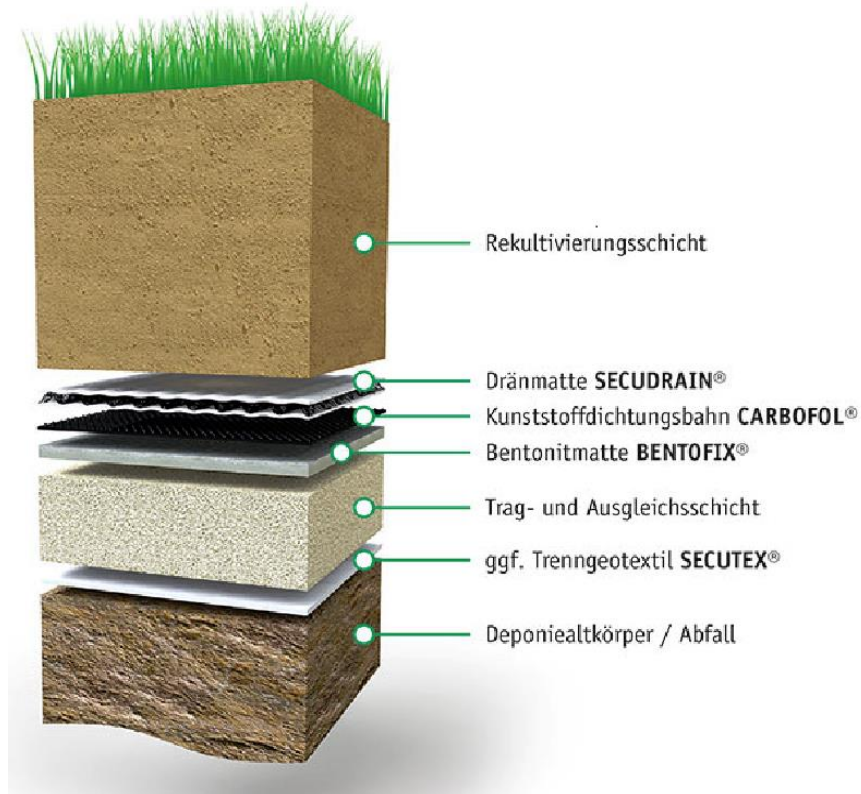


△ LUFT

11. KLIMASCHUTZ DURCH SICHERE DEPONIEREN

- Zum Thema **LUFT** leistet die Abfallwirtschaft einen weiteren wichtigen Beitrag: Durch das Deponierungsverbot für nicht vorbehandelte Abfälle seit 2005 wird der Atmosphäre zusätzliches Deponiegas erspart.
- Dieses besteht größtenteils aus klimaschädlichem Methan. Die klimaschädliche Wirkung von Methan ist etwa 21- bis 28-mal so stark wie die von Kohlenstoffdioxid (CO₂), d.h. nur 3 bis 5 % Methan bezogen auf CO₂ verursachen dieselbe Wärmewirkung („Treibhausgaseffekt“).
- Ohne Abfallvorbehandlung würde aus dem Kohlenstoff im Abfall langfristig Methan entstehen. Dies wird aber verhindert, wenn der Kohlenstoff im Abfall durch Verbrennung komplett zu CO₂ umgewandelt wird. Durch die oben genannte gesetzliche Regelung bleibt dieser Effekt der Atmosphäre seit fünfzehn Jahren erspart!
- Für die noch zahlreich bestehenden Altdeponien für die Zeit vor 2005 gilt: Nach den gesetzlichen Regelungen müssen Abfalldeponien neben der Basisabdichtung eine obere Deponieabdichtung und eine Deponiegas-Erfassung und -Verbrennung (s. hierzu Ausstellung **ERDE**) haben.

