

Das Azolla Ereignis - Wie die Natur das Klima retten würde.

Bionik – die Kunst von der Natur zu lernen.

von Alexander Rommel - 30.08.2021

Es gibt viele erfolgreich Beispiele, wie den Lotus-Blüten-Effekt oder den Klettverschluss, bei denen die Menschheit Phänomene aus der Natur abkuppert und in Produkte oder in technische Errungenschaften überführt hat.

Wieso sollte die Bionik uns nicht auch bei der Klimakrise helfen?

Die Erde existiert seit 4,6 Milliarden Jahren und Leben seit mehr als 1,9 Milliarden Jahren. Betrachtet man die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid über diesen Zeitraum so reduzierten die Pflanzen die CO₂ Konzentration auf den vorindustriellen Wert von etwa 0,025Vol.-%. Gewaltige Ereignisse wie Vulkane, Kometeneinschläge und sonstige Katastrophen haben zwar teilweise zu deutlichen Erhöhungen der CO₂ Konzentration geführt, dennoch sorgten im Laufe der Erdgeschichte die biochemischen Prozesse der Erde dafür, dass die Temperaturen der Erde nicht in ein Extrem abdrifteten, sondern zwischen sehr warmen Phasen von bis zu 50°C und sehr kalten Phasen, in denen die Erde weitgehend vereist war, variierten.

Besonders interessant sind dabei Ereignisse in der Erdgeschichte, die zu einem starken Abkühlen der Atmosphäre geführt haben. Veränderungen in den Kohlestoffspeichern spielen dabei eine wesentliche Rolle.

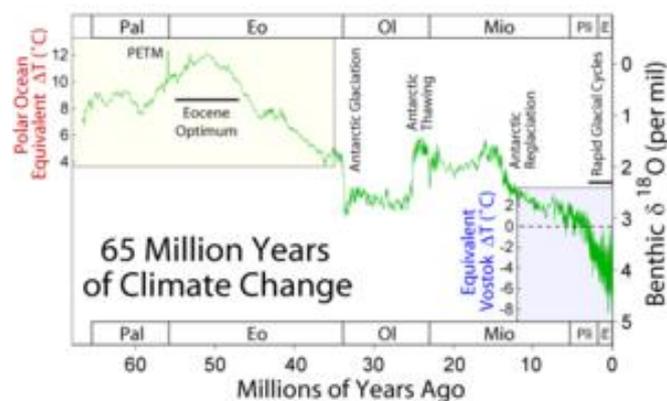


Abbildung 1: Verlauf von Delta O-18 über die vergangenen 65 Millionen Jahre. Das Azolla-Ereignis markiert das Ende des Eozänen Optimums und den Beginn eines langsamen Temperaturrückgangs.

anonym (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:65_Myr_Climate_Change.png), „65 Myr Climate Change“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

So führten die Blühereignisse der Azolla (1) vor etwa 33Mio Jahren, in Kombination mit einer Sedimentbildung und deren Versteinerung, zu einem deutlichen Absinken der Temperaturen. Technisch betrachtet benötigen wir einen beständigen Kohlenstoffspeicher und eine ausreichend große Kohlenstoffpumpe um das Klima wieder abzukühlen.

Dies legt die Vermutung nahe der Klimawandel wäre eine Folge des Fossilen CO₂ Ausstoßes.

Was mich jedoch als Regelungstechniker skeptisch macht ist; Warum ein solch robustes System, welches über Milliarden von Jahren trotz großer Katastrophen stabil läuft, heute wegen 4% menschenverursachten CO₂ Ausstoß instabil wird und die CO₂ Konzentration auf 0,04Vol.-% ansteigen lässt.

Zumal 95% aller Pflanzen CO₂ nach dem C₃ Verfahren binden und somit eigentlich mit steigender CO₂ - Konzentration mehr CO₂ binden, sollte das System auch bei einem 4% mehr Ausstoß eigentlich stabil sein. In Gewächshäusern funktioniert dies wunderbar.

Aktuell binden die C₄-Pflanzen, obwohl sie nur 5% der Vegetation ausmachen 26% des durch Pflanzen gebundenen CO₂. Ihre Leistung liegt bereits bei 0,02Vol.-% nahe ihrer maximalen Leistung. Daher werden wir kaum oder nur kurzfristig niedrigere Werte als 0,025Vol.-% sehen, da die Leistung der Pflanzen darunter massiv einbricht. Wir waren somit vor der Industrialisierung eigentlich schon am technisch niedrigsten Punkt an dem sich das System Erde einpegeln kann. Eigentlich auch geschickt von der Natur, denn mit steigender Sauerstoff-Konzentration in der Atmosphäre steigt auch die Brandgefahr bzw. die Heftigkeit der Brände.

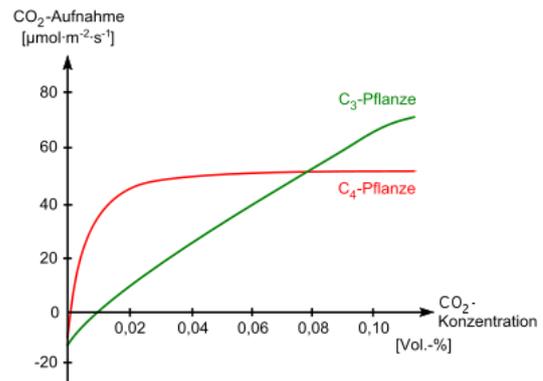


Abbildung 2: CO₂ Aufnahme von C₃&C₄ Pflanzen [Yikrazuul]

Doch dieser CO₂ Düngereffekt, so berichten Forscher um Yongguang Zhang von der Nanjing University (China) (2), habe seit den 1980er Jahren um etwa 40% nachgelassen. Der Grund sei, dass die Pflanzen nicht nur CO₂ zum Wachsen benötigen, sondern auch Wasser und Nährstoffe wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Etwa zwei Fünftel der weltweiten Landoberfläche sind Trockengebiete, in weiteren Regionen wie tropischen Regenwäldern mangelt es an Nährstoffen.

