

Berechnungen zur Lebensdauer der Fahrzeugproduktion und der Erdölförderung

Dr.-Ing. Diplom-Physiker Berndt Warm, 09.10.2022

Vorwort

Erdölförderung und Autofahren sind verbunden wie siamesische Zwillinge. Ohne fossile Treibstoffe bewegt sich kaum ein Fahrzeug. Erdöl liefert die Energie für den Antrieb. Erdöl liefert Energie für die Erdölförderung. Und liefert einen Großteil der Energie zum Fahrzeug- und Straßenbau. Weltweit werden fast nur Verbrennungsmotoren für Motorfahrzeuge verwendet, der Anteil von Elektrofahrzeugen ist im Prozentbereich (1,4% in 2021). Siamesische Zwillinge können manchmal getrennt werden, ansonsten leben und sterben sie gleichzeitig.

Basierend auf offen zugänglichen Daten zu PKW-Fertigung und zur Erdölproduktion wurden auf mehrere Arten die Lebensdauern dieses Zwillings bestimmt. Die eingesetzten mathematischen Verfahren sind Standardverfahren zur Datenauswertung. Es werden die Berechnungsverfahren und Ergebnisse dargestellt, aber keine Details der Berechnungen¹.

Verfahren:

1. Aus der weltweiten Produktion von Motorfahrzeugen
2. Aus dem Ölpreis
3. Aus der monatlichen Produktion von PKWs
4. Aus den deutschen PKW-Daten
5. Aus der Entropiebilanz-Gleichung für offene Systeme²

Bestimmung eines Inflationsunabhängigen Ölpreises

Erdölförderung und Erdölpreis sind miteinander verknüpft. Erdölpreise werden an der Börse in USD/Barrel angegeben. Sie sind der Inflation unterworfen. Das hat zur Folge, dass ein Preis aus dem Jahr 2010 nicht direkt mit dem Preis von 2020 vergleichbar ist, man muss die Inflation einrechnen. Inflationswerte schwanken von Jahr zu Jahr und sind seit 2021 besonders hoch.

Wenn man Preise verschiedener Jahre vergleichen will, muss man folglich ein Bezugsjahr annehmen. Verwendung eines Bezugsjahr hat zwei Nachteile: 1. Es ist nicht standardisiert, jeder Autor verwendet sein eigenes Bezugsjahr. 2. Es veraltet: Wen interessieren heute noch die Preise bezogen auf das Jahr 2000 ?

Ein unabhängiges Bezugssystem muss her. Dafür wird das Globale Bruttonutzenprodukt der Welt (Global Domestic Produkt, GDP) genutzt. Division des GDP durch den Welt-Primärenergieverbrauch ergibt die Energieproduktivität. Sie ist in Abbildung 1 dargestellt. Mit Hilfe der Energieproduktivität kann man den Preis eines Barrels Rohöl in den Energieinhalt des Barrels umrechnen und als Prozentwert angeben.

1 Details und thermodynamische Berechnungen : Berndt Warm, „Die kurze Endphase des Ölzeitalters: Erdöl, Autoproduktion und Thermodynamik“, ISBN-13 : 978-3347487307

2 Sobald Entropie und Exergie ins Spiel kommen, werden die Aussagen für viele Leser unverständlich. Bisher habe ich keine Lösung dafür. Tut mir leid.

Der Primärenergieinhalt eines Barrels Erdöl (=Barrel of Oil Equivalent, BOE) ist 1 BOE bzw. 1628,2 kWh. BOE ist eine in der Ölindustrie gebräuchliche Energieeinheit.

Den Preis eines Barrels Erdöl, der in US-Dollar angegeben wird, kann man in einen Prozentsatz der Energie des Barrels umrechnen. Der Umrechnungsfaktor dafür ist die Energieproduktivität Abbildung 1. Der Prozentsatz wird berechnet mittels:

$$\% BOE = \frac{\text{Preis(USD/bbl)} * 100}{EP(t) * 1628,2 \text{ kWh}}$$

Dabei ist:

Preis(USD/bbl) : der Rohölpreis in US-Dollar pro Barrel

$EP(t)$: der Wert der Energieproduktivität EP aus Abbildung 1 für das betrachtete Jahr.

$\% BOE$: gibt an, wieviel Prozent des Energieinhalts pro Barrel bezahlt wird. Eine andere Bezeichnung für %BOE ist „Spezifischer Energieinhalt in Prozent“.

Beispiel:

Das Barrel Brent kostet im Jahr 2020 60 USD. $EP(2020)$ ist 0,55 USD/kWh.

$$\text{Kosten pro Barrel} = \frac{60 * 100}{0,55 * 1628,2} = 6,7 \% BOE$$

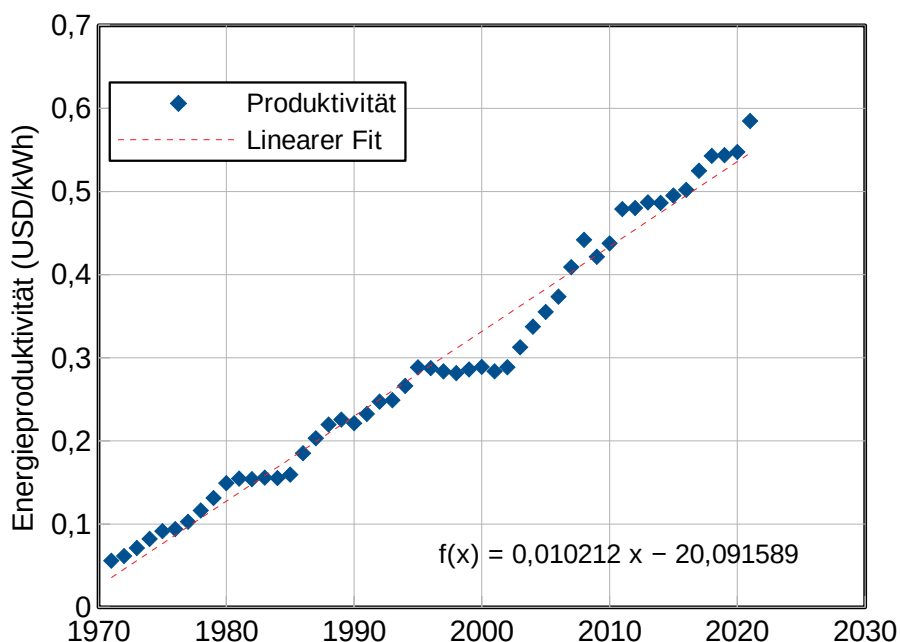


Abbildung 1: Energieproduktivität $EP(t)$. Der Wert $EP(t)$ gibt an, wieviel Dollar die Weltwirtschaft pro kWh Primärenergie erwirtschaftet hat. Die der Grafik zugrunde liegenden Daten bis 2020 stammen von der Weltbank. Der Wert für 2021 basiert auf Daten von BP, Statista und anderen Quellen. Für 2022 wird die Kurve aus den Daten von 2020 und 2021 extrapoliert.

Vorteil der Angabe in %BOE ist, dass die Werte nicht abhängig von einem Bezugsjahr sind. Der Nachteil ist, dass Werte für $EP(t)$ der zwei letzten Jahre geschätzt werden müssen und nur ungenau bekannt sind, da die Weltbank die Daten mit Verzögerung veröffentlicht.

Die Energieproduktivität erlaubt es Geld auf einfache Weise in Energien umzurechnen. Das ist wichtig, denn die Wirtschaft läuft mit Energie, nicht mit Geld. Dieser Unterschied ist trivial, wird aber immer wieder übersehen. Rohöl wird mit Energie gefördert, nicht mit Geld. Geld wird von Zentralbanken gedruckt, und kann in beliebiger Menge erzeugt werden. Energie ist endlich.

1. Lebensdauerbestimmung aus der weltweiten Produktion von Motorfahrzeugen

Dieses Verfahren nutzt die Anzahl der weltweit gebauten Motorfahrzeuge seit 1900. Die Anzahl ist in Abbildung 2 grafisch dargestellt. Die Daten stammen aus https://de.wikipedia.org/wiki/Wirtschaftszahlen_zum_Automobil. Der Wert für 2022 ist geschätzt anhand der Verkaufszahlen der ersten acht Monate des Jahres 2022.

