

Neue Berechnung zu Grenzen des Wachstums

Berndt Warm, 20.01.2026

Vorwort

Vor mittlerweile 54 Jahren wurde das Buch „Limits to Growth“ (deutsch: Grenzen des Wachstums) [14] veröffentlicht. Eine Gruppe von Wissenschaftlern hat in diesem Buch eine Analyse der globalen Wechselwirkungen zwischen

- Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen
- Bevölkerungsentwicklung
- Industrieproduktion
- Nahrungsmittelverfügbarkeit
- Umweltverschmutzung

durchgeführt. Als Werkzeug wurde per Software die Systemdynamik modelliert, um Interaktionen von Systemen mit nicht-linearem Verhalten, Verzögerungen, Rückkopplungsschleifen und exponentielles Wachstum einzubeziehen. Das Software-Modell [15] erhielt den Namen „World3“. Das Software-Modell sagte früher oder später einen Zusammenbruch der Gesellschaft voraus, da die Ressourcen der Welt endlich sind und langsam, aber sicher verbraucht werden. Ziel der Autoren des Buchs war nicht, einen genauen Termin für den Zusammenbruch zu ermitteln, sondern die Öffentlichkeit auf die Thematik aufmerksam zu machen. Für eine genaue Voraussage war die Datenbasis damals nicht genau genug erforscht.

Das Buch war damals Gegenstand heftiger Diskussionen, mit Anhängern und Gegnern der vertretenen Theorien. Auch wenn die Diskussion mittlerweile vollständig aus der Öffentlichkeit verschwunden ist, beschäftigen sich immer wieder Leute mit der Thematik. Beispielsweise kann man das Programm zu „World3“ online nutzen [18].

Eine Gruppe von Wissenschaftlern um Arjuna Nebel [1] hat vor ca. 2 Jahren einen Bericht „Recalibration23“ mit Grafiken veröffentlicht, der sich aus einer Aktualisierung des Modells „World3“ ergab. Sie haben das Modell als Werkzeug für die Voraussage eines Termins des Zusammenbruchs genutzt.

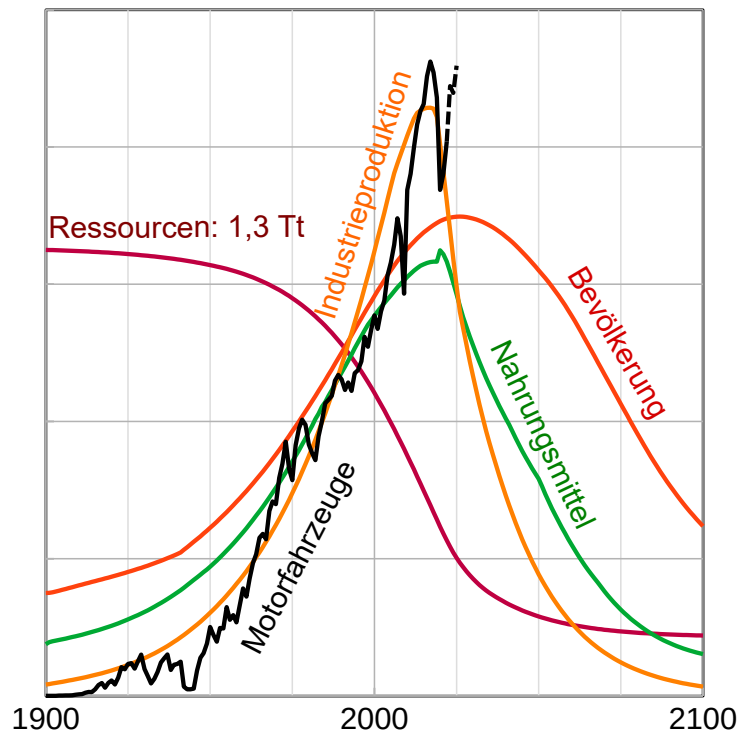


Abbildung 1: Diese Abbildung entspricht der Figure 3 aus dem Bericht „Recalibration23“ [1], ergänzt vom Autor um die Produktionsdaten für Motorfahrzeuge. Die schwarze Kurve enthält die Produktionsdaten, wobei der durchgezogene Teil der Kurve in 2023 bekannt war, der gestrichelte Teil ist aktuell. Der gestrichelte Teil passt nicht zur Kurve „Industrieproduktion“

Wenn man die Grafik Abbildung 1 betrachtet, die auf dem Bericht der Gruppen Nebel basiert, hätte in 2025 oder früher ein deutlicher Einbruch der Weltwirtschaft stattfinden müssen. Diesen Einbruch hat es aber nicht gegeben. Die Weltwirtschaft steckt in Schwierigkeiten, aber ein Einbruch fand z.Bsp. in den Verkaufszahlen für PKW nicht statt. Die deutsche Wirtschaft hat viele Probleme, aber das Leben in Deutschland ist bisher nur wenig davon beeinflusst.

Ich habe mit Hilfe von „World3“ versucht heraus zu finden, weshalb dieser Einbruch nicht statt fand. Und eines festgestellt: Je mehr man eine Erklärung sucht, desto tiefer muss man in das Programm einsteigen, desto komplexer wird das Thema. Und desto klarer wird es, dass lokale Unterschiede in der Welt dazu führen, dass World3-3 keine genauen Daten liefern kann, sondern nur grobe Eckpunkte vorgibt.

1. Das Programm „World3“

Die Autoren Nebel/Kling haben eine neue Version des Programms World3 verwendet. Diese Version World3-3 ist in Python geschrieben. Das Programm ist zu finden auf der Webseite [2]:

[GitHub - TimSchell98/PyWorld3-03: 2005 updated version of PyWorld3](https://github.com/TimSchell98/PyWorld3-03)

Ich habe eine Version der Sprache Python verwendet, die Anaconda heißt [3]:

<https://www.anaconda.com/download>

Damit habe ich eigene Rechnungen durchgeführt.

Der Bericht der Gruppe Nebel enthält eine Liste der Eingangsvariablen, die sie angepasst haben, indem sie aktuelle Wirtschaftsdaten als Basis nahmen. Die optimale Anpassung hat die Gruppe Nebel gefunden, indem sie die Daten automatisch variiert haben. Das Verfahren der Optimierung kenne ich aus der Physik, und halte es für einen guten Weg der Bestimmung der Variablen. Ich habe die im Bericht der Gruppe Nebel genannten, optimalen Variablen [1] in das Programm World3-3 eingegeben und erhalte dieselben Diagramme wie die Gruppe Nebel, mit dem Einbruch der Industrieproduktion in 2025 oder vorher (Abbildung 1).

