

# Endliche Ressourcen - exponentielles Wachstum?

oder:

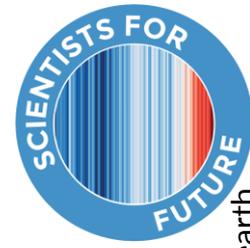
# Von endlichen Ressourcen zur Versorgung mit Erneuerbarer Energie

# Nutzbarkeit von Ressourcen

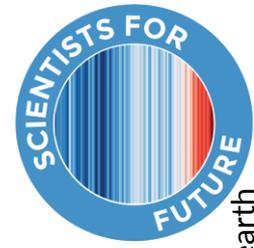
Die Gesamtheit aller Vorkommen eines Rohstoffs heißt Ressource; doch nur der als Reserve bezeichnete Anteil davon ist wirtschaftlich nutzbar.

**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

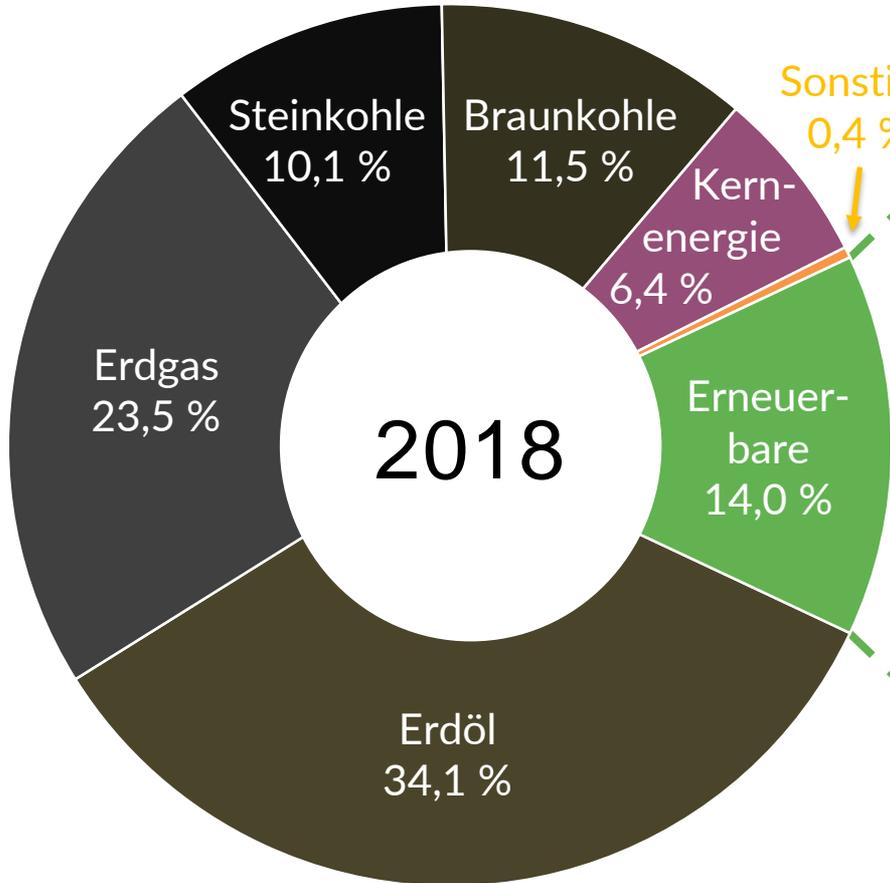
## Zahlenbeispiel für Deutschland

Versorgung mit ...	Annahmen	Ertrag
Wasser	Jahresniederschlag: 730mm	20 m <sup>3</sup> /d
Fleisch	1 kg Rindfleisch benötigt 17 m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> Holz nach. Heizwert: 4 kWh/kg	25,6 MWh/a = 2,9 kW

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

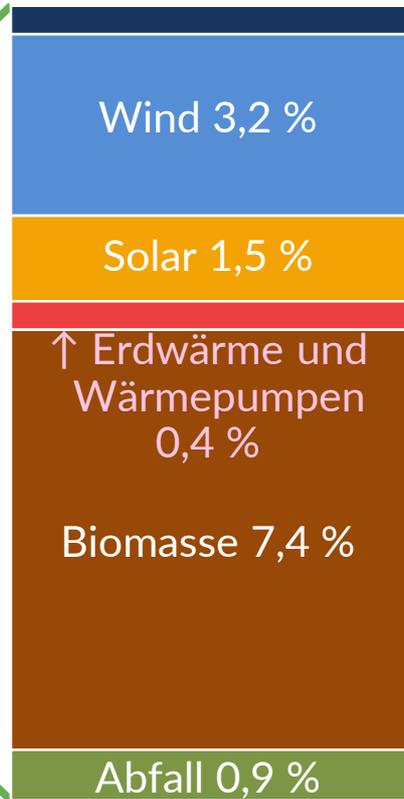
Mit Holz als Primär-Energie benötigten wir jährlich 1,8 ha Wald pro Einwohner.

## Primärenergieverbrauch in DE



Sonstige  
0,4 %

↓ Wasserkraft 0,5 %



Gut aus-  
baufähige  
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!

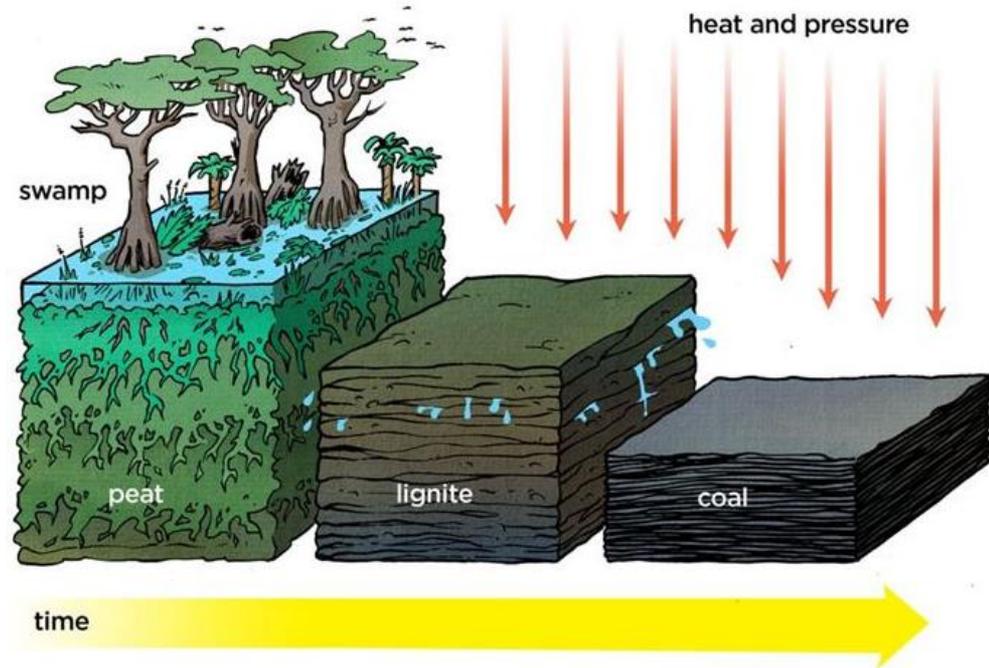


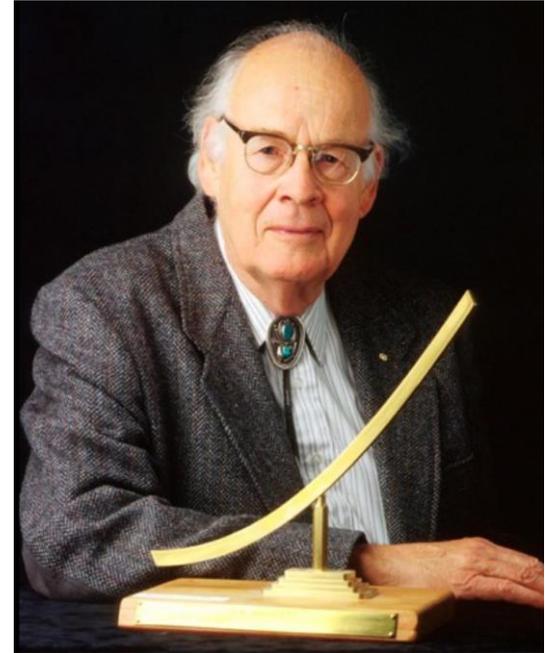
Abb. von:  
<https://byjus.com/chemistry/formation-of-fossil-fuels/>

# 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)



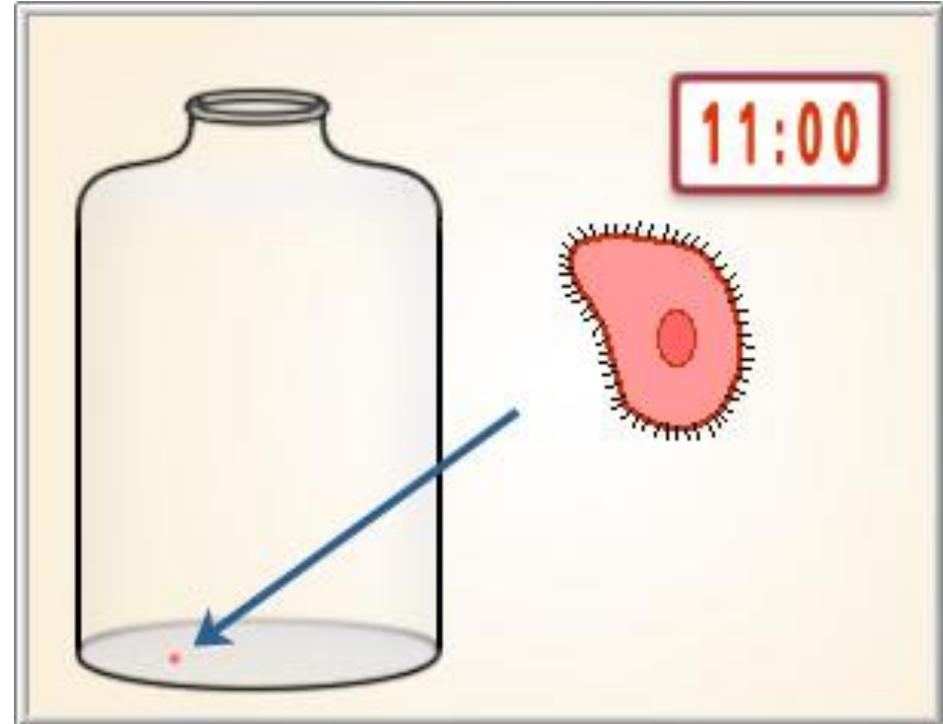
Quelle der Abb.:  
<https://www.colorado.edu/asmagazine/2016/12/06/physics-profs-home-man-himself-now-icon>

# Gedanken-Experiment

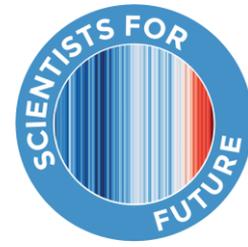


Um 11:00 Uhr  
wird eine Bakterie in  
die Flasche gesetzt.

