

Rudolf Clausius: Wegbereiter der modernen Klimaforschung

- Rudolf Clausius (1822 - 1888) gilt als Entdecker des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik sowie als Schöpfer der Begriffe Entropie und Enthalpie.
- Seine Beiträge zur Physik der Atmosphäre waren wegweisend.
- Wasserdampf ist dominierendes Treibhausgas, macht die Erde aber erst lebensfreundlich.
- Unwetter lassen erahnen, wie viel Energie im Klimasystem steckt.

Wie bedeutend die Erkenntnisse von Rudolf Clausius (*2. Januar 1822 in Köslin; † 24. August 1888 in Bonn) für die Klimaphysik sind, erkennt man am sechsten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I des Intergovernmental Panel on Climatic Change IPCC, der im August 2021 veröffentlicht wurde: Allein im Kapitel 8 über die Veränderlichkeit des Wasserkreislaufs im Klimasystem wird Clausius 12-mal erwähnt¹. Im Zentrum stehen dabei die Phasenübergänge von Wasser zwischen fest, flüssig sowie gasförmig.

Wasserdampf ist dabei das dominierende Treibhausgas der Erde – ohne Wasser in der Atmosphäre wäre die Erde ein öder, unbewohnter Eisplanet.

Für die Beschreibung der Phasenübergänge ist die Clausius-Clapeyron-Gleichung zentral. Das ist eine Differentialgleichung, die die Temperatur des maximal möglichen Gasdrucks von Wasserdampf („Sättigungsdruck“) in Abhängigkeit von der Kondensationsenthalpie² und der Molmasse von Wasser beschreibt. Einfach ausgedrückt, beschreibt die Clausius-Clapeyron-Gleichung, unter welchen Bedingungen sich Wolken bilden oder auflösen respektive es anfängt zu regnen oder zu schneien. Diese Vorgänge setzen Energie frei oder entziehen einem System Energie. Die Clausius-Clapeyron-Gleichung beschreibt somit die Kopplung des Wasserkreislaufs mit dem Gesamtenergiehaushalt der Atmosphäre im Klimasystem.

Generell haben Wolken drastische Auswirkungen auf die Strahlungsbilanz der Erde. Wie stark diese genau sind, ist jedoch noch immer Gegenstand aktueller Forschung.



Hurrikan Katrina am 28. August 2005 unmittelbar vor der Überflutung von New Orleans: Eine „thermodynamische Maschine“ in der Atmosphäre, die ihre zerstörerische Bewegungsenergie mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 250 km/h aus dem Freisetzen der Kondensationsenthalpie bezieht. Die Wolken mit scharfen Konturen sind Wasserwolken, die Eiswolken zeigen unscharfe Konturen.

Bild: NASA image courtesy the MODIS Rapid Response Team at Goddard Space Flight Center.



„Clausius‘ Vermächtnis ist aktueller denn je und für uns zugleich Mahnung, behutsam mit den Ressourcen unserer Erde umzugehen!“

Joachim Ullrich, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Wie viel Energie und Wucht im Wettergeschehen durch die Phasenübergänge des Wasserdampfs stecken kann, zeigen jedoch die dramatischen Ereignisse im Juli 2021 an Ruhr/Erft/Ahr/Maas oder im März/April 2022 in Ost-Australien, um nur einige Unwetter mit ihren schrecklichen Folgen zu nennen.

Clausius‘ Aufsatz „Ueber die Energievorräthe der Natur“³ aus dem Jahr 1885 würde man heutzutage zudem als einen Aufruf zur Nachhaltigkeit verstehen. Clausius nannte diesen Begriff zwar nicht explizit, bezog sich aber ausdrücklich auf dessen forstwirtschaftliche Ursprünge.

Heute erfolgt die Förderung der Klimaforschung im Wesentlichen durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, und zwar durch das Programm *Forschung für Nachhaltigkeit* FONA⁴. Hier werden wissenschaftlich-technologische Entwicklungen u. a. zur Kreislaufwirtschaft, zum Klimaschutz oder zur Ressourceneffizienz unterstützt. Diese Begriffe basieren alle auf der strikten Anwendung der Erkenntnisse des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik zur Energieerhaltung und wurden von Clausius in dem fast 140 Jahre alten Referat bereits als Aufgaben formuliert (wenn auch nicht in der Namensgebung von heute), damit sich „jene für das zukünftige Wohl der Menschheit so wichtige Frage [Probleme der Klimaforschung], wenigstens allmählich, einer einheitlichen Behandlung entgegenführen [lässt]“ (Schlussatz in Clausius, 1885)³.

1) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>

2) Die Kondensationsenthalpie ist die Energie, die frei wird, wenn eine gegebene Menge eines Gases bei einer bestimmten Temperatur kondensiert.

3) R. Clausius (1885): Ueber die Energievorräthe der Natur und ihre Verwerthung zum Nutzen der Menschheit, Bonn, Verlag von Max Cohen & Sohn (Fr. Cohen), 26pp

4) <https://www.fona.de/de/>

Deutsche **Physikalische** Gesellschaft

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit rund 55.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Wissenschaftler:innen, Studierende, Lehrkräfte, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwält:innen oder Medienschaffende. Gegenwärtig hat die DPG acht Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Die DPG-Geschäftsstelle hat ihren Sitz im Physikzentrum Bad Honnef in unmittelbarer Nähe zur Universitäts- und Bundesstadt Bonn. Das Physikzentrum ist nicht nur ein Begegnungs- und Diskussionsforum von herausragender Bedeutung für die Physik in Deutschland, sondern auch Markenzeichen der Physik auf internationalem Niveau. Hier treffen sich Studierende und Spitzenwissenschaftler:innen bis hin zum Nobelpreisträger zum wissenschaftlichen Gedankenaustausch. Auch Lehrkräfte reisen immer wieder gerne nach Bad Honnef, um sich in den Seminaren der DPG fachlich und didaktisch fortzubilden.

In der Bundeshauptstadt Berlin ist die DPG ebenfalls präsent. Denn seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält sie dort das Magnus-Haus. Dieses 1760 vollendete Stadtpalais, das den Namen des Naturforschers Gustav Magnus trägt, ist eng mit der Geschichte der DPG verbunden: Aus einem Gelehrntreffen, das hier regelmäßig stattfand, ging im Jahre 1845 die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“, später die DPG hervor. Heute finden hier Kolloquien und Vorträge zu physikalischen und gesellschaftspolitischen Themen statt. Gleichzeitig befindet sich im Magnus-Haus Berlin auch das historische Archiv der DPG.

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Geschäftsstelle Tel.: 02224 / 92 32 - 0
Hauptstraße 5 Fax: 02224 / 92 32 - 50
53604 Bad Honnef E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Redaktion: Gerhard Samulat

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft dankt dem Autor Andreas Hense vom Institut für Geowissenschaften der Universität Bonn.

