



RegAgri4 Europe

Upgrading the Agricultural Sector
with Skills in Regenerative Agriculture



**Promoting
the global transition
to regenerative food, farming
and land management**

Vortrag 6

Nutzen der Regenerativen Landwirtschaft für Umwelt, Gesellschaft und menschliche Gesundheit

Lektion 2

Vegetation und Wasser zur Kühlung der Erde

Projekttitel: Aufwertung des Agrarsektors durch Qualifizierung
in regenerativer Landwirtschaft

Projekt-Akronym: RegAgri4Europe

Projektnummer: 2020-1-DE02-KA202-007660

Datum: Januar 2022



Lektion 2: Vegetation und Wasser zur Kühlung der Erde

Wasser zum Anpflanzen

Stellen Sie sich vor, wir könnten Wasser pflanzen. Und mit dem gepflanzten Wasser dafür sorgen, dass die Pflanzen besser wachsen, mit Wasser versorgt werden, dass die Sommertage kühler werden, es mehr regnet und der Klimawandel abgemildert werden könnte. Wäre das nicht eine verlockende Lösung für viele der Herausforderungen und Probleme, die wir in der Landwirtschaft - und im weiteren Sinne in unserer Gesellschaft - haben?!

Genau darum geht es in dieser Vorlesung, und es ist ein überraschend einfacher Schritt.

"Wasser pflanzen" - das können wir natürlich nicht so direkt, aber indirekt ist das durchaus machbar.

Betrachtet man die letzten Jahre, so waren die vorherrschenden Probleme in der Landwirtschaft die zunehmende Sommertrockenheit, die damit verbundenen erhöhten Lufttemperaturen und damit die Folge erhöhter Bodentemperaturen, die natürlich auch den Stress der Pflanzen und die Austrocknung der Böden verstärkten. Bedingungen, die wir normalerweise aus den Mittelmeerregionen kennen. Interessanterweise hängen all diese Themen mit einem Element zusammen: Wasser - oder besser gesagt: Wassermangel.

Wenn wir die Niederschlagsmuster aus einer globalen Perspektive betrachten, dann fallen 120.000 Kubikkilometer Niederschlag auf die Landflächen. Woher kommt dieses Wasser, dieser Niederschlag, der Regen, eigentlich?

Ursprünglich stammen etwa 70.000 Kubikkilometer, also rund 60 %, aus den Ozeanen und 50.000 Kubikkilometer, also 40 %, vom Land. Das ist wahrscheinlich für viele eine überraschende Erkenntnis, weil wir normalerweise denken, dass die Niederschläge in Mittel- oder Osteuropa ziemlich direkt aus dem Meer kommen.

In vielen Gebieten der Welt ist dies jedoch nicht der Fall. In innerdeutschen Regionen zum Beispiel, und dann zunehmend in den östlichen Ländern Europas, stammen etwa 50 % des Regens, der hier niedergeht, vom Land.

Wenn wir uns diese 50.000 Kubikkilometer, die vom Land stammen, noch einmal anschauen, wo dieses Wasser eigentlich herkommt, dann können wir feststellen, dass 60 bis 80 % davon aus der Vegetation stammen. Das heißt, 60 bis 80 % von dem, was letztlich als Wasserdampf in die Luft geht und dann als Niederschlag wieder auf das Land niedergeht, hat seinen Ursprung in der Vegetation. Der Rest, 20 bis 40 %, stammt von Wasserflächen oder zu einem geringen Teil von Mooren und Böden.



Was bedeutet es, wenn wir ein solches Bild sehen, das vielleicht etwas übertrieben erscheint, aber auch in Ostdeutschland und den osteuropäischen Ländern sowie in vielen anderen Regionen der Welt verbreitet ist?

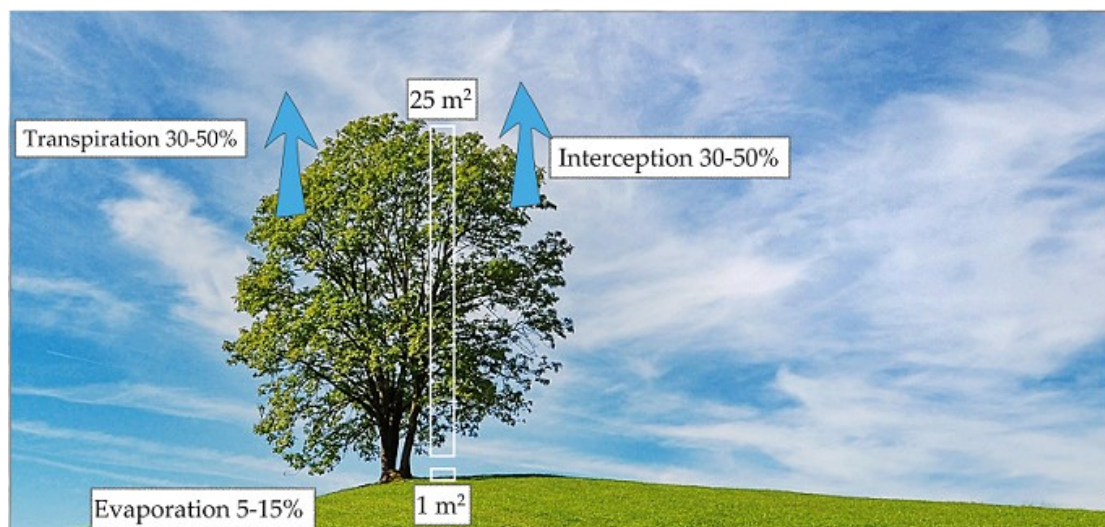
Wenn man bedenkt, dass ein Großteil der Niederschläge, die auf unser Land fallen, aus dem Boden und vor allem aus der Vegetation stammt, wird klar, dass unter diesen Bedingungen - große Flächen mit kahlen Böden - das Wasser für die Verdunstung über lange Zeiträume des Jahres nicht zur Verfügung steht.

Das heißt, der natürliche "kleine" Wasserkreislauf wird unterbrochen, wenn wir auf diese Weise arbeiten. Es geht nicht darum, mit dem Finger auf Landwirt:innen zu zeigen, die etwas falsch machen. Vielmehr geht es darum, die Perspektive zu wechseln und die Aufmerksamkeit auf ein Thema zu lenken, das bisher kaum behandelt wurde und das nach allem, was wir inzwischen erforschen konnten, viele Lösungen bietet. Das heißt, wenn wir aus den gewonnenen Erkenntnissen entsprechende Maßnahmen entwickeln, sprechen wir nicht nur von einer "win-win"-Lösung, sondern von einer "win-win-win-win-win"-Lösung, weil so viele unterschiedliche, äußerst positive Effekte mit einer veränderten Entwicklung erzielt werden können.

Ein großer Baum kann an einem warmen Sommertag 400 Liter Wasser verdunsten. Der Prozess der Transpiration erfordert eine beträchtliche Menge an Energie. Für 100 Liter Wasser, die ein solcher Baum transpiriert, werden 70 Kilowattstunden Energie benötigt; für die 400 Liter, die dieser Baum transpiriert, sind also 280 Kilowattstunden nötig, um flüssiges Wasser in Wasserdampf zu verwandeln. Das ist eine Zahl, die sich die meisten von uns nicht wirklich vorstellen können. Deshalb hier ein Vergleich: Diese 280 Kilowattstunden entsprechen acht Klimaanlage, die 24 Stunden lang laufen. Das ist im doppelten Sinne nicht nur die Energie, die in diesem Transpirationsprozess benötigt wird, sondern entspricht auch der Kühlleistung des Baumes oder der Klimaanlage.

