

3. Klima und Luft

Kapitel 3 beinhaltet die Themen Klima, Klimawandel, Klimaschutz, Klimawandelanpassung sowie rechtliche Regelungen zum Klimaschutz. Darüber hinaus werden die wichtigsten Luftschadstoffe vorgestellt.

Wetter – Witterung - Klima

Wetter ist der momentane Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort für relativ kurze Zeitspannen von ein paar Stunden bis zu Wochen.

Der über mehrere Tage bis zu einer Jahreszeit vorherrschende Wettercharakter wird auch **Witterung** genannt.

Klima beschreibt den Durchschnitt, aber auch Extremwerte und Schwankungen aller Wettererscheinungen an einem Ort oder in einer Region über einen längeren Zeitraum von Jahrzehnten bis zu erdgeschichtlichen Zeitskalen [2]

Klimawandel

Als Klimawandel bezeichnet man die Veränderung des Klimas auf der Erde, unabhängig davon, ob die Ursachen auf natürlichen oder menschlichen (anthropogenen) Einflüssen beruhen. Die gegenwärtige globale Erwärmung ist ein Beispiel für einen vor allem vom Menschen verursachten Klimawandel. Der Klimawandel kann in langfristige, kurzfristige und von Menschen verursachte Phänomene eingeteilt werden.

Langfristiger Klimawandel aufgrund von

- wandelnden Erdplatten
- langfristigen Änderungen der Sonnenaktivität
- Änderung der Sonneneinstrahlung aufgrund von Änderungen in der Erdbahngeometrie (Neigung und Taumeln der Erdachse sowie Abweichungen von der Bahnellipse = Milankovitchzyklen)

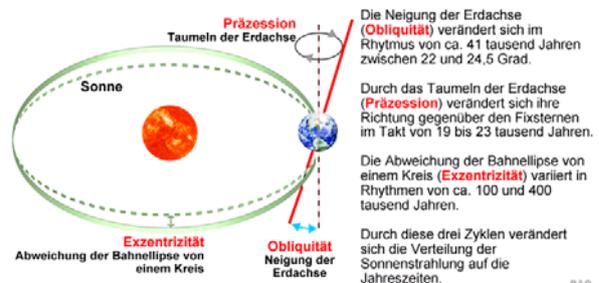


Abbildung 1: Milankovitch-Zyklen; Quelle: RAOnline [1]

Kurzfristiger Klimawandel aufgrund von

- Vulkanaktivitäten
- kurzfristigen Sonnenaktivitäten

Anthropogener Klimawandel

Der menschenversursachte Klimawandel wird als anthropogener Klimawandel bezeichnet und wird durch eine veränderte Zusammensetzung der Gase der Erdatmosphäre verursacht. Durch die von Menschen verursachten Emissionen von Gasen in die Erdatmosphäre ändert sich der Wärmehaushalt der Erde durch einen verstärkten Treibhauseffekt.

Der Treibhauseffekt

Die Erdatmosphäre setzt sich hauptsächlich aus Stickstoff (78,1 %), Sauerstoff (20,9 %) und Argon (0,93 %) zusammen. Klimawirksam sind allerdings nur die sogenannten Spurengase wie zum Beispiel Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), und Distickstofffoxid (N₂O), deren Anteil zusammen unter 1% liegt. Diese Spurengase sind für den Treibhauseffekt verantwortlich.

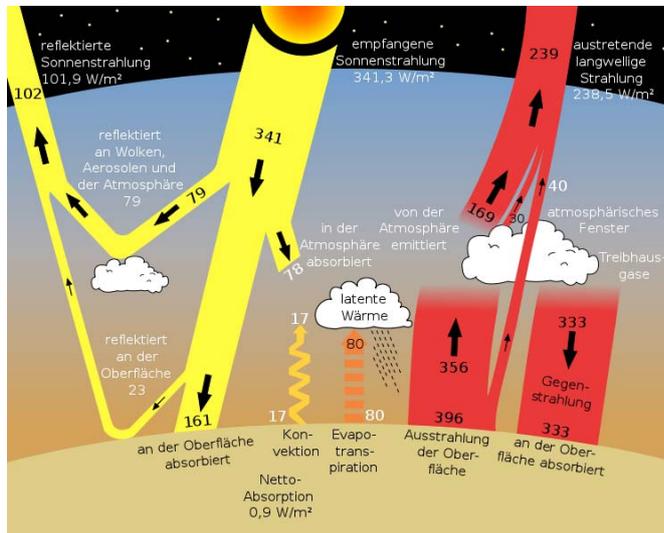


Abbildung 2: Energiebilanz der Erde, Quelle: NASA [3], gemeinfrei

Der Energiehaushalt der Atmosphäre ist in Abbildung 2 ersichtlich. Auf die Atmosphären-Obergrenze trifft die Solarstrahlung mit 1367 W/m² auf eine zur Strahlung senkrecht stehende Fläche auf. (Solarkonstante). Da aber nur eine Hälfte der Erde der Sonne zugewandt ist und die gekrümmte Erdoberfläche nicht im rechten Winkel zur Sonneneinstrahlung steht, beträgt die durchschnittliche Sonnenstrahlung pro Quadratmeter Erdoberfläche 341,3 Watt.

Ein Teil der kurzwelligen Sonnenstrahlung reagiert mit der Erdatmosphäre: Teilweise wird die Strahlung durch die Gase in der Atmosphäre umgelenkt (Streuung –

Himmelsblau), teilweise wird sie durch Reflexion (z. B. an Wolken ins Weltall zurückgelenkt, und teilweise von den Gasen absorbiert. Der Teil der kurzwelligen Strahlung, der die Erdoberfläche erreicht, wird zum Teil von der Erdoberfläche als kurzwellige Strahlung reflektiert, und der andere Teil wird von der Erdoberfläche absorbiert. Dadurch erwärmt sich die Erdoberfläche und gibt langwellige Strahlung ab. Treibhausgase in der Atmosphäre lassen einen Teil der langwelligen Wärmestrahlung nicht in das Weltall entweichen, sondern nehmen deren Energie auf. Die dabei aufgenommene Energie wird wieder als Wärme abgegeben und zur Erdoberfläche zurückreflektiert. Dieser Treibhauseffekt bewirkt eine Temperaturerhöhung auf der Erde um 33 Kelvin. Die Erde hätte ohne Atmosphäre eine mittlere Temperatur von -18°C. Der Treibhauseffekt bewirkt eine Erhöhung der mittleren Erdtemperatur auf wirtliche 15°C.

Der Wärmestrom aus dem Erdinneren spielt praktisch keine Rolle und ist mit ca. 0,06 Watt pro Quadratmeter vernachlässigbar.

Treibhausgase

Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Distickstoffmonoxid und Flourkohlenwasserstoffe sind die wichtigsten für den Treibhauseffekt verantwortlichen Gase in der Atmosphäre.

Treibhausgaspotential und Verweildauer der Treibhausgase in der Atmosphäre

Tabelle 1: Klimawirksamkeit unterschiedlicher Treibhausgase, im Vergleich zu CO₂, bezogen auf 100 Jahre; Quelle: IPCC [4]; eigene Darstellung

	Wasserdampf	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Fluorierte Kohlenwasserstoffe
GWP100	< 1	1	25	298	Bis 20.000
Atmosphärische Verweildauer	gering	120 Jahre	12 Jahre	114 Jahre	> 1000 Jahre

Die unterschiedlichen Treibhausgase sind unterschiedlich stark treibhauswirksam und verbleiben auch unterschiedlich lang in der Atmosphäre.

Tabelle 1 stellt die Treibhauspotentiale (=Klimawirksamkeit) der wichtigsten Treibhausgase dar. Sie wurden auf die Wirksamkeit von CO₂ bezogen (CO₂-Äquivalente, CO₂äq) unter Zugrundelegung einer 100 jährigen Verweilzeit (GWP 100) in der Atmosphäre.

Abbildung 3 zeigt zusammenfassend den Anstieg der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid in der Atmosphäre über einen Zeitraum von 2.000 Jahren. Dabei ist deutlich der Anstieg mit Beginn der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert erkennbar.