2. Die Ursachen der Abweichung

Es gibt Dinge, die ich in World3-3- vermisste.

a) Es ist keine Nachbildung erneuerbarer Energien enthalten. Man kann die Anlagen für erneuerbare Energien zwar als Teil der Industriegüter ansehen, aber das ist ungenau.

b) Und es ist keine Lebensdauer für Bauwerke vorgesehen. Lediglich die Lebensdauer von Industriegütern ist Teil des Programms und beträgt etwa 15,3 Jahre (Wert der Gruppe Nebel). Bauwerke wie Brücken, Eisenbahnanlagen, Häuser und Schulen haben eine Lebensdauer in der Größenordnung von 50 Jahren, wurden in der Phase steigenden Energiekonsums erstellt, und deren langsamer Zerfall macht steigende Kapital- und Energiemengen zur Reparatur nötig.

Zuerst habe ich die Produktionszahlen für PKW geprüft und fand einen Fehler in meinen Daten. Ich habe vorher für die Jahre 2023-2025 zu hohe Werte verwendet, und habe diese Zahlen nach unten korrigiert.

Potentielle Programmfehler in World3-3: Fehler könnten zwar vorhanden sein, aber wenn die Outputs des Programms bis einschließlich ca. 2019 mit der Realität übereinstimmen, warum sollten sie dann 2025 nicht mehr stimmen?

Meine Folgerung ist, dass Nebel/Kling für die Bestimmung der Input-Variablen fragliche Wirtschaftsdaten verwendet haben. Zur Erinnerung: 2020 gab es den Wirtschaftseinbruch durch Corona, von dem sich die Weltwirtschaft erst nach 2023 weitgehend erholt hat. Wenn die Daten der letzten Jahre 2020-2022 durch Corona verzerrt sind, kann das Ergebnis auch verzerrt sein.

3. Optimierung der Input-Daten

Aufgabe ist also die Optimierung der Input-Variablen mit neuen Wirtschaftsdaten. Als „Einzelkämpfer“ kann ich nicht alle Daten optimieren, sondern nur ausgewählte. Und ich habe mich für die Optimierung in Bezug auf die Autoverkaufszahlen entschieden. Und ich habe nur eine einzige der Variablen optimiert, nämlich die Zahl der anfänglichen Energierohstoffe. Dies sind im Programm als nicht Erneuerbare Rohstoffe bezeichnet.

Folglich habe ich die Zahl der Energierohstoffe optimiert, so dass der von World3-3 berechnete „Industrial Output“ am besten mit der Produktion aller Motorfahrzeuge übereinstimmt. Die vom Programm World3-3 verwendeten Daten haben alle einen physikalischen Hintergrund, im Fall der erneuerbaren Rohstoffe sind es Tonnen an Rohstoffen.

Die reale Motorfahrzeugproduktion hatte ein Maximum in 2017, und ein zweites in 2025. Das Maximum in 2025 ist wegen der weltweiten Subventionen für Elektrofahrzeuge etwas höher als es ohne wäre.

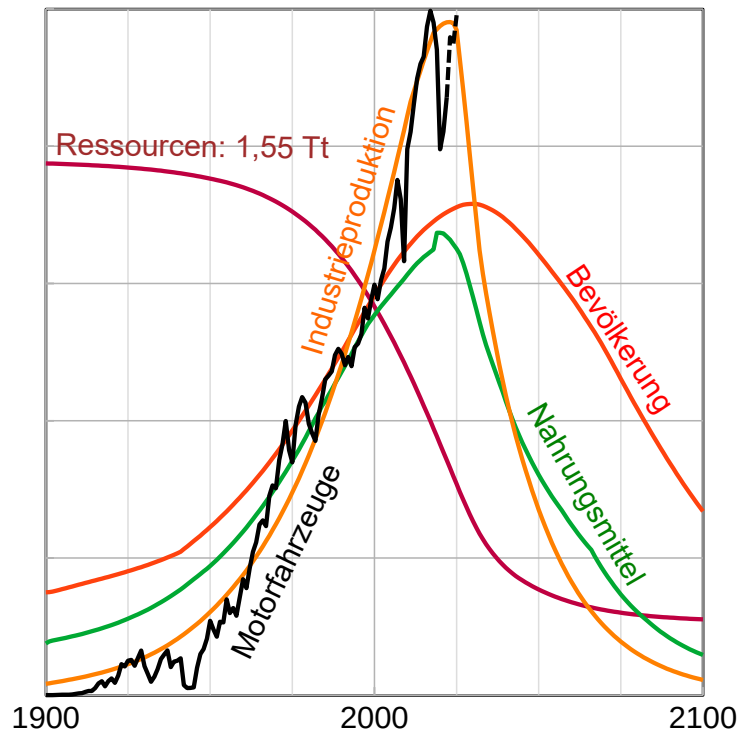


Abbildung 2: Neuberechnung mit 1,55 Tt Energierohstoffen. Die schwarze Kurve ist die historische Autoproduktion. Quelle der Daten zum Automobil: [13] und für 2025 eigene Statistiken des Autors.

Und es ergibt sich ein optimaler Wert der Energierohstoffe von 1,55 Teratonnen statt der 1,3 Teratonnen von Nebel/Kling (Abbildung 3).

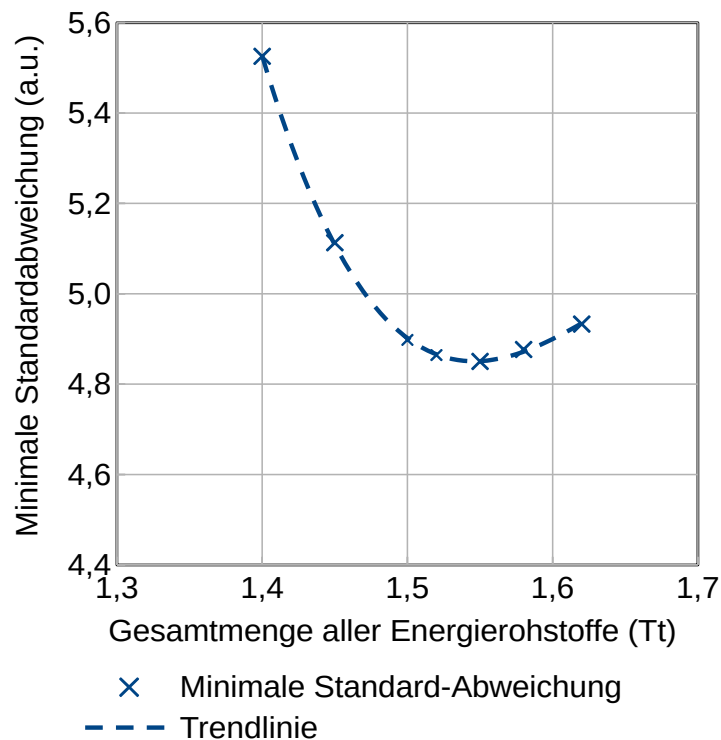


Abbildung 3: Minimale Standardabweichung zwischen KFZ-Produktion und Industrieproduktion bei Variation der Menge der Energierohstoffe. Das Minimum liegt bei 1,55 Tt anfänglicher Energierohstoffe.

