

Nachweis der Wärmeabsorption von Gasen als Ursache für den Treibhauseffekt

– Anregungen von John Tyndall (1860) zur Durchführung von Schulversuchen –

Verfasser: Prof. Dr. Reinhard Bachhofen und Dr. Kurt Frischknecht, Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich, Zollikerstraße 107, CH-8008 Zürich, Schweiz

Die Arbeiten von John Tyndall bieten vielfältigste Anknüpfungspunkte für eine experimentelle Behandlung der Folgen des Anstieges klimawirksamer Gase. Anhand ausgewählter Textauszüge wird die Vorgehensweise Tyndalls verdeutlicht.

Der Londoner Physiker JOHN TYNDALL befaßte sich intensiv mit der Frage der Wärmeabsorption durch alle Arten von Stoffen, unter anderem auch durch verschiedene Gase. Vor ihm brachte schon JEAN BAPTISTE FOURIER 1829 die Temperatur unserer Atmosphäre mit der Wärmeabsorption derselben in Beziehung:

»La chaleur du soleil, arrivant à l'état de lumière, possède la propriété de pénétrer les substances solides ou liquides diaphanes, et la perd presque entièrement lorsqu'elle s'est convertie, par sa communication aux corps terrestres, en chaleur rayonnante obscure« [1].

Die vielseitigen Messungen TYNDALLS sind reine Grundlagenforschung. Sie sind noch nicht mit Sicht auf mögliche globale Konsequenzen auf das Klima von ihm durchgeführt worden. Erst die Rechnungen von SVANTE ARRHENIUS [2] zur Wirkung von Änderungen des Kohlenstoffdioxidgehaltes der Atmosphäre auf die Temperatur im Zusammenhang mit den Temperaturen der Eiszeiten geben Anhaltspunkte über mögliche Temperaturänderungen bei einer Zunahme der Kon-

zentrationen von klimawirksamen Gasen in der Atmosphäre. Die Versuchsbeschreibungen von TYNDALL und die Überlegungen, wie die Wärmeabsorption von Gasen am genauesten gemessen werden können, sind eine aufschlußreiche Grundlage für die Ausarbeitung eines Schulversuches; sie sind motivierend, und es

Fig. 85.

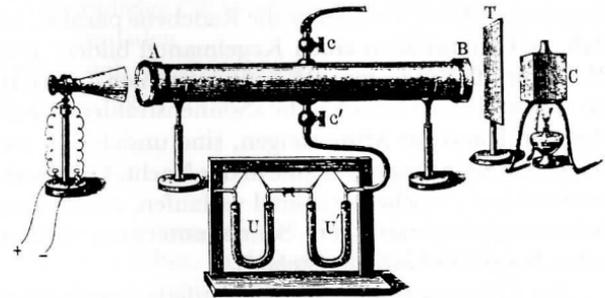


Abb. 1. Erste Versuchsanordnung Tyndalls zur Messung der Wärmeabsorption von Gasen (Erläuterungen im Text).

lohnt sich, die Beschreibungen in der originalen Sprache zu lesen.¹

Die nachfolgenden Texte stammen aus der Abhandlung »Die Wärme, betrachtet als eine Art der Bewegung« von JOHN TYNDALL, deren 1. Auflage 1860 erschien. Der originale Wortlaut ist der 5. Auflage entnommen, herausgegeben und übersetzt von keinen Geringeren als HERMANN VON HELMHOLTZ [3].

Nachdem TYNDALL die Diathermansie oder Durchlässigkeit der festen und flüssigen Körper für Wärme untersucht hat und dabei feststellte, daß »so fest auch die Atome solcher Körper zusammenhängen, die Zwischenräume zwischen den Atomen den Aetherschwingungen doch freien Spielraum lassen, so daß sie in vielen Fällen fast ohne merkliche Behinderung zwischen den Atomen hindurchgehen« [3, S. 370], beschäftigt er sich im 10. Kapitel auch mit der Absorption der Wärme durch Gase. »Hier sind die Räume zwischen den Atomen so sehr erweitert, daß wir fast berechtigt wären, daraus zu schließen, daß die Gase und Dämpfe den Wärmewellen einen vollständig offenen Durchgang gewähren. Es war dies in der That bis vor Kurzem der allgemeine Glaube,