Ein 40%er Abfall des CO₂ Düngereffektes bedeutet fast eine Halbierung der Steigung der grünen Geraden in Abbildung 2. Die C₃-Pflanzen binden demnach bei 400ppm CO₂ Konzentration nur noch 24 statt 26µmol CO₂ pro m² und sec binden.

Die Pflanzen arbeiten somit nur noch mit ca. 92% ihrer Leistung bezogen auf 1984.

Welche Bedeutung dies auf die CO₂-Konzentration unserer Atmosphäre hat wird klar, wenn man sich Atmosphäre und Pflanzen als geschlossenen Regelkreis vorstellt.

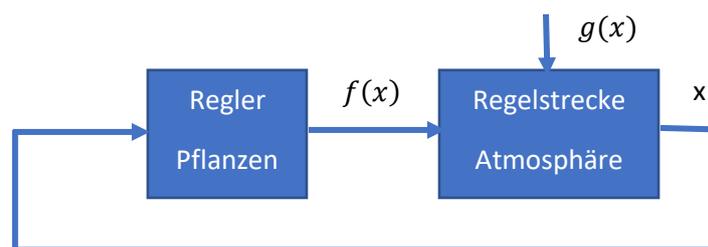


Abbildung 3: Regelkreis CO₂

Die CO₂ Aufnahme von C₃&C₄ Pflanzen lässt sich über der CO₂-Konzentration, hier x, wie folgt näherungsweise beschreiben durch:

$$f_{C3}(x) = 800x - 10$$

$$f_{C4}(x) = 45 \arctan^{0,8} \left(\frac{x}{0,005} \right) - 10$$

Damit ergibt sich für, die auf 1m² und gemäß ihrer Häufigkeit normiert, Steuergröße f(x) näherungsweise:

$$f(x) = 0,95 * (800x - 10) + 0,05 * (45 \arctan \left(\frac{x}{0,005} \right)^{0,8} - 10)$$

Gäbe es keine zusätzlichen CO₂ Quellen, wie Lebewesen oder Brände, wäre die Störgröße $g(x)=0$. In diesem Fall würde sich eine CO₂-Konzentration von etwa 100ppm einstellen. Die Kurve schneidet die x-Achse bei 0,01. Steigt die CO₂-Konzentration steigt auch die CO₂-Aufnahme der Pflanzen und umgekehrt. Da die vorindustrielle CO₂-Konzentration bei 250ppm lag, kann die natürliche Störgröße $g(x)$ mit -12 angenommen werden. (minus da $f(x)$ die Aufnahme beschreibt)

Um allerdings einen Anstieg von 250ppm auf 400ppm zu erreichen müsste die natürliche Störgröße $g(x)$ von -12 fast verdoppelt (-23) werden. Ein 4% Mehrausstoß (-12,5 statt -12) hätte demnach kaum einen Einfluss auf den Schnittpunkt der x-Achse.

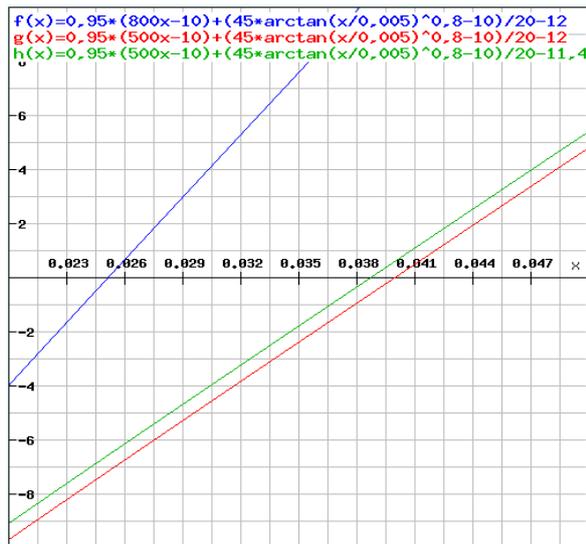


Abbildung 4: Einfluss 40% geringerer Düngereffekt
[\[https://rechneronline.de/funktionsgraphen/\]](https://rechneronline.de/funktionsgraphen/)

Verringert sich jedoch der CO₂ Düngereffekt um 40%, so flacht sich die Kurve der CO₂ Aufnahme der C₃-Pflanzen ab

$$f_{C_3}(x) = 500x - 10 \text{ (rote Kurve)}$$

statt zuvor

$$f_{C_3}(x) = 800x - 10 \text{ (blaue Kurve)}$$

So verschiebt sich der Arbeitspunkt des Systems von $x = 0,025$ auf $0,04$. (250ppm auf 400ppm)

Eine Rücknahme der Störgröße (siehe grüne Kurve mit -11,4 statt -12 = 5% Reduzierung >100% Einsparung) hätte hier kaum einen Einfluss auf den Schnittpunkt der x-Achse. Und damit wird klar, dass hier eine wesentliche Störung des Arbeitspunktes im Regler vorliegt und nicht eine weitere Störung in

der Regelstrecke. Die Wirkung ist zwar am Ende die Gleiche, ein Anstieg der CO₂ Konzentration, doch die notwendigen Maßnahmen sind komplett andere. Wäre es eine zusätzliche Störung $g(x)$ so würde sich die CO₂ Konzentration bei Zurücknahme der angenommenen Störung relativ schnell normalisieren. Doch selbst im Corona Lockdown hat sich die CO₂ Konzentration nicht groß geändert.

Und sinkt die Leistung der Pflanzen lediglich um weitere 2%, so müssen wir 100% unseres CO₂ Ausstoßes statt 50% einsparen.

Letztendlich hat mich die Studien von FAO (4), wonach die Böden 25-75% ihres ursprünglichen Kohlenstoffgehaltes SOC (soil organic carbon) verloren hätten, bewogen nach einer bisher unbeachteten Ursache für den Klimawandel zu suchen. Denn laut Thünen Institut (5) ist aktuell mehr als doppelt so viel Kohlenstoff im Boden gespeichert wie in der Atmosphäre.

Ein 16% SOC-Verlust kann den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 250ppm auf 400ppm vollständig alleine erklären.

