

Zusatzmaterial zur Sendung 23:  
Brauchen wir eine Medizin der Erde?



Zusatzmaterial zur Sendung 23:

Brauchen wir eine Medizin der Erde?



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

**Interessierte Hörerinnen und Hörer** finden auf dieser Seite weiterführende Informationen zu den einzelnen Sendungsthemen als Zusatzmaterial.

Die Zusatzmaterialien werden in der Reihenfolge gelistet, wie die Stichworte in der Sendung Erwähnung finden. Die Materialien wurden zum Zugriffszeitpunkt **03.05.2018** erstellt von: Volker Mosbrugger, Sybille Roller und Francesco Lupusella.

### Inhalt

1. Wasserkreislauf, Wasserverschmutzung und Wasserknappheit
2. Treibhauseffekt: Treibhausgas Kohlendioxid
3. Geoengineering
4. Das Jena Experiment
5. Die Ozonschicht

### 1. Wasserkreislauf, Wasserverschmutzung und Wasserknappheit

Als Einstieg in das Thema Wasser ist es hilfreich, den globalen Wasserkreislauf und die Budgets der einzelnen Kreislaufkomponenten zu betrachten. Beim globalen Wasserkreislauf handelt es sich um ein geschlossenes System, bei dem Wasser weder aus dem System hinaus- noch hineinfließt. Ein erster Einblick ist in knapper Form im folgenden Text und dessen Abbildungen möglich:

<http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Wasserkreislauf>

Als Überblick mag auch das schematische Bild des US Geological Survey dienen, welches die Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes zeigt.

## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?



Das Umweltbundesamt fasst hier u.a. zusammen, welchen Einfluss der Mensch auf den natürlichen Wasserkreislauf nimmt.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/wasser-als-ressource>

Zahlen zum direkten Wasserverbrauch werden unter dem weiter führenden Link genannt und der Bezug zum sog. indirekten – ebenfalls sehr erheblichen - Wasserverbrauch hergestellt: es taucht der Begriff des „**Wasserfußabdruckes**“ auf.

Zu den Nutzer-Statistiken:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserressourcen-ihre-nutzung>



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

Eine Definition des Wasserfußabdruckes lautet:

„Der **Wasser-Fußabdruck** ist eine Weiterentwicklung des virtuellen Wasser-Konzepts und kann sowohl für Einzelpersonen wie auch für Unternehmen und ganze Nationen berechnet werden. Er beinhaltet die direkt verbrauchte Wassermenge sowie das in importierter Nahrung und anderen importierten Waren verbrauchte virtuelle Wasser. Das exportierte virtuelle Wasser wird hingegen vom Verbrauch abgezogen.“

Der frappierend hohe Betrag des Wasserfußabdruckes für den durchschnittlichen Bundesbürger wird wie folgt angegeben: „Damit hinterlässt jeder Bundesbürger einen Wasserfußabdruck von 1.426 m<sup>3</sup> jährlich und 3.906,8 Liter täglich.“

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/wasserfussabdruck>

Es gibt verschiedene „**Wasserfußabdruckrechner**“ im Internet, mittels derer man seinen persönlichen Gesamtwasserverbrauch abschätzen kann. Hier gelangt man zu einem, welcher eine Entwicklung des von der EU geförderten Aquapath-Projektes (<http://aquapath-project.eu>) ist: <http://aquapath-project.eu/calculator-ge/calculator.html>

Über die Grundwasserbeschaffenheit und die gesetzlichen Rahmenbedingungen (Gesetze und Verordnungen) findet man hier Informationen:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/grundwasserbeschaffenheit>

Über Möglichkeiten des Wassersparens, über die nachhaltige Verwendung der Ressource und auch die Wiederaufbereitung von Abwässern wird hier (auch in einer Reihe weiterführender Links, z.B. zu Regelungen auf EU-Ebene) informiert:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/nachhaltigkeitskonzepte>

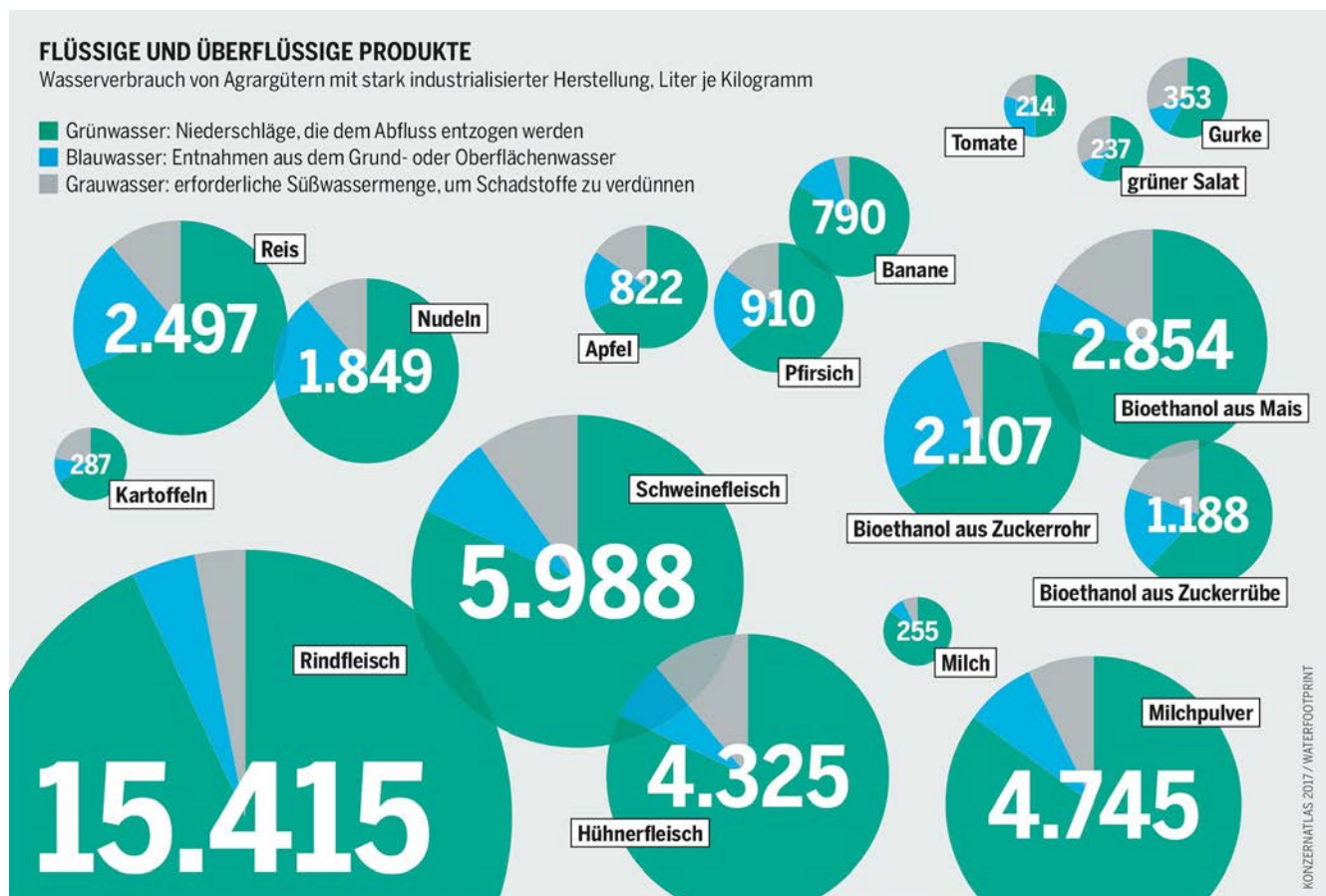
Die Bundeszentrale für politische Bildung hält ein umfassendes **Dossier zum Thema Wasser** bereit: es wird von der angegebenen Seite weitergeleitet zu Kapiteln über Wasserspeicher (Seen und Feuchtgebiete, Grundwasser, Meere, Flüsse) sowie zu Problemthemen wie Dürre und Wasserverschmutzung, aber auch zu Handlungsvorschlägen zum Wassersparen und Rahmenbedingungen der Gewässerpolitik:

<http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61191/wasser>



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

Die Abbildung aus dem Konzernatlas 2017 der Heinrich-Böll-Stiftung gibt einen Eindruck, welche Lebensmittel in ihrer Produktionskette einen vergleichsweise hohen oder niedrigen Wasserverbrauch mit sich ziehen (die Zahlen bedeuten "Liter pro Kilogramm" Erzeugnis):



### Internationale Zahlen, Fakten und Reports

Wie der Anteil der Frischwasserentnahme an den sich jährlich wieder bildenden Wasserressourcen in Prozent für verschiedene Länder der Welt bemessen ist, macht die Übersichtskarte unter dem nachfolgenden Link der Bundeszentrale für politische Bildung deutlich. Der nachfolgende Text erläutert, warum dieses Konsumverhalten in einigen Staaten ein Problem darstellt:



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

„Nach Angaben der UNESCO leiden die Menschen einer Region oder eines Staates unter "Wasserstress", wenn die sich erneuernden Wasserressourcen bei weniger als 1.700 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr liegen. Wasserknappheit liegt vor, wenn der entsprechende Wert unter 1.000 m<sup>3</sup> pro Kopf fällt. Liegen die sich erneuernden Wasserressourcen bei weniger als 500 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr spricht die UNESCO von absoluter Wasserknappheit.“

„Weltweit werden nach Angaben der UNESCO 21 der 37 größten Aquifere (Grundwasserleiter) ernsthaft übernutzt.“

<http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52730/wasserverbrauch>

Das Deutsche Wasser Serviceportal bietet ebenfalls eine große Menge von fundierten Informationen auf seinen Internetseiten. Hier im Zusammenhang zu nennen sind die Angaben zu den weltweit verfügbaren Süßwasser-Ressourcen:

<http://www.tag-des-wassers.com/wasser-weltweit/index.html>

Das Technical Paper No. 6 des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, in englischer Sprache) behandelt die Zusammenhänge und Auswirkungen des Klimawandels auf die weltweiten Wasserressourcen. Die Datengrundlagen stammen aus wissenschaftlichen Publikationen und werden im Text ausführlich erläutert. In Kapitel 5 werden regionale Aspekte beschrieben.

<https://drive.google.com/file/d/0B1gFp6loo3akcFFFeGRRVFNYM0E/view>

Die UNICEF hat aufgrund der aus regionaler Wasserknappheit resultierenden Probleme im Gesundheitssektor eine Reihe von Informationen, Reports und Berichten (in englischer Sprache) erstellt:

[https://www.unicef.org/wash/3942\\_documents.html](https://www.unicef.org/wash/3942_documents.html)

Darunter der aktuelle Bericht über „Progresses on Drinking Water, Sanitation and Hygiene“:

<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf>



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

Das UNICEF-WASH-Team (<https://www.unicef.org/wash/>) arbeitet in über 100 Ländern der Erde, um dort eine Wasserversorgung und damit verbunden auch sanitäre Grundversorgung zu etablieren.

Die Kerninformation zur Notwendigkeit der WASH Wasser-Projekte ([https://www.unicef.org/wash/3942\\_4456.html](https://www.unicef.org/wash/3942_4456.html)) wird wie folgt aufgeführt:

- 663 Millionen Menschen haben immer noch keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, obwohl das Ziel des Millenniums-Entwicklungsziels für sauberes Wasser im Jahr 2010 erreicht wurde.
- 8 von 10 Menschen ohne Zugang zu sauberem Wasser leben in ländlichen Gebieten.
- 159 Millionen Menschen nutzen unbehandeltes Wasser aus Seen und Flüssen, der unsichersten Wasserquelle, die es gibt.
- Seit 1990 haben 2,6 Milliarden Menschen Zugang zu verbessertem Trinkwasser und heute trinken 91% der Weltbevölkerung sauberes Wasser."