und diese Schlußfolgerung wurde durch Versuche mit atmosphärischer Luft begründet, welche keine Spur von Absorption zeigte« [3, S. 371]. Er beschreibt seine Versuchsanordnung wie folgt (Abb. 1): »Ich habe hier einen hohlen, zinnernen Cylinder (AB), von 4 Fuß Länge und fast 3 Zoll Durchmesser, durch den wir unseren Wärmestrahlen schicken wollen. Wir müssen indes den Durchgang der Wärme durch die Luft mit ihrem Durchgang durch einen luftleeren Raum vergleichen können, und daher Mittel finden, die Enden unseres Cylinders zu schließen, damit wir ihn auspumpen können . . . « [3, S. 371] »Glasplatten würden für solche Wärme vollkommen undurchlässig sein; wir könnten unsere Röhren ebenso gut mit Metallplatten schließen. Hätte nicht Melloni die diathermanen Eigenschaften des Steinsalzes entdeckt, so würden wir jetzt vollkommen rathlos sein . . . An das eine Ende des Cylinders ist ein Leslie'scher Würfel (C) voll kochendes Wasser gestellt worden, der mit Lampenruß bedeckt ist, um seine Ausstrahlungsfähigkeit zu vermehren. Am andern Ende des Cylinders steht unsere Thermoelektrische Säule, von der Drähte zum Galvanometer führen. Zwischen das Ende (B) des Cylinders und den Würfel (C) habe ich einen Blechschirm (T) gestellt. Wird derselbe fortgezogen, so fallen die Wärmestrahlen von (C) durch die Röhre auf die Säule« [3, S. 372].

Anschließend pumpt TYNDALL die Luft aus dem Zylinder (c), zieht den Schirm soweit zur Seite, daß die hindurchgelassene Wärme eine Ablenkung am Galva-

¹ Anmerkung der Schriftleitung: In einer Arbeit sind diese historischen Vorarbeiten TYNDALLS bereits fachdidaktisch elegant umgesetzt worden [4]. Eine weitere befindet sich in Vorbereitung und wird demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen [5].

Taf. I.

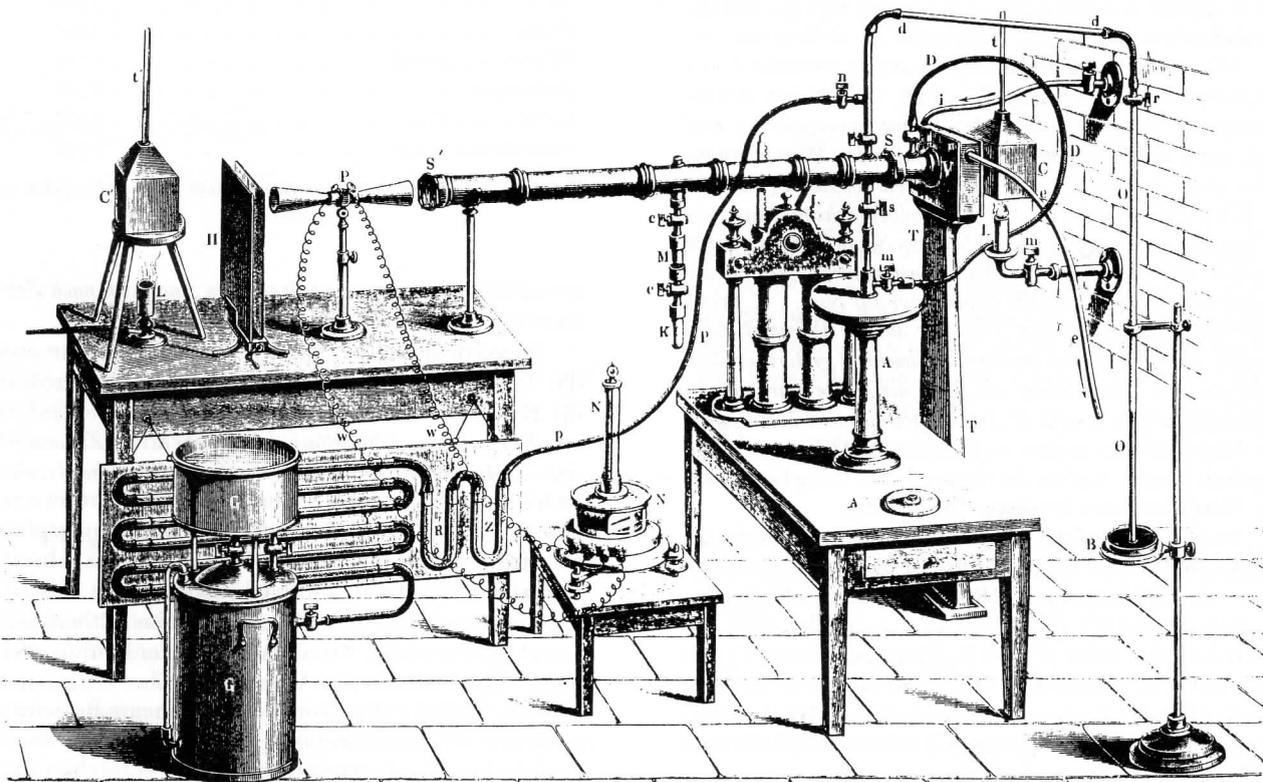


Abb. 2. Verbesserte Apparatur Tyndalls zur Messung der Wärmeabsorption von Gasen (Erläuterungen im Text).

