

Aus der Geschichte des Klimawandels

H.P. Dreyer, hp.dreyer@thurweb.ch

Quellen

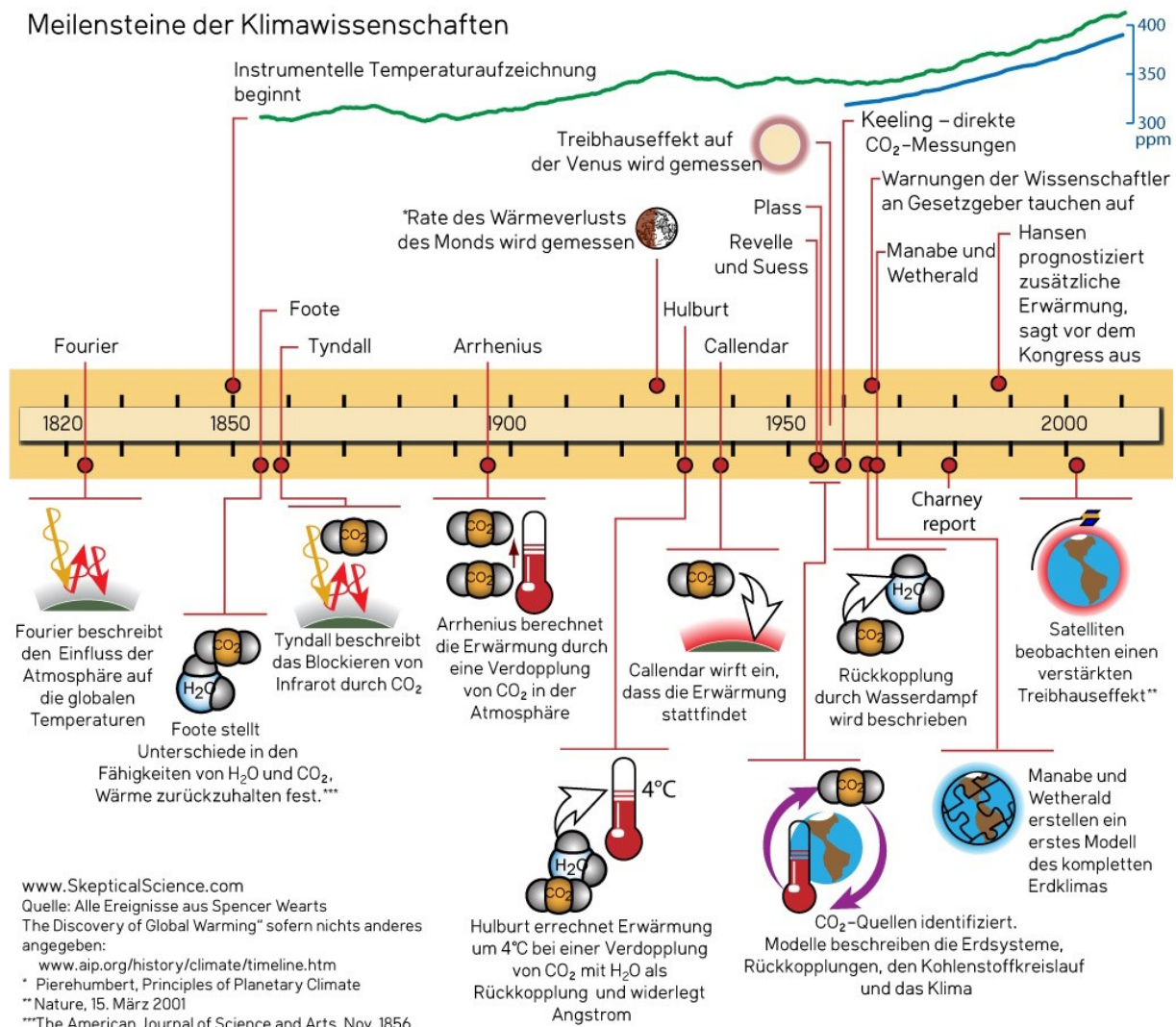
Deutsche Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Forschungsgeschichte_des_Klimawandels

