Die wahre Ursache des Klimawandels und die Möglichkeiten seiner Bekämpfung

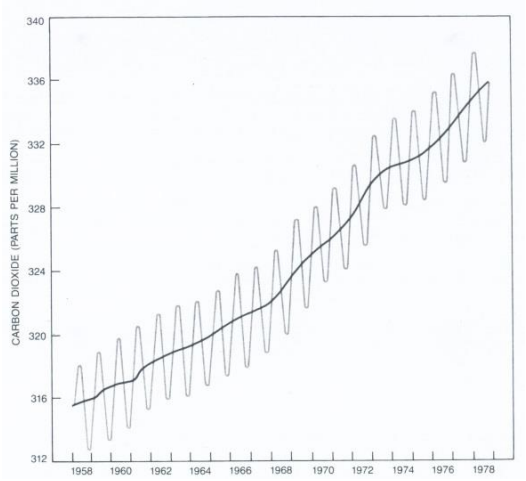
Thomas Allmendinger

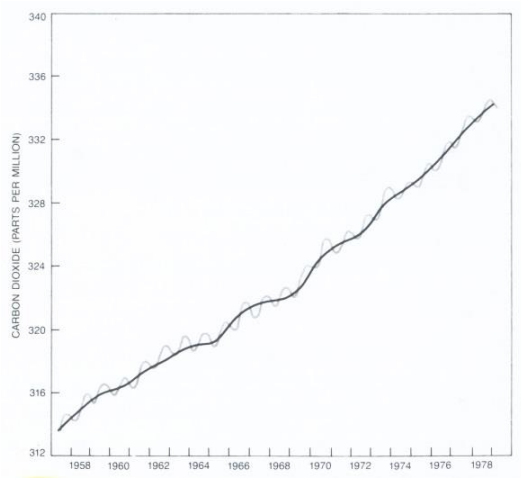
Skyline der Mega-City Chongqing in China mit 32 Millionen Einwohnern

Im Jahre 1956 gelangte mit dem im *Time Magazine* publizierten Artikel „One Big Greenhouse" erstmals die Vorstellung in die Öffentlichkeit, das in der Erdatmosphäre vorhandene Kohlendioxid führe zu einem Treibhauseffekt, welcher die schon damals beobachtete, u.a. zu einem Rückgang der Gletscher führende Temperaturerhöhung erklären könne. Der besagte Artikel stützte ab auf eine Veröffentlichung von *Gilbert N. Plass von der Johns Hopkins University* in Baltimore (USA) im *American Scientist* [1]. Plass nahm Bezug auf die Theorie von *Sven Arrhenius* aus dem Jahre 1896 [2], welche ihrerseits auf der These von *John Tyndall* aus den 1860er Jahren respektive auf entsprechenden Messungen beruhte [3]. Aufgrund jener Befunde wurde angenommen, dass die vom Erdboden ausgehende, mittels einer Formel von *Stefan* und *Boltzmann* berechenbare Wärmestrahlung nur von sog. Treibhausgasen wie insbesondere von Kohlendioxid absorbiert werde und dadurch zu einer Erwärmung der Atmosphäre führe, während dies bei Stickstoff und bei Sauerstoff, den Hauptkomponenten der Luft, nicht der Fall sei. Dabei wurde als nebensächlich erachtet, dass der Erdboden in erster Linie durch Sonnenstrahlung erwärmt wird, und zwar je nach seiner Beschaffenheit unterschiedlich stark. Zudem wurde zur Einschätzung des Klimas fälschlicherweise die ganze Atmosphäre mit einbezogen, nicht nur die bodennahe.

Der angebliche Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie wurde rund 25 Jahre später erbracht, als in einem Artikel des *Scientific American* des Jahres 1982 [4] auf den an zwei abgelegenen Orten (und zwar am Südpol sowie in Hawaii) zwischen den Jahren 1958 und 1978 ein kontinuierlicher Anstieg der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre von 316 auf 336 ppm gemessen worden war (300 ppm = 0,03 %), was einen Zusammenhang mit dem Anstieg der mittleren globalen Temperatur nahelegte (siehe Diagramme auf S. 2). Will man den im Internet publizierten Daten Glauben schenken, stieg diese Temperatur allerdings ausgerechnet in jener Periode praktisch überhaupt nicht an, sondern ging vielmehr zuerst etwas zurück, um dann wieder auf das anfängliche Niveau zurückzukehren. Dabei ist zu bedenken, dass

es sich hier um einen zeitlichen *Analogieschluss* und *nicht* um einen *Kausalbeweis* handelt, können doch weitere Faktoren von Bedeutung sein – nicht bloss natürliche, wie es die «Klima-Skeptiker» behaupten. In Betracht zu ziehen sind nämlich auch andere, gleichwohl zivilisatorisch bedingte Ursachen, also anthropogene, d.h. von Menschen gemachte. Diese dritte, hier vertretene Möglichkeit wird jedoch bei der vorherrschenden Treibhausdoktrin kategorisch ausgeschlossen: Entweder man glaubt an den von den Experten propagierten, durch den Ausstoss von CO_2 bedingten «Treibhauseffekt» – oder aber an rein natürliche, von der Zivilisation unabhängige Klimaschwankungen.





Die ansteigende CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bei Mauna Loa in Hawaii (Figur links) und am Südpol (Figur rechts) zwischen 1958 und 1978, gemäss C.D. Keeling, zitiert in [4]

In der Folge entfaltete sich eine rege Forschungstätigkeit, begleitet von einer Flut von Publikationen, und gipfelnd in mehreren Lehrbüchern. Präsentiert wurden Klimamodelle mit diversen Szenarien und divergierenden, eine grosse Bandbreite an Möglichkeiten offen lassenden Prognosen. Unterschlagen wurde dabei der Umstand, dass es eigentlich gar kein Weltklima gibt, sondern nur unterschiedliche Klimas oder bestenfalls Klimazonen – ganz entsprechend der Bedeutung des lateinischen Wortes «clima», welches «Gegend» bedeutet. Ausserdem ist eine global-durchschnittliche Temperatur der Atmosphäre weder definier- noch genau messbar, sind doch die Schwankungen riesig – sei es hinsichtlich der geographischen Breite, der Höhenunterschiede, der Unterschiede zwischen den Meeren und den Kontinenten und nicht zuletzt zwischen den Jahreszeiten sowie zwischen Tag und Nacht. Zudem gehören zum Klimabegriff auch Regen und Schnee sowie die damit verbundenen Winde und Stürme, welche langfristig nicht vorhersehbar sind. Vor allen Dingen ist zu bedenken, dass es in der Atmosphäre um energetische Vorgänge geht, wobei die Temperatur nur einen Teil ausmacht.

Ab etwa dem Jahr 2005 erschienen Publikationen, welche entscheidend dazu beitrugen, dass sich die Treibhaustheorie in der öffentlichen Meinung durchsetzte. Dabei erhielt das CO_2 den Status einer Art *Klimawährung*, d.h. es diente als Mass für den Zustand des Klimas. Hierzu ist vorab das Buch von *Tim Flannery* aus dem Jahre 2005 mit dem Titel «The Weathermakers» zu erwähnen. Vor allem aber hatte das ein Jahr später erschienene Buch vom ehemaligen US-Vizepräsidenten und Präsidentschaftskandidaten *Al Gore* sowie der entsprechende Film mit dem Titel «An Inconvenient Truth» einen durchschlagenden Erfolg, was mit dem Friedensnobelpreis sowie mit einem Oskar belohnt wurde und dadurch an Glaubwürdig-

keit gewann. Seither gilt als alleiniges und nicht hinterfragbares Mittel im Kampf gegen den Klimawandel die Reduktion des Kohlendioxid-Ausstosses - vorab durch Umstellen auf erneuerbare Energien, insbesondere auf alternative wie Photovoltaïk und Windkraft.

Doch schon lange vorher waren Institutionen entstanden, welche sich zum Ziele setzten, den Klimawandel mittels geeigneter, politisch unterstützter Massnahmen zu bekämpfen. Dabei wurde jener gleichgesetzt mit dem CO_2-Ausstoss, ohne dass freilich ein eindeutiger physikalischer Zusammenhang vorlag. So wurde im Jahre 1992 die UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) gegründet, unterstützt vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Doch schon vorher wurden seitens der UNO zahlreiche sog. COPs (Conferences on the Parties) abgehalten: Die erste fand 1985 in Berlin statt; die bekannteste 1997 in Kyoto; die wichtigste 2015 in Paris, führte sie doch zum von 195 Nationen unterzeichneten Klimaabkommen. Dabei wurden unzählige Dokumente erstellt, insgesamt mehr als 40'000.

