



Endliche Ressourcen - exponentielles Wachstum?

oder:

Von endlichen Ressourcen zur Versorgung mit Erneuerbarer Energie

Nutzbarkeit von Ressourcen

Die Gesamtheit aller Vorkommen eines Rohstoffs heißt Ressource; doch nur der als Reserve bezeichnete Anteil davon ist wirtschaftlich nutzbar.

Alle Ressourcen sind endlich.

Erneuerbare Energiequellen stehen beliebig lange zur Verfügung – gemessen an menschlichen Maßstäben.



Umgang mit Ressourcen



Wieviel Land steht/stünde
jedem Mensch auf der Erde zu?

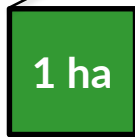
Annahmen:

- 15% bewohnbare Erdoberfläche
- 7,7 Mrd. Menschen (2019)

Ergebnis:

1,0 ha (Hektar)

Ist das nun viel oder wenig?



Nachhaltige Nutzung eines Hektars

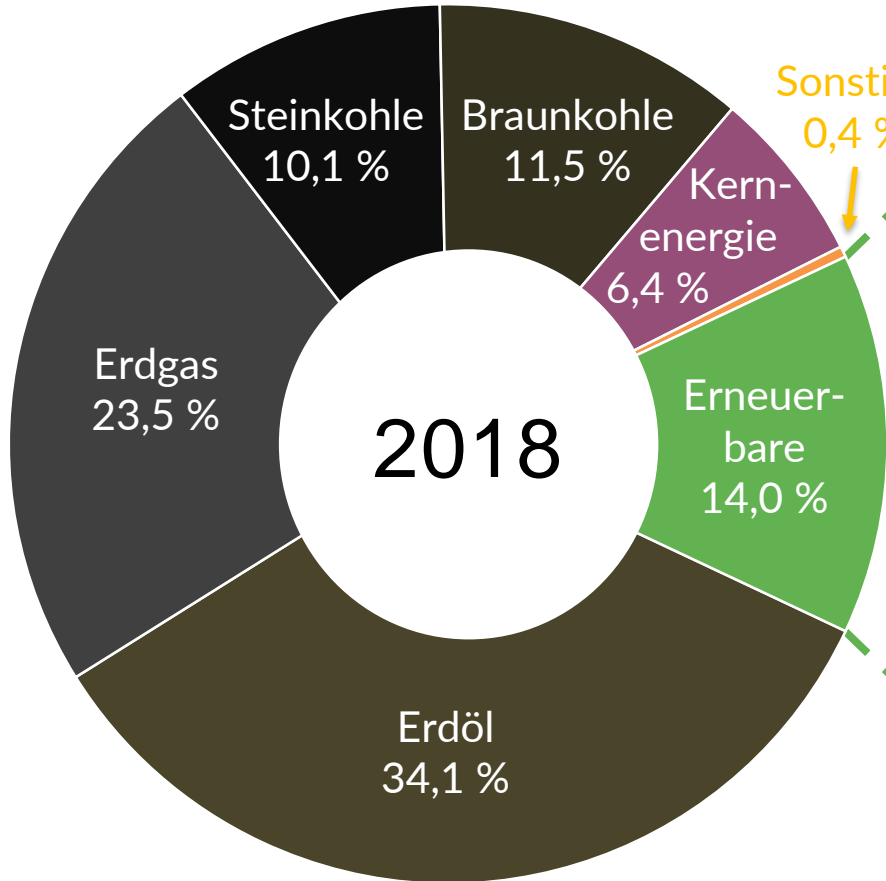
Zahlenbeispiel für Deutschland

Versorgung mit ...	Annahmen	Ertrag
Wasser	Jahresniederschlag: 730mm	20 m ³ /d
Fleisch	1 kg Rindfleisch benötigt 17 m ³ Wasser.	≈1 kg/d
Getreide	Weizenertrag mit Düngung: 7,3 t/ha	20 kg/d
	“ ohne Düngung: 10...25%	2...5 kg/d
Holz zum Heizen, Kochen	In einem Hektar Wald wachsen pro Jahr 8 m ³ Holz nach. Heizwert: 4 kWh/kg	25,6 MWh/a = 2,9 kW

Durchschnittsleistung (bzgl. Primär-Energie) pro Einwohner (DE, 2018): **5,2 kW (!)**

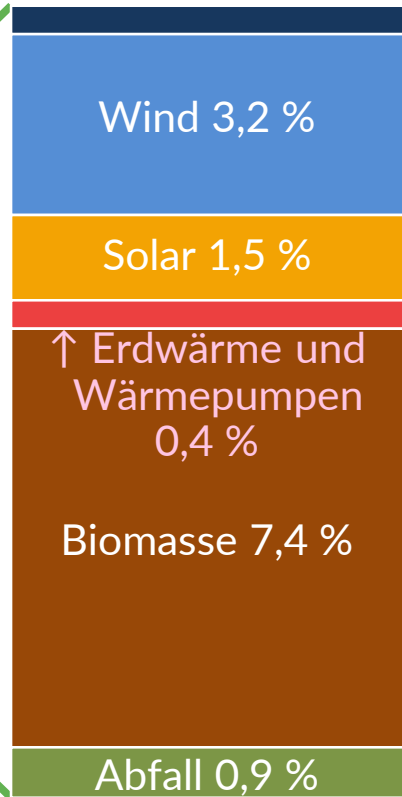
Mit Holz als Primär-Energie benötigten wir jährlich 1,8 ha Wald pro Einwohner.

Primärenergieverbrauch in DE



Sonstige
0,4 %

↓ Wasserkraft 0,5 %



Gut ausbaufähige Erneuerbare Energie:

5,2%

86% der Energie stammt aus endlichen Ressourcen!

Aktueller Ressourcen-Verbrauch



Fazit:

Der in der ersten Welt übliche Lebensstandard kann von den auf 1 Hektar nachwachsenden Ressourcen nicht gedeckt werden;

das (Über-)Leben erfolgt auf Kosten der Ausbeutung von in der Vergangenheit entstandenen (fossilen), jedoch endlichen Ressourcen!

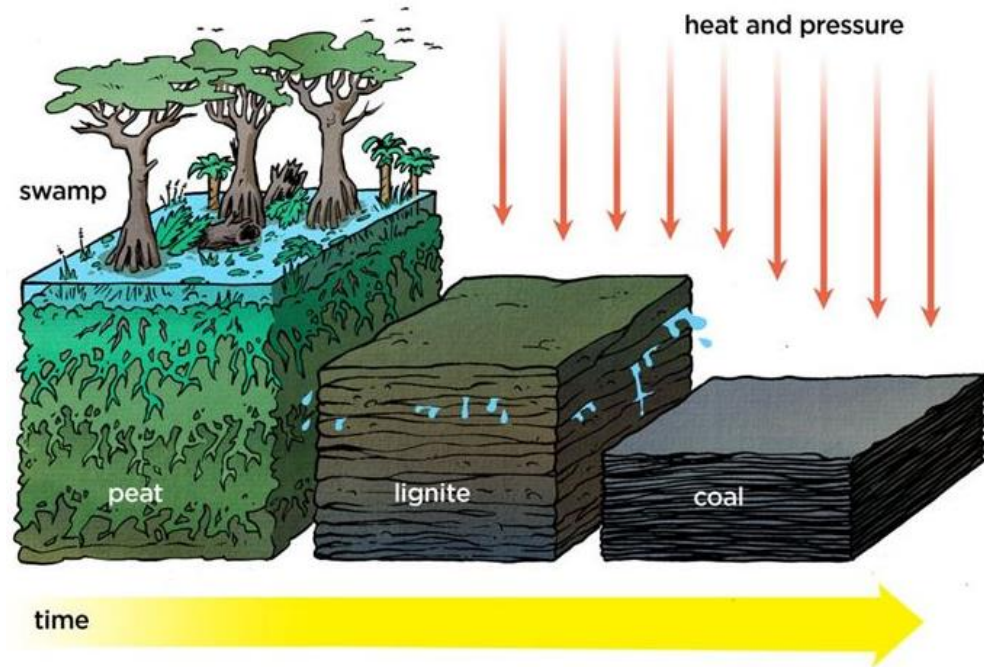


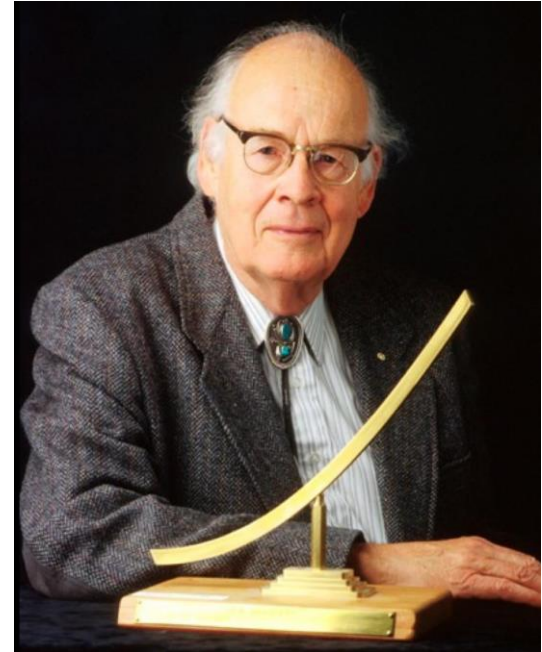
Abb. von:
<https://byjus.com/chemistry/formation-of-fossil-fuels/>

Endliche Ressourcen – exponentielles Wachstum?



Zweiter Teil: Exponentielles Wachstum

in Anlehnung an ein Beispiel aus dem Vortrag
„Arithmetics, Population, and Energy“
von Albert Bartlett (1923-2013)



Quelle der Abb.:
<https://www.colorado.edu/asmagazine/2016/12/06/physics-profs-home-man-himself-now-icon>

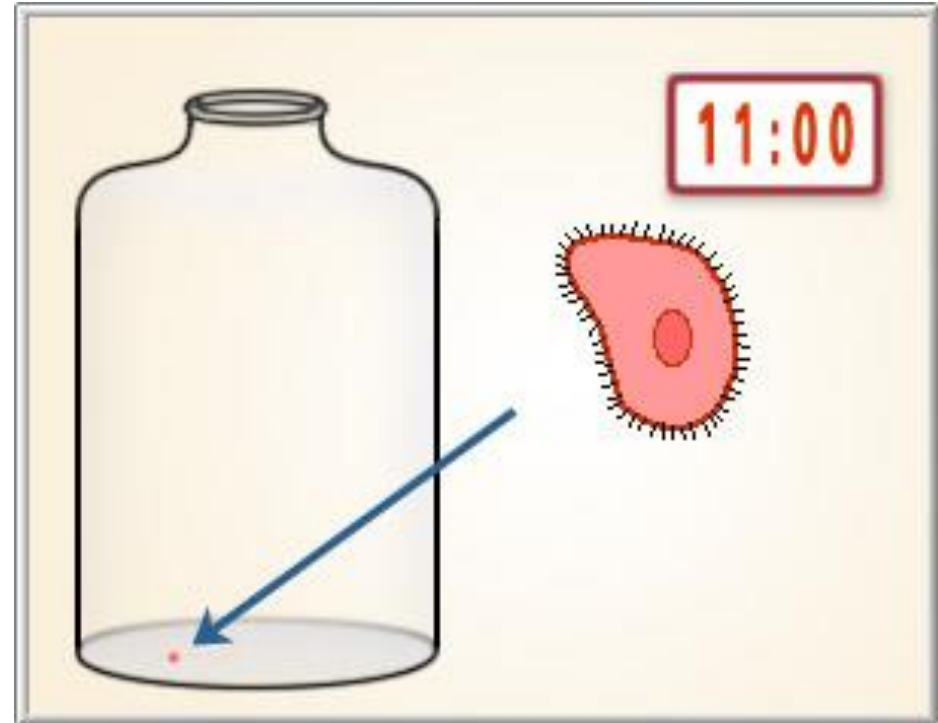
Exponentielles Wachstum

Gedanken-Experiment



Um 11:00 Uhr
wird eine Bakterie in
die Flasche gesetzt.