Umfassende Quelle: <https://history.aip.org/climate/summary.htm>

Übersicht

Quelle: www.ScepticalScience.com

Meilensteine der Klimawissenschaften



Aus der Vorgeschichte, d. h. vor 1800

Die frühen Kulturen waren stark vom lokalen Wetter abhängig und baten ihre verschiedenen Gottheiten um gute Erträge – im kaiserlichen China bis 1912. Schon im Alten Ägypten waren regelmässig jahreszeitliche Wetteränderungen bekannt und wurden von den Priester-Gelehrten aufgezeichnet. Der Einfluss des Menschen auf das lokale Klima, etwa durch massives Abholzen für den Schiffbau, wurde bereits im Alten Griechenland diskutiert. Systematische Veränderungen des Wetters, etwa die Wüstenbildung in Nordafrika, waren Ursache für politische Kräfteverlagerungen. Weil die Erträge der Landwirtschaft für das Steueraufkommen zentral waren, beobachteten die Klöster das Wetter und hielten Schwankungen fest. Nach einer Phase, die heute als «kleinen Warmzeit» oder mittelalterliches Klimaoptimum (950-1250) bezeichnet wird, stellten sie abnehmende Erträge fest. In der anschliessenden «kleinen Eiszeit» (1300-1850) stiessen die Gletscher merklich vor.

Die Aufklärung verändert auch die Sicht auf die Erde und ihr Klima

Mit der Antike verschwand in Europa die kritische Naturforschung. Das Christentum vertrat das statische Weltbild der Schöpfungsgeschichte: Nach einem einmaligen Akt bleibt alles für die Ewigkeit. Mit der Renaissance entwickelte sich ein neuer Zugang zur Natur, insbesondere auch zu den Alpen und den sich sichtbar verändernden Gletschern. – Willkürlich und etwas chauvinistisch werden im Folgenden Beiträge von Schweizern besonders hervorgehoben.

Albrecht von Haller, 1708-1777, Bern und Johannes Gessner, 1709-1790, Zürich

Haller studiert in Tübingen, Leiden und Basel Naturwissenschaften und Medizin. Am bedeutendsten sind seine Beiträge zur Physiologie. Bei seinen botanischen Studien stösst er mit Gessner in die Alpen vor, was ihn zum einflussreichen Gedicht «Die Alpen» motiviert: Berge sind nicht länger zu überwindende Hindernisse, sondern zu erforschende Objekte.

Gessner, Naturforscher und Mathematiker, studiert in Basel und Leiden, leistet bedeutende Beiträge zur Botanik und weist auf Veränderungen in den Alpen hin.

Horace Bénédict de Saussure, 1740-1799, Genf

De Saussure studiert in Genf, doktoriert über Wärmelehre, ist von seinem Onkel von Haller beeinflusst und wird Professor in Genf. Er bereist die Alpen und Sizilien als Geologe. Er wirkt auch als Botaniker und Instrumentenbauer (Haarhygrometer, Elektrometer). Er setzt einen Preis aus für die Entdeckung einer Route auf den Mont Blanc, den er seit 10 Jahren zu erklimmen sucht. 1787 erreicht er in einer Expedition mit 18 Führern und einem Labordiener den Gipfel. Er misst laufend Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit und die Intensität des Blaus der Sonnenstrahlung mit einem Cyanometer, das heute im Landesmuseum zu sehen ist.

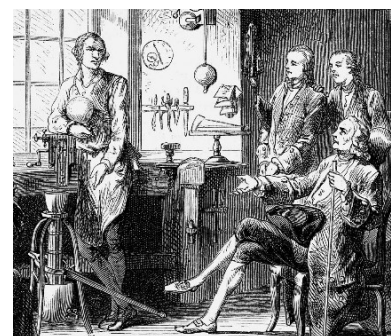


Die Strahlungsmenge misst er einem «**Solarimeter**». Fourier beschreibt das Gerät als einen isolierten Raum, der mit geschwärztem Kork ausgekleidet ist. Das Sonnenlicht kann durch eine mit drei Scheiben aus Glas, die durch Luftabschnitte getrennt sind, abgedeckte Öffnung eindringen. Dadurch erhöht sich die Temperatur im Innern, wie bei einem Sonnenkocher. Das Thermometer zeigt über 2000 m Höhenunterschied ungefähr die gleiche Temperatur im Innern. Demnach dringt «Sonnenwärme», damals noch etwas Stoffliches, weitgehend unbehindert durch die Atmosphäre hindurch. 1788 verbringt de Saussure 17 Tage mit meteorologischen Messungen auf 3371 m Höhe. Im folgenden Jahr besteigt er als erster das Kleine Matterhorn. Er wird zum Mitglied der Royal Society von London und stimuliert den englischen Tourismus nach Chamonix und ins Wallis. Später weist sein Sohn Nicolas Théodore (1767-1845) in einem quantitativen Experiment nach, dass Pflanzen CO₂ aufnehmen und Sauerstoff abgeben.