Seit dem Abkommen von Paris hat sich das Klima indessen weiter verschlechtert, was sich weltweit nicht zuletzt in Unwettern und Dürreperioden äusserte. Der Grund wurde darin gesehen, dass sich niemand an das Abkommen gehalten habe, jedenfalls nicht in nennenswertem Mass. Dies rief die «Klimaschützer» auf den Plan, allen voran Greta Thunberg. Dadurch wurde die Debatte noch emotionaler und unsachlicher, als sie schon seit jeher war, wurden doch lediglich Autoritätsbeweise angeführt wie vor allem der, dass 98% der Wissenschaftler von der Richtigkeit der Treibhaustheorie überzeugt seien. Dabei wirkte sich die Treibhausdoktrin insofern *kontraproduktiv* aus, als sie den Nutzen von anderen Massnahmen in Abrede stellte und diese dadurch unterband.

Der historische Anlass für die Treibhaustheorie und deren Schwachstellen

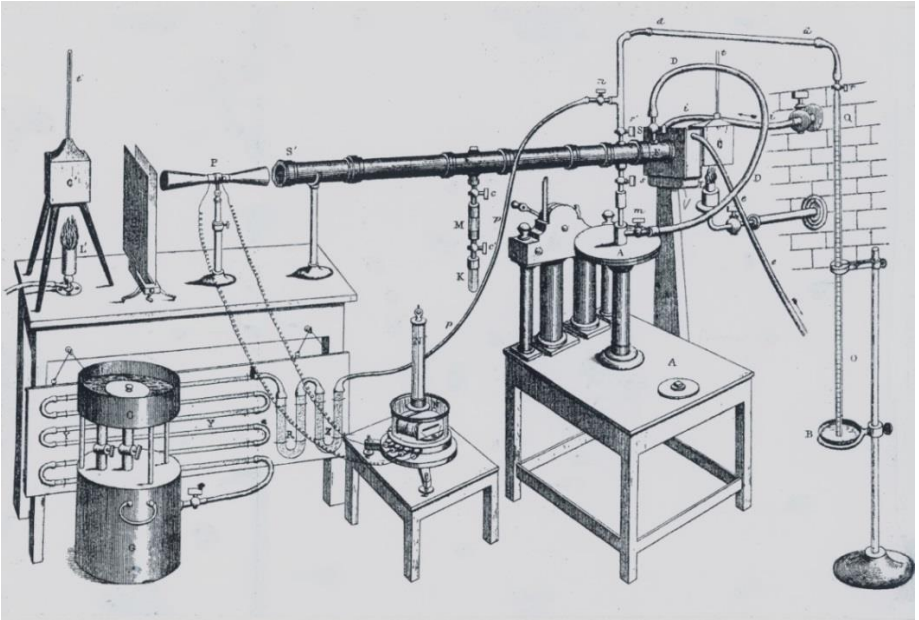
Die wissenschaftliche Literatur über die Treibhaustheorie ist derart weitläufig, dass es schwierig ist, eine klar umrissene, durchwegs akzeptierte Theorie zu finden. Als richtungsweisend können indessen die Publikationen von James E. Hansen [5] und V. Ramanathan und Mitarbeitern [6] gelten. Aufschlussreich sind ferner die Lehrbücher [7], [8], [9] und [10]. Darin wird angenommen, dass die durch die Sonne erhitzte Erdoberfläche Wärme an die Atmosphäre abstrahlt und jene umso stärker erwärmt, je mehr «Treibhausgase» darin vorhanden sind, insbesondere CO_2. Dabei findet eine Rückstrahlung der Atmosphäre statt, was einen sog. *radiative heat transfer* zur Folge hat.

Wenn man sich der äusserst geringen CO_2-Konzentration in der Luft von lediglich ca. 400 ppm (parts per million) = 0,04 % bewusst wird, so müsste man eigentlich nur schon deshalb stutzig werden und sich fragen, wie es denn möglich sein soll, dass die Temperatur der Atmosphäre – und damit der wichtigste Faktor für das Klima – von einer derart winzigen Gasmenge abhängen kann. Dies würde ja bedeuten, dass die Temperatur der Atmosphäre im Bereich des absoluten Nullpunkts von -273°C läge, falls in der Luft kein CO_2 sowie keine anderen «Treibhausgase» vorhanden wären!

Und in der Tat: Es bedarf keiner spezieller physikalischer Kenntnisse um zu begreifen, dass diese Theorie absurd ist und nicht stimmen kann. Doch der Umstand, dass sie sich in den Köpfen eingenistet hat und zum globalen Politikum geworden ist, nötigt eine Untersuchung der Messmethoden und ihrer Resultate auf, welche die Grundlagen für die Theorie lieferten, und wie es zu ihrer Fehlinterpretation gekommen ist. Dazu ist es unumgänglich, näher darauf einzugehen. Im Vordergrund stehen dabei zwei Aspekte:

Der erste Aspekt betrifft die *photometrischen Messungen an Gasen* im Bereich der Wärmestrahlung, welche Tyndall in den 1860er Jahren durchgeführt hatte, und welche in den 1950er Jahren durch IR-spektroskopische Messungen ergänzt wurden (IR = Infrarot, d.h. unsichtbare elektromagnetische Strahlung mit grösseren Wellenlängen als diejenige von rotem Licht).

Wie der Blick auf die von *Tyndall* gemäss [11] verwendete Apparatur verrät, standen in den 1860er Jahren für physikalische Versuche bei weitem nicht all die Materialien und Geräte zur Verfügung, auf welche wir heute einfacherweise zurückgreifen können. So hatte *Edison* die Glühbirne erst nachher erfunden nämlich 1879. Die für diese Messung benötigte Wärmequelle war allerdings ohnehin für eine niedrigere Temperatur vorgesehen, als sie bei einer Glühlampe zu erwarten ist. Verwendet wurden hier nämlich sog. *Leslie-Würfel* (in der Abbildung mit c bezeichnet). Dabei handelte es sich um hohle Metallwürfel, welche mit Wasser gefüllt und mittels Bunsenbrenner auf die gewünschte Temperatur (meistens bis zum Siedepunkt des Wassers) gebracht werden konnten. Auch gab es noch keine Photosensoren zur Messung der Strahlungsintensität. Immerhin waren schon Thermoelemente bekannt, anhand derer Temperaturunterschiede festgestellt werden konnten. Allerdings musste als Referenz ein weiterer Leslie-Würfel eingesetzt werden. Gemessen wurde die Intensitätsabnahme der Wärmestrahlung infolge des im Probenrohr eingeschlossenen Gases, was Rückschlüsse auf dessen Absorptionsverhalten ermöglichte. Dabei stellte sich heraus, dass gewisse Gase wie insbesondere CO_2 im Gegensatz zu Stickstoff und zu Sauerstoff stark absorbieren.



Apparatur von Tyndall zur Messung der Absorption von Wärmestrahlung bei Gasen [11]

Dieser Befund wurde später anhand von *IR-spektroskopischen Messungen* im Prinzip bestätigt (IR = Infrarot). Im Unterschied zur Methode von Tyndall wurde dort jedoch nicht ein Lichtstrahl im Umfang seines gesamten Wellenlängenbereichs verwendet, sondern lediglich einer mit einer ganz bestimmten, mittels eines Prismas und einer Blende einstellbaren Wellenlänge. Durch Variation dieser Wellenlänge kann über eine photometrische Messung das Absorptionsspektrum einer Substanz ermittelt werden. Zudem wurde teils mit hohen Drucken und mit längeren Rohren gearbeitet [12].

Die Methode wird heute routinemässig zur Charakterisierung chemischer Substanzen verwendet, allerdings meistens bei Lösungen. Doch selbst hier ist sie für quantitative Messungen ungeeignet, d.h. die Stärke der Absorption einer gelösten IR-aktiven Substanz ist nicht proportional zu ihrer Konzentration, wie es das Beer-Lambert'schen Absorptionsgesetz besagt.

Dies trifft noch weniger zu bei Gasen und erst recht nicht für Messungen bei hohen Drucken. Jene wurden gemacht aufgrund der Idee, die atmosphärischen Verhältnisse – wo es ja um Absorptionsdistanzen in der Grössenordnung von 10 km geht – imitieren zu können, und dann erst noch mit reinem CO_2 statt mit CO_2/Luft-Gemischen. Dennoch wird in den Lehrbüchern stets das Beer-Lambert'sche Absorptionsgesetz angeführt.

Hinzu kommt ein zweiter, bedeutenderer Aspekt. Bei allen bisherigen Messungen wurde nämlich stets nur die *Absorption* der eingesetzten Strahlung durch das Gas gemessen – d.h. die Differenz zwischen der Strahlungsintensität am Anfang des mit dem Probengas gefüllten Rohres zu derjenigen am Ende des Rohres –, nie aber die *Erwärmung* des Gases.