△ LUFT



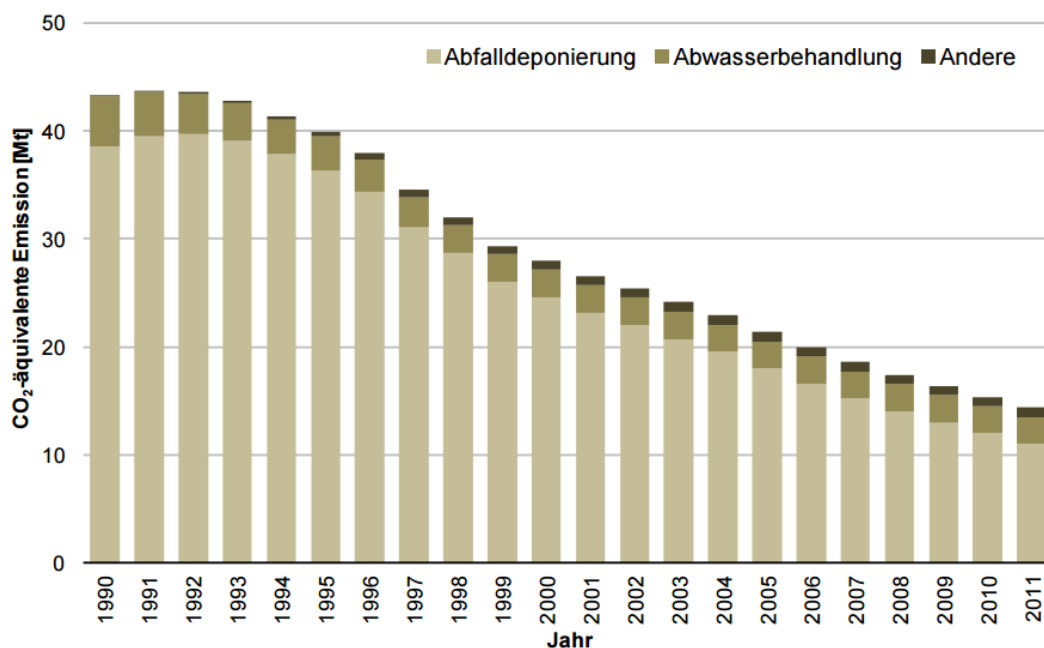
Deponie-Oberflächen-Abdichtung¹

¹aus: <http://www.naue.com/de/>, NAUE GMBH & CO. KG, Espelkamp, info@naue.com

ALUFT

- Aus den alten, nicht vorbehandelten Siedlungsabfällen entsteht nämlich in der Deponie unter **LUFT**mangel durch Gasbildung Deponiegas (hauptsächlich Methan und CO₂). Das Methangas wird in einer regelgerechten Deponie bis auf Undichtigkeiten kontrolliert abgeleitet und entweicht so nicht mehr in die **LUFT**. Zusätzlich wird das Methangas in kleinen Blockheiz-Kraftwerken unter Energienutzung verbrannt und zu dem weniger klimaschädlichen CO₂ umgewandelt.
- Der Effekt dieser gesetzlichen Regelungen (Abfallablagerungsverbot, Vorbehandlungsgebot und technische Vorschriften für Deponien) ist deutlich sichtbar!

Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland, Abfall & Abwasser



Der Beitrag des Ablagerungsverbotes, des Vorbehandlungsgebotes und der Deponieverordnung zum Klimaschutz ²

²https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_08_2013_nir_2013_gniffke.pdf, Seite 597

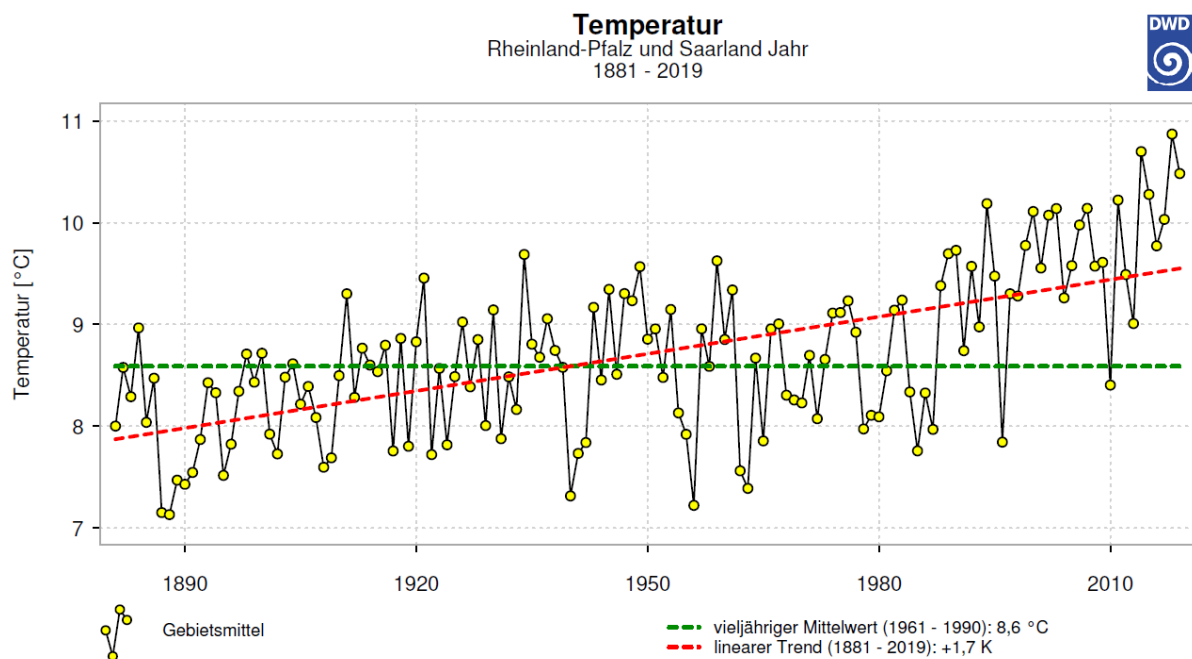
△ LUFT

- Von 1990 bis 2011 haben die Emissionen der Abfaldeponierung innerhalb von 21 Jahren von ca. 38.000.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid um 71 % auf ca. 11.000.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid abgenommen.
- Weitere positive Effekte sind zu erwarten, weil der organische Kohlenstoff in den deponierten Abfällen etwa 30 Jahre als Gas austritt und danach in der Aktivität nachlässt.