Um der wirklichen Ursache auf den Grund zu gehen, könnte man hingehen und, wie viele Wissenschaftler, versuchen ein derartiges System zu simulieren. Dies ist jedoch extrem zeitaufwendig und stellt die Gefahr, dass man sich in Details verzettelt oder wichtige Punkte übersieht. Um dies zu vermeiden hat Shainin das RedX Verfahren entwickelt. Es beruht auf der Erkenntnis, dass alle technischen Prozesse auf ungefähr 50 Grundprinzipien basieren. Diese bewertet man nach ihrer Einfluss-Wahrscheinlichkeit. Dabei stellte sich heraus, dass maximal 1-3 Ursachen das Hauptproblem darstellen. Toyota hat dieses vor mehr als 30 Jahren erkannt und in seine QM Prozesse verankert und wurde dadurch eines der erfolgreichsten Unternehmen.

Das Problem und Nicht-Problem

Unser eigentliches Problem ist der Temperaturanstieg in der Atmosphäre, Meeren und Böden. Experten sehen hier einen Zusammenhang zwischen diesem und dem Anstieg der CO₂-Konzentration. Diesen Zusammenhang zu überprüfen ist nicht Teil meiner Untersuchung, sondern ich möchte hier klären, was wir seit der Industrialisierung geändert haben, so dass die CO₂-Konzentration der Atmosphäre von 250ppm auf 400ppm gestiegen ist. Der vom Menschen verursachte CO₂ Ausstoß beträgt etwa 4% des gesamten CO₂ Ausstoßes, wovon die Natur etwa nur die Hälfte kompensiert.

Wann trat das Problem auf

- Mit Beginn der Industrialisierung

Wann trat das Problem nicht auf

- 10000 Jahre lang bis zur Industrialisierung
- Bis auf einige Schwankungen auch vor 10000Jahre

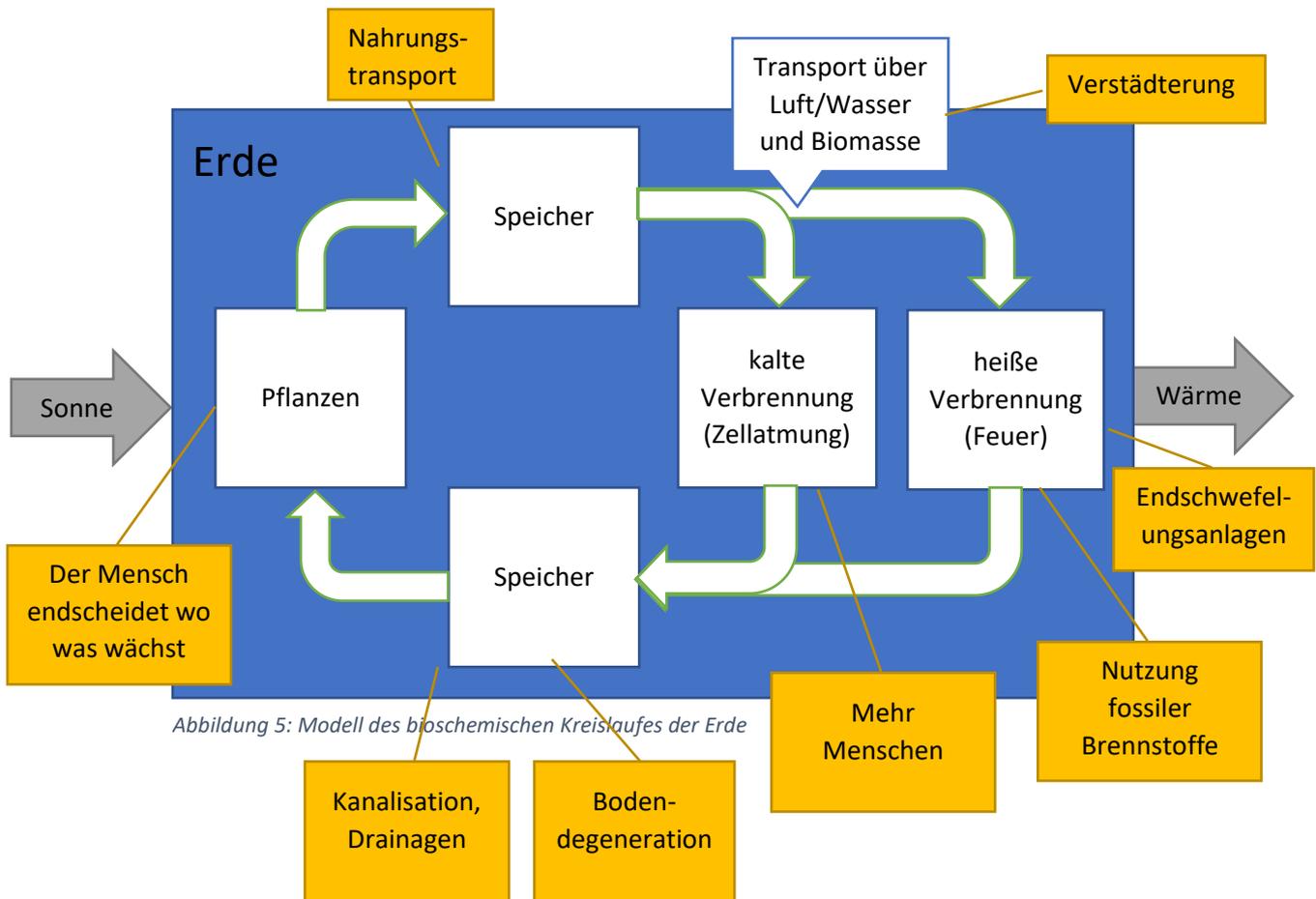
Wo tritt das Problem auf

- Durchschnittlich betrachtet überall
- Doch vor allem in und um Ballungszentren.
- In geschlossenen Räumen kann die Konzentration bis zum Zehnfachen des Durchschnittswerts der mittleren Konzentration in freier Natur ansteigen

Wo tritt das Problem nicht auf

- In Wäldern ist die CO₂ Konzentration im Vergleich zum Umland deutlich niedriger

Um zu klären wo wir auf den Kohlenstoffkreislauf Einfluss nehmen, habe ich ein einfaches Modell (Abbildung 5) dessen erstellt. Vereinfacht binden die Pflanzen den Kohlenstoff mit Hilfe der Sonnenenergie in Biomasse. Ein Teil davon wird z.B. in fossile Speicher eingelagert. Den andern Teil nutzen wir direkt. Durch deren Nutzung entstehen wieder Nährstoffe für die Pflanzen. Luft und Wasser spielen dabei als Transportmittel für einen Teil der Nähr- und Abfallstoffe eine wichtige Rolle.