Eine physikalische Formel, welche die Berechnung der Erwärmung eines Gases als Funktion seines spektroskopisch bzw. photometrisch ermittelten Absorptionsgrades ermöglichen würde, gibt es nämlich nicht. Insbesondere liesse das Fehlen von IR-Absorptionsbanden bei den Hauptkomponenten der Luft – also bei Stickstoff (ca. 80 %) und bei Sauerstoff (ca. 20 %) – erwarten, dass sich reine Luft (herstellbar durch eine 4:1 Mischung von Stickstoff mit Sauerstoff) bei Wärmebestrahlung nicht erwärmt. Die entsprechenden, erstmals vom Autor durchgeführten Messungen lieferten jedoch völlig unerwartete Ergebnisse.

Thermische Gasabsorptionsmessungen

Will man die Erwärmung von Gasen infolge Wärmeeinstrahlung messen, so ist mit einer Beeinträchtigung der Messung durch die Wand des Probenrohres zu rechnen, weist diese doch eine deutlich höhere Wärmekapazität auf als das eingeschlossene Gas. Auch adsorbieren Festkörper Wärmestrahlung stärker als Gase, wärmen sich allerdings langsamer auf. Dadurch besteht die Gefahr, dass die Wand direkt von der Strahlung aufgewärmt wird und dann diese Wärme an das Gas weiterleitet. Und schliesslich kann sogar die Glaswand des Thermometers stören, absorbiert es doch selber ebenfalls Wärme.

Aus diesen Gründen wurden für die eigenen Messungen quadratische Rohre mit relativ grossem Querschnitt verwendet (20 cm), welche aus 3 cm dicken *Styroporplatten* bestanden und an beiden Enden mit dünnen Plastikfolien abgedeckt waren [13]. Styropor weist infolge der geringen Dichte nicht nur eine geringe Wärmekapazität auf, sondern leitet auch die Wärme schlecht und eignet sich daher besonders gut als Isolator. Um den Temperaturverlauf entlang des Rohres feststellen zu können, wurden an drei Stellen (unten, in der Mitte und oben) Quecksilber-Thermometer angebracht, deren Spitzen mit Alu-Folie verspiegelt waren. Das zu testende Gas wurde aus einer Stahlflasche mit Reduzierventil über einen Stutzen am unteren Ende langsam in das Rohr eingeblasen, was gewöhnlich etwa eine Stunde dauerte. Das Rohr wurde schrittweise optimiert und am Ende innen mit einer hauchdünnen Alu-Folie verspiegelt sowie aussen mit einer Klebefolie abgedichtet (siehe Abb. S. 6 oben links). Die zu seiner Herstellung erforderlichen Materialien (d.h. Styropor sowie dünne Plastik- und Aluminium-Folien) sind heutzutage leicht erhältlich, standen aber früher nicht zur Verfügung, sodass entsprechende Messungen gar nicht möglich gewesen wären.

Solarrohr, nach der Sonne ausrichtbar

Wärmestrahlungsrohr mit IR-Spot

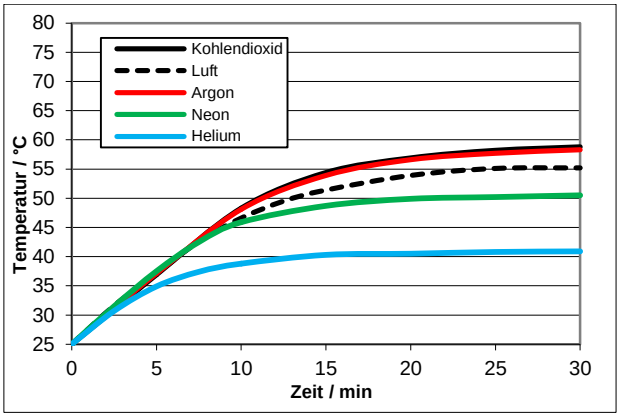
Die ersten Messungen wurden in Sonnenlicht mit Zwillingsrohren gemacht, wobei ein Rohr mit Luft und das andere mit Kohlendioxid gefüllt war. Dabei stieg die Temperatur innerhalb weniger Minuten auf einen *Grenzwert* an, und zwar an allen drei Messpunkten zugleich. Überraschender Weise war die Erwärmung in beiden Fällen nahezu gleich gross – nämlich etwa 10°C –, wäre doch lediglich beim (reinen) CO_2 eine solche zu erwarten gewesen, nicht aber bei der Luft. Nur schon dieses Ergebnis lieferte den Beweis, dass die Treibhaustheorie nicht stimmen kann, gab zudem aber den Anlass, das Ganze anhand von künstlichem, besser definiertem Licht genauer zu untersuchen.

Die folgenden Versuche wurden daher mit einem oberhalb angebrachten *IR-Spot* gemacht (Seite 6, Bild rechts). Eingesetzt wurden Spots mit unterschiedlicher Leistung (50 W, 100 W und 150 W). Insbesondere der letztere führte zu einer wesentlich stärkeren Temperaturerhöhung des eingeschlossenen Gases, als es beim Einsatz von Sonnenlicht der Fall war. Dadurch konnten variable Einflüsse wie namentlich die Art des Gases besser untersucht werden. Der Nachteil der Methode bestand darin, dass infolge der künstlichen Strahlungsquelle – anders als bei Sonnenlicht – entlang des Rohres ein *Temperaturgradient* auftrat, was die Abschätzung der effektiven Strahlungsleistung erschwerte. Durch Optimierungen des Rohres konnte dieser Gradient indessen verringert werden.

Aufgrund der Messresultate mit IR-Spots bei verschiedenen Gasen konnten wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden. In jedem Falle erhitzte sich das bestrahlte Gas, bis eine nicht mehr veränderliche Grenztemperatur eintrat. Dies lässt sich damit erklären, dass das Gas Wärme abstrahlte, und zwar mit zunehmender Temperatur immer mehr, bis ein *Gleichgewichtszustand* erreicht war, *wo die absorbierte Strahlungsleistung gleich der abgestrahlten war*.

Wie aus dem Diagramm auf Seite 7 ersichtlich ist, bestätigte sich einerseits die schon im Falle des Sonnenlichts gewonnene Erkenntnis, dass sich Luft ungefähr gleich stark erwärmt wie reines Kohlendioxid, wobei sich feuchte Luft kaum unterschied von trockener. Andererseits zeigte sich, dass selbst *Edelgase* IR-Strahlung absorbieren.

Dies war noch überraschender als die Ähnlichkeit von Luft mit Kohlendioxid. Wie anschliessend erläutert wird, konnte jedoch eine Erklärung dafür gefunden werden.



Temperaturverläufe für unterschiedliche Gase
(150 W Spot, mittlere Thermometerposition)

Interpretation der Messresultate

Aus dem obigen Diagramm ist aufgrund der Steigungen im Anfangsbereich ersichtlich, dass die *Aufheizgeschwindigkeit* in allen Fällen gleich gross und somit unabhängig von der Art des Gases war. Deutliche Unterschiede traten hingegen bei den *Grenztemperaturen* auf, was auf die unterschiedlichen Abstrahlleistungen zurückzuführen ist. Da bei jeder Grenztemperatur die absorbierte Strahlungsleistung gleich der emittierten ist, lässt sich die letztere (nicht direkt messbare) aufgrund der ersteren (direkt messbaren) ermitteln.

Wie die Auswertung unter Anwendung der kinetischen Gastheorie ergab, ist die thermische Abstrahlung von Gasen *proportional zur Stossfrequenz F der Gasteilchen*. Dabei spielen die *Grösse* der Teilchen – bzw. ihre *Querschnittsfläche* σ – nebst dem Druck p und der absoluten Temperatur T eine Rolle. Insgesamt gilt:

$$F \sim p \cdot \sigma \cdot \sqrt{T/M} \qquad (M = \text{Molmasse})$$

Der Vergleich der Resultate bei Einsatz von IR-Spots einerseits und bei Einsatz von Sonnenstrahlung anderseits liess ausserdem den Schluss zu, dass relativ kurzwellige IR-Strahlung betroffen ist. Wie jedoch spätere Versuche mit einer am Fusse des Strahlungsrohrs angebrachten Herdplatte bei wesentlich tieferen Temperaturen (<90°C) ergaben [14], erfolgte auch bei grösseren Wellenlängen (wie sie gemäss der Planck'schen Strahlungsformel bei Festkörpern mit tieferer Temperatur zu erwarten sind, also auch an der Erdoberfläche) eine mit einer Erwärmung verbundene Absorption, wobei sich Kohlendioxid sogar noch weniger stark erwärmte als Luft. Die hiermit entdeckte und bisher übersehene Absorption verläuft somit über einen relativ grossen Wellenlängenbereich - ganz im Unterschied zum aus der Literatur bekannten Fall bei IR-spektroskopischen Messungen, wo lediglich relativ schmale Absorptionsbanden auftreten. Sie ist *nicht spezifisch* – d.h. sie erfolgt bei *allen* Gasen, wie gesagt auch bei Edelgasen – und führt zu einer Erwärmung, während die für die IR-Spektroskopie relevante, spezifische Absorption zu keiner – respektive zu keiner zusätzlichen, messbaren – Erwärmung führt. Es handelt sich also um eine prinzipiell andere Art von IR-Absorption.