Die Bakterie findet in der
Flasche einen geeigneten
Lebensraum vor,
um sich zu vermehren.



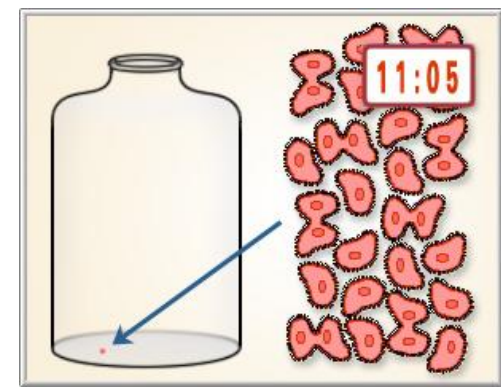
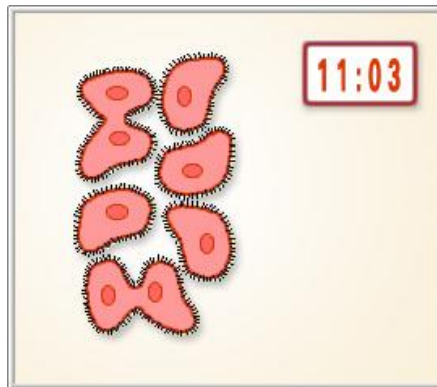
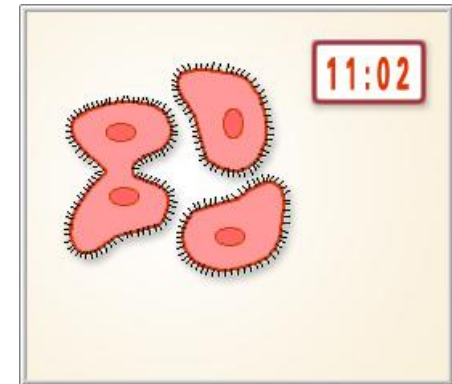
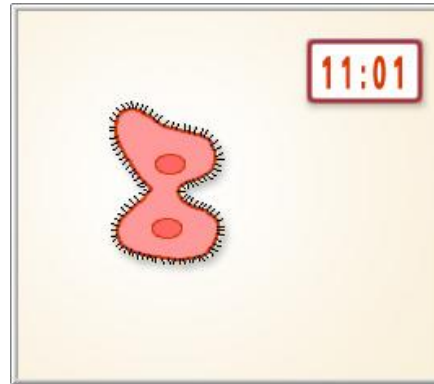
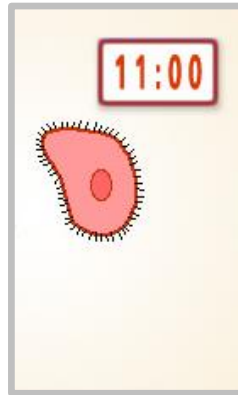
Alle Abb. mit den skizzierten Flaschen stammen von:
<https://worldpopulationbalance.org/understanding-exponential-growth>

Gedanken-Experiment



Annahme 1:

Jede Minute
verdoppelt sich die
Anzahl der Bakterien.



Gedanken-Experiment



Annahme 2:

Die Vermehrung führt dazu, dass die Flasche exakt um 12:00 Uhr randvoll ist.

Damit sind der Lebensraum und die Nahrung der Bakterien aufgebraucht.



Gedanken-Experiment



Frage 1:
Wann ist die
Flasche halb voll?

- Um 11:30 Uhr?
- Um kurz vor 12?

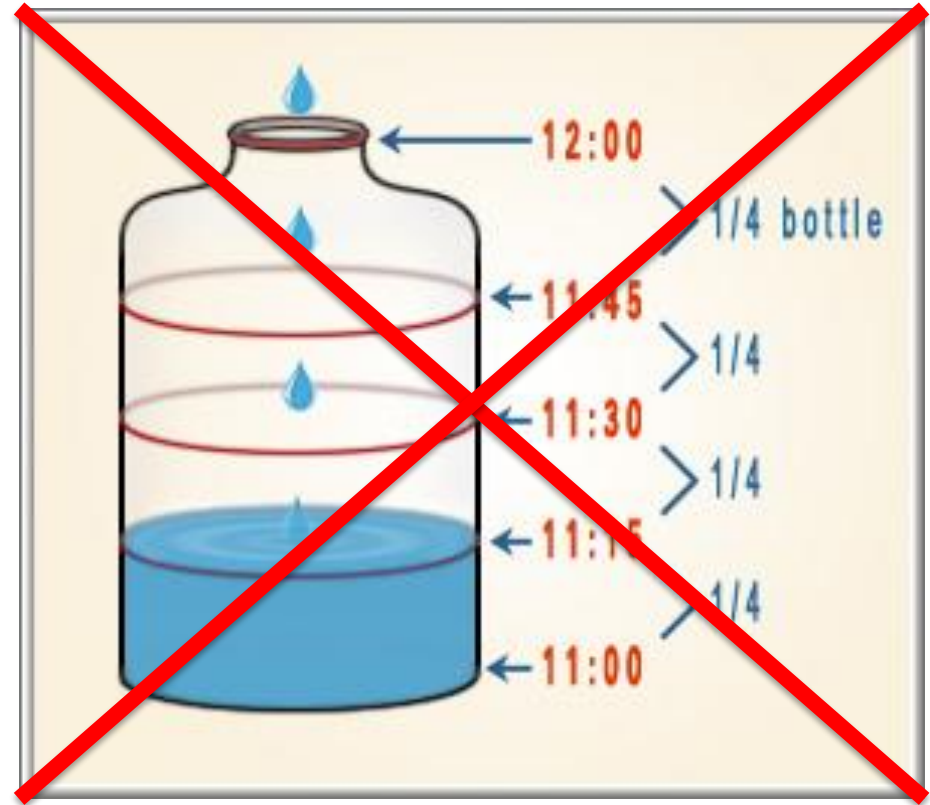


Gedanken-Experiment



11:30 Uhr ist nicht
die korrekte Antwort.

Die Bakterien
verdoppeln ihre
Anzahl nämlich
in jeder Minute!

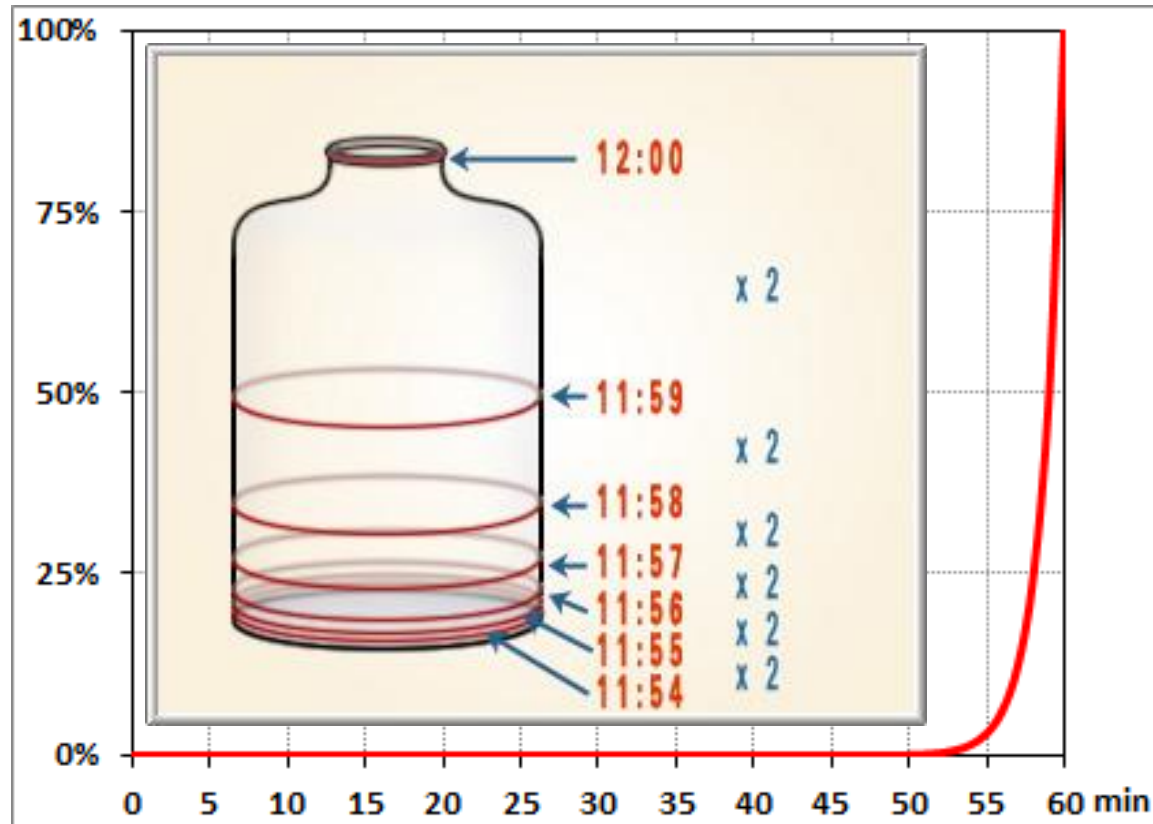


Gedanken-Experiment



Was geschieht kurz vor 12 Uhr?

„Stetiges Wachstum“ klingt harmlos, bedeutet aber eine exponentielle Zunahme!



Gedanken-Experiment

Überraschung:

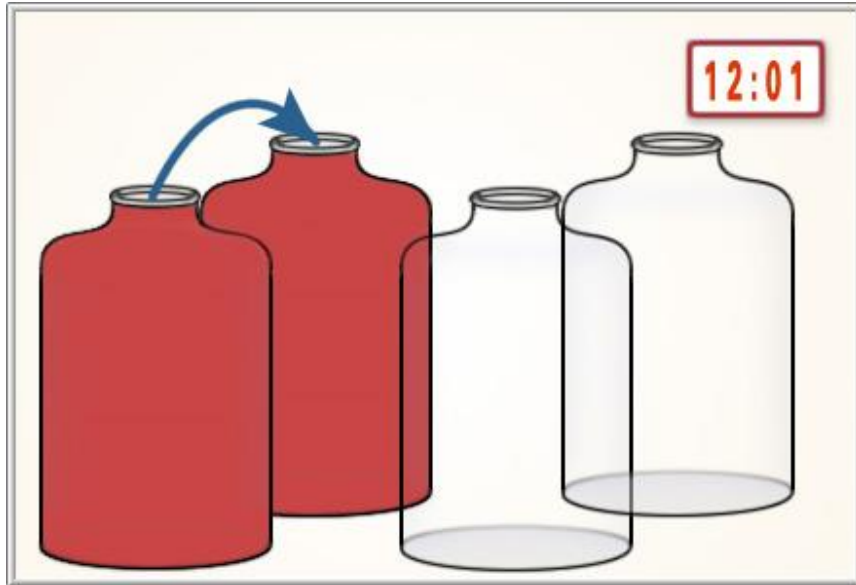
Um 11:59 Uhr entdeckt eine Bakterie drei leere Flaschen zur Besiedlung.

Frage 2:
Wie viel Zeit bekommen die Bakterien dadurch „geschenkt“?