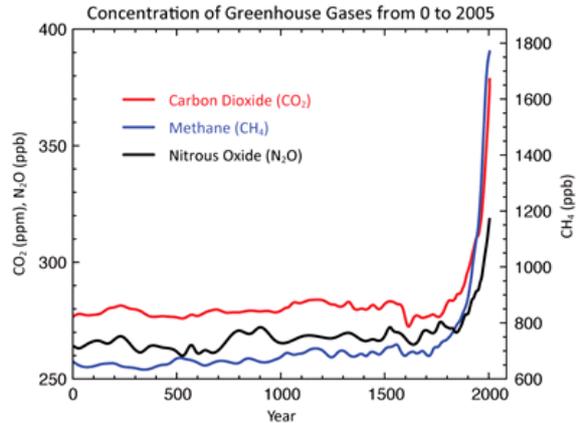


Abbildung 3: Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, Quelle: IPCC [5]

Wasserdampf H₂O

Wasserdampf ist als 3-atomiges Molekül am Treibhauseffekt beteiligt. Die Verweildauer in der Atmosphäre ist sehr gering. Wasserdampf führt in weiterer Folge zur Wolkenbildung, wodurch die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche verringert wird.

Ob die Zunahme des Wasserdampfes in der Atmosphäre treibhausverstärkend oder durch die Wolkenbildung dämpfend wirkt, ist noch nicht endgültig geklärt.

Kohlendioxid CO₂

Das mengen- und wirkungsmäßig wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Kohlendioxid ist für rund 70 % des Treibhauseffektes verantwortlich. Die Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre beträgt ungefähr 120 Jahre. Der vorindustrielle CO₂-Gehalt der Luft betrug ca. 280 ppm (parts per million), bei der langjährigen Beobachtung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre wurde 2015 erstmals der Jahresdurchschnittswert von 400 ppm überschritten.

Die wichtigste Emittentenquelle von CO₂ ist die Verbrennung fossiler Rohstoffe. Abbildung 4 zeigt die enge Korrelation zwischen dem atmosphärischen Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre und dem Energieverbrauch von Öl, Gas, Kohle und für die Zementproduktion seit Beginn der industriellen Revolution.

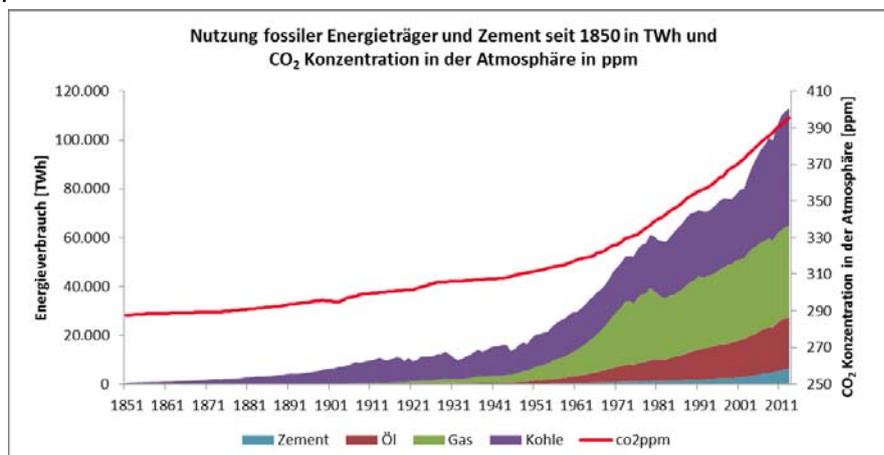


Abbildung 4: Energieverbrauch und CO₂-Konzentration in der Atmosphäre seit 1851, Quelle: Earth Policy Institute [6]; eigene Darstellung

In Abbildung 5 ist der Anstieg von Kohlendioxid in der Atmosphäre auf der Insel Mauna Loa, Hawaii ersichtlich.

Seit 1958 werden auf einer meteorologischen Forschungsstation auf dem Vulkan Mauna Loa, Hawaii, CO₂-Messungen durchgeführt. Dies ist die längste kontinuierliche Messreihe des CO₂-Gehalts der Atmosphäre. Die Messergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist einerseits der deutliche Anstieg der Konzentration im Jahresmittel, aber auch die jahreszeitliche Schwankung des CO₂-Gehalts. Dieser ist auf die vermehrte Pflanzenaktivität, insbesondere der ausgedehnten Wälder in Sibirien und Kanada [8] im Sommer auf der Nordhalbkugel zurückzuführen.

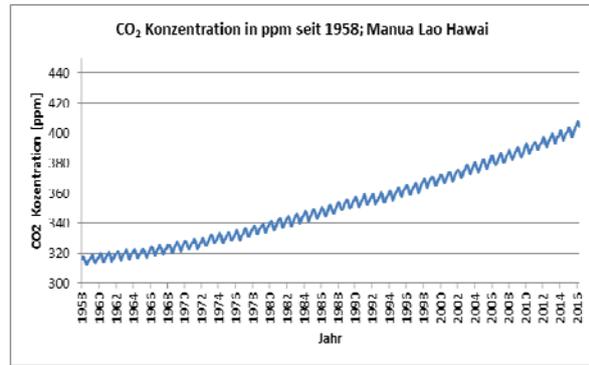


Abbildung 5: CO₂-Konzentration in ppm seit 1958, aus Mauna Loa; Daten aus [7]; eigene Darstellung

Methan CH₄

Methan trägt zu 20 % zum Treibhauseffekt bei. Es entsteht vor allem beim Reisanbau, bei der Rinderhaltung und auf Mülldeponien. Methan ist 25-mal so treibhausgaswirksam wie Kohlendioxid, die Verweildauer in der Atmosphäre beträgt 12 Jahre.

Durch menschliches Handeln wird das Treibhausgas Methan in größeren Mengen freigesetzt als dies natürliche Quellen wie Sümpfe, Ozean und andere tun.

Etwa ein Drittel der Methan-Emission stammt aus natürlichen Quellen. Bestimmte Bakterien, die in feuchtem Milieu leben (Moore, Gewässer, Verdauungstrakt von Tieren), produzieren bei ihrem Stoffwechsel Methan.

Ein weiteres Drittel ist unmittelbar anthropogen, d.h. es wird vom Menschen freigesetzt. Zu den Hauptquellen zählen Bergbau, Kohle-, Gas- und Ölförderung, Verbrennungsprozesse und Müllhalden. Der Rest wird indirekt vom Menschen verursacht. Wiederkäuer (vor allem Rinder) nutzen bei der Verdauung methanproduzierende Bakterien, andere Bakterien sind beim (feuchten) Reisanbau nötig.

Distickstoffmonoxid (Lachgas) N₂O

Es gibt natürliche und anthropogene Quellen für Distickstoffmonoxid.

Natürliche Quellen für N₂O sind Ausgasungen aus Ozeanen und Böden. Anthropogene Quellen von Lachgas sind die Stickstoffdüngung in der Landwirtschaft, die Tierhaltung, Verbrennungsprozesse und Prozesse in der chemischen Industrie. Die Treibhauswirkung von Lachgas ist 298-mal so hoch wie jenes von Kohlendioxid (GWP₁₀₀ = 298), sein Anteil am Treibhauseffekt liegt bei rund 5 %. Die Konzentration in der Atmosphäre hat seit Beginn der Industrialisierung um ungefähr 20 % zugenommen. Die Verweildauer von N₂O in der Atmosphäre beträgt 114 Jahre.

Weltweit ist es das wichtigste Treibhausgas, das von der Landwirtschaft freigesetzt wird. Durch eine mengenmäßig und zeitmäßig angepasste Ausbringung von Kunstdünger und Gülle auf die Felder lassen sich Lachgasemissionen reduzieren.

Flourkohlenwasserstoffe (H-FKW und FKW)

Bei den Fluorkohlenwasserstoffen wird zwischen den teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (H-FKW) und den vollständig halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) unterschieden.

HFKW und FKW sind Gase, die - als Ersatz für die Ozon-schädigenden FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) - zur Herstellung von Schaumstoff, in Kühlanlagen, als Feuerlöschsubstanzen und als Lösungsmittel eingesetzt werden. Teilweise wird ein Flourkohlenwasserstoffgas (Treibhausgaspotenzial kleiner 300) auch bei der Herstellung von Dämmstoffen (XPS-Platten) verwendet.

Das Treibhauspotenzial der einzelnen fluorierten Kohlenwasserstoffe ist sehr unterschiedlich und liegt zwischen 140 (Fluormethan, CH₃F) und 14.800 (Trifluormethan, CHF₃).