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

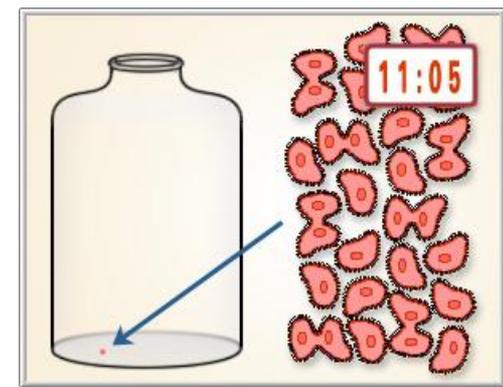
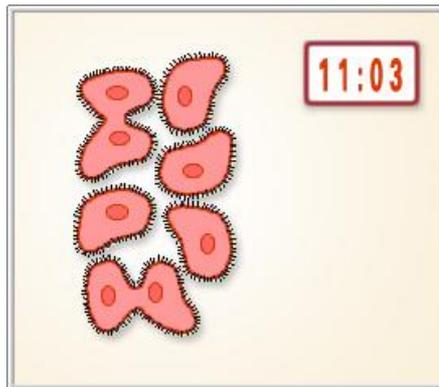
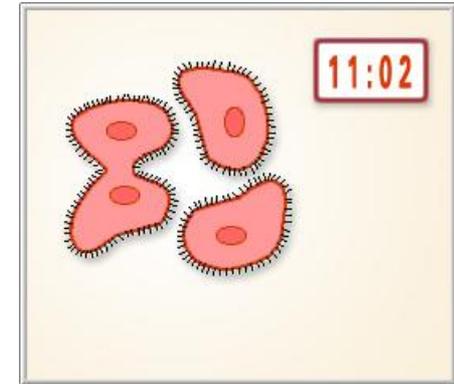
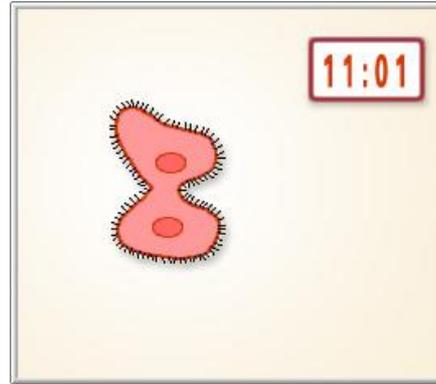


## Gedanken-Experiment



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?



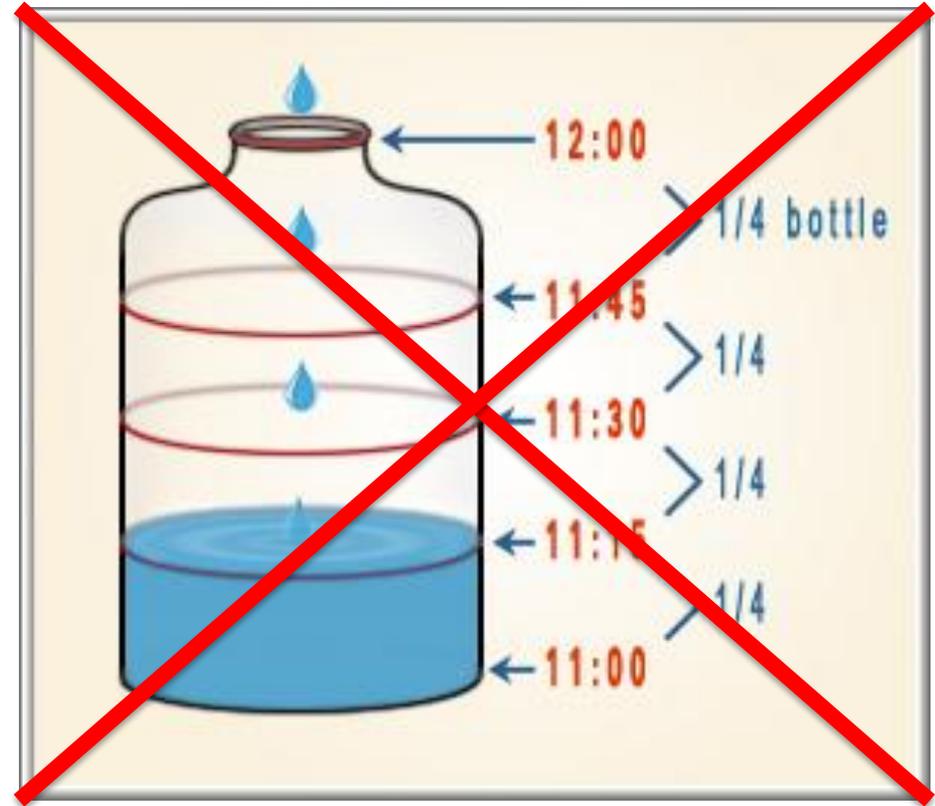
## Exponentielles Wachstum

# Gedanken-Experiment



11:30 Uhr ist nicht  
die korrekte Antwort.

Die Bakterien  
verdoppeln ihre  
Anzahl nämlich  
in jeder Minute!

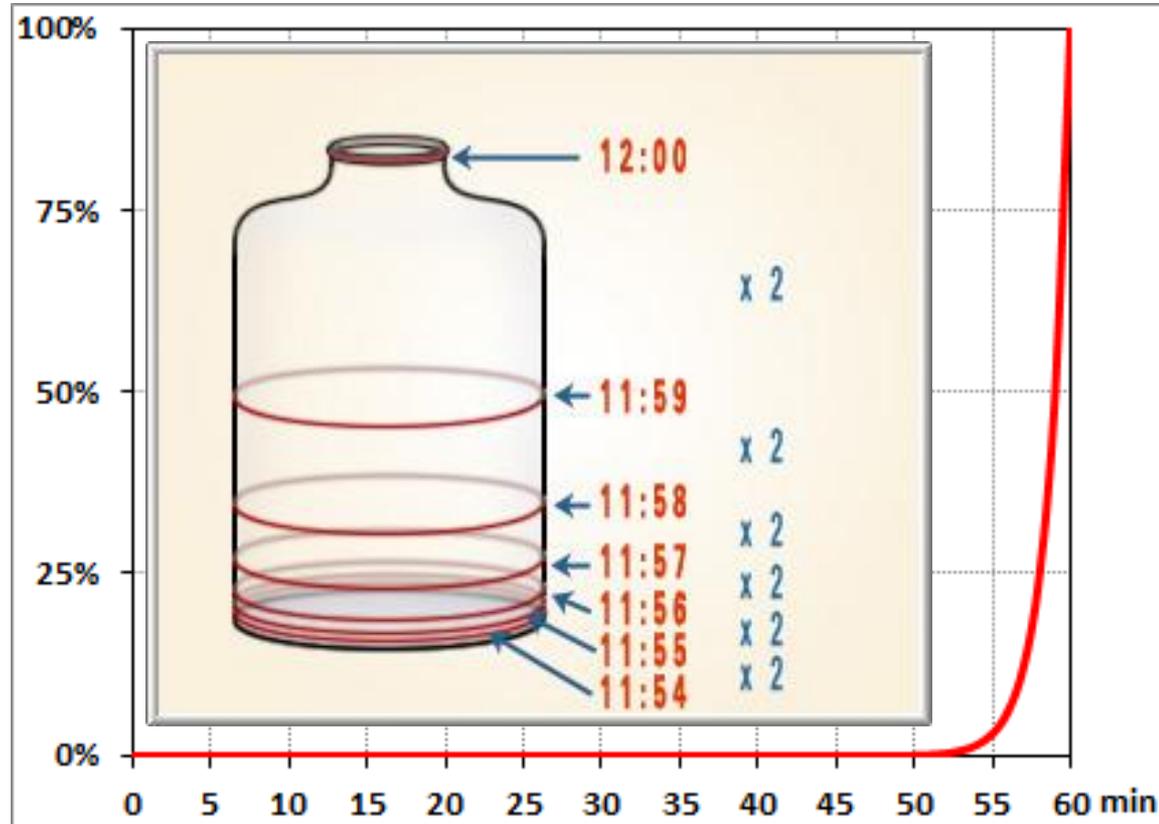


## Gedanken-Experiment



Was geschieht kurz vor 12 Uhr?

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



# Gedanken-Experiment



Überraschung:

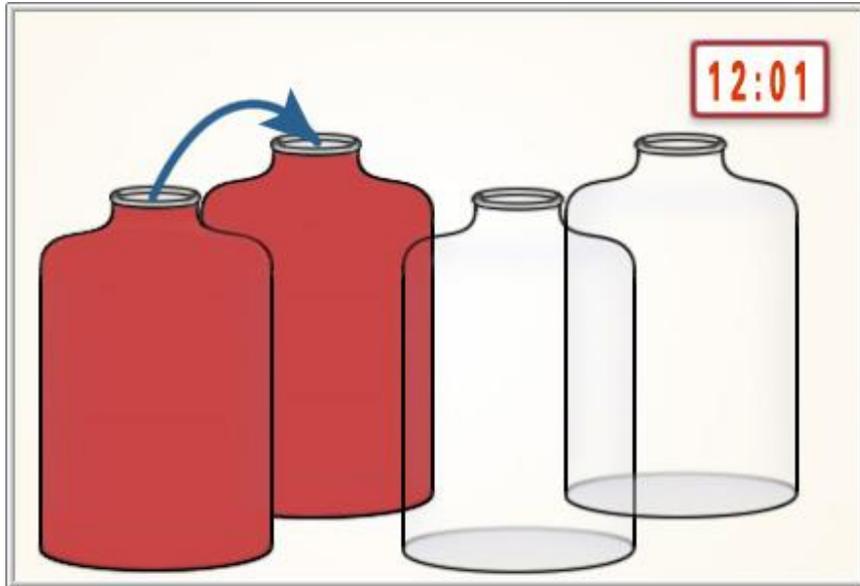
Um 11:59 Uhr entdeckt eine Bakterie drei leere Flaschen zur Besiedlung.

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

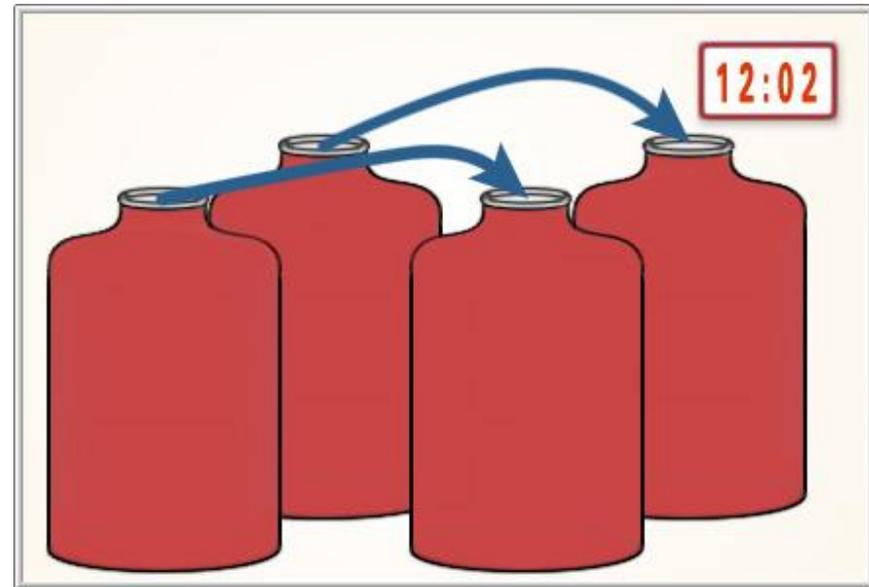
- 3 Stunden?
- 3 Minuten?
- 2 Minuten?



