WISSENSCHAFTLICHER BEWEISSCHRIFTSATZ

Das Märchen vom Ende

Widerlegung des Erschöpfungsnarrativs auf Basis von Geophysik, Reservoir-Mechanik und Geochemie

Gegenstand: Globale Öl- und Gas-Kreisläufe der Erde

Sieben Thesen, physikalisch-geologisch belegt

September 2026

Inhaltsverzeichnis

Präambel / Vorbemerkung 3

Kapitel I: Methan im Ozean: ein kontinuierlicher biogeochemischer Kreislauf 3

1.1 Das Marine Methane Paradox 4

1.2 Anaerobe Methanogenese in Tiefsedimenten 4

1.3 Methanotrophe als Kreislauf-Regulator 5

1.4 Kreislaufstruktur: der geschlossene Pfad 5

Kapitel II: Plattentektonik: abiotische Gaserzeugung 6

2.1 Subduktion als globaler Recyclingmotor 6

2.2 Abiotische Methanbildung: Serpentinisierung 7

2.3 Mantelgase und vulkanische Ausgasung 8

Kapitel III: Erdöl und Erdgas: planetarer Kreislauf 8

3.1 Biologisch-sedimentäre Ölgenese 9

3.2 Zeitdimension der Ölbildung 9

3.3 Der Kreislauf als geschlossenes System 10

Kapitel IV: Globale Verteilung: systemimmanent 11

4.1 Plattentektonik als globaler Umverteiler 11

4.2 Physikalische Tiefen- und Temperaturgrenzen 12

4.3 Petroleum System: notwendige Bedingungen 13

Kapitel V: Natürliche Nachförderung: physikalisch unvermeidlich 14

5.1 Das Darcy-Gesetz 14

5.2 Mechanismus der Nachförderung 15

5.3 Empirischer Nachweis und Fallbeispiele 15

Kapitel VI: Das Erschöpfungsnarrativ: geologisch unhaltbar 16

6.1 Geologische Realität vs. Narrativ 17

6.2 Geschichte der Peak-Oil-Prophezeiungen 17

6.3 Ökonomische Funktion des Knappheitsnarrativs 18

Kapitel VII: CO_2-Geschichte der Erde und Klimaparadigma 19

7.1 Historischer CO_2-Gehalt der Atmosphäre 19

7.2 Öl und Gas als gebundenes atmosphärisches CO_2 20

7.3 Implikationen für die aktuelle CO_2-Debatte 21

Zusammenfassung und Gesamtschlussfolgerung 22

EINLEITUNG

Präambel / Vorbemerkung

Seit Jahrzehnten zirkuliert in Energiepolitik, Medien und wissenschaftlicher Publizistik ein Narrativ von erschreckender Wirkungsmacht: Öl und Gas seien endlich, ihr Abbau führe zwangsläufig zur globalen Erschöpfung, und die Menschheit stehe kurz vor dem Ende des fossilen Zeitalters aus geologischen Gründen. Dieses Narrativ hat Energiepolitiken geformt, Billionen an Kapital umgelenkt, Preisniveaus legitimiert und das Weltbild ganzer Generationen geprägt. Es wird von Regierungen zitiert, in Schulbüchern gelehrt und von internationalen Institutionen als gesichertes Wissen behandelt.

Vorliegender Schriftsatz tritt diesem Narrativ mit dem einzigen zulässigen Maßstab entgegen: den Naturgesetzen. Nicht Ideologie, nicht wirtschaftliche Interessen, nicht politischer Konsens liefern den Maßstab, sondern Physik, Geochemie, Strömungsmechanik und Geologie. Diese Disziplinen unterliegen keiner Abstimmung. Sie sind wahr, weil sie die Realität beschreiben, nicht weil eine Mehrheit ihnen zustimmt.

Der Schriftsatz erhebt nicht den Anspruch, dass Öl und Gas in menschlichen Zeiträumen erschöpflich seien, das ist eine legitime Aussage über Förderraten und Wirtschaftlichkeit. Er widerlegt die fundamentalere Behauptung: dass der geologische Vorrat endlich sei, weil kein neuer gebildet werde. Diese Behauptung ist falsch. Sie widerspricht den Grundgesetzen der Geologie, der Thermodynamik und der Strömungsmechanik.

Sieben Thesen werden im Folgenden entwickelt, gestützt auf bekannte und anerkannte wissenschaftliche Grundprinzipien. Jede These ist einzeln beweisbar. In ihrer Gesamtheit ergeben sie ein kohärentes Bild der Erde als selbstregulierender, planetarer Energiemaschine, einer Maschine, die seit Milliarden Jahren läuft und deren Abschaltung auf keine naturwissenschaftliche Grundlage gestützt werden kann.

Das Bewusstsein über diese Kreisläufe ist kein Privileg von Geophysikern. Es ist das Grundrecht jedes Menschen auf korrekte naturwissenschaftliche Information, das fundamentalste aller Rechte in einer Wissensgesellschaft, die auf dem Vertrauen in Naturgesetze aufgebaut sein sollte.

THESE 1

Kapitel I: Methan im Ozean ist ein kontinuierlicher, selbstregulierender biogeochemischer Kreislauf

> **THESE 1**
>
> **Der marine Methankreislauf ist ein dauerhaft laufender, biologisch und chemisch gesteuerter planetarer Prozess. Er existiert unabhängig vom Menschen und endet nicht.**

1.1 Das Marine Methane Paradox, Methanproduktion trotz Sauerstoff

Die klassische Biochemie lehrte lange Zeit, Methan könne nur unter anaeroben Bedingungen entstehen, in Abwesenheit von Sauerstoff, durch strikt anaerobe Archaeen. Diese Lehrmeinung wurde durch ein gut dokumentiertes ozeanographisches Phänomen fundamental in Frage gestellt, das in der Fachliteratur als *Marine Methane Paradox* bekannt ist: Oberflächenwasser des Ozeans, vollständig mit Sauerstoff gesättigt und vom Licht durchdrungen, ist methanübersättigt, es enthält mehr gelöstes Methan als das thermodynamische Gleichgewicht mit der Atmosphäre erlauben würde. Dieser Befund ist reproduzierbar, global und über Jahrzehnte belegt.

Die Erklärung liegt in einem Mechanismus, der erst in den frühen 2000er Jahren aufgeklärt wurde: der Abbau von Methylphosphonat (MPn) durch marine Bakterien. Unter Bedingungen extremen Phosphatmangels, wie sie im tropischen und subtropischen offenen Ozean häufig auftreten, aktivieren bestimmte Cyanobakterien und heterotrophe Bakterien ein Enzym (C-P-Lyase), das MPn als Phosphorquelle nutzt und dabei Methan als Nebenprodukt freisetzt. Dieser Prozess ist aerob: Er benötigt weder anaerobe Zonen noch spezielle methanogene Archaeen. Er benötigt lediglich Phosphatmangel, gelöstes organisches Material und Licht. Alle drei Bedingungen sind im tropischen Ozean dauerhaft erfüllt.

Ergänzend belegt ist die Methanproduktion durch den Zooplankton-Metabolismus in sauerstoffreichen Wasserschichten: Kopepoden und andere herbivore Zooplanktonarten produzieren beim Abbau von methylierten Schwefelverbindungen nachweislich Methan, direkt in der durchlüfteten Wassersäule. In Küstenregionen kommen aerotolerante Methanogene hinzu, die an Grenzflächen zwischen oxischen und mikroanoxischen Mikrohabitaten (zum Beispiel in Fäkalpellets, im Verdauungstrakt von Zooplankton, an Partikeloberflächen) metabolisch aktiv sind und Methan produzieren, ohne dass makroskopisch anoxische Bedingungen vorliegen müssen.

Die wissenschaftliche Bedeutung dieses Befundes übersteigt das rein akademische Interesse: Sie beweist, dass Methanproduktion im Ozean kein Randphänomen auf den anoxischen Grund beschränkter Randzonen ist, sondern ein ubiquitärer, in der ganzen euphotischen Zone ablaufender Prozess. Solange im Ozean Biomasse existiert, solange Phytoplankton photosynthetisiert und Zooplankton frisst, läuft dieser Mechanismus.

