als der maximal zulässige.
- Der Maximalwert ist nicht unbedingt fest. Es können mehr Tiere (oder Leute) bei schlechterer Ernährung überleben, oder aber weniger Tiere (Leute) bei einer reichhaltigeren Diät.
- Die Natur „wählt“ im Allgemeinen, die Bevölkerungszahl auf Kosten der Lebensqualität zu maximieren.



Die Grenzen des Wachstums II

- Die Prinzipien der dynamischen Modellierung wurden auf das Problem der Weltbevölkerung angewandt.



Grenzen des Wachstums - Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel (Broschiert)

von [Donella H. Meadows](#) (Autor), [Jørgen Randers](#) (Autor), [Dennis L. Meadows](#) (Autor)

★★★★★ (1 Kundenrezension)

Preis: EUR 29,00 Kostenlose Lieferung. [Siehe Details.](#)

Limits to Growth: The 30-Year Update (Paperback)

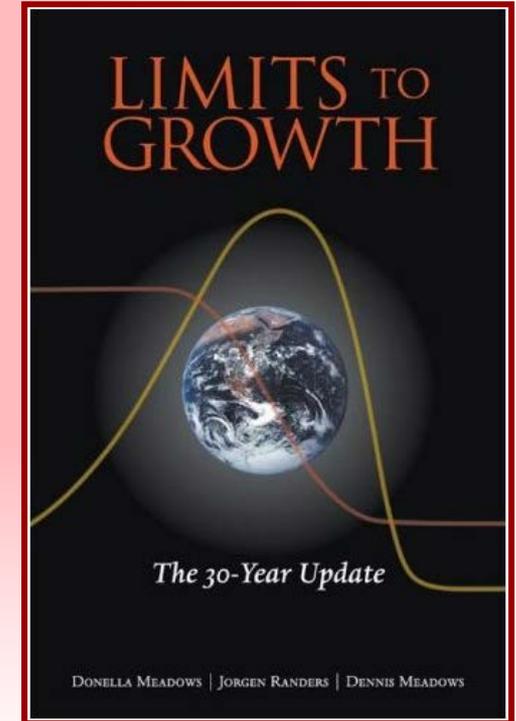
by [Donella H. Meadows](#) (Author), [Jørgen Randers](#) (Author), [Dennis L. Meadows](#) (Author)

★★★★★ (14 customer reviews)

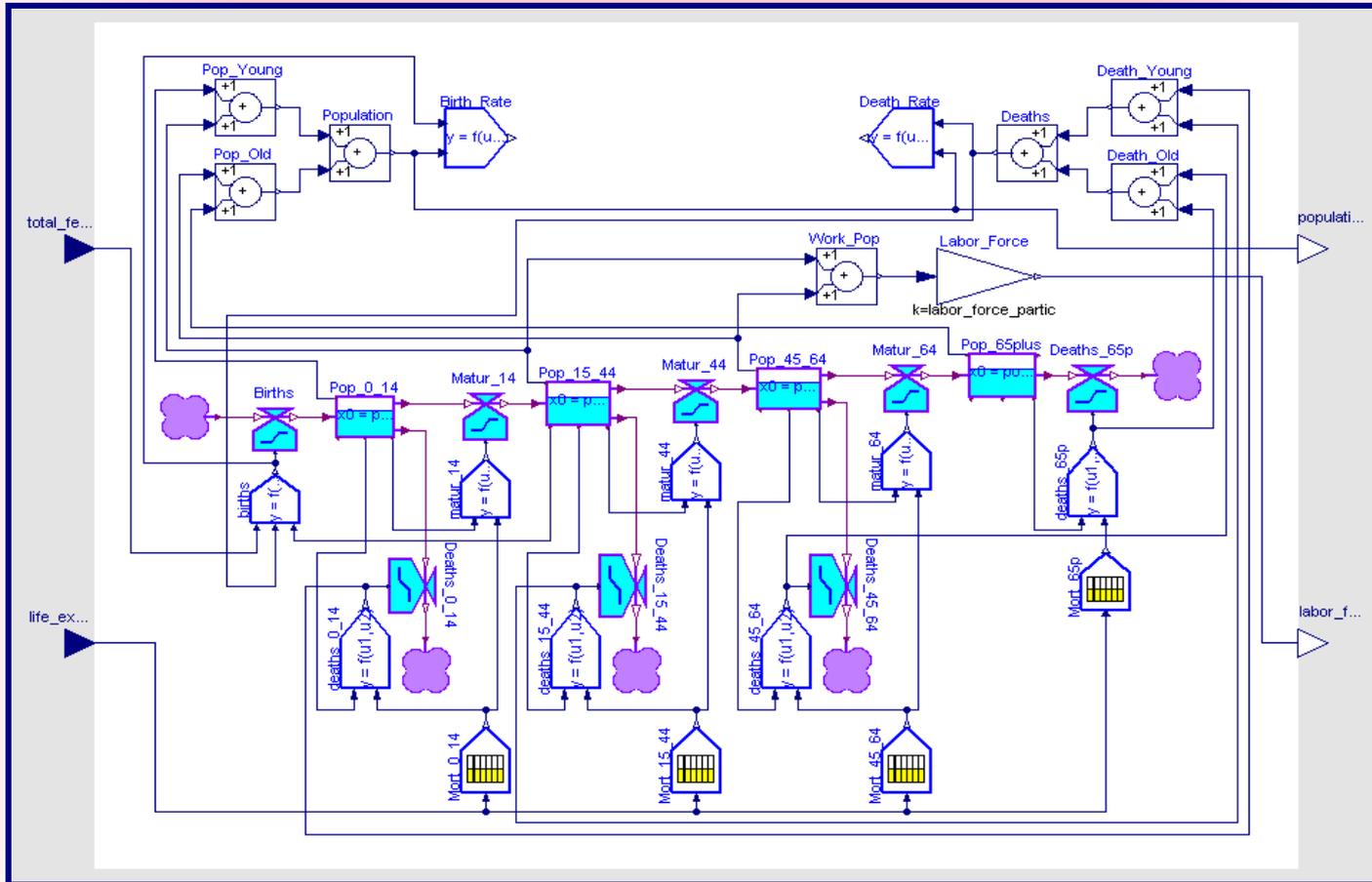
List Price: \$22.50

Price: **\$15.30** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)

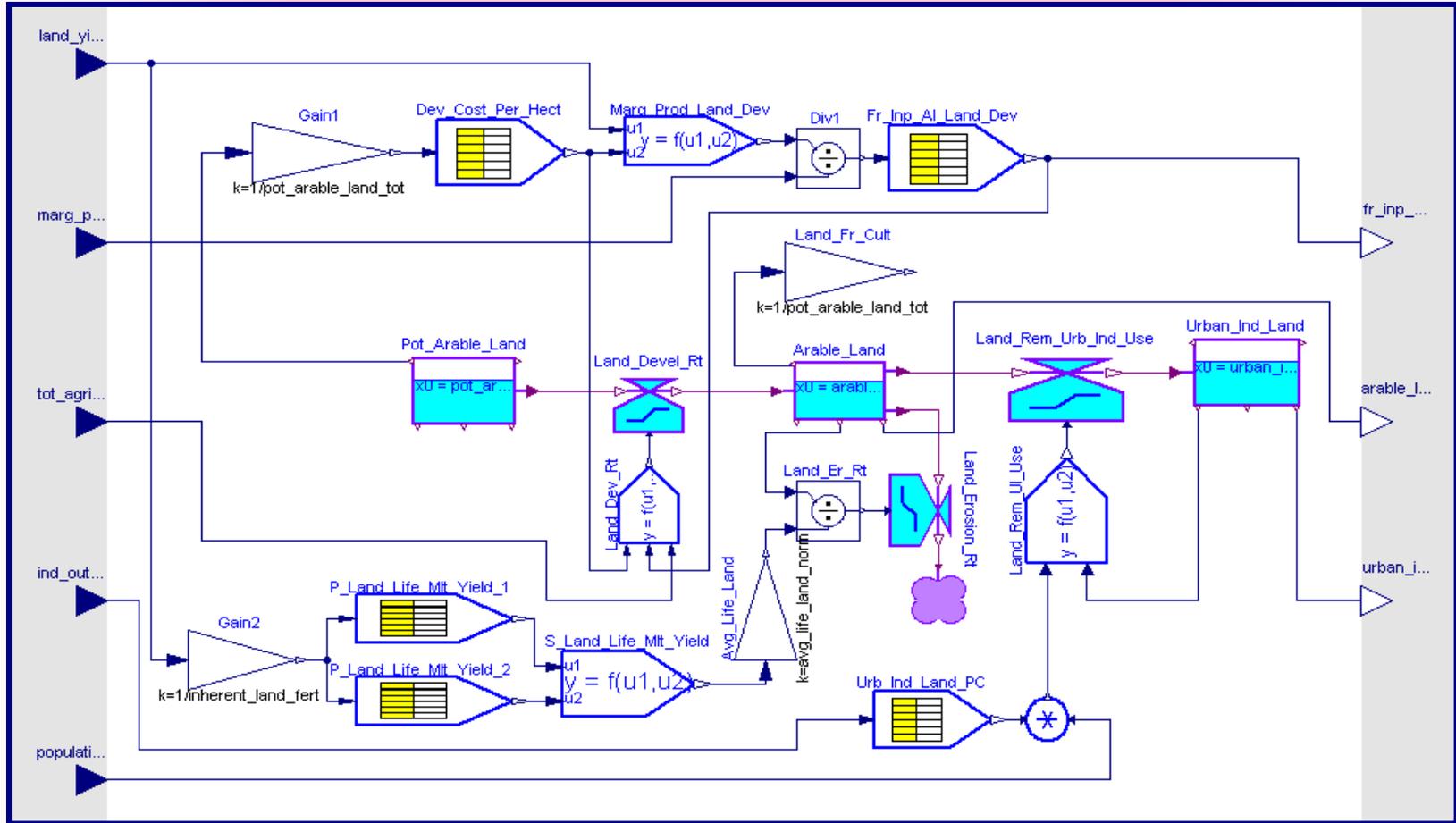
You Save: \$7.20 (32%)