Zum „World Water Development Report“ von UN Water, welcher ein ganzheitliches, nachhaltiges Herangehen an die aufkommenden Probleme mit der Ressource Wasser behandelt, heißt es:

„The United Nations World Water Development Report, Nature-based Solutions for Water“, launched 19 March 2018 during the 8th World Water Forum, and in conjunction to the World Water Day, demonstrates how nature-based solutions (NBS) offer a vital means of moving beyond business-as-usual to address many of the world’s water challenges while simultaneously delivering additional benefits vital to all aspects of sustainable development.“

[http://www.unwater.org/publication\\_categories/world-water-development-report/](http://www.unwater.org/publication_categories/world-water-development-report/)

Der Report wurde veröffentlicht zum Weltwassertag, der seit 1992 mit jährlich wechselndem Motto stattfindet. Es wird explizit zur Beachtung der Aufrufe der Vereinten Nationen aufgerufen.

<http://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/gewaesserschutzpolitik/international/weltwassertag/>

Hier eine deutsche Kurzfassung des Weltwasserberichtes 2017 über „Abwasser, die ungenutzte Ressource“:



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

[https://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Bibliothek/weltwasserbericht\\_2017\\_kurzfassung.pdf](https://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Bibliothek/weltwasserbericht_2017_kurzfassung.pdf)

### **Wasserknappheit**

Um einen Überblick zu bekommen, kann folgender Beitrag der Bundeszentrale für politische Bildung dienen: "Anteil der jährlichen Frischwasserentnahme an den sich erneuernden Wasserressourcen in Prozent, Stand: 2016". Der Artikel beinhaltet sehr viele statistische Angaben, welche das zunehmende Problem der herrschenden sowie drohenden Wasserknappheit in vielen Regionen der Erde untermauern.

<http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52730/wasserverbrauch>

Eine Darstellung aktueller weltweiter Wasserknappheit und bis 2050 erwartete Änderungen dieses Zustandes bietet der UN Report „World Water Development Report 2018“ mit anschaulichen Abbildungen v.a. auf seinen Seiten 23 und 24. Weiter gibt es auf Seite 25 eine Weltkarte, auf der farblich der sogenannte „Groundwater Stress Index“ angegeben ist und die dafür verantwortlichen „groundwater footprints“ der regional angebauten Nutzpflanzen. Der Report umfasst 154 Seiten und behandelt durchgehend auch sogenannte „Nature-based solutions (NBS)“, also naturbasierte (und nachhaltige) Lösungsvorschläge für verschiedenste Problembereiche im Kontext der Wasserressourcen. Auch wird über die Implementierung der Maßnahmen und deren bisherige Erfolge bzw. Herausforderungen berichtet.

<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf>

### **Wasserverschmutzung**

Da es vielfältige Arten der Wasserverschmutzung gibt, fällt die Definition auf den Spektrum-Seiten aus gutem Grund entsprechend ausführlich aus:

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/wasserverschmutzung/70361>

Die in Deutschland geltenden Gesetze und Regelungen zum Wasserschutz sind beim Umweltbundesamt und beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) nachzulesen:





## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-wasserrahmenrichtlinie-deutschlands-gewaesser>

<http://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/abwasser/>

Auch der Meeresumweltschutz wird beim BMU thematisiert:

<http://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/meeresumweltschutz/>

Die deutschen Gesetze und Verordnungen folgen der **europäischen Wasserrahmenrichtlinie**:

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3044.pdf>

Eine deutsche **Zusammenfassung des Weltwasserberichtes der Vereinten Nationen** behandelt "Abwasser als Ressource" unter dem Gesichtspunkt:

"Abwasser gewinnt angesichts der immer weiter steigenden Wassernachfrage an Bedeutung als eine verlässliche alternative Quelle der Wasserversorgung. Es entsteht ein neues Paradigma: Statt „Behandlung und Entsorgung“ geht es heute um Abwasserbewirtschaftung mit Fokus auf „Wiederverwendung, Wiederaufbereitung und Rückgewinnung“. Dieser Paradigmenwechsel sieht Abwasser nicht länger als ein zu lösendes Einzelproblem, sondern als Teil von Gesamtlösungen für die heutigen gesellschaftlichen Herausforderungen. Sofern Maßnahmen umgehend getroffen werden, bieten sich sehr optimistisch stimmende Chancen."

<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552ger.pdf>

Auch die Wochenzeitung "DIE ZEIT" hat ein großes **Dossier dem Thema Wasserverschmutzung** gewidmet und eine Reihe von Artikeln behandeln die unterschiedlichsten Themen, wie Staudämme in China, Chemieunfälle an Fließgewässern, Mikroplastik im Ozean, Abwässer der Textilbranche, intensive Landwirtschaft, etc.

<https://www.zeit.de/thema/wasserverschmutzung>

## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?



### 2. Treibhauseffekt: Treibhausgas Kohlendioxid

Etwa 80% der gesamten Luft sind in der Troposphäre enthalten. Die Erdanziehungskraft verhindert, dass die Gase in das Weltall entweichen. Die Troposphäre ist die unterste atmosphärische Schicht und beinhaltet die Luft, die wir zum Atmen brauchen. Die mittlere Zusammensetzung von trockener Luft besteht zu **78%** aus **Stickstoff** ( $N_2$ ) und zu ca. **21%** aus **Sauerstoff** ( $O_2$ ). Es folgen das Edelgas **Argon** (Ar) mit einem Volumenanteil von **0,93%** und das **Treibhausgas Kohlendioxid** ( $CO_2$ ) mit einem Volumenanteil von **0,04 % (400 ppm)**. Der Rest setzt sich aus Wasserdampf ( $H_2O$ ) und Spurengasen zusammen, z.B. Methan ( $CH_4$ ), Wasserstoff ( $H_2$ ), Distickstoffmonoxid (Lachgas,  $N_2O$ ), Ozon ( $O_3$ ) und Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ).

Für die Erhaltung des Weltklimas spielt das Kohlendioxid eine besondere Rolle: Die kurzwelligeren Sonnenstrahlen durchdringen die Atmosphäre und gelangen zur Erdoberfläche. Ein kleiner Teil der kurzwelligeren Strahlung wird sofort wieder reflektiert. Der Großteil dieser kurzwelligeren Strahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert, in Wärme umgewandelt und als langwellige Wärmestrahlung (= Infrarotstrahlung) wieder abgegeben. Ein kleiner Teil der langwelligeren Wärmestrahlung entweicht über sogenannte **atmosphärische Fenster** ins Weltall. Der größte Teil der **Wärmestrahlung** jedoch wird durch das **Kohlendioxid** und andere **Treibhausgase** in der Luft absorbiert und **verbleibt in der Atmosphäre**. Die Treibhausgase strahlen einen Teil der aufgenommenen Wärmeenergie zur Erdoberfläche zurück. Durch diesen **natürlichen Treibhauseffekt** stellt sich global eine Durchschnittstemperatur von etwa **+15 °C** ein. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt hätten wir auf der Erde nur eine Durchschnittstemperatur von **-18° C**.