1.2 Anaerobe Methanogenese in Tiefensedimenten

Unterhalb der gut durchlüfteten Wassersäule, in den Sedimenten des Meeresbodens, läuft der klassische Mechanismus der Methanogenese in enormem Maßstab ab. Methanogene Archaeen gehören zu den ältesten und metabolisch robustesten Lebensformen der Erde. Sie besiedeln die anoxischen Sedimentschichten vom Flachwasserbereich bis in Tiefseeregionen von über 5.000 Metern Wassertiefe. Ihre Metabolismuswege sind zwei:

- **CO_2-Reduktion (hydrogenotrophe Methanogenese):** $\mathrm{CO_2 + 4\,H_2 \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O}$, Archaeen nutzen molekularen Wasserstoff als Elektronendonor und reduzieren Kohlendioxid zu Methan.

- **Acetoklastische Methanogenese:** $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$, Acetat, ein ubiquitäres Fermentationsprodukt des anaeroben Abbaus von organischer Substanz, wird direkt in Methan und CO_2 gespalten.

Beide Wege setzen organisches Material als Substrat voraus. Dieses organische Material wird täglich durch die absinkende Biomasse aus der euphotischen Zone neu geliefert: abgestorbenes Phytoplankton, Zooplankton-Fäkalpellets, Partikel des „marinen Schnees". Die Sedimente des Ozeans sind daher nicht ein einmaliger Vorrat aus der Erdfrühgeschichte, sondern ein täglich neu gespeister, biogeochemischer Reaktor.

Besonders in Kontinentalschelfgebieten mit hoher Primärproduktion, vor allem in den Auftriebszonen der Ozeane (Benguela, Humboldt, California Current) sowie vor großen Flussmündungen, sind die Methanflüsse aus Sedimenten außerordentlich hoch. Hier sinkt täglich eine riesige Menge organischer Substanz ab, wird von Bakterien fermentiert und liefert Archaeen das Substrat für kontinuierliche Methanproduktion.

1.3 Methanotrophe als Kreislauf-Regulator

Ein Kreislauf besteht nicht nur aus Produktion, sondern zwingend auch aus Konsumtion. Der ozeanische Methankreislauf ist vollständig: Methanotrophe Mikroorganismen, sowohl aerobe Proteobakterien in der oxischen Wassersäule als auch anaerobe Konsortien aus sultatreduzierenden Bakterien und methanooxidierenden Archaeen (ANME-Gruppen) in den Sedimenten, oxidieren den Großteil des biologisch produzierten Methans noch vor seinem Austritt in die Atmosphäre.

Der Mechanismus der Anaeroben Oxidation von Methan (AOM) ist geochemisch besonders bedeutsam: Methan und Sulfat reagieren in einem syntrophen Konsortium nach der Gesamtgleichung $CH_4 + SO_4^{2-} \rightarrow HCO_3^- + HS^- + H_2O$. Diese Reaktion ist thermodynamisch günstig und läuft an der Sulfat-Methan-Übergangszone in Sedimenten weltweit ab. Schätzungen zufolge oxidiert die AOM zwischen 70 und 90 Prozent des gesamten in Meeressedimenten produzierten Methans, bevor es die Wassersäule erreicht.

Die aerobe methanotrophe Oxidation in der Wassersäule übernimmt den Rest. Methylotrophe Proteobakterien (Gattungen *Methylococcus*, *Methylomonas*, *Methylocapsa* u.a.) nutzen Methan als einzige Kohlenstoff- und Energiequelle. Sie sind ubiquitär in Oberflächengewässern und an Oxyclines (Sauerstoff-Tiefengrenzen) verbreitet. Ihre Aktivität ist durch Methankonzentration und Sauerstoffverfügbarkeit reguliert, was den Kreislauf automatisch selbst-puffernd macht: Mehr Methan bedeutet mehr methanotrophe Aktivität, die den Methanüberschuss abpuffert.

1.4 Kreislaufstruktur: Der geschlossene biogeochemische Pfad

Die Elemente des marinen Methankreislaufs sind damit vollständig beschreibbar als ein geschlossener, selbstregulierender Pfad:

1. **Produktion:** Phytoplankton, Cyanobakterien, Zooplankton und methanogene Archaeen erzeugen kontinuierlich Methan, in der euphotischen Zone und in den Tiefensedimenten.

2. **Oxidation:** Methanotrophe Bakterien und ANME-Konsortien konsumieren den Großteil des produzierten Methans, in der Wassersäule und den Sedimenten.
3. **Emission:** Ein Nettoüberschuss gelangt in die Atmosphäre, aus warmen subtropischen Oberflächen und flachen Küstenregionen.
4. **Rückführung:** Organisches Material, Nährstoffe und anorganischer Kohlenstoff werden durch Sedimentation und Zirkulation recycelt, und speisen erneut die Produktion.

Dieser Kreislauf läuft, solange im Ozean Leben existiert. Er hat nicht pausiert, seit photosynthetisierende Organismen den Ozean besiedelten, das heißt seit mindestens 3,5 Milliarden Jahren. Kein menschlicher Eingriff, keine Regulierung, kein Preissignal hat auf ihn Einfluss. Er ist ein Naturgesetz in seiner Realisierung.

> **SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL I**
>
> *Methan im Ozean ist kein Zufallsprodukt und kein Randphänomen. Es ist das Ergebnis eines gesetzlich gesteuerten, planetaren biogeochemischen Kreislaufs, der täglich gespeist wird, täglich reguliert wird und nicht aufhört. Die Frage ist nicht, ob dieser Kreislauf existiert, sie ist, warum seine Existenz systematisch ignoriert wird, wenn von „endlichen" Gasreserven gesprochen wird.*

THESE 2

Kapitel II: Plattentektonik erzeugt brennbare Gase abiotisch und dauerhaft

> **THESE 2**
>
> **Die Erde besitzt einen geologischen Gaskreislauf, der vollständig unabhängig vom Leben existiert. Er läuft, solange die Erde tektonisch aktiv ist, Wasser besitzt und einen Kohlenstoffinventar hat.**

2.1 Subduktion als globaler Recyclingmotor

Die Plattentektonik ist das fundamentalste Transportprinzip des Planeten Erde. In Subduktionszonen, den Bereichen, in denen ozeanische Kruste unter kontinentale oder andere ozeanische Kruste abtaucht, werden täglich gigantische Mengen an Material in den Erdmantel transportiert: Meeresbodenbasalt, Sedimente aller Art, organisches Material, Methanhydrate (Clathrate), Karbonate und Tiefseeablagerungen, die über Jahrmillionen angesammelt wurden.

Dieser Prozess findet gegenwärtig an rund 55.000 Kilometer langen Subduktionszonen statt. Die Konvergenzrate beträgt je nach Zone zwischen 2 und 10 Zentimetern pro Jahr. Das bedeutet: Pro Jahr

werden global Hunderttausende Quadratkilometer Meeresboden mit allem, was sich auf ihm abgelagert hat, in die Tiefen des Erdmantels gezogen.

Die Bedingungen im Subduktionsbereich und im Mantel selbst sind radikal anders als an der Oberfläche: Temperaturen zwischen 600 und 1.500 Grad Celsius, Drücke von mehreren Gigapascal (ein Gigapascal entspricht ungefähr 10.000 Atmosphären Druck). Unter diesen Extrembedingungen zerfallen alle organischen Moleküle vollständig. Keine biochemische Struktur übersteht diese Bedingungen. Was verbleibt, sind die Grundelemente: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel. Diese Elemente sind die Rohstoffe für neue chemische Verbindungen, darunter eine Reihe energiereicher, brennbarer Gase.

Es ist entscheidend zu verstehen, dass dieser Prozess nicht als Verbrennung oder Zersetzung verstanden werden sollte, sondern als vollständige chemische Neusynthese unter Extrembedingungen. Die Erde destilliert ihr eingesammeltes Material durch Druck und Hitze und gibt das Ergebnis in Form von Gasen wieder aus.

2.2 Abiotische Methanbildung durch Serpentinisierung

Der bekannteste und am besten charakterisierte Mechanismus der abiotischen Gaserzeugung ist die Serpentinisierung. Dieser Prozess findet überall dort statt, wo Wasser mit olivinreichen ultramafischen Gesteinen des Mantels in Kontakt kommt, in Riftzonen, an Mittelozeanischen Rücken, in Obduktionszonen und in der Tiefsee.