Als ich anfang, mich mit diesem Thema zu beschäftigen, fragte meine Tochter, während wir draußen in einem Biergarten saßen, Folgendes: "Warum ist es unter einem Sonnenschirm im Biergarten wärmer als unter den Bäumen am anderen Ende des Platzes - während wir an beiden Orten im Schatten sitzen?" Und ja, genau das ist der Effekt: Der Sonnenschirm verhindert nur, dass die Sonnenstrahlen direkt auf uns treffen, aber er kühlt die Umgebungsluft nicht, sondern wirft nur etwas Schatten. Der Baum hingegen spendet nicht nur Schatten, sondern nutzt auch Energie aus der Umgebungsluft für den Transpirationsprozess und kühlt diese damit aktiv ab, weshalb es sich unter dem Baum ganz anders anfühlt als unter einem Sonnenschirm.

Ein anderes Bild, das uns diese Unterschiede deutlich machen kann, ist die Vorstellung, an einem heißen Sommertag bei 35° auf ein Getreidefeld, einen gepflügten Acker oder eine gemähte Wiese zu gehen: Da erlebe ich eher 45° oder mehr, wobei die Bodentemperaturen noch höher sein können. Wenn ich aber in den benachbarten Wald gehe, finde ich ganz andere Temperaturen vor, die viel niedriger sind, und eher im Bereich von 25° liegen. Das ist zum einen der Effekt des Schattenwurfs der Bäume, aber vor allem ist es das Ergebnis der Transpiration der Bäume, also der Wasserverdunstung. Und das ist die kühlende Wirkung, die die Vegetation grundsätzlich hat.



Quelle: Zimmermann, L., Raspe, S., Schulz, C., Grimmeisen, W., 2008. Wasserverbrauch von Wäldern

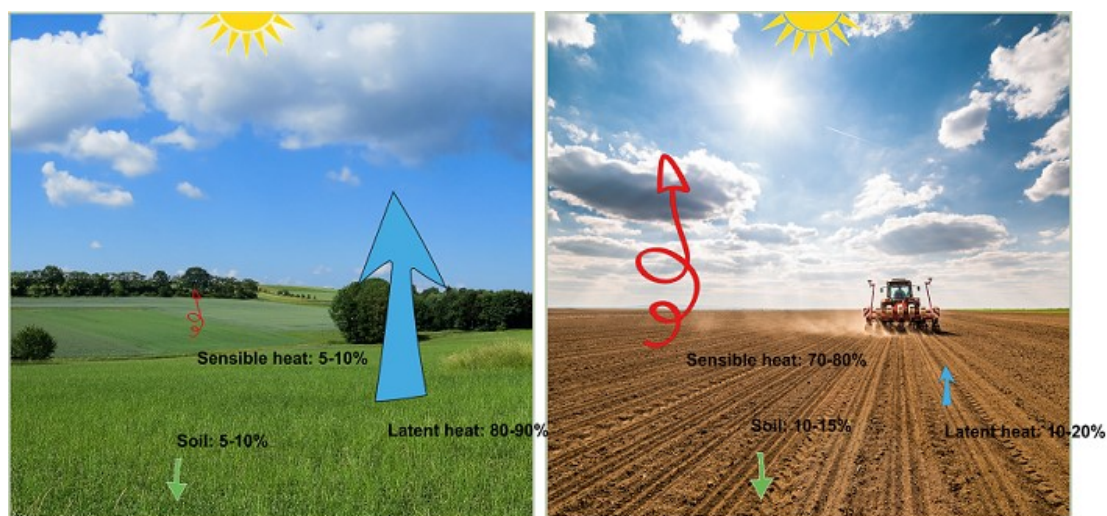
Evapotranspiration

Es ist wichtig zu wissen, dass es bei der Vegetation nicht nur um die Transpiration im Sinne des Schwitzens geht. Ein Baum ist ein wirklich dreidimensionales Objekt. Wenn ich einen Quadratmeter Grünfläche auf dem Boden unter dem Baum messe und dann durch den Baum nach oben ziehe, dann erreicht der Baum auf diesem Quadratmeter eine Blattoberfläche, die - abhängig von verschiedenen Faktoren - bis zu 25 Quadratmeter betragen kann. Oberhalb jedes Quadratmeters Bodenfläche befindet sich also das 25-fache der Blattoberfläche und bildet somit eine riesige Fläche, die zur Wasserverdunstung und damit wiederum zur Abkühlung der Lufttemperatur beitragen kann. 30 bis 50 % des

Wasserdampfes, der in die Luft gelangt, stammt - über das Pumpen von Wasser aus dem Boden in den Stamm und über die Äste in die Blätter - aus der aktiven Leistung der Bäume, die die Wasserabgabe über die Spaltöffnungen der Blätter regulieren.

Wenn es regnet, bleibt ein Teil des Niederschlags an den Blättern haften, der dann von dort "verdunsten" kann - im Gegensatz zum aktiven Schwitzen der Bäume, das als Transpiration bezeichnet wird - und einen wichtigen Teil des gesamten Evapotranspirationsprozesses ausmacht. Diese sogenannte "Interzeption" macht ebenso wie das "aktive Schwitzen" des Baumes 30-50% der Evapotranspirationsleistung eines Baumes aus.

Die Verdunstung durch den Boden trägt einen Anteil von 5-15 % bei.



Quelle: Pokorny, J., 2019. Evapotranspiration, in: Encyclopedia of Ecology. Elsevier, S. 292-303

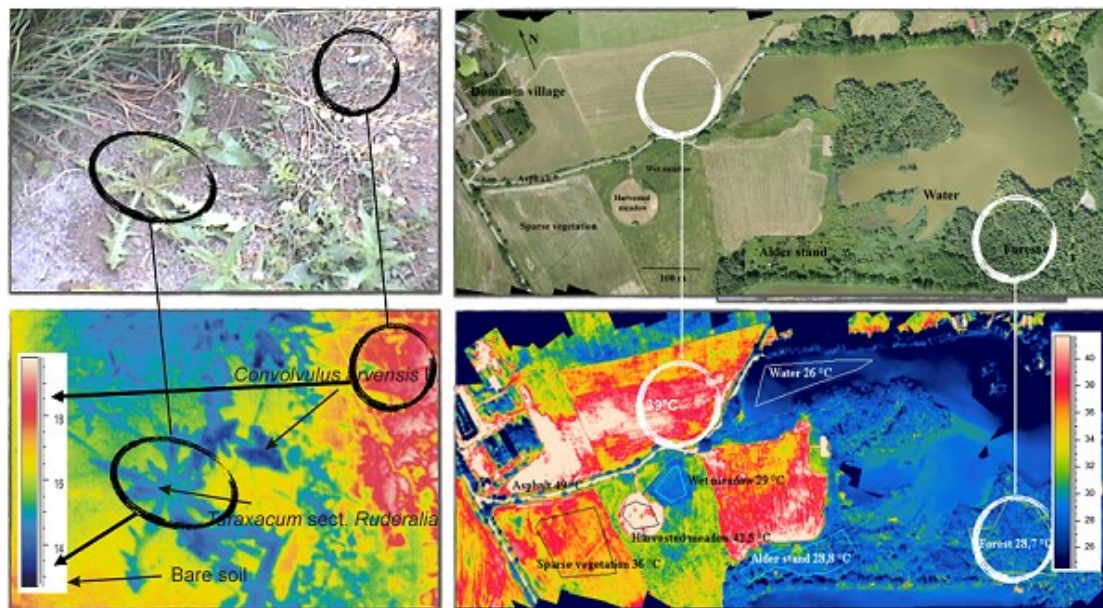
Energie-Dynamik

Wenn wir uns nun anschauen, wie das auf einer dicht bewachsenen Fläche wie einer Wiese oder einem Wald aussieht, dann sehen wir, dass der Boden etwa 5 bis 10 % der Energie der einfallenden Sonnenstrahlung absorbiert - die er später über die langwellige Wärmestrahlung wieder abgibt. Ein kleiner Teil von 5 bis 10 % geht in die so genannte "fühlbare Wärme" über - das ist das, was wir fühlen können, weil die Sonnenstrahlung die Luft um uns herum erwärmt. Der überwiegende Teil jedoch, nämlich stolze 80 bis 90%, wird auf einer bewachsenen Fläche in die so genannte "latente Wärme" umgewandelt. Das ist der Prozess, bei dem flüssiges Wasser in Wasserdampf umgewandelt und damit Energie aus Sonnenstrahlung und Umgebungsluft "verbraucht" wird - wir spüren also keinen Temperaturanstieg in der Luft. Dieser Wasserdampf - und die in ihm gespeicherte Energie - wird dann durch Wind und Auftrieb in höhere Luftschichten transportiert.