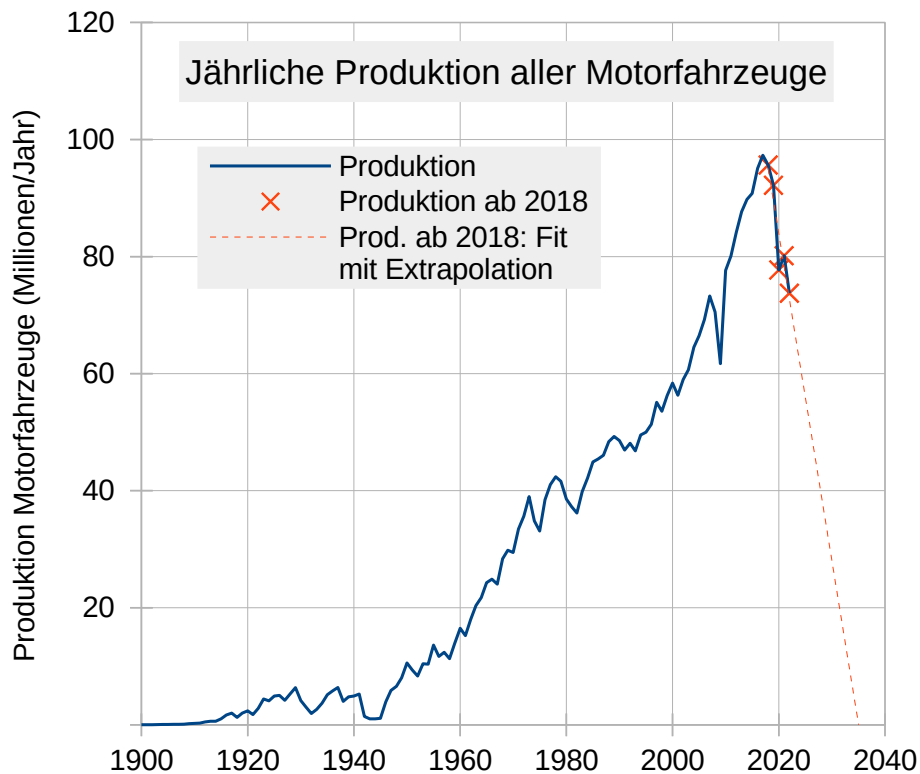


Abbildung 2: Weltweite Jahres-Produktion von Motorfahrzeugen, einschließlich PKW, LKW und Busse. Daten aus Wikipedia und von der OICA.

Das Maximum der Produktion war 2017, seitdem geht sie zurück. Ein linearer Fit³ an die letzten fünf Punkte trifft die Nulllinie ca. im Jahr 2034. Das bedeutet, wenn sich die bisherigen Trends fortsetzen, endet die Fahrzeugproduktion im Jahre 2034.

Ein Verfahren, um aus früheren Produktionsdaten die zukünftig noch mögliche Produktion abzuschätzen, ist die Hubbert -Linearisierung. Sie wird im Bergbau verwendet, um die zukünftig erwartbare Restproduktion eines Bergwerks oder einer Ölquelle vorher zu sagen. Dazu wird für die x-Achse die bisherige aufsummierte Produktion genommen. Für die y-Achse wird für jedes Jahr die aktuelle Jahresproduktion, geteilt durch die bisherige Gesamtproduktion, genommen. Wenn die letzten Daten annähernd auf einer Gerade liegen, ist deren Schnittpunkt mit der x-Achse die gesamt erwartbare Produktion.

³ Lineare Fits und Extrapolationen werden genutzt, weil sich aus den thermodynamischen Berechnungen ergibt, dass die Abnahme der Netto-Energie des Erdöls einer fast linearen Funktion folgt.

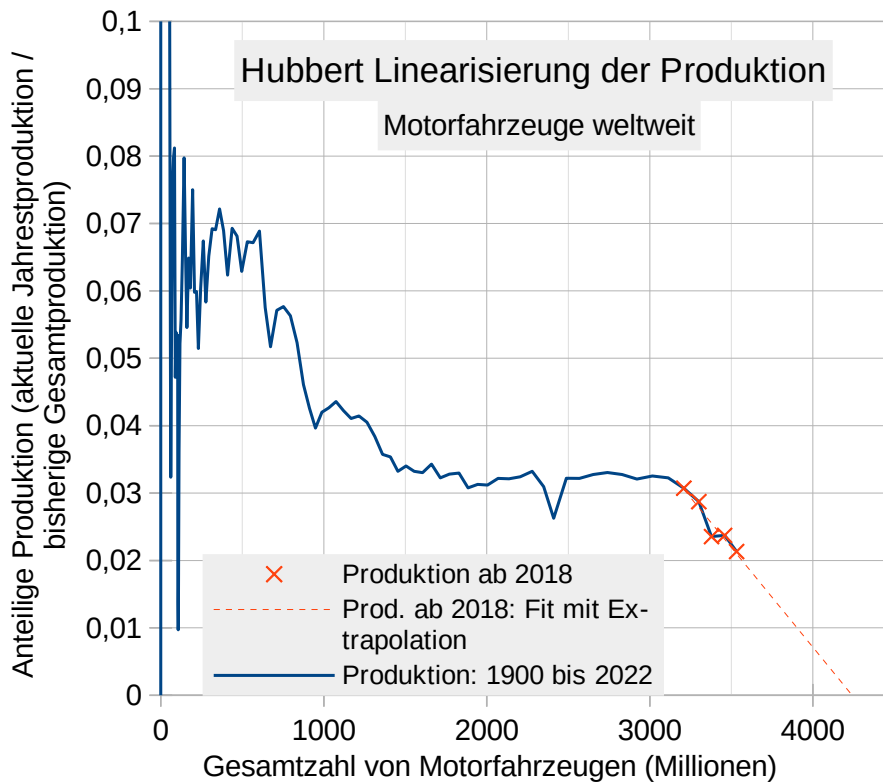


Abbildung 3: Hubbert Linearisierung der Produktion aller Motorfahrzeuge.

Für Motorfahrzeuge ist die bisherige Gesamtproduktion etwa 3550 Millionen Fahrzeuge, die erwartbare Gesamtproduktion ca. 4200 Millionen Fahrzeuge. Also können noch ca. 650 Millionen Fahrzeuge gebaut werden.

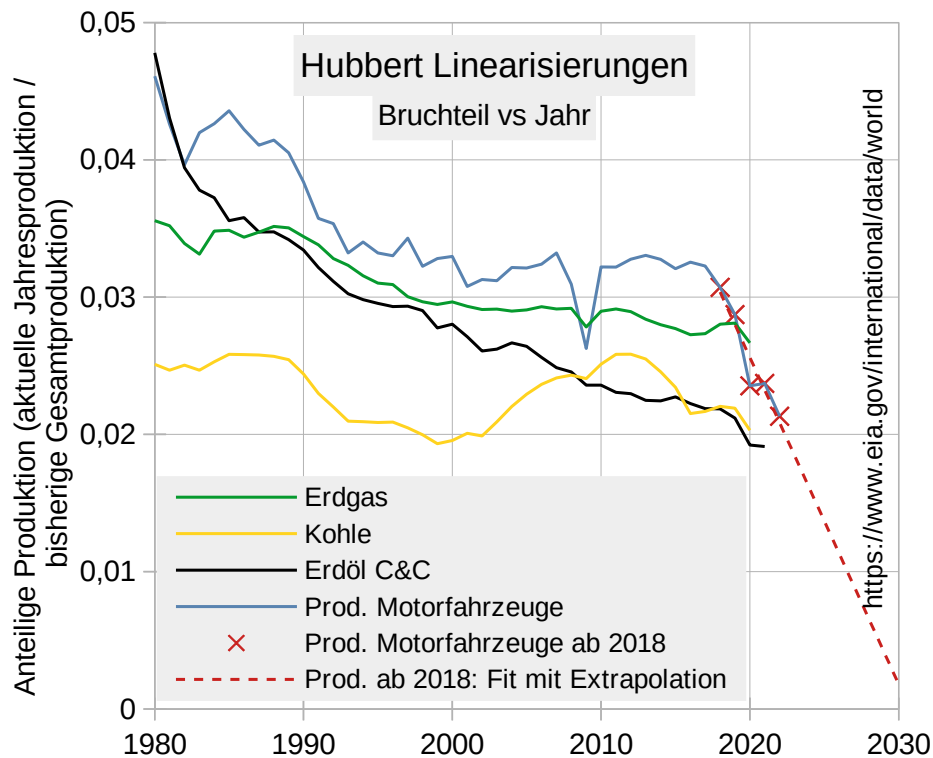


Abbildung 4: Hubbert Linearisierungen für Erdöl, Kohle, Erdgas und Motorfahrzeuge. Hier erreicht der Fit für die Motorfahrzeuge bereits 2031 die Nulllinie.

Wenn man die Hubbert-Linearisierungen gegen die Zeit aufträgt und für die Fossilen Energierohstoffe und Motorfahrzeuge in einem Diagramm zusammen fasst, ist nur bei den Motorfahrzeugen der steile Abfall der Produktion erkennbar. Die Energierohstoffe fallen deutlich langsamer ab.