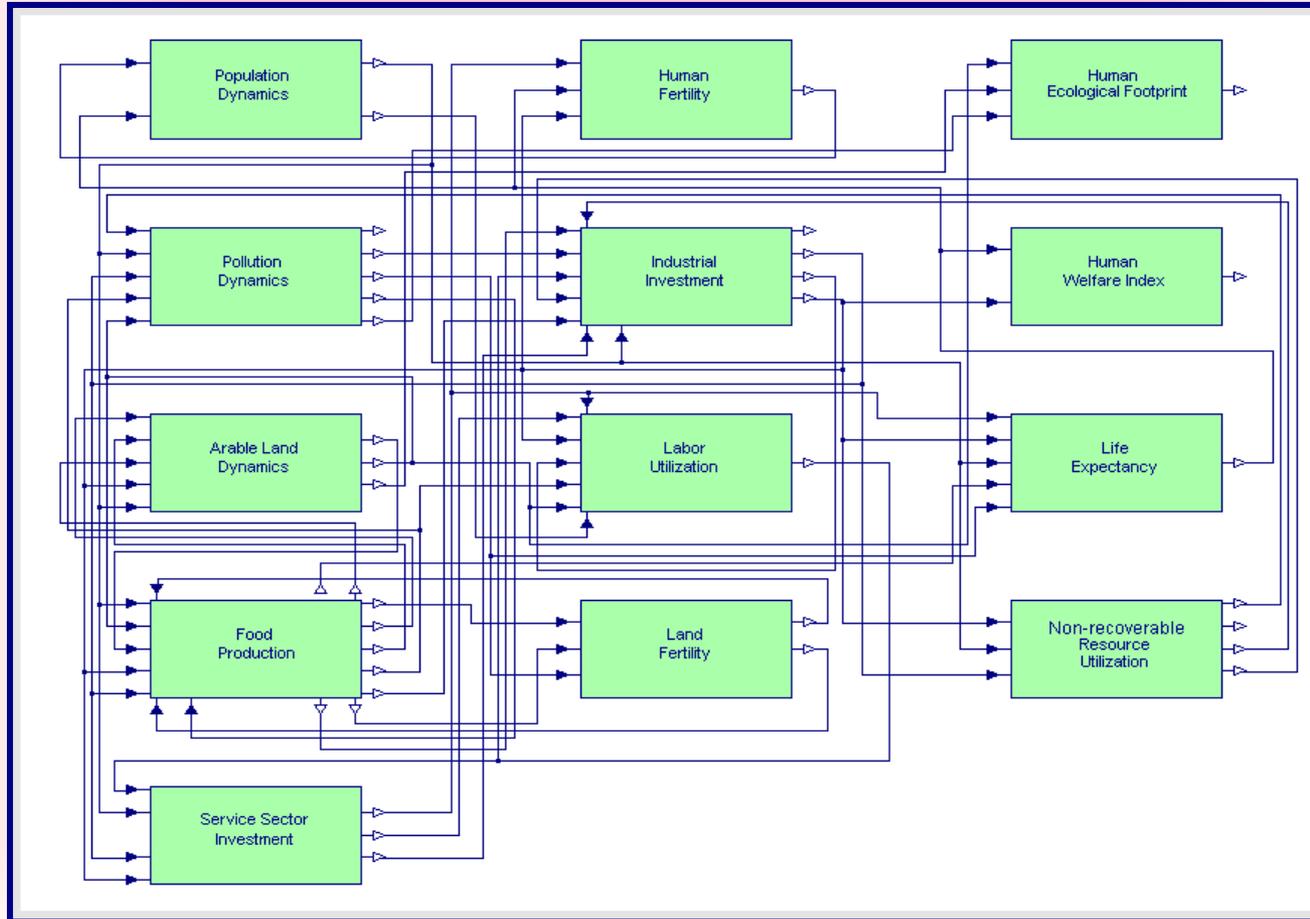
Weltmodell: Populationsdynamik



Weltmodell: Anbaufläche

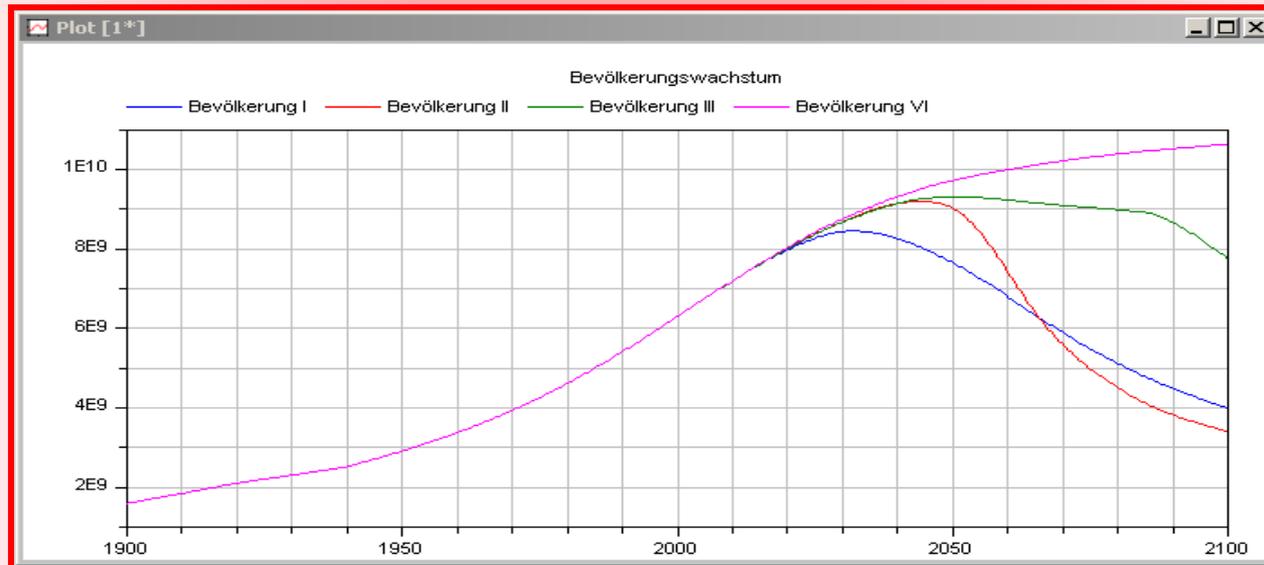


Weltmodell: Gesamtmodell



Die Grenzen des Wachstums III

- Die zu Anfang der Präsentation gemachten Vorhersagen wurden unter Verwendung des Weltmodells simuliert.



- Es handelt sich dabei um die Szenarien 1, 2, 3 und 6 der neun im Buch vorgestellten möglichen Szenarien.

Die Grenzen des Wachstums IV

- Das *Szenarium 1* beschreibt eine Zukunft, die eintreten mag, wenn nichts unternommen wird, d.h., wenn wir weiterwursteln wie bis anhin, wenn also die Politiker viel debattieren, ohne aber wirklich etwas zu unternehmen. Die Grenzen des Wachstums werden erreicht, wenn die verbleibenden Ressourcen (insbesondere die fossilen Brennstoffe) erschöpft sind.
- Beim *Szenarium 2* wurde angenommen, dass es in Wirklichkeit zweimal so viel Ressourcen gibt, wie dies beim Szenarium 1 angesetzt worden war. Somit erschöpfen sich die restlichen Ressourcen später, und die Bevölkerung kann noch einige Jahre weiter anwachsen. Die Grenzen des Wachstums werden hier dadurch erreicht, dass die erhöhte Industrieproduktion zu einem Grad an Verschmutzung führt, der von unserem Erdball nicht mehr kompensiert werden kann.