Schwefelhexafluorid SF₆ und Stickstofftrifluorid NF₃

Schwefelhexafluorid SF₆ wird vor allem als Kühl- und Isolationsgas eingesetzt. Ein Hauptanwendungsgebiet findet sich insbesondere in der Elektrotechnik. Es wird als Schutzgas in

Hochspannungsanlagen und in der Halbleiterindustrie als Ätz- und Reinigungsgas eingesetzt. Aufgrund der guten Schallschutzeigenschaften wurde SF₆ früher als Isoliergas in Schallschutzfenstern verwendet. SF₆ ist ein sehr starkes Klimagas mit einer atmosphärischen Verweildauer von ca. 3.200 Jahren. SF₆ hat ein Treibhauspotenzial von 22.800. Sein Anteil in der Atmosphäre und damit sein Anteil am Treibhauseffekt sind jedoch sehr gering.

Stickstofftrifluorid ist ein besonders klimaschädliches Treibhausgas, dessen Treibhauspotenzial rund 17.200-mal größer ist als jenes von Kohlendioxid. Seine Lebensdauer in der Atmosphäre beträgt bis zu 740 Jahre.

Stickstofftrifluorid wird vornehmlich in der Halbleiterindustrie, zum Beispiel bei der Herstellung von Flachbildschirmen und Solarzellen, eingesetzt, um Rückstände bei der Bedampfung zu entfernen.

Zusammensetzung der Emission anthropogener Treibhausgase

Abbildung 6 zeigt die prozentuelle Verteilung der globalen Emission unterschiedlicher Treibhausgase im Jahr 2010, bezogen auf Kohlendioxid auf 100 Jahren (GWP 100) Verweildauer bezogen.

Anteil der anthropogenen Treibhausgase

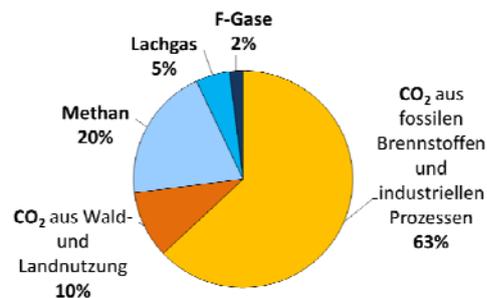


Abbildung 6: Emission anthropogener Treibhausgase global im Jahr 2010 (GWP100) in Prozent bezogen auf CO₂-Äqu., Quelle: IPCC [9] ;eigene Darstellung

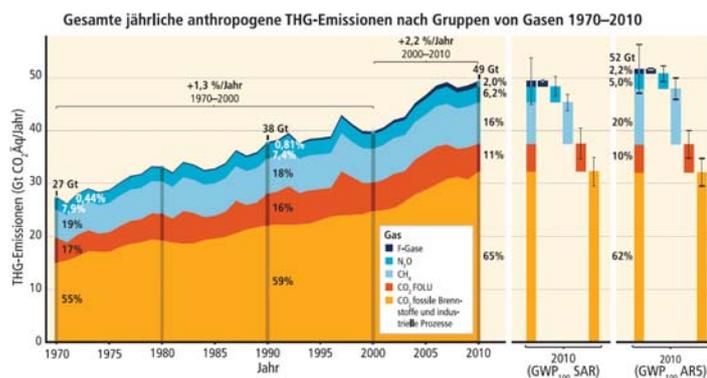


Abbildung 7: Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgasemissionen nach Gruppen 1970-2010; Quelle: IPCC [10]

In Menge und Wirksamkeit ist CO₂ (Kohlendioxid) das wichtigste Treibhausgas. Die größten Teile der Emissionen stammen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und Prozessen in der Industrie. Rund 10 % der globalen CO₂ Emissionen stammen aus der Entwaldung und der Versiegelung von Landflächen. Für 20 % des Treibhausgaspotentials ist Methan verantwortlich, 5 % Lachgas und 2 % stammen von der Freisetzung von fluorierten Gasen.

Insgesamt wurden 2010 52 Gigatonnen Treibhausgase, bezogen auf Kohlendioxidäquivalente emittiert.

CO₂-Ausstoß von Energieträgern

Jeder fossile Energieträger setzt bei der Verbrennung eine gewisse Menge CO₂ pro erzeugter kWh Energie frei.

Wie viel CO₂ freigesetzt wird, hängt von der chemischen Zusammensetzung des Energieträgers ab. Je langkettiger die Kohlenwasserstoffe sind, umso mehr Kohlenstoffatome enthält das Brennstoffmolekül gegenüber Wasserstoffatomen, desto mehr CO₂ wird bei der Verbrennung gebildet. Aus diesem Grund entsteht bei der Verbrennung von Methan (CH₄) die geringste Menge CO₂, da zwei Sauerstoffmoleküle O₂ der Verbrennungsluft mit dem Methanmolekül nur ein CO₂-Molekül, aber zwei H₂O-Moleküle bildet.

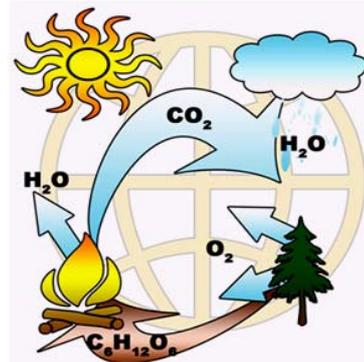


Abbildung 8: Kohlenstoffkreislauf von Biomasse; Quelle: Amt der NÖ

Biomasse enthält auch Kohlenstoff, der bei der Verbrennung (z. B. von Holz oder Biogas) genauso wie bei den fossilen Brennstoffen zu CO₂ oxidiert und freigesetzt wird. Biomasse wird bei den Emissionen aufgrund der Annahme eines geschlossenen Kohlenstoffkreislaufes fast mit Null bilanziert: Es wird davon ausgegangen, dass Biomasse *nachhaltig produziert wird*.

Abbildung 8 zeigt, dass jeder Baum, der verbrannt wird, als heranwachsender Baum durch die Photosynthese bereits gleich viel CO₂ in Kohlenstoff und Sauerstoff umgewandelt hat wie bei der Verbrennung freigesetzt wird.

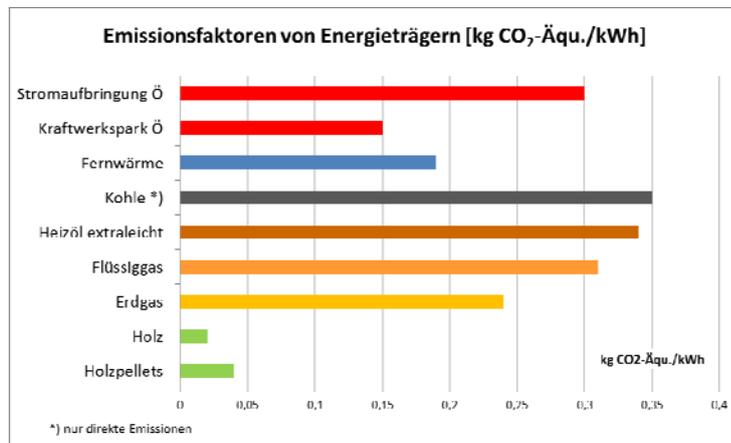


Abbildung 9: Daten aus Tabelle 2; eigene Darstellung

Tabelle 2 und 9 zeigen die Emissionsfaktoren der wichtigsten Brennstoffe laut Umweltbundesamt und OIB-Richtlinie 6 (Werte in Klammer).