nometer von 30° bewirkt und läßt dann durch den Hahn (c') durch 2 U-Rohre (U) und (U') Luft in die Röhre einfließen.

»Die Röhre (U) ist mit Stücken Bimsstein angefüllt, die mit einer Auflösung von kaustischem Kali (Kaliumhydroxid) angefeuchtet sind; sie dient dazu, um jede Spur Kohlensäure, die sich in der Luft befinden könnte, zu entfernen. Die Röhre U' ist mit Bimssteinstücken angefüllt, die mit Schwefelsäure angefeuchtet sind; sie dient dazu, die Wasserdämpfe der Luft zu absorbieren. So erreicht die Luft jetzt den Cylinder, frei von Wasserdampf und Kohlensäure. Wenn die Luft eine Substanz ist, die fähig ist, die Aetherwellen in einem bemerkbaren Grade aufzuhalten, so muß sich dies durch die Abnahme der Ablenkung des Galvanometers zeigen« [3, S. 375].

TYNDALL diskutiert anschließend die Empfindlichkeit seiner Versuchsanordnung und stellt fest, daß er eine Absorption von einem tausendstel Teil eines absorbierenden Gases in Luft nie messen könne und daß ferner das Galvanometer nur bis zu einer Ablenkung von 30° proportional zur einfallenden Wärme ist.

»Wir kommen zu der Ueberlegung, daß wenn wir unsere Winkel klein machen, die Wärmemenge, die auf die Säule fällt, so gering ist, daß, selbst wenn ein Theil derselben absorbiert würde, er doch der Beobachtung entgehen müsste; während, wenn wir unsere Ablenkung durch einen mächtigen Wärmestrom vergrößern, die Nadel in einer Lage ist, wo sie einer großen Zu- oder Abnahme von Wärme zu ihrer Bewegung bedürfte . . . Wir müssen mit einem so großen Wärmestrom arbeiten, daß ein kleiner Bruchtheil desselben nicht verschwindend klein ist, und dabei doch unsere Nadel in ihrer empfindlichsten Stellung erhalten. . . . Wenn wir Wärmestrahlen auf die entgegengesetzten Seiten der thermoelektrischen Säule fallen lassen, neutralisiren sich die erzeugten Ströme gewöhnlich mehr oder weniger gegenseitig, und daß, wenn die auf die beiden Seiten fallenden Wärmemengen ganz gleich groß sind, die Neutralisation vollständig ist« [3, S. 379]. »Mit Hülfe eines richtig gestellten Schirmes kann die Wärmemenge, die auf die andere Seite der Säule fällt, so regulirt werden, daß sie genau die Wärme neutralisirt, die auf die andere Seite auffällt, und die Nadel zeigt auf Null. . . . Wenn Luft irgend eine bemerkbare Wirkung auf die Wärmestrahlen ausübt, so muß die jetzt bestehende Gleichheit gestört werden; wird ein Theil der Wärme, die durch die Röhre geht, von der Luft aufgefangen, so muß die zweite Wärmequelle überwiegen, die Nadel, die jetzt in ihrer empfindlichsten Stellung ist, muß abgelenkt werden, und aus der Größe der Ablenkung können wir die Absorption genau berechnen« [3, S. 380].

Seine verbesserte Versuchsanordnung (Abb. 2) zeigt den Zylinder als poliertes, 4 Fuß langes Messingrohr, abgeschlossen mit (IR-durchlässigen) Steinsalzplatten (S und S'), (C) ist die Wärmequelle, über ein evakuierbares Rohr (F) mit Kühlungskammer (V) mit dem Zylinder verbunden. (P) ist die thermoelektrische Säule, (C') der Kompensationswürfel zur Neutralisierung der Ausstrahlung von (C) mittels des Schirmes (H). (NN) ist ein empfindliches Galvanometer.