Die Grundreaktion der Serpentinisierung lautet:

> *Serpentinisierungsreaktion (vereinfacht):*
>
> $$3\ Mg_2SiO_4\ (Olivin) + SiO_2 + 4\ H_2O \rightarrow 2\ Mg_3Si_2O_5(OH)_4\ (Serpentin) + Mg(OH)_2$$

Kritisch ist, was dabei als Nebenprodukt entsteht: molekularer Wasserstoff (H_2). Dieser Wasserstoff ist das reaktivste und energiereichste Produkt der Serpentinisierung. Er ist zugleich der Ausgangsstoff für die abiotische Methanbildung über Fischer-Tropsch-analoge Reaktionen. Wenn Wasserstoff mit Kohlenstoffverbindungen, insbesondere Kohlendioxid oder Kohlenmonoxid aus dem Mantel, in Kontakt kommt, entstehen unter geeigneten Drück- und Temperaturbedingungen Kohlenwasserstoffe:

> *Abiotische Methanbildung (Fischer-Tropsch-analog):*
>
> $$CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O$$

Diese Reaktion ist vollständig abiotisch, sie benötigt kein organisches Material, keine Biologie, keinen biologischen Katalysator. Sie läuft ab, weil die thermodynamischen und chemischen Bedingungen sie erzwingen. Der Nachweis ist eindeutig: An Hydrothermalsystemen des Mittelozeanischen Rückens (Lost City Hydrothermal Field, Rainbow-Feld, Kairei-Feld u.a.) wurde kohlenwasserstoffreiches Fluid mit eindeutig abiotischer isotopischer Signatur gemessen. Das Carbon-Isotopenverhältnis dieser Gase unterscheidet sich statistisch signifikant von biologisch erzeugtem Methan und ist konsistent mit abiotischer Synthese.

Die Serpentinisierung ist kein marginaler Prozess. Sie findet gegenwärtig an Tausenden von Kilometern aktiver Riftzonen und Hydrothermalsysteme statt. Sie ist keine Hypothese, sie ist ein beobachteter, messbar ablaufender geochemischer Prozess.

2.3 Mantelgase und vulkanische Ausgasung

Die Produkte des geologischen Gaskreislaufs gelangen durch mehrere Wege wieder an die Erdoberfläche:

- **Vulkane:** Subduktionsvulkane und Mantelplume-Vulkane (Hotspotvulkane) emittieren kontinuierlich Mantelgas. Die typische Zusammensetzung von vulkanischen Gasen umfasst: CO_2 (dominant), SO_2, H_2S, H_2O, HCl, CO und, unter reduzierenden Bedingungen, H_2 und CH_4.
- **Hydrothermale Systeme:** Untermeerische Hydrothermalquellen (Black Smokers und White Smokers) emittieren kontinuierlich H_2, H_2S, CH_4 und CO_2 in die Wassersäule.
- **Riftzonen und Spreizungsrücken:** Die Mittelozeanischen Rücken sind global das größte aktive Vulkansystem der Erde. Sie produzieren bei der Spreizung ständig neuen Meeresboden und emittieren dabei Mantelgase direkt in den Ozean.
- **Mantelplumes (Hotspots):** Aufsteigende Manteldiapire liefern tief aus dem Mantel stammende Gase direkt unter Kontinente, ein Mechanismus, der ebenfalls abiotische Kohlenwasserstoffe erzeugen kann.

Besonderer Erwähnung bedarf der geologische Wasserstoff. H_2 aus Serpentinisierung und Mantelreaktionen ist das energetisch dichteste brennbare Gas, das natürlich in der Erdkruste existiert. In mehreren geologischen Strukturen wurden signifikante Wasserstoffkonzentrationen in der Bohrloch-Gasphase gemessen, darunter in Mali (Bourakebougou-Feld, seit 2011 in Nutzung), in Russland und in Oman. Geologischer Wasserstoff wird in der wissenschaftlichen Gemeinschaft zunehmend als unerschlossene Ressource diskutiert. Das ist kein hypothetisches Konzept, es ist ein gemessener Befund.

SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL II

Brennbare Gase entstehen auf der Erde dauerhaft durch abiotische geologische Prozesse, vollständig unabhängig von biologischer Herkunft. Serpentinisierung, Mantelreaktionen, Subduktionschemie und vulkanische Ausgasung bilden einen geologischen Gaskreislauf, der seit der Entstehung der Erde läuft. Die Technologiebasis des 21. Jahrhunderts hat begonnen, geologischen Wasserstoff als Ressource zu identifizieren. Der Kreislauf ist Realität, nicht Spekulation.

THESE 3

Kapitel III: Erdöl und Erdgas entstehen in einem kontinuierlichen planetaren Kreislauf

> THESE 3
>
> **Erdöl ist kein einmaliges Fossil aus der Urzeit. Es ist das aktuelle Produkt eines seit Milliarden Jahren laufenden, täglich gespeisten planetaren Kreislaufs.**

3.1 Die biologisch-sedimentäre Ölgenese, kein historischer, sondern ein täglicher Vorgang

Das Schulbuchbild der Ölentstehung impliziert einen einmaligen, abgeschlossenen Vorgang: Vor Hunderten von Millionen Jahren, in der Urzeit, lebten riesige Mengen von Organismen, starben ab und wurden unter Sedimenten begraben. Dieses begrabene organische Material wurde dann zu Öl, ein einmaliger, nicht wiederholbarer Prozess. Dieses Bild ist in einem entscheidenden Punkt fundamental falsch: es ist kein einmaliger Vorgang.

Die biologische Primärproduktion im Ozean findet täglich in enormem Umfang statt. Der Ozean beherbergt eine Phytoplankton-Biomasse von schätzungsweise 1 bis 2 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Phytoplankton, darunter Diatomeen, Coccolithophoriden, Dinoflagellaten, Cyanobakterien und Grünalgen, photosynthetisiert, stirbt ab und sinkt auf den Meeresboden. Dieser als „biologische Kohlenstoffpumpe" bekannte Prozess transportiert täglich zwischen 5 und 20 Milliarden Tonnen Kohlenstoff pro Jahr in die Tiefsee. Ein Teil davon sedimentiert und wird dauerhaft im Sediment begraben.

Die ölbildenden Organismen der heutigen Meere sind dieselben Typen wie jene, die die paläozoischen und mesozoischen Öllagerstätten speisten: Mikroalgen, Cyanobakterien, Dinoflagellaten, marine Bakterien. Die organische Geochemie kann mit Biomarkern (Hopanoiden, Steroiden, Porphyrinen) präzise nachweisen, welche Organismentypen das Muttergestein einer Lagerstätte gespeist haben, und diese Biomarker sind identisch mit den heute lebenden Organismen. Das Ausgangsmaterial unterscheidet sich nicht. Der Prozess unterscheidet sich nicht. Nur die Zeitskala ist eine andere.

Der entscheidende Befund ist dieser: Die Erde ist gerade jetzt dabei, neues Öl zu bilden. In jedem Sedimentbecken, in dem organisches Material abgelagert wird und die Temperaturbedingungen stimmen, läuft Ölbildung ab, nicht als historisches Relikt, sondern als aktiver geologischer Gegenwartsprozess.

3.2 Die Zeitdimension: Öl entsteht schneller als allgemein angenommen

Ein verbreitetes Missverständnis betrifft die Zeitspanne der Ölbildung. Die oft genannte Zahl von „Hunderten von Millionen Jahren" ist irreführend und geochemisch nicht korrekt. Die tatsächlichen Zeitspannen sind erheblich kürzer, was eine direkte Konsequenz der thermodynamischen Grenzen des Systems ist:

Phase	Prozess	Typische Dauer	Temperaturfenster
Sedimentation	Ablagerung und frühe Diagenese organischer Substanz	10.000 bis 500.000 Jahre	< 30 °C
Diagenese / Kerogenbildung	Umwandlung organischer Substanz zu Kerogen unter Druck und Temperatur	0,5 bis 5 Millionen Jahre	30 bis 60 °C
Katagenese / Ölbildung	Thermische Crackung von Kerogen zu Öl im Ölfenster	5 bis 50 Millionen Jahre	60 bis 120 °C
Metagenese / Gasbildung	Weiteres Cracken von Restöl zu Gas bei erhöhter Temperatur	5 bis 30 Millionen Jahre	120 bis 250 °C

Die Gesamtdauer von der Sedimentation bis zum förderbaren Öl beträgt damit realistisch 10 bis 50 Millionen Jahre, nicht 300 oder 500 Millionen Jahre. Diese kürzere Zeitspanne ist durch die Thermodynamik erzwungen: Oberhalb von 150 Grad Celsius werden flüssige Kohlenwasserstoffe vollständig zu Gas gecrackt. Oberhalb von 250 Grad Celsius werden alle organischen Verbindungen zerstört, es verbleibt nur Graphit oder gasförmiger Kohlenstoff. Öl kann also physikalisch nicht über Hunderte von Millionen Jahren in situ bestehen bleiben: Es würde längst entweder zu Gas weiterreagiert oder vollständig zerstört sein. Die Altersverteilung realer Öllagerstätten bestätigt diesen Befund: Die meisten Öllagerstätten der Erde sind 10 bis 80 Millionen Jahre alt, nicht Hunderte von Millionen Jahre.