Tabelle 2: Emissionsfaktoren unterschiedlicher Energieträger; Quelle: Quaschnig 2018 [11], Umweltbundesamt [12]

Energieträger	Heizwert	Einheit	direkte Emissionen [kg/kWh]	indirekte Emissionen [kg/kWh]	gesamt [kg/kWh]
Kohle			0,35 ^[11]		
Heizöl extraleicht	11,93	kWh/kg	0,27	0,07	0,34 ^[12]
Erdgas	10,1	kWh/Nm ³	0,20	0,04	0,24 ^[12]
Flüssiggas	12,81	kWh/kg	0,23	0,08	0,31 ^[12]
Holzpellets *	4,9	kWh/kg	0,0049	0,04	0,04 ^[12]
Holz *	3,94	kWh/kg	0,0049	0,02	0,02 ^[12]
Fernwärme	–		–	–	0,19 ^[12]
Stromaufbringung Ö					0,30 ^[12]
Kraftwerkspark Ö					0,15 ^[12]

* direkte Emissionen inkl. Methan und Lachgas

Emissionsszenarien

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC wurden für die zukünftigen Emissionen fünf Szenarien (RCP - Representative Concentration Pathways bzw. Repräsentative Konzentrationspfade) berechnet. Die Werte 2,6 bis 8,5 und beschreiben die Erhöhung des solaren Strahlungsantriebs in W/m². RCP 2,6 beschreibt das Klimaschutzszenario, RCP 8,5 ein Business as usual- Szenario. Je Zur Einhaltung des 2 Grad Ziels von Paris ist das Emissionsszenario RCP 2,6 einzuhalten. (vgl: IPCC 2014, S. 87) Abbildung 10 zeigt die unterschiedlichen Emissionsszenarien und die zu erwartenden CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre.

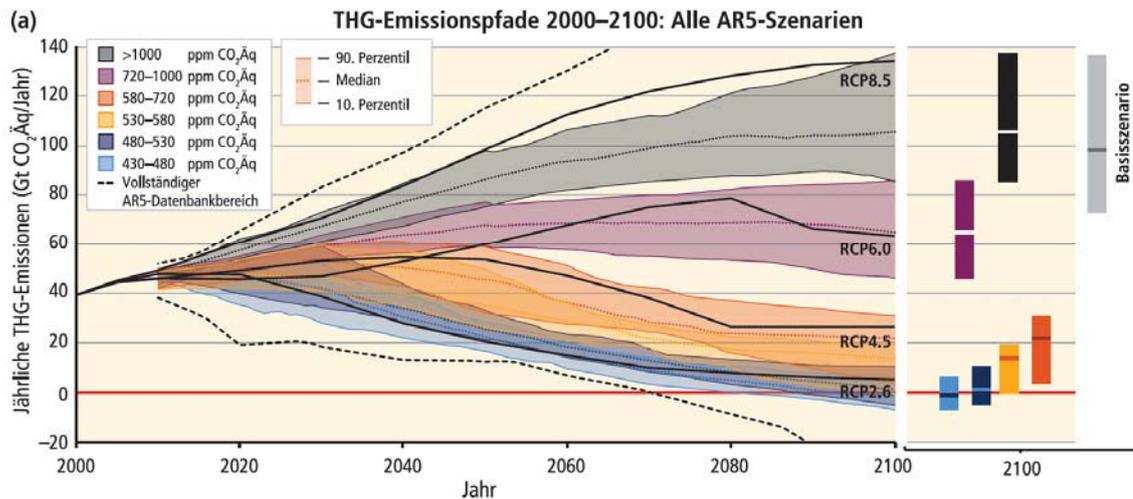


Abbildung 10: Treibhausgasemissionspfade 2000-2100 Quelle: IPCC [13]

Kippelemente im Klimasystem

Im zusammenhängenden globalen Kohlenstoffkreislauf ergeben sich bei überschreiten von Temperaturschwellen selbstverstärkende Kippeffekte. Beispielsweise entweichen bei Auftauen von Permafrostböden großen Mengen Methan und befeuern somit weiter den Treibhauseffekt. Oder durch das Abschmelzen von Gletschern sinkt die Reflexion von Solarenergie und die auf die Erde auftreffende Solarstrahlung wird vermehrt in Wärmestrahlung umgewandelt, was zu einer weiteren Erhöhung des Treibhauseffektes führt. Abbildung 11 zeigt die Geografische Einordnung der wichtigsten Kippelemente im Erdsystem mit Angabe der Bevölkerungsdichte. Die Kippelemente lassen sich in drei Klassen einteilen: schmelzende Eiskörper, sich verändernde Strömungssysteme der Ozeane und der Atmosphäre, und bedrohte Ökosysteme von überregionaler Bedeutung. Fragezeichen kennzeichnen Systeme, deren Status als Kippelement wissenschaftlich noch nicht gesichert ist

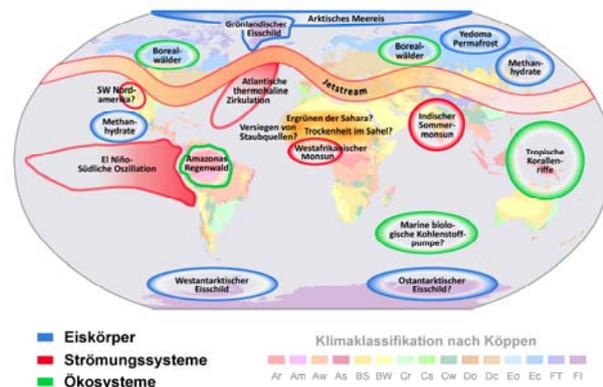


Abbildung 11: Geografische Einordnung der wichtigsten Kippelemente im Erdsystem, Quelle: Timothy M. Lenton [14]

Eiskörper (blau)

Wo das helle Eis schwindet, kommt meist ein dunklerer Untergrund zum Vorschein, sei es das felsige Bett eines Gletschers oder das Meer. Diese freigelegte dunkle Oberfläche nimmt mehr Sonnenwärme auf, die wiederum den Schwund des verbliebenen Eises beschleunigt. Dieser Mechanismus, die so genannte Eis-Albedo-Rückkopplung, ist ein klassisches Beispiel eines selbstverstärkenden Prozesses, bei dem ein und dasselbe Phänomen, nämlich der Eisverlust, sowohl Folge als auch ein Teil der Ursache der lokalen Temperaturerhöhung ist. Daneben gibt es noch viele weitere Mechanismen, welche - wie im Folgenden beschrieben - die großen Eismassen des Erdsystems zu Kippelementen machen.

- Schmelzen des Arktischen Meereises
- Verlust des Grönland-Eispanzers
- Kollaps des Westantarktischen Eisschildes
- Teilkollaps in der Ostantarktis
- Auftauen der Yedoma-Dauerfrostböden
- Methan-Ausgasung aus den Ozeanen

Strömungssysteme (rot)

Es gibt ganzjährig oder saisonal vorherrschende großskalige Muster von Luft- und Meeresströmungen, sowie mehrjährige natürliche Schwankungen, die nicht unveränderlich sind. In der Klimageschichte unseres Planeten hat es mehrfach Umbrüche und Phasen der Neuorganisation gegeben. Mit welchen möglicherweise abrupten Veränderungen der Strömungssysteme wir in Zukunft zu rechnen haben, ist im Folgenden zusammengefasst.

- Abschwächung der Atlantischen Thermohalinen Zirkulation
- Störung des El Niño-Phänomens
- Verlangsamung oder Einrasten der Planetarischen Wellen des Jet Streams
- Destabilisierung des Indischen Monsuns
- Verlagerung des Westafrikanischen Monsuns mit Auswirkung auf die Sahara
- Austrocknen des Nordamerikanischen Südwestens

Ökosysteme (grün)

Wenn es Pflanzen- und Tierarten in einem Gebiet zu warm oder zu trocken wird - wenn sich ihre ökologische Nische aufgrund klimatischer Änderungen schließt - werden sie sich dort nicht halten können. Einige Arten sind gut dafür gerüstet auszuweichen, zum Beispiel polwärts oder in größere Höhenlagen. Arten, die an sehr spezifische Lebensbedingungen wie z.B. in Gebirgs- oder Polarlebensräumen angepasst sind - können das nicht. Ohnehin sind geeignete Lebensräume in der heute zum größten Teil vom Menschen beanspruchten Welt rar. Der Klimawandel könnte ganze Landstriche verändern, indem er Ökosystem-Gemeinschaften, ihr typisches Klima und die daran angepassten Artengemeinschaften verschwinden lässt.