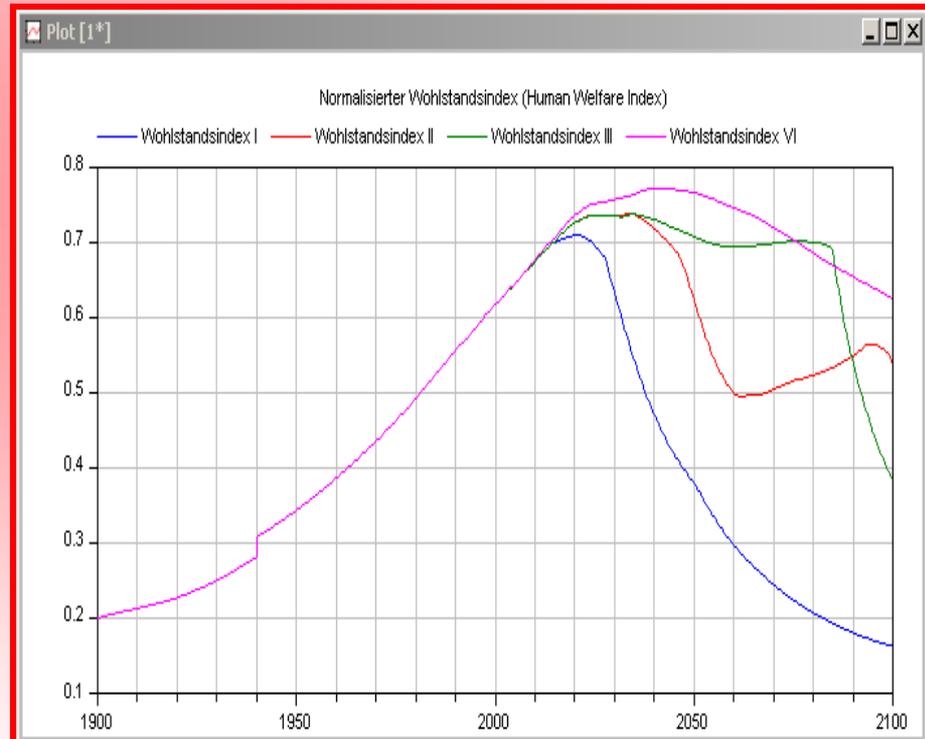
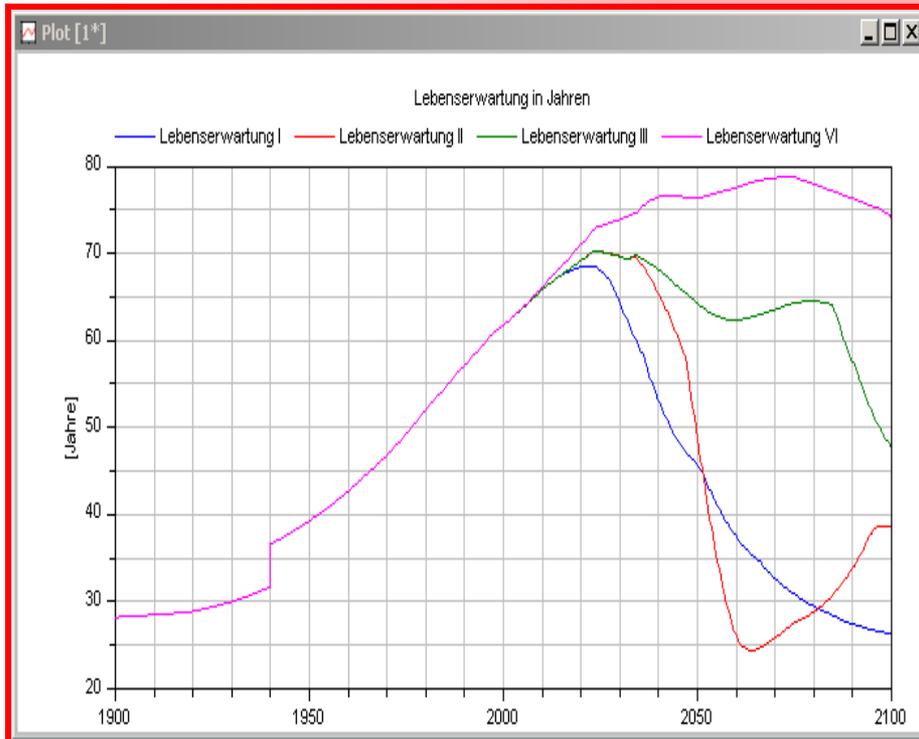
Die Grenzen des Wachstums V

- Beim *Szenarium 3* wurde angenommen, dass zusätzlich zu den grösseren Reserven an Ressourcen Umweltschutzmassnahmen ergriffen werden, die ab 2002 zu einer 4%-igen Reduktion der Verschmutzung führen. Jetzt kann das Plateau noch etwas länger aufrecht erhalten werden, aber die erheblich grössere Bevölkerung kann nicht mehr ernährt werden. Es gibt massiven Hunger in der Welt.
- Beim *Szenarium 6* wurde eine ganze Reihe zusätzlicher Massnahmen ergriffen. Erstens wurde Geld investiert, um die Erträge der Landwirtschaft pro bebauter Fläche zu vergrössern. Zweitens wurden Massnahmen ergriffen, um die Bodenauslaugung wegen zu starker Bewirtschaftung zu verhindern. Drittens wurden Massnahmen ergriffen, um die verbleibenden Ressourcen effizienter einzusetzen.

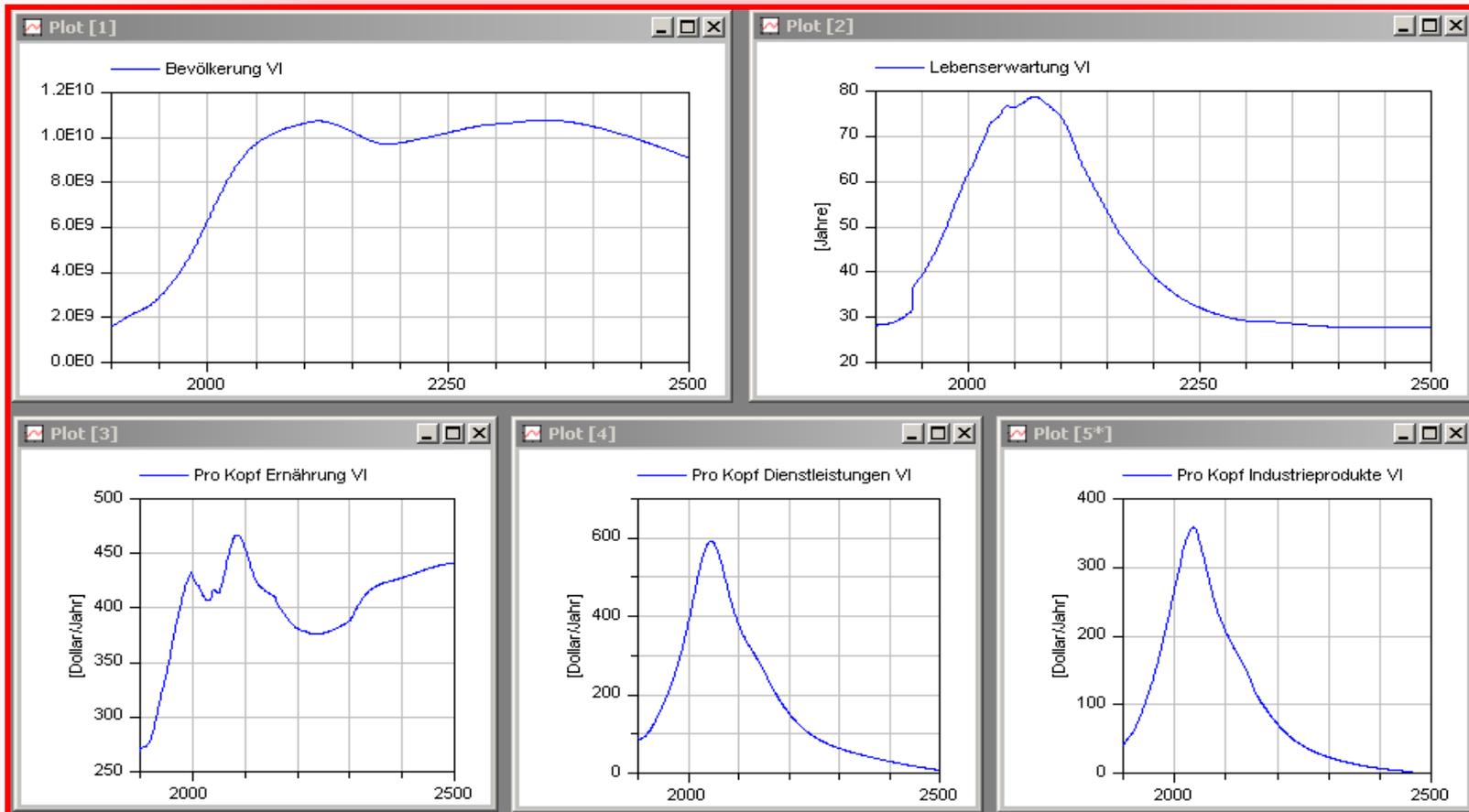


Die Grenzen des Wachstums VI

- Haben diese Massnahmen unsere Probleme gelöst? Sehen wir uns noch einige Kurven an.



Simulieren wir weiter (Szenarium 6) ...



Interpretation der Simulationsresultate

- Im Jahr 2500 ist die Welt zurückgekehrt zur Subsistenzwirtschaft.
- Es gibt keine Dienstleistungen mehr und es wird auch nichts mehr produziert.
- Die Welt konzentriert sich darauf, eine grosse Bevölkerung von 10 Milliarden Menschen mehr schlecht als recht aufrecht zu erhalten.
- Die Lebenserwartung ist wieder bei vorindustriellen Werten.
- Es gibt eine enorme Kindersterblichkeit, die dadurch kompensiert wird, dass die Menschen wieder 10 Kinder pro Familie zeugen.
- Ob dies eine so wünschenswerte und glorreiche Zukunft ist, darüber kann man geteilter Meinung sein.



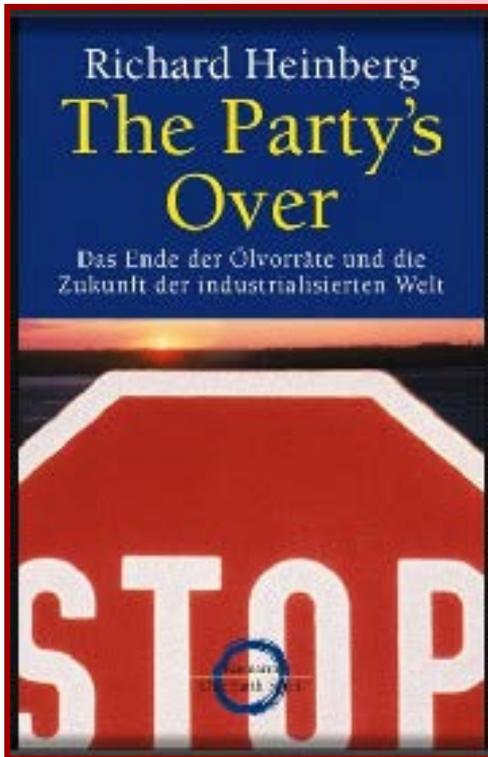
Interpretation der Simulationsresultate II

- Grenzen des Wachstums gibt es immer. Wenn es nicht eine Variable ist, die zur Begrenzung führt, so ist es eine andere.
- Es bleibt uns darum gar nichts Anderes übrig, als zu lernen, *nachhaltig* zu leben.
- Je mehr Ressourcen wir nachhaltig erzeugen können, um so besser werden wir nachhaltig leben können (oder alternativ, um so mehr Menschen werden nachhaltig leben können).
- Die schnelle Erschöpfung der fossilen Brennstoffe führt zu Szenarien mit Massensterben.
- Um diese Szenarien zu vermeiden, ist es unumgänglich, möglichst schnell möglichst viele nachhaltige Energiequellen zu erschliessen.