Dies lässt sich folgendermassen erklären: *Im ersten, für die Atmosphärenphysik relevanten Fall bewirkt die spektroskopisch nicht messbare Absorption eine Schwingung der Elektronenhülle, welche sich in Translations-*

energie und damit in Wärme umwandeln kann (und umgekehrt), während die Adsorption im zweiten, spektroskopisch messbaren Fall zu Kernschwingungen bei Bindungen innerhalb von Molekülen führt, jedoch nicht oder nur in geringem Masse zu einer Erwärmung, weil die absorbierte Strahlung zumindest teilweise wieder abgestrahlt wird, ohne dass die Schwingungsenergie in Wärme umgewandelt wird. Bis zu welchem Grade dies der Fall ist, müsste empirisch abgeklärt werden.

Dieser Befund bestätigte sich im Prinzip durch die mittlerweile – unabhängig davon – erfolgte Publikation von *Seim* und *Olsen* [15]. Dort wurde ebenfalls ein quadratisches Rohr aus Styropor eingesetzt, welches jedoch in zwei mit unterschiedlichen Gasen gefüllte Kammern unterteilt war. Die eine Kammer war mit Luft, und die andere mit CO_2 respektive mit Argon gefüllt. Als Wärmequelle diente eine mittels einer 500 W Halogenlampe erwärmte schwarze Metallplatte. Auch wenn die auf der Treibhaustheorie beruhende Auswertung hinterfragbar ist, so ist doch das Resultat bemerkenswert: Es traten nämlich ebenfalls Grenztemperaturen ein, wobei die Abstrahlung von Luft fast gleich gross war wie diejenige von CO_2.

Die Reflexion an Festkörpern

Darüber hinaus gibt es aber noch einen weiteren Fehler, mit welchem die gängige Treibhaustheorie behaftet ist. Er beruht darauf, dass die Atmosphäre nur teilweise direkt durch Strahlung aufgeheizt wird. Hauptsächlich erfolgt die Erwärmung nämlich *indirekt*, und zwar durch Aufheizen der Erdoberfläche, welche Wärme an die Atmosphäre abgibt, sei es durch Wärmeleitung oder sei es durch Wärmestrahlung. Jene Abstrahlung entspricht der Abstrahlung von sog. «schwarzen Körpern» und hängt mit dem Gesetz von *Stefan* und *Boltzmann* zusammen, welches 1884 publiziert wurde, und auf welches *Arrhenius* [2] Bezug nahm, es jedoch falsch interpretierte. Da es in der Atmosphärenphysik von zentraler Bedeutung ist, soll es kurz erläutert werden.

Unter einem «schwarzen Körper» versteht man einen Körper, welcher elektromagnetische Strahlung vom IR-Bereich bis zum UV-Bereich vollständig absorbiert und sich dabei erwärmt, wobei die Aufheizrate von der Strahlungsleistung und der Wärmekapazität des Körpers abhängt. Zugleich strahlt der schwarze Körper aber auch elektromagnetische Strahlung ab, und zwar umso mehr, je höher seine Temperatur wird. Gemäss dem besagten Gesetz ist die Abstrahlungsleistung Φ eines schwarzen Körpers *proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur*. Sie wird auf die Fläche bezogen und weist die Dimension W/m^2 auf. Die *Stefan-Boltzmann-Konstante* σ entspricht dabei dem Proportionalitätsfaktor und beträgt $\sigma = 7{,}67 \cdot 10^{-16}\ Jm^3K^{-4}$. Somit gilt

$$\Phi = \sigma \cdot T^4$$

Diese Formel bezieht sich auf den Gleichgewichtszustand, d.h. auf die *Grenztemperatur*, welche der entsprechende schwarze Körper bei der Bestrahlung erreicht. Sie erlaubt keine Aussage über die Wellenlänge bzw. die Frequenz des abgestrahlten Lichts. Eine solche ist nur möglich anhand der bahnbrechenden, im Jahre 1900 publizierten Formel von *Max Planck* respektive den daraus ableitbaren Kurven. Jene besagt, dass die Frequenz des abgestrahlten Lichts umso grösser wird, je höher die Temperatur des schwarzen Körpers ist. Bei niedrigen Temperaturen wird lediglich Wärme abgestrahlt, also IR. Bei höheren Temperaturen beginnt der Körper zu glühen: zuerst rot und später weiss, einem Gemisch aus verschiedenen Farben. Anschliessend kommt das UV. Das Abstrahlverhalten der Sonne entspricht ziemlich genau dem Planck'schen Spektrum, und zwar bei der Temperatur von ca. 6000 Grad Kelvin.

Bemerkenswerterweise verhält sich die *Atmosphäre als Ganzes* wie ein schwarzer Körper, allerdings nur, was die Abstrahlung betrifft. Sie strahlt einerseits zurück in Richtung Erdoberfläche, und anderseits nach aussen in Richtung Weltall. Erfassbar ist nur die erstere. Massgebend für ihre Intensität ist die Temperatur der Luft in Bodennähe. Diese atmosphärische Wärmestrahlung erfolgt somit *zusätzlich* zur Einstrahlung der Sonne, welche sich im Verlaufe des Tages verändert und nachts ganz ausfällt. Also gilt

$$\Phi_{hin,tot} = \Phi_{Sonne} + \sigma \cdot T_{Luft}^4$$

Ausserdem verhält sich jeder undurchsichtige (opake) Festkörper – also auch die Oberfläche der Erde, zumindest was ihre festen Komponenten betrifft – ebenfalls wie ein schwarzer Körper. Wäre die Erdoberfläche völlig schwarz, und würde die Sonneneinstrahlung senkrecht zu jener erfolgen, so würde im Gleichgewichtszustand – also bei der Grenztemperatur – gelten

$$\Phi_{Erde} = \sigma \cdot T_{Erde}^4 = \Phi_{Sonne} + \sigma \cdot T_{Luft}^4$$

Dies ergibt umgeformt

$$\Phi_{Sonne} = \sigma \cdot \left(T_{Erde}^4 - T_{Luft}^4\right)$$

Nimmt man überdies an, dass infolge Färbung der Erdoberoberfläche lediglich ein Teil des Sonnenlichts absorbiert wird, während der Rest reflektiert wird – und zwar mit einem Anteil von α (= Reflexionskoeffizient) –, so erhält man die Formel

$$\Phi_{Sonne}\,(1-\alpha) = \sigma \cdot \left(T_{Erde}^4 - T_{Luft}^4\right)$$

Die herkömmliche Theorie enthält indessen zumindest zwei fundamentale Fehler (siehe auch [14]):

Erstens wurde nicht der Kontaktbereich zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre fokussiert, sondern derjenige zwischen der Atmosphäre und dem Weltall. Damit zusammenhängend wurde der Einfluss der Atmosphäre weggelassen, wobei die Erde inklusive Atmosphäre als farbiger Körper und die Atmosphäre als schwarzer Körper angenommen wurde, allerdings nur hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens. Infolgedessen wurde mit einem extraterrestrischen α-Wert, der sog. *Albedo*, gerechnet. Nur existiert ein solcher nicht, d.h. das Stefan-Boltzmann Gesetz gilt hier nicht.

Zweitens wurde für die davon ausgehende Berechnung des globalen Durchschnittswerts ausser Acht gelassen, dass die im Stefan-Boltzmann Gesetz vorkommenden Temperaturen *Grenztemperaturen* sind. Dieses Gesetz ist somit nicht anwendbar, falls nur schon infolge des Tag-/Nacht-Rhythmus‘ Temperaturschwankungen auftreten, wobei die Grenztemperaturen infolge erheblicher Dicke der Erdschicht meist gar nicht erreicht werden.