Der **anthropogene** (= vom Menschen beeinflusste) **Treibhauseffekt** hat enorme Auswirkungen auf Umwelt und Natur. Menschliche Aktivitäten erhöhen die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Das hat zur Folge, dass sich die atmosphärischen Fenster schließen, mehr Wärmestrahlung zurückgehalten wird und die Durchschnittstemperatur der Erde ansteigt. Vor allem die **erhöhte  $CO_2$ -Emission** fördert den Treibhauseffekt. Enorme Mengen an Kohlendioxid werden z.B. freigesetzt bei:

- der **Brandrodung der tropischen Regenwälder**
- der **Verbrennung fossiler Brennstoffe** wie Kohle, Erdöl und Erdgas.

<https://www.youtube.com/watch?v=q1wP42f5GAc>

<https://www.youtube.com/watch?v=NGJaK9MywfE>



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

<https://www.youtube.com/watch?v=HwQE7rR3ics>

Der Ausstoß von Kohlendioxid erwärmt aber nicht nur die Erde, sondern ist auch für die **Versauerung der Ozeane** verantwortlich. Die Ozeane nehmen einen großen Teil des Treibhausgases Kohlendioxids und der zusätzlichen Wärme aus der Atmosphäre auf. Ohne diese **Pufferfunktion** der Meere würde sich die Erde deutlich schneller erwärmen. Doch ein **erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalt** in der Atmosphäre bringt Probleme mit sich: Geht das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Luft ins Meer über, reagiert es mit Wasser (H<sub>2</sub>O) zu Kohlensäure, die wiederum mit den natürlich im Wasser enthaltenen Carbonationen (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) zu Hydrogencarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) reagiert. Der **pH-Wert** sinkt, das Wasser wird **saurer (!)** (Das Meerwasser hat einen durchschnittlichen pH-Wert von 8,2 und ist leicht basisch. Doch dieser Wert ist über die vergangenen 200 Jahre auf 8,1 gesunken. Da der pH-Wert eine logarithmische Größe ist, entspricht dies einem Absinken um fast 30 %). Die Konzentration an **Carbonationen nimmt ab**. Doch **kalkbildende Organismen** wie Muscheln und Korallen sind zum **Aufbau ihrer Schalen und Skelette** genau auf diese Moleküle angewiesen. Zudem wird durch die Aufnahme von mehr Wärme der Ozean **wärmer**; er **dehnt sich aus** und der **Meeresspiegel steigt**.

[https://www.youtube.com/watch?v=9\\_OvZ8Ew8bM](https://www.youtube.com/watch?v=9_OvZ8Ew8bM)

[https://www.youtube.com/watch?v=iwre\\_IRwhUU](https://www.youtube.com/watch?v=iwre_IRwhUU)

<https://www.youtube.com/watch?v=BEI2vGewVCI>

<https://www.youtube.com/watch?v=nmeWzDpdA90>

[https://www.youtube.com/watch?v=rSW-F\\_Nm96M](https://www.youtube.com/watch?v=rSW-F_Nm96M)

<https://www.youtube.com/watch?v=SvYOc63vGew>

<https://www.youtube.com/watch?v=-XFgIK3jbYM>

- **Ozeanversauerung. Das andere Kohlendioxid-Problem**, hrsg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn, 2016. ([PDF](#))
- Schröder, T (2013). **Luft gibt dem Ozean Saures**. MaxPlanckForschung 2: 18-23. ([PDF](#))
- Riebesell, U & Schulz, KG (2011). **Auswirkungen der Ozeanversauerung auf marine Lebensprozesse**, in: Lozán, JL/ Grassl, H/ Karbe, L & Reise, K (Hrsg.). Warnsig-



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

nal Klima. Die Meere. Änderungen & Risiken. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, 173-177. ([PDF](#))

Kohlendioxid ist nicht das einzige Treibhausgas, das der Umwelt Probleme bereitet. Weitere wichtige Treibhausgase sind Methan ( $\text{CH}_4$ ), Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Halogenkohlenwasserstoffe, darunter z.B. Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW).

### Ursachen für eine erhöhte Emission von Methan:

- intensive Landwirtschaft (Reisanbau, Massentierhaltung, Düngung)
- Gewinnung von Erdöl oder Erdgas
- Verbrennung von Biomasse aus Mülldeponien
- Abwässern.

### Ursachen für eine erhöhte Emission von Distickstoffoxid (Lachgas):

- Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern
- Einsatz von Düngemitteln
- Herstellung von Adipinsäure (Kunststoffe, Weichmacher, Lösungsmittel) in der Industrie

**Halogenkohlenwasserstoffe** sind künstlich produzierte Chemikalien. Sie werden aus Leitungssystemen von Kühlaggregaten, Isoliermaterial, Reinigungsmitteln und Sprühdosen freigesetzt. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) haben einen sehr starken Einfluss auf den Treibhauseffekt und können in der Atmosphäre durchschnittlich 44 bis 180 Jahre verweilen. Sie sind für den **Abbau der Ozonschicht (s.u.)** in der Stratosphäre („Ozonloch“) verantwortlich, weshalb der Einsatz von FCKW inzwischen verboten ist.