3.3 Der Kreislauf als geschlossenes System

Die vollständige Kreislaufstruktur der Kohlenwasserstoffgenese lässt sich präzise in ihren Schritten beschreiben:

1. **Biomasse-Produktion:** Täglich produzieren Ozean und Küstenökosysteme gigantische Mengen organischer Substanz. Mikroalgen, Cyanobakterien und Zooplankton sterben ab und beginnen zu sedimentieren.
2. **Sedimentation:** Organische Partikel sinken auf den Meeresboden. Je nach Wassertiefe, Strömung und Sauerstoffgehalt des Bodenwassers wird mehr oder weniger organische Substanz dauerhaft in Sedimenten fixiert.
3. **Diagenese:** Unter zunehmendem Sedimentdruck und steigender Temperatur wird organisches Material zu Kerogen, einer hochmolekularen, unlöslichen organischen Substanz.
4. **Katagenese:** Im Ölfenster (60 bis 120 °C, entspricht typisch 3 bis 7 km Tiefe) zerbricht Kerogen durch thermische Energie in flüssige Kohlenwasserstoffe: Erdöl.
5. **Migration:** Öl ist leichter als das umgebende Porenwasser und steigt durch permeable Gesteinsschichten auf. Es folgt dem Druckgradienten aufwärts, bis es entweder an der Oberfläche ausgast (natürliche Ölsickerstellen) oder von einer geologischen Falle aufgefangen wird.
6. **Akkumulation:** In Fallen (Antiklinalen, Verwerfungen, stratigraphischen Fallen) sammelt sich Öl und Gas über geologische Zeiträume an.

7. **Zerstörung / Rückführung:** Natürliche Ausgasung, tektonische Störungen, Erosion, Oxidation und schließlich Subduktion zerstören oder recyceln die Lagerstätten, das Material kehrt in den biogeochemischen Kreislauf zurück.
8. **Neue Biomasse:** Das aus der Verbrennung und Oxidation freigesetzte CO_2 wird von Phytoplankton erneut fixiert, der Kreislauf beginnt von vorn.

Ölbildende Organismen existieren auf der Erde seit mindestens 2,5 Milliarden Jahren (Cyanobakterien) und seit etwa 540 Millionen Jahren in der heutigen Formvielfalt (Mikroalgen, Dinoflagellaten). Seitdem läuft dieser Kreislauf ohne Pause. Er ist durch keine bekannte geologische Katastrophe und keine menschliche Maßnahme angehalten worden. Die Frage ist daher nicht, ob neues Öl entsteht. Die Frage ist allein, ob die Nachlieferungsrate gegenüber der Förderrate relevant ist, und das ist eine Frage der Zeitskala, nicht der grundsätzlichen Existenz des Kreislaufs.

> **SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL III**
>
> *Öl und Gas entstehen täglich neu, in aktiven Sedimentbecken der gesamten Erde. Die thermodynamischen Grenzen des Ölfensters belegen, dass Öl maximal 50 bis 100 Millionen Jahre alt sein kann, nicht Hunderte von Millionen. Der Kreislauf aus Biomasse, Sedimentation, Katagenese, Migration und Rückführung ist ein aktiver Gegenwartsprozess. Er hat nie aufgehört. Er wird nicht aufhören, solange Ozeane, Leben und Geothermik existieren.*

THESE 4

Kapitel IV: Globale Verbreitung verwertbarer Öl- und Gasvorkommen ist systemimmanent

> **THESE 4**
>
> **Öl- und Gasvorkommen sind global verteilt, weil die Erde überall dieselben Prozesse durchlaufen hat. Die physikalische Tiefengrenze von ~9 km definiert den verwertbaren Bereich präzise und global.**

4.1 Plattentektonik als globaler Umverteiler

Das verbreitetste Missverständnis über Öl- und Gasvorkommen ist der Glaube, ihre geografische Verteilung sei zufällig oder auf bestimmte privilegierte Regionen beschränkt. Diese Vorstellung verkennt die fundamentale Konsequenz der Plattentektonik: Jede Region der Erde hat geologische Epochen durchlaufen, in denen die Bedingungen für Ölbildung geherrscht haben.

Die Erdoberfläche bewegt sich. Die Geschwindigkeit beträgt 2 bis 10 Zentimeter pro Jahr, was in 100 Millionen Jahren einer Verlagerung von 2.000 bis 10.000 Kilometern entspricht. Über diese Zeiträume

hinweg verschieben, rotieren und kollisionieren Kontinentalplatten vollständig. Was heute Hochgebirge ist, war einmal Meeresgrund. Was heute trockene Wüste ist, war einmal tropisches Flachmeer. Was heute arktische Tundra ist, war einmal gemäßigte Küstenzone.

Region heute	Frühere geologische Umgebung	Geologisches Ergebnis
Arabische Halbinsel (Saudi-Arabien, Irak, Kuwait)	Tropisches Flachmeer (Tethysmeer, Jura bis Kreide)	Größte Ölfelder der Erde; Ghawar, Burgan, Safaniya
Sahara (Libyen, Algerien, Niger)	Mehrfach Meeresboden, dann Delta- und Sumpfzone	Große Sedimentbecken mit bedeutenden Öl- und Gasfeldern
Sibirien (Westsibirisches Becken)	Flaches Binnenmeer (Jurazeitlich)	Größte Gasvorkommen der Erde (Urengoi, Yamburg)
Nordsee	Flaches Epikontinentalmeer (Jura/Kreide)	Bedeutende Öl- und Gasprovinz (Statfjord, Brent, Forties)
Permian Basin, Texas (USA)	Tropisches Flachmeer (Perm)	Größte aktive Ölprovinz der USA
Nordalaska (North Slope)	Küstennahe Meeresablagerungen (Kreide)	Prudhoe Bay, größtes nordamerikanisches Ölfeld
Venezuelanische Llanos	Marine und fluviatile Sedimentbecken	Orinoco-Gürtel, größte Schwerstölreserven der Erde

Das Muster ist eindeutig: Überall, wo heute große Öl- und Gasfelder existieren, lagen in der Vergangenheit die notwendigen Bedingungen vor, organikreiches Meeres- oder Küstenmilieu, ausreichende Sedimentation, geeignete Temperaturentwicklung. Diese Bedingungen haben sich über geologische Zeiträume global verteilt. Sie sind nicht lokal: Sie sind eine zwangsläufige Konsequenz der planetaren Geschichte.

4.2 Die physikalische Tiefen- und Temperaturgrenze

Die Physik definiert präzise, innerhalb welcher Grenzen verwertbare Öl- und Gasvorkommen existieren können. Diese Grenzen sind unveränderlich und global:

- **Ölfenster:** 60 bis 120 °C Gesteinstemperatur, entspricht typisch 3 bis 7 Kilometer Tiefe (abhängig vom geothermischen Gradienten). Innerhalb dieses Fensters ist Öl thermodynamisch stabil und lagerstättenfähig.
- **Gasfenster:** 120 bis 250 °C, entspricht typisch 5 bis 10 Kilometer Tiefe. Hier existiert primär Erdgas (Methan, Ethan, Propan).
- **Absolute Tiefengrenze:** Bei ~9 bis 10 Kilometer Tiefe kombinieren sich zwei Faktoren: (1) Die Gesteinsporosität nähert sich null, Sedimentgesteine werden durch den Überlastdruck so kompaktiert, dass kein Hohlraum für Fluide verbleibt. (2) Die Temperaturen übersteigen dauerhaft 250 °C, was alle organischen Verbindungen zerstört.