Die wahrscheinlichste Ursache des Unterschieds zwischen dem Verhalten von Motorfahrzeugen und Fossilen Energierohstoffen ist: Brutto werden immer noch viel Rohstoffe gefördert, aber die Nettoenergie der Rohstoffe geht zu Ende. Der Förderaufwand wird zu hoch. Die Zahl der Fahrzeuge wird durch die Nettoenergie, nicht die Menge der Rohstoffe bestimmt.

Ergebnis: Die Extrapolation der Produktionsdaten von Motorfahrzeugen ergibt, dass etwa ab 2031-2034 weltweit keine Fahrzeuge mehr produziert werden.

2. Lebensdauerbestimmung aus dem Ölpreis



Abbildung 5: Erdölpreis (Brent) umgerechnet in den Energieinhalt eines Barrels. (Preise: <https://www.finanzen.net/rohstoffe/oelpreis>)

Ca. Ende 2018 machte der Autor die Beobachtung, dass die Spitzenwerte der Ölpreise ziemlich genau auf einer Gerade liegen (gestrichelte grüne Linie in Abbildung 5). Die Gerade startete 2008 und hielt bis 2021, dreizehn Jahre lang. Die Gerade fällt mit 1,1 %BOE/Jahr ab.

Erst Anfang 2021 kam der Ölpreis wieder oberhalb der Gerade zu liegen und ging seitdem immer weiter nach oben. Genau so, wie es eine nach oben begrenzende Linie gab, gab es eine, die den Ölpreis nach unten begrenzte (gestrichelte dunkelgelbe Linie in Abbildung 5). Sie begann Anfang 2016 und stieg seitdem an. Beide Linien kreuzten sich Mitte 2020.

Der Autor interpretiert die Linie der Maxima als den Ölpreis, den sich die Industrieländer bei Beibehaltung ihres Lebensstils maximal leisten können. Die Linie der Minima interpretiert er als den Ölpreis, den die Förderländer brauchen, um ihre Wirtschaft am laufen zu halten. Mitte 2019 fiel dem Autor diese Kreuzung auf und er erwartete eine Krise in 2020, wobei ihm völlig unklar war, welche Art Krise es dann sein würde. Corona hat er nicht erwartet.

Der Ölpreis ist seit 2021 etwas, seit 2022 deutlich über der grünen Linie. Zuerst hat die OPEC die Preise angehoben, da die Wirtschaft ihrer Staaten das Geld benötigt. Dann hat der Krieg in der Ukraine einen weiteren Anstieg verursacht. Am 05.09.2022 hat die OPEC eine Förderkürzung beschlossen, da der Ölpreis für sie zu niedrig wurde.

Die Einwohner der Industrieländer merken jetzt, dass ihr Lebensstil gefährdet ist. Die Linie der Maxima erreicht etwa Mitte 2027 die Nulllinie (0%BOE). Ab dann können sich die Einwohner der Industrieländer kein Öl mehr leisten, ohne auf viele Dinge des täglichen Lebens zu verzichten. Der Bedarf der Ölförderer liegt dann bei 13-14 %BOE. Diese beiden Werte sind unvereinbar.

Ergebnis: Die Extrapolation der Ölpreise ergibt, dass ab 2022 der Lebensstil in den Industrieländern degradiert, und dass ab 2027 die Einwohner der Industrieländer Erdöl kaum noch bezahlen können.

3. Lebensdauerbestimmung aus der monatlichen Produktion von PKWs

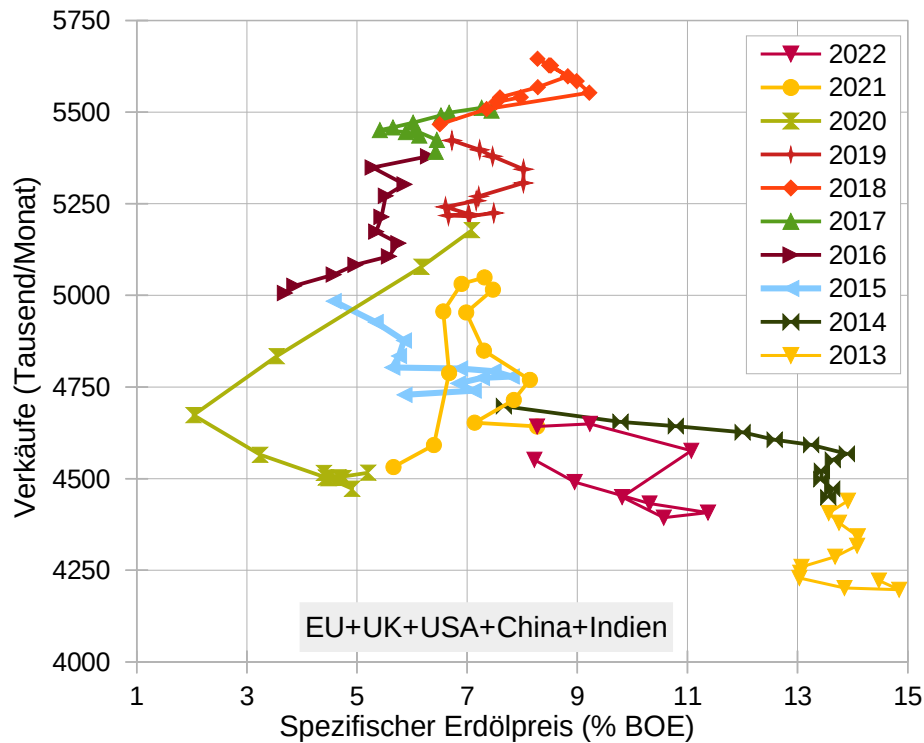


Abbildung 6: Monatliche Verkaufszahlen von PKW, Summe von 5 Verkaufs-Regionen. Die dargestellten Verkaufszahlen sind jeweils die Mittelwerte der vorangehenden 12 Monate. Daten von: ACEA, SMMT, FRED, CAAM, FADA, sowie CEICDATA. Der Anstieg in den letzten Monaten liegt an einem Anstieg der chinesischen Verkaufszahlen.

Die Abbildung 6 enthält mehrere markante Bereiche:

- in 2013 und 2014 steigen die Autoverkaufszahlen bei Ölpreisen von ca. 14 %BOE.
- In 2018 fingen die Verkaufszahlen bei 8-9 %BOE zu fallen an.
- In 2021 steigen die Verkaufszahlen bei Ölpreisen von 5 %BOE bis zu 6 %BOE
- In 2021 brechen die Zahlen beim Ölpreis von 7 %BOE ein und fallen dann, fast bis heute.

Während in 2013 der mit 14 %BOE relativ hohe Preis für die Kauflust förderlich war, war in 2021 mit nur 6 %BOE ein Anstieg möglich. In 8 Jahren ging der „förderliche Preis“ um 8 %BOE zurück, also ein Prozent BOE pro Jahr.

In 2018 fielen Verkaufszahlen bei 8-9 %BOE, in 2021 bei 7 %BOE. Hier ging der „begrenzende Ölpreis“ in 3 Jahren um 2 %BOE zurück, knapp einen Punkt in einem Jahr.

Die Extrapolation des Trends bedeutet, dass in 2027 der „förderliche Preis“ bei 0 %BOE liegt, d.h. einen PKW kann sich kaum noch ein Mensch leisten. Elektrofahrzeuge sind im Normalfall teurer als vergleichbare PKW, der Übergang zu Elektrofahrzeugen verlangsamt diesen Trend nicht.

Ergebnis: Die Extrapolation der Verkaufsdaten relativ zum Ölpreis ergibt, dass ab 2027 PKW Verkaufszahlen kontinuierlich und stark abnehmen.

4. Lebensdauerbestimmung aus den deutschen PKW-Daten

Die PKW-Produktion und der Export von PKW aus Deutschland gehen seit 2018 zurück. Die Corona-Krise 2020, die Halbleiter-Lieferkrise und der Ukraine-Krieg werden in der Presse oft als Schuldige genannt. Da der Rückgang aber schon 2018 begann, ist die Erklärung unvollständig.