### Mögliche Folgen des zunehmenden Treibhauseffekts

- Abschmelzen der Gletscher und der Polkappen
- Anstieg des Meeresspiegels und somit eine Erhöhung der Überschwemmungsgefahr für Küstenstädte
- Verschiebung der Vegetationszonen
- Schwund der Lebensräume



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

### Weiterführende Literatur und Materialien zum Thema Treibhauseffekt

- Beuermann, C & Hüging, H (2014). **Vom Menschen gemacht. Der anthropogene Treibhauseffekt.** Bundeszentrale für politische Bildung Online (<http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/klimawandel/38441/anthropogener-treibhauseffekt>)
- Schrader, C (2014). **Verbot von FCKW. Balsam für die Schutzschicht der Erde.** SZ Online (<http://www.sueddeutsche.de/wissen/verbot-von-fckw-balsam-fuer-die-schutzschicht-der-erde-1.2125944>)
- Knauer, R (2015). **25 Jahre FCKW-Verbot. Es bleibt ein Loch ohne Boden.** Spektrum Online (<https://www.spektrum.de/news/25-jahre-fckw-verbot-wie-steht-es-um-das-ozonloch/1352353>)
- **Video:** Was ist der Treibhauseffekt? Eine Infofilm aus der Reihe "Global Ideas". 2 min (<http://www.bpb.de/mediathek/179226/was-ist-der-treibhauseffekt>)
- Bals, C et al. (2010). **Globaler Klimawandel. Klimawandel und Treibhauseffekt,** hrsg. v. Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., Berlin. ([PDF](#))
- Bojanowski, A (2015). **Klimawandel. Wärmestrahlen beweisen verstärkten Treibhauseffekt.** SPIEGEL Online (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/treibhauseffekt-messungen-zeigen-klimawandel-durch-co2-a-1020528.html>)
- Feldman, DR et al. (2015). **Observational determination of surface radiative forcing by CO<sub>2</sub> from 2000 to 2010.** Nature 519(7543): 339-343. (DOI: [10.1038/nature14240](https://doi.org/10.1038/nature14240)) ([PDF](#))
- 3sat Online (2018). **Der Treibhauseffekt. Mehrere Gase machen die Erde warm und wärmer.** (<http://www.3sat.de/page/?source=/nano/glossar/treibhauseffekt.html>)
- Mahnke, E (2015). **Treibhausgase: Gift für das Klima.** Heinrich-Böll-Stiftung Online (<https://www.boell.de/de/2015/06/02/treibhausgase-gift-fuer-das-klima>)
- Riemer, L. **Klimawandel. Wie Kohlendioxid das Klima verändert.** GEO Online (<https://www.geo.de/geolino/natur-und-umwelt/15385-rtkl-klimawandel-wie-kohlendioxid-das-klima-veraendert>)

### 3. Geoengineering

Geoengineering wird auch oft **Climate-Engineering** genannt, denn die Maßnahmen sind auf ein Entgegenwirken zu den Folgen der Klimaerwärmung ausgerichtet. Ein Zitat von David Keith aus seiner Veröffentlichung "Geoengineering the Climate: History and Prospekt" aus dem Jahr 2000 fasst es knapp und treffend zusammen:



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

"Absichtliche, großskalige Manipulation der Umwelt, um unerwünschten Effekten des anthropogenen Klimawandels entgegenzuwirken."

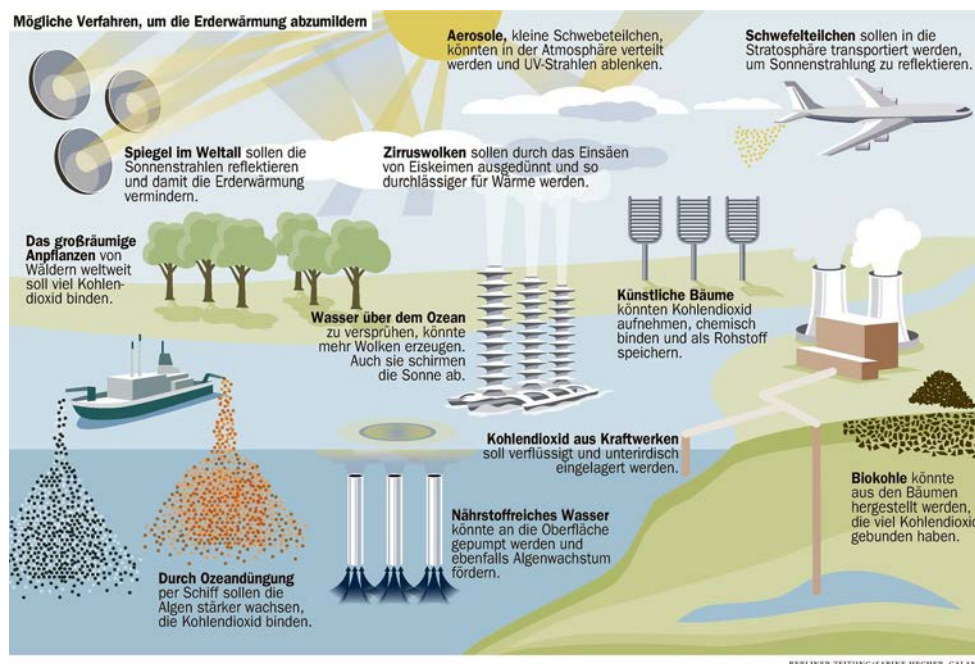
Die gesamte Publikation in englischer Sprache findet man hier:

[https://keith.seas.harvard.edu/files/tkg/files/26.keith\\_2000\\_geoengineeringhistoryandproject.e.pdf](https://keith.seas.harvard.edu/files/tkg/files/26.keith_2000_geoengineeringhistoryandproject.e.pdf)

In einem [Faktenblatt des Schweizer Umweltamtes](#) werden die **klimawirksamen Maßnahmen** als "**bewusste Manipulation des Klimasystems der Erde** mit dem primären Ziel, die vom Menschen verursachte globale Erwärmung abzuwenden oder zumindest zu vermindern" bezeichnet.

Dabei wird unterschieden zwischen **Kohlendioxid-entziehenden** Maßnahmen und **Sonneneinstrahlung-abschirmenden Maßnahmen**. Auch die Risiken der verschiedenen Methoden werden aufgeführt.

Als Übersicht mag folgende Abbildung der Berliner Zeitung dienen:





## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

Es gibt neben diesen unmittelbar Klimawandel-ausgerichteten Ansätzen auch Maßnahmen zur **Beregung von z.B. landwirtschaftlichen Flächen**, die aus rein wirtschaftlichen Gründen angewendet werden. Es handelt sich um **künstlich herbeigeführte Niederschläge durch Wolkenimpfung mit Silberiodid oder anderen Chemikalien**. Diese Maßnahmen werden weltweit von verschiedenen Ländern eingesetzt. Dieses Thema wird hier nicht behandelt.