Die möglichen Verursacher

Nach längerem Überlegen und Vergleichen bin ich zu folgenden Punkten gekommen, was wir seit dem Beginn der Industrialisierung verändert haben.

- **Pflanzen:** Heute entscheidet der Mensch in großen Teilen wo was wächst.
- **Nahrungsmitteltransport:** Die Speicher (Luft, Böden, Gewässer, Nahrung, Holz, ...) für die Pflanzenprodukte (O_2 , Biomasse, ...) haben sich nicht geändert. Jedoch kann die Globalisierung, durch Lebensmittelimporte, zu einer Nährstoffumverteilung führen, welche durch natürliche Prozesse nur sehr langsam ausgeglichen werden kann.
- **Verstädterung:** Durch die räumliche Trennung von Natur und Mensch, verlängern sich die Transportwege für O_2 und CO_2 .
- **Nutzung fossiler Brennstoffe** (Auto/Heizung/Industrie) steigert den CO_2 -Ausstoss.
- **Bevölkerungswachstum** bedeutet auch mehr Zellatmung und steigert den CO_2 -Ausstoss.
- **Entschwefelung von Abgasen:** In der Landwirtschaft steigt der Bedarf an Schwefeldünger. Ein Mangel an einem einzelnen Nährstoff behindert das Pflanzenwachstum insgesamt und somit die CO_2 -Bindung. Auch die Aerosolbildung wird damit reduziert wodurch sich kühlende Wolken später bilden.
- **Bodendegeneration:** Die Böden sind die wichtigsten Nährstoffspeicher der Pflanzen. Die Qualität des Bodens ist maßgeblich entscheidet für das Pflanzenwachstum und damit auch für die CO_2 -Bindung.

Was hat eine geringe Einfluss-Wahrscheinlichkeit?

Das Bevölkerungswachstum und die Nutzung fossiler Brennstoffe fallen für mich als Hauptverantwortlicher aus. Um den Anstieg von 250ppm auf 400ppm damit erklären zu können, müssten wir 20-mal mehr als heute Ausstoßen bzw. 20-mal mehr Menschen sein.

Welchen Einfluss der Mensch auf die CO₂-Konzentration nimmt, dadurch das er der Natur die Entscheidung abnimmt wo was wächst ist schwer zu sagen. Jedenfalls kann ein falscher Standort oder Boden für eine Pflanze verheerend sein, weshalb ich diesen Punkt nicht ganz ausschließen kann. Doch in der Regel ist der Mensch eher bestrebt einen optimalen Platz zu finden. Abgesehen von Urwäldern, die oft mittels Brandrodung, Äckern platzmachen müssen.

Durch die zunehmende Verstädterung entsteht eine Trennung von Natur und Menschen, was längere Transportwege für Nährstoffe, die per Luft oder Wasser transportiert werden, zur Folge hat. In der Regelungstechnik spricht man von Verzögerungsgliedern, welche bekanntlich leicht zu instabilen Systemen führen. Die Folge wären hier ungleichmäßige Verteilungen der CO₂-Konzentration mit starken Schwankungen. Während in der Stadt sich das CO₂ sammelt warten die Pflanzen am Stadtrand auf den nächsten Windstoß der ihnen dieses liefert. In der Zwischenzeit können sie halt nicht mit voller Leistung arbeiten. Daher kann dieser Punkt schon einen Einfluss haben.

Was hat die höchste Einfluss-Wahrscheinlichkeit?

Da bereits ein 16% SOC-Verlust den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 250ppm auf 400ppm vollständig alleine erklären kann, ist dies sicherlich ein Hauptkandidat. Experten von IPCC schätzen den SOC Verlust bzw. Bodendegeneration sogar auf 25-75% ein. Mit einem so löchrigen Kohlenstoffspeicher hätte es das Azolla Ereignis nie gegeben.

Hinzu kommt, dass die Leistungsfähigkeit der Pflanzen maßgeblich von der Bodengesundheit und -fruchtbarkeit abhängt. Hier spielt der SOC eine maßgebliche Rolle nicht um sonst ist bzw. war torfhaltige Pflanz- und Blumenerde sehr beliebt. So nimmt unter anderem die Wasserspeicherkapazität mit steigendem Kohlenstoffanteil im Boden zu. Dies verbessert den Pflanzen den Zugang zu Wasser und steigert sowohl das Nahrungsmittelproduktionspotential als auch die Widerstandsfähigkeit gegen Dürren. (4)(5)

Technisch betrachtet existiert also eine Rückkopplung zwischen Speicher (Humus) und Pumpe (Pflanzenwelt). Leider nimmt die Leistung der Pumpe mit zunehmendem Abbau des Speichers ab. Schlimmer noch der Humus als Kohlenstoffspeicher baut sich 20mal schneller ab als auf. So liegt die Kohlenstoffeffizienz (6) bei der natürlichen Erzeugung von Humus durch Kompostierung lediglich bei 5 bis 10 %. (7) Der Rest entweicht in die Atmosphäre, da Bakterien und andere Organismen für die Zersetzung von Biomasse zu Humus ebenfalls Energie benötigen. Wie lange und wie viel ein Boden an Kohlenstoff speichern kann hängt wesentlich von der Bodenfeuchtigkeit (Grundwasserspiegel) und der Temperatur ab. (4) Doch welchen Einfluss die Änderungen des Grundwasserspiegels durch Drainagen auf den Humusgehalt hat, wurde bisher nicht untersucht. Ich befürchte jedoch, dass dieser Einfluss stark unterschätzt wurde. Zum einen haben geringe Änderungen des Grundwasserspiegels selbst in 7m tiefe einen Einfluss auf das lokale Klima (Temperatur) (8) und zum anderen führen selbst geringe Absenkungen des Grundwasserspiegels zu großen Kohlenstoffverlusten im Boden (9).