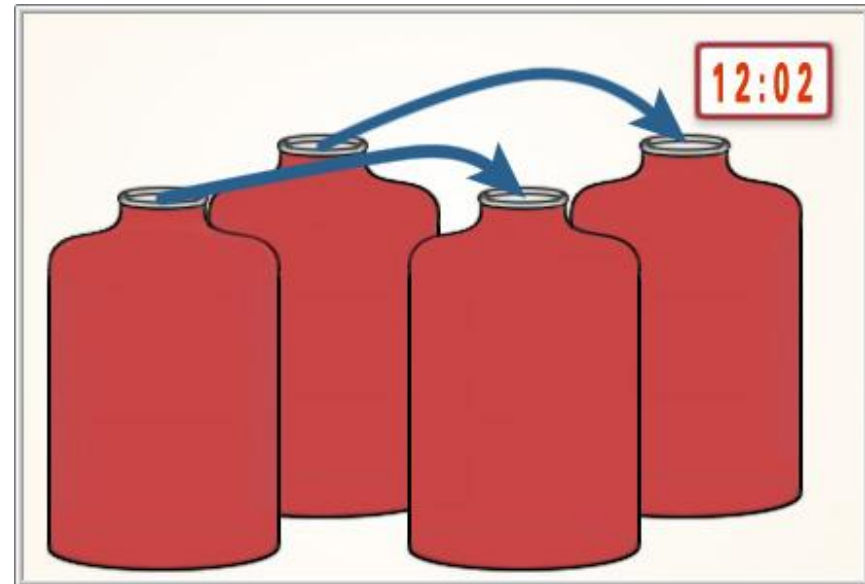
- 3 Stunden?
- 3 Minuten?
- 2 Minuten?



Gedanken-Experiment



Selbst die Entdeckung drei(!)
neuer Flaschen verzögert das
Ende nur um zwei Minuten.

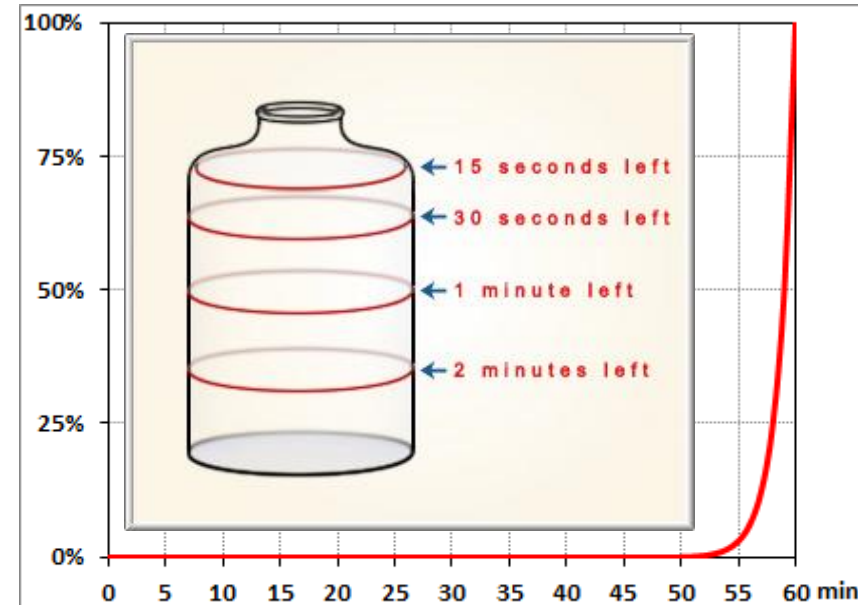
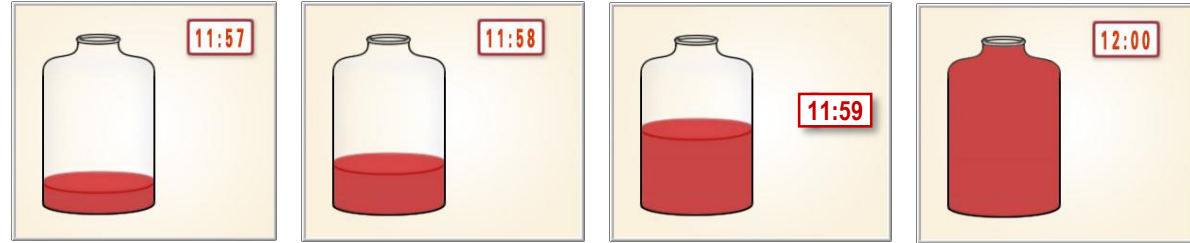


Gedanken-Experiment

Frage 3:
Wann bemerken
die Bakterien in
der ersten Flasche,
dass ihnen ein Pro-
blem bevorsteht?

- Vermutlich sehr spät
oder sogar zu spät.

„The greatest shortcoming of the
human race is our inability to un-
derstand the exponential function.“
Albert Bartlett



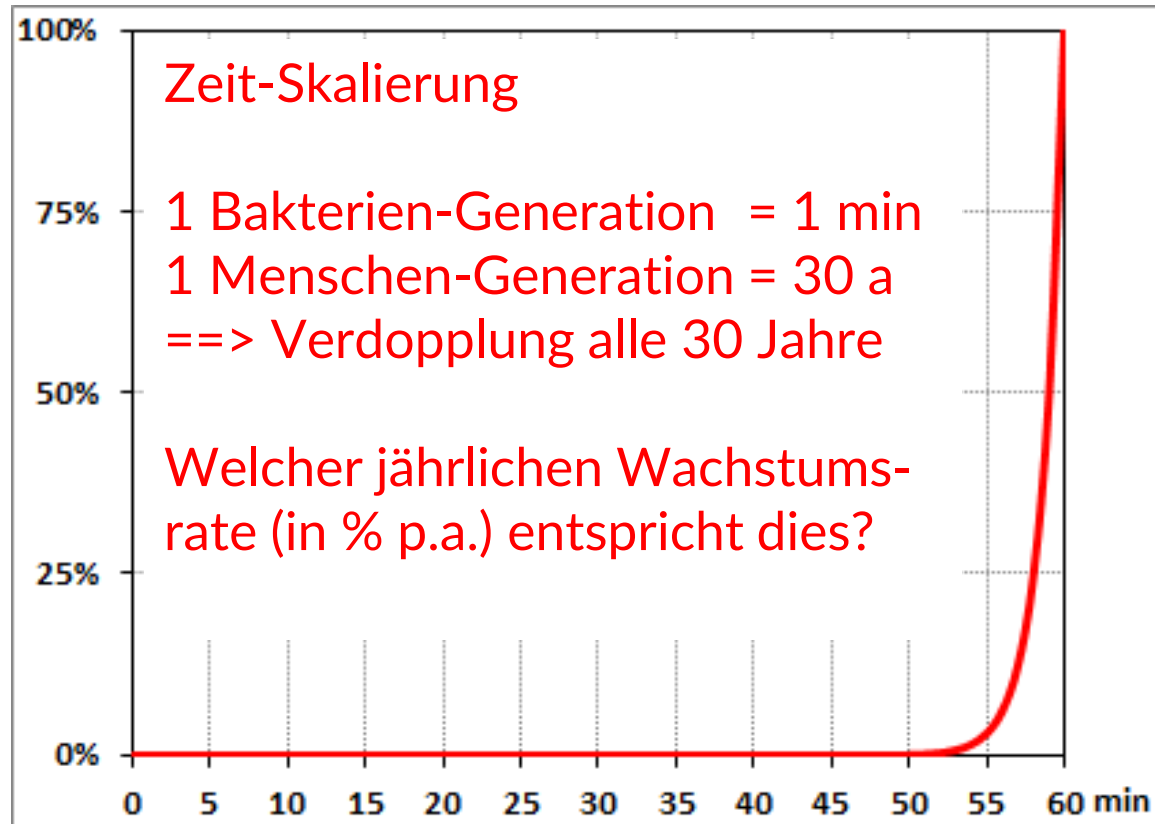
Gedanken-Experiment



Fazit

Die Bakterien erleben ein „stetiges Wachstum“ ihrer Population und damit den exponentiellen Verbrauch ihrer Ressourcen (Lebensraum und Nahrung).

Aber eine Verdopplung des Ressourcen-Verbrauchs pro Generation ist doch gar nicht realistisch - oder?

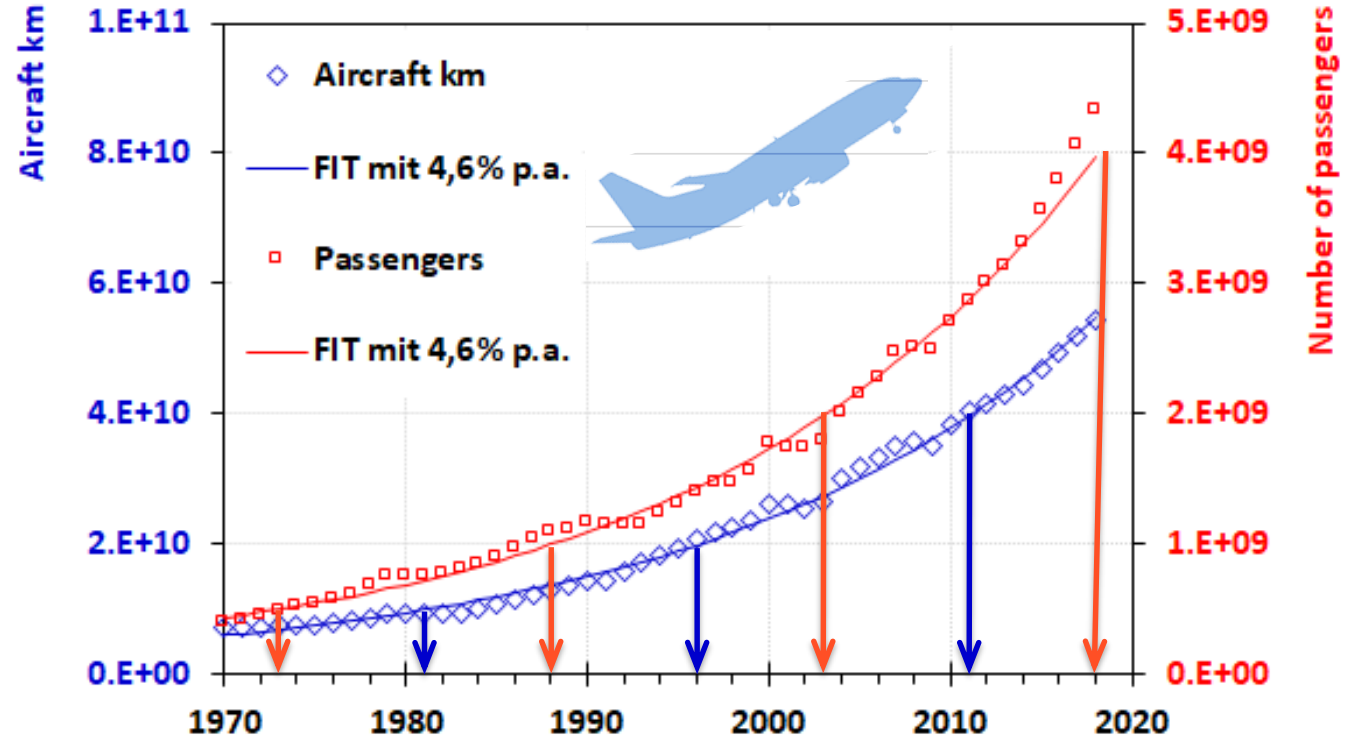


Reales Beispiel Nr. 1



Der weltweite Flugverkehr

- Zunahme der geflogenen Kilometer um 4,6% p.a.
- Anstieg der Passagier-Anzahl um 4,6% p.a.
- Verdopplung jeweils alle 15 Jahre