Im folgenden Beitrag der ARD werden die möglichen Geo-Engineering Maßnahmen zur Unterstützung der Bekämpfung des Klimawandels anschaulich erläutert:

<https://www.youtube.com/watch?v=EMfTXgJH2Fc>

Eine umfassend informierende ca. 50-seitige Publikation zum Thema Geo-Engineering bietet das Umweltbundesamt an. Die Broschüre stammt aus dem Jahr 2011, ist daher nicht mehr brandaktuell, sie behandelt jedoch auch die rechtlichen Rahmenbedingungen sowie Kriterien zur Bewertung von Geo-Engineering Maßnahmen.

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4125.pdf>

Anlässlich des Weltklimagipfels im Jahr 2017 hat auch das ZDF auf seinen Seiten eine Reihe von gut recherchierten Beiträgen bereitgestellt:

<https://www.zdf.de/nachrichten/heute/geoengineering-das-gefaehrliche-experiment-mit-dem-klima-100.html>

Dort wird verlinkt auf die Heinrich-Böll-Stiftung und eine interaktive Weltkarte, auf der weltweit durchgeführte Geo-Engineering Projekte angezeigt werden, hauptsächlich sind dies Maßnahmen zur Speicherung von CO<sub>2</sub>, Strahlungsmanagement und Wettermodifizierungen. Man staunt über die große Zahl.

<https://map.geoengineeringmonitor.org/>

Über die Folgen der Geo-Engineering Maßnahmen schreibt der Tagesspiegel:

<https://www.tagesspiegel.de/wissen/geoengineering-schadet-mehr-als-es-hilft-folgeschwere-klima-manipulation/20874354.html#>

Exemplarisch für wissenschaftliche Studien zu den Auswirkungen der Geo-Engineering Maßnahmen auf die Biodiversität sei die Publikation von Trisos et al. (2018) genannt:



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

"Potentially dangerous consequences for biodiversity of solar geoengineering implementation and termination", in: *Nature Ecology & Evolution*, **volume 2**, pages 475–482 (2018). (DOI: [10.1038/s41559-017-0431-0](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0431-0)) ([PDF](#))

Ein eigenes Dossier hat die Zeitschrift Spiegel dem Thema im Jahr 2017 gewidmet:

[http://www.spiegel.de/thema/geo\\_engineering/](http://www.spiegel.de/thema/geo_engineering/)

Weiter wird vor dem Hintergrund, dass die Nebenwirkungen und Spätfolgen der Geo-Engineering-Maßnahmen noch nicht ausreichend erforscht sind, um sie ohne Bedenken einsetzen zu können, an Regelungen gearbeitet, die Experimente im großen Stil ebendieser Methoden durch Forscher eindämmen sollen.

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/geo-engineering-regierung-arbeitet-an-regeln-fuer-forscher-a-1198614.html>

Das Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) beim Deutschen Bundestag stellt seine Arbeitsberichte zum Thema Geoengineering hier bereit:

<http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u9900.html>

Auf der Seite wird kurz zusammengefasst (Ergebnisse aus dem Jahr 2014):

"Grundsätzlich sind die technologisch-naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Wirkungen und Nebenfolgen der CE-Technologien noch rudimentär. Vermutlich wären noch Jahrzehnte an (experimenteller) Forschung notwendig, um substantielle wissenschaftliche Erkenntnisse im Hinblick auf technische Entwicklungen und die Bewertung von Climate Engineering zu erzielen.

Nach derzeitigem Wissensstand wäre wohl keines der diskutierten CDR-Konzepte zu einer relevanten Senkung der globalen Temperaturen in der Lage. Gleichwohl könnten sich bestimmte Maßnahmen perspektivisch als sinnvolle und unter Umständen wichtige Klimaschutzinstrumente in Ergänzung zur Emissionsreduktion erweisen."

weiter heißt es:

"Climate Engineering kann somit als ein potenziell hochkontroverses Diskursthema eingeschätzt werden und der beispiellose globale Aspekt Auslöser für große Beunruhigung der Öffentlichkeit sein. Politisches Ziel sollte daher die





## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

rechtzeitige Etablierung eines gesamtgesellschaftlichen Diskussions- und Verständigungsprozesses sein, um einen möglichst breiten Konsens über den weiteren Umgang mit diesen Technologien herstellen zu können."

### 4. Das Jena Experiment

Das „Jena Experiment“ ist ein **Biodiversitätsexperiment mit Graslandarten** und untersucht die **Zusammenhänge zwischen pflanzlicher Artenvielfalt und Ökosystemprozessen**. Das "Jena Experiment" will herausfinden, welche **Mechanismen** zur Stabilität von Ökosystemen beitragen. Auf 10 Hektar, unterteilt in ca. 600 Parzellen, wachsen **künstlich zusammengestellte Graslandschaften** - von der **Monokultur** mit nur je einer Pflanzenart bis hin zur **Wiese aus 60 verschiedenen Gräsern, Kräutern und Hülsenfrüchtlern (Leguminosen)**. Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Versuchsanordnungen: Kombination von Pflanzen oder überdachte Flächen zur Simulation von Trockenheit. Die Wissenschaftler können dadurch die **Lebensgemeinschaften von den Bakterien bis zu den Säugetieren** sowie die **Stickstoff-, Phosphor- und Wasserkreisläufe und Kohlenstoffspeicherung** detailliert untersuchen.

Die Produktivität der Wiesen steigt mit zunehmender Pflanzenvielfalt, d.h. artenreichere Wiesen produzieren mehr Biomasse. Eine **hohe Pflanzenartenzahl** wirkt sich **positiv auf die Artenzahl anderer Organismen** aus. Artenreiche Wiesen stellen einen Lebensraum für **unterschiedlichere Bestäuber** dar. Die **Vermehrung von Schädlingen** ist zudem **stark eingeschränkt**. **Regenwürmer lockern den Boden** und lassen Regen besser an die Wurzeln dringen. Dies führt zu **Ertragssteigerung** und **Erosionsschutz**.