△ LUFT

12. STEIGEN DIE LUFT-TEMPERATUREN AN?

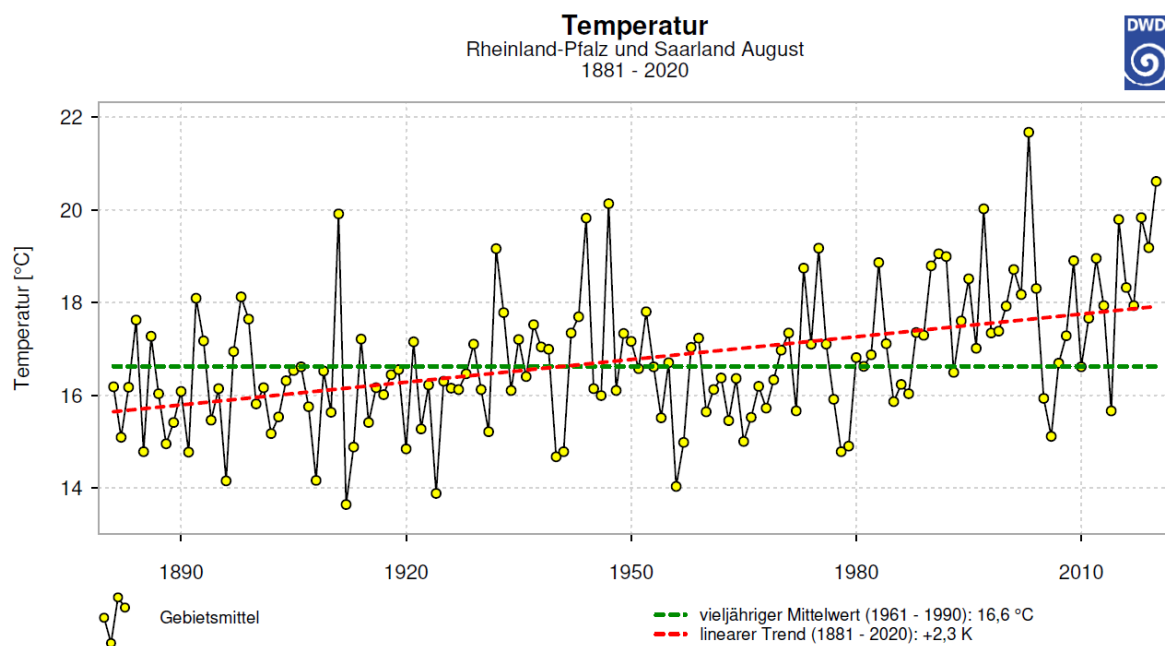
- Ja, die mittlere **LUFT**-Temperatur der Erde ist (auch in Rheinland-Pfalz) langfristig seit 1880 angestiegen ¹.
- Die mittlere Jahres-**LUFT**-Temperatur 1961-1990 beträgt 8,6 Grad Celsius (grüne Gerade).
- Von 1880 bis 2019 nahm die mittlere Jahres-**LUFT**-Temperatur um +1,7 Grad zu (rote Gerade).



¹ Deutscher Wetterdienst: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>

△ LUFT

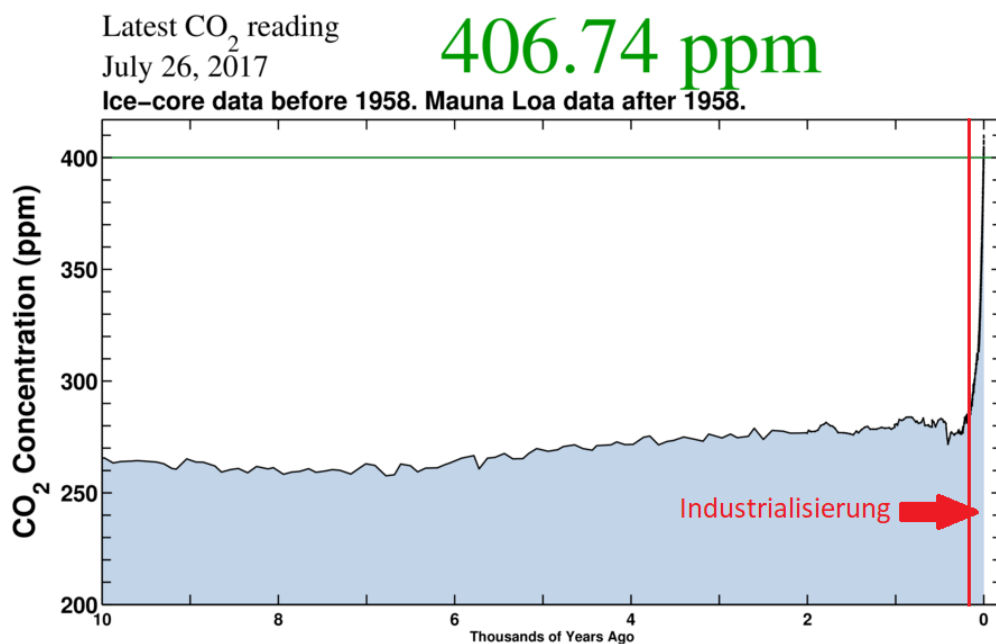
- Die mittlere August-**LUFT**-Temperatur 1961-1990 beträgt 16,6 Grad Celsius (grüne Gerade).
- Von 1880 bis 2019 nahm die mittlere August-**LUFT**-Temperatur um +2,3 Grad zu (rote Gerade).