Die Zahl von 1,55 Teratonnen ist erstmal ein abstrakter Wert. Wie kann man checken, ob 1,55 Teratonnen ein realer Wert ist? Es geht mit den Zahlenwerken des Energy Instituts [6]. (<https://www.energyinst.org/statistical-review>) Diese enthalten Mengenangaben zu den Verbräuchen von fossilen Rohstoffen Kohle, Erdöl, und Erdgas seit 1965. (Abbildung 12) Es ist kein Problem, diese Daten zu addieren, und die Verbrauchsmengen in Teratonnen ab 1965 zu ermitteln. Dabei wurden die Umrechnungsfaktoren für Erdöl 7,3 bbl = 1 t und für Erdgas von 1000 m³ = 1,3 t verwendet. Für die Zeit vor 1965 nehme ich an, dass die bis dahin kumulierte Förderung insgesamt des 20-fache des Werts von 1965 beträgt.

Die Hubbert-Linearisierung [4] von Förderdaten ist ein üblicher Weg, um Projektionen für die Gesamtförderung einer Resource mit den aktuellen Daten zu machen. Dabei wird auf der x-Achse die bisherige Gesamtförderung eines Rohstoffs aufgetragen. Auf der y-Achse wird der Quotient aus aktueller Förderung und bisheriger Gesamtförderung aufgetragen. Im Normalfall ergibt sich eine Gerade. Deren Schnittpunkt mit der x-Achse ergibt die Gesamtanzahl des Rohstoffs.

Eine Hubbert-Linearisierung der gesamten verbrauchten Energierohstoffe der Welt ist in Fehler: Verweis nicht gefunden als rote Linie dargestellt. Die Gesamtzahl der Energierohstoffe ist nach dieser Projektion 2,05 Teratonnen.

Die Rohstoffmenge von 2,05 Teratonnen ist sozusagen die nach heutigen Erkenntnissen maximal mögliche extrahierbare Menge, unter der Voraussetzung, dass nur die Geologie und nichts anderes die Förderung begrenzt. Der Energieaufwand zur Förderung ist aber das begrenzende Element, die 2,05 Teratonnen sind also ein theoretischer Maximalwert, der garantiert nicht erreicht wird.

Welcher Wert zwischen den 1,55 Teratonnen und den 2,05 Teratonnen ist letztendlich gültig?

Wenn man von den Verbrauchsdaten der Welt die Daten von China abzieht, ergibt sich eine steilere Trendlinie (grüne Linie) für die Welt ohne China. Die Erklärung dafür ist, dass Chinas erst relativ spät, seit ca. 1990, in eine Wachstumsphase eingetreten ist. Chinas Hubbert-Linearisierung (Abbildung 4) ergibt einen Wert von 250 Gigatonnen, Welt und China zusammen sind 1900 Gigatonnen.

Es gibt noch andere Entwicklungen, die erst in letzter Zeit eine Anhebung der Fördermengen bewirkt haben: z.Bsp. Schieferöl in USA (siehe unten, Ölfeld Permian) und Argentinien und das Ölfeld Johan Sverdrup. Deshalb ist die Gesamtförderung niedriger, 1800 Gigatonnen kann man als maximal möglichen Wert ansehen.

Für mich sind die Werte aus den Hubbert-Extrapolationen die wahrscheinlichsten Mengen fossiler Rohstoffe:

- Welt ohne China: 1550 Gt
- China: 250 Gt
- Welt total: 1800 Gt

Gleichsetzen der Daten von Energierohstoffen des Energy Instituts mit den Rohstoffdaten von World3-3 hat ein Problem: Sind die Daten wirklich dieselben? Wie groß ist der Unterschied?

Eine Unsicherheit verbleibt.

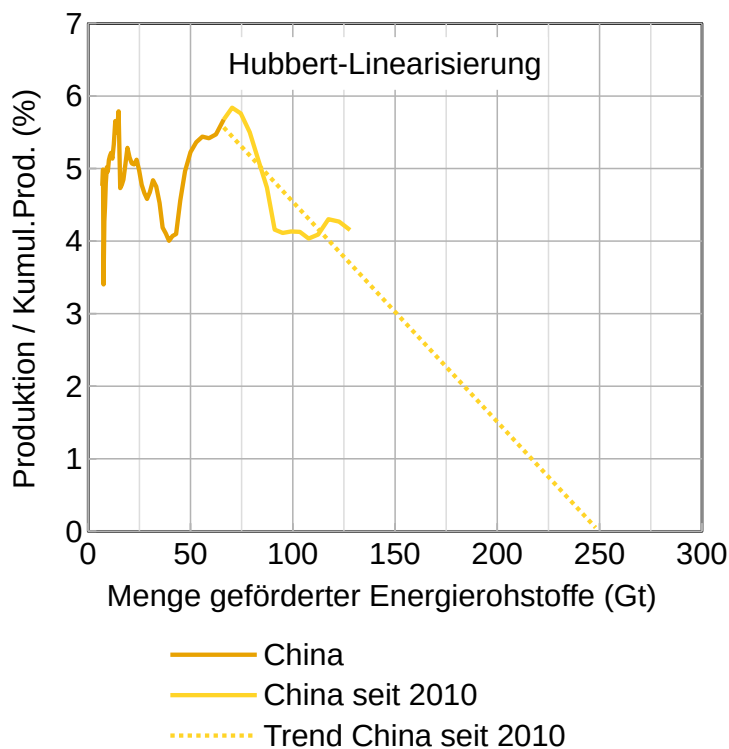


Abbildung 4: Hubbert-Linearisierung für China, für die Summe der fossilen Energierohstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas.