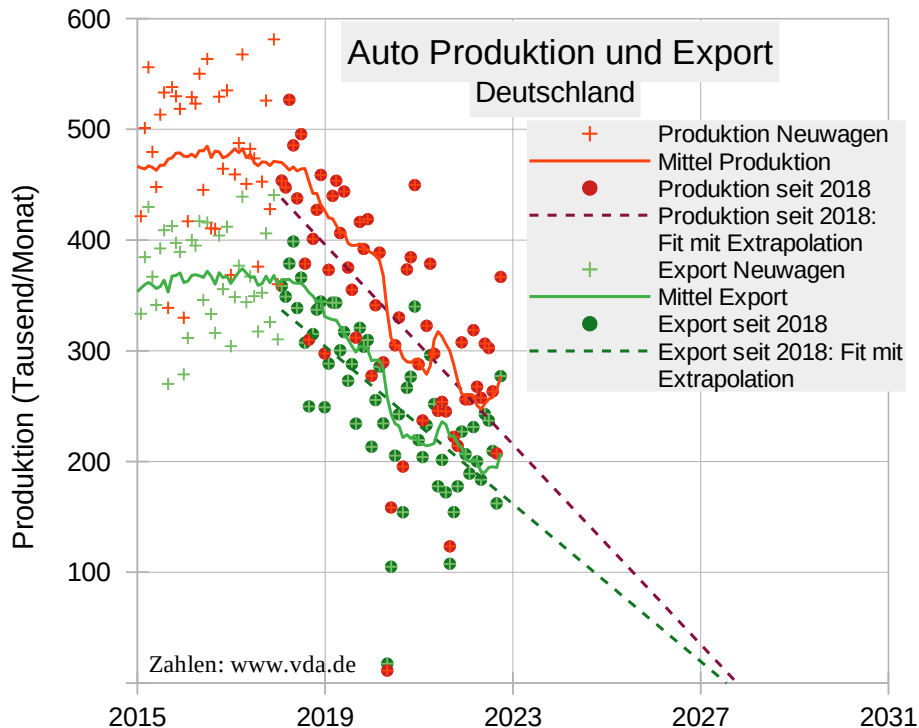


Abbildung 7: Monatliche Produktion und Export von PKW von Deutschland. Der Negativtrend seit dem 01.01.2018 ist extra gekennzeichnet.

Da die Daten sehr stark streuen, dauert es mindestens mehrere Monate, bevor Aufwärts- und Abwärtstendenzen im Kurvenverlauf erkennbar sind. In Abbildung 7 sind die Daten seit 2018 mit Hilfe von linearen Fits in die Zukunft projiziert. Beide Fits schneiden etwa 2027-2028 die Gerade $y=0$ und sagen aus, dass ab 2028 keine PKW mehr in Deutschland gefertigt werden.

Ergebnis: Die Extrapolation der deutschen Produktionsdaten ergibt, dass schon 2028 keine PKW in Deutschland mehr produziert werden.

5. Lebensdauerbestimmung aus der Entropiebilanz-Gleichung für offene Systeme

Die Erdkruste ist in der Nähe der Erdölfelder meistens in einem Temperaturgleichgewicht. Erdölförderung transportiert Wärme aus dem Erdinnern an die Erdoberfläche. Das nach oben gepumpte Erdöl wird durch Wasser von der Erdoberfläche ersetzt, das das Erdinnere abkühlt.

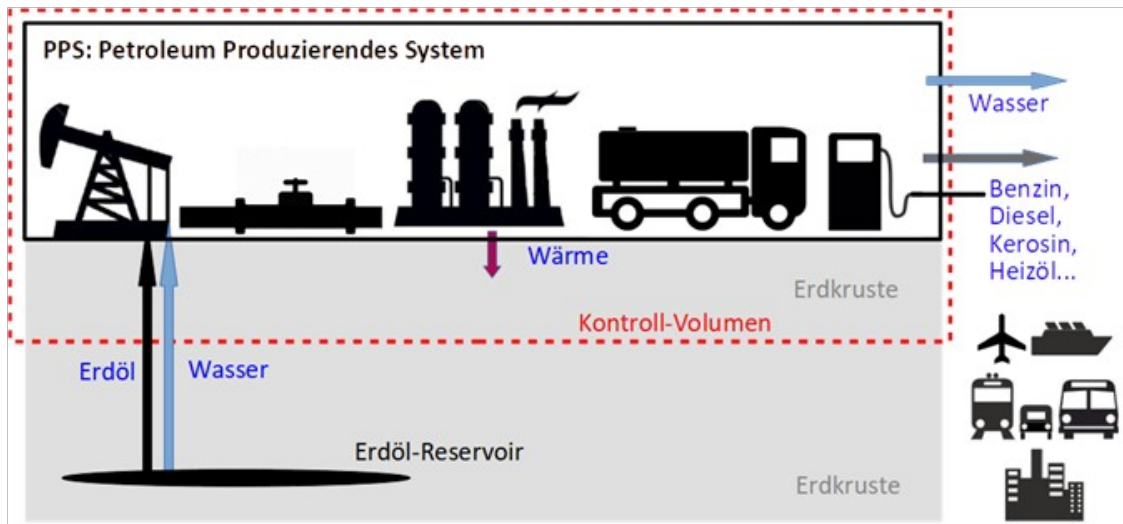


Abbildung 8: Skizze des Kontrollvolumens für die thermodynamische Berechnung zur Erdölförderung.

Das Temperaturgleichgewicht der Erde wird gestört. Nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist die dazu nötige Energie vom Petroleum Produzierenden System (PPS) aufzubringen. Das PPS besteht nicht nur aus den Pumpanlagen der Förderer, sondern beinhaltet auch Raffinerien, Transportsysteme, Tankstellen usw. Auch die Ausbildung des Schweissers, der irgendwo in der Welt Rohre für die Erdölproduktion fertigt, Ärzte, Militärs zur Sicherung der Transportwege und vieles mehr gehören dazu.

Die Berechnung des Energieaufwands erfolgt mit Hilfe der „Steady State Entropy Rate Balance for Control Volumes“, einer mathematischen Formulierung des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik⁴ für offene Systeme. Diese Berechnung erfordert die Definition eines Kontrollvolumens, das in Abbildung 8 dargestellt ist.

Vor 10 Jahren hat die HillsGroup⁵ die Grafik (Abbildung 9) erstellt, resultierend aus der Berechnung der thermodynamisch notwendigen Exergie. Transformiert ins SI-System, ergibt sich Abbildung 10. Sie zeigt Exergiewerte und Anergiewerte. Exergie ist der mechanisch nutzbare Anteil von Energie. Motoren nutzen je nach Konstruktion etwa 20%-60% der Gesamtenergie eines Brennstoffs und setzen diese 20%-60% in mechanische Arbeit um. Anergie ist der nicht nutzbare Teil der Energie, und wird auch als Abwärme bezeichnet.

Die thermodynamisch notwendige Exergie (TNE) zur Ölförderung (=Änderung des Temperatur-Gleichgewichts) steigt im Lauf der Zeit kontinuierlich an. Der Abstand dieser Kurve zum theoretisch bzw. praktisch nutzbaren Anteil ist die für den Erdölnutzer verbleibende Exergie.

4 Der zweite Hauptsatz ist ein Naturgesetz, gegen das zu verstoßen ebenso unmöglich ist, wie schneller als das Licht zu fliegen.

5 Eine ehemalige Beratergruppe für die Ölindustrie. Die Webseite der HillsGroup existiert nicht mehr. Der Bericht „Report# HC3-433 Depletion: A determination for the world's petroleum reserve“ enthielt diese Grafik.

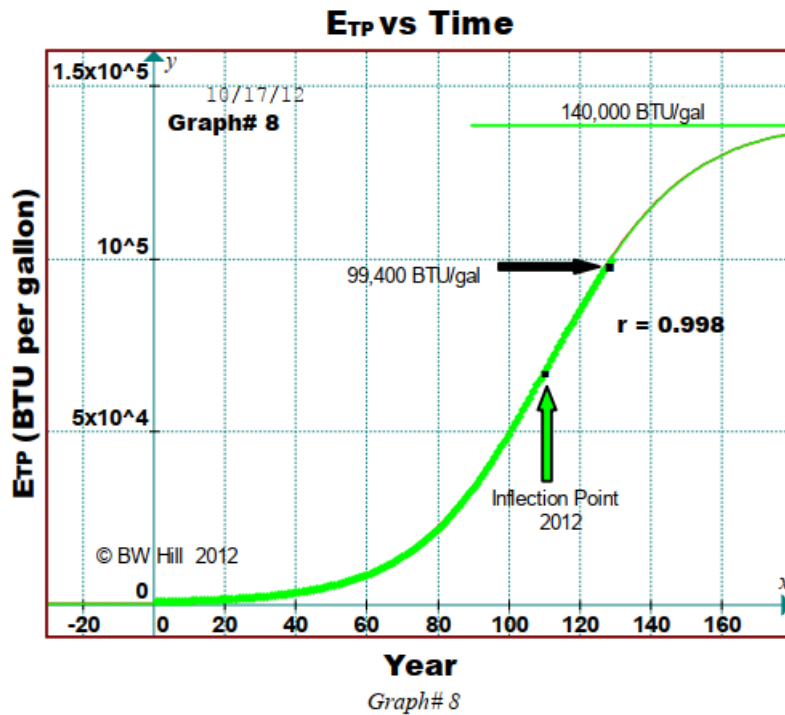


Abbildung 9: Exergieaufwand der Ölförderung, thermodynamisch berechnet. ETP steht für Energy Total Production. Die Einheiten (BTU, Gallone) sind aus dem bei Ölförderfirmen verwendeten imperialen System. Das Diagramm ist aus dem Originalbericht der HillsGroup kopiert.