Diese physikalische Grenze ist ein Naturgesetz. Sie gilt auf dem gesamten Planeten gleichmäßig. Sie ist kein geologisches Urteil, keine wirtschaftliche Einschätzung, keine politische Entscheidung. Sie bedeutet: Die gesamte Erde hat eine definierbare, abschätzbare Tiefenzone, in der Kohlenwasserstoffe prinzipiell existieren können, von der Oberfläche bis ~9 km, wo Temperatur und Druck zutreffen und Sedimentstrukturen vorhanden sind.

Das Bohrtechnologie-Argument: Die tiefste jemals gebohrte Bohrung ist die Kola-Supertiefbohrung (Russland) mit 12.262 Metern Tiefe, abgeschlossen in den 1990er Jahren. Ultratiefbohrungen über 9.000 Meter existieren kommerziell in der Öl- und Gasindustrie (u.a. im Golf von Mexiko und in der Nordsee). Die technologische Barriere, das verwertbare Tiefenfenster bis ~9 km global zu erschließen, ist in wesentlichen Teilen bereits überwunden.

4.3 Petroleum System, notwendige Bedingungen für eine Lagerstätte

Nicht jede geologische Formation mit organischen Sedimenten bildet automatisch eine wirtschaftlich nutzbare Lagerstätte. Das Konzept des *Petroleum System* (Petroleum-System) beschreibt die notwendigen und hinreichenden Bedingungen. Alle fünf Elemente müssen gleichzeitig und in der richtigen zeitlichen Abfolge vorhanden sein:

1. **Muttergestein (Source Rock):** Sedimentgestein mit ausreichend hohem Gehalt an organischem Material (Total Organic Carbon, TOC > 0,5 %), das bei ausreichender Temperatur Kohlenwasserstoffe erzeugt hat oder erzeugt.
2. **Migration:** Permeable Gesteinsschichten oder Bruchstrukturen, durch die Öl und Gas aus dem Muttergestein in Richtung Falle wandern können.
3. **Speichergestein (Reservoir Rock):** Poröses und permeables Gestein, typisch Sandstein oder Kalkstein, das Kohlenwasserstoffe aufnehmen und speichern kann (Porosität > 5 %, Permeabilität > 1 mD).
4. **Deckgestein (Seal / Cap Rock):** Eine darüberliegende, undurchlässige Schicht, typisch Ton, Evaporit oder dichter Kalk, die verhindert, dass die aufsteigenden Kohlenwasserstoffe weiter nach oben entweichen.
5. **Falle (Trap):** Eine geometrische Konfiguration aus Reservoir und Deckgestein, die Kohlenwasserstoffe räumlich konzentriert: Antiklinale, Salzdom, Verwerfungsfalle, stratigraphische Pinchout, Kombination der Typen.

Das Fehlen einer dieser fünf Bedingungen erklärt, warum nicht jede Sedimentformation eine Lagerstätte bildet. Es erklärt die räumliche Variabilität. Es erklärt jedoch nicht das grundsätzliche Fehlen von Kohlenwasserstoffen im System, das organische Ausgangsmaterial ist global vorhanden. Wo alle fünf Bedingungen erfüllt sind, existiert eine Lagerstätte. Wo eine fehlt, fehlt die Falle, nicht das Öl selbst.

SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL IV

Die globale Verteilung von Öl- und Gasfeldern ist keine geologische Laune. Sie ist das vorhersagbare Ergebnis einer Erde, die sich bewegt, sedimentiert und organisches Material in Kohlenwasserstoffe umwandelt, überall und zu allen Zeiten. Die physikalische Tiefengrenze von ~9 km definiert präzise den verwertbaren Bereich. Wer verstehen will, warum die Erde Öl hat, muss verstehen, dass die Erde aufgehört hat, es nicht zu haben: Sie hat es überall dort, wo die Physik es erlaubt.

THESE 5

Kapitel V: Natürliche Nachförderung ist ein bewiesener physikalischer Mechanismus

THESE 5

Natürliche Nachförderung ist physikalisch unvermeidlich (Darcy-Gesetz), empirisch belegt (Pressure Build-up, Comeback-Felder) und industriell praktiziert (Stripper Wells, Shut-in). Sie ist kein Mythos, sie ist Reservoiringenieurswesen.

5.1 Das Darcy-Gesetz als physikalische Grundlage

Das fundamentale Gesetz, das jede Fluidbewegung in porösen Medien beschreibt, ist das Darcy-Gesetz, formuliert von Henry Darcy im Jahr 1856 auf Basis experimenteller Untersuchungen an Wasserleitungen in Dijon. Es ist eines der am besten verifizierten Gesetze der Strömungsmechanik und bildet die Grundlage der gesamten Reservoirtechnik, der Hydrogeologie und der Bodenmechanik:

Darcy-Gesetz (allgemeine Form):

```
Q = −(k · A / μ) · (dP / dx)
```

Die Interpretation ist präzise und eindeutig: Der Volumenstrom Q eines Fluids durch ein poröses Medium ist proportional zur Querschnittsfläche A, zur Permeabilität des Mediums k und zum Druckgradienten dP/dx, und umgekehrt proportional zur dynamischen Viskosität μ des Fluids. Entscheidend ist das Vorzeichen: Das Fluid strömt immer in Richtung des niedrigeren Drucks. Das ist kein Modell, keine Näherung, keine Theorie. Es ist ein experimentell verifiziertes Naturgesetz.

Die Konsequenz für Erdöl-Reservoirs ist zwingend: Wenn in einem Reservoir durch Förderung der Fluiddruck lokal absinkt, entsteht ein Druckgradient zwischen dem geförderten Bereich und den umgebenden, noch ungeförderten Bereichen. Dieser Druckgradient erzwingt physikalisch eine Strömung in Richtung des Bohrlochs. Es gibt keine Ausnahme von diesem Gesetz.

5.2 Mechanismus der natürlichen Nachförderung

Natürliche Nachförderung ist keine mysteriöse Erscheinung. Sie ist die direkte, physikalisch unvermeidliche Konsequenz des Darcy-Gesetzes, angewendet auf die Geologie von Ölfeldern. Der Mechanismus lässt sich in drei Quelltypen gliedern:

1. **Hydraulisch verbundene Nachbarreservoirs:** Viele Ölfelder sind nicht geometrisch isoliert. Sie sind durch permeable Gesteinsschichten, Kluftnetzwerke oder Verwerfungssysteme mit benachbarten Reservoirs hydraulisch verbunden. Sinkt der Druck im geförderten Feld, fließt Fluid aus den verbundenen Strukturen nach, automatisch, ohne menschliche Einwirkung, allein aufgrund des Druckgradienten.
2. **Druckgetriebene Entgasung aus dem Muttergestein:** Das Muttergestein (Source Rock) ist kein inertes Gestein. Es enthält noch immer eingeschlossene Kohlenwasserstoffe in Mikroporen und Matrixstrukturen, die durch den Druckabfall im Reservoir mobilisiert werden. Dieses Prinzip liegt dem modernen Fracking zugrunde, der Unterschied ist nur, dass natürliche Mikrorisse und Permeabilitäten diesen Transfer ermöglichen, ohne künstliche Stimulation.
3. **Vertikale Diffusion aus tieferen Gaszonen:** In vielen Lagerstätten liegen unterhalb des Öls tiefere Gaszonen. Gas hat eine geringere Viskosität als Öl und diffundiert leichter durch Poren und Klüfte. Ein Druckabfall im Reservoir kann Gas aus tiefer gelegenen Zonen nach oben mobilisieren, das seinerseits Öl vor sich herschiebt.

Die Geometrie dieses Systems entspricht einem Trichter: Das hydraulische Einzugsgebiet einer geologischen Falle umfasst nicht nur das Reservoir selbst, sondern Tausende bis Millionen Quadratkilometer Umgebungsgestein. Aus jedem Quadratkilometer dieses Einzugsgebiets fließt täglich eine mikroskopisch kleine Menge Fluid in Richtung des Bohrlochs, summiert über das gesamte Einzugsgebiet ergibt das eine kontinuierliche, erhebliche Nachlieferung.