4. Vergleich weiterer Ausgabewerte von World3-3 mit realen Daten

World3 liefert weitere Ausgabedaten:

Bevölkerungsentwicklung : Das reale Bevölkerungswachstum [7] ist lokal sehr unterschiedlich. Während China heute Nullwachstum zeigt, steigt die Bevölkerung Afrikas seit Jahrzehnten entsprechend einer E-Funktion. Unabhängig von dem eingegebenen Ressourcenwert zeigen die World3-Simulationen eine Abschwächung des Bevölkerungswachstums seit 2010. Diesen gibt es bei den realen Daten in abgeschwächter Form, aber erst nach 2017.

Daten zur realen Nahrungsmittelproduktion [7] gibt es nur bis 2023. Für „Cereals“ und „Meat“ gibt es bei OWID Daten bis 2023, für „Fish/Seafood“ bis 2022. Bei „Fish/Seafood“ könnte es eine leichte Abnahme nach 2018 geben, bei den beiden anderen ist nichts erkennbar. Aus World3 würde eine Abschwächung der Nahrungsmittelproduktion seit etwa 2015 folgen, parallel zur Bevölkerungsentwicklung.

In den inflationskorrigierten Preisen von Nahrungsmitteln ist bei „Cereals“ keine Preissteigerung erkennbar, aber die Preise für „Meat“ und „Fish/Seafood“ sind trotz Inflationskorrektur deutlich im Steigen. Preise sind allerdings kein Teil von World3-3.

Im Gegensatz zur Industrieproduktion hat das reale Bevölkerungswachstum bisher nur eine schwache Abnahme. Das läßt den Verdacht aufkommen, in der realen Welt wird derzeit ein größerer Teil der fossilen Energierohstoffe zur Nahrungsmittelproduktion eingesetzt als das Programm World3 annimmt. Die zur Verfügung stehenden fossilen Rohstoffe wären demnach etwas höher als 1550 Gt.

5. Lokale Unterschiede

Europa und Deutschland haben nur noch ein schwaches Wirtschaftswachstum, China ein starkes, die USA liegen irgendwo dazwischen. Die lokal zur Verfügung stehenden Mengen fossiler Rohstoffe unterscheiden sich deutlich. Randers hat in seinem Buch [16] gesonderte Betrachtungen für mehrere Regionen der Welt durchgeführt. Europa und Deutschland sind als erste vom Rückgang der Rohstoffe betroffen.

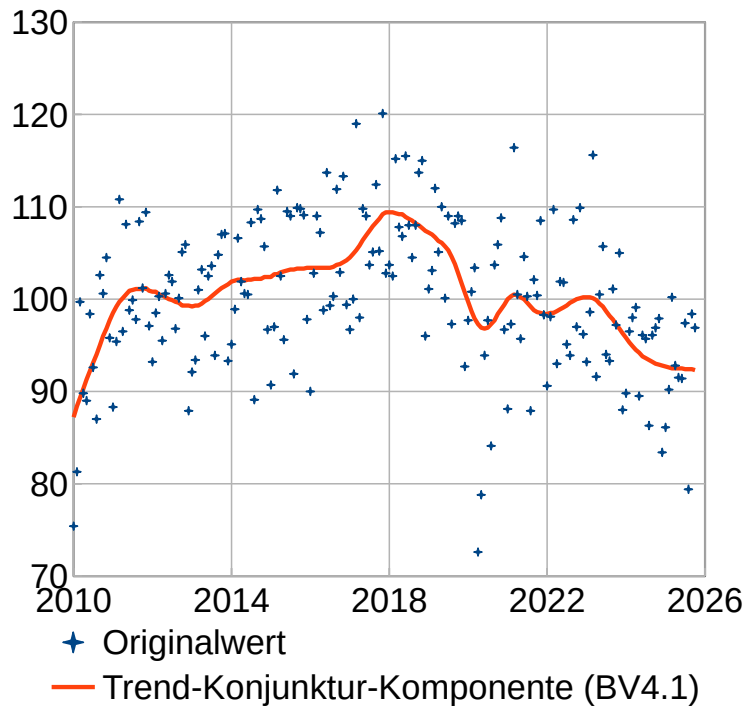


Abbildung 5: Produktionsindex der deutschen Industrie. Normiert auf 100 in 2021

Quelle [8]: Destatis, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Produktion/kpi117.html#355032>

Abbildung 5 zeigt den Produktionsindex von Deutschland. Er hatte sein Maximum in 2017/18 und fällt seitdem langsam.

6. Check der verbrauchten Rohstoffmengen

Kann es tatsächlich sein, dass genau jetzt (im Jahr 2025 oder 2026) das Maximum der Förderung fossiler Energierohstoffe ist? Bei der Erdölförderung ist das wahrscheinlich.

Es gibt bei der „Erdölförderung Crude and Condensate“ zwei Maximalwerte mit fast gleicher Höhe: November 2018 und August 2025 (siehe Abbildung 6).

Aus der Internetseite „Peakoilbarrel“ (<https://peakoilbarrel.com/short-term-energy-outlook-november-2025/>) [10] stammt Grafik Abbildung 7 :

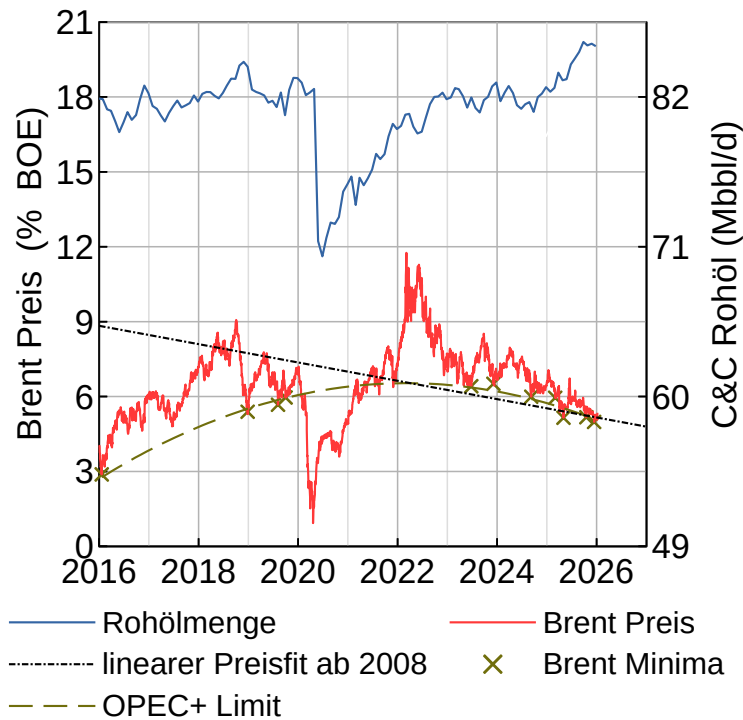


Abbildung 6: Welt-Rohölförderung und Erdölpreis mit spezieller Inflationskorrektur, basierend auf dem Energieinhalt des Barrels Erdöl. Die gestrichelte schwarze Linie ist ein linearer Fit an den Ölpreis seit 2008.