△ LUFT

13. WIE HAT SICH DER CO₂-GEHALT DER LUFT LANGFRISTIG VERÄNDERT?

- Die Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Konzentration in der **LUFT** war in den letzten 10.000 Jahren relativ konstant und lag bei 260 bis 280 ppm (parts per million). Das sind 0,0260 bis 0,0280 Volumenprozent Anteil in der **LUFT** ¹



Zunahme des CO₂-Gehaltes (in ppm) der **LUFT** seit 10.000 Jahren (Die Daten stammen bis 1958 aus den Gasbläschen von Eisbohrkernen mit Altersbestimmung und seit 1958 aus Luftmessungen am Mauna Loa auf Hawaii.)

¹ <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/>

△ LUFT

- Die CO₂-Konzentration ist seit Beginn der Industrialisierung von 280 ppm auf 407 ppm (2017) angestiegen. Das sind 0,0407 Volumenprozent.
- Das ist immerhin ein Anstieg um 127 ppm bzw. +45 Prozent!
- Diese zusätzlichen 127 ppm CO₂ haben eine Wärmewirkung in der **LUFT**, die die globale Temperatur um rund ein Grad anhebt.

△ LUFT

14. WAS IST DER KOHLENSTOFF- KREISLAUF DER ERDE? ¹

- Der Kohlenstoff-Kreislauf ist ein gigantischer Stoff-Kreislauf der **ERDE**. Es gibt dort die folgenden riesigen Kohlenstoff-Depots:
 - fossile Energieträger: > ca. 6.000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff
 - Böden: ca. 1.500 Milliarden Tonnen Kohlenstoff
 - Atmosphäre: ca. 800 Milliarden Tonnen Kohlenstoff
 - Ozeane: > ca. 37.000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff
 - Ozeanboden: ca. 30.000.000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff
- Diese Depots geben einerseits Kohlenstoff in die **LUFT** ab:
 - aus Böden: +60 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
 - von Bäumen: +60 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
(verrottende oder verbrennende Pflanzen verbrauchen Sauerstoff und geben CO₂ ab.)
 - Verbrennung fossiler Ressourcen: +6 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
 - Vegetations-Zerstörung: +1 Milliarde Tonne Kohlenstoff / Jahr
 - aus Ozeanen: +90 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
 - **Summe Abgabe in die LUFT: +217 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr**

¹ <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/>

△ LUFT

- Diese Depots nehmen aber auch Kohlenstoff aus der **LUFT** auf:
 - in die Landvegetation: -122 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
(CO₂ wird durch Photosynthese zu Zucker → Gerüstsubstanz → Pflanzenwachstum. Es entsteht dabei Sauerstoff.)
 - in Ozeane: -92 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr
 - **Summe Aufnahme aus der LUFT: -214 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr**

Fazit:

- Es werden in Summe 3 Milliarden Tonnen Kohlenstoff / Jahr mehr in die **LUFT** abgegeben, als aufgenommen.
- Ursache: Die Verbrennung fossiler Ressourcen und die Vegetations-Zerstörung durch den Menschen!
- Sie führen in der **LUFT** zu einem Anstieg des CO₂-Gehaltes und damit zur Temperatursteigerung!