Die Erschöpfung der Ressourcen

- Zu diesem Thema gibt es ebenfalls lesenswerte Bücher:



The Party's Over (One Earth Spirit) (Broschiert)

von [Richard Heinberg](#) (Autor)

★★★★☆ ([4 Kundenrezensionen](#))

Verfügbarkeit: Erhältlich bei [diesen Anbietern](#).

[7 Angebote](#) erhältlich ab EUR 6,95

The Party's Over: Oil, War And The Fate Of Industrial Societies (Paperback)

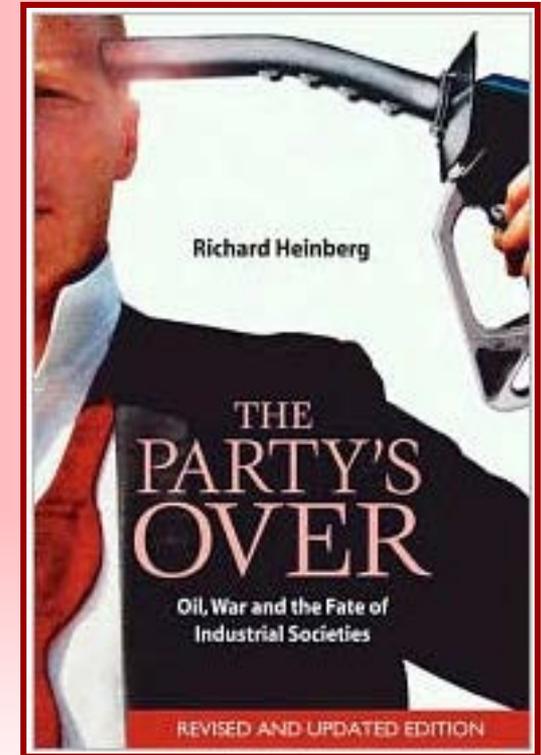
by [Richard Heinberg](#) (Author)

★★★★☆ ([82 customer reviews](#))

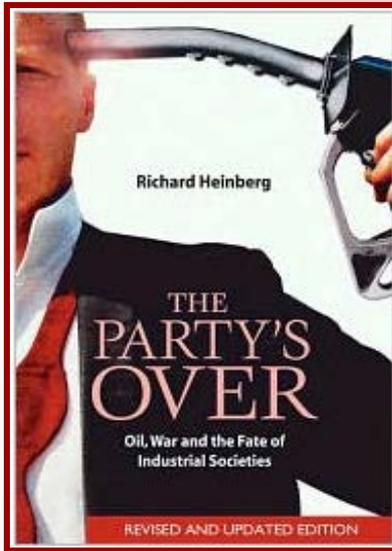
List Price: \$47.95

Price: **\$12.21** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)

You Save: \$5.74 (32%)

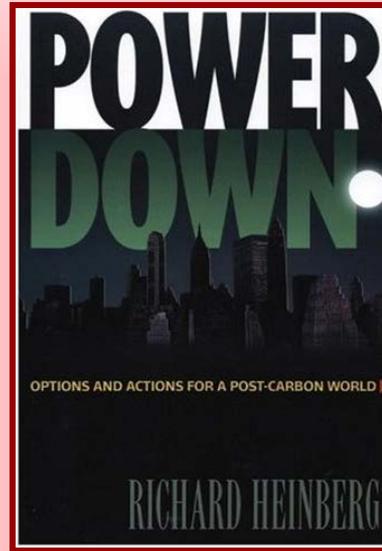


Die Erschöpfung der Ressourcen II



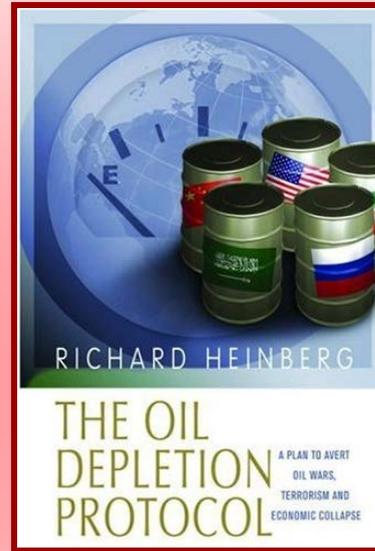
The Party's Over: Oil, War And The Fate Of Industrial Societies (Paperback)
by Richard Heinberg (Author)
★★★★☆ (82 customer reviews)

List Price: \$47.95
Price: **\$12.21** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)
You Save: \$5.74 (32%)



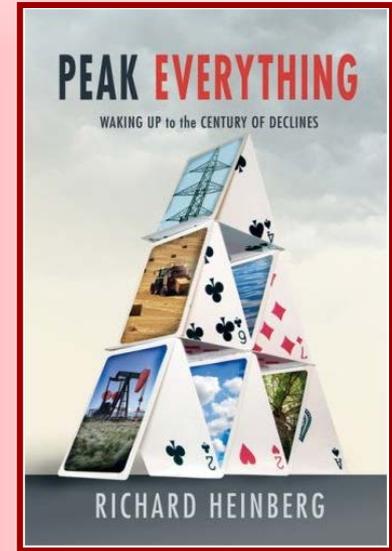
PowerDown: Options And Actions For A Post-Carbon World (Paperback)
by Richard Heinberg (Author)
★★★★☆ (44 customer reviews)

List Price: \$46.95
Price: **\$11.53** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)
You Save: \$5.42 (32%)



The Oil Depletion Protocol: A Plan to Avert Oil Wars, Terrorism And Economic Collapse (Paperback)
by Richard Heinberg (Author)
★★★★☆ (6 customer reviews)

List Price: \$16.95
Price: **\$12.71** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)
You Save: \$4.24 (25%)



Peak Everything: Waking Up to the Century of Declines (New Society Publishers) (Hardcover)
by Richard Heinberg (Author)
★★★★☆ (1 customer review)

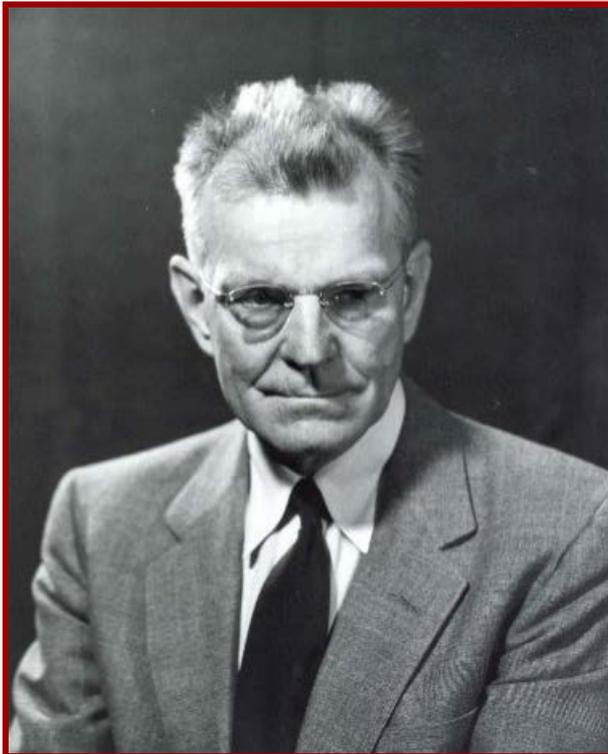
List Price: \$24.95
Price: **\$16.47** & eligible for **FREE Super Saver Shipping** on orders over \$25. [Details](#)
You Save: \$8.48 (34%)

- Lernen Sie schnell gut englisch, sonst können Sie viele der interessantesten Bücher nicht lesen.



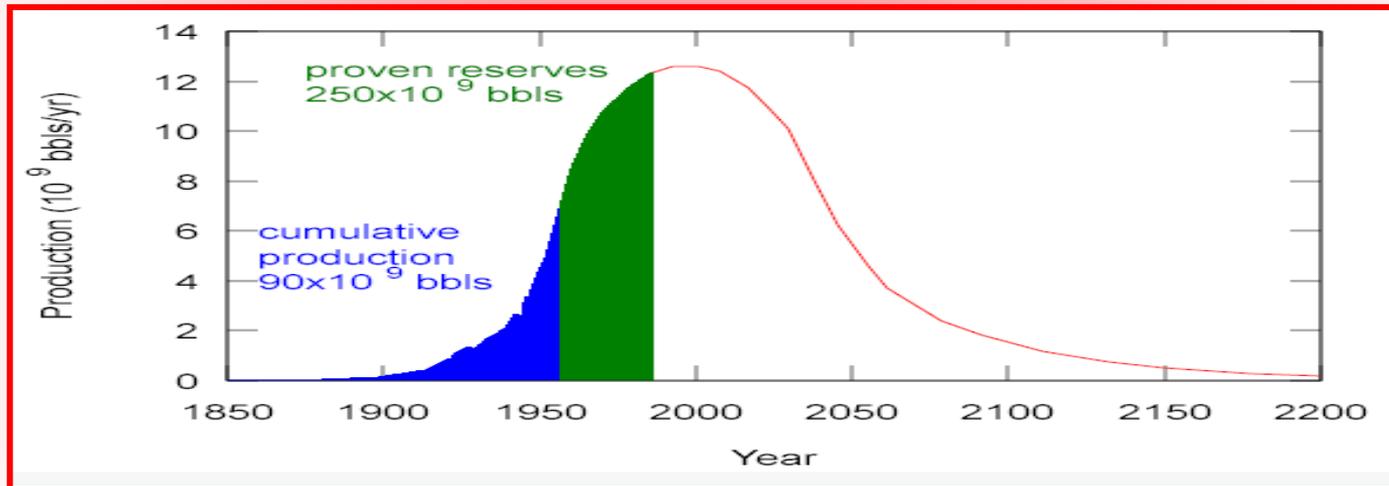
Wie ermittelt man den Zeitpunkt von „Peak Oil“?