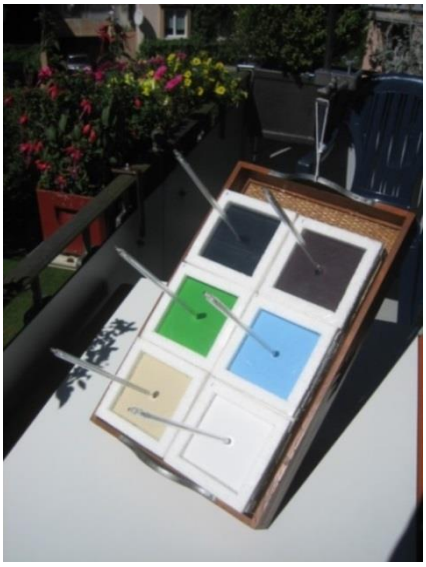
Darüber hinaus besteht ein Messproblem bei der Bestimmung von α, selbst wenn dessen Wert auf die Oberfläche einer bestrahlten Schicht bezogen wird. Er ist nämlich definiert als das Verhältnis von der ausfallenden zu der einfallenden Strahlungsleistung. Nur wäre zu berücksichtigen, dass die Intensität der einfallenden (Sonnen-) Strahlung unabhängig ist von der Distanz zum Boden, während die Intensität der Abstrahlung von dieser Distanz abhängt. Man müsste somit die Temperatur der bestrahlten Fläche messen – wobei der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung konstant sein müsste. Bei den üblichen Feldmessungen ist dies jedoch nicht der Fall.

Daher wurde eine Methode entwickelt, um den für eine bestimmte Farbe charakteristischen *solaren Absorptionskoeffizienten* $\beta_s = 1 - \alpha_s$ direkt zu ermitteln, und zwar anhand von genau definierten gefärbten Platten. Davon ausgehend lassen sich auch Feldmessungen durchführen, wenn auch nur bei relativ kleinen Flächen.

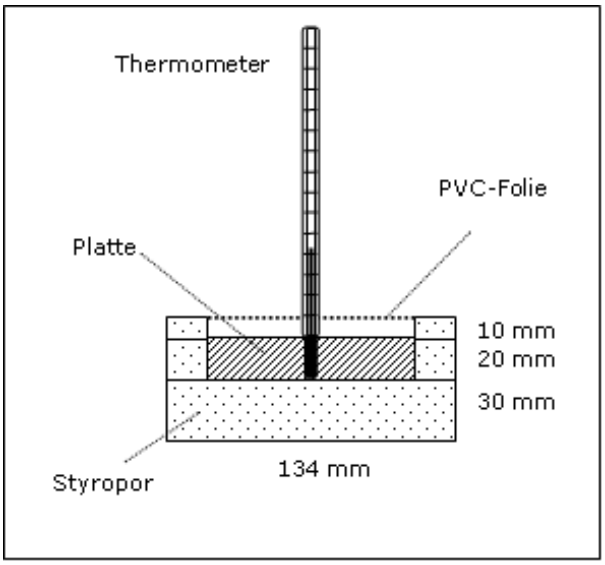
Die Messung der solaren Absorptionskoeffizienten bei gefärbten Platten

Bei dieser in [16] beschriebenen Methode wird die zeitliche Erwärmung von standardisierten (10 x 10 x 2 cm^3), unterschiedlich bemalten Platten bei senkrecht einfallendem Sonnenlicht gemessen, wobei jeweils mehrere Einheiten auf einem Tablar angeordnet werden können, welches durch Neigung genau nach der Sonne ausgerichtet und jener nachgeführt werden muss (Figur oben links). Die Platten bestehen vorzugsweise aus Aluminium, sind zur Isolation in Styropor eingelassen und mit Thermometern sowie mit Vorfenstern aus transparenten Plastikfolien versehen (Figur oben rechts). Gleichzeitig muss mit einem elektronischen Messgerät die Intensität der Sonnenstrahlung gemessen werden (in W/m^2). Zum Vergleich wurden auch Messungen mit Holzplatten, Platten aus Dachziegeln sowie solchen aus natürlichen Gesteinen gemacht.

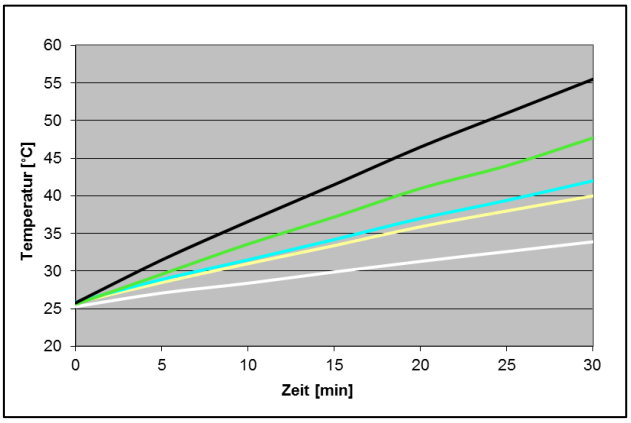
Eine solche Messung dauert gewöhnlich eine halbe Stunde, wobei alle fünf Minuten abgelesen wird. Während dieser Zeit muss der Himmel wolkenlos sein. Trägt man die Temperaturen gegen die Zeit auf, so erhält man ein Diagramm wie das mittlere unten. Aus den Steigungen der Geraden und den Wärmekapazitäten der Platten lässt sich die aufgenommene Wärmeleistung berechnen, welche durch Vergleich mit der gemessenen Intensität des Sonnenlichts den Anteil der absorbierten Strahlungsleistung ergibt.



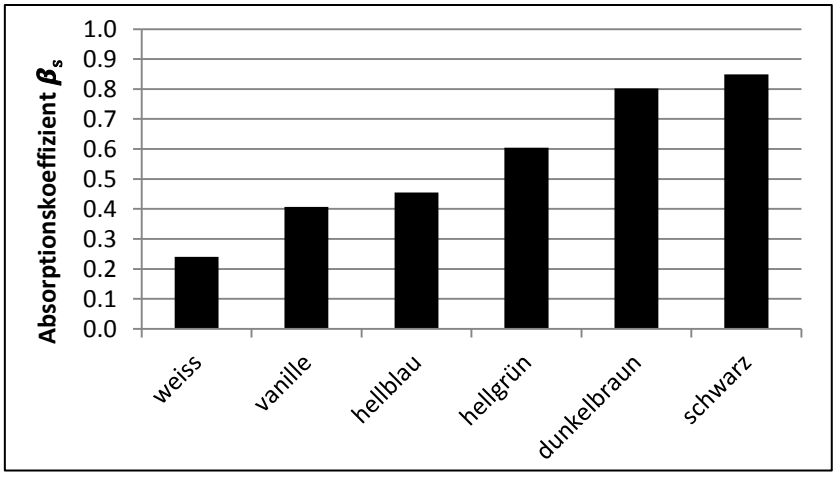
Anordnung von 6 Messeinheiten



Einheit zur Messung der Aufheizraten (Querschnitt)



Zeit/Temperatur-Diagramm für unterschiedlich gefärbte Alu-Platten



Solare Absorptionskoeffizienten β_s für die obigen Referenzfarben

Für die sechs ausgewählten Farben wurden die im obigen Diagramm dargestellten Werte der *solaren Absorptionskoeffizienten* β_s ermittelt. Rechnerisch ergaben sich daraus die komplementären *solaren Reflexionskoeffizienten* $\alpha_s = 1 - \beta_s$.

Führt man die Messung fort, d.h. setzt man die Platten noch länger der Sonne aus, so beginnen sich die Zeit/Temperaturkurven abzuflachen, weil die Platten Wärme abstrahlen bzw. an die Atmosphäre abgeben. Diese Wärmeabgabe wird umso grösser, je grösser die Temperaturdifferenz zur Umgebung ist, und zwar so lange, bis eine *Grenztemperatur* erreicht ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die Leistung der absorbierten Strahlung gleich gross wie diejenige der emittierten Strahlung. Es handelt sich also um einen analogen Effekt wie bei der Bestrahlung von Gasen.

Allerdings dauert es hier viel länger, bis die Grenztemperatur erreicht ist, nämlich – bei 20 mm dicken Aluminiumplatten – mehrere Stunden. Derart lang andauernde Messungen sind jedoch praktisch unmöglich, weil sich die Intensität der Sonnenstrahlung während dieser Zeit zu stark verändert. Daher stellte sich die Frage, ob es nicht möglich ist, das Abkühlverhalten von solchen Platten *separat* zu messen – und zwar in einem abgedunkelten Raum mit künstlich aufgewärmten Platten –, um dann den Aufheizvorgang mit dem Abkühlvorgang rechnerisch zu kombinieren.

Die Abkühlversuche wurden mit denselben Platten durchgeführt wie die Aufheizversuche. Dabei zeigte sich, dass die Abkühlgeschwindigkeit *unabhängig von der Oberflächenfärbung,* aber abhängig von der Plattendicke bzw. der Wärmekapazität der Platten ist. Ferner liessen sich mathematische Gesetzmässigkeiten finden, die eine Extrapolation sowie eine Modellierung des Prozesses ermöglichten. In den beiden Diagrammen auf Seite 12 oben werden die Ergebnisse von 20 mm dicken Aluminiumplatten mit denjenigen von 14,5 mm dicken Platten aus Dachziegeln verglichen. Offensichtlich *sind die Grenztemperaturen unabhängig vom Grundmaterial, sondern nur abhängig von der Farbe* (und natürlich von der Intensität der Sonnenstrahlung sowie von atmosphärischen Bedingungen wie namentlich der Windstärke). Die *Aufheizgeschwindigkeit* hängt dagegen vom Grundmaterial ab.