Quelle der Daten: Airlines for America: Annual Results World Airlines
www.airlines.org/dataset/world-airlines-traffic-and-capacity/

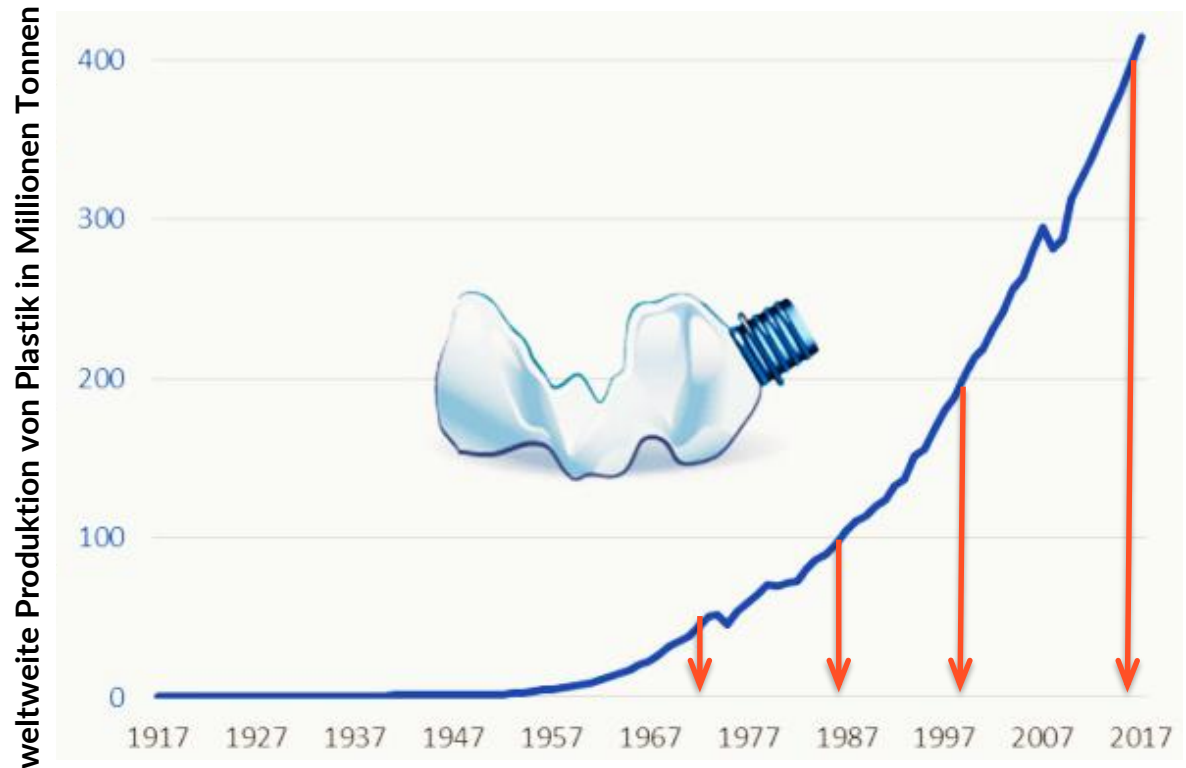
Exponentielles Wachstum

Reales Beispiel Nr. 2



Die weltweite Produktion von Plastik

- Verdopplung in etwa alle 15 Jahre
- Dies entspricht einer Wachstumsrate von 4,6% p.a.
- Vervierfachung pro Generation



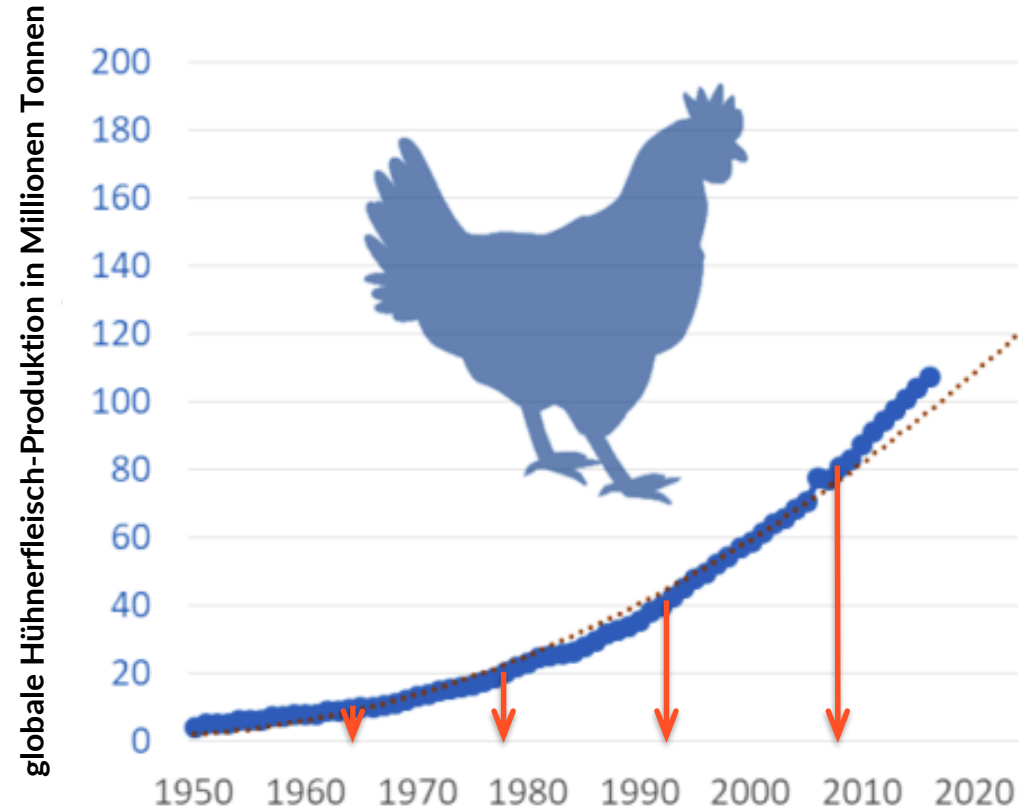
Quelle der Abb.: www.darrinqualman.com

Exponentielles Wachstum

Reales Beispiel Nr. 3

Die weltweite Produktion von Hühnerfleisch

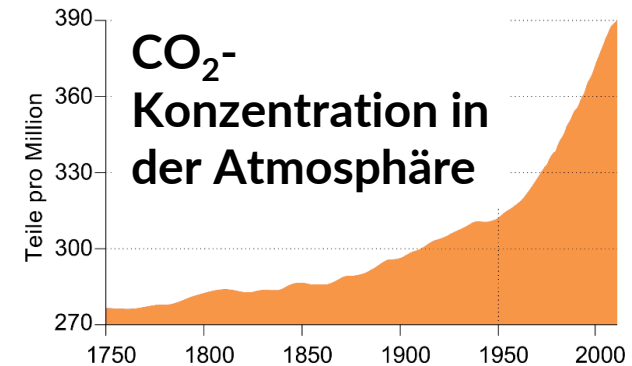
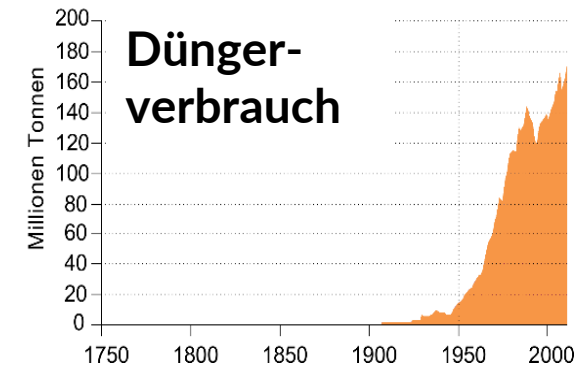
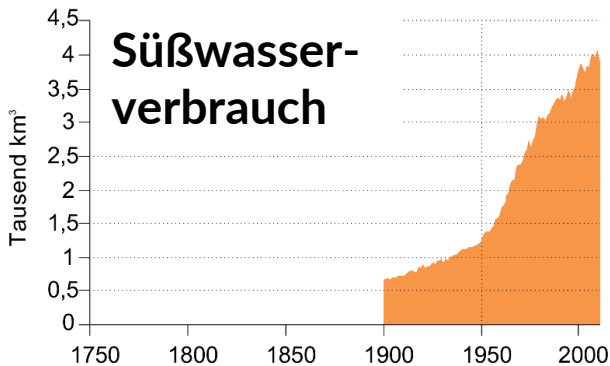
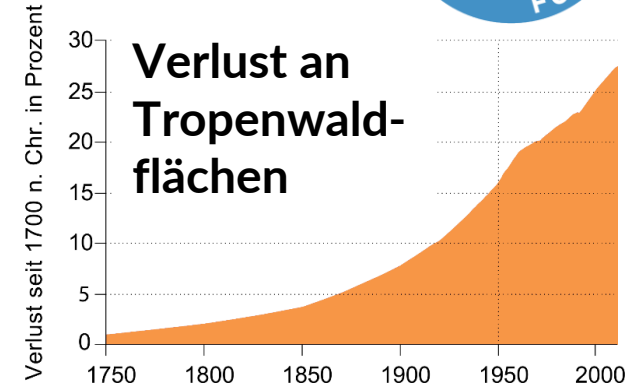
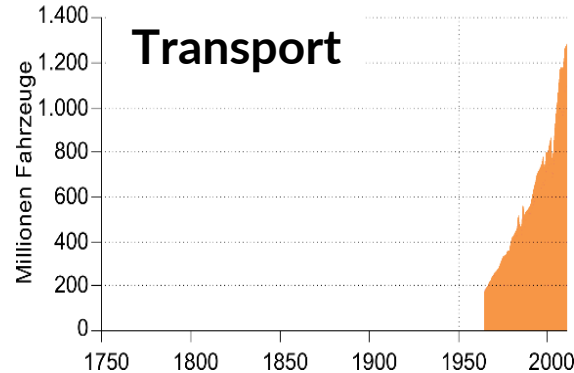
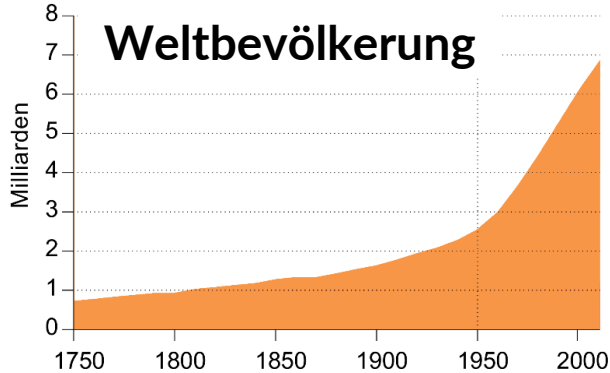
- Verdopplung in etwa alle 15 Jahre
- Dies entspricht einer Wachstumsrate von 4,6% p.a.
- Vervierfachung pro Generation