# Gedanken-Experiment



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



## Gedanken-Experiment



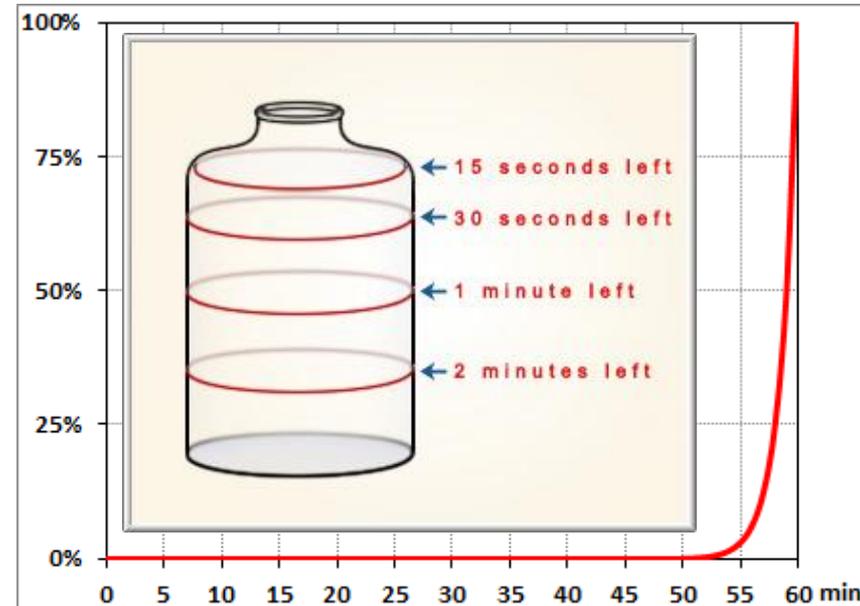
Frage 3:  
Wann bemerken  
die Bakterien in  
der ersten Flasche,  
dass ihnen ein Pro-  
blem bevorsteht?



- 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



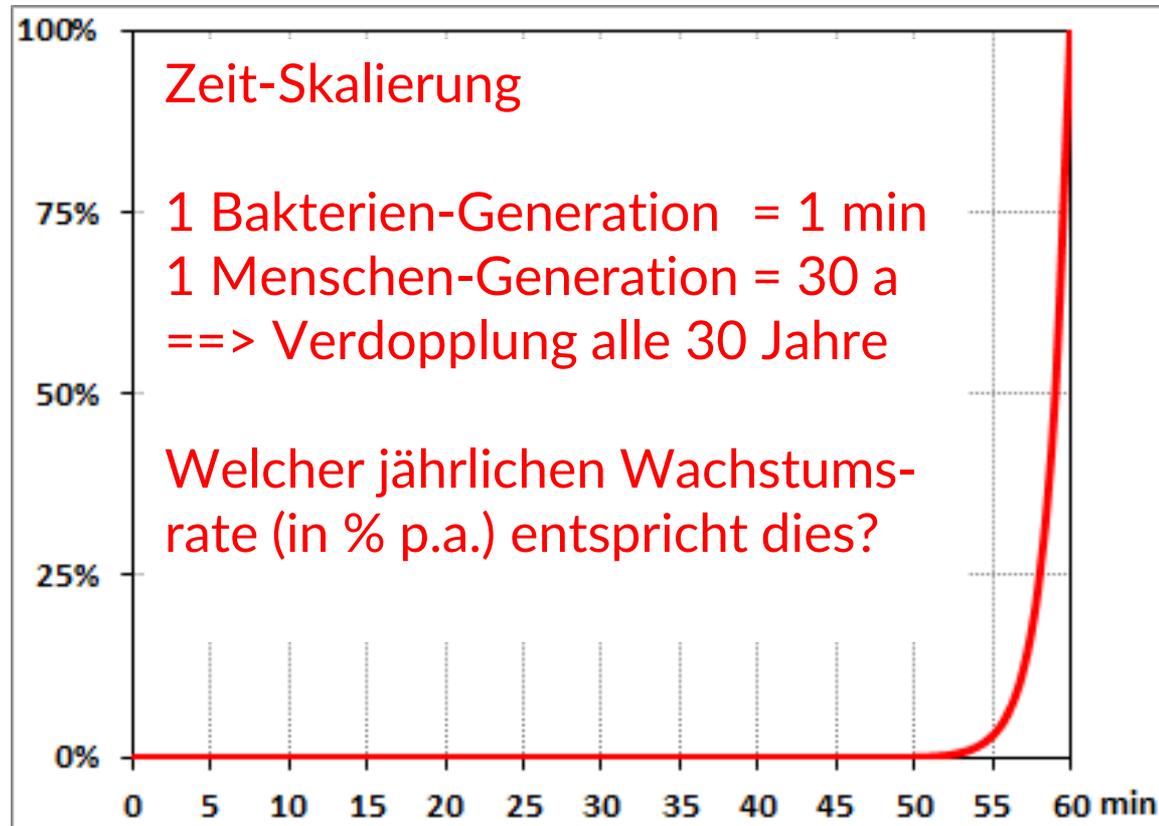
## Gedanken-Experiment



### 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?

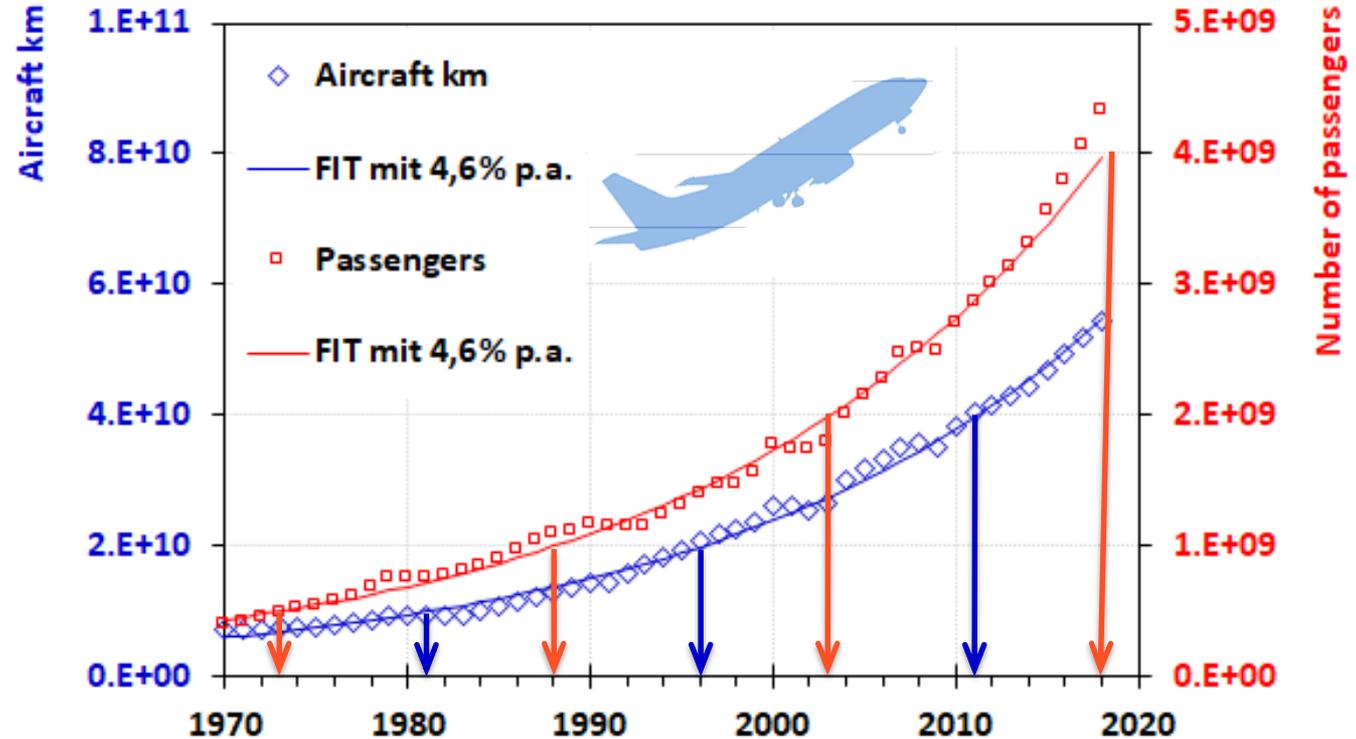


## Reales Beispiel Nr. 1



### 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/](http://www.airlines.org/dataset/world-airlines-traffic-and-capacity/)