- Umwandlung des Amazonas-Regenwaldes
- Rückgang der Nordischen Nadelwälder (Borealwälder)
- Zerstörung von Korallenriffen
- Abschwächung der Marinen Kohlenstoffpumpe

(vgl: Potsdam - Institut für Klimaforschung auf Basis, URL: <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>, zuletzt abgerufen am 05.10.2017)

Abbildung 12 zeigt ein wahrscheinlich großes Problem unserer Zukunft. Die unterschiedlichen Kippunkte im globalen System werden bei unterschiedlichen Temperaturzunahmen erreicht. Statt präziser Schwellenwerte für die einzelnen Kippelemente sind ganze Wertebereiche angegeben. Damit soll den Unsicherheiten und Unschärfen Rechnung getragen werden, die zurzeit noch nicht wissenschaftlich ausgeräumt sind. Der niedrigste Temperaturwert, wo das fragliche Element bereits kippen könnte, ist in hellem Gelb gehalten; je wahrscheinlicher das Umspringen wird, desto intensiver rötet sich der Fehlerbalken. Mit fortschreitender Erderwärmung überfahren wir höchstwahrscheinlich ökologische Stoppschilder. Schon bei einer Temperaturerhöhung von unter zwei Grad folgen

Auswirkungen auf Korallenriffe oder alpine Gletscher oder dem Grönlandeis. Wenn wir Treibhausgase weiter wie bisher emittieren folgen weitere Veränderungen wie das Abschmelzen von Eisschildern in der Antarktis. (vgl. Schellnhuber 2015, S. 563)

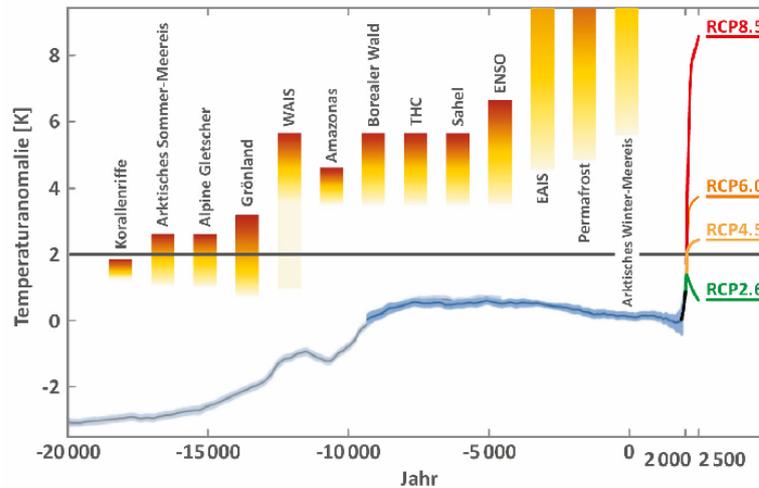


Abbildung 12: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur bei verschiedenen Emissionswegen, überlagert mit den verschiedenen Kippelementen; Schellnhuber 2015 [15]

Nationale und internationale Klimapolitik

Klimavertrag von Paris

Das Übereinkommen von Paris ist eine Vereinbarung der 195 Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) mit dem Ziel des Klimaschutzes in Nachfolge des Kyoto-Protokolls. Das Übereinkommen wurde am 12. Dezember 2015 auf der UN-Klimakonferenz in Paris verabschiedet und trat am 4. November 2016 in Kraft.

Die wichtigsten Vertragspunkte:

- Internationaler Vertrag bei dem sich alle Vertragsstaaten zur einer Reduktion der Treibhausgase verpflichtet haben
- Ziel ist die Begrenzung der Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C, idealerweise auf 1,5 °C gegenüber dem Beginn des 19. Jahrhunderts
- Die Nettotreibhausgase müssen bis 2100 auf Null reduziert werden
- Überprüfung der zugesagten Emissionsverpflichtungen alle 5 Jahre, erste Überprüfung 2023
- Fahrplan zur Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und der Energiewende. Von 2020 bis 2025 sollen für Entwicklungsländer jährlich 100 Milliarden Dollar zur Verfügung gestellt werden
- Mechanismen für Schadenersatz für Länder, die besonders stark an den Folgen des Klimawandels leiden (Loss and Damage)

EU-Klimaziele

Die EU hat sich im Dezember 2008 bei den "20-20-20" Zielen zu einer 20-prozentigen Reduktion der Treibhausgase bis 2020 geeinigt. Bis 2030 sollen die Treibhausgase um 40 Prozent gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 reduziert werden.

Für Österreich wurden folgende Ziele bei den Treibhausgasemissionen vereinbart:

- 2020: Minus 16 Prozent Treibhausgase gegenüber dem Bezugsjahr 2005 im Bereich NON ETS (Treibhausgase die nicht im Emissionshandel erfasst sind)
- 2030: Minus 36 Prozent Treibhausgase gegenüber dem Bezugsjahr 2005 im Bereich NON ETS

Österreichisches Klimaschutzgesetz

Im Jahr 2011 wurde das österreichische Klimaschutzgesetz (KSG) beschlossen. Darin wurden jährliche sektorale Treibhausgasemissionshöchstmengen für den Zeitraum 2013 bis 2020 definiert. Die jährliche Höchstmenge wurde für die folgenden sechs Bereiche festgeschrieben:

- Abfallwirtschaft
- Energie und Industrie (NON ETS)
- Fluorierte Gase
- Gebäude
- Landwirtschaft
- Verkehr

Die unter den EU-Emissionshandel fallenden Betriebe in den Bereichen Industrie und Energieversorgung werden im KSG nicht aufgeführt.

Der Emissionshandel ist ein marktwirtschaftliches Instrument innerhalb der EU zur Reduktion der Treibhausgase von großen Feuerungsanlagen und energieintensiven Betrieben. Wer die Luft mit Treibhausgasen belastet, benötigt hierzu sogenannte Verschmutzungsrechte. Die Verschmutzungsrechte werden den Unternehmen zugeteilt oder müssen am Markt erworben bzw. verkauft werden.

Tabelle 3: Jährliche Höchstmengen von Treibhausgasemissionen nach Sektoren für den Verpflichtungszeitraum 2013 bis 2020 in Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxidäquivalent; Klimaschutzgesetz [16]

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Abfallwirtschaft	3,1	3	3	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7
Energie und Industrie (NON ETS)	7	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,6	6,5
Fluorierte Gase	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1
Gebäude	10	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9
Landwirtschaft	8	8	8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Verkehr	22,3	22,3	22,2	22,1	22	21,9	21,8	21,7
	52,6	52,1	51,7	51	50,4	49,8	49,4	48,8

Entwicklung der Treibhausgase in Österreich

Abbildung 13 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Österreich im Zeitraum 1990-2015. Im Rahmen des Klimaschutzvertrags von Kyoto hat sich Österreich für den Verpflichtungszeitraum 2008 bis 2012 eine Reduktion der Treibhausgase von minus 13 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 vorgenommen. Die Reduktionsmenge konnte jedoch nicht durch eine Einsparung im Inland erreicht werden. Daher wurde die Fehlmenge in Form von Verschmutzungszertifikaten um ca. 500 Millionen Euro zugekauft. Seit 2013 gelten als Rechtsgrundlage die Höchstmengen laut Klimaschutzgesetz, als Basisjahr wird das Jahr 2005 verwendet. Im österreichischen Klimaschutzgesetz werden nur Emissionen außerhalb des europäischen Emissionshandels (EH) betrachtet.

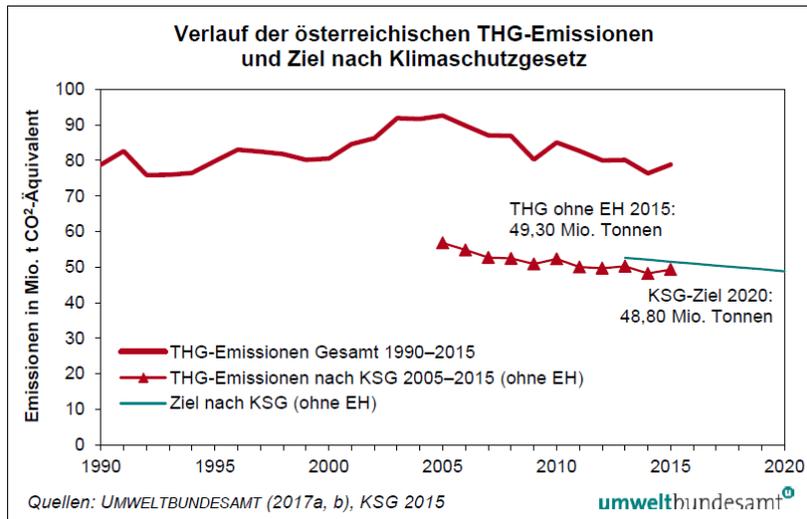


Abbildung 13: Entwicklung der Treibhausgase in Österreich und zukünftige Ziele laut Klimaschutzgesetz, Klimaschutzbericht 2017 [17]

Auswirkungen und Anpassung an den Klimawandel

Seit dem Klimavertrag von Paris 2015 ist die Anpassung an den Klimawandel als zweite Säule neben dem Klimaschutz verankert.

EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Am 16. April 2013 stellte die Europäische Kommission die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel vor.

Die Strategie legt ihren Fokus auf drei wesentliche Ziele:

- Förderung von Anpassungsaktivitäten in den EU-Mitgliedsstaaten: Alle EU-Mitgliedsstaaten sollen umfassende Nationale Anpassungsstrategien erstellen. Klimawandelanpassung in europäischen Städten wird als weiterer Schwerpunkt von der Kommission in den kommenden Jahren verfolgt.
- Integration von Klimawandelaspekten auf EU-Ebene in den Schlüsselsektoren Landwirtschaft, Fischerei, Kohäsionspolitik und Infrastruktur sowie forcierte Anwendung von Versicherungen in der Risikovorsorge.
- Besser fundierte Entscheidungsfindung in der Maßnahmenetzung zur Klimawandelanpassung durch Adressierung von Wissenslücken und Weiterentwicklung der europäischen Wissensplattform Climate-ADAPT.

Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel wurde im Jahr 2012 von der Bundesregierung verabschiedet und im Mai 2013 von den Landeshauptleuten zur Kenntnis genommen. Im Sommer 2017 wurde die Überarbeitung der Strategie vom Ministerrat beschlossen.

Ziel der Strategie ist es, nachteilige Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft zu vermeiden und die sich ergebenden Chancen zu nutzen.

Die österreichische Anpassungsstrategie gliedert sich in zwei Teile: in ein strategisches Rahmenwerk („Kontext“) und in einen Aktionsplan.

Im Aktionsplan sind vierzehn Bereiche (Aktivitätsfelder) zur Anpassung an den Klimawandel angeführt: Es sind dies die Bereiche: Land- und Forstwirtschaft, Bereich Schutz vor Naturgefahren, Katastrophenmanagement, Raumordnung, Wasserwirtschaft, Energie, Bauen, Tourismus, Gesundheit, Ökosysteme und Biodiversität, Mobilität, Wirtschaft, urbane Frei- und Grünräume.



Abbildung 14: Handlungsfelder Klimawandelanpassung, eigene Darstellung

Zusätzliche globale Auswirkungen des Klimawandels

Neben den Anpassungsbereichen, die auch in der österreichischen Anpassungsstrategie angeführt sind, werden vor allem im Zusammenhang mit den Weltmeeren weitere Klimawandelfolgen erwartet.

Anstieg des Meeresspiegels

Bei einem Temperaturanstieg von zwei Grad Celsius wären ungefähr 130 Millionen Menschen vom höheren Meeresspiegel betroffen. Eine Klimaerwärmung um vier Grad Celsius wird hingegen weltweit 470 bis 760 Millionen Menschen gefährden, die an Fluss- und Meeresküsten leben. (vgl. Strauss et al. 2015, S. 6)

Versauerung der Meere

Infolge der höheren Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre nimmt auch die Kohlendioxid-Konzentration im Oberflächenwasser der Ozeane zu. In der Folge ändert sich der pH-Wert der Meere (Bildung von Kohlensäure). Korallenriffe, die Küsten einen wichtigen Schutz vor Stürmen geben, sterben ab. Zahlreiche Planktonarten, Grundlage der Nahrungsnetze in den Weltmeeren, werden geschädigt.

Klimaflucht

Zu erwartenden Migrationsbewegungen aufgrund von Trockenheit und Dürren und damit entstehende Landkonflikte und Flucht aufgrund des Meeresspiegelanstiegs

Luftschadstoffe

vgl. Umweltbundesamt o.J., Luftschadstoffe, URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/> zuletzt abgerufen am 12.02.2018

Für Menschen, aber auch für Tiere und Pflanzen ist saubere Luft lebensnotwendig. Luftschadstoffe, wie sie bei verschiedenen Aktivitäten freigesetzt werden, beeinträchtigen die Gesundheit von Mensch und Tier, sind aber auch für Vegetation, Boden und Gewässer schädlich.

Es wurde in Österreich und Europa die Belastung durch einige Luftschadstoffe drastisch reduziert. Bei manchen Schadstoffen ist die Belastung für die Umwelt allerdings weiterhin zu hoch. Besonders Feinstaub (PM₁₀), Ozon und Stickstoffoxide (NO_x, also NO und NO₂) können in Konzentrationen auftreten, die zu Beeinträchtigungen der Gesundheit sowie zu negativen Auswirkungen etwa auf empfindliche Ökosysteme führen. Bei diesen Schadstoffen sind in den nächsten Jahren noch weitere Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene notwendig.

Ozon (O₃)

In höheren Luftschichten, der Stratosphäre, schützt uns Ozon vor schädlicher UV-Strahlung. Am Boden entsteht Ozon in höheren Konzentrationen erst durch andere Luftschadstoffe - die Ozonvorläufersubstanzen - und Sonnenlicht. Die wichtigsten Ozonvorläufersubstanzen sind Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen. Zur Ozonbildung in einem globalen Maßstab tragen auch Methan und Kohlenmonoxid (CO) bei.

Wirkungen von Ozon:

Beim Menschen kann es bei höheren Ozonkonzentrationen zu Beeinträchtigungen der Lungenfunktion, zu einem Anstieg von Lungenkrankheiten sowie möglicherweise zu vorzeitigen Todesfällen führen. Bei manchen Pflanzenarten führen kurzfristig erhöhte Ozonkonzentrationen zu Schädigungen der Blattorgane, bei langfristiger Belastung treten Wachstums- und Ernteverluste auf. Troposphärisches Ozon ist auch eines der bedeutendsten Treibhausgase, das allerdings nicht im Kyoto-Protokoll geregelt ist.

Gesetzliche Schwellen- und Zielwerte für Ozon:

Das Ozongesetz setzt u.a. die Schwellen- und Zielwerte einer EU-Richtlinie in österreichisches Recht um. Sind die Schwellenwerte überschritten, wird die Bevölkerung über die Medien informiert. Die Informationsschwelle wird bei einer einstündigen Ozonkonzentration von mehr als 180 µg/m³, die Alarmschwelle wird bei einer einstündigen Ozonkonzentration von mehr als 240 µg/m³ erreicht. Der Zielwert ist festgelegt als höchster Achtstundenmittelwert eines Tages. Er beträgt 120 µg/m³ und darf an nicht mehr als 25 Tagen pro Jahr, gemittelt über drei Jahre, überschritten werden. Derzeit wird dieser Zielwert in einigen Regionen zum Teil erheblich überschritten. Nach dem Ozongesetz ist der Bund verpflichtet, ein Programm zur Einhaltung des Zielwerts auszuarbeiten. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/ozon/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Maßnahmen zur Reduktion der Ozonbelastung

Ozonbelastungen über der Informations- und Alarmschwelle treten vor allem im Osten Österreichs auf, vereinzelt auch in der Steiermark, Tirol und Vorarlberg. Da Ozon ein überregionales Problem darstellt, sind Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene am zielführendsten. In Österreich und der EU werden daher die Emissionen der beiden wichtigsten Ozonvorläufersubstanzen NO_x und VOC durch die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen limitiert und durch Maßnahmenprogramme reduziert. Die Emissionen von CO, einer weiteren Vorläufersubstanz reduzieren sich sukzessive durch verbesserte Verbrennungstechnologien. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/ozon/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Staub (inkl. Feinstaub)

Staub ist ein komplexes, heterogenes Gemisch aus festen bzw. flüssigen Teilchen, die sich hinsichtlich ihrer Größe, Form, Farbe, chemischen Zusammensetzung, physikalischen Eigenschaften und ihrer Herkunft bzw. Entstehung unterscheiden. Üblicherweise wird die Staubbelastung anhand der Masse verschiedener Größenfraktionen beschrieben.