5.3 Empirischer Nachweis: Pressure Build-up, Shut-in und Comeback-Felder

Die natürliche Nachförderung ist keine theoretische Ableitung. Sie ist empirisch nachgewiesen und industriell genutzt:

Pressure Build-up Test (Druckwiederherstellungstest): Diese Messmethode ist ein Standard der Reservoirtechnik. Nach dem Schließen eines Bohrlochs, dem sogenannten Shut-in, wird der Druckanstieg im Reservoir zeitlich aufgezeichnet. Der Druck steigt systematisch und reproduzierbar an. Die Kurve dieses Druckanstiegs, das Horner-Diagramm, liefert präzise Informationen über die Reservoireigenschaften (Permeabilität, Skin-Faktor, Reservoirausdehnung). Dieser Test funktioniert nur, weil Fluid aus der Umgebung in das Reservoir nachströmt und den Druck aufbaut. Er funktioniert bei jedem Öl- und Gasfeld, das gemessen wurde. Er ist internationaler Standard der Reservoiringenieurswissenschaft.

Ghawar-Feld (Saudi-Arabien): Das größte Ölfeld der Erde, entdeckt 1948, produziert seit über 70 Jahren. Die geologische Falle des Ghawar-Felds umfasst eine Antiklinale von etwa 280 Kilometer Länge

und bis zu 35 Kilometer Breite. Jahrzehntelange Förderung und umfangreiche Injektionsprogramme (Wasserflutung) belegen, dass das Reservoir hydraulisch mit einem riesigen Einzugsgebiet verbunden ist und Fluid aus dem umgebenden Arab-D-Reservoir nachzieht.

Permian Basin (Texas, USA): Dieses Becken weist vertikale Reservoirstapelung auf: Mehrere übereinanderliegende, hydraulisch verbundene Schichten unterschiedlicher geologischer Formationen (Wolfcamp, Spraberry, Delaware-Becken). Felder, die in den 1970er Jahren als erschöpft galten und aufgegeben wurden, wurden ab den 2000er Jahren mit neuer Horizontalbohrtechnologie reaktiviert und produzierten wieder massiv, weil in der Zwischenzeit natürliche Nachförderung und Druckausgleich stattgefunden hatten.

Stripper Wells (USA): Als „Stripper Wells" werden Bohrlöcher bezeichnet, die weniger als 10 Barrel Öl pro Tag produzieren. In den USA existieren über 400.000 solcher Bohrlöcher. Sie produzieren diskontinuierlich und auf niedrigem Niveau, genau abgestimmt auf den natürlichen Nachschub aus dem Reservoir. Ihre kumulative Produktion ist erheblich: Sie liefern etwa 10 bis 15 % der gesamten US-Ölproduktion. Ihre Wirtschaftlichkeit basiert ausschließlich auf dem natürlichen Nachschub, andernfalls würden sie sofort erschöpft sein.

Comeback-Felder: In den USA und anderen Regionen wurden Ölfelder, die in den 1930er, 1950er oder 1970er Jahren als wirtschaftlich leer erklärt und verlassen wurden, Jahrzehnte später erneut angebohrt, und lieferten wieder kommerzielle Ölmengen. Dieses Phänomen ist so häufig, dass es in der Industrie als bekannte Praxis anerkannt ist. Die Erklärung ist eindeutig: In den Jahrzehnten der Nichtnutzung hatte sich der Druck im Reservoir durch Nachströmung aus der Umgebung wieder aufgebaut, und neues Öl war aus dem Muttergestein nachgedrungen.

Nordsee: Im Nordsee-Produktionssystem sind viele Felder hydraulisch miteinander verbunden über gemeinsame Aquifer-Systeme und Kluftnetzwerke. Der Druckabfall in einem aktiv geförderten Feld triggert nachweislich Druckänderungen in benachbarten, noch nicht oder nicht mehr geförderten Feldern, ein direkter Beweis für hydraulische Konnektivität über große räumliche Abstände.

> **SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL V**
>
> *Natürliche Nachförderung ist kein Mythos und keine Hoffnung. Sie ist physikalisch unvermeidlich (Darcy-Gesetz), empirisch reproduzierbar messbar (Pressure Build-up Tests), weltweit in der Praxis dokumentiert (Stripper Wells, Comeback-Felder, Nordsee, Ghawar) und industriell genutzt. Das Shut-in-Verfahren, gezieltes Schließen von Bohrlöchern, um den natürlichen Druckaufbau zu ermöglichen, ist eine Standardpraxis der Industrie. Sie nutzt die natürliche Physik des Systems. Das System funktioniert, weil die Physik funktioniert.*

THESE 6

Kapitel VI: Das Erschöpfungsnarrativ ist geologisch

unhaltbar und erfüllt wirtschaftliche Funktionen

> THESE 6
>
> **Das Erschöpfungsnarrativ ist geologisch falsch. Es basiert auf Verwirrung zwischen absoluter Ressourcenmenge und Förderrate. Alle zeitlich spezifizierten globalen Erschöpfungsprognosen sind historisch gescheitert. Das Narrativ erfüllt nachweislich wirtschaftliche und politische Funktionen.**

6.1 Die geologische Realität: Was erschöpft werden kann und was nicht

Die korrekte geologische Aussage über Öl und Gas lautet nicht: „Es ist endlich und erschöpft sich." Die korrekte Aussage lautet: „Die Förderrate des Menschen übersteigt die geologische Nachfüllrate bei wirtschaftlich zugänglichen Lagerstätten." Das ist eine fundamental andere Aussage. Der erste Satz behauptet das Ende eines geologischen Vorrats. Der zweite beschreibt eine Diskrepanz zwischen zwei Raten in einem laufenden Kreislauf.

Die Erde wird aus den in den Kapiteln I bis V dargelegten Gründen niemals vollständig öllos. Der Kreislauf aus Biomasse, Sedimentation, Katagenese, Migration und Akkumulation läuft, solange vier Voraussetzungen erfüllt sind:

- Leben im Ozean (belegt für mindestens weitere 500 Millionen Jahre)
- Plattentektonik (belegt für mindestens weitere 1 bis 2 Milliarden Jahre)
- Geothermischer Gradient (belegt für mindestens weitere 4 Milliarden Jahre)
- Flüssiges Wasser (belegt für mindestens weitere 1 Milliarde Jahre)

Alle vier Voraussetzungen sind auf geologischen Zeitskalen gesichert. Der Kreislauf läuft weiter. Das einzige, was sich verändert, sind die wirtschaftlich zugänglichen Mengen in spezifischen Lagerstätten, eine menschliche Kategorie, keine geologische.

Auch die absolut zugängliche Menge ist keine fixe Größe. Jede Verbesserung der Bohrtechnologie, der seismischen Exploration oder der Enhanced Recovery erschließt bisher unzugängliche Vorräte. Unkonventionelle Ressourcen (Tight Oil, Ölsande, Schiefergas, Gashydrate) waren vor dem 20. Jahrhundert technologisch nicht nutzbar, geologisch existierten sie. Die globalen Reservenschätzungen sind seit 1970 trotz massiver Entnahme insgesamt gestiegen, weil neue Technologien und neue Explorationsmethoden laufend bisher unbekannte oder unzugängliche Mengen erschließen.

6.2 Die Geschichte der Peak-Oil-Prophezeiungen

Die Geschichte der Peak-Oil-Prophezeiungen ist gut dokumentiert. Das Muster ist eindeutig und wiederholend:

Jahr / Quelle	Prognose	Tatsächliche Entwicklung
1956, M. King Hubbert	US-Ölproduktion erreicht Peak zwischen 1965 und 1970	Konventionelles US-Öl erreichte 1970 lokales Maximum, fiel, stieg dann durch Fracking ab 2010 auf historische Höchststände, weit über Hubberts Prognose
1970er Jahre, Club of Rome	Öl in 10 bis 30 Jahren erschöpft; globaler Kollaps bis 2000	Nicht eingetreten; globale Ölproduktion stieg bis 2023 auf Rekordhöhen
1979, US Department of Energy	Globaler Peak zwischen 1990 und 2000	Nicht eingetreten; Förderung in allen relevanten Regionen fortgesetzt
2005 bis 2010, IEA-Berichte	Peak Oil innerhalb von 10 bis 15 Jahren; dramatische Preisanstiege danach	US-Schieferölrevolution ließ globale Förderung auf Rekordniveau steigen; Ölpreise kollabierten 2014
2010er Jahre, diverse NGOs	„Stranded Assets", fossile Reserven bleiben unter der Erde; „Carbon Bubble"	Fossile Energieträger decken weiterhin >80 % des globalen Primärenergiebedarfs (Stand 2024)

Das systematische Scheitern aller zeitlich spezifizierten globalen Erschöpfungsprognosen ist kein Zufall. Es ist die vorhersagbare Folge eines Fehlers im Modell: Die statischen Reservenschätzungen (Proven Reserves) unterschätzen systematisch die dynamische Natur geologischer Ressourcen, technologischen Fortschritts und wirtschaftlicher Anreize. Was als „Grenze" des Systems deklariert wird, ist stets die Grenze des aktuell bekannten und wirtschaftlich zugänglichen Vorrats, nicht die Grenze des geologischen Systems.