Laut einer Studie (10) könnte ein Viertel des globalen Meeresspiegelanstiegs auf ein von uns verursachte Grundwasserabsenkung zurückzuführen sein. Dränagen erhöhen die Grundwasserabflussgeschwindigkeit womit Wasser schneller in den Ozeanen fließt. Womit der Meeresspiegel steigt.

Die Absenkung des Grundwasserspiegels und die damit verbundene Degeneration des Mutterbodens kann gleich zwei Effekte des Klimawandels erklären.

So ist Wasser aufgrund seiner großen Wärmespeicherfähigkeit ein Klima-Moderator, welcher extreme Temperaturschwankungen verhindert. Extreme Temperaturschwankungen von mehr als 50° entstehen in Wüsten nur deshalb da hier Grundwasser und Wolken fehlen.

Fehlt Wasser so können die Pflanzen nicht mehr mit ihrer vollen Leistung arbeiten. Laut Yongguang Zhang (2) ist dies mit ein Hauptgrund dafür, dass der CO₂ Düngereffekt um etwa 40% nachgelassen hat. C₃-Pflanzen reagieren nämlich vor allem auf Wassermangel sehr sensibel.

Ein weiterer Grund, laut Yongguang Zhang (2), sei dafür Mangel an Nährstoffen

So mangelt es in weiteren Regionen wie tropischen Regenwäldern an Nährstoffen, wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Deutschland importierte 2015 Ernährungsgüter, welche in den Herkunftsländern eine Fläche von 12,5 Millionen Hektar belegten. Dies macht etwa 64 % der insgesamt benötigten Flächen für den Inlandsverbrauch von Ernährungsgütern aus.



Abbildung 6: Internationaler Nahrungsmitteltransport

Doch die Erzeugung von Lebensmittel entzieht den Böden Nährstoffe. Z.B. Eiweiß besteht zu 16% aus Stickstoff. 2020 importierte Deutschland etwa 6,4MT Sonja (11). Dies entspricht etwa 0,4 Millionen Tonnen Stickstoff oder etwa 1,3MT NO₂, welcher über

Importe nach Deutschland gelangt. Diese Nährstoffe fehlen dann in den Ursprungsländern, da diese über die natürlichen Transportwege nur sehr langsam bis gar nicht wieder zurückgelangen. Somit „stapelt“ sich der Stickstoff bei uns und belastet die Böden, während er in anderen Regionen sogar fehlt. Die Folge sind unfruchtbare Ackerböden, was zu einem Abwandern der Bauern und im Extremfall zur Brandrohung weiterer Urwaldflächen führen kann.

Der zweite wahrscheinlichste Verursacher ist der internationale Nahrungsmitteltransport.

In der vorindustriellen Zeit wurde alles lokal angebaut. Die Pflanzen produzierten Lebensmittel aus Nährstoffen her und Tiere und Menschen zersetzen diese wieder Vorort zu Nährstoffen. Der Wasser und Luftkreislauf glichen lokale Nährstoff Verschiebungen aus.

Mittlerweile exportiert Brasilien ca. 80Mio Tonnen Soja (12), dass solch große Nährstoffverschiebungen an Stickstoff, ... nicht mehr durch die Natur selbst ausgleichbar leuchtet leicht ein. So kommt eine NASA Studie (13) überraschend zu der Erkenntnis, dass die Erde immer grüner wird. Doch nicht in allen Gebieten. Vor allem Gebiete die Soja exportieren, machen diesen Zugewinn durch eine nicht nachhaltige Landwirtschaft wieder mehr als wett. Diese Länder exportieren im Prinzip ihre lokal wichtigen Nährstoffe.

Somit erklärt der internationale Nahrungsmitteltransport wieso es zu Wachstumsunterschiede kommt und warum der CO₂ Düngereffekt nachgelassen hat.

Bleibt als letzter Punkt die Entschwefelung von Abgasen. Neben den negativen Effekten wie den „Sauren Regen“ haben SO₂-Emissionen auch eine positive Seite. So sorgten bis in die achtziger Jahre SO₂-Emissionen industrieller Herkunft praktisch automatisch für eine Zufuhr an Schwefel und sicherten eine ausreichende Schwefelernährung der Kulturpflanzen. (14)**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Doch mittlerweile wirkt der verminderte Schwefeleintrag auf vielen Standorten ertragsbegrenzend. Und damit wird klar

Entschwefelung ist ein Milliardengeschäft für die Düngemittelindustrie. (16)

Er wird als Ertrags-Multiplikator (15) gepriesen, denn (14)

- Er verbessert die Stickstoffeffizienz. Je 1kg Schwefelmangel werden 10 bis 15 kg Stickstoff Aufnahme blockiert.
- Ist unerlässlich für die Synthese schwefelhaltiger Aminosäure und den Einfluss auf die gesamte Proteinsynthese.
- Aktiviert wichtige Enzyme im Energie- und Fettsäurestoffwechsel.
- Ist Bestandteil des Chloroplastenproteins. (Chloroplasten binden CO₂)
- Ist für die Bildung schwefelhaltiger sekundärer Pflanzenstoffe wichtig (z.B. Lauch- und Senföle – beeinflussen Geschmack und Geruch verschiedener Kulturpflanzen).
- Ist Bestandteil des Vitamin B1 (Getreidekörner, Leguminosen).
- Wichtig für die Produktion pflanzeigener Abwehrstoffe (Phytoalexine, Glutathion).

Ein Schwefelmangel wirkt sich somit direkt auf die Leistung der Pflanzen aus und mindert den CO₂ Düngeeffekt deutlich. Zu viel Schwefel ist natürlich ebenfalls schädlich. Die Dosis macht hier das Gift. Es schädigt die Pflanze auf der einen Seite. Schützt sie auf der anderen Seite (17) durch die Bildung von Senf-Ölen und Bitterstoffen. Diese Senföle und Bitterstoffe benötigt die Pflanze zur Abwehr von Fressfeinden. Fehlen diese benötigt der Landwirt mehr Pestizide.