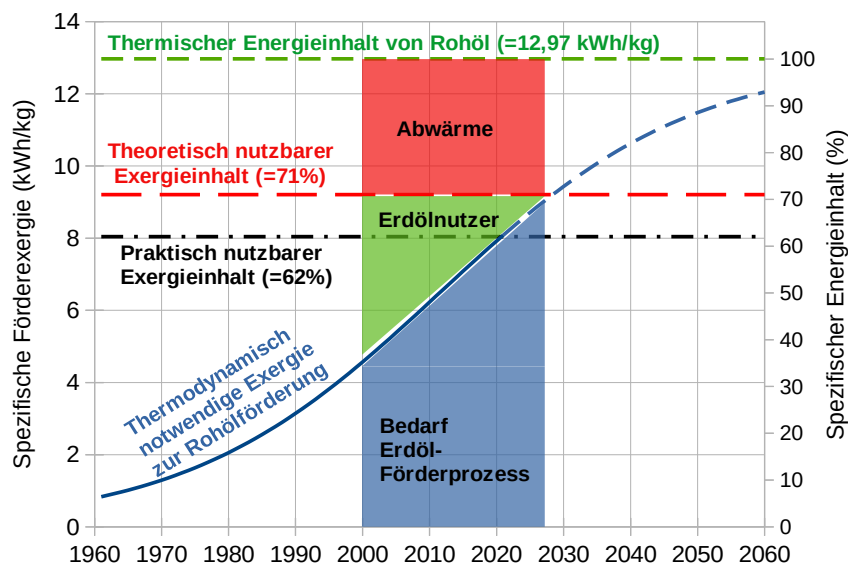


Abbildung 10: Graphische Darstellung der thermodynamisch bestimmten Förderexergie im SI-System, einschließlich der Verteilung der Exergien des Barrels Erdöl an den Gesamtprozess Erdölförderung, an Erdölnutzer und Abwärme (Anergie). Die „glatte“ Kurve ist dadurch entstanden, dass nicht die echten Ölfördermengen benutzt wurden, sondern ein Fit an diese Mengen.

Die zur Änderung des Temperatur-Gleichgewichts notwendige Exergie steigt kontinuierlich an und erreicht im Jahr 2021 den Wert für den praktisch nutzbaren Exergiegehalt von Erdöl, ca. im

Jahr 2029 den theoretisch nutzbaren Exergieinhalt. Die Differenz der Exergie zwischen 2021 und 2029 ist 9%, also 1,125 %BOE/Jahr.

Nach Abzug der für die Förderung notwendigen Exergie von der theoretisch nutzbaren Exergie erhält man die Exergie, die sich technisch nutzen lässt. Das grüne Dreieck kennzeichnet die für den Verbraucher übrig bleibende Exergie für den relevanten Bereich von 2008 bis 2027.

Ergebnis: In den Jahren 2028 – 2029 wird der Exergieaufwand zur Ölförderung höher als der Exergieinhalt von Rohöl⁶. Dann macht Erdölförderung energetisch keinen Sinn mehr. Da zur Erdölförderung auch billigere Energien als Erdöl eingesetzt werden, wie Gas oder Kohle, kann die Förderung aber für Förderer noch finanziell einen Sinn machen.

Vergleich der Ergebnisse von Verfahren 2,3 und 5

Methode 2 (Abbildung 5): Die Steigung der gestrichelten grüne Linie, die die Preismaxima verbindet, ist -1,1 %BOE/Jahr. Die Linie trifft 2027 die Nulllinie.

Methode 3 (Abbildung 6): Die Kaufneigung für PKW geht um -1 % BOE/Jahr zurück. In 2027 beginnt nach diesem Diagramm eine Phase kontinuierlich stark abnehmender Verkaufszahlen.

Methode 5 (Abbildung 10): Die Steigung der Förderexergie liegt derzeit bei 1,25 %BOE/Jahr. Der theoretisch nutzbare Exergiegehalt wird 2029 erreicht.

Die drei Verfahren liefern fast genau das gleiche Ergebnis für die Steigung und das Enddatum⁷. Diese Genauigkeit ist erstaunlich, denn bei Methode 5 sind zwei prinzipbedingt zwei Ungenauigkeiten vorhanden:

- Erdöl wird zu großen Teilen mit anderen Energien gefördert, z.Bsp. aus Erdgas und Kohle.
- Reale Wirkungsgrade von Benzin- und Diesel-Motoren liegen deutlich unter den 71 Prozent, die theoretisch erreichbar sind.

Die Ungenauigkeiten müssten eigentlich dazu führen, dass die realen Zahlen aus der Wirtschaft Abweichungen zur Berechnung haben. Reale Zahlen und Berechnung sind aber fast identisch.

Die wahrscheinliche Erklärung ist: Verbraucher zahlen maximal soviel für das Erdöl, wie sie selbst damit erwirtschaften können. Und ihr Verdienst ist proportional zum ihrem Anteil an der Exergie des Barrels. Ihr Anteil ist die theoretisch nutzbare Exergie minus der für die Förderung verwendete Exergie (Abbildung 11).

Wenn man die für Verbraucher verbleibende Thermodynamisch Notwendige Exergie (TNE) für einen Wirkungsgrad von 69% in die Ölpreiskurve einträgt, ergibt sich Abbildung 12. Sie zeigt eine bemerkenswerte Übereinstimmung der maximalen Ölpreise mit der theoretischen Kurve. Die gestrichelte grüne Kurve von Verfahren 2, die die Maximalwerte verbindet, liegt fast genau auf der thermodynamisch berechneten. Meistens wird allerdings weniger bezahlt, als der Grenzwert erlaubt.

Die sehr gute Übereinstimmung zwischen Berechnung aus der Physik und Wirtschaftsdaten demonstriert die Gültigkeit der thermodynamischen Berechnung. Sie liefert auch eine Erklärung, weshalb die Kurven 1,2 und 4 lineare Verläufe haben: Die zugrunde liegende thermodynamische Berechnung ergibt einen fast linearen Verlauf der Förderenergie im relevanten Zeitraum.

6 Die zur Änderung des Temperaturgleichgewichts notwendige Exergie ist nur das Minimum an Exergie, das erforderlich ist.

7 Und nicht nur das, die 4 Verfahren 1, 2, 4 und 5 zeigen in etwa lineare Verläufe.

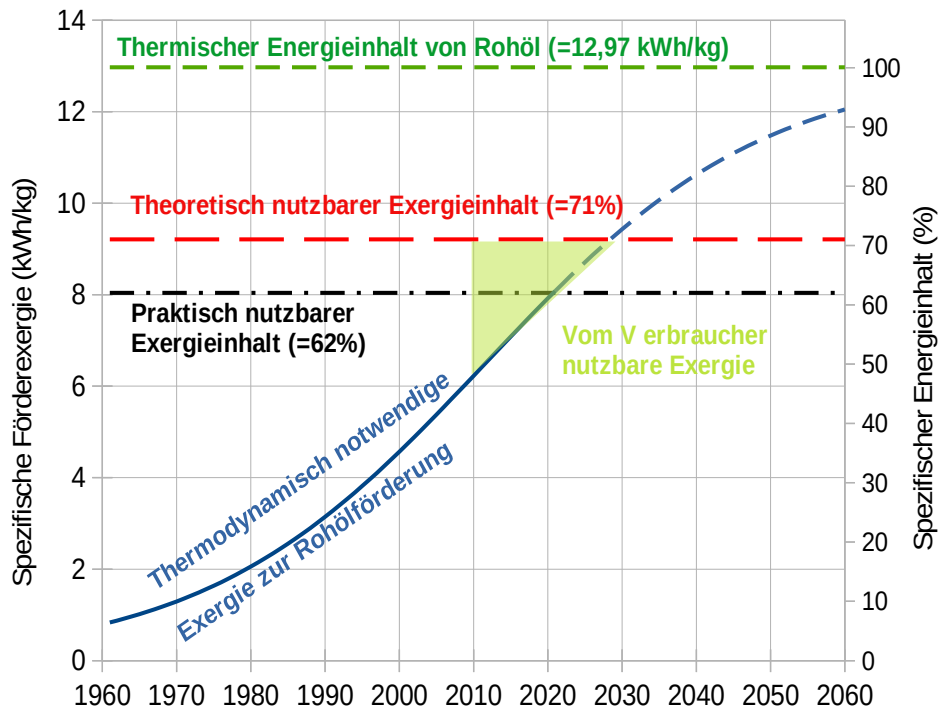


Abbildung 11: Das hellgrüne Dreieck betont den Zeitraum 2008-2027. Es stellt die vom Verbraucher nutzbare Exergie dar.