Anmerkungen zu Abbildung 6: Dargestellt ist die aus der Erde geförderte Rohölmenge „Crude and Condensate“, nicht „All Liquids“. Der Erdölpreis in %BOE ist aus dem Brent-Preis berechnet. Es ist der Prozentsatz der Energie, den der Ölförderer bekommt. Die gestrichelte schwarze Linie ist ein linearer Fit an den Ölpreis seit 2008. Der Autor ist der Meinung, auch in Zukunft wird der Ölpreis dieser Kurve folgen. Er glaubt, diese Kurve liegt dicht unter einer Obergrenze, unterhalb der Ölkonsumenten mit dem Einsatz von Erdöl Geld verdienen können. Die gestrichelte grüne Kurve wird durch die dunkelgrünen Kreuze bestimmt. Ein Kreuz wird von mir bei den Minima der Ölpreise gesetzt. Die Minima ihrerseits sind Folge der Preispolitik der OPEC. Wenn der OPEC der Ölpreis zu niedrig ist, reduziert sie die Förderung, so dass der Preis wieder steigt. Die beiden gestrichelten Kurven sind seit Anfang 2021 fast identisch.

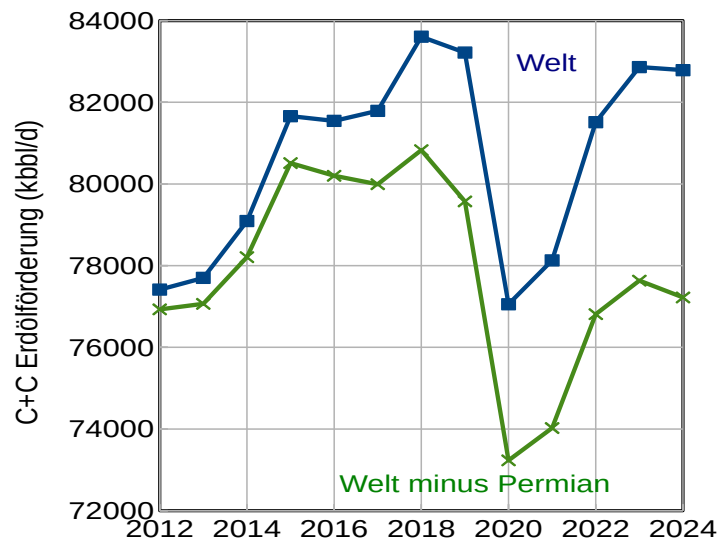


Abbildung 7: Förderkurve der Welt mit und ohne Ölfeld Permian [10]

Die Welterdölförderung wird quasi durch ein einziges Ölfeld, das Permian, hoch gehalten. Im Permian erfolgt die Erdölförderung durch Fracking. Die Ölproduktion in diesem Feld sieht so aus:

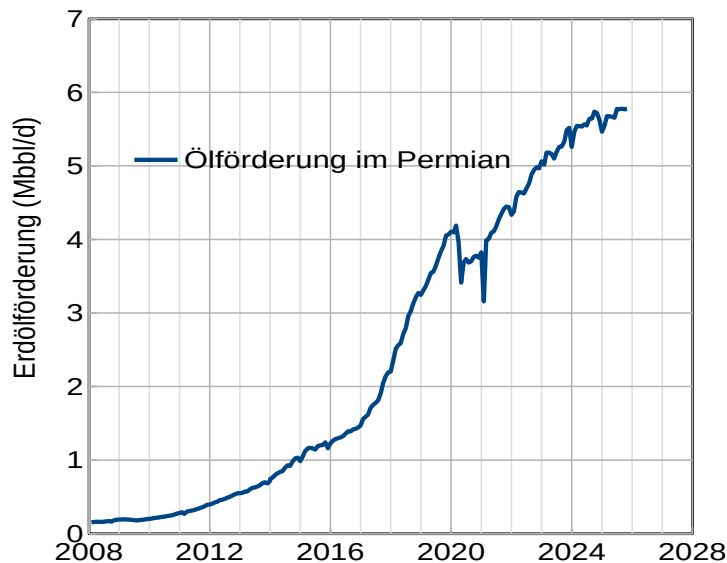


Abbildung 8: Ölförderung im Permian. Datenquelle [11]

Das sieht einer Normverteilungskurve so ähnlich wie es nur geht, und müsste nach Hubbert Linearisierung ab jetzt weniger werden. Im Januar 2026 wird die Produktion im Permian wetterbedingt etwas einbrechen, so wie jedes Jahr. Ob es tatsächlich bergab geht, ist also erst in Mai/Juni 2026 klar.

Das bedeutet: Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist etwa jetzt das Maximum der Welt-Erdölproduktion oder es ist sogar schon 2018 überschritten worden.

Spannend ist für mich die Kohleproduktion in China. Chinas Kohleverbrauch in 2024 betrug 51,7% des Weltverbrauchs. Dort muss etwa jetzt auch das Maximum der Produktion erreicht sein. Mit eigenen Berechnungen habe ich Abbildung 9 als wahrscheinliche Förderkurve von China erhalten. Offizielle Berichte zu China [5] gehen von einem Maximum der chinesischen Kohleförderung jetzt oder in naher Zukunft aus.