Wenn wir das nun mit dem vergleichen, was auf dem Feld passiert, dann sieht es hier natürlich ganz anders aus: Auf einem brachliegenden Feld erwärmen etwa 10 bis 15% der einfallenden Sonnenenergie den Boden; 70 bis 80% gehen in die fühlbare Wärme über. Dieser Effekt ist leicht zu verstehen, wenn man sich vorstellt, dass man bei sommerlichen

35°C aufs Feld geht - oder, in einem noch extremeren Beispiel, auf eine Betonfläche; dann ist es dort viel wärmer als eben diese 35°C. Und genau das ist der Effekt der fühlbaren Wärme, bei dem die Sonnenstrahlung in erhöhte und direkt spürbare Lufttemperaturen umgewandelt wird.

Nur ein kleiner Teil von 10 bis 20 %, je nachdem, wie viel Wasser z. B. im Boden vorhanden ist, das dann für den Verdunstungsprozess zur Verfügung steht, geht in die latente Wärme über - ein großer Unterschied zu den 80-90 % auf der begrünten Fläche. Und diese Veränderungen in der Verteilung von fühlbarer und latenter Wärme in diesen beiden Situationen haben entscheidende Konsequenzen.



Quelle: Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E., 2007. Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm; Pokorny, J., 2019. Evapotranspiration, in: Encyclopedia of Ecology. Elsevier, S. 292-303.

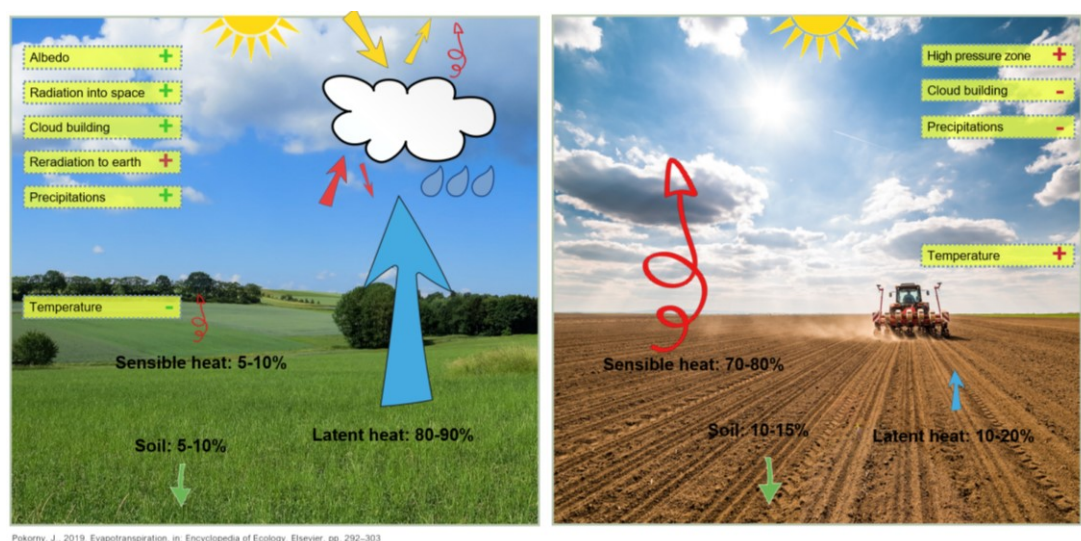
Wir können uns diese verschiedenen Situationen ansehen, um die Abläufe ein wenig zu verdeutlichen.

Links ist ein Bild mit kahlem Boden, einem Löwenzahn und etwas Gras zu sehen. Das obere Bild ist eine normale Aufnahme, das untere ist ein Infrarotbild. Wenn wir uns diesen kleinen Löwenzahn im oberen Bild ansehen, können wir parallel dazu im unteren Bild sehen, dass er eine Temperatur von etwa 13 Grad hat - was dem Blau entspricht. Wenn wir uns den nackten Boden ansehen, sehen wir Temperaturen - hier im roten Bereich - von 19 Grad. Das bedeutet, dass zwischen diesem kleinen Stück nackten Bodens und dem bewachsenen Boden ein Temperaturunterschied von 4, 5 oder sogar 6 Grad besteht. Dies ist ein kleines Beispiel dafür, wie diese Prozesse rund um die sensible und latente Wärme ablaufen.

Betrachten wir die Situation auf einer Landschaftsebene: Oben finden wir ein normales Foto mit einem kleinen Landschaftsausschnitt und im unteren Bereich, parallel dazu, ist das gleiche Gebiet noch einmal als Infrarotbild zu sehen. Wir nehmen diesen Wald, der hier

rechts am Wasser steht, heraus und messen eine Temperatur von 28,7 Grad. Wenn wir nun hier auf die frisch gemähte Wiese gehen, wird eine Temperatur von 39 Grad gemessen. Das entspricht einem Temperaturunterschied zum Wald von über 10 Grad.

Und wenn wir weiter nach links schauen, finden wir beim Asphalt noch höhere Temperaturen von 49 Grad! Das ist ein Temperaturunterschied von 20 Grad. Das bedeutet - um auf die fühlbare und latente Wärme zurückzukommen: Dort, wo es eine gewachsene Vegetation und genügend Feuchtigkeit gibt, finden wir deutlich niedrigere Lufttemperaturen bzw. sensible Wärme und eine hohe Menge an latenter Wärme; und dort, wo es offene Flächen und kahle Böden ohne Vegetation gibt, ist die sensible Wärme deutlich erhöht und die latente Wärme entsprechend reduziert.



Schauen wir uns noch einmal das Bild von vorhin an und sehen wir uns an, welche Folgen es hat, wenn auf diesen Oberflächen unterschiedliche Anteile an fühlbarer und latenter Wärme erzeugt werden.

Also zum einen: Überall dort, wo Wasser in Wasserdampf umgewandelt wird, wird für diesen Prozess Energie benötigt, was zur Folge hat, dass die Umgebungstemperatur sinkt, was - im Hinblick auf das Wirken natürlicher Prozesse auf unsere Umwelt und unser Klima - einem positiven Effekt entspricht. Natürlich können sich durch mehr Feuchtigkeit in der Luft potenziell mehr Wolken bilden. Bei der Kondensation - also der Umwandlung von Wasserdampf in Wasser - wird wiederum die gleiche Energiemenge freigesetzt, die am Boden für die Evapotranspiration benötigt wurde. Ein kleiner Teil davon kann nun in den Raum diffundieren, verschwinden. Das wiederum ist ein positiver Effekt, wenn wir das unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels sehen, denn wir müssen auch dafür sorgen, dass nicht nur die Temperatur im unteren Teil der Atmosphäre sinkt, sondern dass die Energie in der gesamten Atmosphäre tatsächlich reduziert wird.

Mehr Wolken führen im nächsten Schritt zu mehr Reflexion - das heißt, wenn die Sonnenstrahlen in die Atmosphäre eindringen und dort auf Wolken treffen, die sehr hell

sind, dann wird ein Teil davon reflektiert und entsprechend weniger dringt in die tieferen Schichten der Atmosphäre ein, was zu einer geringeren Wärmeproduktion führt - im Hinblick auf den Klimawandel ein positiver Effekt.

Die Erde strahlt langwellige Wärmestrahlung in den Weltraum zurück; bei mehr Wolken führt dies zu einer verstärkten Reflexion dieser Wärmestrahlung - ein kleiner Teil wird zur Erde zurückgeworfen, was im Hinblick auf den Klimawandel ein "negativer" Effekt ist.