Quelle: <https://www.sac-cas.ch/de/die-alpen/vor-200-jahren-horace-benedict-de-saussure-auf-dem-mont-blanc-12479>

Joseph Black, 1728-1799, Glasgow

Er untersucht in seiner Dissertation die Wirkung von Calciumkarbonat auf Nierensteine und findet in späteren Experimenten das CO₂, das er gemäss den vier Elementen als «fixed air» bezeichnet. Um 1760 erkennt er bei kalorimetrischen Untersuchungen den Unterschied zwischen Temperatur und Wärme, was auch für die Entwicklung der Dampfmaschine nützlich ist. Im Bild besucht er James Watt in dessen Labor an der Universität Glasgow.



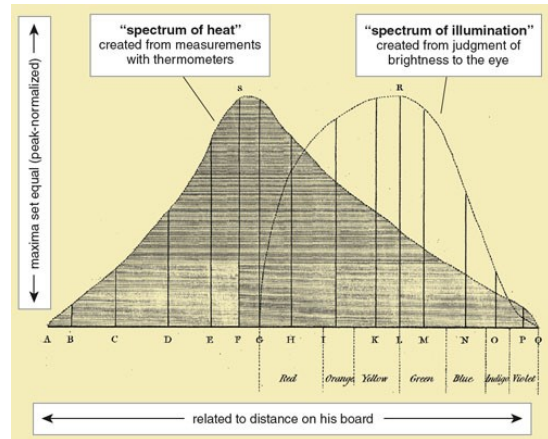
Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Black

1800 – 1850: Allgemeine Grundlagen werden geklärt

Galvani und Volta treiben in Italien die Entwicklung der Elektrizitätslehre voran, während in Frankreich Coulomb und Ampère forschen. 1801 entdeckt Johann Wilhelm Ritter die UV-Strahlung, 1821 beschreibt Thomas Johann Seebeck das Thermoelement.

William Herschel, 1738-1822, London – Entdecker des IR

wandert aus Deutschland nach England aus und etabliert sich als Musiklehrer und Komponist in London bei London. Unterstützt von seiner Schwester Caroline entdeckt er mit einem selbstgebautes Teleskop den Uranus und wird zum «Kings' Astronomer» ernannt. Bei der Suche nach dem besten Filter zur Betrachtung der Sonne und ihrer Flecken beobachtet er Irritierendes: Manche Stoffe lassen fast kein Licht durch, aber viel «**spürbare Wärme**», bei anderen ist es umgekehrt. Eine systematische Suche mit Thermometern zeigt, dass jenseits des Roten eine grosse «spürbare Wärme» nachweisbar ist. 1800 präsentiert er das berühmte Diagramm (rot in der Mitte) mit dem «spectrum of illumination» (rechts) und dem «spectrum of heat» (links = IR). Das Wort «Infrarot» erscheint ca. 1880.



Quelle: <https://www.americanscientist.org/article/herschel-and-the-puzzle-of-infrared>

Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830, Paris – Entdecker des Treibhauseffekts

Der Mathematiker und Revolutionär, begleitet Napoleon auf seinem Ägypten-Feldzug und vermittelt den Kontakt Champollions zum Stein von Rosette. Er wird Nachfolger von Lagrange und publiziert 1807 die *Théorie de la propagation de la chaleur dans les solides*. In diesem Zusammenhang findet er die Fourier-Reihenentwicklung.

In den 1820er Jahren berechnete Fourier, dass ein Objekt von der Größe der Erde und in ihrer Entfernung von der Sonne, das nur von der Sonnenstrahlung erwärmt wird, beträchtlich kälter sein sollte als die Erde tatsächlich ist. 1824 erscheint sein Artikel *Remarques générales sur les Températures du globe terrestre et des espaces planétaires* (*). Er untersucht drei verschiedene mögliche Quellen: (1) *les rayons solaires*, (2) *l'irradiation des espaces planétaires*, (3) *la chaleur primitive de la terre*. Er überschätzt die gespeicherte Wärme (3), denn er weiss nichts von Radioaktivität. Die Strahlungsgesetze gibt es noch nicht, so dass er fälschlicherweise eine Wärmezufuhr (2) annimmt. Er bezieht sich im Weiteren auf de Saussure, erklärt die Funktionsweise dessen «Solarimeters» korrekt und kann somit als Erfinder des Treibhauseffekts in Bezug auf einen Solarkocher oder ein Gärtner-Treibhaus gelten. Er unterscheidet dazu klar zwischen *la chaleur lumineuse* (sichtbare Strahlung) und *chaleur obscure* (Infrarotstrahlung). Die Glasabdeckung sei für diese nicht durchlässig, und es gebe auch keine Konvektion.