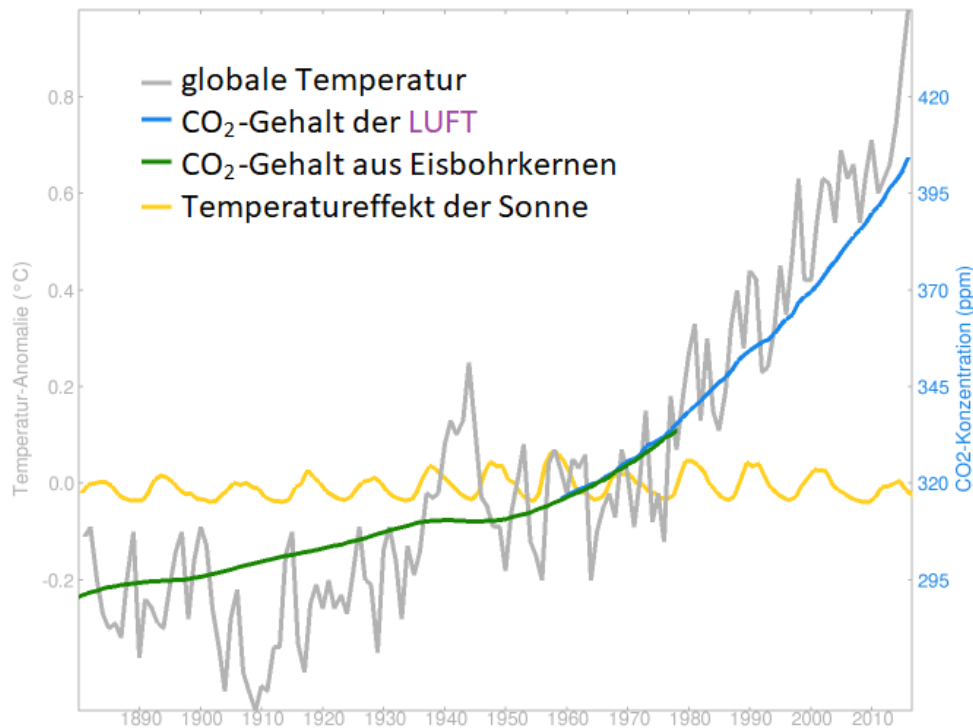
△ LUFT

15. HÄNGEN DER CO₂-GEHALT DER LUFT UND DER TEMPERATURANSTIEG ZUSAMMEN?

- Ja, der Temperaturanstieg ist eine Folge der höheren CO₂-Konzentration (und der anderer Treibhausgase) in der **LUFT**.¹
- Die messbare CO₂-Konzentration stieg von 1880 (ca. 280 ppm = 0,0280 Volumenprozent) auf heute (405 ppm = 0,0405 Volumenprozent) massiv an (grüne bzw. blaue Kurve).
- Diese zusätzlichen 125 ppm CO₂ verursachen eine globale Erwärmung von 1880 bis heute von etwa +1 Grad (graue Kurve).
- Die Sonnenaktivität hat dagegen keinen Einfluss; sie schwankt zwar, ist aber im Rahmen der Schwankung konstant (gelbe Kurve).

¹ <https://scilog.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/> und https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosph%C3%A4re

△ LUFT



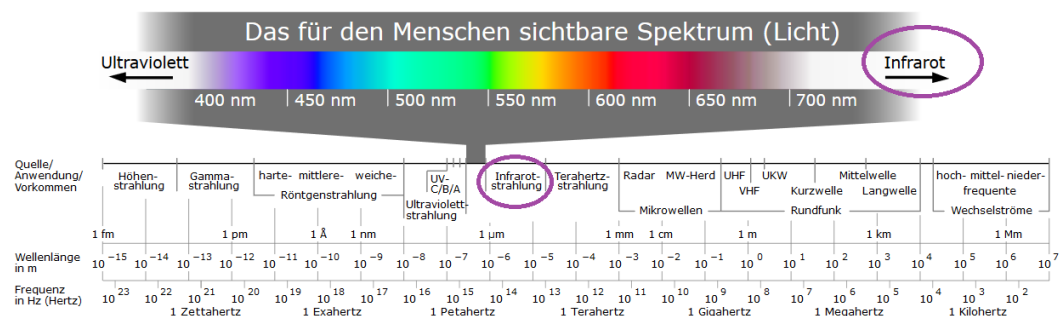
Zusammenhang zwischen Temperatur und CO₂-Gehalt der **LUFT** (CO₂-Gehalte bis 1958 aus Gasbläschen von Eisbohrkernen mit Altersbestimmung; seit 1958 aus Luftmessungen am Mauna Loa, Hawaii)

- Durch die vollständige Verbrennung aller bekannten fossilen Ressourcen würde sich der CO₂-Gehalt der **LUFT** vervierfachen und bis auf ca. 1.600 ppm ansteigen. Dies würde zu einer globalen Erwärmung von +4-10 Grad führen.
- Das „Zwei-Grad-Ziel“ als Grenze vor einer gefährlichen globalen Erwärmung wurde erstmals in den 1970er Jahren vom Amerikaner William D. Nordhaus formuliert. Verbindlich vereinbart ist es noch nicht. Auf dem 25. Klimagipfel Mitte Dezember 2019 in Madrid wurde nur unverbindlich nur auf ein 1,5 Grad-Ziel hingewiesen.

△ LUFT

16. WARUM WIRD DIE LUFT MIT MEHR CO₂ WÄRMER?

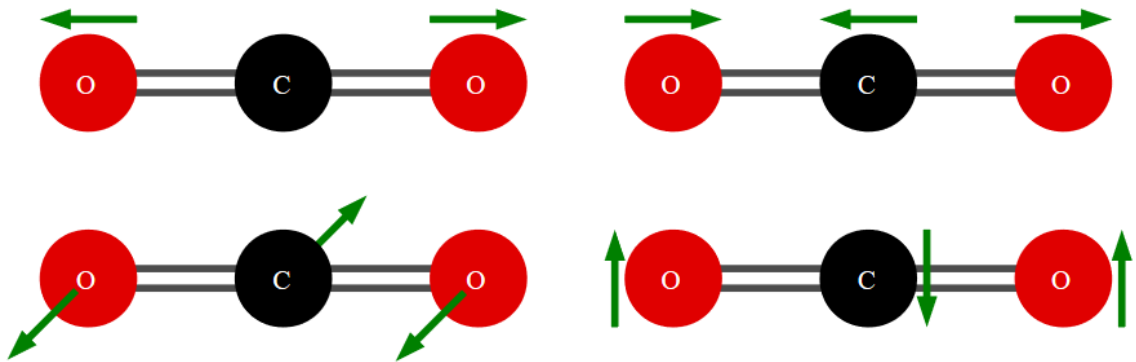
- Moleküle, wie Kohlenstoffdioxid (CO₂) – aber auch andere wie Methan (CH₄) oder Wasser (H₂O) – werden durch Infrarotstrahlung in Schwingungen versetzt ¹.
- Infrarotstrahlung ist eine für den Menschen nicht sichtbare Strahlung, die langwelliger ist, als das sichtbare Licht und damit energieärmer.



¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosph%C3%A4re_und:https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-eine-grosse-wirkung-hat-so-wenig-co2/
und:
https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum#/media/Datei:Electromagnetic_spectrum_-_de_c.svg

△ LUFT

- Die Infrarotstrahlung wird von den Molekülen aufgenommen und versetzt diese in Bewegungen, z.B. Streckerschwingungen (oben) oder Biegeschwingungen (unten).



- Durch diese Bewegungen wird Energie frei, die als Wärmestrahlung abgegeben wird.
- Deswegen nennt man die Infrarotstrahlung auch „Wärmestrahlung“.
- Ein erhöhter CO₂-Gehalt der LUFT führt dadurch zu einer stärkeren Temperaturerhöhung.

△ LUFT

17. DIE KEELING-KURVE

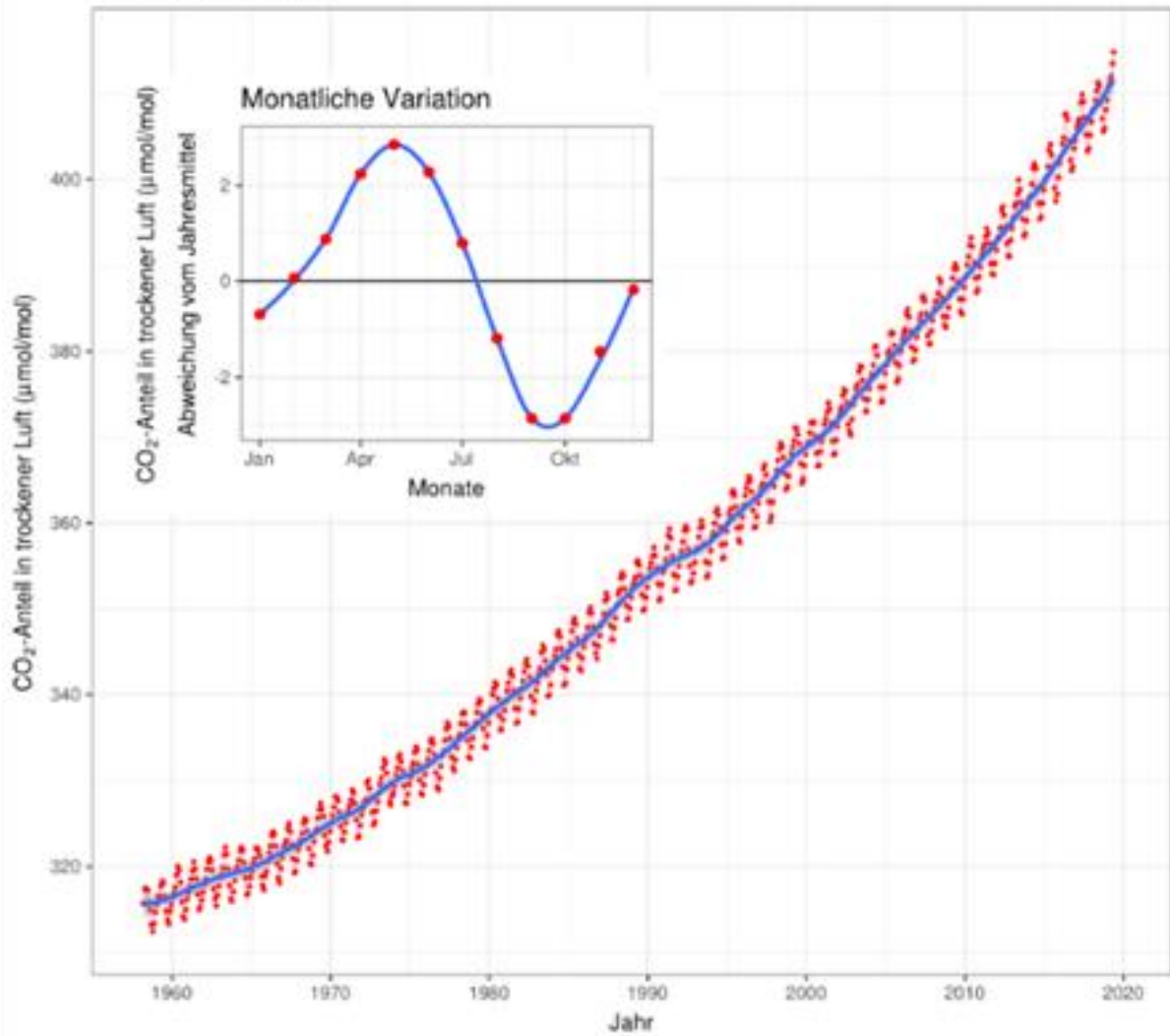
- Die Keeling-Kurve ¹ ist der erstmals tatsächlich gemessene Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der **LUFT** seit 1958.
- Sie ist nach Charles David Keeling benannt. Dieser konnte Anfang der 1960er Jahre erstmals zeigen, dass die CO₂-Konzentration durch Änderung der Landnutzung und die Verbrennung fossiler Brennstoffe ansteigt.
- Die Keeling-Kurve zeigt einen charakteristischen, schwankenden Jahresverlauf: Die Ursache ist die Vegetation auf der Nordhalbkugel der Erde:
 - Im Frühling und Sommer überwiegt die pflanzliche Aufnahme von CO₂ aus der **LUFT**; die CO₂-Konzentration sinkt.
 - Im Herbst und Winter gibt die Vegetation CO₂ an die **LUFT** ab, es kommt zu einem Konzentrationsanstieg des CO₂.
- Insgesamt zeigt die Keeling-Kurve im Mittel aber auch, dass der CO₂-Gehalt der **LUFT** von 1958 bis 2020 von ca. 316 ppm auf ca. 411 ppm = (+ 95 ppm = + 30%) angestiegen ist.
- Die Keeling-Kurve nimmt beim Klimawandel eine besondere Stellung ein. Sie ist ein wichtiger Beleg für die menschlich verursachte globale Erwärmung.