Die auf diese Weise erhaltenen Grenztemperaturen stimmten gut mit den aufgrund der Stefan/Boltzmann-Relation erhaltenen Grenztemperaturen überein. Auch die im nächsten Kapitel erwähnten Direktmessungen anhand dünnerer Platten ergaben ähnliche Werte.

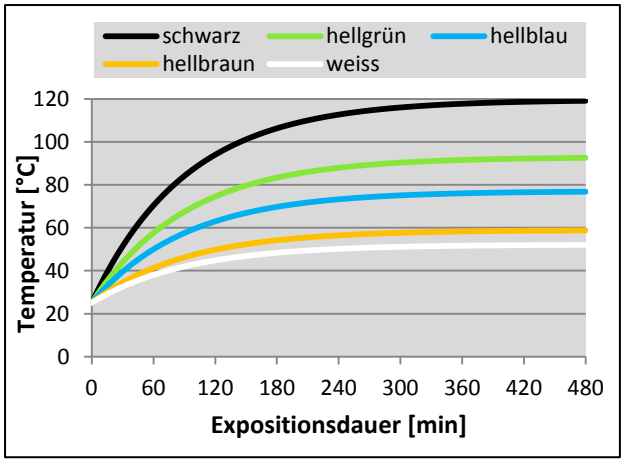


Diagramm 1: Aufwärmung von Alu-Platten bei einer Sonneneinstrahlung von 1000 Wm^{-2}

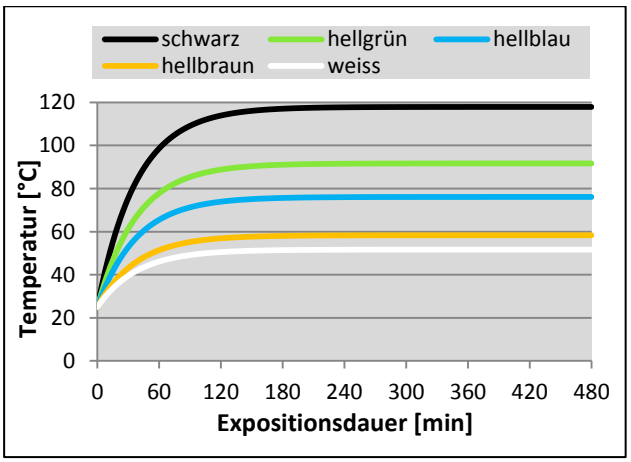


Diagramm 2: Aufwärmung von Ziegel-Platten bei einer Sonneneinstrahlung von 1000 Wm^{-2}

Das Höhen-Paradoxon der Temperatur

Die Feststellung, dass es in den Bergen durchwegs kühler ist als in den Tälern und im Flachland, ist banal. Schon weniger banal ist es, diesen Umstand erklären zu wollen, denn der Grund dazu ist nicht so ohne weiteres klar. Die gängige Erklärung ist, dass sich die vom Talboden aufsteigende Luft abkühlt. Nur trifft das nicht zu, wenn es um grossflächige Hochebenen geht, fernab von den Hängen, wo die Luft aufsteigt. Geradezu paradox will es scheinen, wenn man bedenkt, dass die Intensität der Sonnenstrahlung in den Bergen viel grösser ist als im Tal, besonders was ihren UV-Anteil betrifft. Dies deshalb, weil die Atmosphäre Strahlung streut und absorbiert, nicht nur die erwähnte IR-Strahlung, sondern nebst der UV-Strahlung auch solche im sichtbaren Bereich. Wäre dies nicht der Fall, so wäre der Himmel nicht blau, sondern schwarz, und es gäbe – bei tief stehender Sonne – weder Morgenrot noch Abendrot. Daher liegt der Schluss nahe, die atmosphärische Strahlungsabsorption sei der Grund für die höheren Temperaturen in Tieflagen, ist dort doch der Luftdruck und damit die Strahlungsabsorption höher.

Doch dies ist nur die halbe Wahrheit. Viel wichtiger als die direkte Wechselwirkung der Sonnenstrahlung mit der Luft ist wie gesagt die *indirekte via Erdboden*, zumindest dann, wenn keine Wolken vorhanden sind. *Dort* wird der Grossteil absorbiert und anschliessend an die Atmosphäre abgegeben, und zwar nicht nur aufgrund von Wärmestrahlung, sondern auch aufgrund von einfacher Wärmeübertragung.

Wie in der obersten Formel auf Seite 9 bereits zum Ausdruck gebracht, kommt zusätzlich zur Sonneneinstrahlung noch die auf die Erdoberfläche einwirkende Strahlung der Atmosphäre hinzu. Verwendet man anstelle des (farbabhängigen) solaren Reflexionskoeffizienten α_s den solaren Absorptionskoeffizienten β_s, so wird aus der Formel zuunterst auf derselben Seite die Formel

$$\Phi_{Sonne} \cdot \beta_s = \sigma \cdot \left(T_{Erde}^4 - T_{Luft}^4\right)$$

Setzt man nun für die Strahlung der Luft anstelle des Ausdrucks gemäss Stefan/Boltzmann den eigenen Ausdruck der Strahlung gemäss der Formel auf Seite 7 ein und nimmt an, dass infolge der strukturellen Ähnlichkeit der Stickstoff- und der Sauerstoffmoleküle ein gemeinsamer Proportionalitätsfaktor A verwendet werden kann, so ergibt sich die Gleichung

$$\Phi_{Sonne} \cdot \beta_s = \sigma \cdot T_{Erde}^4 - A \cdot p \cdot \sqrt{T_{Luft}}$$

Um diesen Faktor A zu ermitteln, wurde die Vorrichtung zur Messung des solaren Adsorptionskoeffizienten eingesetzt, wobei anstelle der Temperatur der Erde T_{Erde} die

Temperatur T_{Platte} von gefärbten Aluminiumplatten gemessen wurde, und zwar bis zur Erreichung der jeweiligen Grenztemperatur. Damit dies innert nützlicher Frist möglich war, wurden dünnere Platten eingesetzt (8 mm statt 20 mm). Ausserdem wurden vier verschiedene Farben angewendet, und zwar *Weiss*, *Hellblau*, *Hellgrün* und *Schwarz*.

Zusätzlich wurde der *Druck* variiert, und zwar indem die Meereshöhe der Messstation variiert wurde. Gemessen wurde einerseits in Glattbrugg (bei Zürich), 430 m ü. M., und anderseits auf der Furka-Passhöhe, 2430 m ü. M., gemacht, entsprechend 0,948 bzw. 0,738 bar. Der Druck wurde mittels der *barometrischen Höhenformel* berechnet, denn bei den von den meteorologischen Messstationen angegebenen Werten handelt es sich um korrigierte, auf Meereshöhe bezogene Werte.

Eine Variation des Drucks bei konstanter Temperatur und bei gleicher Einstrahlung ist nicht möglich, weil sich mit dem Druck respektive mit dem Standort über Meer stets auch die Temperatur sowie die Intensität der Sonneneinstrahlung ändert: Mit grösserer Höhe nimmt die Temperatur ab und die Intensität der Sonnenstrahlung zu, weil dort die Luft dünner ist und daher weniger Sonnenstrahlung absorbiert. Verwendet man lediglich die Ergebnisse mit den blauen und den grünen Platten, so ergibt sich für die sog. *atmosphärische Emissionskonstante* A ein Mittelwert von ca. **22 $Wm^{-2}bar^{-1}K^{-0,5}$** [17].

Damit ist das Höhen-Paradoxon der Temperatur im Prinzip erklärbar, wenn auch wegen der Komplexität der Vorgänge nicht exakt berechenbar: Zwar ist die Intensität der Sonnenstrahlung und damit die Erwärmung des Bodens wegen der dünneren Luft in den Bergen grösser als in den Tälern, doch verringert sich die Rückstrahlung der Atmosphäre infolge der Druckverminderung, wobei sie auch nachts wirkt.

Dadurch ergibt sich in der Tat eine Art Treibhauseffekt, nur hat dieser nichts zu tun mit dem CO_2-Gehalt der Luft respektive mit dem Vorhandensein anderer Spurengase wie CH_4, weil deren Konzentration zu gering ist, um den Luftdruck zu beeinflussen. Jener ist nämlich in erster Linie abhängig von der Höhe über Meer. Einen Einfluss auf die Temperatur hat allenfalls der Wasser- bzw. Dampfgehalt der Atmosphäre, ist jener doch wesentlich grösser als derjenige von CO_2.