Fourier erkennt den Einfluss der Sonnenstrahlung (1) auf das Klima und schreibt (* p. 141) : *La présence de l'atmosphère produit un effet du même genre*, der beim gegenwärtigen Stand der Wissenschaft nicht genau erfasst werden könne. Da das Konzept der Wärmebilanz erst nach 1850 ins Spiel kommt, schreibt er (* p. 143): *Ainsi la chaleur solaire s'est accumulée dans l'intérieur du globe et s'y renouvelle continuellement*. Mangels Strahlungsgesetze fehlt bei Fourier die Einsicht in den zentralen Mechanismus: die IR-Strahlung der Atmosphäre in Richtung Erde. Er schreibt nur (* p.155): *La température [am Boden] peut être augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacle pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure* [durch den Erdboden]. – Die von Fourier geäußerte Vorstellung, die Atmosphäre behindere die IR-Abstrahlung des Bodens und verursache so einen «Wärmestau» ist noch undifferenziert.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier

Eiszeittheorien weisen auf Klimaveränderungen

Zwischen 1780 und 1830 wurde eine zum Teil religiös motivierte Grundsatzdebatte zwischen Neptunisten (alle Gesteine sind Sedimente) und Plutonisten (alle Gesteine sind vulkanischen Ursprungs) geführt. Die frühe Erdgeschichte war noch total unklar. 1801 entdeckte der Astronom Herschel, dass zwischen 1650 und 1800 (Kleine Eiszeit) eine geringere Anzahl Sonnenflecken mit schlechten Weizenernten einherzugehen schien. Findlinge und Spuren von Gletscherschliff ausserhalb der Alpen brachten ab 1830 verschiedene Geologen auf die Idee von Vergletscherungen.

Louis Agassiz, 1807–1873, Neuchâtel & Cambridge (Mass.) – Eiszeitforscher

Aus dem Drei-Seen-Land stammend, studiert er Medizin in Heidelberg und München und erhält durch Vermittlung von Alexander von Humboldt im damals preussischen Neuchâtel eine Professur. Er wirkt als Zoologe, Paläontologe und Geologe so erfolgreich, dass er 1847 einen Ruf in die USA nach Harvard erhält.

Um 1840 baut er eine Forschungsstation auf dem Unteraargletscher und entwickelt eine – wie sich später zeigt: nicht korrekte – Eiszeitidee und macht sie durch Vorträge und Bücher einem breiten Publikum bekannt (*Études sur*



Les Glaciers). Im angelsächsischen Raum gilt er als Entdecker der Eiszeiten.

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Louis_Agassiz

Eunice Newton Foote, 1819-1888, Seneca Falls (NY) – Die erste Klimaforscherin?

Eunice Newton – weit hinaus verwandt mit Isaac Newton – erhält eine auch naturwissenschaftliche Ausbildung an der Rensselaer School und heiratet mit 22 Jahren den Juristen Foote. 1856 erscheint im *American Journal of Science and Arts* ihr Artikel über Experimente zur Absorption von Strahlung durch CO₂ und Wasserdampf, in dem sie vermutet: *An atmosphere of that gas would give to our earth a high temperature; and if, as some suppose, at one period of its history, the air had mixed with it a larger proportion than at present, an increased temperature from its own action, as well as from increased weight, must have necessarily resulted.*

Lange vergessen, auch als Frauenrechtsaktivistin, gerät sie ab 1970 in den Fokus von feministischen Untersuchungen, die aufdecken, dass sie – wie damals üblich – mit allerlei Vorurteilen zu kämpfen hatte und nachträglich ihre Bedeutung für die Entdeckung des Treibhauseffekts von der Geschichtsschreibung gegenüber derjenigen von Tyndall zurückgesetzt wurde. Ihr Fall kann im Gymnasium als gutes Beispiel für das vielschichtige Wesen und Voranschreiten der Wissenschaft (**nature of science**) dienen.



Ausgehend von der Frage, wieso es in der Höhe kälter ist und mit der Hypothese, dass die Dichte eine Rolle spiele, stellt sie Glasbehälter mit Luft von Unter- und Überdruck an die Sonne und misst die Temperatur. Sie beobachtet den Einfluss der Luftfeuchtigkeit und untersucht das besonders dichte CO₂. Sie nimmt in den Publikationen Bezug auf de Saussure, von Humboldt, Gay-Lussac und andere. In Europa aber wird sie nicht zitiert. Das hat mit der Geringschätzung der amerikanischen Wissenschaft und mit ihrem Geschlecht zu tun. Gegen eine überhöhte Einschätzung von Eunice Newton Footes Werk spricht: (1) Die Wände der von ihr benützten Gefässe waren für IR weitgehend undurchsichtig, leiteten aber Wärme ab, im Gegensatz zum atmosphärischen Treibhauseffekt.