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Keeling-Kurve>

△ LUFT

Monatliche durchschnittliche CO₂-Konzentration

Mauna Loa 1958 - 2019



Datell : R. F. Keeling, S. J. Walker, S. C. Piper und A. F. Bollenbacher
Serpps CO2 Program (<http://scrippsco2.ucsd.edu>). Zugänglich am 2019-07-20

△ LUFT

18. ABFALLWIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ

- Manche Menschen schauen angesichts des unbestreitbar notwendigen Klimaschutzes auch auf den Kamin des Gemeinschafts-Müllheizkraftwerks Ludwigshafen (GML) und fragen sich: „Wie viel Tonnen CO₂ da wohl herauskommen?“.
- Zunächst: Die Abfallverbrennung ist notwendig, um sicher und hygienisch die nicht recycelbaren Restabfälle von einer Million Einwohnern der Region zu entsorgen. Das ist die Kernaufgabe! Und durch die entsteht einerseits CO₂, wie bei jeder Verbrennung. Wie nachfolgend gezeigt wird, ist das aber relativ wenig CO₂.
- Denn es werden CO₂-Emissionen eingespart, sodass die GML aktiv zum Klimaschutz beiträgt. Ein wichtiger Nutzeffekt der Abfallverbrennung ist: Aus dem Hochdruckdampf der Abfallverbrennung bei GML werden bei der benachbarten TWL Strom und Fernwärme hocheffizient erzeugt. Hierdurch wird CO₂ vermieden, weil man Energie aus Abfällen und nicht aus fossilen Ressourcen erzeugt.
- Hinzu kommt: Durch die Abfallverbrennung erfolgt ein Recycling von Metallen aus den Verbrennungsrückständen und schont somit weitere Ressourcen. Auch dies spart CO₂ ein.

ALUFT

- In Summe führt dies dazu, dass die Abfallverbrennung bei GML einen großen CO₂-Vorteil ergibt: Unter Berücksichtigung beider Effekte werden jährlich immerhin ca. 88.000 Tonnen / Jahr an CO₂-Äquivalenten CO_{2eq}¹ gegenüber der Energieerzeugung aus fossilen Ressourcen eingespart. Sichere Entsorgung plus klimafreundliche Energieerzeugung: Also zwei Fliegen mit einer Klappe!
- Neben dieser sogenannten Sektorenkopplung von Entsorgung und Energie hat die Abfallwirtschaft aber auch klimarelevante Auswirkungen auf andere Branchen. Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, seine Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 – bezogen auf die Emissionen des Basisjahres 1990 – um mindestens 40 Prozent zu reduzieren, bis 2030 um mindestens 55 Prozent und bis 2050 wird Treibhausgasneutralität angestrebt.
- In 1990 wurden noch rund 1,25 Milliarden Tonnen Treibhausgase emittiert. In 2019 waren dies nur noch knapp über 800 Millionen Tonnen CO_{2eq}. Durch die Corona-Pandemie sind die Emissionen in 2020 nochmals gesunken, sodass Deutschland seine Ziele in 2020 erreichen könnte².

¹ CO_{2eq} = Summe der Treibhausgase CO₂, Methan und andere

² Bundesregierung, Klimaschutzbericht 2019, Aug. 2020:
<https://www.bmu.de/download/klimaschutzbericht-2019/>

ALUFT

Welche Rolle spielt nun die Abfallwirtschaft in den einzelnen Sektoren?