Quelle der Abb.: <https://www.darrinqualman.com/100-years-chicken-production/>

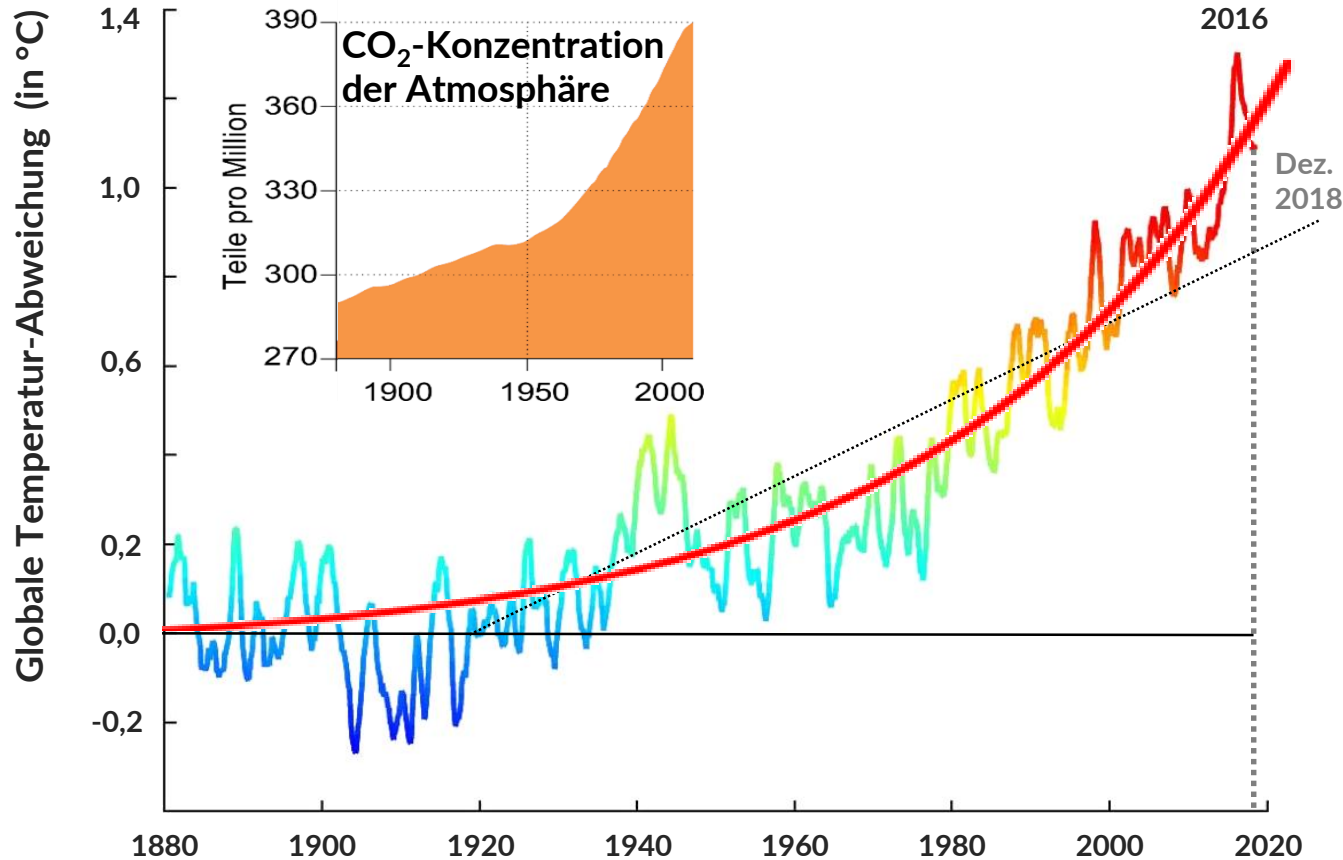
Exponentielles Wachstum

Weitere Beispiele



Exponentielles Wachstum

Anstieg der globalen Temperatur



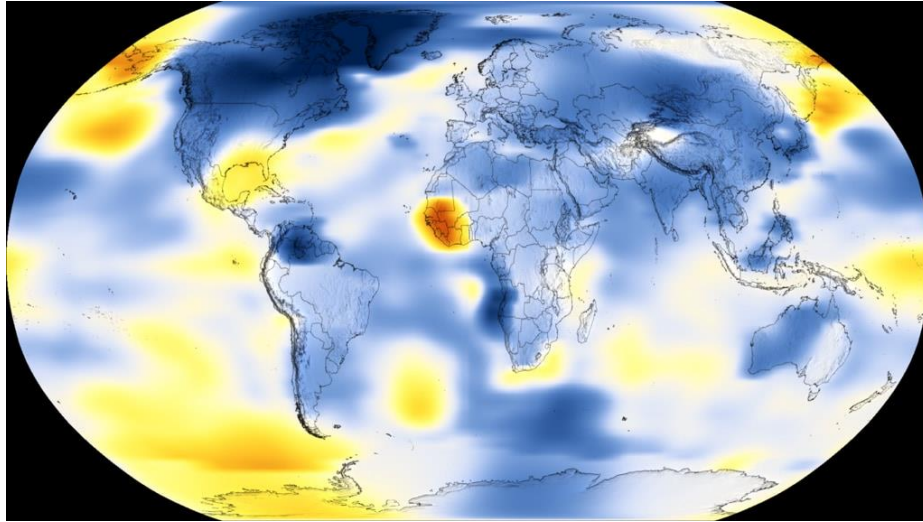
Der globale Mittelwert der Temperatur nimmt nicht linear zu, sondern schneller!

Die rote Kurve ist die Exponentialfunktion.

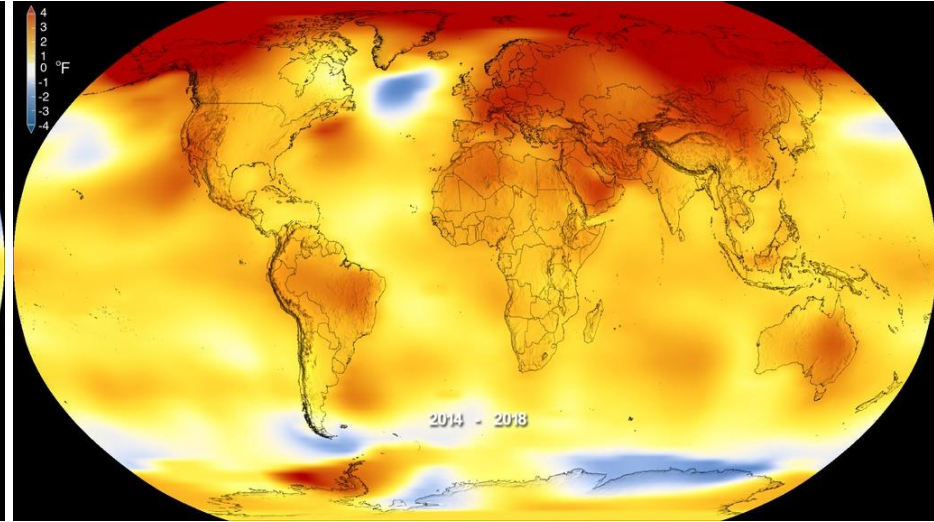
Quelle der Daten:
https://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts+dSST.txt

Exponentielles Wachstum

Globale Temperaturen

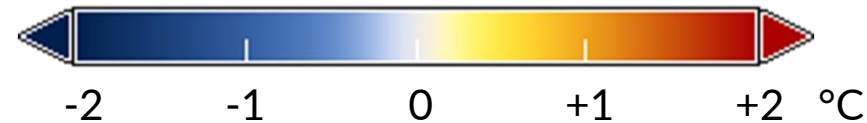


1880-1884



2014-2018

Die weltweite Durchschnittstemperatur nimmt zu; Erwärmung: $+1,3^{\circ}\text{C}$ seit 1880.

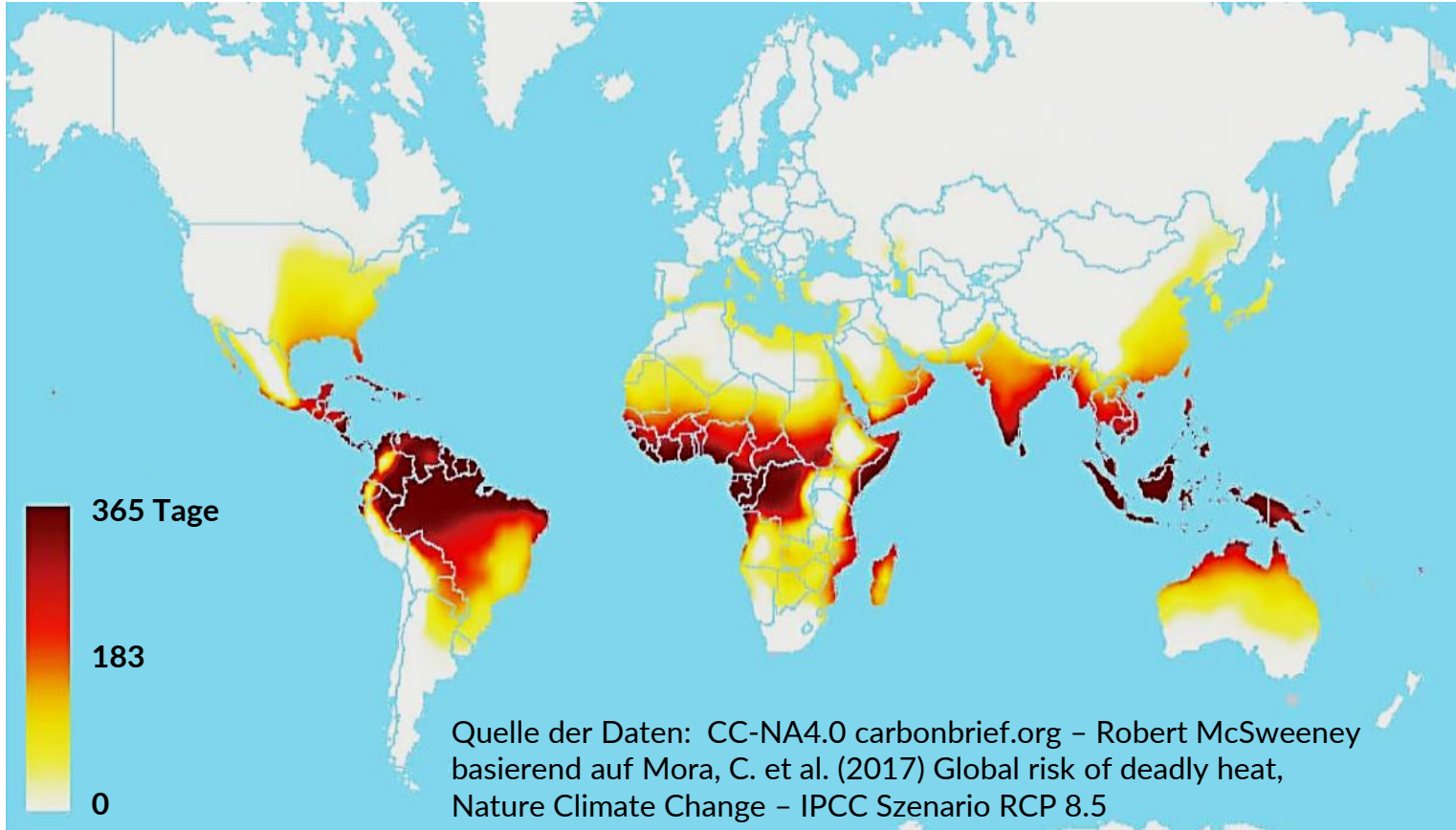


Quelle der Daten:

Global Temperature Anomalies from 1880 - 2018 (veröffentlicht am 6. Feb. 2019), <https://svs.gsfc.nasa.gov/4626>

Exponentielles Wachstum

Klima im Jahr 2100



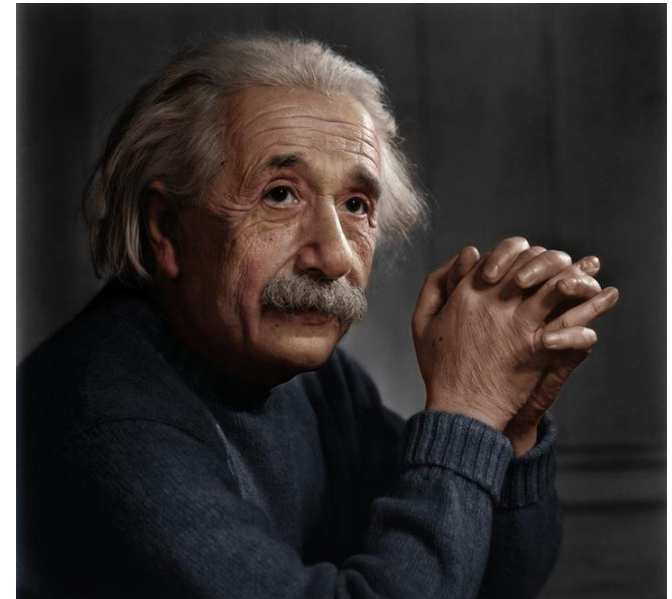
Modellierung der Anzahl tödlicher Hitzetage pro Jahr (Kombination aus Feuchte und Temp.) im Jahr 2100 bei einem mittleren Temperatur-Anstieg von 4...5°C

Endliche Ressourcen – exponentielles Wachstum?