(2) Sie hatte nicht nur das Pech, eine Frau zu sein, so dass sie in Konferenzen nicht persönlich vortragen durfte, sie wirkte auch am falschen Ort, so dass ihre Entdeckungen nicht richtig wahrgenommen und später erneut gemacht wurden.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Eunice_Newton_Foote

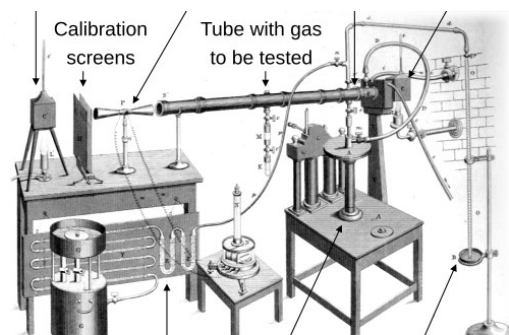
1850 – 1900: Klima und Änderungen werden zum Forschungsgegenstand

Mit der Entwicklung der Experimentalphysik wurde die quantitative Untersuchung der Strahlung und ihrer Absorption und Emission unter verschiedenen Umständen möglich. – Joseph Fraunhofer stellte 1821 Beugungsgitter her, um durch Youngs Formeln vorhergesagte Effekte zu überprüfen. Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen hoben um 1860 Spektroskopie auf eine neue Stufe. 1879 konnte Josef Stefan den Zusammenhang zwischen Energiedichte und Temperatur bestimmen. 1884 konnte Ludwig Boltzmann darauf aufbauend das Stefan-Boltzmann-Gesetz herleiten. 1893 fand Wilhelm Wien das Wiensche Verschiebungsgesetz.

John Tyndall, 1820-1893, London – Genaue Messung der IR-Absorption von Gasen

Stammt aus bescheidenen Verhältnissen und arbeitet als Landvermesser für den Eisenbahnbau. Dank Beziehungen darf er mit 28 Jahren in Marburg studieren und beim Spektroskopiker Bunsen promovieren. Ab 1853 arbeitet der begabte Referent an der Royal Institution u. a. mit Faraday und reist 1856 erstmals in die Schweiz, wo er die Gletscherbewegungen studiert und die Erstbesteigung des Weisshorns realisiert. Das bringt ihn zu de Saussure, Fourier und Claude Pouillet, der die Sonnenstrahlung auf 1.2 kW/m^2 schätzt.

Ab 1859 untersucht er das Absorptionsverhalten von Gasen insbesondere im IR durch Vergleichsmessungen mit einem Thermoelement und einem Leslie-Würfel als Referenz. Er *misst* Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdampf, CO_2 und Ozon und zeigt, dass für das «Treibhaus Erde» H_2O und CO_2 wesentlich sind. Wie Fourier schreibt er: *When the heat is absorbed by the planet, it is so changed in quality that the rays emanating from*



the planet cannot get with the same freedom back into space. Thus the atmosphere admits of the entrance of solar heat; but checks its exit, and the result is a tendency to accumulate heat at the surface of the planet.

Tyndall stellt fest, dass auch optisch transparente Gase IR aussenden, was für den Treibhauseffekt zentral ist. Weil Staubteilchen seine Messungen stören, findet und untersucht er den Tyndall-Effekt, der als quantitatives Mass für Londons grosse Luftverschmutzung dient.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/John_Tyndall

Arvid Högbom, 1857-1940, Uppsala und Stockholm – Geologe und CO_2 Forscher

1894 hält er vor der Schwedischen Chemischen Gesellschaft einen Vortrag mit dem Titel «Über die Wahrscheinlichkeit von säkularen Veränderungen des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre». Er geht vom aktuellen Anteil von 0.03% aus und berechnet die mögliche Veränderung durch die Verbrennung von 500 Mio. Tonnen Kohle pro Jahr. Er diskutiert verschiedene Quellen und Senken in der Natur, namentlich den Austausch mit Kalkstein und Meerwasser und der Pflanzenwelt und kommt zum Schluss, dass eine «plötzliche» Verdoppelung des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre möglich wäre, dass aber das Meereswasser dies bald in natürlicher Weise ausgleichen würde.

www.science20.com/the_chatter_box/blog/carbon_cycles_by_arvid_g_hoegbom-196827

Svante Arrhenius, 1859-1927, Stockholm – Physikal. Chemiker und 1. Klimaprognostiker