Der nächste, sehr wichtige Aspekt ist: Mehr Wolken führen zu mehr Niederschlag. Der kleine Wasserkreislauf - die kleinräumige, eher vertikale Bewegung von Wasser zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre, im Gegensatz zum großen, eher horizontalen Wasserkreislauf, der den Transport zwischen Ozean und Land bestimmt - kann durch diese Prozesse aktiviert und verstärkt werden. Mehr Verdunstung am Boden führt zu mehr Wolken und diese wiederum zu mehr Niederschlag.

Alles in allem bedeutet dies, dass die Prozesse, die unter diesen mit Vegetation bedeckten Flächen ablaufen, nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Verringerung der globalen Erwärmung positiv sind, sondern auch für die Landwirtschaft.

Auf der anderen Seite - wenn wir das Bild rechts betrachten - führt der starke Anstieg der fühlbaren Wärme zu erhöhten Bodentemperaturen und erhöhten Temperaturen der bodennahen Luftschichten - also ein negativer Effekt. Die deutlich verringerte Verdunstung führt zu einer geringeren Wolkenbildung - denn wenn kein Wasser verdunstet, können sich auch keine Wolken und kein Niederschlag bilden - und es gibt eine gewisse Tendenz zu Hochdrucklagen. Dazu später mehr. Kurzum, die Luft wird sich hier durch die Erwärmung stärker ausdehnen, was zu einer Hochdrucklage führt. Dieses blockiert herannahende Tiefdruckgebiete, die das "schlechte" Wetter und mögliche Niederschläge bringen. Das Tief kann nun nicht über diesen Landschaftsausschnitt ziehen, weil es sich mit seinem niedrigeren Luftdruck nicht über das Hoch schieben, aber auch nicht darunter quetschen kann, sondern regnet sich dann eher vorher durch den entstehenden Stau ab, oder zieht in den Randbereichen des Hochs vorbei, wo es zu vermehrten Niederschlägen führen kann.

Und natürlich führt diese Situation mit kahlem oder nur leicht bedecktem Boden zu geringeren Niederschlägen.

Wenn wir diese beiden Bilder gegenüberstellen, wird sofort klar, welche Bedingungen wir schaffen müssen und sollten, wenn wir an eine widerstandsfähige Landwirtschaft denken, aber auch, wenn wir an die Eindämmung des Klimawandels denken.

Recycling von Niederschlag

Betrachten wir den gesamten Prozess in einem geografisch größeren Maßstab: Wasser, Wasserdampf, Wolken kommen aus den Ozeanen und driften auf das Land. Dort bilden sich durch Kondensation Wolken und es kommt zu Niederschlägen. Dieser Niederschlag sammelt sich in den Bäumen und im Boden und wird dann über die Evapotranspiration - also die Verdunstung von Wasser im Boden, von offenen Wasserflächen und vor allem die

Transpiration über die Vegetation - über die zuvor beschriebenen Prozesse wieder in die Luft gebracht. Dort kondensiert das Wasser wieder, es bilden sich neue Wolken, es kann wieder regnen, usw. Dieser Kreislauf wiederholt sich im Landesinneren immer wieder.

Fliegende Flüsse

Betrachtet man diese Zyklen und die großen Luft- und Feuchtigkeitsströme weltweit, so sieht man hier auf der Karte einige der sehr großen sogenannten "fliegenden Flüsse", die Feuchtigkeit aus dem Ozean ins Landesinnere transportieren und immer wieder recyceln. Nach der Theorie der "biotischen Pumpe" sind die Wälder aktive Gestalter dieser Luftbewegungen, u.a. aufgrund von Luftdruckunterschieden, die durch Kondensation entstehen. Am Beispiel Südamerikas - woher auch der Name "fliegende Flüsse" stammt, weil dieses Phänomen dort am besten erforscht ist - kann man sehen, dass die Feuchtigkeit fast über den gesamten Kontinent gezogen wird.

Aber man kann auch einen schönen fliegenden Fluss in Europa sehen, der von West- über Osteuropa nach Ostasien fließt. Tatsächlich stammen 80 % der Niederschläge, die in Ostchina fallen, aus Europa.

Niederschlag-Recycling-Verhältnis

Je höher die Werte auf der Temperaturskala sind, desto höher ist das Niederschlags-Recycling-Verhältnis, d.h. desto mehr Niederschlag besteht aus Wasser, das zuvor im Landesinneren niedergegangen ist und über die bekannten Evapotranspirationsprozesse immer wieder zur Wolkenbildung geführt hat. Die typischen Entfernungen, die Feuchtigkeit, die über Land verdunstet, in der Atmosphäre zurücklegt, bevor sie wieder auf Land fällt, liegen in der Größenordnung von 500 bis 5.000 Kilometern; die typische Zeitskala reicht von acht bis zehn Tagen.

Das erklärt, warum die Feuchtigkeit über die Westwinde, die vom Atlantik über Europa nach Asien ziehen, immer wieder recycelt wird, Niederschlag fällt, dieser wieder verdunstet und wiederum zu Niederschlägen an anderer Stelle führt, und über Russland und die Mongolei nach Ostchina, wo er zu so hohen Werten von teilweise über 80% des Niederschlags-Recycling-Verhältnisses führt.

Schauen wir uns an, was passiert, wenn wir diesen Recyclingprozess durch Aktivitäten stören, die wir aus der ganzen Welt kennen, z. B. durch Abholzung und die daraus resultierenden kahlen Böden mit deutlich reduziertem Evapotranspirationspotenzial.

Nun hat sich im Hinterland einiges geändert: Weniger Vegetation führt zu weniger Evapotranspiration, was wiederum zu weniger Wolkenbildung führt. Das wiederum führt zu weniger Niederschlag und - auch wenn es dort Wald gibt - zu einer geringeren Evapotranspiration. Man kann sich schon vorstellen, wie es dem Wald im Hinterland mit diesem reduzierten Feuchtigkeitsfluss geht.

Das ist der Prozess der fließenden Flüsse mit einem ständigen Recycling des Wassers - und wenn wir ihn unterbrechen, sei es durch Abholzung oder durch z.B. große, brachliegende

landwirtschaftliche Flächen. Das führt zu einer Störung dieses Systems mit entsprechend weniger Niederschlag und Evapotranspiration im Binnenland.

Eine Studie aus Indonesien zeigt, dass auf den abgeholzten, gerodeten Flächen die Temperatur im Vergleich zum ursprünglichen Wald um 10°C gestiegen ist. Wenn wir uns an die Bilder mit den Infrarotaufnahmen erinnern, dann konnten wir einen Temperaturunterschied von 10° C zwischen dem mit Wasser versorgten Wald und dem trockenen Boden feststellen - genau das ist der Prozess nach dem Verschwinden des Waldes. Ebenso wurden in diesen Einzugsgebieten 15 % weniger Niederschlag gemessen. Schwerwiegende Veränderungen, die dort nach dem Entfernen eines großen Teils der Vegetation eingetreten sind. (Sabajo, C. R. et al. Expansion of oil palm and other cash crops causes an increase of the land surface temperature in the Jambi province in Indonesia. Biogeosciences 14, 4619-4635 (2017))

Betrachtet man die globale Erwärmung, so stellt man fest, dass die globale Durchschnittstemperatur seit 1880, als die Temperaturmessungen begannen, um etwa 1,2 °C gestiegen ist, verglichen mit dem Durchschnitt von 1880-1910.

Verschiedene Studien - wie z.B. Ward et al. und Ban-Weiss et al. - zeigen, dass 18-40% dieses globalen Temperaturanstiegs durch Landnutzungsänderungen und die damit verbundene Störung des Wasser- und damit verbundenen Energiekreislaufs erklärt werden können. Während seit geraumer Zeit der Fokus allein auf CO₂ liegt - das ohnehin einen wichtigen Einfluss auf den Klimawandel hat und dessen Emissionen so schnell wie möglich reduziert und gestoppt werden sollten - hört man in der aktuellen Diskussion kaum etwas über den Beitrag dieser gestörten Kreisläufe, die das Klima der Erde ebenfalls stark beeinflussen.