Dritter Teil: Konsequenzen

„Probleme kann man niemals
mit derselben Denkweise lösen,
durch die sie entstanden sind.“

Albert Einstein (1879-1955)



Quelle des kolorierten Fotos:
Mads Madsen ("Zuzah") 2012

Konsequenzen

CO₂-Emission

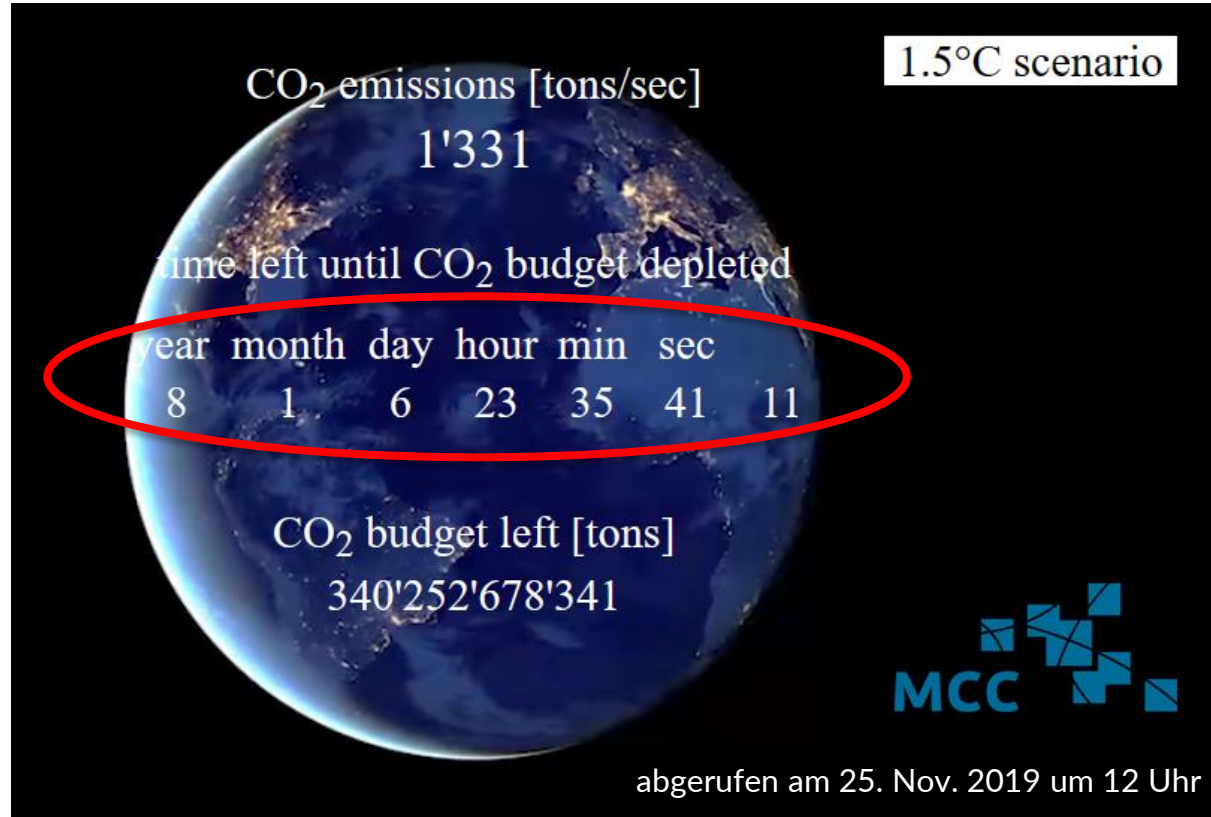


CO₂-Emission, weltweit:
ca. 40 Gt/a (Tendenz ↑)

Das 1,5°-Ziel erlaubt
noch weitere 340 Gt
CO₂ in der Atmosphäre.

Restzeit: 8 Jahre
(bei konst. CO₂-Emission)

Quelle:
Mercator Research Institute on Global
Commons and Climate Change, Berlin,
<https://www.mcc-berlin.net/en/research/co2-budget.html>

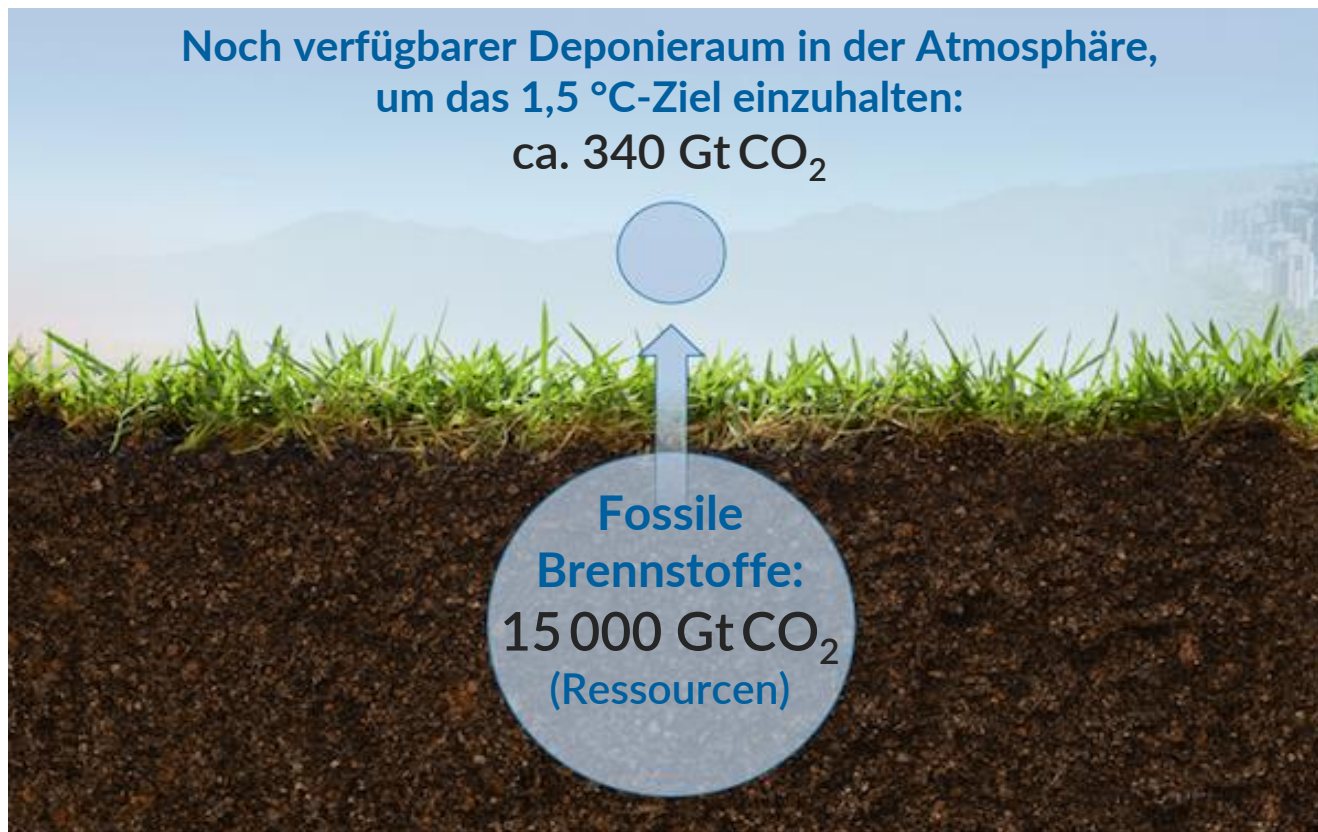


Atmosphäre als CO₂-Deponie

Die fossilen
Energieträger
(Kohle, Gas, Öl)
sind zwar noch
nicht erschöpft,

aber ihre Verbren-
nung verstärkt den
Treibhaus-Effekt.

Quelle:
© Mercator Res. Inst. on Global
Commons & Climate Change; modif.
Gregor Hagedorn, CC BY-SA 4.0



Konsequenzen

Pfade zur CO₂-Reduktion



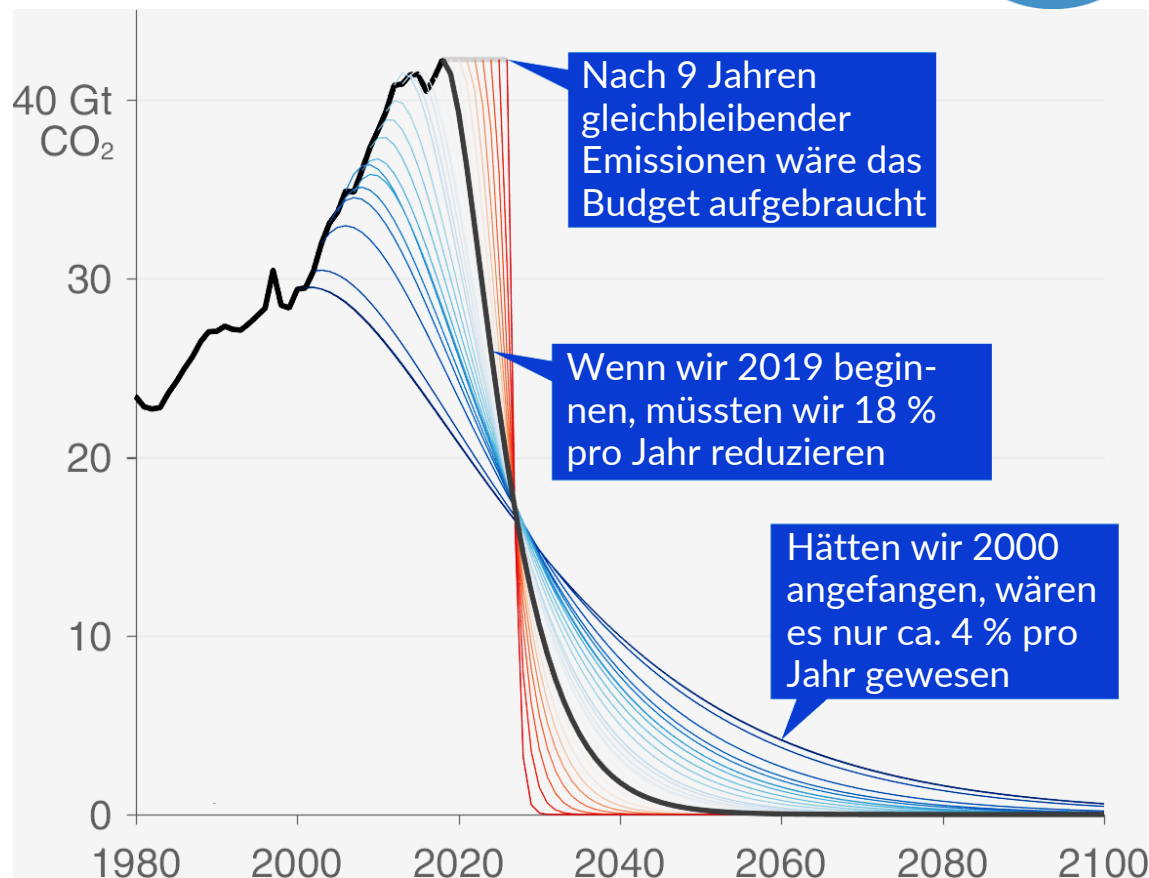
Um das 1,5°-Ziel zu halten, muss der CO₂-Ausstoß schnellstens reduziert und beendet werden!