Arrhenius bildet sich nach dem Studium und der Dissertation über Dissoziation von Salzen u. a. bei Kohlrausch, Ostwald und van't Hoff weiter. Angeregt durch einen Vortrag von Högbom, will er 1896 prüfen, ob Treibhausgase zur Erklärung der Eiszeiten beitragen könnten. Er benutzt Mond-Albedo-Daten zur Abschätzung der Einflüsse von Wasserdampf und CO_2 . Mit den Strahlungsgesetzen und Ansätzen aus der physikalischen Chemie kommt er zum Gesetz: *If the quantity of carbonic acid increases in geometric progression, the augmentation of the temperature will increase nearly in arithmetic progression.* Eine Verdoppelung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre führt demnach zu einer Temperaturerhöhung von 5°C .

Arrhenius **rechnet** 1½ Jahre (von Hand!) an einem Klimamodell mit räumlicher (70° Nord bis 60° Süd) und zeitlicher (4 Jahreszeiten) Auflösung für 4 verschiedene CO₂-Konzentration. Dabei berücksichtigt er die Strahlungsgesetze, das Absorptionsverhalten und die Rückkopplung durch den veränderten Wasserdampfgehalt der Atmosphäre. Hingegen muss er Wolken, Wärmetransport durch Konvektion usw. vernachlässigen. Im Austausch mit Högbom spekuliert er über anthropogenen Klimawandel und beurteilt diesen überwiegend positiv.

TABLE VII.—Variation of Temperature

Latitude.	Carbonic Acid = 0.67.					Carbonic Acid = 1.5.				
	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.
70	-2.9	-3.0	-3.4	-3.1	-3.1	3.3	3.4	3.8	3.6	3.52
60	-3.0	-3.2	-3.4	-3.3	-3.22	3.4	3.7	3.6	3.8	3.62

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius

Knut Johann Angström, 1857-1910, Uppsala – Erfinders eines Heliometers

Er lässt in seinem Labor die IR-Absorption durch Wasserdampf und CO₂ nachmessen. Die nach heutigen Massstäben unsorgfältigen Messungen scheinen Arrhenius' Annahmen zu widerlegen. Er publiziert sie 1900 in den *Annalen der Physik* im Artikel «Über die Bedeutung des Wasserdampfs und der Kohlensäure für die Absorption in der Atmosphäre». Damit verschwindet das Interesse der Physiker am Thema. Und für die Praktiker wird im MONTHLY WEATHER REVIEW daraufhin gefordert, man solle Arrhenius' Überlegungen verwerfen. – Dass doch nicht alles IR bereits vom Wasserdampf absorbiert wird, kann erst 50 Jahre später dank besserer Spektroskopie geklärt werden. Diese neuen Messungen tragen zum Ende der Stagnation bei.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Knut_%C3%85ngstr%C3%B6m

1900 – 1950: Klimaforschung mit wenig Fortschritt und ohne Probleme

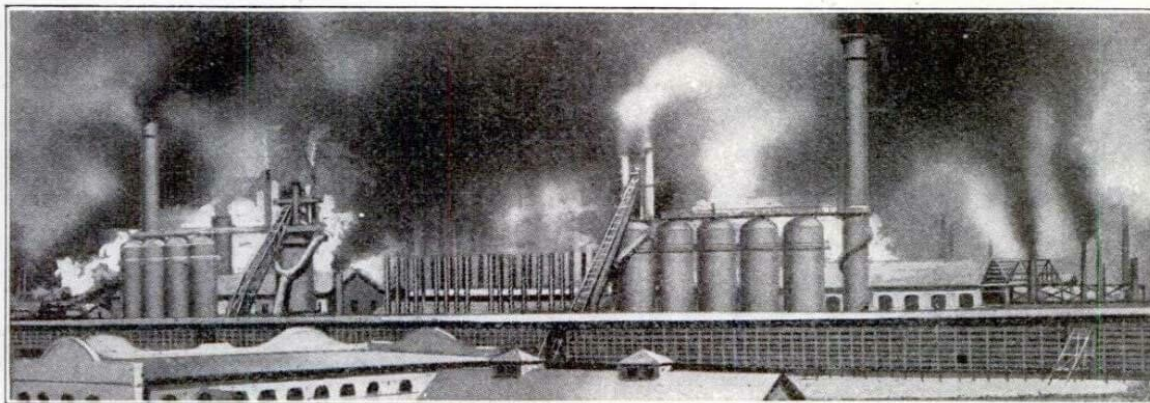
Mit der Jahrhundertwende kam die moderne Physik: Während die Relativitätstheorie wenig (GPS) Einfluss auf die Atmosphärenphysik hatte, wurde die Quantenphysik durch Plancks Strahlungsgesetz und die Molekülrechnungen grundlegend für Klima-Fragen. Doch solche wurden gar nicht aufgeworfen. Das Klima schien stabil – abgesehen von der Perspektive auf die nächste Eiszeit. Menschliche Einflüsse würden von der Natur aufgefangen, und im Übrigen wäre das Ganze sehr kompliziert und unsicher, wie die MONTHLY WEATHER REVIEW von 1901 signalisierte: *But, as is evident from the variation in the aqueous absorptive power, which (...) he attributes to the varying complexity of the vaporous molecules, depending upon the prevailing relative humidity, such estimates must be subject to a wide range of uncertainty.*