- Diese Frage wurde bereits vor 50 Jahren von einem amerikanischen Geologen, *M. King Hubbert*, beantwortet.



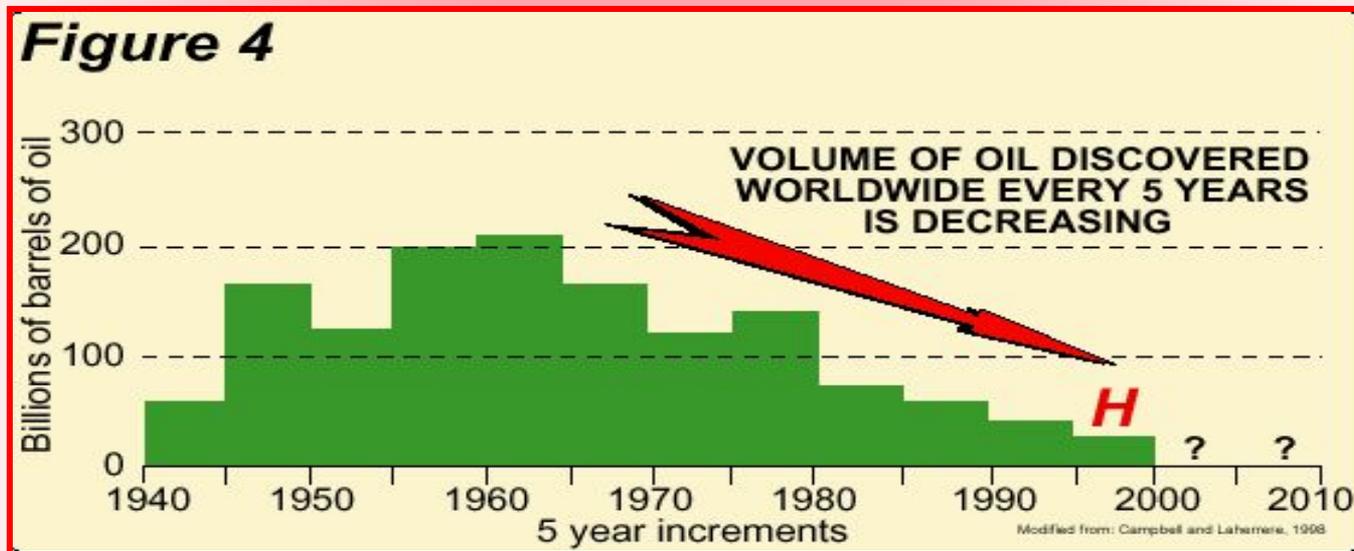
Hubbert's „Peak“

- Hubbert sagte 1956 voraus, dass die Erdölausbeute in USA im Jahr 1971 ihr Maximum erreichen werde.
- Er sagte ebenfalls voraus, dass die Erdölausbeute weltweit in den ersten Jahren des neuen Jahrtausends ihr Maximum erreichen werde.
- Seine Vorhersage betreffend die USA erwies sich als richtig. Darum schenkte man auch seiner Vorhersage bezüglich der Weltausbeute viel Beachtung.



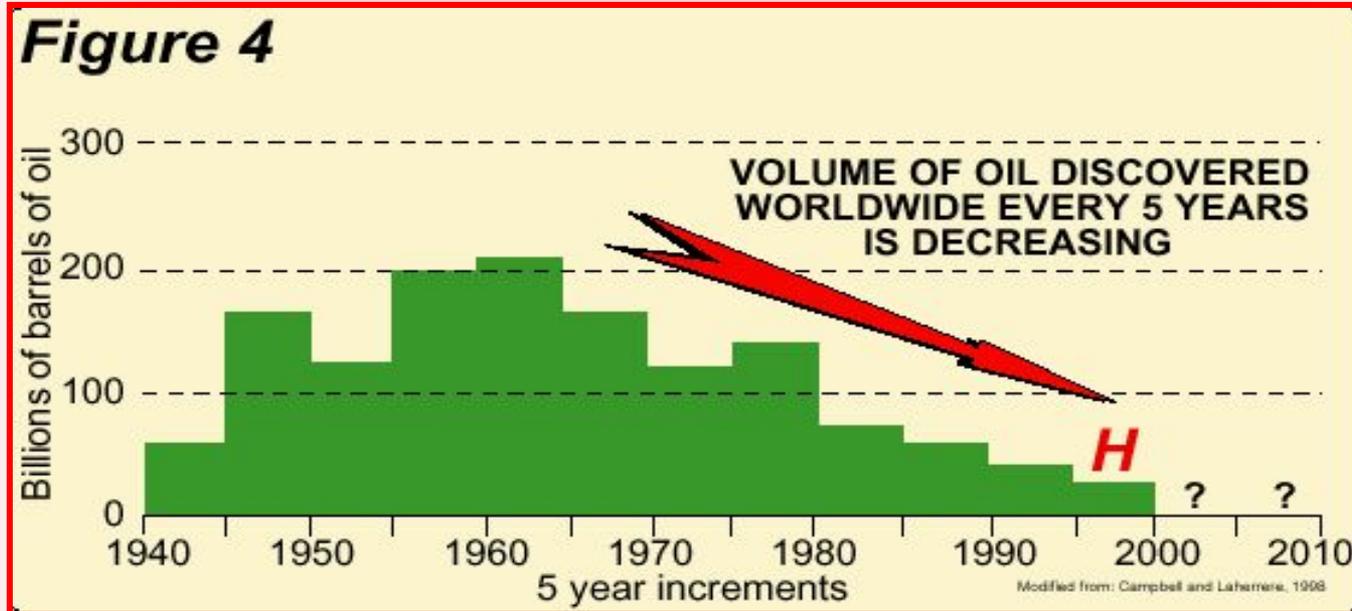
Hubbert's „Peak“ II

- Eine solche Glockenkurve lässt sich direkt erst exakt vorhersagen, wenn das Maximum bereits vorbei ist.
- Wie kam Hubbert zu seiner Aussage?
- Er errechnete die Produktionskurve indirekt.



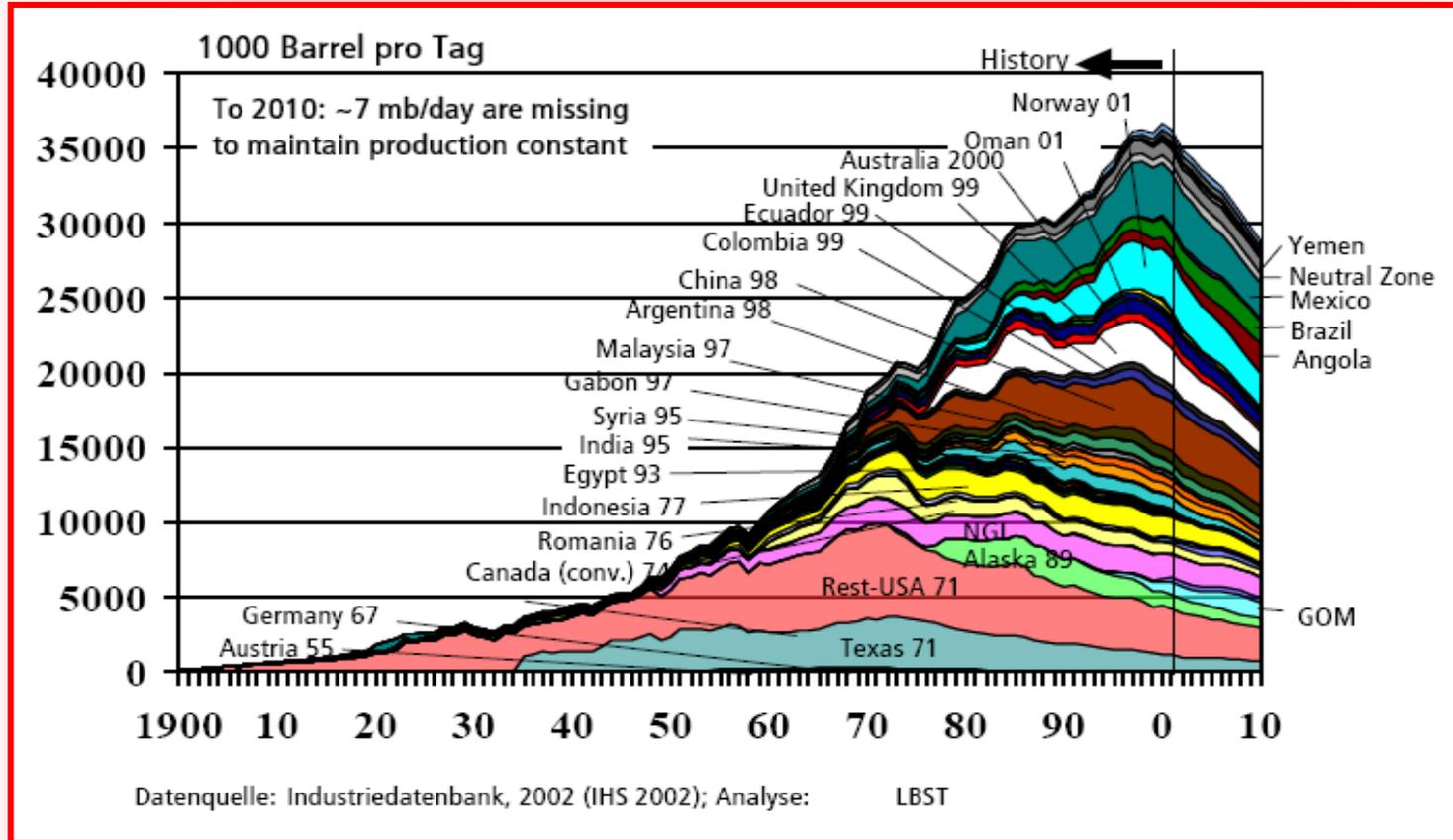
- Die Kurve der Neuentdeckung von Vorkommen folgt einer abfallenden Exponentialkurve. Diese lässt sich viel früher vorhersagen.