Für das 2°-Ziel bleibt noch etwas mehr Zeit.

Quelle der Daten:

<http://folk.uio.no/roberan/GCB2018.shtml>

© Robbie Andrew 2018, simplified Gregor Hagedorn, CC BY-SA 4.0. Data: GCP + Emissions budgets from IPCC SR1.5. Mitigation curves after Raupach et al. 2014

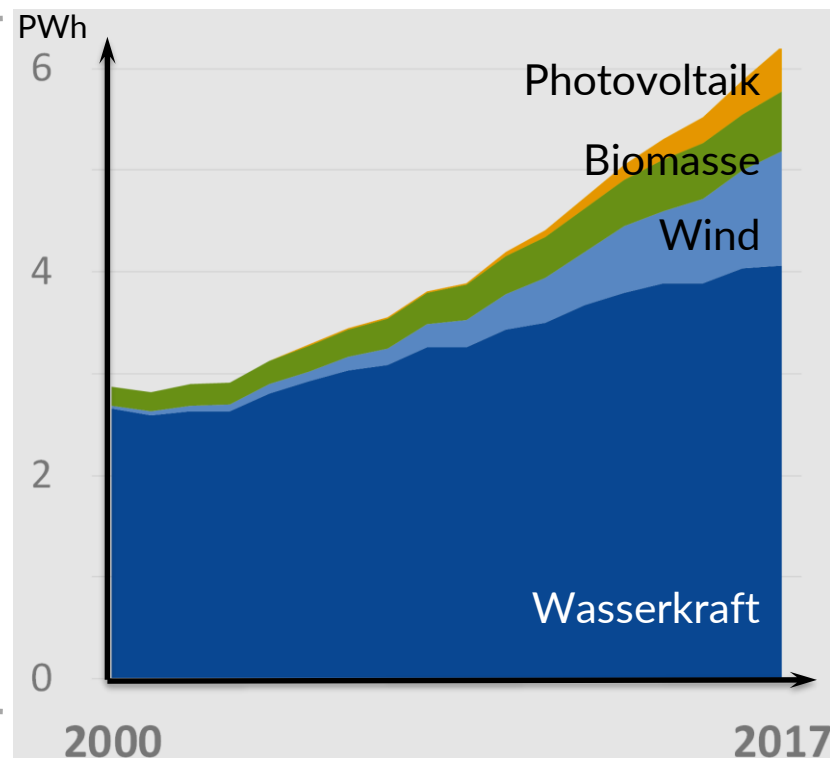
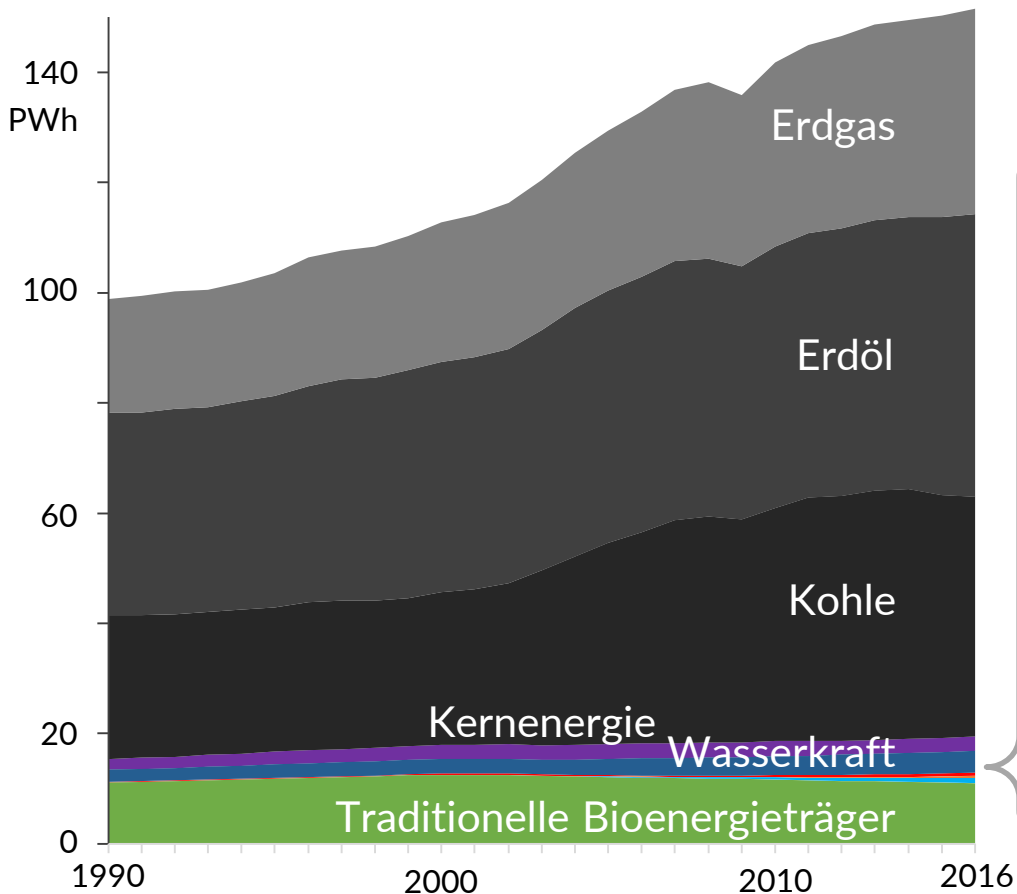


Konsequenzen

Primär-Energie weltweit



Quelle der Daten:
<https://ourworldindata.org/grapher/global-primary-energy>
© Gregor Hagedorn, CC BY-SA 4.0; Data V.Smil and BP via OurWorldInData, 2018



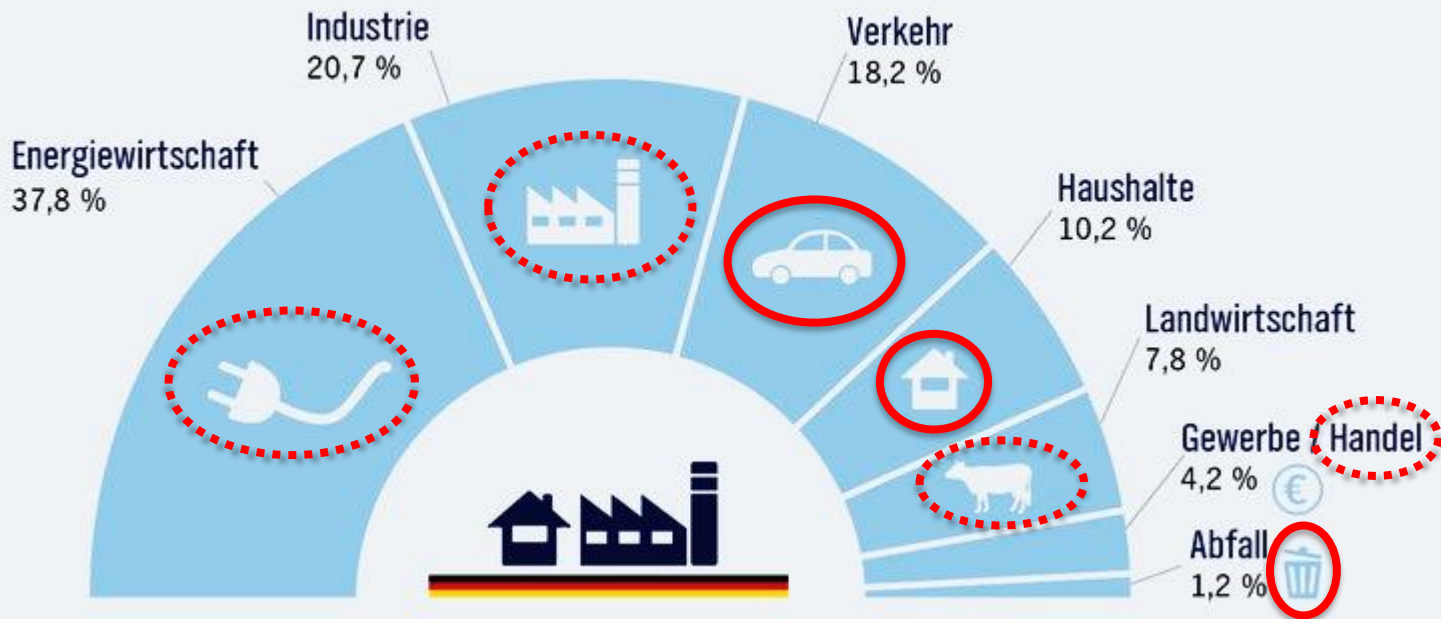
CO₂-Emissionen in Deutschland



Auf Kraftwerke und Industrie folgen bereits der Verkehr und die Privathaushalte.

Zum CO₂-Ausstoß trägt jeder bei!

CO₂-Ausstoß in Deutschland nach Sektoren



Grafik: NDR / Quelle: Bundesumweltministerium (2016)

Konsequenzen

CO₂-Ausstoß im Verkehr



Abschied vom Benzin- und Diesel-Motor bis 2025.



Ein E-Auto ergibt nur Sinn, wenn der Strom zum Laden CO₂-frei hergestellt wurde.



CO₂-Ausstoß der Haushalte



Abschied von Öl-
und Gas-Heizungen
bis 2020.



Energie-Einsparung
durch thermische
Dämmung der Gebäude

Konsequenzen

Erzeugung elektrischer Energie



Kohleausstieg
bis 2030



Dasselbe gilt für
die Verbrennung
von Öl und Erdgas.