Der Text unten zeigt, dass das Interesse der breiten Öffentlichkeit an einer Klimaerwärmung blieb.

March, 1912

POPULAR MECHANICS

341



The furnaces of the world are now burning about 2,000,000,000 tons of coal a year. When this is burned, uniting with oxygen, it adds about 7,000,000,000 tons of carbon dioxide to the atmosphere yearly. This tends to make the air a more effective blanket for the earth and to raise its temperature. The effect may be considerable in a few centuries.

Charles Abbot, 1872-1973, Washington (DC) – Astrophysiker und Sonnenenergieforscher

Abbot ist schon früh davon überzeugt, dass die Sonne ein variabler Stern ist und deshalb die Solarkonstante nicht konstant sei. Die Anstellung an der Smithsonian Institution ermöglicht ihm Messungen mit dem Pyrheliometer. Mit einem Ballon kann er die Leistung der Sonnenstrahlung auf 25 km Höhe messen. Im Verlauf von 50 Jahren gelingt es ihm, die Wirkung der durch Sonnenflecken verursachten **Sonnenvariabilität** auf das Erdklima deutlich nachzuweisen. Diese Erkenntnis ist für vergangenes und künftiges Klima wichtig. Er untersucht auch den Einfluss der Strahlungsintensität auf Pflanzen und wird im Alter zu einem Pionier für thermische Solarenergienutzung.



Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Greeley_Abbot

Milutin Milankovic, 1879-1958, Belgrad – Ingenieur, Himmelsmechaniker und Klimaforscher

Milankovic, der im K&K-Reich noch Brücken baut, wird im 1. Weltkrieg als Serbe interniert und kann sich deshalb mit Grundlagenforschung beschäftigen. 1920 erscheint sein Buch «Die Mathematische Theorie der thermischen Phänomene verursacht durch Solarstrahlung». Er untersucht, wie sich die Änderungen der Erdbahn und der Erdachse über astronomische Zeiten auf die Sonneneinstrahlung in gemässigten Breiten auswirken und findet **verschiedene Zyklen**, die zwischen 20'000 und 650'000 Jahre lang sind.

In der Zwischenkriegszeit interessiert sich die Wissenschaft vermehrt für vergangene Klimaschwankungen, wie sie sich in Sedimenten und Baumringen äussern. Sie können mit Milankovic-Zyklen in Beziehung gebracht werden. Durch die Aufnahme von Milankovićs Solarstrahlungskurve in das Werk «Die Klimate der geologischen Vorzeit» (1924) der renommierten Meteorologen Wladimir Köppen und Alfred Wegener wird Milankovićs Theorie weltweit bekannt. In der Zeit der Besetzung durch die Nazis erscheint sein «Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem». – Während seine grundlegenden Einsichten unumstritten bleiben, sind Einzelheiten durch die C14-Datierung umgestossen worden.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Milutin_Milankovi%C4%87

Edward Olson Hulburt, 1890 –1982, Maryland, Geophysiker und Hobby Klimatologe

Hauptberuflich studiert er am US Naval Research Laboratory das Verhalten der Ionosphäre. Weil ihn die Klimathematik interessiert, **bestätigt** er 1931 mit einem eigenen Modell die Daten von Arrhenius. Seine Publikation «The Temperature of the Lower Atmosphere of the Earth» in der *Physical Review* interessiert die Physiker nicht und wird von den Klimatologen nicht gelesen.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Olson_Hulburt

Hulburt was an obscure worker at the U.S. Naval Research Laboratory, and he published in a journal, the *Physical Review*, that few meteorologists read. Their general consensus was the one stated in such authoritative works as the American Meteorological Society's 1951 *Compendium of Meteorology*: the idea that adding CO₂ would change the climate "was never widely accepted and was abandoned when it was found that all the long-wave radiation [that would be] absorbed by CO₂ is [already] absorbed by water vapor."