Hubbert's „Peak“ III



- Die Fläche unter der Neuentdeckungskurve (das „Integral“ dieser Kurve) ermittelt die gesamte bisher entdeckte Erdölmenge.
- Nun muss man nur noch den Verbrauch abschätzen, und schon hat man die Glockenkurve ermittelt.

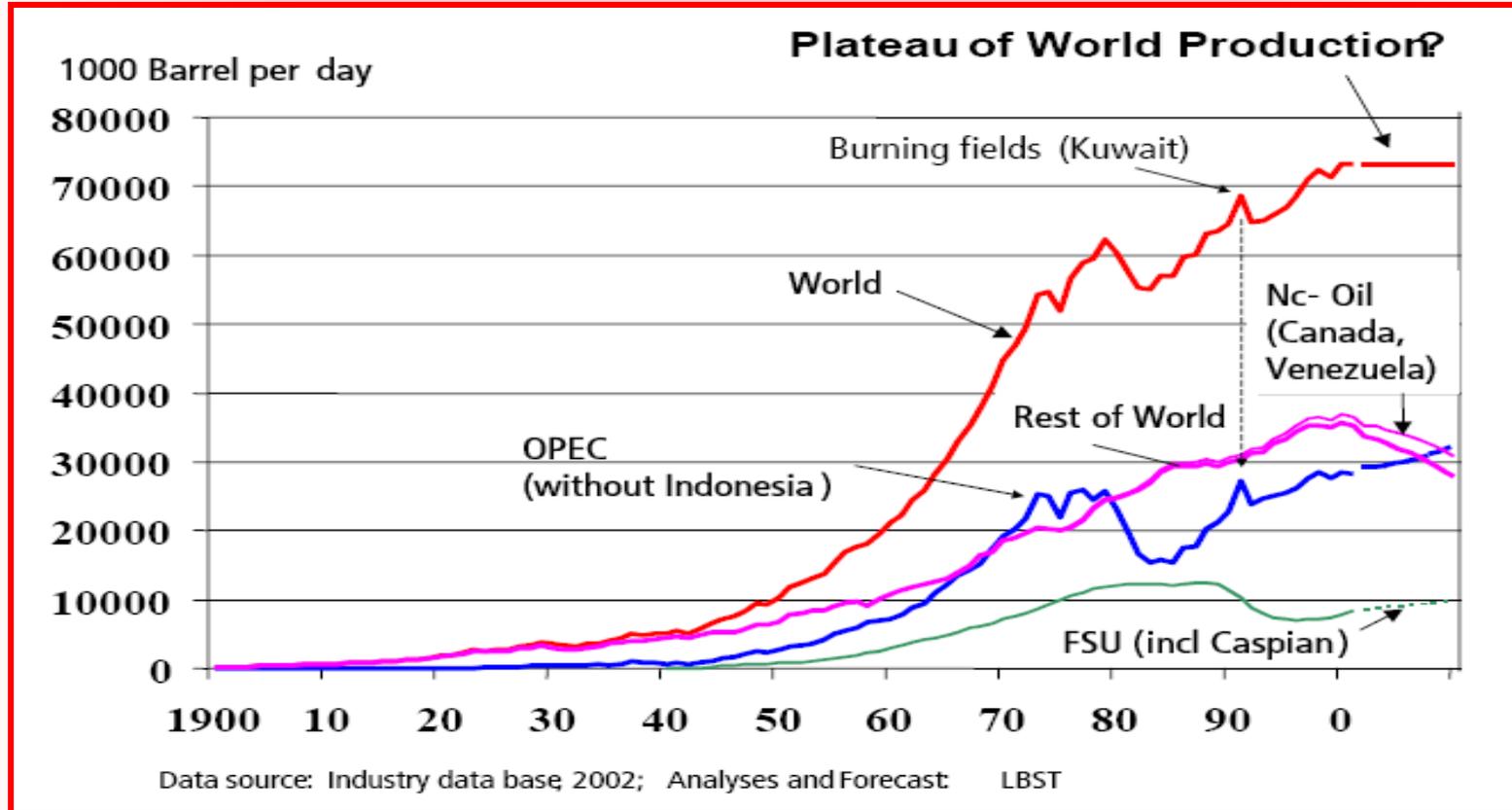
Die Realität