Ebenso wirkt sich ein Schwefelmangel negativ auf die Blütenfarbe und deren Duft aus. Für Bienen sind solche Felder uninteressant und werden nicht angefliegen. Ihr Nahrungsangebot sinkt somit; was die Bienen-Population negativ beeinflusst (18). Zusätzlich wirkt Schwefel als Fungizid und Pestizid, welches aber für Bienen ungefährlich ist. Im Gegensatz zum Kalken von Wäldern, was den Waldbienen zu schaffen macht.

Auch für den Menschen wirken sich senföhlhaltige Lebensmittel positiv auf die Gesundheit aus. Sie helfen dem Körper bei leichten Infekten (19) sowie bei der Krebsvorsorge (20). Doch unsere Lebensmittel enthalten immer weniger dieser Senföle.

Der Nobelpreisträger Paul Crutzen glaubt sogar, Schwefeldioxid könne die Erderwärmung stoppen. (21) Nach dem Ausbruch des Pinatubo 1991 sank im folgenden Jahr die mittlere Erdtemperatur um ein halbes Grad. Denn Schwefeldioxid wandelt sich in der Atmosphäre in Sulfat-Partikel um, und diese wiederum werfen einen Teil der Sonnenstrahlung zurück ins All.

Auch als Kondensationskeime spielen Schwefeldioxid-Abgase eine wesentliche Rolle bei der Wolkenbildung (22). Fehlen sie, bilden sich kühlende Wolken in unteren Sichten (23) aus Wasserdampf erst später. Da Wasserdampf als natürliches Treibhausgas zählt und den größten Teil des Treibhauseffektes ausmacht (24), haben Schwefeldioxid-Abgase als Kondensationskeime für das Klima eine große Relevanz. Denn die Atmosphäre nimmt nicht nur in Abhängigkeit von ihrer Temperatur eine bestimmte Menge an Wasserdampf auf, sondern auch in Abhängigkeit von Kondensationskeimen. Fehlen sie, kann die Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen. Dadurch heißt sich die Atmosphäre weiter auf, wodurch sie noch mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Die Folge sind instabile Wetterlagen und extrem Regen.

Somit erklärt der Rückgang der Schwefeldioxid-Emission gleich drei Dinge:

- Den Rückgang des CO₂ Düngeeffektes
- Die Erwärmung der Atmosphäre
- Extremregen

Nur als Hinweis: Neben den Eintrag durch Sauren Regen gibt es weitere Gründe warum Böden versauern.

So verursacht das Wachstum der Bäume selbst eine Bodenversauerung. Denn Pflanzen geben über ihre Wurzeln Protonen ab, um im Gegenzug Mineralstoffe aufnehmen zu können. Dadurch wird der Boden saurer – je größer die Konzentration von Protonen, desto geringer der pH-Wert. Verrottet das Holz vorort gleicht sich dies wieder aus. Doch bei intensiver Nutzung der Wälder als Plantagen verursachen wir, durch den Abtransport des Holzes, einen Basenentzug, womit der Boden versauert. So haben die Menschen aus Mangel in den Nachkriegsjahren die Wälder geplündert. Weshalb riesige Aufforstungsprogramme (50pf Stück Deutsche Eiche) benötigt wurden. Dabei setzte man vorwiegend auf schnellwachsende Baumarten, die man in großen Plantagen anbaute. Und damit der Wald auch schön ordentlich aussah, entfernte man das Unterholz regelmäßig. Und dann starb der Wald 1980.

Ein Umdenken in der Waldwirtschaft ist halt auch teuer. Oder warum gelten Pelletöfen als umweltfreundlich obwohl sie große Mengen an Wald fressen?

Was würde denn das Klima wirklich retten?

Ohne die Rettung der Böden sehe ich keine Change, denn die Veränderung des CO₂ Düngeeffekt hat den größten Einfluss auf die CO₂ Konzentration der Atmosphäre. Hier würde ich neben einem Anheben des Grundwasserspiegels den Einsatz von Biokohle empfehlen. Erste Untersuchungen von Jeffrey (25) zeigen, dass der Einsatz von Biokohle einen statistisch signifikanten Vorteil für die Pflanzenproduktivität mit einem durchschnittlichen Anstieg von 10% aufweist. Die größten positiven Auswirkungen in Bezug auf Bodenanalysen wurden in sauren (14%) sowie in Böden mit mittlerer Textur (13%) beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass zwei der Hauptmechanismen für die Ertragssteigerung ein Kalkungseffekt und eine verbesserte Wasserhaltekapazität des Bodens sein können.

Auch der Rücktransport von Nährstoffen in ihre Ursprungsländer wäre hierbei wichtig.

Da sich in Nadelwäldern, mit vorwiegend Kiefern, 23% weniger Grundwasser Neubildet als in Mischwäldern mit Eichen und Buchen.(26) Sollte unsere Forstwirtschaft dringend überdacht werden.

Wie und in welchem Umfang Schwefeldioxid-Abgase wieder zugelassen werden sollten, sollte ebenfalls dringend erforscht werden.

Und wie sieht es mit Windkraftanlagen aus?

Windkraftanlagen gelten derzeit als saubere alternative Energie Quelle. Regelungstechnisch stellen sie jedoch ein Totzeitglied dar. Totzeitglieder (27) oder auch Verzögerungsglieder verzögern eine Systemreaktion und sind deshalb die häufigste Ursache für instabile Systeme. Lehnt man sich gegen eine geschlossene Türe, die jemand anderes ohne Vorwarnung öffnet, hängt es davon ab, ob man hinfällt oder nicht, wie schnell man selbst auf ein Öffnen der Türe reagiert.

Für mich ist Wind und Wasser das Blut der Erde. Wie das Blut in uns transportiert der Wind und das Wasser sowohl Nährstoffe als auch Abfallstoffe. Umso mehr wir uns anstrengen, desto schneller schlägt unser Herz, damit die Muskeln ausreichend mit Nährstoffen versorgt und Abfallstoffe abtransportiert werden können. Würden wir jetzt in unseren Blutkreislauf eine Turbine (Windrad) einbauen, so verzögert die Turbine den Nährstofftransport, da das Herz diese Turbine zusätzlich mit antreiben muss. Um dennoch den erforderlichen Nährstoffaustausch zu erreichen, regelt bei uns das Herz nach und der Blutdruck steigt. Kommt das Herz nicht nach und der Nährstofftransport versiegt, weil die Blutbahn verstopft ist, kommt es zu einem Infarkt.