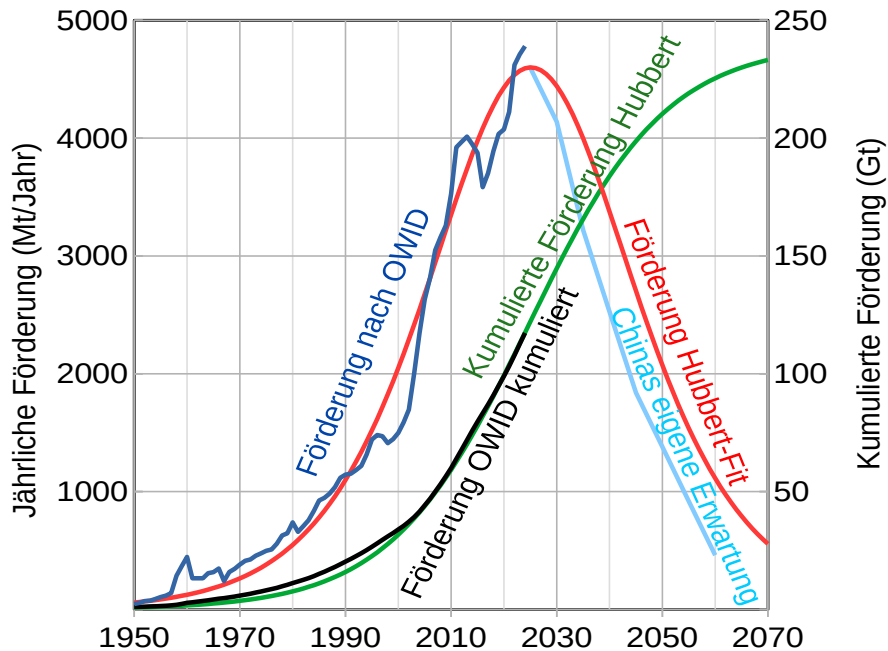


Abbildung 9: Angenäherte zu erwartende jährliche Förderung und kumulierte Kohleförderung in China unter der Voraussetzung, dass die Daten zu China in [6] und [9] stimmen. Die Kurve „Chinas eigene Erwartung“ ist mit den Daten aus [5] erstellt.

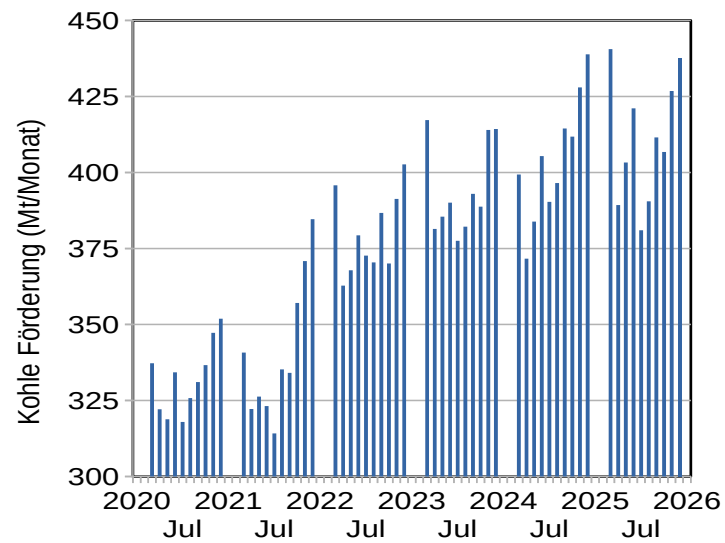


Abbildung 10: Monatliche Kohleförderung der letzten Jahre in China, jeweils März bis Jahresende.
 Quelle [12]: <https://tradingeconomics.com/china/coal-production>. In 2025 steigt die Kohle-
 Förderung Chinas nach Daten der ersten 11 Monate etwa 2,6% gegenüber 2024.

Mindestens bei Erdölförderung und Kohleförderung sieht es so aus, als wäre das Fördermaximum etwa im Jahr 2026. Es sieht nicht so aus, als ob „Business as usual“ noch lange gilt.

7. Unterschiedliche Rohstoffwerte

Abbildung 11 zeigt den Vergleich der Fahrzeugproduktion mit drei Anfangswerten für Rohstoffe. Der Vergleich erlaubt leider keine zuverlässige Aussage, welcher Rohstoffwert wirklich der beste ist. Die Fahrzeugproduktion könnte mit jeder drei Werte übereinstimmen, je nachdem wie sich die Fahrzeugproduktion in 2026-2028 entwickelt.

Außerdem können lokale Unterschiede in der Welt bewirken, dass sich Länder auf der abschüssigen Seite der Kurve „Industrieproduktion“ befinden, andere noch vor dem Maximum sind.

Aber eins ist klar: Die Welt ist in einer kritischen Phase. Sie ist dicht am „Limit of Growth“.

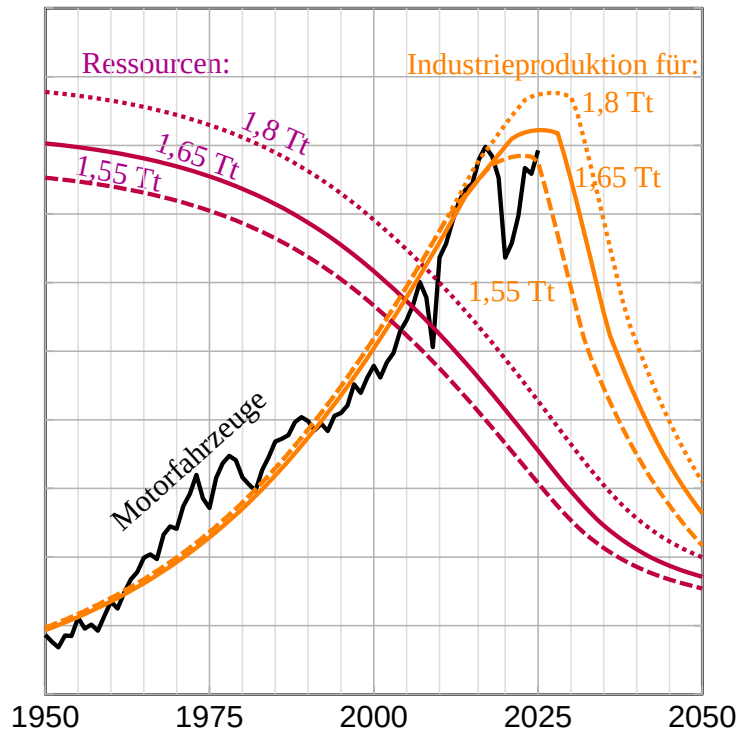


Abbildung 11: Vergleich von Motorfahrzeugproduktion (All Motor Vehicles) mit drei Werten für Ressourcen und industrieller Produktion.