- TSP (Total Suspended Particles): Masse des Gesamtstaubes (auch Schwebestaub genannt).
- PM₁₀: Die als Feinstaub (PM₁₀) bezeichnete Staubfraktion enthält 50% der Teilchen mit einem Durchmesser von 10 µm, einen höheren Anteil kleinerer Teilchen und einen niedrigeren Anteil größerer Teilchen.
- PM_{2,5}: Die als Feinstaub (PM_{2,5}) bezeichnete Staubfraktion enthält 50% der Teilchen mit einem Durchmesser von 2,5 µm, einen höheren Anteil kleinerer Teilchen und einen niedrigeren Anteil größerer Teilchen.
- PM_{10-2,5}: Masse aller Partikel kleiner als 10 µm und größer als 2,5 µm. Im Englischen als "coarse particles" (grobe Partikel) bezeichnet.

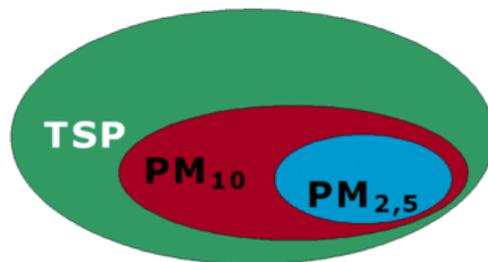


Abbildung 15: Mengenverteilung von Staub TSP, PM₁₀ und PM_{2,5} Quelle: Umweltbundesamt 2018 [18]

Der Schwebestaub (TSP) umfasst alle luftgetragenen Partikel. PM₁₀ stellt eine Teilmenge von TSP dar, PM_{2,5} ist wiederum eine Teilmenge von PM₁₀.

Im deutschen Sprachgebrauch hat sich die Bezeichnung Feinstaub für PM₁₀, aber auch für PM_{2,5} eingebürgert. Feinstaub ist aber kein festgelegter Begriff. Mitunter wird auch PM_{2,5} als Feinstaub bezeichnet.

Neben der Konzentration in der Atemluft, die mit den oben genannten Parametern bewertet wird, ist für manche Fragestellungen auch die Deposition von Staub von Interesse. Diese wird mit Hilfe des Staubbiederschlag, d.h. jener Menge, die auf einer bestimmten Fläche in einem bestimmten Zeitraum abgeschieden wird, bewertet. In diesem finden sich vor allem die größeren Staubpartikel.

Grundsätzlich kann zwischen primären und sekundären Partikeln unterschieden werden. Erstere werden als primäre Emissionen direkt in die Atmosphäre abgegeben, letztere entstehen durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen (z.B. Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide). (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/staub/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Stickstoffoxide

Stickstoffoxide NO_x (Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂)) entstehen überwiegend als unerwünschte Nebenprodukte bei der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen bei hoher Temperatur. Der mit Abstand größte Verursacher ist der Verkehr. Für den Menschen besonders schädlich ist NO₂, da es die Lungenfunktion beeinträchtigt, aber auch Langzeiteffekte auf die kardiovaskuläre Mortalität hat, das heißt Todesfälle durch Herz-Kreislauferkrankungen. So wird für Deutschland mit etwa 6.000 vorzeitigen Todesfällen durch die NO₂-Belastung gerechnet.

Außerdem sind die Stickstoffoxide mitverantwortlich für die Versauerung und Eutrophierung (Überdüngung) von Böden und Gewässern. (vgl.URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/nox/?L=>, zuletzt abgerufen am 23.03.2018)

Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (SO₂) entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl (schwer). Zu den Hauptemissionsquellen zählen Feuerungsanlagen im Bereich der Energiewirtschaft, der Industrie und des Kleinverbrauchs.

In hohen Konzentrationen schädigt Schwefeldioxid Mensch, Tiere und Pflanzen. Die Oxidationsprodukte führen zu "Saurem Regen", der empfindliche Ökosysteme wie Wald und Seen (Skandinavien) gefährdet und Gebäude und Materialien angreift. Partikelförmige Sulfate tragen zur großräumigen Belastung durch Feinstaub (PM₁₀) bei.

Überschreitungen des Grenzwertes traten bei Schwefeldioxid in den letzten Jahren nur noch vereinzelt auf. Betroffen waren zumeist der Nahbereich von einzelnen Industriebetrieben und grenznahe Gebiete durch grenzüberschreitenden Schadstofftransport aus Slowenien und der Slowakei. (vgl.URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/nox/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid (CO) entsteht hauptsächlich bei der unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen. Hauptquellen sind der Kleinverbrauch, der Verkehr und die Industrie. Als Luftschadstoff ist CO vor allem aufgrund der humantoxischen Wirkung (Beeinträchtigung der Sauerstoffaufnahme Kapazität des Hämoglobins) von Bedeutung. CO spielt aber auch bei der photochemischen Bildung von bodennahem Ozon im globalen und kontinentalen Maßstab eine bedeutende Rolle.

Eine besonders starke Emissionsreduktion wurde im Verkehrssektor erreicht durch die Optimierung der Verbrennungsvorgänge sowie die Einführung des Katalysators.

Die CO-Emissionen des Industriesektors - v.a. der Eisen- und Stahlindustrie - sind ebenfalls beträchtlich gesunken. Gründe dafür sind die Optimierung von Industriefeuerungen und die Restrukturierung der Stahlwerke. Im Bereich der Haushalte (Kleinverbrauch) sind die schlechten Verbrennungsvorgänge in veralteten Heizungsanlagen, insbesondere Holzöfen, für die relativ hohen CO-Emissionen verantwortlich.

Die Belastung ist im Verlauf der 90er Jahre parallel zu den Emissionen deutlich zurückgegangen. Grenzwertüberschreitungen traten bei CO in den letzten Jahren keine mehr auf. (vgl.URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/co/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Schwermetalle

Erhöhte Schwermetallkonzentrationen treten in Österreich v.a. im Bereich von Industriestandorten auf. Quecksilber und andere Schwermetalle können über weite Strecken transportiert werden. Die Belastung durch Arsen, Blei, Cadmium und Nickel wird im Feinstaub (PM₁₀) und im Staubbiederschlag (überwiegend Blei und Cadmium) bestimmt.

Bei Menschen als auch Tieren können Schädigungen (v.a. der Nieren, der Leber und des Nerven- und Blutgefäßsystems) durch erhöhte Konzentrationen von Schwermetallen hervorgerufen werden. Einige

Schwermetalle haben zudem krebserregende Wirkung. Wichtigste Aufnahmepfade für Schwermetalle sind beim Menschen die Nahrung, das Trinkwasser sowie das Tabakrauchen. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/schwermetalle/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Flüchtige Organische Verbindungen (NMVOC)

Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) werden größtenteils durch die Verdunstung von Lösemitteln (in Farben, Lacken und Klebstoffen) und Treibstoffen sowie durch unvollständige Verbrennungsvorgänge freigesetzt. Einen nicht unbedeutenden Beitrag liefern auch biogene Quellen, vor allem der Wald. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/nmvoc/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Benzol

Benzol ist eine flüchtige organische Verbindung, die beim Menschen krebserregend wirken kann. Nach dem derzeitigen Wissensstand existiert keine Wirkungsschwelle, unter der Benzol keine Schädigungen hervorrufen kann. Zur Risikominimierung sollten daher die Immissionskonzentrationen auf ein möglichst niedriges Niveau gesenkt werden.

Die wichtigsten Quellen von Benzol sind der Verkehr (Benzol ist ein Bestandteil von Ottokraftstoffen) und der Hausbrand. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/benzol/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Persistente organische Schadstoffe

Persistente organische Luftschadstoffe (POPs) sind schwer abbaubare Substanzen, die aufgrund ihrer Fettlöslichkeit in Menschen, Tieren und Ökosystemen angereichert werden können. Sie entstehen in erster Linie als Produkte unvollständiger Verbrennung und umfassen:

- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Dioxine und Furane
- Hexachlorbenzol (HCB)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)

POPs können bereits bei geringer Konzentration unter chronischer Exposition zu Schädigungen u.a. des Immun- und Fortpflanzungssystems führen. Durch ihre Langlebigkeit stellen sie ein globales Problem dar. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/pops/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wirken karzinogen und mutagen. Da PAK aus einer Mischung von vielen verschiedenen Substanzen bestehen und um die Belastung vergleichen zu können, wird Benzo(a)pyren als Leitsubstanz verwendet. Benzo(a)pyren ist im Hinblick auf Kanzerogenität und Mutagenität – im Gegensatz zu vielen anderen PAK – bestens untersucht.

PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material oder fossilen Brennstoffen in Heizungsanlagen, Kfz-Verkehr und Stahlwerken. Hauptverursacher sind veraltete Heizungsanlagen mit festen Brennstoffen. (vgl. URL:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/benzoapyren/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Ammoniak

Ammoniak (NH_3) entsteht hauptsächlich beim Abbau von organischem und mineralischem Dünger sowie bei der Lagerung von Gülle. Dementsprechend ist die Landwirtschaft Hauptquelle der Ammoniakemissionen. NH_3 ist primär für die Bildung versauernder und eutrophierender Schadstoffe und für die Bildung sekundärer Partikel (Feinstaub) verantwortlich.

2015 wurden in Österreich rund 66.800 Tonnen Ammoniak emittiert. (vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschaedstoffe/ammoniak/>, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)

Literaturverweise

- [1] RAOonline 2016, http://www.raonline.ch/pages/edu/cli/cli_ext04a03.html, zuletzt abgerufen am 16.02.2018)
- [2] ZAMG, URL: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/wetter-und-klima>, zuletzt abgerufen am 16.02.2018)
- [3] NASA, translated by IqRS, redrawn by Christoph S. - Trenberth, Fasullo and Kiehl (2009): Earth's global energy budget. In: Bulletin of the American Meteorological Society, preprint Kiehl and Trenberth 2009, based on Kiehl and Trenberth 1997, Gemeinfrei, (vgl: URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/File:Sun_climate_system_alternative_\(German\)_2008.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/File:Sun_climate_system_alternative_(German)_2008.svg), zuletzt abgerufen am 16.02.2018
- [4] https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14, zuletzt abgerufen am 16.02.2018
- [5] https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/fig/faq-2-1-figure-1-errata.png, zuletzt abgerufen am 09.02.2018
- [6] www.earth-policy.org/datacenter/xls/indicator8_2013_all_fahrenheit.xlsx, und <http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/CSV-FILES> zuletzt abgerufen am 16.02.2018
- [7] <https://www.co2.earth/monthly-co2#noaa>, zuletzt abgerufen am 16.02.2018
- [8] Christoph Schrader, 2010; <https://www.heise.de/tp/features/Der-Klima-Gipfel-Mauna-Loa-Hawaii-3387748.html>
- [9] IPCC, Klimaänderung 2014, S.5; https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf; zuletzt abgerufen am 09.02.2018
- [10] IPCC, Klimaänderung 2014, S.5; https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2018;
Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgasemissionen nach Gruppen 1970-2010. Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) (Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr, Gt CO₂Äq/Jahr) für den Zeitraum 1970 bis 2010 aufgeschlüsselt nach Gasen: CO₂ aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen; CO₂ aus Forst wirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU); Methan (CH₄); Lachgas (N₂O); im Kyoto-Protokoll erfasste fluorierte Gase (F-Gase). Die rechte Seite zeigt die Emissionen im Jahr 2010, unter Verwendung alternativer Gewichtungen für die CO₂-Äquivalente-Emissionen, basierend auf Werten aus dem Zweiten Sachstandsbericht (SAR) und den AR5-Werten. Soweit nicht anders angegeben, beinhalten CO₂-Äquivalente-Emissionen in diesem Bericht die Gruppe der Kyoto-Gase (CO₂, CH₄, N₂O sowie F-Gase), berechnet auf der Grundlage von Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren (Global Warming Potential - GWP100) aus dem SAR (siehe Glossar). Die Verwendung der aktuellsten GWP100-Werte aus dem AR5 (rechte Balken) würde durch den gestiegenen Beitrag von Methan zwar zu höheren jährlichen Gesamt-THG-Emissionen führen (52 Gt CO₂Äq/Jahr), ändert den langfristigen Trend jedoch nicht signifikant.
- [11] Quaschnig 2018, <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php>, zuletzt abgerufen am 09.04.2018
- [12] Umweltbundesamt; <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.html>; GEMIS 4.94; zuletzt abgerufen am 09.11.2017
- [13] IPCC, Klimaänderung 2014, S.87; https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2018)
- [14] Potsdam - Institut für Klimaforschung auf Basis von Tipping elements vol. 105 no 6, PNAS, Timothy M. Lenton, URL: <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>, zuletzt abgerufen am 05.10.2017)
- [15] Schellnhuber 2015, S. 962; Entwicklung der globalen Mitteltemperatur, beginnend bei der letzten Eiszeit bis zur Gegenwart sowie Szenarien für die Zukunft. Die Kurve stützt sich auf paläoklimatische Proxydaten sowie direkte Messungen seit 1750 (schwarze Linie). Und verschiedene RCP Szenarien für die Zukunft. Die Schwellenwerte für das Erreichen von Kippunkten für die dargestellten Untersysteme stammen aus

verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen. Der Referenzzeitraum für die Temperaturanomalien ist der Zeitraum 1820-1900. Abkürzungen: WAIS – West Antarctic Ice Sheet, THC – thermohaline Zirkulation, ENSO – El Niño-southern Oscillation, EAIS – East Antarctic Ice Sheet

- [16] Klimaschutzgesetz; <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007500>, zuletzt abgerufen am 5.10.2017
- [17] Klimaschutzbericht 2017, <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0622.pdf> S. 48, zuletzt abgerufen am 08.02.2018)
- [18] Luftschadstoffe, Umweltbundesamt 2018; <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/staub/>, zuletzt abgerufen am 12.02.2018

Quellen und weiterführende Literatur

- BMNT, 2017. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2 – AKTIONSPLAN Handlungsempfehlungen für die Umsetzung. URL: https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:9f582bfd-77cb-4729-8cad-dd38309c1e93/NAS_Aktionsplan_MR_Fassung_final_18112017%5B1%5D.pdf zuletzt abgerufen am 12.02.2018
- Bildungsserver (oJ): Strahlungshaushalt der Erde. URL: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Strahlungshaushalt.gif>, zuletzt abgerufen am 31.08.2016
- CDIAC, URL: <http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/>, zuletzt abgerufen am 12.08.2018
- Earth Policy, URL: www.earth-policy.org/, zuletzt abgerufen am 12.08.2018
- Klimaschutzgesetz, URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007500>, zuletzt abgerufen am 12.02.2018
- Klimaschutzbericht 2017, Entwicklung der Treibhausgase in Österreich und zukünftige Ziele laut Klimaschutzgesetz, URL: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0622.pdf> S. 48, zuletzt abgerufen am 08.02.2018
- Klimascout, URL: http://www.klimascout.de/kommunen/index.php?title=Entwicklung_von_Handlungsanleitungen, zuletzt abgerufen am 12.02.2018
- IPCC: Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016. URL: https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf, zuletzt abgerufen am 12.02.2018
- OIB Richtlinie 6, Ausgabe März 2015, URL: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2015/oib-richtlinie-6>, zuletzt abgerufen am 22.02.2018
- Ökosystem Erde (2015): Die Klimageschichte der Erde, URL: <http://www.oekosystem-erde.de/html/klimageschichte.html>, Originaldaten von URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok.html>, zuletzt abgerufen am 24.08.2016
- PIK (2016): Potsdamer Institut für Klimaforschung, URL: <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente>, zuletzt abgerufen am 19.08.2016

- RAonline (2016): Klima-Fakten. Hintergründe, Meldungen, Forschungsergebnisse. URL: http://www.raonline.ch/pages/edu/cli/cli_ext04a03.html, zuletzt abgerufen am 19.08.2016
- Schellnhuber, Hans Joachim (2015): Selbstverbrennung: Die fatale Dreiecksbeziehung zwischen Klima, Mensch und Kohlenstoff. C. Bertelsmann, München
- Strauss et al. 2015, URL: <http://sealevel.climatecentral.org/research/reports/mapping-choices-carbon-climate-and-rising-seas-our-global-legacy>, zuletzt abgerufen am 22.02.2018
- Umweltbundesamt (2016): Die Treibhausgase. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>, zuletzt abgerufen am 24.08.2016
- Umweltbundesamt, Treibhausgasemissionen, URL: <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.html>, zuletzt abgerufen am 12.02.2018
- Umweltbundesamt, Luftschadstoffe, URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/> zuletzt abgerufen am 12.02.2018

Fragen zu den Lernzielen

- Erklären sie den Treibhauseffekt!
- Nennen Sie die wichtigsten Treibhausgase und deren Entstehung!
- Warum gibt es in den Pariser Verträgen beim Klimaschutz das 2-Grad Ziel?
- Was wird unter Klimawandelanpassung verstanden?