Welterdölproduktion ohne OPEC und ohne die frühere Sovietunion



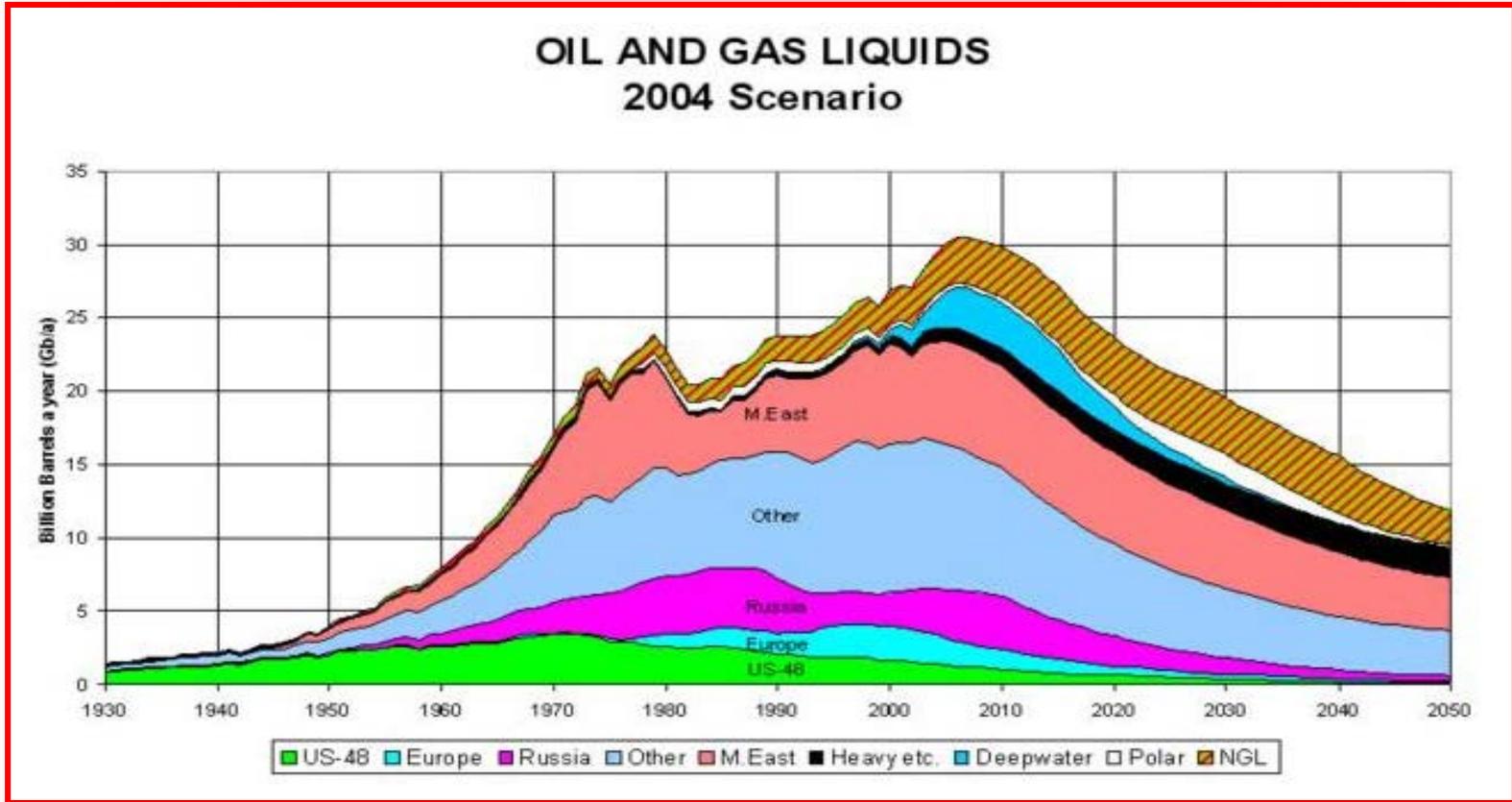
Die Realität II



Welterdölproduktion mit OPEC und Sovietunion



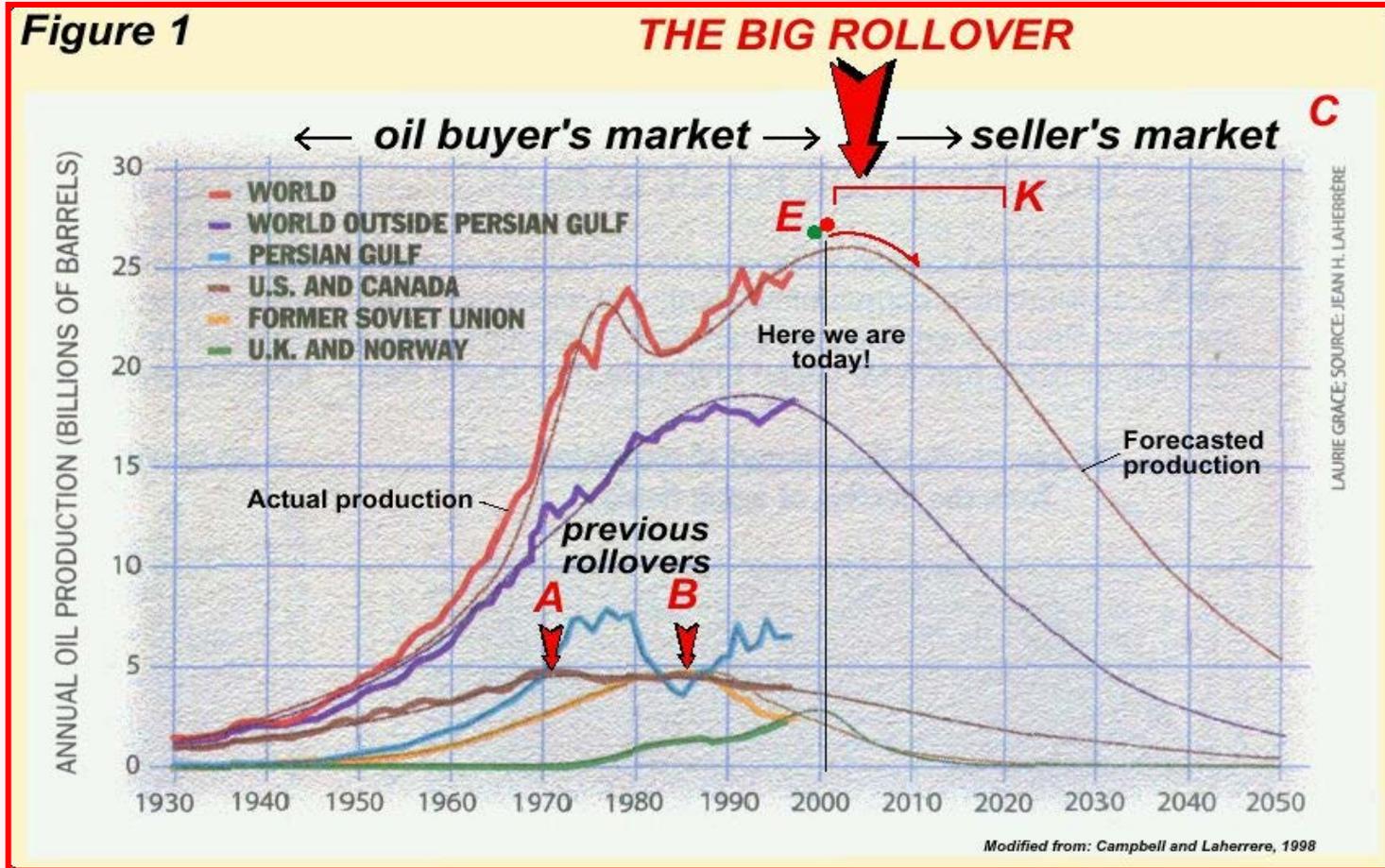
Die Realität III



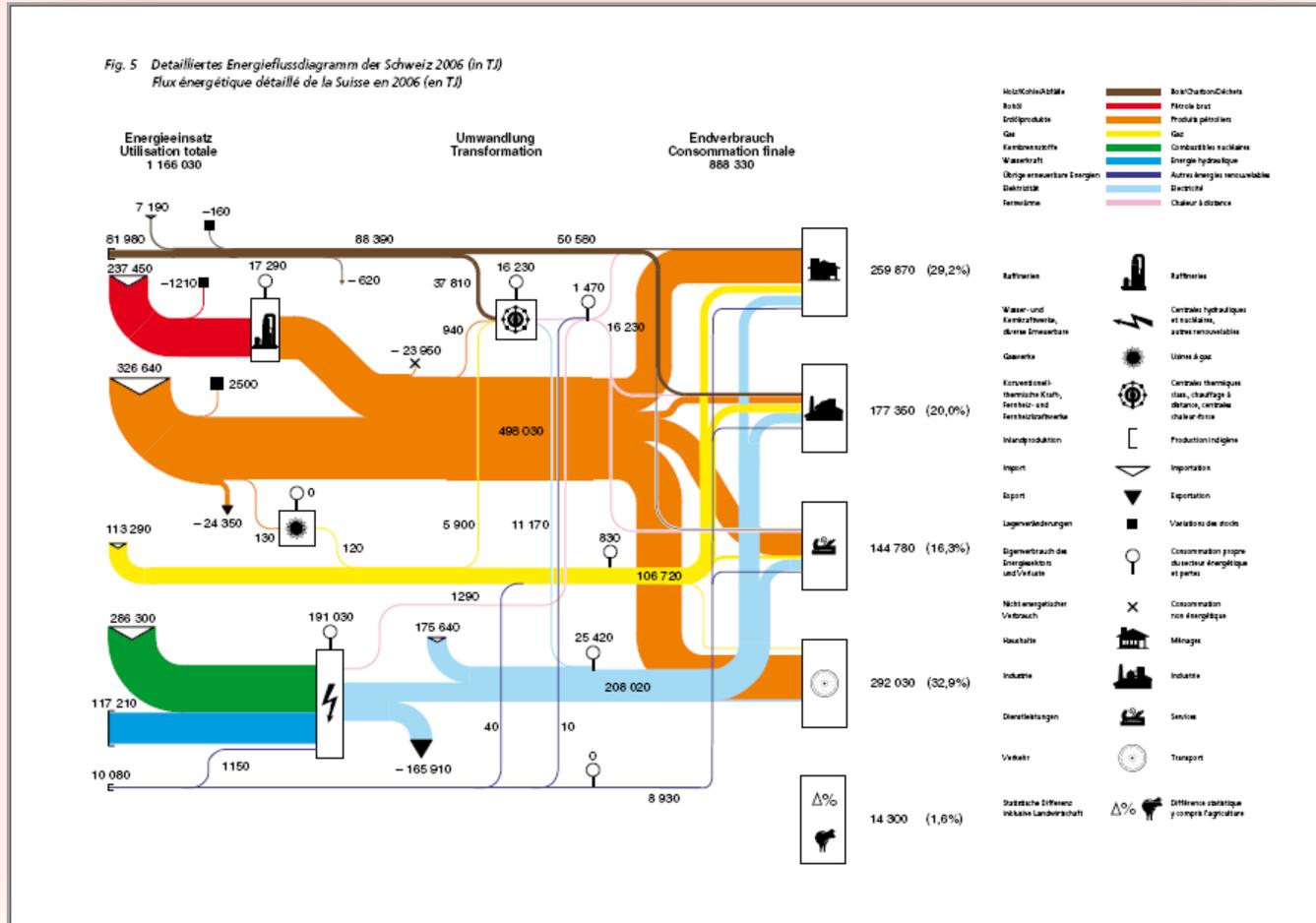
Welterdölproduktion mit OPEC und Sovietunion



Warum ist „Peak Oil“ wichtig?