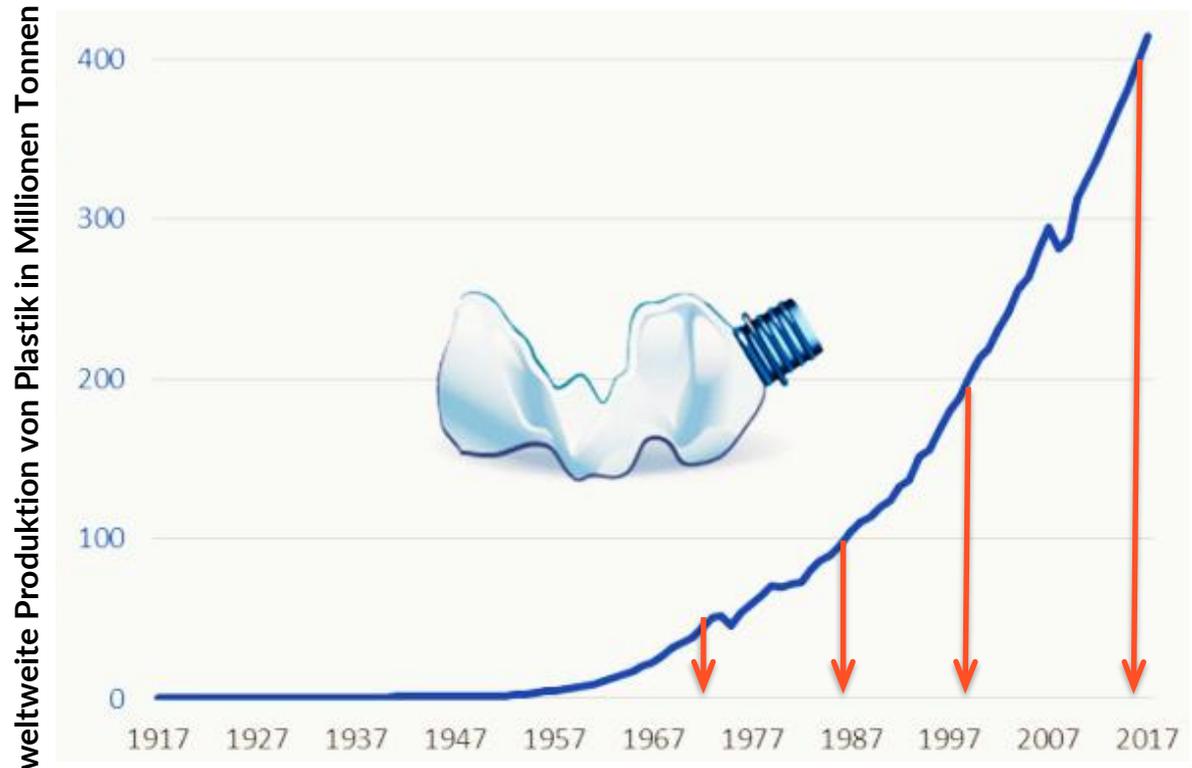
# Exponentielles Wachstum

## 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



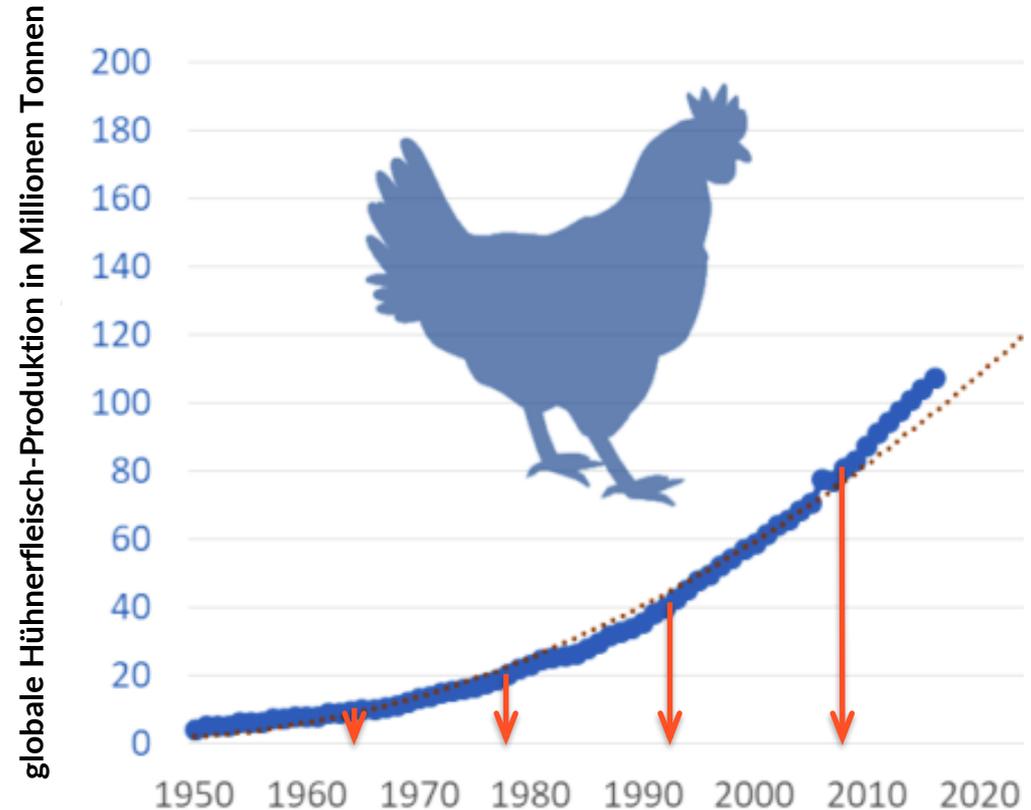
Quelle der Abb.: [www.darrinqualman.com](http://www.darrinqualman.com)

## Exponentielles Wachstum

# Reales Beispiel Nr. 3

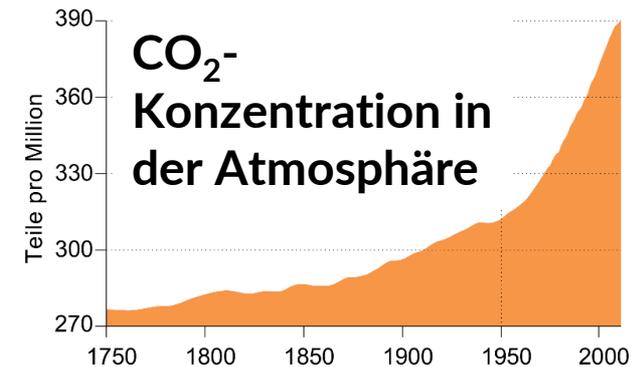
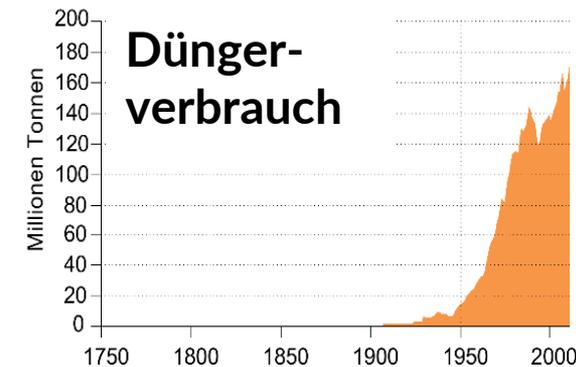
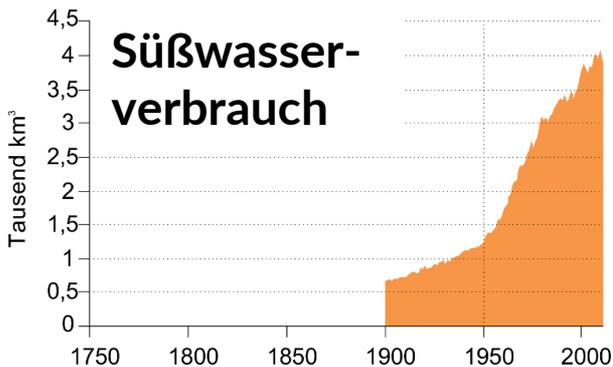
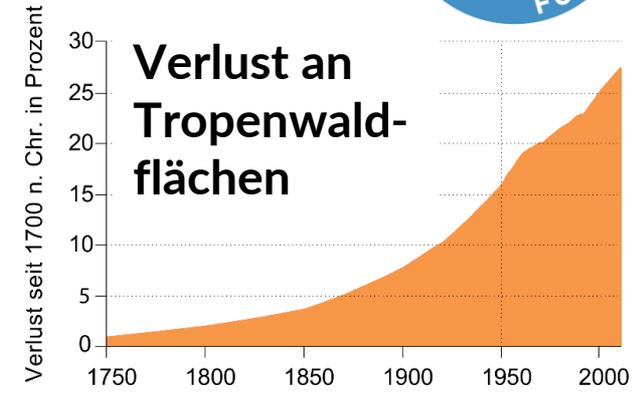
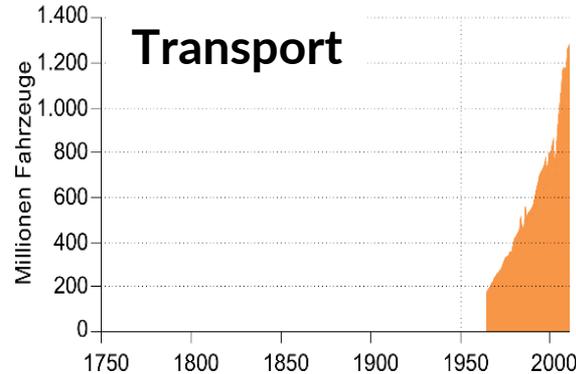
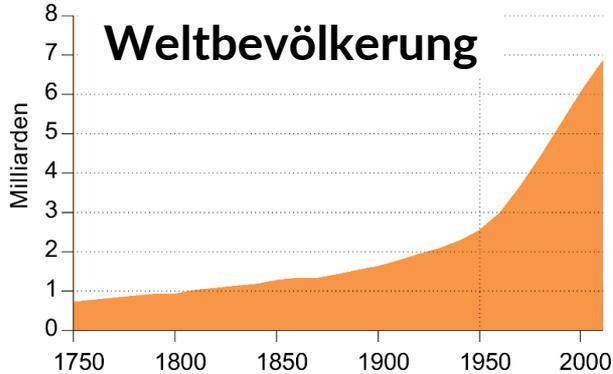
## Die weltweite Produktion von Hühnerfleisch

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



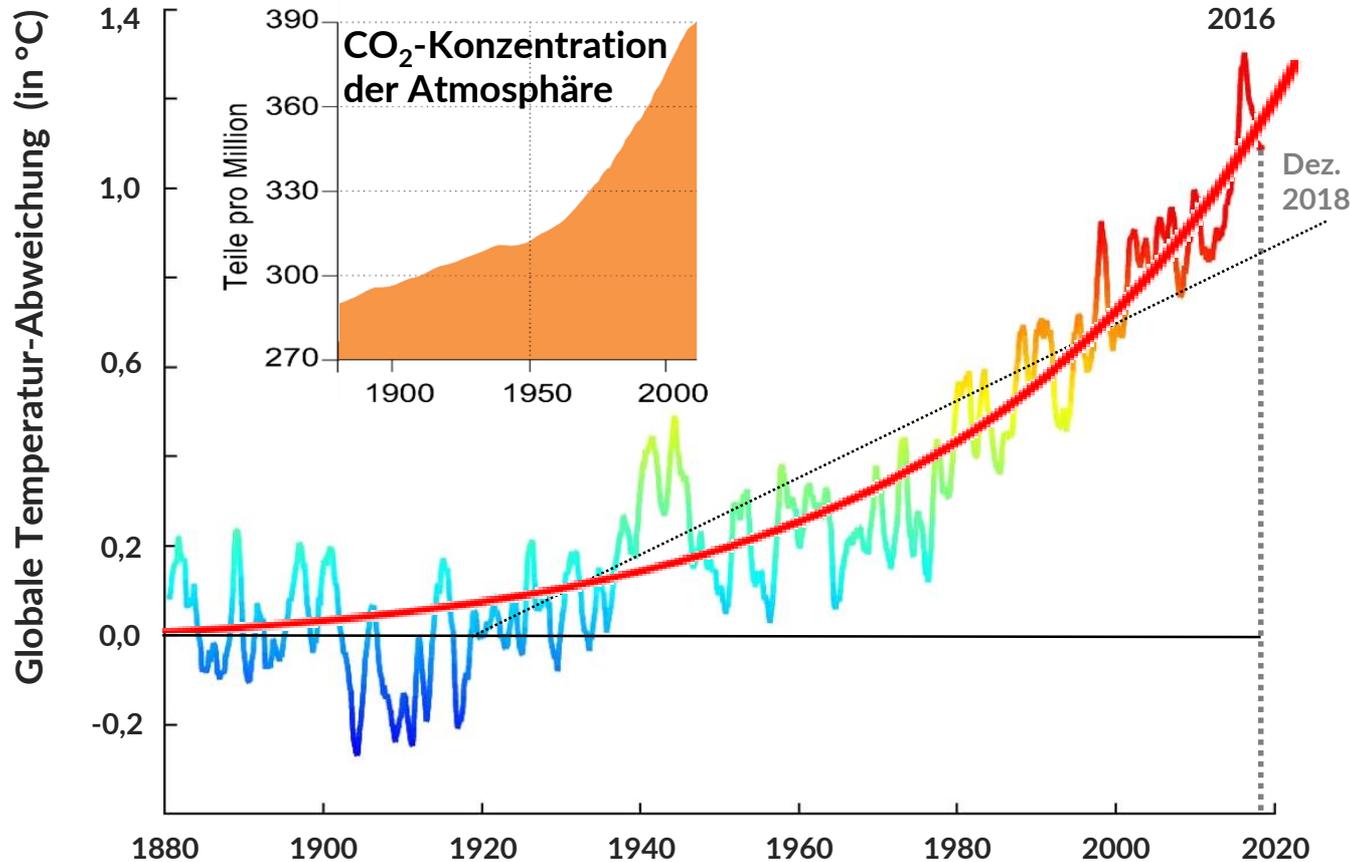
# Exponentielles Wachstum

## Weitere Beispiele



## Exponentielles Wachstum

# Anstieg der globalen Temperatur



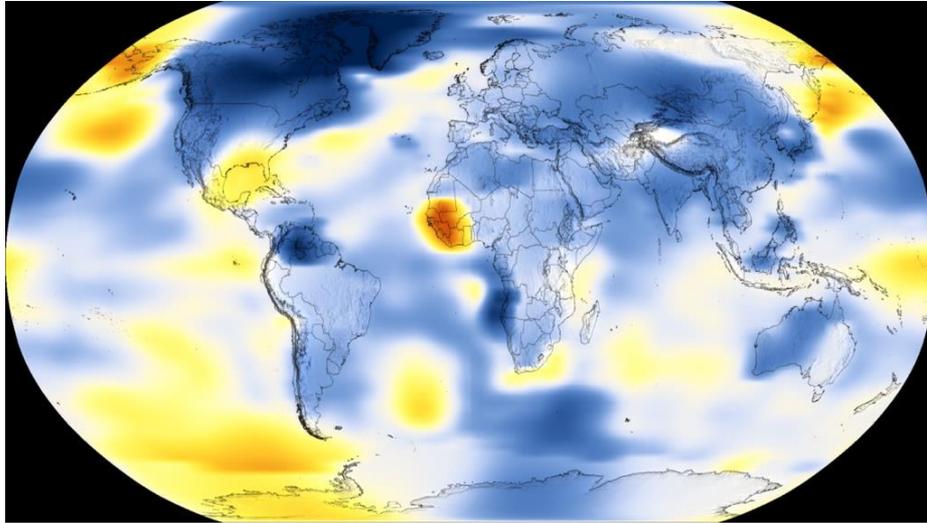
Der globale Mittelwert der Temperatur nimmt nicht linear zu, sondern schneller!

Die rote Kurve ist die Exponential-Funktion.

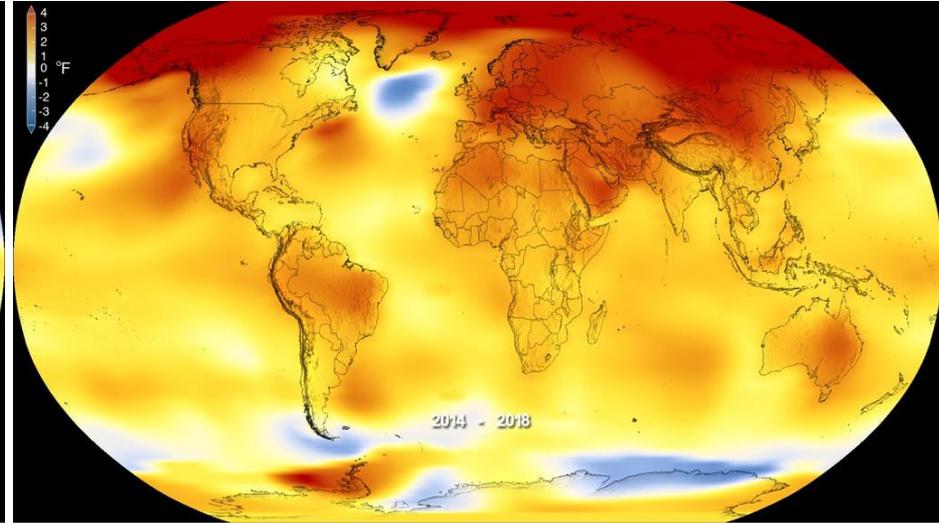
Quelle der Daten:  
[https://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata\\_v3/GLB.Ts+dSST.txt](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts+dSST.txt)

# Exponentielles Wachstum

# Globale Temperaturen

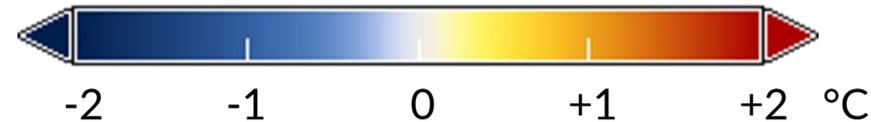


1880-1884



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>

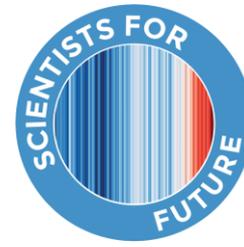
## Exponentielles Wachstum

# Globale Temp. historisch

Wir verlassen gerade **den bekannten Korridor**.

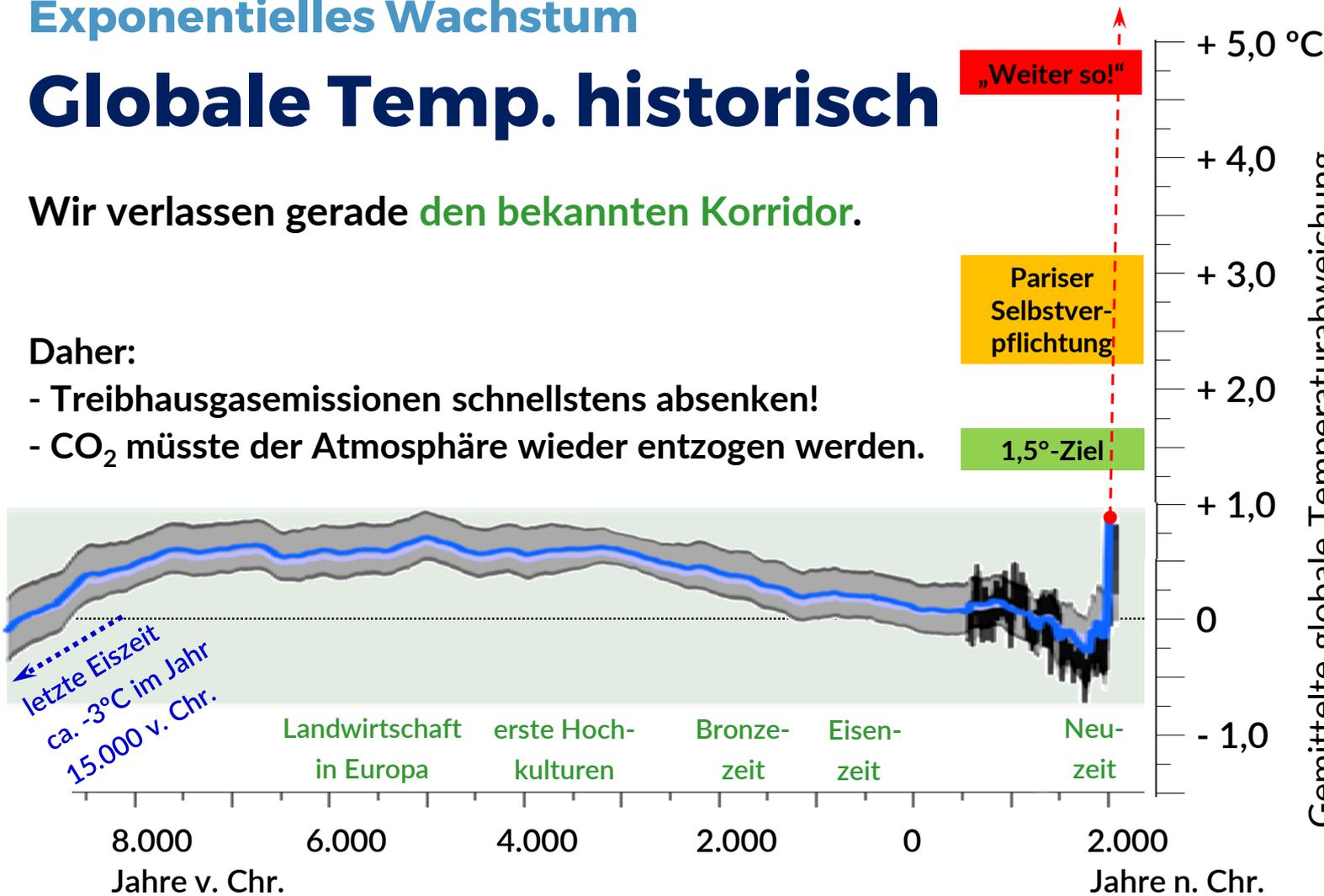
Daher:

- Treibhausgasemissionen schnellstens absenken!
- CO<sub>2</sub> müsste der Atmosphäre wieder entzogen werden.



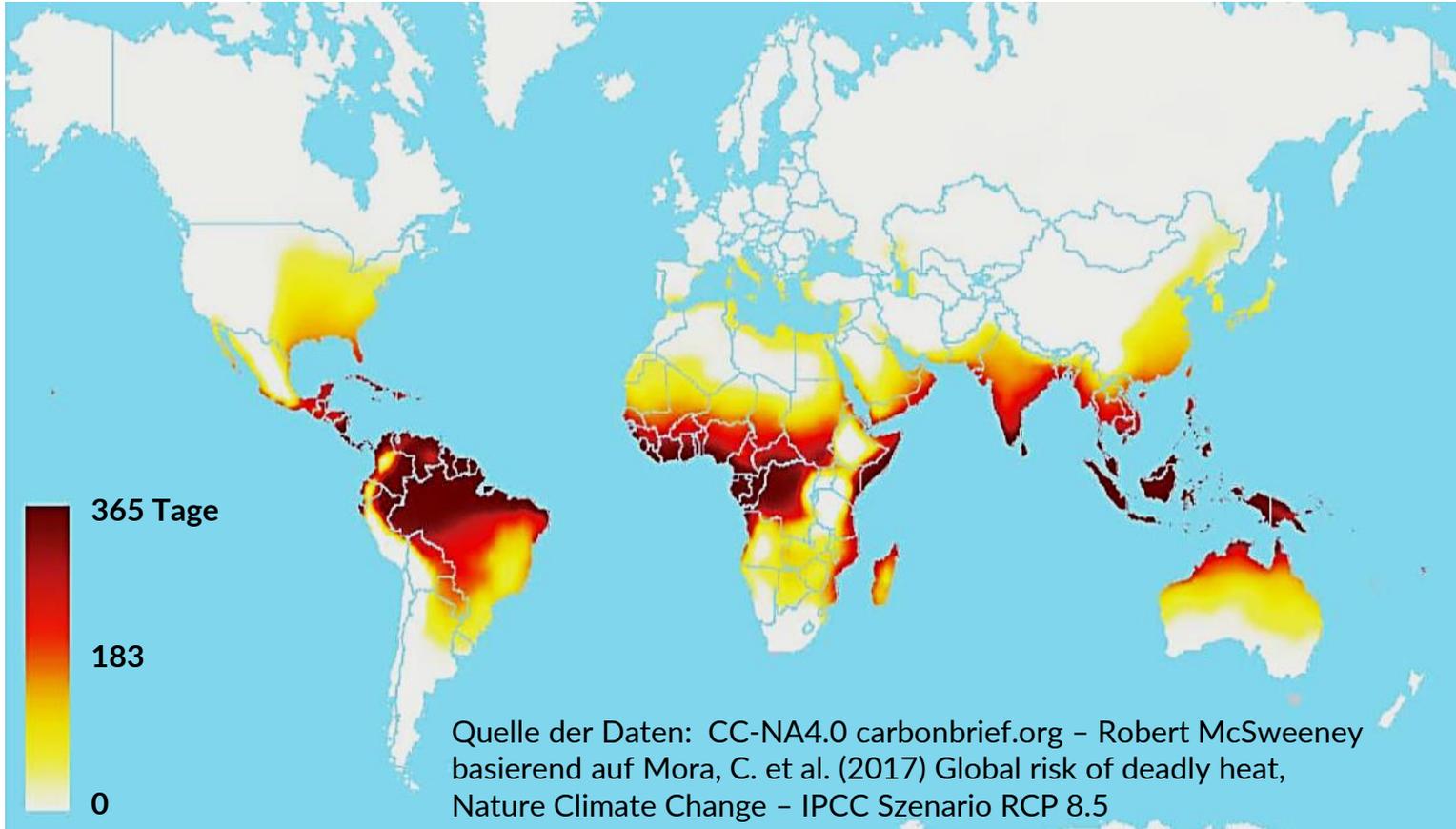
Gemittelte globale Temperaturabweichung bezogen auf die vorindustrielle Basistemperatur von 1750 (Verschiebung um +0,2°C ggü. dem Mittel von 1961-1990)

Quelle: Marcott et al., Science 339, 1198 (2013), Abb. 54b) (Suppl.), DOI: 10.1126/science.1228026



Exponentielles Wachstum

# Klima im Jahr 2100



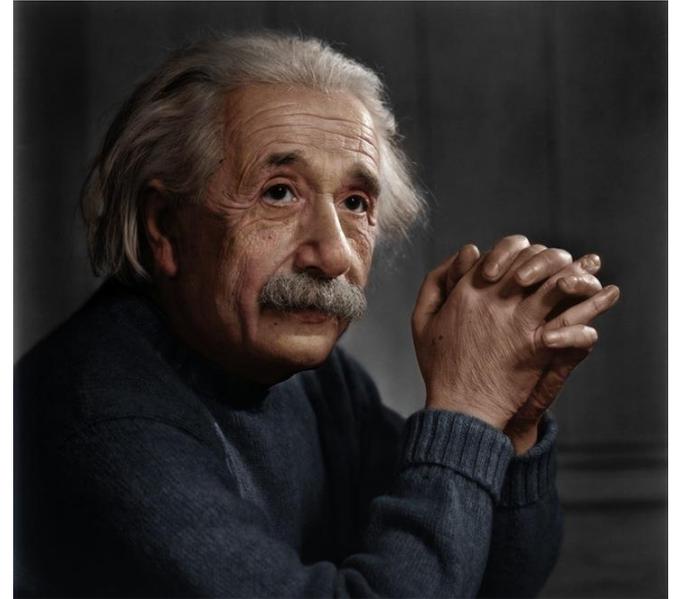
Modellierung der Anzahl tödlicher Hitzetage pro Jahr (Kombination aus Feuchte und Temp.) im Jahr 2100 bei einem mittleren Temperatur-Anstieg von 4...5°C

# 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

# CO<sub>2</sub>-Emission

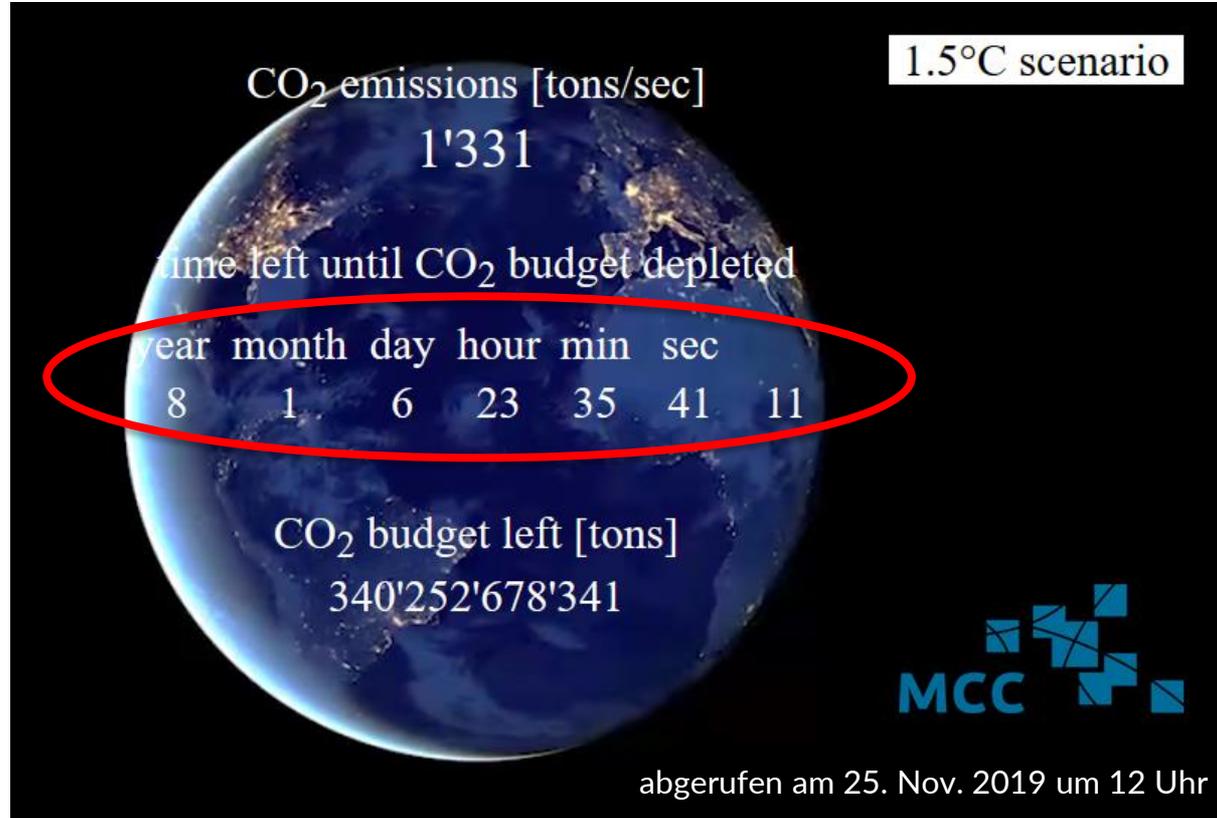


CO<sub>2</sub>-Emission, weltweit:  
ca. 40 Gt/a (Tendenz ↑)

Das 1,5°-Ziel erlaubt  
noch weitere 340 Gt  
CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre.