- Der Sektor Energiewirtschaft war 2019 mit 254 Millionen Tonnen CO_{2eq} (in 1990 noch 466 Millionen Tonnen) der bedeutendste Emittent. Zu diesem Sektor zählen auch alle Abfallverbrennungsanlagen, allerdings mit nur rund 20 Millionen Tonnen = ca. 8 Prozent³. Durch die o.g. Effekte der Abfallverbrennung werden mehr Treibhausgase eingespart als entstehen, sodass 2019 alleine aus den biogenen Anteilen des Abfalls über 20 Milliarden Kilowattstunden an Strom/Wärme genutzt und dabei rund 7,4 Millionen Tonnen CO_{2eq} vermieden wurden⁴.
- Direkt danach folgte der Sektor Industrie mit 188 Millionen Tonnen CO_{2eq} (1990 noch 284 Millionen Tonnen). In diesem Sektor werden die Emissionen aus der Mitverbrennung von Abfällen z.B. der Zementindustrie berücksichtigt, aber auch die Einsparungen durch das Recycling von Ressourcen (Papier, Metalle, Kunststoffe, Mineralik etc.). So konnten alleine aus der Schlacke der 100 deutschen Abfallverbrennungsanlagen rund 500.000 Tonnen Metalle mit einer Ersparnis von 1,3 Millionen Tonnen CO_{2eq} zurückgewonnen werden⁵.
- Im Sektor Verkehr gab es keine wesentlichen Reduktionen – in 1990 lagen diese bei 164 Millionen Tonnen und 163 Millionen Tonnen in 2019. Die Entsorgungstransporte fließen hier mit ein.

³ Martin Treder und Dr. Martin Gehring, in „Müll und Abfall“, November und Dezember 2020

⁴ Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Feb. 2020

⁵ ITAD Jahresbericht 2019

△ LUFT

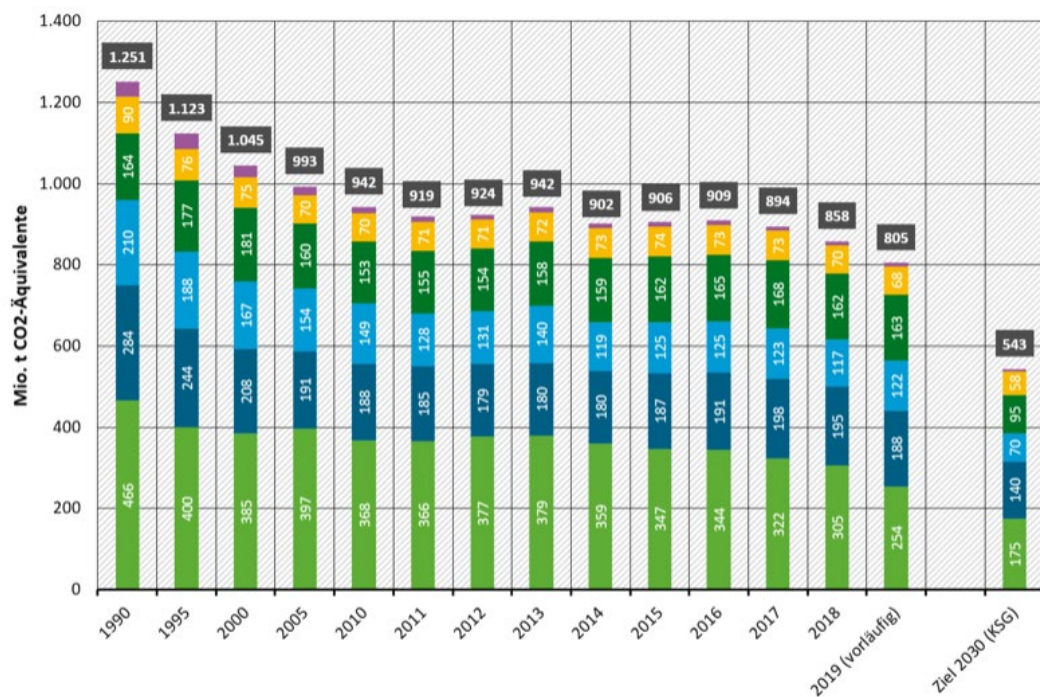
- Im Gebäudebereich konnte die Emission von 210 Millionen Tonnen in 1990 auf 122 Millionen Tonnen in 2019 gesenkt werden. Hierbei konnte die Fernwärme aus der Abfallverbrennung einen bedeutenden Beitrag liefern.
- Die Landwirtschaft hat die Emissionen von 90 Millionen Tonnen in 1990 auf 68 Millionen Tonnen CO_{2eq} in 2019 senken können. Hier konnte auch der Einsatz von Komposten aus der Abfallwirtschaft statt Mineraldünger einen Beitrag leisten.
- Der sogenannte Sektor Abfallwirtschaft mit Deponien, Kompostierungs- und mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen sowie Abwasser konnte die prozentual größte Reduzierung mit 78 Prozent erreichen (von 37 Millionen Tonnen CO_{2eq} in 1990 auf unter 10 Millionen Tonnen CO_{2eq} in 2019). Die weitgehende Reduktion der Deponiegas-Emissionen war nur durch einen ganzen Strauß flächendeckender abfallwirtschaftlicher Maßnahmen möglich, vor allem durch den Ausbau der getrennten Wertstoff-Sammlung für das Recycling (z.B. Biotonne, Altpapier), bauliche Maßnahmen auf den Deponien und insbesondere durch die Abfallverbrennung der nicht recycelbaren Abfälle.

ALUFT

- Wenn man die CO₂-Emissionen in der gesamten Abfallwirtschaft mit der in anderen Branchen/Sektoren vergleicht, dann ist die Abfallwirtschaft eine kleine, aber feine Branche! ⁶

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

in der Abgrenzung der Sektoren des Klimaschutzgesetzes (KSG)



⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-gingen-2019-um-63-prozent>