Im Boden artenreicher Wiesen stehen vielfältige abgestorbene Pflanzen- und Wurzelbestandteile zur Verfügung. Die Wurzeln scheiden **unterschiedliche, organische Verbindungen** aus. **Mikroorganismen** profitieren dadurch von einem reichen Angebot an Ressourcen - dies führt zu einer **mikrobiellen Diversität** im Boden: Mikroorganismen wandeln mehr tote Biomasse und Wurzelausscheidungen um und **speichern** auf lange Sicht **Kohlenstoff im Boden**.

[\(http://www.the-jena-experiment.de/\)](http://www.the-jena-experiment.de/)

<https://www.youtube.com/watch?v=yQSe6a2LBYM>



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

- Weiser, WW et al. (2017). **Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions**. Basic and Applied Ecology 23: 1-73. (DOI: [10.1016/j.baae.2017.06.002](https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.06.002)) (PDF)
- Technical University of Munich (TUM) (2017). **Jena Experiment: Loss of species destroys ecosystems: 15 years of biodiversity research in review**. ScienceDaily Online (<https://www.sciencedaily.com/releases/2017/11/171129120219.htm>)
- Roscher, C/ Gleixner, G & Schulze, ED (2010). **Experimentelle Biodiversitätsforschung – das „Jena Experiment“**. Forschungsbericht 2010 - Max-Planck-Institut für Biogeochemie. MPG Online (<https://www.mpg.de/465978/forschungsSchwerpunkt?c=152885>)
- Rüschemeyer, G (2010). **Biodiversität. Unkraut vergeht besser nicht**. FAZ Online (<http://www.faz.net/aktuell/wissen/natur/biodiversitaet-unkraut-vergeht-besser-nicht-1979878.html>)

### 5. Die Ozonschicht

Im Jahre **1994** erklärte die UN Generalversammlung den **16. September** zum "**Internationalen Tag zur Erhaltung der Ozonschicht**". Die Wahl des Datums dient dem Gedenken an den 16. September **1987**, an dem das "**Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen**" von den Vertragsparteien des **Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht** unterzeichnet wurde. Das Montrealer Protokolle ist somit ein **völkerrechtlich verbindlicher** Vertrag des Umweltrechts. Das Montrealer Protokoll wurde entwickelt, um die Produktion und den Verbrauch von ozonabbauenden Stoffen zu reduzieren und folglich die empfindliche **Ozonschicht der Erde zu schützen**. Das ursprüngliche Montrealer Protokoll trat am 1. Januar 1989 in Kraft. Es enthält heute einige Anpassungen und Veränderungen. Inzwischen haben 197 Staaten das Montreal-Protokoll ratifiziert.

(<http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>)

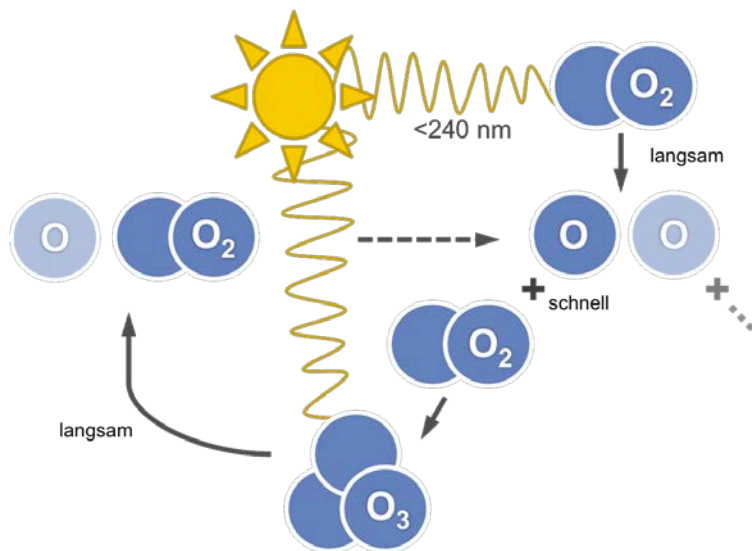
Was ist Ozon? Was ist die Ozonschicht? Was sind FCKWs? Und was ist ein Ozonloch?

Ozon ist ein **dreiatomiges Sauerstoffmolekül**, das als **Ozonschicht** (in ca. 20-45 km Höhe) in der **Stratosphäre** (Aufbau der Erdatmosphäre s.u.) auftritt. Die Ozonschicht umgibt die Erde wie ein **schützender Filter**. Ohne diesen Schutz erreichen mehr **kurzwellige ultraviolette Strahlen** der Sonne (UV-Licht) die Erdoberfläche, die u.a. **Hautkrebs** verursachen können. Doch wie entsteht Ozon? UV-Licht spaltet Sauerstoff (O<sub>2</sub>)

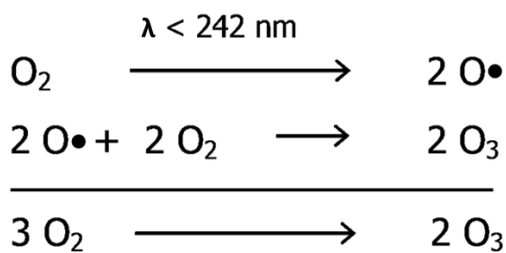


## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

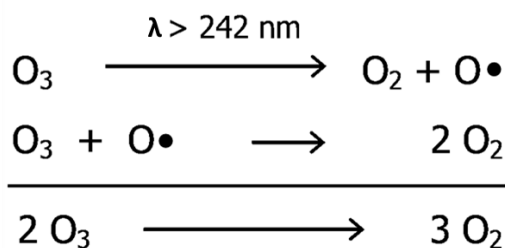
unter Bildung von hochreaktiven Sauerstoffradikalen ( $O^*$ ), die sich sofort mit Sauerstoffmolekülen ( $O_2$ ) zu Ozon ( $O_3$ ) verbinden. Unter Einwirkung von UV-Strahlen zerfällt Ozon ( $O_3$ ) erneut in ein Sauerstoffradikal ( $O^*$ ) und ein Sauerstoffmolekül ( $O_2$ ). Das Sauerstoffradikal ( $O^*$ ) kann nun entweder mit einem Sauerstoffmolekül ( $O_2$ ) erneut Ozon ( $O_3$ ) bilden oder ein Ozonmolekül ( $O_3$ ) zerstören und folglich 2 Sauerstoffmoleküle ( $O_2$ ) bilden.