Die Situation in der Schweiz



Die Situation in der Schweiz II

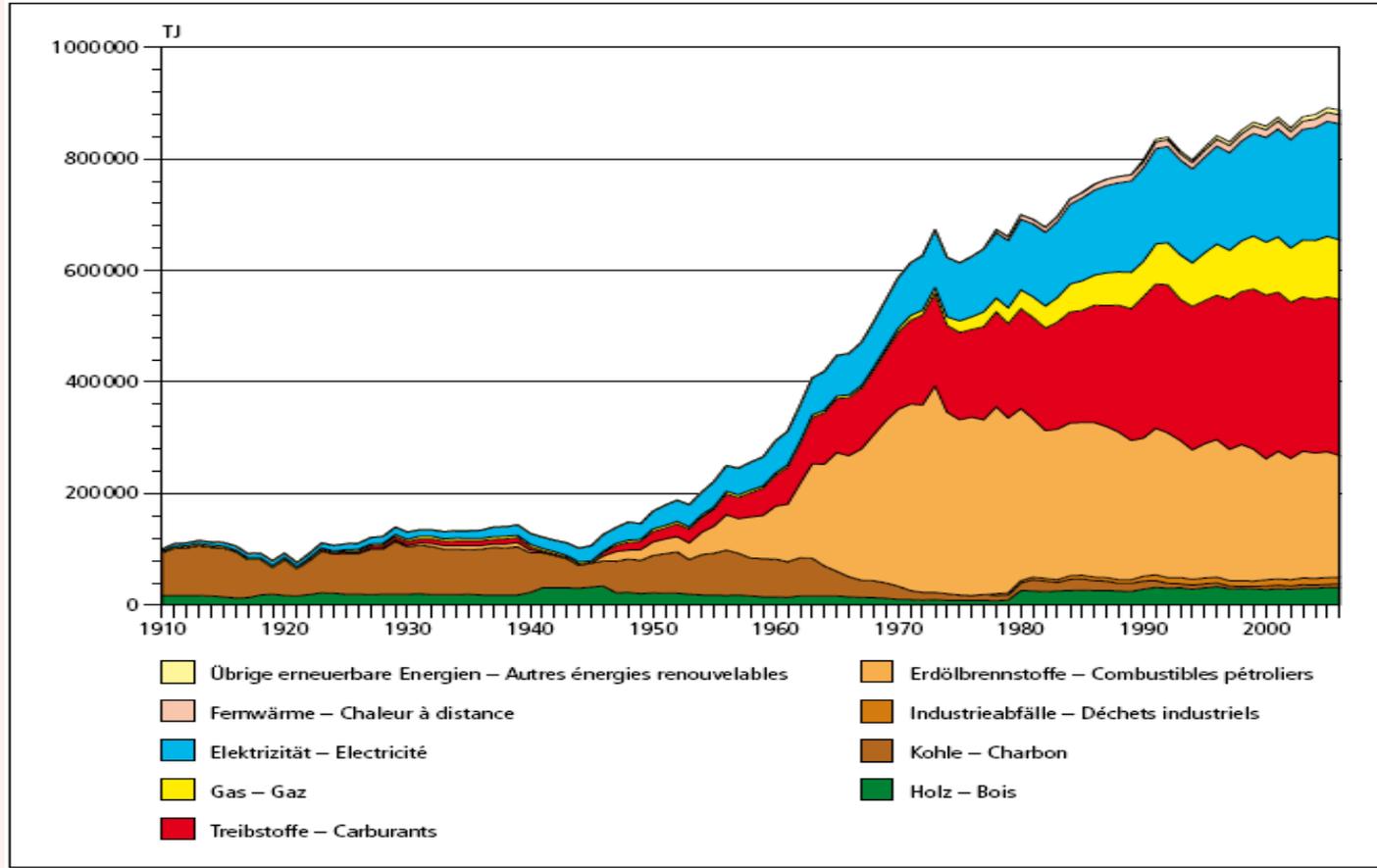


Fig. 1 Endenergieverbrauch 1910–2006 nach Energieträgern

Die 2000 Watt Gesellschaft

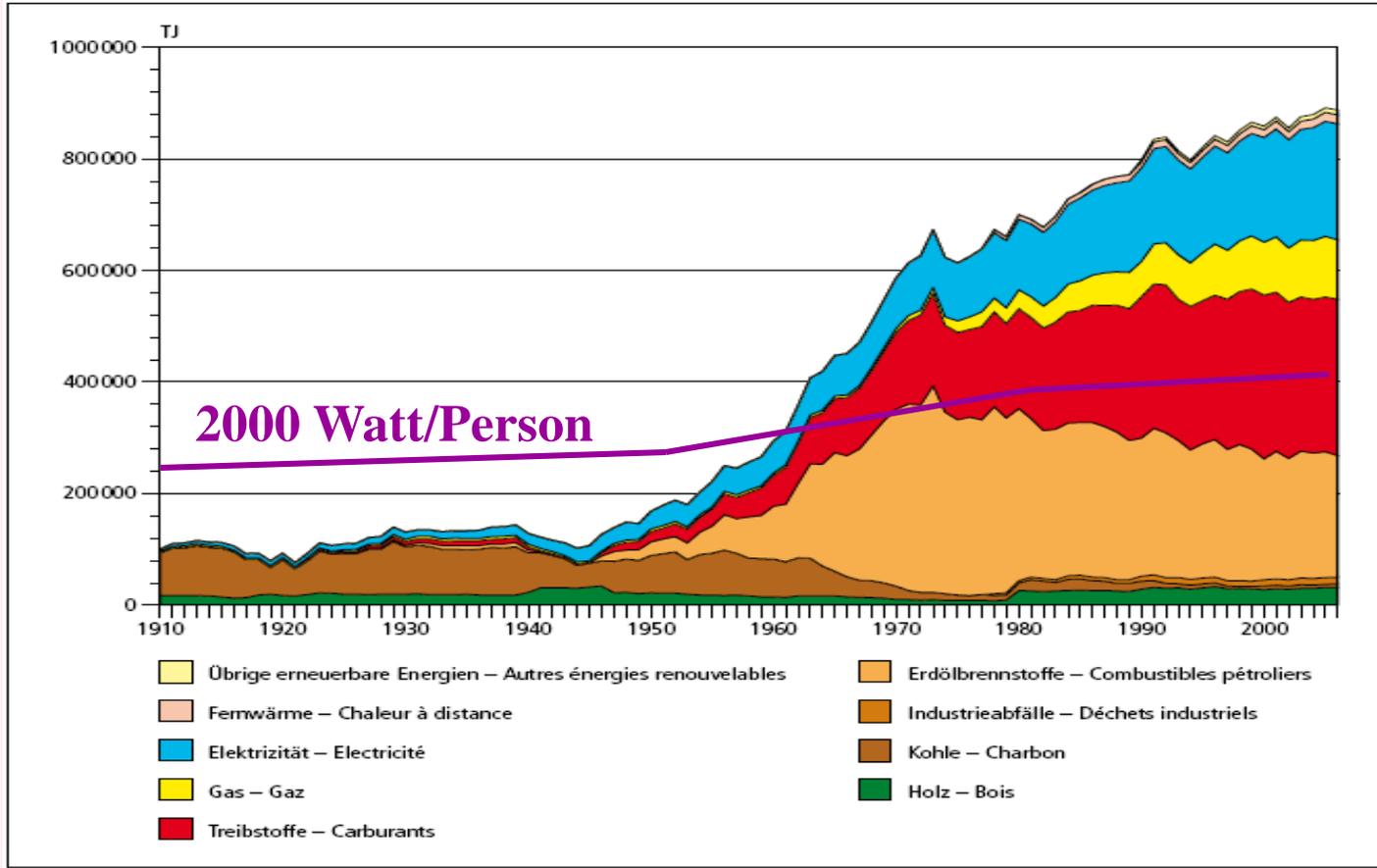


Fig. 1 Endenergieverbrauch 1910–2006 nach Energieträgern

Die 2000 Watt Gesellschaft II

- Es ist heute absehbar, dass bis im Jahr 2050 die fossilen Brennstoffe nur noch zu einer sehr kleinen Masse verfügbar sein werden (vielleicht noch 30% der heutigen Menge).
- Seit Fukushima ist es klar, dass die Kernkraft bald nicht mehr zur Verfügung stehen wird. Das Ausmass der Nuklearkatastrophe in Japan wird von den Medien herunter gespielt.
- Ohne einen massiven Ausbau von Alternativenergieanlagen werden wir im Jahr 2050 keine 2000 Watt Gesellschaft, sondern eine **1000 Watt Gesellschaft** haben ...
- ... nicht weil wir dies so planen, sondern weil nicht mehr Energie zur Verfügung steht.



Peak Energie = Peak Food

- Die Produktion von Düngemitteln ist mit einem enormen Energieaufwand verbunden.
- Ohne ausreichende Mengen an Energie wird die Welt Hungersnöte biblischen Ausmasses erleben.
- Die Schweiz kann ihre Bevölkerung ohne massive Lebensmittelimporte ohnehin nicht ernähren.
- Die Schweiz importiert momentan ca. 60% aller im Land konsumierten Lebensmittel.



Was kann die Schweiz tun?

- Wenn die fossilen Brennstoffe knapper (rationiert) werden, werden viele Schweizer auf andere Energieträger (Wärmepumpe, Elektroauto) umsteigen. Dadurch wird der Elektrizitätsbedarf ansteigen.
- Um Unterbrüche in der Elektrizitätsversorgung zu vermeiden müssen massive Anstrengungen zum Ausbau von Sonnen- und Windenergieanlagen unternommen werden.
- Deutschland und Österreich haben über eine gezielte Subventionspolitik in den letzten 10 Jahren das Erstellen solcher Anlagen viel stärker gefördert als die Schweiz.
- Die Schweizer Politik muss endlich aus ihrem Dornröschenschlaf aufwachen.



Was kann die Schweiz tun? (II)

- Es sollten Gesetze erlassen werden, welche die Erteilung von Baubewilligungen davon abhängig machen, dass nachgewiesen wird, dass 25% der verbrauchten Energie lokal erzeugt wird (Sonne, Erdwärme) oder aber, dass zumindest 10% des Baubudgets in lokale Energieerzeugungsanlagen investiert werden. Dies ist volkswirtschaftlich vertretbar.
- Die Bevölkerung sollte ermutigt werden, solche Vorhaben anzupacken, indem nicht nur Steuervergünstigungen, sondern sogar zinsfreie Steueranleihen angeboten werden. Solche Anleihen würden es dem Bauherrn ermöglichen, Steuerzahlungen in die Zukunft zu verschieben, falls mit dem geschuldeten Steuergeld jetzt Energieanlagen oder Energieeinsparungsmassnahmen realisiert werden.



Was kann die Schweiz tun? (III)

- Es gibt genügend Sonnenenergie. Diese wird heute nicht optimal genutzt.
- Die Schweiz sollte sich mit Staaten in Nordafrika (Sahara) zusammentun, um dort grosse Sonnenenergieanlagen für diese Länder zu finanzieren und zu bauen.
- Dies wäre gezielte Entwicklungshilfe, die den lokalen Ländern, aber auch dem Planeten als Ganzes, und in der Zukunft auch der Schweiz selbst zu Gute käme.
- Langfristig können nur solche Grossprojekte dazu führen, dass der Planet genügend Energie in nachhaltiger Weise erzeugen kann, um unsere Wirtschaft und schlussendlich unseren Lebensstandard aufrecht erhalten zu können.
- Wir haben nicht mehr viel Zeit. Wenn das Erdöl zur Neige geht, werden wir nicht mehr ausreichend Energie haben, um solche Projekte verwirklichen zu können.



Abschliessende Bemerkungen

- Die auf uns zukommende (und leider bereits nicht mehr völlig abwendbare) Energiekrise ist das tiefgreifendste und weitreichendste Problem, welches Ihre Generation wird bewältigen müssen.
- Dazu werden viele und gute Ingenieure mit breit gefächertem Wissen benötigt.
- In keiner Generation vor der Ihren hatten die Ingenieure so wichtige Aufgaben anzupacken und zu lösen wie in Ihrer.
- Ich hoffe darum, dass sich einige von Ihnen diesen Aufgaben stellen und einen Ingenieurberuf ergreifen werden.