Wind-, Wasser- und Blutkreislauf ähneln sich strömungstechnisch und ihrer Aufgabe sehr, daher gehe ich davon aus, dass sich auch die Negativfolgen übertragen lassen.

Bezüglich der Windkraft gibt es noch wenige Studien, doch dies wird sich hoffentlich ändern. Denn das Schlimmste, was uns passieren kann ist, dass wir die alternativen Energien mit viel Geld entwickeln und die geforderte CO₂ Einsparung mit großen Entbehrungen erbracht haben, aber dennoch das Ziel Klima-Retten nicht erreichen. Als die ersten Wasserkraftwerke gebaut wurden, hätte auch niemand gedacht, welche Negativfolgen dies haben könnte. Heute protestieren sogar Umweltaktivisten gegen sie und fordern ihren Rückbau (28).

So verdeutlicht die Diskussion „Mehr Luft“ (29) um ein Neubaugebiet bei München wie wichtig Frischluftschneisen z.B. für das Abkühlen von Städten sind. Bedenkt man, dass Häuser nicht zum Wind ernten gebaut werden, und dennoch solche Negativfolgen haben können. Welche Folgen haben dann erst Windkraftanlagen?

Denn wenn man bedenkt, dass für eine Ernte von lediglich 107TWh (Windenergie von 2017) aus Wind ein Luftvolumen, das der Größe der Bundesrepublik (357.386km²) bis 2km Höhe entspricht, benötigt wird, welches 24-mal (2x pro Monat) durch Windkraftanlagen strömen muss und dabei 2/3 seiner Windgeschwindigkeit verliert; Und für die „Energiewende“ benötigen wir 10-20mal mehr Windenergie. Kann ich mir kaum vorstellen, dass dies keine Folgen hätte. Zumal der Schlag eines Schmetterlings in Afrika unser Wetter beeinflussen kann.

Angesichts dessen erachte ich es für dringend notwendig sich intensiv mit den Fragen zu beschäftigen, welchen Einfluss der Druckabfall (lässt Lungen von Fledermäusen platzen) und die Reduzierung bzw. Verteilung der Windgeschwindigkeit haben.

Führen Windkraftanlagen zu mehr Stürmen?

Wind ist eine Ausgleichsströmung zwischen einem Hoch- und einem Tiefdruckgebiet, welche durch die Sonne gespeist werden. Im Prinzip pumpt die Sonne unentwegt Luftmassen von einem erdnahen Tiefdruckgebiet über ein erdfernes Hoch- und Tiefdruckgebiet zu einem erdnahen Hochdruckgebiet.

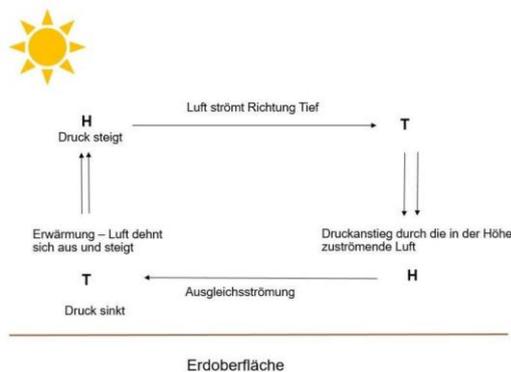


Abbildung 8: Entstehung von Wind [Quelle: DKKV]

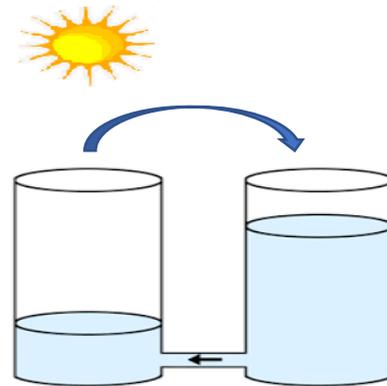


Abbildung 8: Ersatzbild stark vereinfacht

Gäbe es keinen erdnahen Ausgleichsstrom würde der Druck im erdnahen Tiefdruckgebiet immer weiter fallen, während er im erdnahen Hochdruckgebiet immer weiter steigen würde. Kann ein Ausgleichsstrom fließen, bauen sich diese Druckunterschiede wieder ab. Umso leichter ein Ausgleichsstrom zwischen den beiden Gefäßen (schwarzer Pfeil in Abbildung 8) fließen kann, umso geringer fällt deren Druckunterschied aus. Kann sich kein extremer Druckunterschied aufbauen, so können sich auch keine extremen Stürme bilden. Baut man aber einen Widerstand, wie ein Windkraftwerk, in die Verbindungsleitung der beiden Gefäße ein, so behindert man den Ausgleichsstrom. In der Regelungstechnik spricht man von Verzögerungsgliedern diese führen bekanntlich zu instabilen Systemen.

Hinzukommt der Einfluss der Grundwasserabsenkung auf die Wärmekapazität der Böden. Feuchte Böden haben eine doppelt so hohe Wärmekapazität wie trockene Böden. So haben wir seit der Industrialisierung und vor allem ab den 60er/70er Jahren den Grundwasserspiegel teilweise um 2m abgesenkt. Dadurch können sie Hoch und Tief stärker ausprägen, da der Moderator Wasser fehlt. Veranschaulicht würde dies einem schmalen Gefäß entsprechen. Siehe Abbildung 9. Wird die hier in das rechte Gefäß die gleiche Menge wie in Abbildung 8 gepumpt, würde der Pegel deutlich höher steigen.