Würde hingegen der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre markant reduziert, so hätte dies wegen der damit verbundenen Druckverminderung eine globale Temperaturerniedrigung zur Folge. Dies könnte eine Erklärung für die Eiszeiten sein. Allerdings kommen noch andere mögliche Faktoren hinzu wie namentlich der Umstand, dass sich die Strahlungsintensität der Sonne im Verlaufe der Jahrtausende verändert haben könnte.

Fazit

Aufgrund der eigenen Messungen sowie der Messungen von *Seim* und *Olsen* hat sich zweifelsfrei ergeben, dass es keine «Treibhausgase» wie namentlich CO_2 gibt, d.h. dass sich die Resultate von photometrischen bzw. spektroskopischen Messungen nicht auf die Erhitzung von Gasen infolge Wärmestrahlung übertragen lassen. Vielmehr absorbieren und emittieren *alle* Gase Wärmestrahlung – selbst Edelgase –, sei es direkt aus der Sonneneinstrahlung oder indirekt aus der Abstrahlung der Erde. Die Strahlung der Atmosphäre ist proportional zum Druck und zur Wurzel der absoluten Temperatur.

Bei der Reflexion von Licht an Festkörpern mit teilweiser Absorption und Umwandlung in Wärme gilt das Stefan/Boltzmann-Gesetz nur an der Erdoberfläche, nicht aber für die Erde inklusive der Atmosphäre. Zur Messung des solaren Absorptionskoeffizienten β_s wurde ein einfaches, recht genaues Verfahren entwickelt.

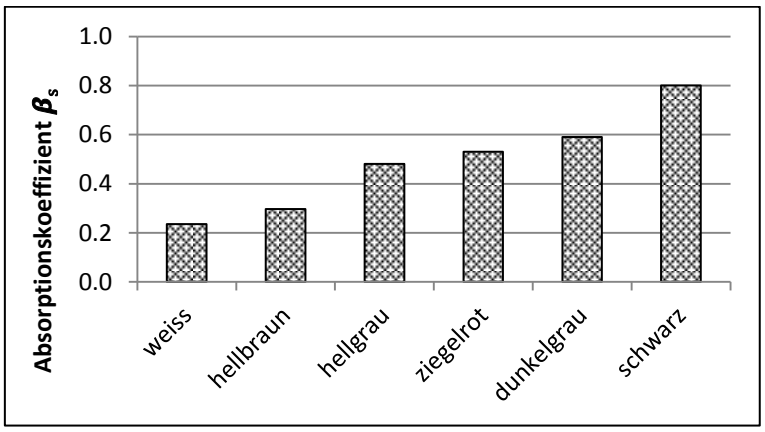
Empfehlenswerte Massnahmen

Vorstösse zur Aufhellung von Dächern sind nicht neu (und zwar mit der Affiche «Cool Roofs» oder «White Roofs», siehe z.B. [18] und [19]). Sie wurden bisher jedoch nicht verwirklicht, obwohl damit eine Ersparnis von Kühlenergie und zudem auch ein ästhetischer Effekt verbunden gewesen wäre.

Der Hauptgrund für die Untätigkeit lag bei der Treibhausdoktrin, welche im CO_2 den primären Urheber für den Klimawandel sieht, wobei nicht zuletzt ein kommerzieller Anreiz für etliche Industriezweige besteht. Merkwürdig dabei ist, dass die Treibhaustheorie niemand so richtig versteht, während der Einfluss der Farbe evident und leicht verständlich ist. Hinzu kommt allerdings, dass es bisher keine genaue Methode zur Messung des solaren Absorptionskoeffizienten β_s und somit zur Charakterisierung entsprechender Baumaterialien gab, sondern nur die indirekte und ungenaue Methode zur Messung des solaren Reflexionskoeffizienten α_s. Die Grundlagen dazu wurden hiermit jedoch mit der vorgeschlagenen Methode geschaffen. Die wichtigsten Massnahmen sind in [20] beschrieben. Hervorzuheben ist dabei, dass die bevorzugte Farbe *Hellbraun* ist – wie wir sie beim Wüstensand oder bei vergilbten Blättern, einschliesslich Stroh, antreffen -, führt sie doch selbst gegenüber frischen roten Ziegeln zu einer Verminderung des solaren Absorptionskoeffizienten um den Faktor von ca. 1,8.

Originalziegel β_s = 0.53 (links), gefärbt β_s = 0.30 (rechts)

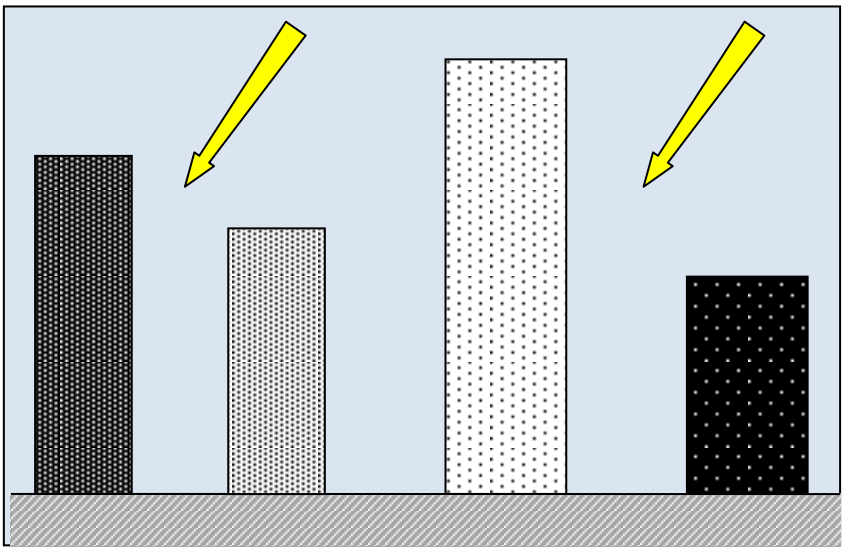
Inzwischen wurden noch Messungen mit *grau getönten* Aluminiumplatten durchgeführt, vor allem um die Wirkung von *Strassenbelägen* abzuschätzen (siehe untenstehendes Diagramm).



Solare Absorptionskoeffizienten im Zusammenhang mit Bauten

Städtische Wärmeinseln

Dass es in grösseren Städten meist wärmer ist als in der Umgebung, hatte schon *L. Howard* vor 185 Jahren in London festgestellt. Und dass dies vornehmlich auf dunkle Strassen, Dächer und Fassaden zurückzuführen ist, leuchtet ein. Doch dass nicht nur die Färbung eine Rolle spielt, sondern auch die *Wärmekapazität* der Mauern – und damit die Aufheizrate - sowie die *Höhe der Gebäude* - und damit die *Makro-Rauheit* der Erdoberfläche – wird aus der folgenden schematischen Darstellung evident: Je höher das Gebäude und je flacher das Dach, umso stärker fällt die Fassade gegenüber dem Dach ins Gewicht. Dabei wirken sich selbst weisse Fassaden negativ aus, strahlen sie doch Licht in alle Richtungen ab, also auch nach unten hin und an die Rückseiten von benachbarten Gebäuden. Bei den Baumaterialien nimmt das heute aus Gewichtsgründen immer häufiger verwendete *Glas* insofern eine besondere Stellung ein, als es – selbst wenn es nicht gefärbt ist – IR- und UV-Licht absorbiert und zudem als *Wärmefalle* wirkt.

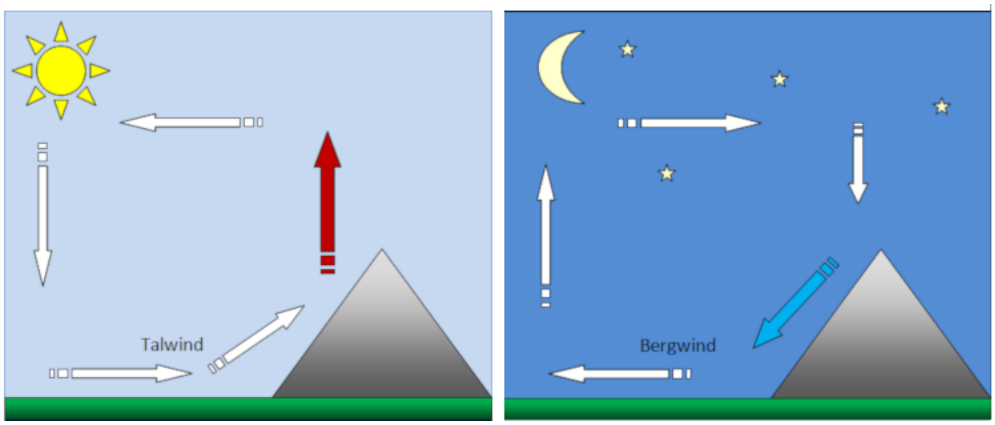


Schematische Darstellung des Lichteinfalls bei unterschiedlich hohen Gebäuden

Doch es geht nicht nur um die Temperatur allein: Als Folge von Temperaturunterschieden entstehen nämlich *Aufwinde*, welche in urbanen Gebieten deutlich spürbar sind und sich im Verbund mit anderen Zentren zu *Stürmen* ausweiten können. Und solche Temperaturunterschiede hängen vorab mit Farb- respektive mit Makro-Rauheitsunterschieden der Erdoberfläche zusammen und treten somit bevorzugt bei urbanen Gebieten – d.h. bei Städten und ganz besonders bei Mega-Cities – in Erscheinung. Die Konstellation ist mit derjenigen bei Berg- und Talwinden vergleichbar (siehe die Bilder auf der nächsten Seite).