6.3 Das ökonomische Modell der Verknappung und seine Funktionen

Das Erschöpfungsnarrativ hat jenseits der geologischen Frage eine bemerkenswert präzise wirtschaftliche Funktion. Drei Mechanismen lassen sich analytisch trennen:

1. Psychologische Verknappung als Preismechanismus: Die drohende Erschöpfung eines essentiellen, unverzichtbaren Gutes, für das es keine sofort verfügbare Alternative gibt, maximiert die Zahlungsbereitschaft der Abnehmer. Kein Marktteilnehmer erzeugt Hysterie über die Erschöpfung von Eisenerz oder Sand, weil diese Güter reichlich, substituierbar oder nicht systemkritisch erscheinen. Öl und Gas sind in der gesellschaftlichen Wahrnehmung systemkritisch und nicht substituierbar. Ein Erschöpfungsnarrativ für diese Güter hat eine direkte Aufwärtswirkung auf Preisniveau und Investitionsbereitschaft.

2. Legitimation hoher Förderkosten: Konventionelles, druckgetriebenes Onshore-Öl hat niedrige Förderkosten (weniger als 5 Dollar pro Barrel in Saudi-Arabien). Tiefseebohren, Fracking-Öl und Ölsande haben hohe Förderkosten (30 bis 80 Dollar pro Barrel). Das Narrativ der Erschöpfung der „einfach zugänglichen" Ressourcen legitimiert diese Kostenstruktur: Die teuren Quellen werden als natürliche

Konsequenz der Ressourcenknappheit dargestellt, nicht als Folge unternehmerischer Entscheidungen über Investitionspriorität und politischen Willen.

3. „Wirtschaftlichkeit" als menschliches Urteil: Der Begriff „erschöpftes Feld" ist in der Industrie definiert als: Die verbleibende Ölmenge lässt sich mit dem gegebenen Preis, der gegebenen Technologie und dem gegebenen Kapitalaufwand nicht mehr wirtschaftlich fördern. Das ist kein geologisches Urteil. Es ist ein ökonomisches Urteil, das sich mit veränderten Öl-Preisen, neuer Technologie oder veränderter Subventionspolitik vollständig umkehren kann, und historisch regelmäßig umgekehrt hat. Ein als „leer" bezeichnetes Feld ist oft geologisch nicht leer. Es ist wirtschaftlich unattraktiv bei den aktuellen Bedingungen.

SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL VI

Das Erschöpfungsnarrativ ist geologisch nicht haltbar, weil es den Kreislaufcharakter des Systems ignoriert. Es ist historisch nicht haltbar, weil alle globalen Erschöpfungsprognosen der letzten 70 Jahre gescheitert sind. Es erfüllt wirtschaftliche Funktionen, indem es Preisniveaus legitimiert und Kostenstrukturen rechtfertigt. Die korrekte wissenschaftliche Aussage lautet: Die menschliche Förderrate übersteigt die geologische Nachfüllrate bei spezifischen, wirtschaftlich zugänglichen Lagerstätten. Das ist eine Aussage über Wirtschaftlichkeit und Zeit, nicht über die absolute Existenz des Systems.

THESE 7

Kapitel VII: Die CO_2-Geschichte der Erde widerlegt das gegenwärtige Klimaparadigma in seiner absolutistischen Form

THESE 7

Das aktuelle atmosphärische CO_2 liegt deutlich unter dem erdgeschichtlichen Durchschnitt. Öl und Gas stammen aus atmosphärischem CO_2 vergangener Epochen. Dieser Kontext ist für eine wissenschaftlich vollständige CO_2-Debatte unerlässlich.

7.1 Historischer CO_2-Gehalt der Erdatmosphäre

Die erdgeschichtliche Entwicklung des atmosphärischen CO_2-Gehalts ist durch geochemische Proxydaten gut rekonstruiert: Isotopenanalysen von Paläosedimenten, Blattstomata-Fossilien, Boraten und Paläopedologie liefern konsistente Daten für die letzten 600 Millionen Jahre. Das Bild ist eindeutig:

Geologische Epoche	Zeitraum (Mio. Jahre)	CO_2-Konzentration (ppm)	Klimabedingungen
Kambrium / Ordovizium	540 bis 440	4.000 bis 7.000 ppm	Warm, eisfreie Pole; marine Radiation
Devon	419 bis 359	1.000 bis 2.500 ppm	Warm bis gemäßigt; terrestrische Flora
Karbon	359 bis 299	300 bis 800 ppm	Abkühlung; Eiszeiten; Kohlenwälder (Peak organische Sedimentation)
Perm / Trias	299 bis 201	700 bis 2.000 ppm	Warm; keine permanenten Polareiskappen
Jura	201 bis 145	1.000 bis 2.000 ppm	Sehr warm; Tethysmeer; hohe Biomasse
Kreide	145 bis 66	1.000 bis 1.500 ppm	Warm; hohe Meeresspiegel; üppige Vegetation
Paläogen / Neogen	66 bis 2,6	300 bis 800 ppm	Abkühlung; Vereisung der Antarktis
Pleistozän / Holozän	2,6 bis 0	180 bis 280 ppm	Eiszeit-Interglazial-Zyklen
Heute (2024)	bis	**~422 ppm**	Post-industriell; Erwärmungstrend

Der Befund ist nüchtern und eindeutig: Der aktuelle CO_2-Gehalt von ~422 ppm liegt im unteren Quintil der gesamten Phanerozoikum-Geschichte. Für die meisten der letzten 600 Millionen Jahre, dem Zeitraum des komplexen Tierlebens auf der Erde, lag der CO_2-Gehalt der Atmosphäre um ein Mehrfaches über dem heutigen Niveau. In diesen Hochphasen des atmosphärischen CO_2 war die biologische Produktivität im Ozean maximal, sie speiste jene Sedimentationsschichten, die heute als Öl und Gaslagerstätten genutzt werden.

7.2 Öl und Gas als gebundenes atmosphärisches CO_2 vergangener Epochen

Der Kreislaufcharakter des Kohlenstoffs schließt die CO_2-Geschichte der Atmosphäre direkt in die Öl- und Gasentstehung ein. Jedes Molekül Kohlenstoff in einem Barrel Erdöl oder einem Kubikmeter Erdgas hat eine präzise rekonstruierbare Geschichte:

1. Es war vor 10 bis 100 Millionen Jahren als CO_2 in der Atmosphäre gelöst.
2. Es wurde durch Photosynthese von Mikroalgen oder Cyanobakterien zu organischem Kohlenstoff reduziert.
3. Diese Organismen starben ab und sanken auf den Meeresboden.
4. Durch Sedimentation, Diagenese und Katagenese wurde das organische Material zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt.
5. Es akkumulierte in geologischen Fallen als Öl oder Gas.

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe gibt diesen Kohlenstoff zurück in die Atmosphäre. Sie führt also nicht zu einer „Neuinjektion" fremden Kohlenstoffs, sondern zur Rückführung von Kohlenstoff, der vor Millionen Jahren aktiv der Atmosphäre entzogen und in Sedimenten gespeichert wurde. Die geochemischen Isotopenverhältnisse ($\Delta^{1}{}_{3}C$, $^{14}C/^{12}C$) erlauben die präzise Zuordnung: Der Kohlenstoff fossiler Brennstoffe ist durch seinen niedrigen ^{14}C-Gehalt eindeutig identifiziert und von vulkanischem CO_2 und biologisch frisch produziertem CO_2 unterscheidbar.

Die Konsequenz dieser Betrachtung: Die Verbrennung fossiler Brennstoffe ist geochemisch ein Teilschritt im globalen Kohlenstoffkreislauf. Sie kehrt CO_2 in die Atmosphäre zurück, das vor Millionen Jahren in Hochphasen der Bioproduktivität fixiert wurde. Das bedeutet nicht, dass die Dynamik des aktuellen CO_2-Anstiegs irrelevant wäre, aber es bedeutet, dass die historische Perspektive für eine vollständige Bewertung unerlässlich ist.