Betrachten wir nun die Rolle der verschiedenen Gase beim natürlichen Treibhauseffekt. Gäbe es die Atmosphäre mit ihren verschiedenen Gasen nicht, wäre die globale Temperatur auf der Erde 33°C kälter. Dank der Atmosphäre, der verschiedenen Gase und ihrer Absorptionsfähigkeit leben wir in viel angenehmeren Temperaturverhältnissen. Der Anteil von Wasser und Wasserdampf an diesem natürlichen Treibhauseffekt beträgt stolze 20,6°C - das sind 66-85% des gesamten natürlichen Treibhauseffekts. Die Wirkung von CO₂ beträgt im Vergleich zu Wasser nur 7,2 °C oder 9-26 %. Wir sehen also, dass Wasser einen großen Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt leistet. Dies sollte uns zu denken geben, wenn wir über die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, insbesondere in den letzten Jahrzehnten, auf diese Auswirkungen des Wassers nachdenken.

Industrieller Wasserdampf

Bisher wurde argumentiert, dass der menschliche Einfluss auf den Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre vernachlässigbar gering sei, da - so die Argumentation - durch industrielle Prozesse relativ geringe Mengen an Wasserdampf in die Atmosphäre gelangen, verglichen mit den Mengen, die dort zu finden sind. Und das ist in der Tat richtig.

Änderung der Landnutzung

Aufgrund der veränderten Landnutzung müssen wir jedoch über ganz andere Dimensionen sprechen. Untersuchungen zeigen, dass wir durch die Verringerung der Vegetation aufgrund von Abholzung und Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen im Zeitraum von 1950-2000 eine Verringerung der Evapotranspiration um 4-5% verursacht haben, was 3.000-5.000 km³ Wasser entspricht - eine gigantische Menge! Wir haben eine Zunahme des Oberflächenabflusses von Wasser um 7 % - denn das Wasser, das als Regen auf die Landoberfläche fällt, kann nicht mehr vollständig vom Boden aufgenommen werden und fließt oberirdisch, auch dank Drainagen und Gräben, auf dem schnellsten Weg Richtung Meer, anstatt in der Vegetation, in den Böden und in Senken und Teichen zurückgehalten zu werden. Dieses schneller fließende Wasser steht nun den "fliegenden Flüssen" und dem kleinen Wasserkreislauf nicht mehr zur Verfügung. Im gleichen Zeitraum beobachten wir auch einen Anstieg der Oberflächentemperatur um 0,3 °C, der auf diese Landnutzungsänderungen zurückzuführen ist. Zuvor war von einem globalen Temperaturanstieg von 1,2°C die Rede - 0,3°C in diesem Zeitraum von 1950-2000 wären eine sehr wichtige Komponente.

Und das geht noch weiter: Eine andere Studie errechnet für den Zeitraum 2000-2015, dass Landnutzungsänderungen für einen Anstieg der Oberflächentemperatur um 0,23 °C verantwortlich sind, wo solche Änderungen stattfanden.

Auf der anderen Seite gibt es neben den "fliegenden Flüssen" auch so etwas wie eine "fliegende Dürre". Das Pantanal, eine riesige Feuchtgebietslandschaft im Südwesten Brasiliens, ist seit 2019 zunehmender Trockenheit und in der Folge immer mehr Bränden ausgesetzt, die dieses einzigartige Feuchtbiotop zunehmend bedrohen. Ursache dafür ist unter anderem die Erwärmung des Pazifiks südwestlich der USA, die Luftströmungen verändert, die sich auf das Pantanal auswirken.

Dies wiederum ist ein Beispiel dafür, wie komplex die Zusammenhänge und Auswirkungen auf unserem Planeten sind und wie Landnutzungsänderungen, Entwaldung und die Etablierung von weit weniger feuchtigkeitsspendenden Nutzpflanzen zu großräumigen Klimaveränderungen und einer lokalen, regionalen und globalen Klimaerwärmung führen können.

Verwaltung der Landnutzung



Dass Landnutzungsänderungen nicht nur vom Menschen gemacht, sondern auch von ihm steuerbar sind, wird hier am Beispiel der Grenzregion von Kasachstan und China gezeigt. Unter der Annahme, dass die klimatischen und geologischen Bedingungen in diesem Gebiet vergleichbar sind, gibt es einen deutlichen Unterschied zwischen den Ländern. Auf der rechten, chinesischen Seite befindet sich ein einigermaßen bewachsenes - wenn auch nur landwirtschaftlich genutztes - Gebiet, auf der linken Seite gibt es kaum Begrünung - und damit natürlich auch kein Verdunstungspotenzial. Dort könnte durch entsprechende Bewirtschaftung mehr Vegetation entstehen.



Ein weiteres relativ bekanntes Beispiel sind Haiti und die Dominikanische Republik. Unterschiede in der wirtschaftlichen Situation, der Bevölkerungsdichte und der Gesetzgebung führen zu einem deutlich sichtbaren Unterschied in der Waldfläche zwischen den beiden Ländern. Eine Folge der Abholzung in Haiti ist die Bodenerosion, die in einigen Fällen ernste Ausmaße angenommen hat.

Forstwirtschaft



Themenweg Scheuring. Tiefe Böden - Flache Wurzeln - Sauerer Humus. Publikation des EU-Projektes «Interreg Alpine Space». Ludwig Pertl

Quelle: Themenweg Scheuring. Tiefe Böden - Flache Wurzeln - Sauerer Humus. Publikation des EU-Projektes "Interreg Alpine Space". Ludwig Pertl

Der Unterschied zwischen einem klassisch bewirtschafteten Fichtenwald und einem vielfältigen, widerstandsfähigen Laub-Dauerwald liegt unter anderem darin, dass die Fichten im untersuchten Beispiel nur 75 Liter Wasser pro Quadratmeter zur Verfügung haben, während der Mischwald auf dem gleichen Untergrund und unter den gleichen Bedingungen auf 350 Liter pro Quadratmeter zurückgreifen kann. Hier zeigt sich ein enormer Unterschied in der Wassermenge, die der Boden unter bestimmten Wäldern speichern und natürlich auch wieder abgeben kann, bzw. wie die Bäume darauf zugreifen können, was dazu führt, dass in diesen beiden Waldsystemen in den Sommermonaten eine deutlich unterschiedliche Wassermenge zur Verfügung steht, um in dieser meist trockeneren Zeit die Photosynthese zu betreiben. Dies ist umso wichtiger in Zeiten des Klimawandels, wo wir nicht von einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur von 1,2°C sprechen, sondern in Deutschland bereits 2°C, in der Vegetationsperiode sogar 3-4°C erreicht haben. Das bedeutet natürlich, dass die Bäume in dieser Zeit umso mehr Wasser benötigen, um Photosynthese betreiben zu können und gesund zu wachsen. Steht das Wasser nicht zur Verfügung, leiden sie natürlich - und in extremen Fällen, die immer häufiger vorkommen, sterben sie ab. Unter diesen veränderten Bedingungen ist es umso wichtiger, den Waldumbau in Richtung Mischwald und vielfältigem Dauerlaubwald voranzutreiben, um auf diese veränderten Bedingungen vorbereitet zu sein.