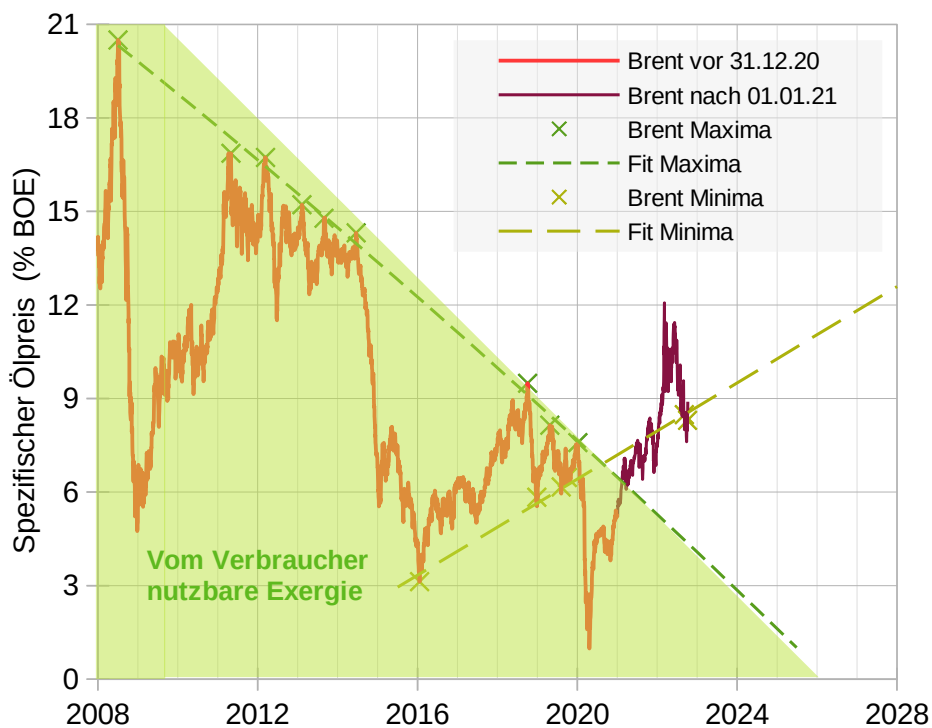


Abbildung 12: Realer Ölpreis Brent mit Maxima, sowie aus der berechneten Thermodynamisch Notwendigen Exergie (TNE) für 69 % Wirkungsgrad für den Erdölnutzer verbleibende Reste an Exergie. Alle Werte in % BOE.

Die reale Preiskurve in Abbildung 12 ist zweigeteilt, mit dem Schnitt in 2020. Vor 2020 wird der Ölpreis durch die Verbraucher bestimmt, danach durch die Erdölförderer. Nach 2020 ist der Erdölpreis über die Werte gestiegen, die für Verbraucher tragbar sind. Da die Erdölförderer Energieformen wie Kohle und Gas nutzen, die pro GJ weniger kosten als Erdöl, haben sie zwar energetisch

keine positive Bilanz, aber finanziell. Die dunkelgelbe Linie, die die Minima des Erdölpreises verbindet, zeigt an, wie viel Exergie die Förderer benötigen. Fällt der Erdölpreis in die Nähe dieser Kurve, beschließt die OPEC Förderkürzungen.

Der Zeitpunkt, an dem die Förderer nicht mehr profitabel produzieren können, ist nicht nur von deren eigener Kostensituation, sondern auch von den zukünftig gültigen Kohle- und Gaspreisen abhängig und schwer abschätzbar. Im letzten Jahr sind die Preise aller fossilen Energien stark gestiegen. Es gibt deutliche Unterschiede auf den Kontinenten, und die lokal vorhandenen Reserven sind auch sehr unterschiedlich. Europa steht am schlechtesten da, China wegen seiner Kohlereserven am besten, und Nordamerika in der Mitte.

Wenn man Abbildung 4 zugrunde legt, wird etwa 2034 die Erdölförderung global unprofitabel und weitgehend eingestellt.

Der Preisverfall beim Rohöl von 2008 bis 2020 mit dem extremen Preisanstieg seit 2021 ist ein absolutes Alarmsignal ! Es wird bald kein Rohöl mehr bezahlbar sein, egal für welche Volkswirtschaft der Welt !

Anmerkung für Autoliebhaber

Insgesamt sind meine Ergebnisse sehr schlecht für Autoliebhaber, speziell für die Fahrer leistungsstarker Boliden und SUVs. Aber es besteht Hoffnung. Ich will nicht ausschließen, dass Leichtfahrzeuge mit weniger als 700 kg Leergewicht ein Verkehrsmittel in der Zukunft sind, angetrieben mit erneuerbaren Energien wie Solar- und Windenergie.

Das geht aber nur,

- wenn erneuerbare Energien mit Hochdruck ausgebaut werden. Beispiel: Wenn Gas teuer wird, sollte man nicht die Preisbelastung der Verbraucher reduzieren, sondern den Gasverbrauch, und das gesparte Geld in Erneuerbare investieren.
- wenn der Ausbau erneuerbarer Energien skalierbar ist. Zum einen bestehen berechtigte Zweifel, ob die benötigten Rohstoffe (Metalle) auf der Erde verfügbar sind. Zum anderen sind fossile Energien zum Ausbau nötig, die auf jeden Fall begrenzt sind⁸.
- wenn Leichtfahrzeuge von der Industrie statt SUVs angeboten werden. Die deutsche Industrie setzt derzeit auf schwere Fahrzeuge, mit denen mehr verdient wird. Der Gesetzgeber kann dabei mit Regelungen nachhelfen.
- wenn die Gesetzgebung und Verkehrsregeln an Leichtfahrzeuge angepasst werden. Stand heute ist, dass die Fahrer solcher Fahrzeuge sehr risikobereit sein müssen. Wenn ein 2-to-PKW mit einem Leichtfahrzeug kollidiert, hat der 2-Tonner einen leichten Blechschaden, der Fahrer des Leichtfahrzeugs überlebt wahrscheinlich nicht.
- Wenn die Mentalität der Autofahrer sich ändert. Das ist wahrscheinlich der schwierigste Punkt.

⁸ Beide Bedingungen gelten auch für Kernkraft. Kernkraft hat zusätzlich das Problem der Endlagerung des Abfalls.

Vorhersage der zukünftigen Ölproduktion

Basierend auf den vergangenen Autoverkaufszahlen und den fünf Methoden ist es möglich, eine Vorhersage für die zukünftige C & C-Ölproduktion zu treffen. Es ist zu erwarten, dass die Rohölproduktion bis 2027 langsam zurückgehen wird, weil die Menschen ihr Geld für Ölprodukte ausgeben, um den Lebensstil fortzusetzen, an den sie gewöhnt sind. Sie verzichten nur darauf, neue Autos zu kaufen. Nach 2027 werden sie gezwungen sein, auf Ölprodukte zu verzichten, die zu teuer werden. Die Ölproduktion wird dann sehr schnell abnehmen.

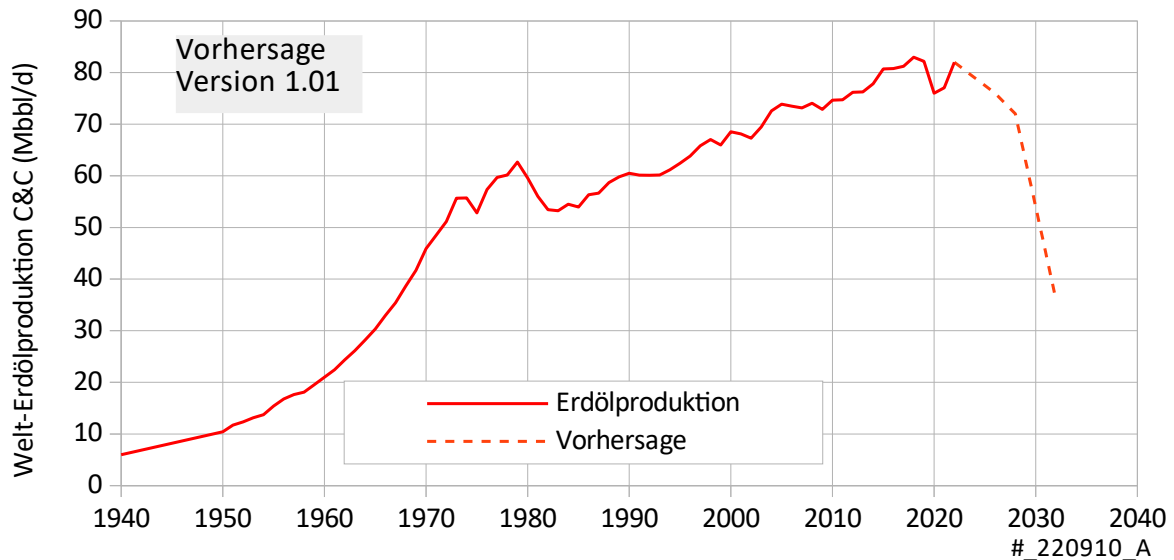


Abbildung 13: Vorhersage zur Erdölproduktion

Zusammenfassung

Verfahren 1,2 und 4 sind Extrapolationen von Wirtschaftsdaten der Vergangenheit. Verfahren 3 ist eine Verknüpfung von Erdöl-Preisen mit der PKW-Produktion. Verfahren 5 ist eine Berechnung auf der Basis eines Gesetzes der Physik.