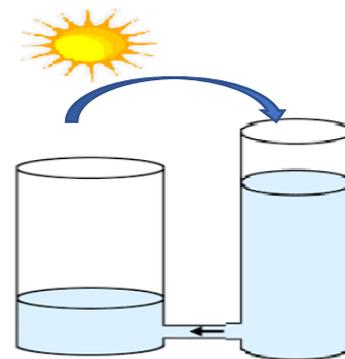


Abbildung 9: Einfluss Grundwasser

Zwar berichten Windkraftanlagenbetreiber, dass sich die Windgeschwindigkeit nach 10-50km wieder normalisiert. Doch richtige Daten dazu gibt es bis dato leider nicht, da die Metrologen sich vorwiegend mit Stürmen und nicht mit den leichten Briesen beschäftigen. Eine Aufzeichnung der Häufigkeiten von Windgeschwindigkeiten gibt es nicht. Ich gehe jedoch von einer Verschiebung zu höheren Windgeschwindigkeiten aus. Hoch und Tiefdruck können sich nur langsamer abbauen, weshalb sich extremere Wetterlagen bilden können. Diese überströmen dann die Windkraftanlagen wodurch sich die Windgeschwindigkeiten überhaupt hinter den Anlagen normalisieren können.

Reduzieren Windkraftanlagen den Nährstofftransport wie Regen?

Bei Wasserkraftwerken verursacht die Unterbrechung der Wasser- und Sedimentkreisläufe gravierende Folgen für die Wasserqualität und ein Schrumpfen der Flussdeltas. Könnte also auch die Unterbrechung der Luftkreisläufe gravierende Folgen für die Luftqualität haben?

Windkraftanlagen stellen zusätzliche Hindernisse dar, die entweder durchströmt oder überströmt werden.

Auf dem Meer gibt es wenige Hindernisse, so können sich leichter laminare Strömungen ausbilden. In ihnen können Nährstoffe wie Wasserdampf, aber auch NO₂, ... über lange Strecken leicht transportiert werden. So können sich auch Wirbelschleppen bis zu 100km ausbilden. Windkraftanlagen jedoch zerstören die laminare Strömung und erzeugen Turbulenzen. Hier stockt dann der Nährstofftransport. Die Nährstoffe „fliegen aus der Kurve“.



Abbildung 10: Wirbelschleppen an Windanlagen [Foto Steiness/Vattenfall]

Hinzu kommt die Kondensatbildung durch den Druckabfall an den Rotorblättern, ohne die die Windkraft gar nicht funktioniert. In unseren Breiten transportiert die Luft etwa 10-30g/m³. Fallen 1,2g durch einen Druckabfall aus, so regnet 10% der Gesamt-Deutschen-Niederschlagsmenge vorzeitig ab. Dies kann schon bei einem Druckabfall von weniger als einem 1% erfolgen. Hier treten jedoch Druckabfälle auf, die Fledermäusen die Lunge platzen lassen.

Aber auch das Überströmen leitet den Wasserdampf, wie Berglandschaften, in höhere Schichten wo er schneller kondensiert. Somit kommt in manchen Regionen weniger feuchte Luft an. Wodurch zum einen die Grundwasserspiegel weiter sinken aber auch das Pflanzenwachstum direkt gebremst (30) wird. Bei zu trockener Luft schließen die Pflanzen ihre Spaltöffnungen zu ihrem Schutz und stellen die CO₂ Bindung ein.

- (1) <https://de.wikipedia.org/wiki/Azolla-Ereignis>
- (2) <https://www.spektrum.de/news/duengung-mit-co2-funktioniert-immer-schlechter/1807079>
- (3) <https://rechneronline.de/funktionsgraphen/>
- (4) <http://www.fao.org/3/b-i7268e.pdf>
- (5) <https://www.thuenen.de/de/thema/boden/humus-fuer-bodenfruchtbarkeit-und-klimaschutz/>
- (6) <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoff-Effizienz>
- (7) https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrothermale_Karbonisierung
- (8) <https://www.uni-bonn.de/neues/grundwasser-als-klimamoderator>
- (9) <https://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/article121207204/Treibhausgase-Kieler-Forscher-messen-den-Atem-der-Boeden.html>
- (10) https://www.nzz.ch/das_grundwasser_schwindet_die_meere_steigen-1.8066330
- (11) <https://www.transgen.de/lebensmittel/599.sojabohnen-deutschland-anbau-importe.html>
- (12) <https://www.sojatoaster.com/hintergrundinfos/sojaanbau-globale-mengenverteilung-und-mengenstroeme/>
- (13) https://www.focus.de/wissen/klima/flaeche-in-amazonas-groesse-ueberraschende-nasa-studie-zum-klimawandel-die-welt-ist-gruener-als-vor-20-jahren_id_11401420.html
- (14) <https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/kali-akademie/naehrstoffe/schwefel/#in-der-pflanze>
- (15) <https://www.piasan-s25-6.de/#anwendung>
- (16) <https://www.factmr.com/media-release/1954/global-sulfur-fertilizer-market>
- (17) <https://www.iva.de/iva-magazin/forschung-technik/schwefelmangel-gesunde-luft-krankes-gemuese>
- (18) <https://www.n-tv.de/wissen/Fuer-Bienen-unattraktiv-article340573.html>
- (19) <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/chirurgische-klinik-zentrum/urologische-klinik/fuer-patienten/fuer-sie-gelesen/phytomedizin-traditionelles-wissen-modern-genutzt>
- (20) https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/MoIOnkoChir/6Herr_PassChir.pdf
- (21) <https://www.spiegel.de/spiegel/a-425979.html>
- (22) <https://www.pro-physik.de/nachrichten/wolkenbildung-durch-schwefelsaeure>
- (23) <http://nenes.eas.gatech.edu/Cloud/NASAClouds.pdf>
- (24) <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/ist-nicht-wasserdampf-statt-co2-das-wichtigste>
- (25) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911003197?via%3Dihub>
- (26) <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/203/article/23987.html>
- (27) [https://de.wikipedia.org/wiki/Totzeit_\(Regelungstechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Totzeit_(Regelungstechnik))
- (28) <https://wildrecreation.com/2019/05/10/warum-wasserkraftwerke-negative-umweltauswirkungen-haben/>
- (29) <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/streit-um-die-flaechenreserven-mehr-luft-1.4620768>
- (30) https://www.deutschlandfunk.de/klimawandel-und-vegetation-trockene-luft-bremst.676.de.html?dram:article_id=456356