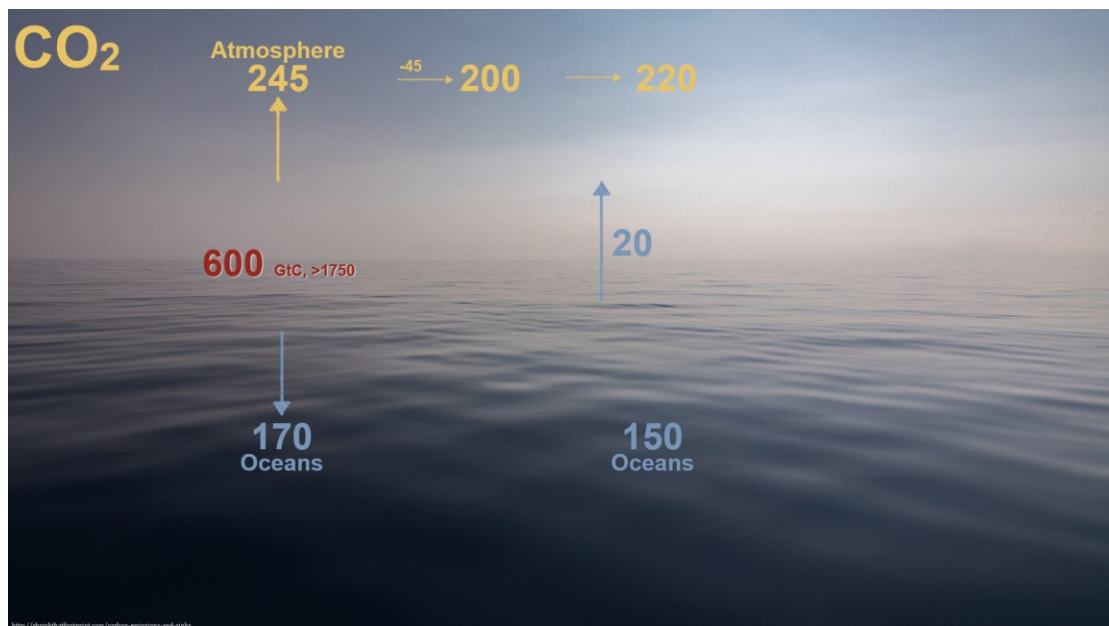
Quelle: Themenweg Scheuring. Tiefe Böden - Flache Wurzeln - Saurer Humus. Publikation des EU-Projektes "Interreg Alpine Space". Ludwig Pertl

Dieser deutliche Unterschied in der Wasserspeicherkapazität erklärt sich unter anderem durch die unterschiedlichen Bedingungen in den Wäldern sowie das Baum- und Wurzelwachstum: Die Nadelholzstreu in den Fichtenwäldern wird nur schwer und langsam umgesetzt und erzeugt einen sauren Boden, der zu einem eher schlechten Bodenleben führt. Dagegen führt das Laub in Laubwäldern zu einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit, weil es relativ leicht zersetzt werden kann und viele Lebewesen, vor allem, aber nicht nur Mikroorganismen - Bakterien und Pilze - daran beteiligt sind, das Material zu zersetzen und in den Boden einzuarbeiten. Das gefällt auch den Regenwürmern - den Bodenfruchtbarkeitsförderern schlechthin. Dadurch erhöht sich der Humusgehalt, die Durchlüftung des Bodens, die Wasserinfiltrations- und Speicherkapazität und so weiter. Die Bäume freuen sich darüber und entwickeln ein größeres Netz von Feinwurzeln, was wiederum zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit beiträgt.

Dies sind wichtige Aspekte und Entwicklungen, vor allem wenn man bedenkt, dass 42 % der Landfläche der EU-27 mit Wald bedeckt sind und fast überall die eintönigen Plantagen leiden.

Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds VOC) & Mikroorganismen

Ein sehr spannender Aspekt ist die direkte und aktive Beteiligung von Bäumen an der Bildung von Wolken und damit von Niederschlägen und die damit verbundene Beschleunigung oder Aktivierung des kleinen Wasserkreislaufs. Neben der Bedeutung der Wälder für die Energieflüsse und die Niederschlagsbildung scheinen große Wälder auch biogeochemische Reaktoren zu sein, in denen die Biosphäre und die atmosphärische Photochemie Kerne für die Wolken- und Niederschlagsbildung erzeugen und so den Wasserkreislauf aufrechterhalten. Bäume produzieren flüchtige organische Verbindungen (VOC) und setzen Mikroorganismen frei, die auf den Blättern leben und während und nach Regenfällen in Waldökosystemen in die Luft gelangen. In der Atmosphäre bilden sie einen wichtigen Teil der Wolkenkondensation und der Eiskerne, was wiederum die Wolkenbildung und den Niederschlag beeinflusst. Diese biogenen Aerosole können auch zur Erhöhung der Gefriertemperaturen beitragen, indem sie Eiskerne bilden. Ohne dieses Phänomen würde das Gefrieren erst bei einer Wolkentemperatur von -15°C oder kälter eintreten; mit Hilfe dieser Eiskerne kann der Prozess bei Temperaturen nahe 0°C erreicht werden, was eine effiziente Wolkenbildung ermöglicht und die Bildung von Regen einfacher und lokaler macht.

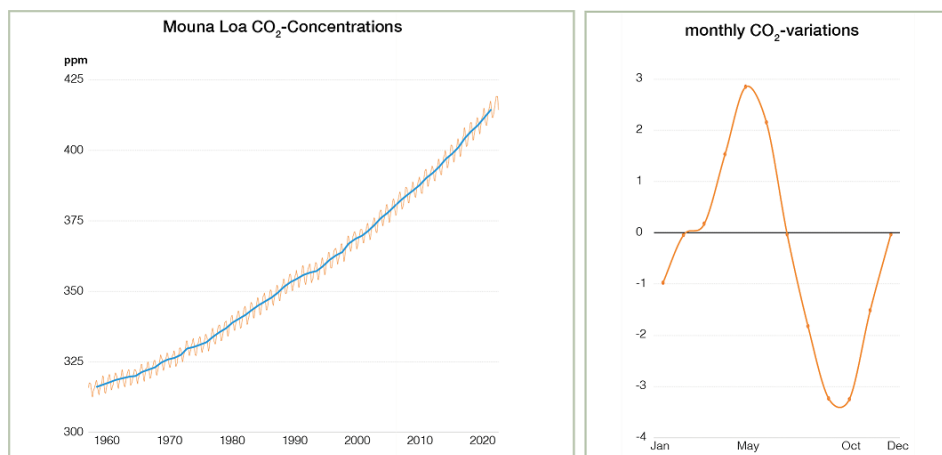


Lassen Sie uns zum Thema Kohlendioxid kommen. Seit 1750 haben wir durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe über 600 Gigatonnen Kohlenstoff in die Luft geblasen. Davon sind etwa 245 Gigatonnen dauerhaft in der Atmosphäre gelandet, 170 Gigatonnen wurden von den Ozeanen aufgenommen, der Rest wurde vorübergehend von der Vegetation gebunden. Nun will man, wie allenthalben postuliert, den Kohlenstoff aus der Atmosphäre herausholen, um die Erderwärmung abzumildern, und so zu einer niedrigeren Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre kommen. Doch zwischen der Atmosphäre und dem Ozean herrscht ein so genanntes Gasdruckgleichgewicht - das Kohlendioxid in einer Luftsäule über dem Wasser steht in ständigem Gleichgewicht mit dem im Wasser

gebundenen Kohlendioxid. Daher stammen übrigens auch die 170 Gigatonnen im Ozean. Nimmt die Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt zusätzliches CO₂ auf, führt das Gasdruckgleichgewicht dazu, dass ein Teil davon in den Ozeanen absorbiert wird, um das CO₂-Gleichgewicht zwischen Atmosphäre und Wasser wiederherzustellen.

Aber es funktioniert auch in der anderen Richtung: Nehmen wir an, wir entfernen erfolgreich 45 Gigatonnen CO₂ aus der Atmosphäre. Dann entweichen etwa 20 Gigatonnen aus dem Ozean, um das Gleichgewicht wiederherzustellen. Das bedeutet, dass wir über einen längeren Zeitraum hinweg ständig fast 50 % mehr CO₂ aus der Atmosphäre entfernen müssen, um dort die gewünschte CO₂-Konzentration zu erreichen. Unsere Anstrengungen in dieser Hinsicht - die ohnehin nicht sehr ehrgeizig und aktiv sind - werden in Wirklichkeit viel höher sein müssen und der Prozess wird sich viel länger hinziehen als bisher kommuniziert.