Und als Deutscher, der auch die Abbildung 5 kennt, nehme ich diese Diagramme sehr ernst. In der deutschen Presse werden neben dem Ukrainekrieg als Hauptprobleme diskutiert: ausbleibendes Wirtschaftswachstum, Unzuverlässigkeit der Bundesbahn, hohe Energiekosten, der schlechte Zustand der Infrastruktur. Das sind alles Dinge, die sich durch die „Limits of Growth“ ergeben.

Wird der Rückgang der Industrieproduktion so schnell erfolgen, wie Abbildung 11 zeigt? Jorgen Randers [16] erwartet durch den Einsatz erneuerbarer Energien deutlich flachere Kurven, als sich aus World3-3 ergibt. Da der Zerfall der Infrastruktur in World3-3 nicht abgebildet ist, kann aber meiner Meinung nach der Rückgang auch steil sein. In kurz: Ich kann es nicht beurteilen.

Meine Folgerung: Je mehr man sein Leben mit weniger Energie bestreiten kann, je mehr der Energie aus Erneuerbaren stammt, desto besser.

8. Vergleich mit früheren Berechnungen zum World3 Programm

1972: Der ursprüngliche Bericht „Limits to Growth“ [14] hat als Rohstoffdaten die damals geltenden Werte des US Geological Survey genommen und damit die Berechnungen zu BAU (Business as usual) durchgeführt und erhielt ein Maximum der Industriellen Produktion in 2010. Mit doppelten Rohstoffdaten (BAU2) ergab sich ein Maximum in 2025.

1975: Im Buch „DYNAMICS OF GROWTH IN A FINITE WORLD“ [15] wurde das Programm „World3“ detailliert beschrieben. Für die insgesamt vorhandenen Energierohstoffe wurde angenommen, dass sie das 250-fache des Verbrauchs von 1970 betragen. Berechnet wird für den „Reference run, Fig. 7-8“ ein Maximum der Industrieproduktion in ca. 2018 und für doppelte Ressourcenmenge (Fig. 7-10) das Maximum in ca. 2035.

2012: Jorgen Randers hat das Buch „2052 Der neue Bericht an den Club of Rome“ [16] veröffentlicht, in dem er viele neue Wirtschaftsdaten und erneuerbare Energien als Grundlage nimmt, um eine Projektion für den Wirtschaftsverlauf bis 2052 zu machen. Er sieht den Übergang zu erneuerbaren Energien als Ursache für kleineren Verbrauch fossiler Rohstoffe an, nicht einen eintretenden Mangel. Bei ihm liegt das Maximum der Industrieproduktion (Abb. 4-4) ca. in 2045. Das Maximum des Verbrauchs fossiler Rohstoffe erwartet er nach Abb. 5-3 (CO₂-Maximum) in 2030. Er sagt bei vielen Kurven ein langsames Abflachen statt einem steilem Abfall nach dem Maximum voraus.

2020: Gaya Herrington [17] prüft das World3 Modell auf Gültigkeit für die heutige Zeit und befindet es für zutreffend. Für die vorhandenen Ressourcen verwendet sie Daten aus BP's „Statistical Review of World Energy (2019)“. Im wesentlichen bestätigt sie die Berechnungen aus [15] mit Maximum der Industrieproduktion für BAU in ca. 2020 und für doppelte Ressourcen für BAU2 das Maximum in ca. 2035. Eine Betrachtung mit doppelter Rohstoffmenge (BAU2) ist nach Meinung des Autors mittlerweile überflüssig, da die Datenlage über Rohstoffreserven sich im Vergleich zu 1972 deutlich verbessert hat.

2023: Die Gruppe um A.Nebel [1] hat als erste versucht, die aktuelle Wirtschaftsproduktion mit dem Model World3-3 so zu verknüpfen, dass der Termin für den Niedergang der Industrie genau bestimmt wird. Wegen der Verzerrung der Wirtschaftsdaten durch Covid-19 haben sie die Rohstoffdaten zu niedrig angesetzt (1,3 Tt) und den Termin zu früh (2023) angesetzt.

9. Brauchen wir Fossile Rohstoffe überhaupt noch, es gibt doch Erneuerbare Energien?

Der Bericht des Energy Instituts enthält Daten zum Verbrauch Erneuerbarer Energien im Vergleich zu Fossilen Energien. Nach Abbildung 12 ist der Anteil der Erneuerbaren etwa 17% am Gesamtanteil. Und, wenn man ehrlich ist, bisher wurden wenig Fossile Energien durch Erneuerbare ersetzt, die Erneuerbaren kamen „On-Top“ zusätzlich zu den Fossilen hinzu.

Erneuerbare Energien sind eher ein Produkt des Einsatzes Fossiler Energien als ein Ersatz dafür. Es ist lange noch nicht geklärt, ob eine industrielle Welt nur mit Erneuerbaren existieren kann. Es ist möglich, dass sie nur eine Art „Range Extender“ sind.

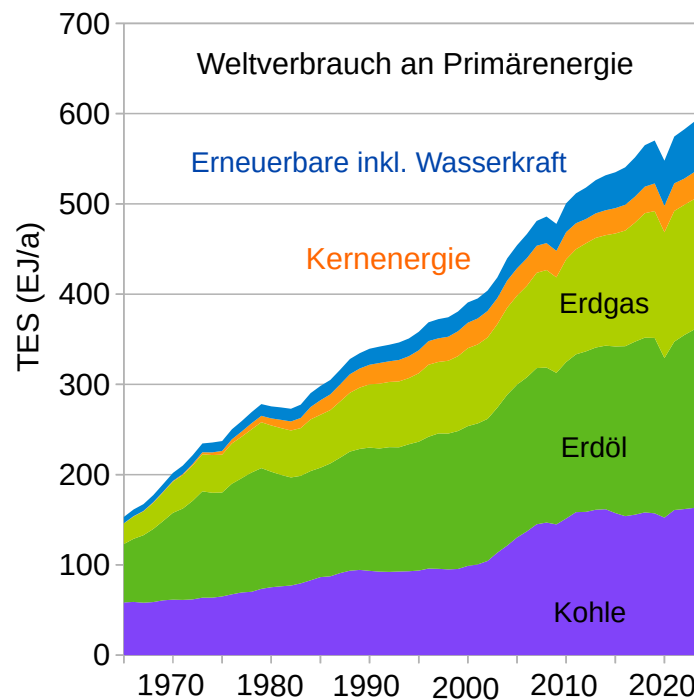


Abbildung 12: Weltverbrauch aller Energieformen (TES: Total Energy Supply), angegeben in ExaJoule.