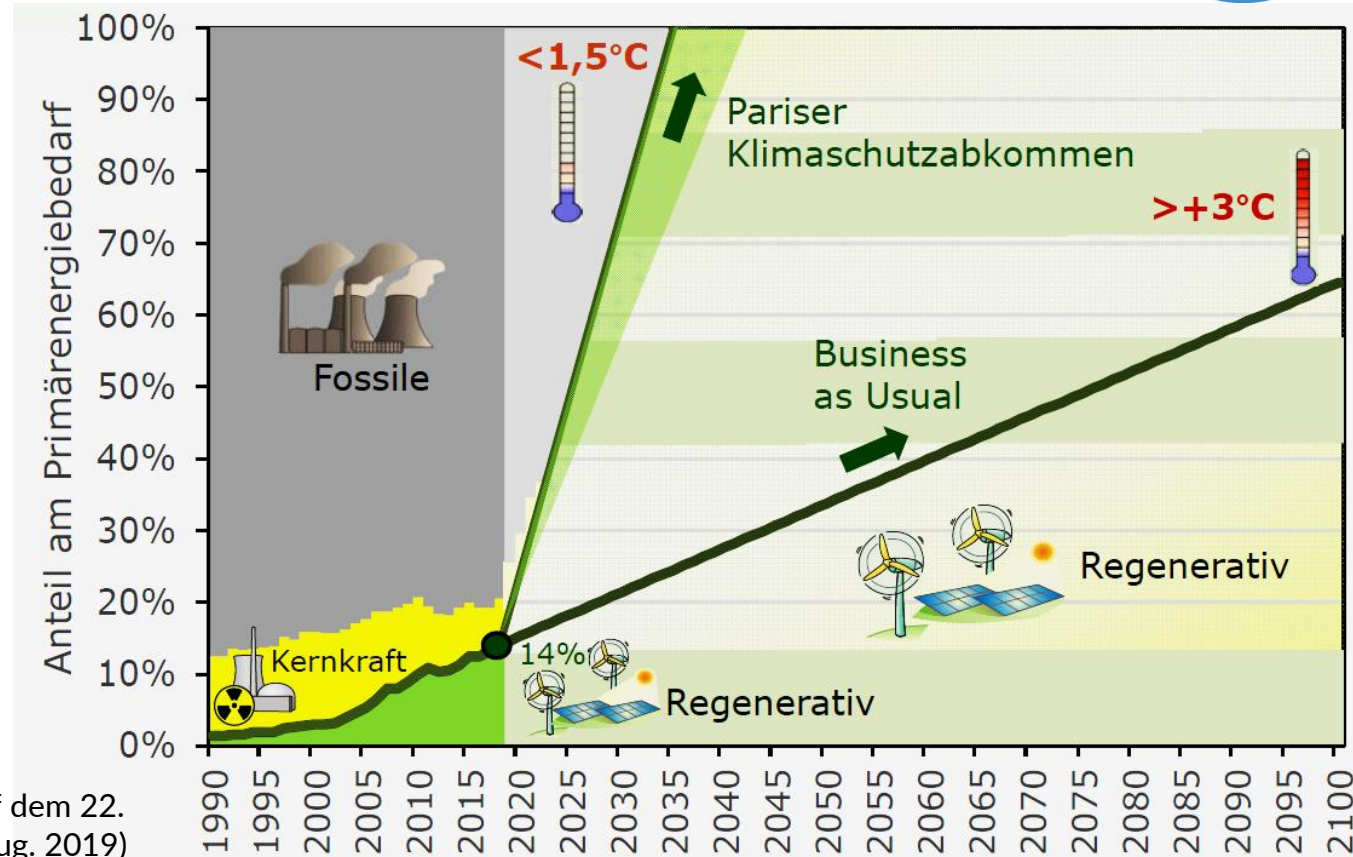


Energie-Wende in Deutschland



Primär-Energie muss erzeugt werden, ohne zusätzliches CO₂ auszustoßen.

Der Ausbau der Regen. Energien muss mind. um den Faktor sechs(!) beschleunigt werden.



Quelle der Abb.:

© Volker Quaschnig, Vortrag auf dem 22. Energietag des Landes RLP (29. Aug. 2019)

Erzeugung elektrischer Energie



Pixabay.com CC0

100% Strom aus
Erneuerbarer Energie
(v.a. Photovoltaik
und Wind) bis 2040.

Speicherung
zeitweiser nicht
benötigter
elektr. Energie
als Wasserstoff
oder Methan.

Konsequenzen

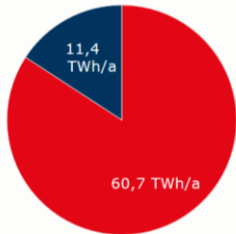
Bsp.: Windkraft in NRW



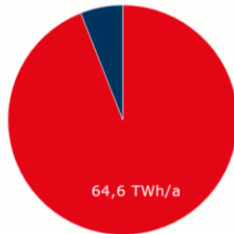
Der Anteil von Wind- und Solar-Energie im Jahr 2018 ist marginal.

Wind 16%
PV, Dach 6%
PV, frei <1%

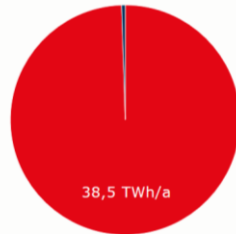
■ Noch nicht genutzte Potenziale ■ Genutzt 2018



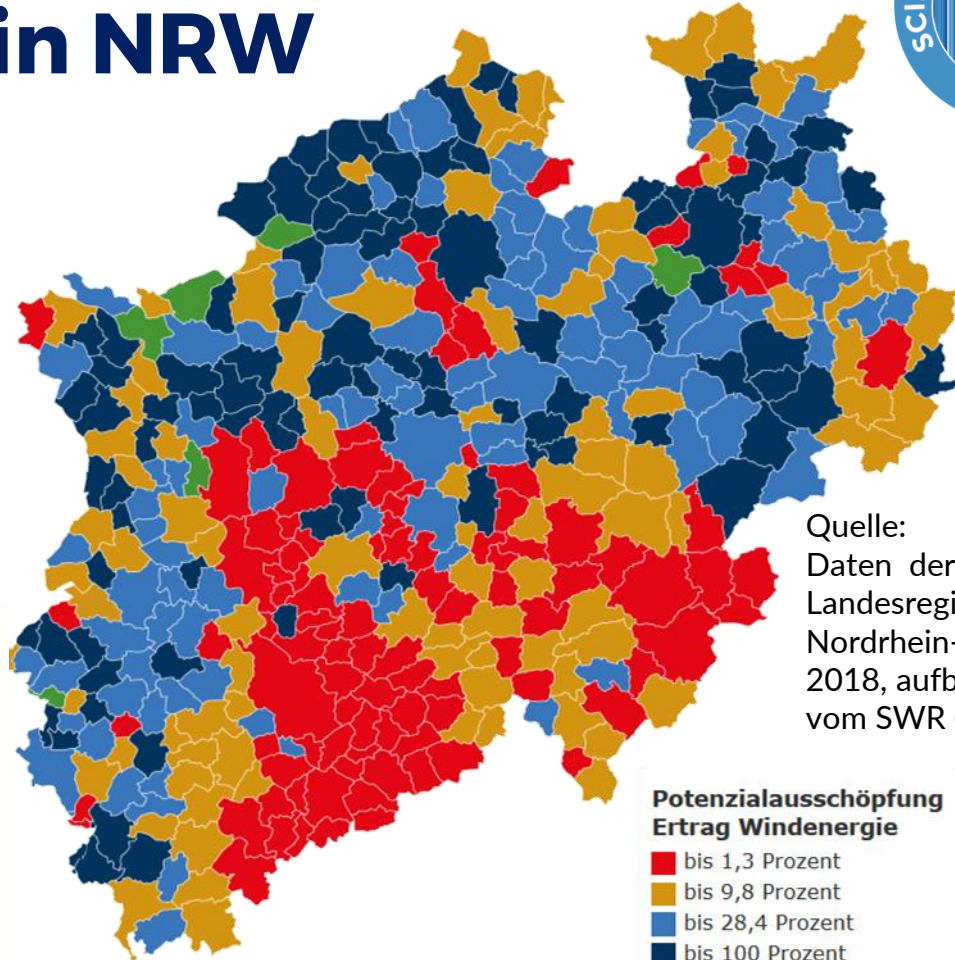
Windenergie
Gesamtpotenzial:
72,1 TWh/a



Photovoltaik Dachfläche
Gesamtpotenzial:
68,7 TWh/a



Photovoltaik Freifläche
Gesamtpotenzial:
38,7 TWh/a



Quelle:
Daten der Landesregierung
Nordrhein-Westfalen
2018, aufbereitet
vom SWR (4.12. 2019)

Potenzialausschöpfung Ertrag Windenergie

- bis 1,3 Prozent
- bis 9,8 Prozent
- bis 28,4 Prozent
- bis 100 Prozent
- 101 Prozent und mehr

Konsequenzen

Es bewegt sich etwas!



„Die derzeitigen Maßnahmen zum Klima-, Arten-, Wald-, Meeres- und Bodenschutz reichen bei Weitem nicht aus.“

Aus der Stellungnahme von *Scientists for Future* (12. Mrz. 2019)

Konsequenzen

Wünsche für die Zukunft



Wären dies nicht erstrebenswerte Presse-Meldungen?

Letztendlich hat die Menschheit ihr Überleben und die Artenvielfalt auf unserem Planeten durch entschlossenes Handeln seit dem Jahr 2020 gerettet.

Wir haben die größte Bedrohung und Anstrengung in der Geschichte der Menschheit gemeistert.

Unsere Kinder können nun wieder der Zukunft entgensehen, ohne Angst vor dieser haben zu müssen.

Individuelles Handeln



In Deutschland produziert jeder Einwohner durchschnittlich 9 t CO₂ pro Jahr.

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1>

Ordnet man alle Länder nach CO₂-Emissionen, steht Deutschland auf Platz 6.

Quelle: IEA, Stand: Jahr 2015



Was kann ich selbst tun?



- 1.) Engagieren Sie sich jetzt für Klimaschutz!
Warten Sie nicht erst ab, bis – irgendwann.
- 2.) Stellen Sie (unbequeme) Fragen:
Was unternimmt Ihr Arbeitgeber / die Fa. XY /
Ihr Kommunalpolitiker für den Klimaschutz?
- 3.) Schließen Sie sich mit Gleichgesinnten kurz!
Werden Sie Teil der Bewegung „for Future“!
- 4.) Verlassen Sie sich nicht darauf, dass der
Einsatz der Anderen schon ausreichen wird.

Weitere Tipps, was Sie tun können, erhalten Sie hier:

<https://freundeklimapakt.de>



Konsequenzen

Zusammenfassung



Alle Ressourcen sind endlich.

Exponentielles Wachstum beschleunigt ihren Verbrauch.

Die CO₂-Emissionen steigen ebenfalls exponentiell an.

Ein weiterer exponentieller Temperaturanstieg führt zur Unbewohnbarkeit der Erde.

Es ist höchste Zeit zu handeln.



Impressum



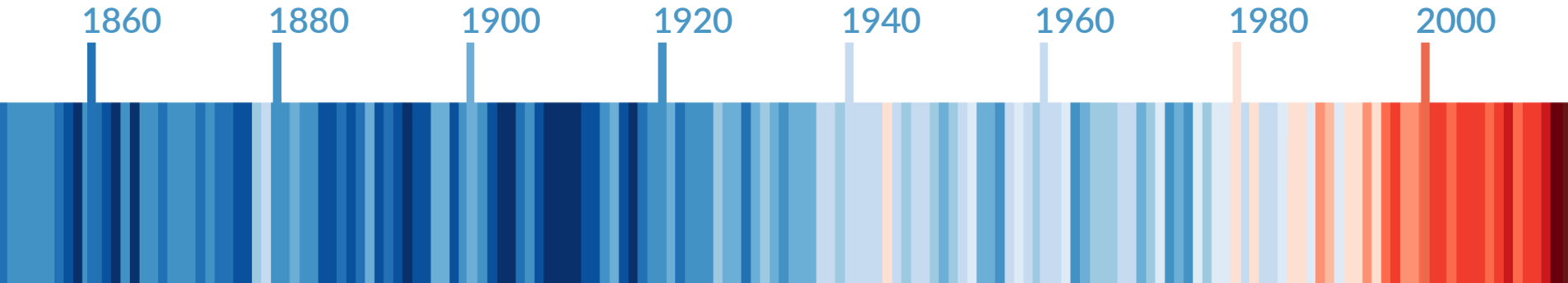
Ein Vortrag im Rahmen der Aktion
Lectures for Future im Nov./Dez. 2019,

zusammengestellt von
Prof. Dr. Hergert, Hochschule Koblenz.

Prof. Dr. Frank Hergert

stellvertretend für die
Regionalgruppe Koblenz
www.hs-koblenz.de/s4f/

von Scientists for Future
www.scientists4future.org



2015, 2016, 2017 und 2018 waren weltweit die vier wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen