

Klimawandel

Nachgerechnet 4

Prof. Dr.-Ing. G. Schuller
Technische Universität Ilmenau
Institut für Medientechnologie

Ich finde es faszinierend dass man viele teils umstrittene Fragen zum Klimawandel mit der **Physik** der 10. Klasse und **Open Data** selber unabhängig beantworten kann. Ich habe letzten Sommer und Herbst viel Zeit und Mühe in das Nachrechnen der wesentlichen Frage des Klimawandels gesteckt, und es funktionierte.

Die Physik hat eben den Vorteil dass alles **unabhängig** mittels Messungen und Mathematik **überprüfbar** ist.

Diesmal beantworten wir die Frage: Was können wir tun?

- **In Teil 1** beantworteten wir die Frage: Verursacht die **Menschheit** den beobachteten Anstieg der atmosphärischen **CO2 Konzentration** durch Verbrennung **fossiler Energien**?
Die Physik sagt: Ja.

- Wir sahen: Wenn der fossile CO₂ Ausstoss heute **gestoppt** würde, würde es immer noch in der Grössenordnung von **150 Jahre** dauern, bis grob die vorindustrielle CO₂ Konzentration wieder erreicht wäre. Erst danach würde die globale Temperatur aufhören anzusteigen.
- In **Teil 2** beantworteten wir die Frage: Bewirkt die gestiegene CO₂ Konzentration eine **Erhöhung der globalen Temperatur**?
Die Physik sagt: Ja.
- Bei gleichbleibendem CO₂ Ausstoss wird die CO₂ Konzentration weiter steigen und der **Temperaturanstieg entsprechend schneller werden**.
- Auch in Teil 2 sahen wir dass die globale Temperatur jetzt schon über 1 Grad über dem vorindustriellen Wert liegt.
- In **Teil 3** beantworteten wir die Frage: Bewirkt die erhöhte CO₂ Konzentration das Abschmelzen der Pole und einen wesentliche **Anstieg des Meeresspiegels**?
Die Physik sagt: Ja.
- Auch in Teil 3 sahen wir dass die **Weltwirtschaft sehr empfindlich** selbst auf lokale Katastrophen wie Überflutungen reagiert.
- In dem Zusammenhang: Es gab schon früher Zivilisationen, die (regionalen) Klimawandel verursacht oder verstärkt haben. Sie sind dadurch untergegangen: https://en.wikipedia.org/wiki/Nazca_culture

<https://de.wikipedia.org/wiki/Indus-Kultur>

(durch Abholzung und nicht-nachhaltige Bewässerung)

- Das Ziel die Erderwärmung auf unter 2 Grad C (oder sogar auf 1.5 C) zu begrenzen ist **noch realistisch und technisch machbar**, erfordert aber globale Maßnahmen, wie im Pariser Klimaabkommen aufgezeigt, und sollte zügig gehen weil wir nahe an “tipping points” sein könnten.
- Dies alles lässt sich mit **Schulphysik nachrechnen!**
- Interessanterweise ist aus der physikalischen Beobachtung ein **Politikum** geworden, ähnlich wie im 17. Jahrhundert die physikalische Beobachtung dass die **Erde sich um die Sonne dreht** (und nicht andersherum, worauf die Kirche bestand, weil sie fürchtete Macht und Einfluss zu verlieren)
- Die Machbarkeit der Begrenzung der Erderwärmung will ich im folgenden zeigen.

Fossiles CO₂ ist eigentlich auch nur ein Art **Luftverschmutzung**, und das kann man ähnlich wie frühere Verschmutzungs-Probleme lösen, nicht mit Einschränkungen, sondern mit **technischen Lösungen**.

Beispiele:

- **Mülltonnen in Paris in 1700**: Selbst dabei gab es am Anfang Widerstände, wegen Aufwand und Kosten.

(<https://www.resorti.de/blog/eugene-poubelle-und-die-g>

[eschichte-der-muelltrennung/](#))

- **Abgaskatalysator in den 1980er Jahren:** Mit ihm und bleifreiem Benzin wurde erfolgreich die Luft in den Städten verbessert und das Waldsterben verringert. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Fahrzeugkatalysator>)
- Der Abgaskatalysator verlangte **neue Autos**, die auch ein Stück teurer waren (ein paar 1000 DM), ähnlich wie Elektroautos heute, und wogegen sich die Industrie damals auch stemmte
- Der Katalysator ist nun Standard, die **Preise sanken** mit den Stückzahlen
- **Weltweites Verbot von FCKW als Kühl- und Treibmittel, und deren Ersatz durch Alternativen** in den 1990er Jahren: Es verkleinerte das Ozonloch wieder.
- **Verbot von Glühlampen kleinerer Leistung in Australien, Europa (und USA)**, was zwar nicht streng durchgesetzt wurde, was aber den Umstieg auf LED Lampen gefördert hat. Dadurch stiegen die Stückzahlen und **die Preise für LED Lampen sanken**.

Prinzip zum Wegkommen von fossilem CO₂:

- Wir müssen nur **fossile Energie vermeiden**, so einfach ist es! Öl, Kohle, und Gas müssen **in der Erde bleiben**.
- **Kernenergie** ist langfristig **nicht praktikabel oder wirtschaftlich**, denn es erzeugt zwar kein fossiles

CO₂, ist aber nicht erneuerbar (hält daher auch nur eine begrenzte Zeit) und erzeugt im Prinzip unbegrenzte Kosten für die Endlagerung.

- Energie aus **erneuerbaren Quellen** ist inzwischen **preisgünstiger**.
- **Stärkung der Natur** zum Abbau des fossilen CO₂, also z.B. großräumige Abholzungen von Wäldern vermeiden.
- Wir können auf **Technologien** umschwenken, die **ohne fossile Energie** auskommen, das heißt mit **Strom als Energieform** auskommen.
- Dabei kommt es nicht darauf an, dass der Strom sofort komplett aus Erneuerbaren Energien kommt, sondern dass unsere Technik **bereit ist, in Zukunft mit Strom aus erneuerbaren Quellen auszukommen**.
- D.h. **CO₂ Bilanzen** sollte man nicht auf dem heutigen Strommix basieren, sondern auf dem **künftigen Strommix**, der hoffentlich vollständig ohne fossiles CO₂ auskommt, um zu sehen wie **geeignet Technologien für die Zukunft** sind.

Welcher Stromanteil ist aus Fossilen Quellen?

Herkunft elektrischer Energie in Deutschland in 2019:

<https://strom-report.de/strom/>

- Erneuerbare: 236 TWh (46%)
- Braunkohle 102 TWh (19.8%)
- Kernenergie: 71 TWh, (13.7%)
- Erdgas: 54 TWh (10.5%)

- Steinkohle: 49 TWh (9.5%)
(TWh: Terawatt-Stunden, Tera: 10^{12})

Beachte: Bereits **fast die Hälfte** (46%) der elektrischen Energie stammt aus **erneuerbaren** Quellen.

Der verbleibende fossile Anteil ist:

(102+49+54) TWh= 205 TWh im Jahr

Der fossile Anteil plus Kernkraft ist:

(205+71) TWh= **276 TWh**

-> Dies ist vergleichbar mit der Erneuerbaren Energie die wir schon erzeugen, also **machbar!**

Können wir dies durch erneuerbare Energien ersetzen?

Ist es bezahlbar?

Erzeugungskosten pro KWh (Stromgestehungskosten):

Gesamtkosten für Bau, Betrieb, Abbau, Schadensbeseitigung einer Anlage, **geteilt** durch die in der Lebensdauer **erzeugten Energie** in KWh.

Preisvergleich:

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2018/studie-zu-stromgestehungskosten-photo-voltaik-und-onshore-wind-sind-guenstigste-technologien-in-deutschland.html>

Kernenergie:

http://npolicy.org/article_file/New_Nuclear-The_Economics_Say_No.pdf (2009)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Stromgestehungskosten>

Daraus ergeben sich die Stromgestehungskosten pro KWh zu:

- Solar Freistehend: **3.8-6.5 c/KWh, fallend**
- Wind Onshore: **4-8 c/KWh, fallend**
- Gas: **10-22 c/KWh**
- Braunkohle: **4.5-8 c/KWh, steigend**, wenn man die **Schäden** durch den Klimawandel und die “Ewigkeitskosten” einrechnen würde **erheblich mehr**
- Kernenergie: mindestens **6.5 c/KWh, steigend** (2009)
Hinkley Point, neuer Reaktor in Großbritannien:
Einspeisevergütung: **11 c/kWh** (2013),
wenn man die **Kosten** für die **Endlagerung** und **Unglücke** (ähnlich Haftpflicht-Versicherung) einrechnen würde erheblich mehr. Diese Kosten trägt hauptsächlich der Steuerzahler.

Fazit: Erneuerbare Energie ist jetzt schon am **billigsten**. Gas kann für den Übergang Kernkraft und fossile Energie ersetzen.

Was kann der Einzelne tun?

***Stromtarif aus erneuerbarer Energie buchen:**

- Die Kosten sind schon im Wesentlichen die gleichen wie bei konventioneller Energie, teils sogar schon billiger!

- Bei CO2 Bepreisung werden die erneuerbaren Tarife preisgünstiger werden
- Die Nachfrage erzeugt ein entsprechendes Angebot

***Möglichst nur elektrische Energie für den Transport benutzen:**

- Elektrische Züge, Straßenbahnen, elektrische Busse, elektrische Autos, Carsharing mit elektrischen Autos.
- Möglichst keine Autos mit Verbrennungsmotor mit fossilen Energien, Züge mit Dieselantrieb oder Diesel Busse benutzen.
- Wo es geht mit dem Rad fahren oder zu Fuss gehen.
- Bei Flugreisen CO2 Kompensationen kaufen. Das ist zwar nicht perfekt, erzeugt aber Nachfrage für klimaschonende Projekte (z.B. Aufforstung).

***Für den Haushalt möglichst nur erneuerbare Energie nutzen:**

- Wärmepumpen als Heizung benutzen.
- Wenn es geht, Solarenergie und evtl. eine kleine Windkraftanlagen am Haus einrichten.

Ist es machbar? Können die erforderlichen **276 TWh im Jahr** durch **erneuerbare** Quellen zusätzlich erzeugt werden?

Entwicklungen von Schlüsseltechnologien, Zeitverlauf:

***Preisverfall von Lithium-Ionen Speichern:**

<https://de.statista.com/infografik/20280/preisentwicklung-von-lithium-ionen-batterien/>

- 2013: 400 eur/kWh,

- 2020: ca. 84 eur/kWh.
- D.h. die Preise sind in nur 7 Jahren **auf weniger als ¼ gefallen!**
- Dies wird erneuerbare Energie Grundlastfähig werden lassen.

*Windkraft, Entwicklung der mittleren Nennleistung:

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Windkraftanlage>
- 1990: 164 kW
- 2011: über 2,2 MW,
- also mehr als **Faktor 10** in 20 Jahren!

*Solarzellen Wirkungsgrad:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- 1980er Jahre: ca. 5%
- 2020: handelsüblich ca. 20%, Forschungs-Zellen über 30%, Vergleichbar mit dem Wirkungsgrad von Chlorophyll in Pflanzen-Blättern.
- D.h. in ca. 40 Jahren haben wir **Anstieg der Effizienz um den Faktor 4!**
- D.h. **10 qm Solarzellen** liefern in unsern Breiten in der Spitze etwa 2 KW, was über das Jahr bei uns ca. 2000 kWh liefert, und mit Batteriespeicher schon für einen mittleren **1 Personen Haushalt reicht**.
(<https://strom-report.de/stromverbrauch/>,
<https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-leistung/photovoltaik-ertrag-in-sommer-und-winter>)
- Die Anschaffungskosten sind in den letzten 10 Jahren um mehr als die Hälfte gefallen:
<https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten>
-> Billiger als regulärer Strom!

- Diese Steigerungen der Effizienz macht die Erzeugung der benötigten Elektrizität realistisch.
- Diese Technologien sind auch ein wichtiger Treiber des gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftswachstums.
- Sie sind auch umweltfreundlicher zu bauen und zurück zu bauen als Kohle- oder Kernkraft.

Mehr dazu und zum Nachrechnen dass und wie die Umstellung auf 100% erneuerbare Elektrizität möglich ist in der nächsten Folge.