Natürliche CO₂-Schwankungen



Quelle: Messstation Mauna Loa auf Hawaii

Wir wollen und müssen aber immer schauen, wie die Natur das macht und dort nach den besten und effektivsten Lösungen suchen. Hier ist ein Diagramm der Messstation Mauna Loa auf Hawaii, die dort seit den 1950er Jahren die CO₂-Konzentration in der Luft misst. Wir sehen, wie die Linie immer weiter ansteigt und von 270 auf 420 ppm im Jahr 2021 gestiegen ist.

Was jetzt spannend ist, ist diese zweite rote Linie, die so zackig, aber sehr regelmäßig auf und ab geht. Was ist das?

Wenn wir einen solchen Zyklus näher betrachten, sehen wir, dass die CO₂-Konzentrationen in der ersten Jahreshälfte ansteigen, dann in den Sommermonaten deutlich abfallen und ihren Tiefpunkt im August/September erreichen, was einen Unterschied von etwa 7 ppm ausmacht. Was ist der Grund dafür?

Dies ist mehr oder weniger der natürliche CO₂-Sauger, der Photosyntheseprozess - die Vegetation nimmt CO₂ aus der Luft auf, bindet den Kohlenstoff in den Blättern, in den Zweigen, im Stamm und im Boden. Mit mehr Vegetation könnten wir der Atmosphäre auf diesen Ebenen erfolgreich mehr CO₂ entziehen und es dauerhaft binden. Mit der Natur zu arbeiten und nicht gegen sie, scheint hier also der richtige Ansatz zu sein.

Ein weiterer Aspekt, nicht nur bei Städten, sondern auch bei offenen Böden, insbesondere wenn sie auf größeren Flächen vorkommen, ist, dass sie die eingangs erwähnten Hochdruckgebiete erzeugen können. Dies ist hier beispielhaft im Diagramm dargestellt: Die normale Umgebungstemperatur wäre die 0-Grad-Linie. Über Städten, offenen Böden oder auch bereits trockenen Getreidefeldern erwärmt sich die Luft schneller, die Luft steigt auf und bildet Hochdruckgebiete. Diese können die natürlichen Luftströmungen stören, indem sie ankommende Tiefdruckgebiete mit Feuchtigkeit dazu zwingen, sich an den Seiten des Hochdruckgebiets vorbeizuschieben. Dies kann zu mehr Niederschlägen in diesen Regionen führen, da sich die Luftmassen nun an dem Hochdruckgebiet vorbeidrängen müssen, was zu den immer häufiger auftretenden extremen Niederschlagsereignissen führt.

Regenwasserbewirtschaftung

Eine grundlegende Frage ist, wie wir mit Wasser umgehen. In unserem derzeitigen Paradigma - hier ein Beispiel aus der Stadt, aber die Landwirtschaft ist wie ein Spiegel davon - wird Wasser als ein Problem gesehen, das so schnell wie möglich entsorgt und entfernt werden muss. In der Stadt sind es die Abflüsse, durch die das Wasser in die versteckte Kanalisation fließt - auf landwirtschaftlichen Flächen sind es die Drainagen und Gräben, die das Wasser so schnell und effizient wie möglich in den Fluss und das Meer leiten. Dies ist der Ansatz der letzten Jahrzehnte.

Wasserwirtschaft



Auch die Nutzung von Wasser für die landwirtschaftliche Produktion stellt in einigen Regionen ein wachsendes Problem dar. Nicht nur, dass in einigen Fällen fossiles

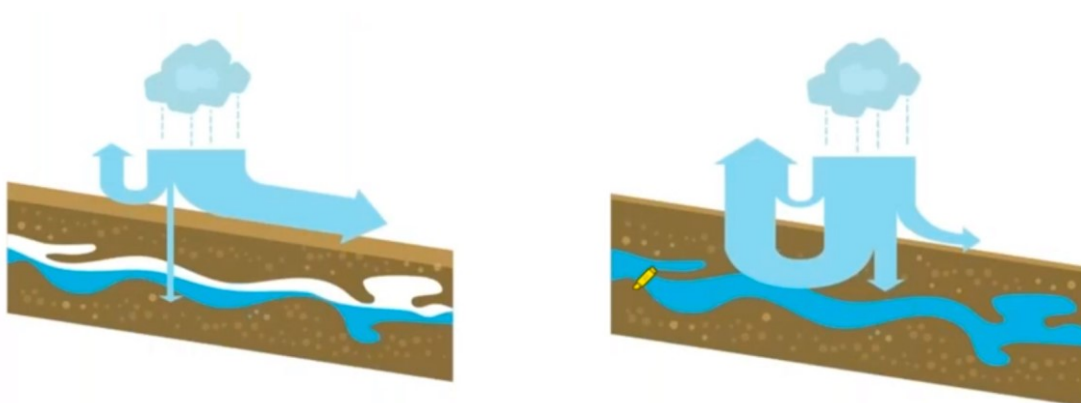
Grundwasser, das in Zehntausenden von Jahren gebildet wurde und in unseren Zeitdimensionen nicht erneuerbar ist, in großen Mengen verwendet wird (auch für den ökologischen Landbau). Auch erneuerbares Grundwasser kann mit unserem derzeitigen Ansatz, dem Umgang mit dem Wasser von oben, kaum wirklich nachhaltig genutzt werden.



Quelle: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/trinkwasser-bundesamt-fuer-bevoelkerungsschutz-warnt-vor-knappheit-in-deutschland-a-243b5197-8bdc-4a1a-bf54-837190b8d04f>

Und dann werden wir von Nachrichten wie dieser überrascht: "Bundesamt für Bevölkerungsschutz warnt vor Trinkwasserknappheit in Deutschland. Sinkendes Grundwasser und der Verbrauch in der Landwirtschaft könnten mittelfristig die Trinkwasserversorgung gefährden". Wo soll das Wasser herkommen, das unsere Grundwasserspeicher wieder auffüllt, wenn wir dafür sorgen, dass Niederschläge ober- und unterirdisch auf und von unseren Feldern abfließen, wenn Häuser, Straßen und die zunehmenden Betonflächen der Städte und Industriegebiete das Wasser in die Flüsse leiten?

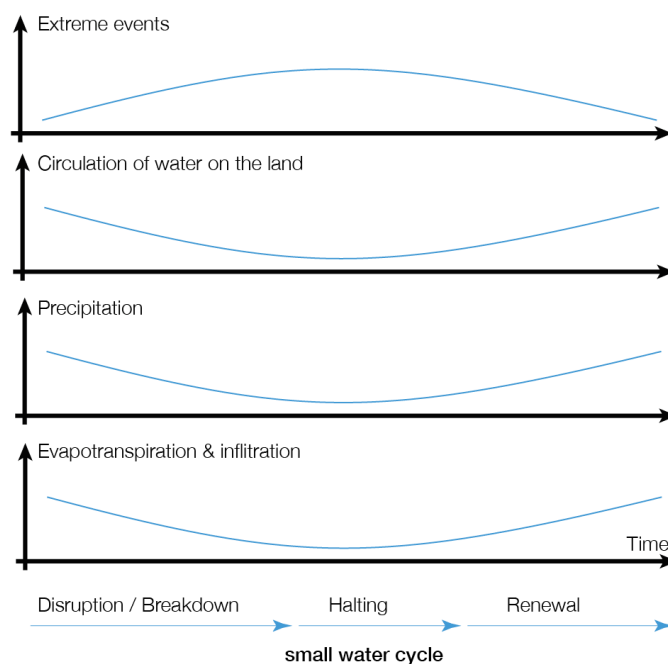
Altes vs. neues Wasserparadigma



Quelle: "Regen für das Klima"

Wenn wir in einem solchen Paradigma leben, in dem wir Wasser als Problem sehen und es so schnell wie möglich entsorgen, in dem es oberflächlich und über die Kanalisation abläuft, in dem sich Grundwasserspeicher kaum wieder bilden können und dessen Pegel sinkt, weil zu viel entnommen werden kann und zu wenig nachsickert, um es wieder aufzufüllen, sind wir dann von solchen Nachrichten überrascht?