### Ozonbildung



### Ozonabbau



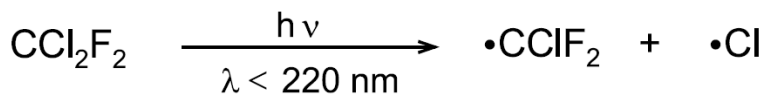
Das Ozon in der Ozonschicht **absorbiert Licht** der Wellenlängen zwischen **290 und 320 nm**. Über den Tropen finden durch die intensive UV-Strahlung am meisten Auf- und Abbauprozesse des Ozons statt. In den kälteren höheren Breiten überwiegen die Abbauprozesse. Dort ist die Ozonschicht besonders empfindlich.



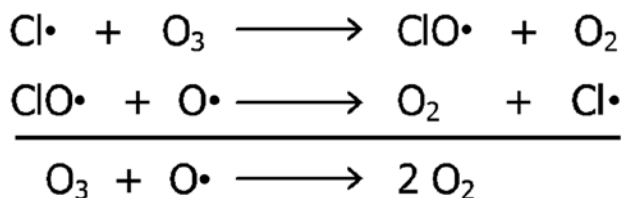
## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

Global gesehen befinden sich die Auf- und Abbauprozesse von Ozon im Gleichgewicht. Probleme bereiten Katalysatoren wie z.B. **Stickoxid-, Brom- oder Chlorradikale**. Sie kommen durchaus in der Atmosphäre natürlich vor, doch der **anthropogene Einfluss** erhöht ihre Konzentration derart, dass es zu einem verstärkten Abbau des Ozons kommt.

Die aus Treibgasen, Kühlmitteln und Reinigungsmitteln freigesetzten **Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)** und **Halone** sind effektive Ozon-Zerstörer. FCKW sind **extrem stabil** und können über viele Jahre in der unteren Atmosphärenschicht verbleiben. Gelangen sie allerdings in höhere Schichten, zerfallen sie unter dem Einfluss der UV-Strahlung.



Aus einem FCKW-Molekül wird unter dem Einfluss von UV-Licht ein Chlor-Radikal ( $\text{Cl}^*$ ) freigesetzt, welches ein Ozonmolekül ( $\text{O}_3$ ) angreift. Dabei entsteht Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) und Chlormonoxid ( $\text{ClO}^*$ ). Chlormonoxid verbindet sich dann mit einem freien Sauerstoffradikal ( $\text{O}^*$ ), wobei Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) und wieder ein Chlor-Radikal ( $\text{Cl}^*$ ) freigesetzt wird – das wiederum ein Ozonmolekül angreift. FCKWs sind also verantwortlich für die Zerstörung von Ozon sowie für eine erschwerte Neubildung von Ozon, da die Zahl der freien Sauerstoffradikale durch die Kettenreaktion reduziert wird. Ein Chlor-Radikal kann mehrere zehntausend Ozonmoleküle zerstören, bis es als Chlorwasserstoff ( $\text{HCl}$ ) mit Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) entfernt wird.



<https://www.youtube.com/watch?v=lxQ5kzR6PBI>

### Aufbau der Erdatmosphäre

- Troposphäre (0-15 km Höhe)
- Stratosphäre (15-50 km Höhe)
- Mesosphäre (50-85 km Höhe)



## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?

- Thermosphäre (85-500 km Höhe)
- Exosphäre (500-10.000 km Höhe)

### Optische Strahlung

Als optische Strahlung bezeichnet man einen Teilbereich des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen zwischen 100 nm und 1 mm. Sie umfasst drei Bereiche:

- Ultraviolette Strahlung (UV; Wellenlänge 100-400 nm)
- Sichtbares Licht (VIS; Wellenlänge 400-780 nm)
- Infrarot-Strahlung (IR; Wellenlänge 780 nm bis 1 mm, auch als Wärmestrahlung bezeichnet)

### UV-Strahlung der Sonne

- UV-A-Strahlung (Wellenlänge 315-400 nm)
- UV-B-Strahlung (Wellenlänge 280-315 nm)
- UV-C-Strahlung (Wellenlänge 100-280 nm)

### Weiterführende Materialien zum Thema Ozon und Ozonloch

- Franck, A (2017). **Ozon**. Planet Wissen Online (<https://www.planet-wissen.de/natur/klima/klimawandel/pwieozon100.html>)
- Läubli, M (2018). **Die Ozonschicht ist so dünn wie noch nie**. SZ Online (<http://www.sueddeutsche.de/wissen/atmosphaere-die-ozonschicht-ist-so-duenn-wie-noch-nie-1.3856013>)
- MDR Online (2018). **Forscher schlagen Alarm Die Ozonschicht wird immer dünner**. (<https://www.mdr.de/wissen/umwelt/ozon-konzentration-stratosphaere-schrumpft-weiter-100.html>)
- BR Online (2018). **Ozonloch. Die Ozonschicht ist ein schwieriger Patient**. (<https://www.br.de/themen/wissen/ozonloch-antarktis-suedpol-arktis-fckw-ozonschicht-100.html>)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Online. **Ozonschicht / Ozonloch**. (<http://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/luftreinhaltung/ozonschicht-ozonloch/>)
- Baumann, S et al. (2017). **1987 – 2017: 30 Jahre. Montrealer Protokoll. Vom Ausstieg aus den FCKW zum Ausstieg aus teilfluorierten Kohlenwasserstoffen**, hrsg. v. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. ([PDF](#))

## Zusatzmaterial zur Sendung 23: Brauchen wir eine Medizin der Erde?



- Miehle, P et al. (2014). **Ozonschicht und Ozonloch**, hrsg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg. ([PDF](#))
- Pressemitteilung Nr. 308/17 des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). **Das Ozonloch ist auf dem Rückzug.** (<https://www.bmu.de/pressemitteilung/das-ozonloch-ist-auf-dem-rueckzug/>)