Winde – auch die rein natürlich bedingten – entstehen grundsätzlich immer im Zusammenhang mit Temperaturdifferenzen. Der grösste Unterschied ergibt sich aus der Kugelgestalt der Erde: Mit zunehmendem Breitengrad strahlt die Sonne weniger steil ein, was zu einer Verminderung der lokalen Intensität führt. An zweiter Stelle kommen die Unterschiede zwischen Land und Wasser, besonders zwischen Kontinenten und Ozeanen. Dies ist bei Hurrikanen von Bedeutung. Und an dritter Stelle kommen die Höhenunterschiede, d.h. das Vorhandensein von Gebirgen. Und schliesslich kommt der Einfluss von Megastädten mit ihren Wolkenkratzern hinzu.

Die Bildung von Aufwinden bei Siedlungen



Schema für Berg-/Talwinde am Tag (links) und bei Nacht (rechts)

Die mittlerweile überall entstandenen Megastädte sind ein echtes Problem, nicht nur hinsichtlich des Klimas, sondern auch hinsichtlich der Lebensqualität. Wie das untenstehende Beispiel zeigt, hatte man in der ‚Guten Alten Zeit' durchaus Sinn für Ästhetik, und zwar für eine Ästhetik, welche sich auch im Klima äusserte.

Zunfthaus «zur Zimmerleuten» in Zürich

Das Schmelzen der Gletscher

Der beträchtliche Rückgang der Gletscher hat besonders bei Touristen schon vor längerer Zeit Aufsehen erregt und tut es heute mehr denn je. Verbunden damit ist auch die Frage des *Permafrosts* – d.h. des früher stets gefrorenen, neuerdings aber auftauenden Bodens –, dessen Rückgang Bergstürze hervorrufen kann. In Europa richtet sich der Fokus naheliegender Weise auf die *Alpen*. Weltweit gesehen gibt es aber noch viel grössere Gebirge mit Gletschern, insbesondere den *Himalaya*, dessen Gletscherfläche rund 60‘000 Quadratkilometer umfasst. Aber auch auf den Anden existieren riesige Gletschergebiete. Insgesamt gibt es mehr als 200‘000 Gletscher.

Das Abschmelzen der Gletscher ist in erster Linie der Veränderung des weltweiten Klimasystems zuzuschreiben, d.h. es geht auf meteorologisch erfassbare Fernwirkungen zurück. Ausschlaggebend ist nämlich nicht nur die lokale Sonneneinstrahlung, sondern auch der Einfluss von Regen und Wind. Der Rückgang der Gletscher bringt insofern eine *Rückkopplung* mit sich, als weisse Flächen verschwinden und dunklen Platz machen, welche das Sonnenlicht stark absorbieren und dadurch zu einer verstärkten Erwärmung führen.

Betrachtet man das Gesamtbild des untenstehend abgebildeten Aletsch-Gletschers in den Schweizer Alpen, so fällt die *Bedeckung mit fast schwarzem Geröll* vorab im Bereich der Gletscherzunge auf. Dieses Geröll bietet zwar einen gewissen Schutz vor Wind und vor Regen, führt aber wegen seiner Dunkelfärbung zu einer solar bedingten Erwärmung.

Zunge des Aletschgletschers (Kanton Wallis, Schweiz)

Ausblick

Aufgrund dieser Erkenntnisse lässt sich sagen, dass dem Klimawandel nur entgegen getreten werden kann, wenn die Treibhaustheorie fallen gelassen wird, und wenn stattdessen bauliche Massnahmen im beschriebenen Sinn getroffen werden. Der Einfallsreichtum der Menschen wird sicherlich originelle Lösungen hervorbringen. Der weitere Ausbau von Solarpanels und Windrädern gehört nicht dazu, denn Solarpanels bringen wegen ihrer dunklen Oberflächen sogar eine verstärkte Erwärmung mit sich, und beide führen zu einer Verschandelung der Landschaft.

Literaturnachweis

[1] G.N. Plass (July 1956): Carbon Dioxide and the Climate, *American Scientist*, Vol. 44, No.3, pp. 302-316 https://www.jstor.org/stable/27826805

[2] S. Arrhenius (1896): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *Philosophical Magazine* 41, 238-276

[3] J. Tyndall (1863): On the radiation through the Earth's atmosphere, *Phil. Magazine* 25, 200-205

[4] R. Revelle (1982): Carbon Dioxide and World Climate, *Scientific American* 247, 33-41

[5] J. Hansen, D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind and G. Russel: Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *Science*, 28 August 1981, Vol. 213, No. 4511, pp. 957-966

[6] V. Ramanathan, L. Callis, R. Cess, J. Hanssen, I. Isaksen, W. Kuhn, A. Lakis, F. Luther, J. Mahlman, R. Reck, and M. Schlesinger (August 1987): Climate-Chemical Interactions and Effects of Changing Atmospheric Trace Gases, *Reviews of Geophysics*, Vol. 25, No. 7, p. 1441-1482

[7] Denis L. Hartmann: Global Physical Climatology, Academic Press 1994

[8] Hans von Storch, Stefan Güss und Martin Heimann: Das Klimasystem und seine Modellierung, Springer 1994

[9] Guido Visconti: Fundamentals of Physics and Chemistry of the Atmosphere. Springer 2001

[10] Egbert Boeker and Rienk von Grondelle: Environmental Physics. Wiley 2011

[11] J. Tyndall (1861): On the absorption and radiation of heat by gases and vapours and on the physical connection of radiation, absorption and conduction. *Philosophical Magazine* 22, 169-194; 273-285

[12] Gilbert N. Plass (1956): The influence of the 15 µ carbon-dioxide band on the atmospheric infra-red cooling rate. *Quart. J. Royal Meteorological Soc.* 82; 310-324

[13] T. Allmendinger (August 2016): The thermal behaviour of gases under the influence of infrared-radiation. *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 11(15), p. 183-206 http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/E00ABBF60017

[14] T. Allmendinger (2017): The Refutation of the Climate Greenhouse Greenhouse Theory and a Proposal for a Hopeful Alternative. *Environment Pollution and Climate Change*, 1:2, p. 1-19 https://www.omicsonline.org/open-access/the-refutation-of-the-climate-greenhouse-theory-and-a-proposal-for-ahopeful-alternative.php?aid=88698

[15] Thorstein O. Seim and Borgar T. Olsen (2020): The Influence of IR Absorption and Backscatter Radiation form CO_2 on Air Temperature during Heating in a Simulated Earth/Atmosphere Experiment. *Atmosphere and Climate Sciences*, 2020, 10, 168-185 https://www.scirp.org/pdf/acs_2020041718295959.pdf

[16] T. Allmendinger (June 2016): The solar-reflective characterization of solid opaque materials. *International Journal of Science and Technology Educational Research*, Vol. 7(1), p. 1-17 http://www.academicjournals.org/journal/IJSTER/article-full-text-pdf/E7435F759158

[17] T. Allmendinger (2018): The Thermal Radiation of the Atmosphere and its Role in the so-called Greenhouse Theory, *Atmospheric and Climate Sciences*, 8, p. 212-234 http://file.scirp.org/Html/6-4700674_84015.htm

[18] M. Pomerantz, H. Akbari, P. Berdahl, S. J. Konopacki, H. Taha, and H. Rosenfeld (1999): Reflective surfaces for cooler buildings and cities, *Philosophical Magazine Part B*, 79:9, p. 1457-1476

[19] H. Hoag (August 2015): How Cities can Beat the Heat, *Nature* 524, p. 402-404
http://www.nature.com/news/how-cities-can-beat-the-heat-1.18228

[20] T. Allmendinger (2017): Measures at Buildings for Mitigating the Microclimate, *Environmental Pollution and Climate Change*, 1:3, p. 1-9
https://www.omicsonline.org/open-access/measures-at-buildings-for-mitigating-the-microclimate-2573-458X-1000128.php?aid=90625