**Restzeit: 8 Jahre**  
**(bei konst. CO<sub>2</sub>-Emission)**

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



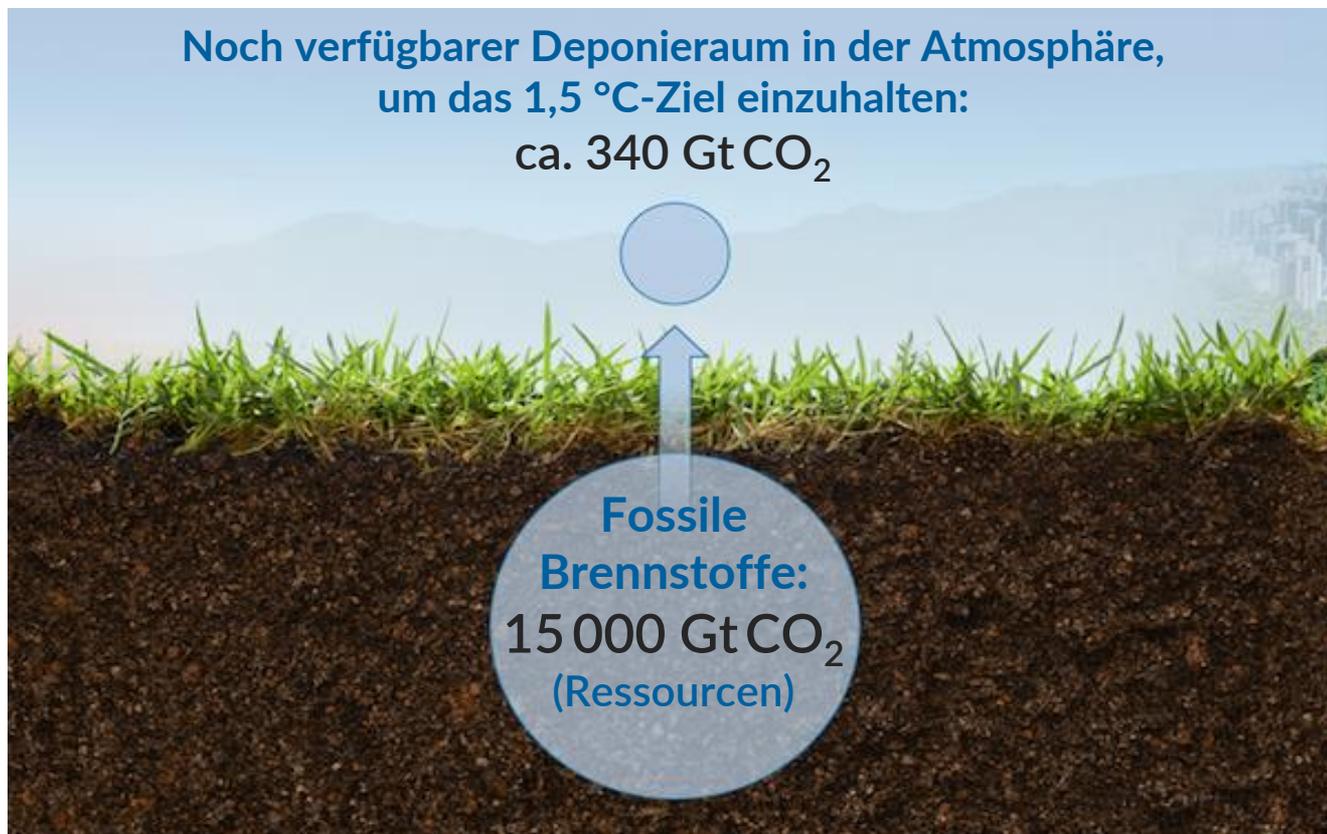
# Atmosphäre als CO<sub>2</sub>-Deponie

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 CO<sub>2</sub>-Reduktion



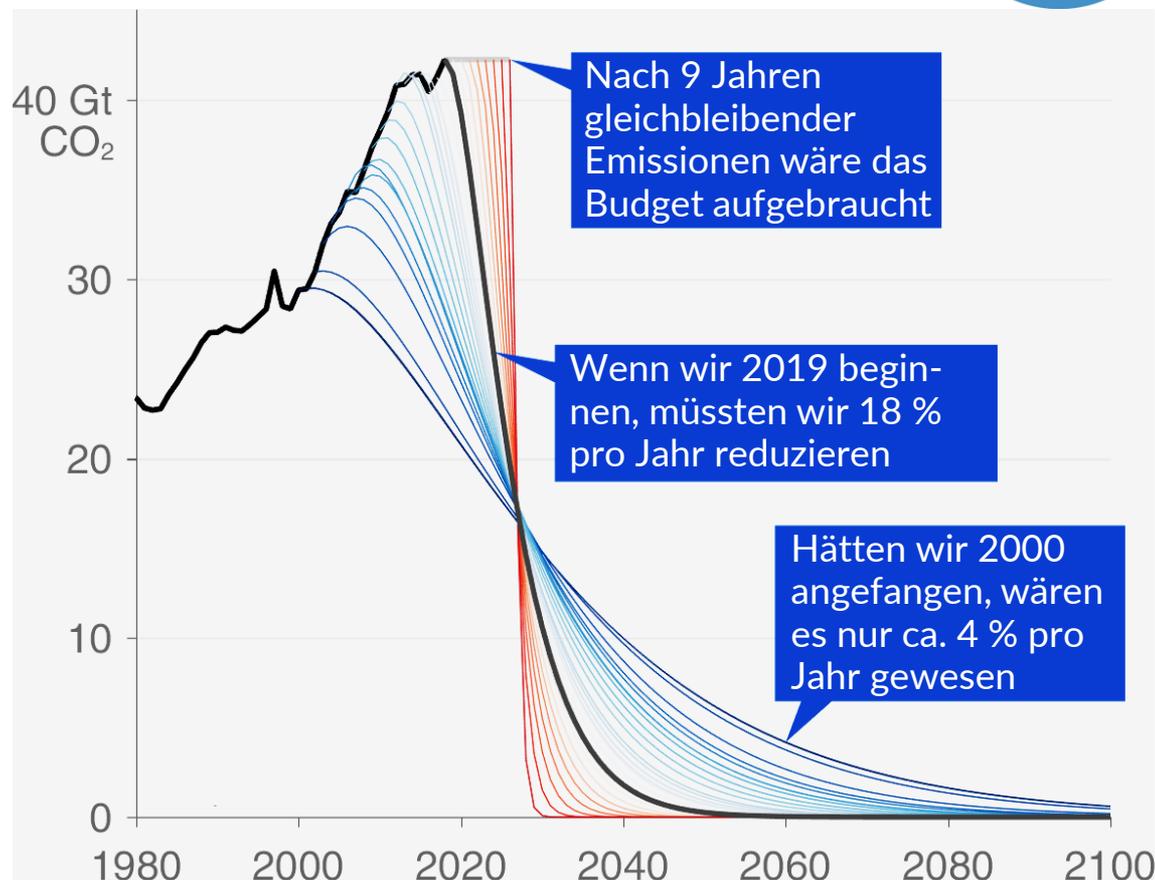
Um das 1,5°-Ziel zu halten, muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoß schnellstens reduziert und beendet werden!

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

Quelle der Daten:

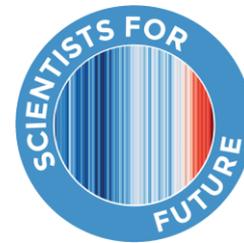
<http://folk.uio.no/roberan/GCB2018.shtml>

© 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

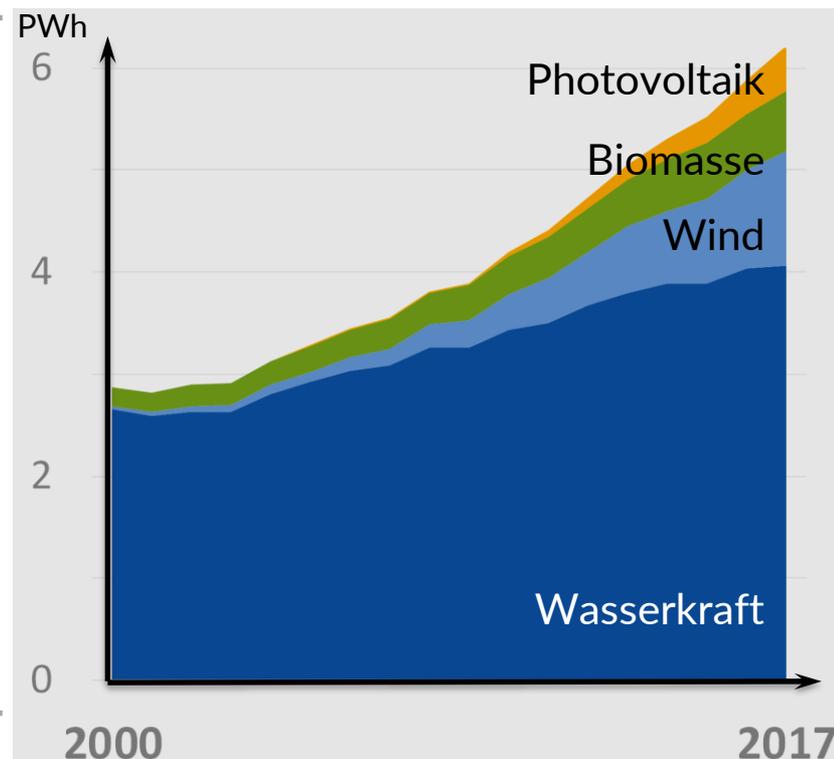
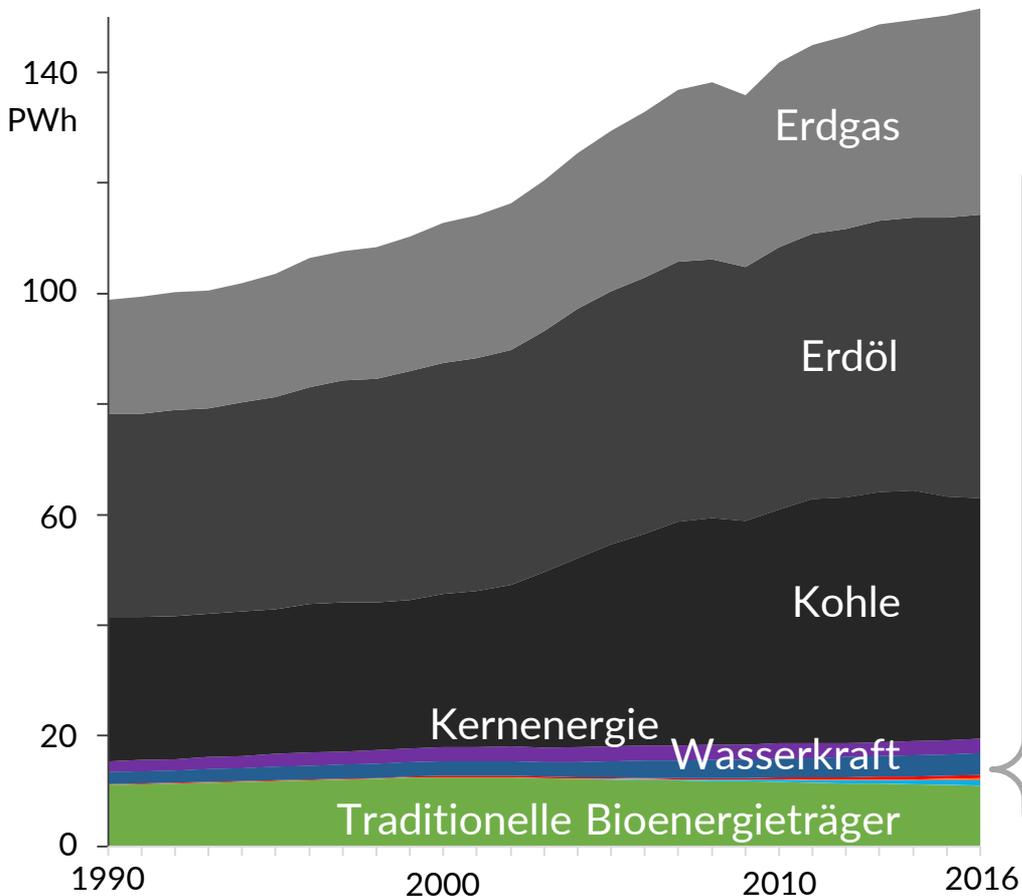


## Konsequenzen

# 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



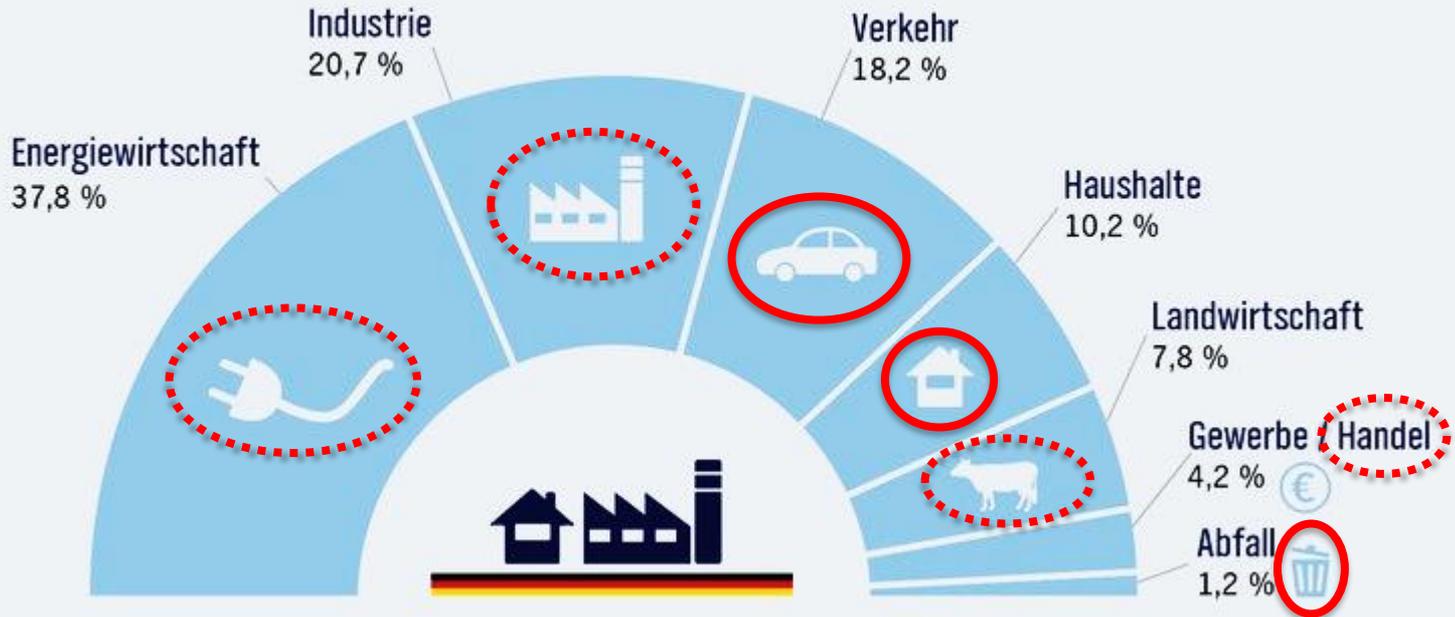
# CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland



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

**Zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß trägt jeder bei!**

### CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland nach Sektoren



Grafik: NDR / Quelle: Bundesumweltministerium (2016)

## Konsequenzen

# CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verkehr



Abschied vom Benzin- und Diesel-Motor bis 2025.