10. Ergebnis

Eine neue Berechnung mit Hilfe Programms World3-3 liegt vor. Die wesentliche Änderung zu „Recalibration23“ ist, dass der Inputwert der Anzahl der Erneuerbaren Ressourcen von 1300 Gigatonnen auf mindestens 1550 Gigatonnen für die Welt ohne China erhöht ist. China kann weitere 250 Gigatonnen beitragen. Der alte Wert war durch den Wirtschaftseinbruch aufgrund von Covid-19 nach unten verzerrt worden, die echte Ressourcenmenge liegt höher.

Was bedeutet es, dass die Ressourcenmenge aller Fossilen Rohstoffe der Welt ohne China etwa 1550 Gigatonnen beträgt? Siehe Abbildung 2.

Es bedeutet zuerst, dass die Rohstoffmengen der Welt begrenzt sind und dass davon etwa die Hälfte verbraucht ist.

Es bedeutet, dass jeder einzelne Bürger dieser Erde ab jetzt stetig weniger Energie zur Verfügung haben wird. Nicht nur dass, der Erhalt der Infrastruktur jedes Landes verbraucht zusätzlich einen wachsenden Anteil des Gesamtkuchens. Insbesondere Deutschland ist davon betroffen, da es außer Braunkohle so gut wie keine fossilen Energierohstoffe mehr hat, die Infrastruktur vernachlässigt hat, und die Autoproduktion ein wichtiger Wirtschaftsfaktor ist. Die gesellschaftspolitischen Folgen dieser Effekte sind nicht vorstellbar.

Weitere Beobachtung von Eingangsdaten und Ausgangsdaten zu World3-3 ist unbedingt erforderlich, ebenso wie eine Veröffentlichung der Resultate. Das ist Grundvoraussetzung, um die durch den zukünftigen Rohstoffmangel entstehenden Probleme abzumildern.

11. Literatur

- [1] A.Nebel, A.Kling, R. Willamowski, T.Schell: „Recalibration of limits to growth: An update of the World3 model“, November 2023, [Journal of Industrial Ecology](https://www.researchgate.net/publication/375610074) 28(1)
<https://www.researchgate.net/publication/375610074> [Recalibration of limits to growth An update of the World3 model](https://www.researchgate.net/publication/375610074)
- [2] Das Programm World3-3 ist zu finden unter: [GitHub - TimSchell98/PyWorld3-03: 2005 updated version of PyWorld3](https://github.com/TimSchell98/PyWorld3-03)
- [3] Die Programmiersprache Python ist zu finden unter: <https://www.anaconda.com/download>
- [4] Hubbert-Linearisierung: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hubbert-Linearisierung>
- [5] Chinas Planung zur Kohleförderung: <https://www.assetnews4u.com/energy/charting-chinas-evolving-primary-energy-mix-through-2060/>
- [6] Daten des Energie Instituts: EI-Stats-Review-ALL-data.xlsx
<https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>
- [7] Die Datenbank „Ourworldindata“ enthält Daten zum Bevölkerungswachstum
<https://ourworldindata.org/population-growth> und vieles mehr.
- [8] Destatis, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Produktion/kpi117.html#355032>
- [9] Historische Daten zur Kohleförderung in China: Our World in Data,
<https://ourworldindata.org/grapher/coal-production-by-country?tab=chart&country=~CHN>
- [10] Daten zur US-Erdölförderung: <https://peakoilbarrel.com/short-term-energy-outlook-november-2025/>
- [11] Energy Information Agency der USA: <https://www.eia.gov/outlooks/steo/xls/fig42.xlsx>
- [12] Aktuelle Förderdaten zur Kohle in China: <https://tradingeconomics.com/china/coal-production>
- [13] Wikipedia: Wirtschaftszahlen zum Automobil,
https://de.wikipedia.org/wiki/Wirtschaftszahlen_zum_Automobil
- [14] „Limits of Growth“, Buch von Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers und William W. Behrens III, erschienen 1972; ISBN 0-87663-901-5, ISBN 0-87663-165-0
- [15] „DYNAMICS OF GROWTH IN A FINITE WORLD“, Buch von Dennis L. Meadows, William W. Behrens III, Donella H. Meadows, Roger F. Naill, Jorgen Randers, Erich K.O. Zahn, erschienen im August 1975, ISBN 0-9600294-4-3
- [16] Jorgen Randers: „2052 Der neue Bericht an den Club of Rome“, erschienen 2012, ISBN 978-3-86581-398-5

[17] Gaya Herrington, 2020: „Update to limits to growth – Comparing the World3 model with empirical data “ ; Journal of Industrial Ecology 2020;1–13

[18] Eine Online-Simulation zu Word3 findet man hier:

<https://insightmaker.com/insight/2pCL5ePy8wWgr4SN8BQ4DD/The-World3-Model-Classic-World-Simulation>

12. Abkürzungen

AMV	All Motor Vehicles , alle Kraftfahrzeuge einschließlich LKW und Busse, ohne Zweiräder.
BAU	„ B usiness as u sual“ bedeutet, dass man in Zukunft die Politik und Verhaltensweisen der Vergangenheit weiter behält. Bei BAU-Berechnungen wird die derzeit bekannte Menge an Ressourcen als Basis genommen.
BAU2	Wie BAU, aber mit doppelter Ressourcenmenge.
bbl	Abkürzung für Barrel Erdöl, blue barrel .
BOE	Barrel of Oil Energy . Energieinhalt eines Barrels Erdöl: 1 BOE = 5,86152 GJ
%BOE	Verkaufspreis des Barrels Erdöl, umgerechnet von US-Dollar mit Hilfe der Energieproduktivität. Anschaulich ist das die Energiemenge in Prozent, die der Förderer von 100 % Energieinhalt des Barrels bekommt.
C+C	Crude and Condensate , aus der Erde gefördertes Rohöl. Im Gegensatz dazu wird oft „All Liquids“ genannt, das ist die Summe aus C+C, Biotreibstoffen, Raffineriegewinn und gefördertem Flüssiggas.
C&C	Siehe C+C.
EI	E nergy I nstitute.
OWID	„Our World in Data“, Internetdatenbank.
oC	o hne C hina.

Abkürzungen für Mengenangaben

Kurzzeichen	Name	Zahlenwert
k	Kilo	10 ³
M	Mega	10 ⁶
G	Giga	10 ⁹
T	Tera	10 ¹²
P	Peta	10 ¹⁵
E	Exa	10 ¹⁸

1 Gt = 1 Gigatonne = 10⁹ Tonnen