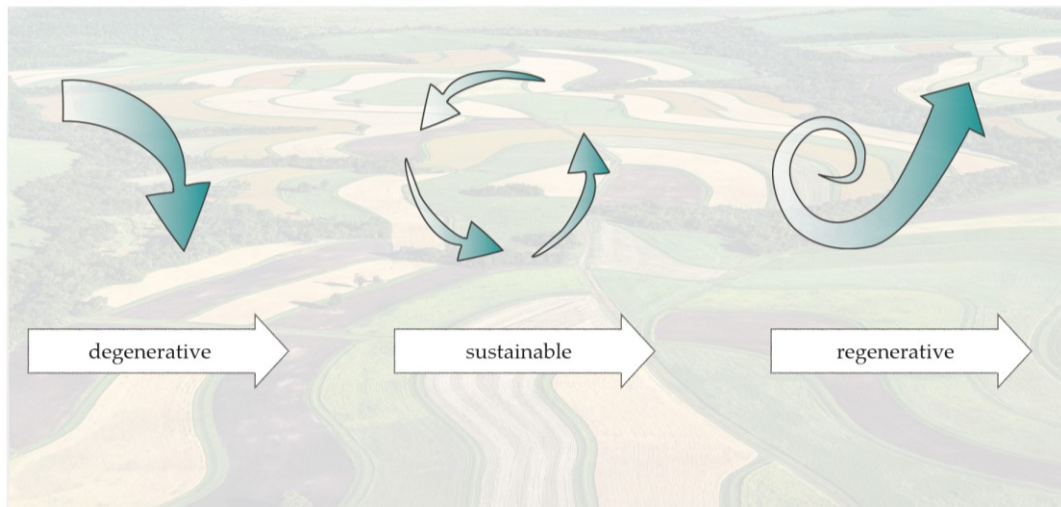
Wir brauchen ein neues Wasserparadigma, das den Wert des Wassers und seiner Kreisläufe anerkennt und wertschätzt; den Wert, den das Wasser für den Boden, die Vegetation, das Grundwasser, das Klima und auch für uns Menschen hat; und wir müssen unsere Einstellung und unsere Infrastruktur entsprechend ändern, auch in der Landwirtschaft, um das Wasser so lange wie möglich auf dem Boden zu halten.



Quelle: "Regen für das Klima"

Die Trends sind eindeutig: Wir beobachten eine stetige Zunahme von Extremereignissen, eine abnehmende Wasserzirkulation auf dem Land, einen Rückgang der Niederschläge oder eine negative Verteilung der Niederschlagsmuster, eine verringerte Evapotranspiration und Wasserinfiltration in Böden und Grundwasser. Diese Entwicklungen deuten auf eine Störung bis hin zum teilweisen Zusammenbruch des kleinen Wasserkreislaufs hin.

Ein neues Wasserparadigma - ein deutlich veränderter Umgang mit Wasser - kann diese Störungen aufhalten und sogar rückgängig machen und zu einer Erneuerung der natürlichen Muster führen, wodurch die Natur wieder fruchtbar wird.



Nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch in anderen Systemen und damit in der gesamten Gesellschaft bewegen wir uns in degradierenden, degenerativen Prozessen, in denen natürliche Ressourcen übernutzt, ausgebeutet und verschmutzt werden. Das müssen wir ändern.

Das erste, was wir tun müssen, ist der Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaft. Bewahren oder erhalten ist jedoch nicht genug. In Zeiten, in denen wir die Umwelt in einem solchen Ausmaß ruiniert haben, können wir uns nicht mit der bloßen Bewahrung dieses Zustands zufrieden geben.

Wir müssen zu einer ressourcenbildenden oder regenerativen Wirtschaft übergehen, um diese natürlichen Ressourcen wieder aufzubauen und wiederherzustellen, damit künftige Generationen eine echte Zukunft haben und die Natur die Möglichkeit hat, sich zu erholen und wieder zu entwickeln.

Deshalb brauchen wir einen Paradigmenwechsel - nicht nur in den hier beschriebenen Aspekten.

Steigerung der Bodenfruchtbarkeit



Wie lässt sich dies - um auf die Landwirtschaft zurückzukommen - auf geeignete Methoden übertragen? Hier: Boden von zwei Feldern - eines rechts, das andere links einer Straße. Gleicher Boden, gleiche Grundbedingungen. Aber auf der linken Seite konventionell bewirtschaftet - mit Pflügen, Monokulturen und Pestizideinsatz. Rechts bewirtschaftet mit Methoden der regenerativen Landwirtschaft. Der Unterschied ist deutlich sichtbar und selbsterklärend. Die Humusgehalte liegen weit auseinander, und damit auch die Wasserinfiltrationsrate, die Wasserspeicherkapazität, die Nährstoffspeicherkapazität, die Bodenstruktur usw. Und damit natürlich auch ganz andere Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum.

Das bedeutet, dass der Boden so wenig wie möglich offen sein sollte. Arbeiten Sie nicht mit dem Pflug, sondern nutzen Sie z.B. Direktsaatverfahren als mögliche Alternative. Das bedeckt und schützt den Boden, um nur einige Vorteile zu nennen. Dieser Vergleich soll nur eine Richtung aufzeigen, nicht die eine Methode verteufeln und die andere als die ultimative Lösung darstellen.

Statt offene Böden für die fälschlicherweise positiv bewertete Bodenkrume zu erreichen, was in Wirklichkeit einen Verlust an Bodenqualität bedeutet, sollte der Boden auch zwischen den Hauptkulturen immer mit **Deckfrüchten** und Gründüngungen bedeckt sein, was das Bodenleben fördert und die Bodenfruchtbarkeit erhöht und gleichzeitig eine Vegetation bedeutet, die zur Kühlung und Aktivierung des kleinen Wasserkreislaufs dienen kann.

Wir brauchen **Untersaaten**, um den Boden vollständig zu bedecken. Natürlich gibt es immer den Einwand, dass dies eine Konkurrenz für die Hauptkultur bedeutet. Tatsächlich gibt es aber genügend wissenschaftliche Studien über die verschiedenen Vorteile dieser Methode sowie Erfahrungen und Berichte von Praktikern, die damit sehr gute Erfahrungen gemacht haben.

Das erfordert aber neben Mut, Wissen und Anschubfinanzierung auch eine andere Form der Bilanzierung. Das heißt, nicht nur die Betriebsbilanz auf Basis des Ertrags zu berechnen, sondern auch das Kapital des Bodens und andere "Ökosystemleistungen" zu berücksichtigen und von den Verbrauchern und der Gesellschaft honorieren zu lassen.

Natürlich bedeutet es auch, mehr Bäume und Hecken zu pflanzen. **Agroforstwirtschaft** ist das passende Stichwort dafür, und glücklicherweise wächst das Wissen und die Bewegung, und in allen Ländern gibt es immer mehr Projekte und teilweise auch Förderungen.

Es bedeutet auch eine andere Form der Waldbewirtschaftung: statt Fichtenmonokulturen ein vielfältiger Laubmischwald, bei dem der Schwerpunkt auf der Bodenstruktur liegt, was die Klimaresistenz erhöht.

Halten Sie Wasser zurück, sei es durch das **Keyline-Design** und die konturparallele Bearbeitung, um das Abfließen von Wasser und auch Erde zu verhindern.

Wasser pflanzen - das war das Thema. Und es zeigt, dass hier viele Dinge zusammenkommen. Letztlich geht es darum, die Natur wieder zu beobachten, von ihr zu lernen und "naturbasierte Lösungen" zu entwickeln - mit der Natur zu arbeiten und nicht gegen sie. Wenn wir das berücksichtigen, dann bringen die hier beschriebenen Ansätze einen mehrfachen Nutzen. Es handelt sich nicht um eine Win-Win-Lösung, sondern um eine Win-Win-Win-Win...-Lösung.

Das Klima durch mehr Vegetation kühlen, kleine Wasserkreisläufe reaktivieren, Böden aufbauen, die Landwirtschaft widerstandsfähiger machen und insgesamt ganzheitlich durchdachte Systeme entwickeln - das ist unser Ziel.