Die fünf Berechnungsverfahren ergeben:

1. Ende der Motorfahrzeugproduktion der Welt zwischen 2031 und 2034.
2. Ende der Erdölförderung in 2027.
3. Starker Niedergang der weltweiten Verkäufe von Motorfahrzeugen ab 2027.
4. Ende der deutschen Fahrzeugproduktion in 2027-2028.
5. Starker Niedergang der Erdölförderung ab 2029.

Die Ergebnisse sind nicht gleich, aber im Endeffekt kommt das gleiche raus. Alle fünf Verfahren ergeben, dass in den nächsten Jahren Fahrzeugproduktion und Erdölförderung weiter einbrechen werden. Die Fahrzeugproduktion wird zuerst verschwinden. Die Erdölförderung später, da der weltweit existierende Fuhrpark weiter Erdöl verbrauchen wird, selbst wenn keine neuen Fahrzeuge mehr dazu kommen. Die Erdölförderung wird bis 2027 langsam zurück gehen, danach schnell.

Das bedeutet: Erdöl wird spätestens im Jahr 2027 extrem teuer !

Liste mit Fragen und Antworten zur Lebensdauerbestimmung sowie Infos aus einer Diskussion.

Infos zum TNE-Modell (Thermodynamisch notwendige Exergie)

P1. Info: Der Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman hat auch auf dem Gebiet Erkenntnistheorie gearbeitet. Es sagt zu Theorien folgendes: Eine Theorie/Modell ist als gültig zu betrachten, solange sie/es nicht geltenden Erkenntnissen widerspricht. Man kann Theorien nicht beweisen, man kann sie nur widerlegen. Eine Theorie ist nutzlos, wenn sie es nicht erlaubt, Vorhersagen für die Zukunft zu machen. Eine sinnvolle Theorie kann Vorhersagen machen. Wenn die Vorhersagen eintreffen, ist die Theorie nützlich, aber nicht damit bewiesen. Stimmt die Vorhersage nicht, ist die Theorie zumindest fehlerhaft oder sogar widerlegt. Als gültig wird eine Theorie angesehen, wenn sie über einen langen Zeitraum und viele Prüfungen zutreffende Vorhersagen gemacht hat.

P2. Info. Der zweite Hauptsatz wird als gültige physikalische Theorie seit über 150 Jahren angesehen. Bisher haben sich alle Vorhersagen aufgrund des 2.HS als zutreffend angesehen. Der 2.HS ist eins von zwei physikalischen Gesetzen, aus dem sich eine Zeitrichtung ergibt. Das zweite Gesetz trifft auf eine Paritätsverletzung von Elementarteilchen zu und ist makroskopisch nicht beobachtbar.

Man kann daher die Aussage als gültig ansehen: Der 2.HS bestimmt den Fluß der Zeit.

Fragen und Antworten zum TNE-Modell

Allgemein:

P3. Frage: Die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes für die Erdölförderung ist nachzuweisen.

Antwort: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist genau wie der erste und dritte ein seit über 150 Jahren allgemein anerkanntes Naturgesetz. Er gilt für die gesamte Natur, alle Lebewesen, alle Maschinen usw. Im Gegensatz zum 1.HS (Energieerhaltung) ist er nicht so bekannt und nicht so leicht verständlich. Es gibt keinen Grund, warum er ausgerechnet für Erdölförderung nicht gelten sollte.

Er sagt etwas wesentlich anderes aus wie der 1.HS. Ich habe schon mit vielen Leuten diskutiert, für die der 2.HS unverständlich war, die immer mit Beispielen bezogen auf den 1.HS argumentiert haben. Den Wunsch, meine Bedingung 2 zu diskutieren, verstehe ich so, das der 2.HS Teilnehmern nicht bekannt ist.

P4. Frage: Der Nachweis fehlt, das die "entropy rate balance for control volumes" der zweite Hauptsatz ist.

Antwort: Diese Gleichung ist zwar wenig bekannt, aber trotzdem allgemein anerkannt und Lehrbuchwissen. Ich nenne das Kapitel 6 aus dem Buch Moran/Shapiro. Gleichung 6.37 und 6.39 sind die „entropy rate balances for control volumes“. Beide Gleichungen werden in Kapitel 6 aus der Clausius Ungleichung 6.2 entwickelt, die eine Formulierung des 2.HS ist.

Abbildung 2:

P5. Frage zu Abb. 2: Der Rückgang der Auto-Verkaufszahlen ist bedingt durch Corona, die Chipkrise und dem Ukraine-Krieg. Das widerlegt doch die Aussage, dass der Rückgang eine Folge der Thermodynamik ist.

Antwort 1: Das Präsentieren einer anderen Erklärung ist keine Widerlegung. Nach Feynman bleibt das thermodynamische Modell gültig. Nach sechs Jahren Erfahrung mit anderen Erklärungen bin ich zu folgender Formulierung gekommen: Corona, Chipkrise und Ukraine

maskieren die Wirkung der Thermodynamik. Und ich erwarte, dass andere Erklärungen auch in Zukunft **Masken** für die Thermodynamik bewirken.

Antwort 2: Der Rückgang der Verkaufszahlen setzte 2018 ein, zwei Jahre vor Corona. Also kann Corona nicht daran schuld sein.

Antwort 3: (Philosophie) Wenn man die Geschichtstheorien von Turchin und Tainter als Basis nimmt, und die heutigen Entwicklungen durch deren Brille betrachtet, wird man zum Schluss kommen, dass Corona, Chipkrise und der Ukraine-Krieg eine Folge des thermodynamisch bedingten Rückgangs der Netto-Energie der Energierohstoffe sind.

P6. Frage: Die Extrapolationen der Kurven mit Geraden sind nicht erlaubt.

Antwort: Hier gilt erstens meine künstlerische Freiheit, zweitens ergibt das TNE-Modell, dass es Geraden sein müssen.

P7. Frage: Einfach nur ein paar Geraden in die Kurven zu legen (Charttechnik), finde ich in unserem langfristigen Metier weniger zielführend. Hier sollte eine Fundamentalanalyse den Vorzug haben.

Antwort: Wegen des TNE-Modells erwarte ich Geraden. Das ist meine Analyse, jeder andere kann seine eigene Fundamentalanalyse machen. Interessant wird es, wenn die Fundamentalanalyse Voraussagen erlaubt und wir diese dann mit der Realität und TNE vergleichen können.

Abbildung 3:

P8. Frage zu Abb. 3 Hubbert Linearisierung der Produktion aller Motorfahrzeuge: Ich glaube nicht, dass die Hubbert-Linearisierung ein adequates Modell für Produktion von Maschinen ist. Die Hubbertlinearisierung als mathematischer Fit auf die logistische Wachstumskurve ist für ein begrenzte und nicht erneuerbare Ressource geeignet.

Antwort: Es ist nicht nur meine künstlerische Freiheit, die Hubbert Linearisierung auf Autos anzuwenden. Es ist auch so, dass man neue Erkenntnisse nur gewinnt, wenn man etwas anders macht als alle anderen.

P9. Frage zu Abbildung 3: Autos lassen sich jedoch in einem Schredder und Elektrostahlwerk wiederverwerten, man braucht nur etwas Energie dazu, z.B. aus Wind- und Solaranlagen oder Wasserkraft

Antwort 1: Diese Behauptung ist vermutlich völlig falsch. Im Gegenteil, es ist sogar möglich, dass die Trennung und Wiederaufarbeitung der Materialien mehr Energie kostet als wenn man „frisches“ Material verwendet. Beweis: Wenn du recht hättest, würden die Autobauer schon längst diesen Weg gehen.

Antwort 2: (Philosophie): Es gibt eine Theorie, dass fast alle Güter einen Preis haben, der dem Preis der zur Herstellung aufgewendeten Energie entspricht (Lefsches Theorem). Wenn du recht hättest, müssten Autos, die mit Solar- und Windenergie gefertigt werden, billiger sein als mit fossiler Energie gefertigte.