7.3 Implikationen für die aktuelle CO_2-Debatte

Die gegenwärtige Klimadebatte fokussiert auf einen Vergleichszeitraum von 150 bis 200 Jahren: Seit der Industrialisierung ist der CO_2-Gehalt von ~280 ppm auf ~422 ppm gestiegen. Das ist ein dokumentierter, messtechnisch verifizierter Anstieg von etwa 50 Prozent innerhalb eines sehr kurzen geologischen Zeitraums. Die Rate des Anstiegs ist im erdgeschichtlichen Kontext ungewöhnlich schnell.

Dieser Befund wird in der gegenwärtigen Debatte vollständig korrekt festgestellt. Was jedoch systematisch fehlt, ist der erdgeschichtliche Rahmen:

- Der Absolutwert von 422 ppm ist nicht historisch einzigartig. Er liegt im Normalbereich der letzten 30 bis 50 Millionen Jahre und ist erheblich unter dem Durchschnitt der letzten 600 Millionen Jahre.
- Das Leben auf der Erde hat CO_2-Konzentrationen von über 4.000 ppm nicht nur überlebt, sondern unter diesen Bedingungen seine größte Diversifizierungsphase durchlaufen (Kambrische Explosion).
- Die Zusammenhänge zwischen CO_2-Konzentration und globaler Temperatur in der Erdgeschichte sind komplexer als einfache lineare Modelle suggerieren: Glazialperioden (Eiszeiten) traten auch bei CO_2-Konzentrationen über 1.000 ppm auf (Ordovizische Vereisung). Das CO_2-Klima-Feedback ist real, aber durch viele weitere Faktoren (Sonnenleuchtkraft, Kontinentalanordnung, Meeresströmungen, Wolkenbildung, Albedo) modifiziert.

Die wissenschaftliche Aussage dieses Kapitels ist keine Leugnung des Klimawandels und keine Verharmlosung schneller CO_2-Anstiege. Sie ist die Forderung nach vollständiger Darstellung: Eine CO_2-Debatte, die den erdgeschichtlichen Kontext systematisch ausblendet, betreibt selektive Informationspräsentation. Politische und wirtschaftliche Maßnahmen, die auf unvollständigen Modellen aufgebaut sind, können systematisch fehlallokierte Ressourcen und unbeabsichtigte Konsequenzen erzeugen.

SCHLUSSFOLGERUNG KAPITEL VII

Der aktuelle CO_2-Gehalt der Atmosphäre ist erdgeschichtlich nicht außergewöhnlich, sondern im unteren Bereich der letzten 600 Millionen Jahre. Öl und Gas sind versteinertes CO_2 vergangener Hochproduktivitätsepochen. Ihre Verbrennung ist geochemisch eine Rückführung, keine Neuinjektion. Der erdgeschichtliche Kontext ist für eine vollständige, wissenschaftlich redliche CO_2-Debatte unverzichtbar. Seine systematische Auslassung ist ein Mangel an wissenschaftlicher Vollständigkeit, kein Konsens der Naturwissenschaft.

GESAMTSCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassung und Gesamtschlussfolgerung

Dieser Schriftsatz hat sieben Thesen entwickelt, die zusammen ein kohärentes, naturwissenschaftlich begründetes Bild der Erde als selbstregulierende Energiemaschine ergeben. Keine dieser Thesen beruht auf Spekulation. Jede stützt sich auf bekannte, anerkannte wissenschaftliche Grundprinzipien der Geologie, Geochemie, Strömungsmechanik und Ozeanographie.

1. **Methan im Ozean** ist ein selbstregulierender biogeochemischer Kreislauf. Er wird täglich gespeist durch Primärproduktion, Marine Methane Paradox, aerobe und anaerobe Methanogenese. Er wird reguliert durch methanotrophe Mikroorganismen. Er hat seit mindestens 3,5 Milliarden Jahren nicht pausiert.

2. **Plattentektonik** erzeugt brennbare Gase, dauerhaft und abiotisch, ohne jegliche biologische Beteiligung. Serpentinisierung, Fischer-Tropsch-analoge Reaktionen, Mantelreaktionen und vulkanische Ausgasung bilden einen geologischen Gaskreislauf, der solange läuft, wie die Erde tektonisch aktiv ist.

3. **Erdöl und Erdgas** entstehen in einem kontinuierlichen Kreislauf. Täglich wird neues Material eingespeist. Die Zeitskala von 10 bis 50 Millionen Jahren für die Bildung ist durch die Thermodynamik des Ölfensters erzwungen, nicht durch Beliebigkeit. Der Kreislauf läuft seit 2,5 Milliarden Jahren.

4. **Globale Verteilung** von Öl- und Gasvorkommen ist systemimmanent durch Plattentektonik. Jede Region hat geologische Epochen mit Meeresbedeckung und organischer Sedimentation durchlaufen. Die physikalische Tiefengrenze von ~9 km definiert den verwertbaren Bereich präzise und global.

5. **Natürliche Nachförderung** ist physikalisch unvermeidlich: Das Darcy-Gesetz erzwingt Fluidbewegung in Richtung von Druckgradienten. Pressure Build-up Tests, Stripper Wells, Comeback-Felder und das Shut-in-Verfahren beweisen diesen Mechanismus empirisch und praktisch. Er wird industriell genutzt.

6. **Das Erschöpfungsnarrativ** ist geologisch unhaltbar, weil es den Kreislaufcharakter ignoriert. Alle zeitlich spezifizierten globalen Erschöpfungsprognosen der letzten 70 Jahre sind gescheitert. Das Narrativ verwechselt die absolute Ressourcenmenge mit der wirtschaftlichen Zugänglichkeit und erfüllt nachweislich wirtschaftliche Funktionen bei der Legitimation von Preisstrukturen.

7 **Der erdgeschichtliche CO_2-Kontext** wird in der gegenwärtigen Klimadebatte systematisch ausgeblendet. Der aktuelle Gehalt von ~422 ppm liegt am unteren Ende der Erdgeschichte. Öl und Gas sind versteinertes CO_2 vergangener Hochproduktivitätsepochen. Ihre Verbrennung ist geochemisch eine Rückführung in den Kreislauf.

Das Gesamtbild

Die Erde ist kein sterbendes Energiesystem. Sie ist ein selbstregulierender, planetarer Reaktor, der seit Milliarden Jahren kontinuierlich Energie in Form von Kohlenwasserstoffen erzeugt, verteilt und recycelt. Die vier Motoren dieses Reaktors, biologische Primärproduktion, geothermische Energie, Plattentektonik und Hydrosphäre, sind auf Zeitskalen von Milliarden Jahren stabil.

Das Bild der endlichen Ressource widerspricht den Grundgesetzen der Geologie, der Strömungsmechanik und der Geochemie. Diese Gesetze wurden nicht von Ölindustrie oder Politik erfunden. Sie wurden durch Experiment und Beobachtung über Jahrhunderte erarbeitet. Sie gelten unabhängig von Interessenlage, Konsens und politischem Willen.

Die korrekte Differenzierung lautet: Spezifische, wirtschaftlich zugängliche Lagerstätten können lokal erschöpft werden. Das globale System nicht. Die Verwechslung dieser beiden Ebenen, das lokale, wirtschaftliche Urteil über eine spezifische Lagerstätte und das globale, geologische Urteil über das System, ist die Quelle des Erschöpfungsnarrativs und seiner Wirkungsmacht.

Naturgesetze lassen sich nicht abwählen. Das Darcy-Gesetz gilt weiter. Serpentinisierung findet weiter statt. Phytoplankton sedimentiert weiter. Subduktionszonen ziehen weiter Material in den Mantel. Der Kreislauf läuft.

ABSCHLIESSENDES VOTUM

Das Erschöpfungsnarrativ ist mit dem Stand der Naturwissenschaften unvereinbar. Es ist nicht widerlegt durch Meinung oder Ideologie, es ist widerlegt durch Physik, Geochemie und Strömungsmechanik. Das Bewusstsein über die planetaren Kreisläufe der Erde ist kein Privileg von Fachleuten. Es ist das Grundrecht jedes Menschen auf korrekte naturwissenschaftliche Information. Dieser Schriftsatz ist ein Beitrag zu diesem Recht.

, Ende des Schriftsatzes ,
Erstellt: September 2026