Guy Stewart Callendar, 1898-1964 – Thermodynamik-Ingenieur und Amateur-Klimaforscher

Vielseitig interessiert, berechnet er 1938 **Korrelationen** zwischen alten Temperaturmittelwerten und den wenigen Daten zur CO₂-Konzentration. Er vermutet, dass die Zunahme der Temperatur mit dem Wachstum der CO₂-Konzentration zu tun habe und schätzt eine Klima-Empfindlichkeit von 2°C für eine Verdoppelung. Autoritäten wie der Direktor der British Meteorological Society halten diese Korrelationen für zufällig. Durch weitere Publikationen fördert Callendar mit Anderen das Interesse an der Frage so stark, dass 1958 systematische CO₂-Messungen starten.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Guy_Stewart_Callendar

1950 – 2000: Klimaforschung explodiert und macht politische Probleme

Im 2. Weltkrieg interessierten das Wetter (Luftschlachten, Invasionen ...), aber nicht das Klima. Mit dem Frieden begann der Kalte Krieg und ein strategisches Seilziehen um Ressourcen: U-Boote kreuzen unter dem Nordpol, Raketen bringen Satelliten in Erdumlauf, radioaktiver Fallout ...

Das Geophysikalische Jahr von 1957

Ursprünglich als Fortsetzung der Internationalen Pol-Jahre geplant, ermöglicht es den Austausch von Daten über Glaziologie, Ozeanografie, kosmische Strahlung usw. in 67 Ländern inkl. UdSSR.

Charles David Keeling, 1928-2005, San Diego – Vater der systematischen CO₂-Messung

1957 startet er auf Mouna Loa, Hawaii, die systematische Messreihe mit einem Gerät, das auch den Tagesgang nachweisen kann. Er verteidigt die Arbeit gegen immer neue Sparpläne.

Hans Oeschger, 1927-1998, Bern – Pionier der Eiskernbohrungen und Förderer des IPCC

Oeschger kann mit der Analyse von Isotopen der Luft aus Eiskernbohrungen quantitativ das Paläoklima rekonstruieren und findet mit Willi Dansgaard Zyklen von schnellen Klimawechseln.

Syukuro Manabe, *1931, Princeton – Pionier von numerischen Klimamodellen

Der Japaner geht zur General Circulation Research des U.S. Weather Bureaus, erstellt Computermodelle mit Berücksichtigung der H₂O-Rückkopplung und erhält dafür 2021 den Nobelpreis.

James Hansen, *1941, New York – Klimatologe und Pionier der Dekarbonisierung

Hansen tritt 1988 vor dem US-Senat auf und sagt, die globale Erwärmung sei mit „99-prozentiger Wahrscheinlichkeit“ nicht durch natürliche Schwankungen, sondern vom Menschen verursacht.

1987: Das **Montreal-Protokoll** verbietet gewisse FCKW zum Schutz der Ozonschicht.

1988: Das [Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC](#) wird gegründet.

1989: Start der systematischen Klimawandel-«Skeptiker»-Bewegung

Konservative Think Tanks in den USA publizieren mit Unterstützung von Physikern wie Fred Seitz und Fred Singer, finanziert durch die Erdölindustrie, bewusst einseitige und falsche Berichte zur Diskreditierung von Klimaschutz-Aktivisten und zur Verunsicherung der Öffentlichkeit.

1992: Die **Rio-Konferenz** über Entwicklung und Umwelt mit Teilnahme von Regierungen und Nichtregierungsorganisationen verabschiedet Umweltabkommen und die [Agenda 21](#).

1997: Das **Kyoto-Protokoll der UNO** setzt den Industrieländern Reduktionsziele für den Ausstoss von Treibhausgasen und ermöglicht den Handel mit Emissionen.

Trends nach 2000

Während es durch verbesserte Messmöglichkeiten, namentlich durch Satelliten, und durch verbesserte Theorie, vor allem durch numerische Modelle, immer gewisser wird, dass die globale Erwärmung menschengemacht ist, wird der Erfolg von Massnahmen dagegen immer unsicherer.

2001: 3. IPCC-Bericht erscheint mit «Hockey-Schläger-Diagramm und ruft starke Kritik hervor.

2015: Paris Konferenz beschliesst Massnahmen, um möglichst +1.5 Grad nicht zu überschreiten.

2025: US-Präsident Trump beschliesst aus allen Klima-Abkommen auszusteigen.