Ein E-Auto ergibt nur Sinn, wenn der Strom zum Laden CO<sub>2</sub>-frei hergestellt wurde.



# CO<sub>2</sub>-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.

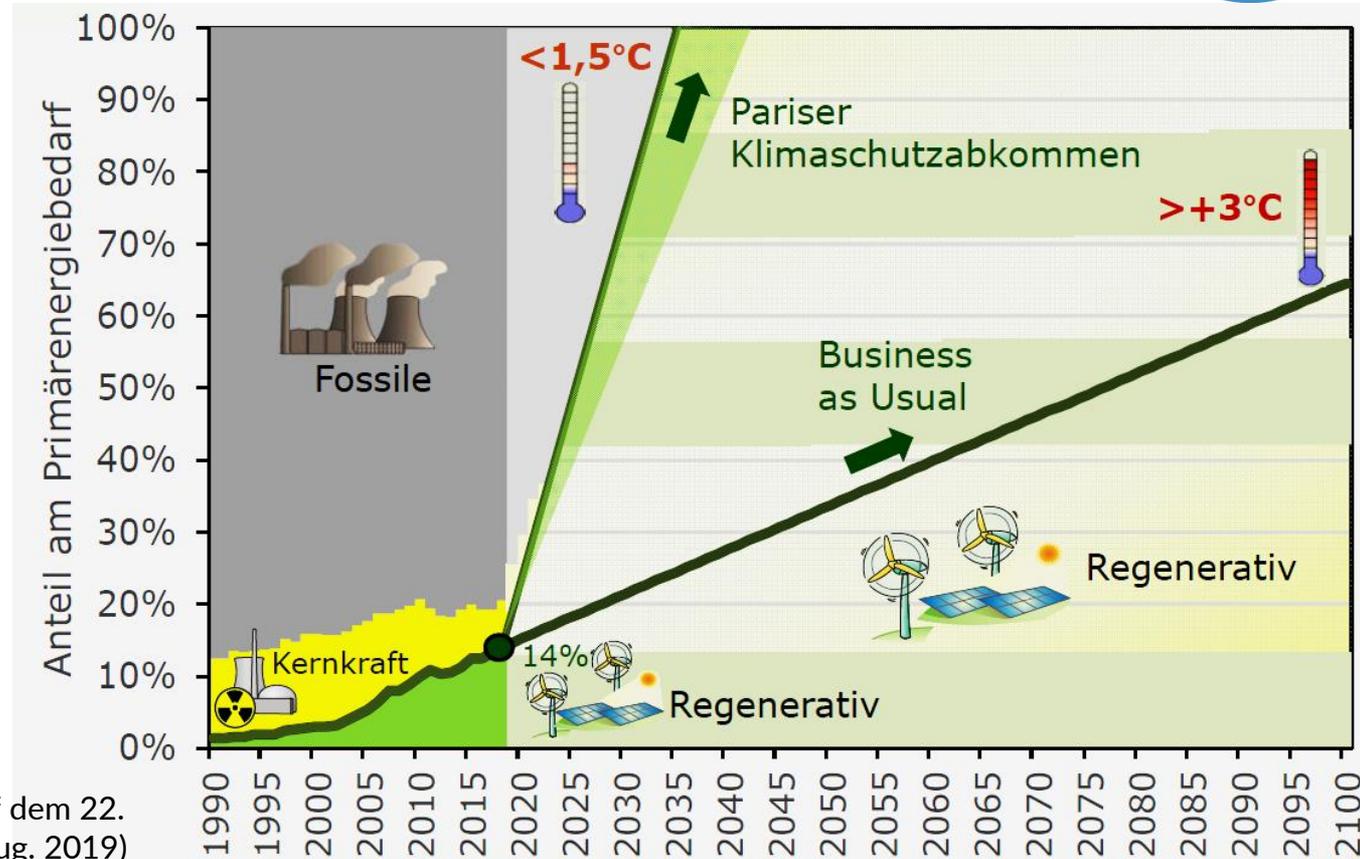


# Energie-Wende in Deutschland



Primär-Energie muss erzeugt werden, ohne zusätzliches CO<sub>2</sub> auszustoßen.

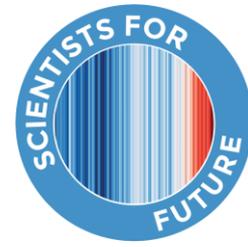
Der Ausbau der Regen. Energien muss mind. um den Faktor sechs(!) beschleunigt werden.



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

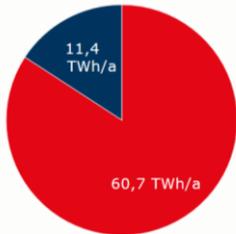
## Bsp.: Windkraft in NRW



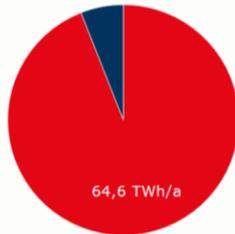
Der Anteil von Wind- und Solar-Energie im Jahr 2018 ist marginal.

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

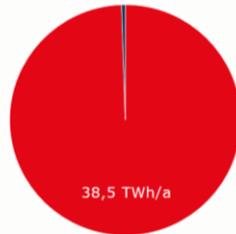
■ Noch nicht genutzte Potenziale ■ Genutzt 2018



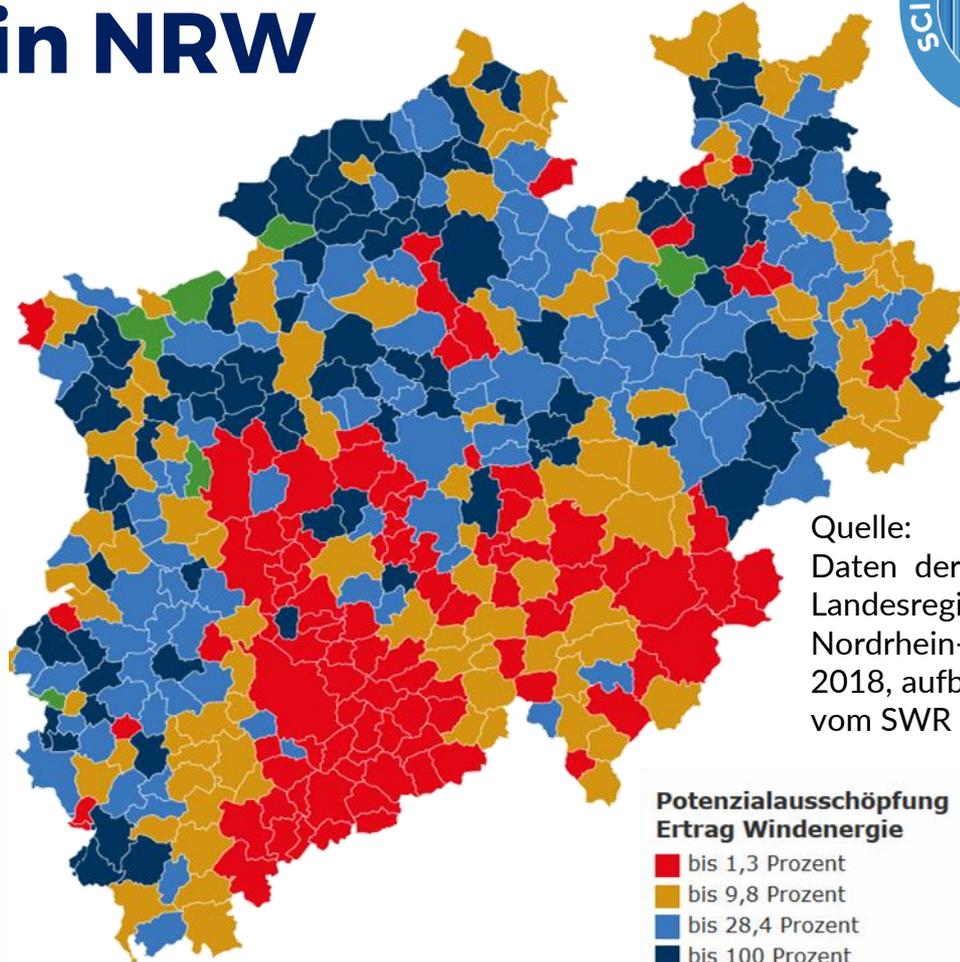
**Windenergie**  
Gesamtpotenzial:  
72,1 TWh/a



**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)



Quelle der meisten Abb.: <https://forfuture-buendnis.de> (abgerufen am 4. Dez. 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 CO<sub>2</sub> pro Jahr.

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

Ordnet man alle Länder nach CO<sub>2</sub>-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.

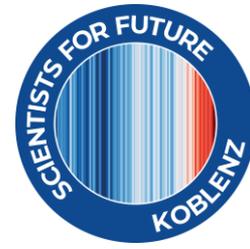
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen ebenfalls exponentiell an.

Ein weiterer exponentieller Temperaturanstieg führt zur Unbewohnbarkeit der Erde.

Es ist höchste Zeit zu handeln.



# Impressum



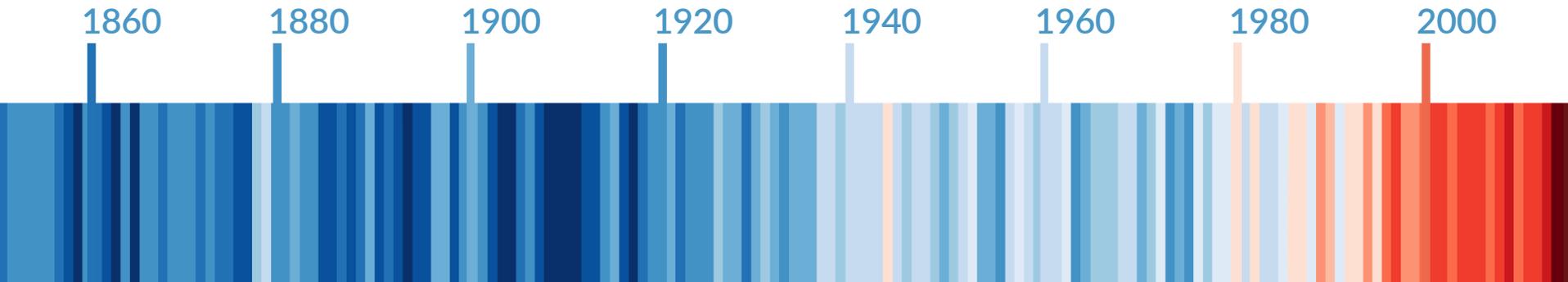
Ein Vortrag im Rahmen der Aktion  
*Lectures for Future* im Nov./Dez. 2019,

zusammengestellt von  
Prof. Dr. Hergert, Hochschule Koblenz.

Prof. Dr. Frank Hergert

stellvertretend für die  
Regionalgruppe Koblenz  
[www.hs-koblenz.de/s4f/](http://www.hs-koblenz.de/s4f/)

von Scientists for Future  
[www.scientists4future.org](http://www.scientists4future.org)



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