P10. Frage zu Abb 3 und 4: Wie schon Tad Patzek in Exponential growth, energetic Hubbert cycles, and the advancement of technology, Figure 4 festgestellt hat (https://www.researchgate.net/profile/Tad-Patzek/publication/228663031_Exponential_growth_energetic_Hubbert_cycles_and_the_advancement_of_technology/links/00b7d52bb415b7559b000000/Exponential-growth-energetic-Hubbert-cycles-and-the-advancement-of-technology.pdf) kann man viele Kurven am Anfang nicht richtig voneinander klar voneinander unterscheiden.

Antwort: Da hast du vollkommen recht. Erstens sind alte Daten wegen des 2.HS nicht brauchbar. Zweitens wird es erst richtig interessant, wenn man nur Daten nach 2017 verwendet.

Abbildung 4:

P11. Frage zu Abb. 4: Die Hubbert-Linearisierung wird nicht gegen die Zeit aufgetragen, sondern gegen die kumulierte Produktion - so wie in Abb. 3.

Antwort: Erstens nehme ich wieder meine künstlerische Freiheit in Anspruch, zweitens ist das die einzige Möglichkeit, für die x-Achse eine gemeinsame Skala für Erdöl, Gas, Kohle und Auto zu nehmen.

Abbildung 5:

P12. Frage zu Abb. 5 Erdölpreis (Brent) umgerechnet in den Energieinhalt eines Barrels. Die Preisrelation gefällt mir gut, weil sie damit einen festen Bezugspunkt hat. Geld ist eine zirkuläre Definition: das BIP als großer Warenkorb wird in Geldeinheiten gemessen, wohingegen der Wert des Geldes über einen Warenkorb festgelegt wird (Inflationsmessung). https://www.researchgate.net/profile/Gunnar-Kaestle/publication/362155498_Exergy_is_the_Economy/links/62d920ca07688f54b9e7e07e/Exergy-is-the-Economy.pdf

Antwort : Da sind wir uns mal einig. Ich mache das, weil die Wirtschaft mit Energie läuft und nicht mit Geld, auch wenn viele Leute sich nicht dessen bewusst sind.

Abbildung 7:

P13. Frage zu Abb. 7 : Der Rückgang der Autoverkäufe in Deutschland ist Zeichen einer Marktsättigung.

Antwort: Es gehen auch Exporte und die weltweiten Verkäufe zurück. Ich kann mir beim besten Willen nicht vorstellen, dass der Markt weltweit gesättigt ist.

Anmerkung G.: Typisches Zeichen für eine Marktsättigung sind gleichbleibende Verkaufszahlen, nicht zurück gehende.

P14. Frage: Der Rückgang der Autoverkäufe in Deutschland ist Folge davon, dass die Autos länger halten.

Antwort: Es gehen auch die weltweiten Verkäufe zurück. Ich kann mir beim besten Willen nicht vorstellen, dass das weltweit gilt.

P15. Frage: Wenn dein Modell gilt, muss es auch für Autoverkäufe zwischen 1950 und 1970 gelten.

Antwort: Das Modell basiert auf dem 2.HS, ist also eine Folge des Verstreichens der Zeit. Wenn das Modell für die früheren Zeiten gelten sollte, heißt das logischerweise, dass seit 1970 keine Zeit verstrichen sein darf. Da aber Zeit vergangen ist, gilt das Modell nicht für die Zeit von 1950 und 1970. Das Anwenden auf alte Daten macht keinen Sinn.

P16. Frage: Wann ist zu erwarten, dass die Realität das TNE-Modell widerlegen kann ?

Antwort: Das wird von der Dauer der erwarteten Rezession abhängen. Während B. erwartet, dass die Widerlegung nicht vor einem Jahr passieren kann, erwartet G. mehrere Jahre.

P17. Frage zu Abb. 7: Monatliche Produktion und Export von PKW von Deutschland. Ein linearer Fit, der 2027/2028 die Nulllinie erreicht, erscheint mir unglaublich, genauso wie ich es unglaublich finde, 1956 ein exponentielles Wachstum bei der Ölförderung anzunehmen.

https://ourworldindata.org/grapher/oil-production-by-country?country=SAU~USA~RUS~OWID_USS

Antwort: Das TNE-Modell sagt eine lineare Kurve voraus. Das Wort „Unglaublich“ kann ich zwar verstehen, aber ein harter Fakt von dir wäre hier besser gewesen.

Abbildung 11:

P18. Frage zu Abbildung 11: Wo kommt der theoretische Wirkungsgrad von 71 % her?
Antwort: Dieser Wert stammt aus dem Report der Hills-Group (petrohgv2.pdf, Seite 36). Ich habe ihn übernommen. Die Hillsgroup leitet ihn aus fünf Wirkungsgraden von fünf Chemikalien (Pentan, Octan, Nonan, Decan, Dodecan) mit verschiedenen API-Werten her und extrapoliert auf den API-Wert 35,7° von Erdöl.

P19. Frage zu Abbildung 11: Moderne Gasturbinen von Siemens haben deutlich höhere Wirkungsgrade als 71%. (siehe „https://elib.dlr.de/78973/1/Gasturbinen_der_n%C3%A4chsten_Generation.pdf“, Seite 21: 60% CC-Wirkungsgrad bei 87% relativer Leistung).

Antwort: CC steht für Combined Cycle: Diese Turbinen arbeiten in zwei Stufen: Eine besteht aus der Verbrennung von Gas. Mit den Abgasen der Verbrennung wird eine zweite Stufe betrieben, die die Verdampfung von Wasser nutzt. Die relative Leistung ist im Report nicht erklärt. Ich nehme an, dass die relative Leistung die Nutzung der Restwärme beinhaltet. Nutzung von Restwärme als Fernwärme ist sinnvoll, wird aber nie in die Berechnung des Carnot-Wirkungsgrads mit einbezogen. Der 60% CC-Wirkungsgrad ist als einziges relevant, gilt für eine reale Maschine und ist somit eine **Bestätigung für den Wert von 63% für den praktischen Wirkungsgrad** in Abbildung 11.

P20. Frage zu Abbildung 11: Die Gasturbinen haben typischerweise Verbrennungstemperaturen von 1500 °C (siehe Folie 22). Damit erhält man einen Carnot Wirkungsgrad für 15 °C Außentemperatur von:

$$\eta = 1 - (273,15 + 15) / (273,15 + 1500) = 83,7 \%$$

Der Wert in der Abbildung 11 kann nicht stimmen.

Antwort: Die Rechnung muss für die erste Stufe der Gasverbrennung die Abgastemperatur statt der Außentemperatur nehmen. Damit ergibt sich:

$$\eta = 1 - (273,15 + 620) / (273,15 + 1500) = 49,6 \%$$

Der höhere CC-Wirkungsgrad von 61% auf Folie 22 kommt durch die zweite Stufe zustande. Der CC-Wirkungsgrad ist nicht der theoretische Carnot-Wirkungsgrad. Wenn CC bei einer realen Turbine 61% ist, **ist ein Wert von 71% für den theoretischen Wirkungsgrad realistisch.**

P21. Frage: "Anergie ist der nicht nutzbare Teil der Energie, und wird auch als Abwärme bezeichnet." Anergie ist Wärme auf Umgebungstemperaturniveau. Abwärme liegt sehr häufig über dieser Temperatur; Abwärme hat oft noch einen deutlichen Exergiegehalt, wird aber nicht weiter genutzt - vgl. z.B. bei Verbrennungsmotoren, die bis 100 °C warmes Kühlwasser produzieren und noch heißere Abgase.

Antwort: Diese Unterscheidung erscheint mir zwar richtig, aber pedantisch. Die Verwendung der heißen Abgase wird zwar in der Gasturbine gemacht, aber im Automotor nicht. Abwärme wird zumeist aus wirtschaftlichen Überlegungen so genannt.

P22. Frage:

"Die thermodynamisch notwendige Exergie (TNE) zur Ölförderung (= Änderung des Temperatur-Gleichgewichts) steigt im Lauf der Zeit kontinuierlich an." Die thermodynamisch notwendige Exergie bleibt gleich, wenn man das rückgepumpte Wasser zur Druckhaltung im Reservoir vorwärmt und somit mit Umgebungstemperatur im Gebirge einspeist. Dieses Gedankenexperiment benötigt nur eine gleichbleibende Leistung, welche bei Nutzung eines Carnot-Prozesses sogar noch weniger ist als die reine Wärmeenergie.

Antwort: Die dafür erforderlichen Wärmetauscher wurden meines Wissens in keiner einzigen Ölquelle realisiert, genau wie Wärmepumpen zum Transfer der Wärme des Erdöls zurück unter die Erde. Du beschreibst hier eine hypothetische Arbeitsweise der Ölförderung, die nirgends realisiert ist. Ich glaube mittlerweile, ich kann dich davon nur abbringen, wenn wir

die Berechnung aus der „steady state entropy rate balance for control volumes“ Zeile für Zeile durchgehen.