TYNDALL beschreibt in der Folge die Schwierigkeiten, die er hatte: »Ich glaube, daß die Versuche, die allein mit

Name.	Absorption bei einem Druck von 30 Zoll.
Luft	1
Sauerstoff	1
Stickstoff	1
Wasserstoff	1
Chlor	39
Chlorwasserstoff	62
Kohlenoxyd	90
Kohlensäure	90
Stickoxydul	355
Schwefelwasserstoff	390
Sumpfgas	403
Schweifige Säure	710
Oelbildendes Gas	970
Ammoniak	1195

Name	Absorption bei 1 Zoll Druck.
Luft	1
Sauerstoff	1
Stickstoff	1
Wasserstoff	1
Chlor	60
Brom	160
Kohlenoxyd	750
Bromwasserstoffsäure	1005
Stickoxyd	1590
Stickoxydul	1860
Schwefelwasserstoff	2100
Ammoniak	7260
Oelbildendes Gas	7950
Schwerflichte Säure	8800

Tabelle 1. Tyndalls Ergebnisse zur relativen Wärmeabsorption verschiedener Gase.

atmosphärischer Luft angestellt worden sind, sich nach Zehntausenden zählen ließen.«

Er verbesserte die Apparatur und wechselte auch die Trocknungsmittel sowie das Absorptionsmedium für Kohlensäure. » . . . denn wenn auch nur ein Stäubchen vom Kork oder etwas Siegellack, nicht mehr als ein Zwanzigstel eines Nadelknopfes, die Säure erreichte, so fielen die Resultate unrichtig aus« [3, S. 383]. Schließlich verwendete er auch eine durch einen Bunsenbrenner erhitzte Kupferplatte als Strahlungsquelle, sowie ein Glasrohr als Absorptionsröhre (für die Prüfung von aggressiven Gasen!). Eichungen wurden mit ölbildendem Gas (Ethen) oder Leuchtgas gemacht. Mit dem Barometer konnten definierte Gasdrücke in der Absorptionsröhre eingehalten werden. So ließ sich damit auch eine lineare Beziehung zwischen Wärmeabsorption und Gasgehalte zeigen und die Wärmeabsorption von 0,01% Gasgehalt messen. In einer Tabelle (Tab. 1) gibt er die relativen Absorptionen durch verschiedene Gase bei gleichem

Druck an und staunt, daß Ammoniak für die Strahlung »so schwarz ist, als wenn unsere Versuchsröhre mit Tinte, Pech oder irgend einer andern undurchsichtigen Substanz angefüllt wäre« [3, S. 401].

»Welchen außerordentlichen Unterschied in der Beschaffenheit und dem Wesen der letzten Theile der verschiedenen Gase enthüllen die obigen Versuche!« [3, S. 403].

Die anschließende Diskussion bezieht sich auf den Zusammenhang mit der Struktur der verschiedenen Verbindungen, weitere Versuche macht TYNDALL ferner mit Dämpfen verschiedener organischer Verbindungen.

Daß die Gehalte der meisten von ihm untersuchten wärmeabsorbierenden Gase in der Luft in der Folge stark zunehmen würden, konnte TYNDALL nicht erahnen, aber die Bedeutung seines Wissens hätte früher erkannt werden sollen. Erst 100 Jahre später begann man wenigstens das Kohlenstoffdioxid kontinuierlich zu messen, für Methan und Distickstoffoxid in der Atmosphäre und deren Bildung in verschiedenen Ökosystemen liegen auch heute noch erst wenige zusammenhängende Daten vor.

Weiterführende Literatur zur Vertiefung des Unterrichtes findet sich z. B. in [6-9].

Literatur

- [1] M. FOURIER: Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. - Mémoires de l'Académie Royale de l'Institut de France VII (1827) S. 570-604.
- [2] S. A. ARRHENIUS: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. - Philos. Mag. 41 (1896) S. 237-276.
- [3] J. TYNDALL: Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. - Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn 1875 (Deutsche Ausgabe).
- [4] I. PARCHMANN - B. KAMINSKI - W. JANSEN: Die Wärmeabsorption von Gasen. - Voraussetzung für den Treibhauseffekt. - Chemkon 2 (1995), Heft 1, S. 17-25.
- [5] E. HUBER - U. AESCHBACHER: Die Problematik von Demonstrationsexperimenten zum Treibhauseffekt - Analyse und Lösungen. - MNU im Druck.
- [6] M. A. BENARDE: Global warning ... global warming - New York: Wiley & sons 1992.
- [7] B. GLOGGER: Die Schweiz im Treibhaus. - Zürich: Verlag Züricher Zeitung 1992.
- [8] C.D. SCHÖNWIESE - B. DIEKMANN: Der Treibhauseffekt - Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1987.
- [9] J. LEGGET: Global Warming, Der Greenpeace Report - München: Piper 1990. □