

MEDDELANDEN

FRÅN

K. VETENSKAPSAKADEMIENS NOBELINSTITUT

BAND I. N:o 2.

Die vermutliche Ursache der Klimaschwankungen

von

SVANTE ARRHENIUS.

In seiner Bakerian Lecture vom 7. Febr. 1861¹ gab Tyndall die Resultate einiger Untersuchungen über die relativ kräftige Absorption von Wärmestrahlen durch Wasserdampf und Kohlensäure. Auf Grund dieser Untersuchungen sprach er die Ansicht aus, dass Veränderungen im Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure und Wasserdampf »alle die Klimaschwankungen, welche durch die Untersuchungen der Geologen konstatiert sind, erklären könnten.«

Später habe ich versucht diese Idée über den thermischen Einfluss der atmosphärischen Absorption, welche von De Saussure, Fourier und Pouillet vor etwa hundert Jahren entwickelt wurde, weiter quantitativ zu entwickeln, indem ich zu berechnen versuchte, wie viele Grade Temperatursteigerung der Erdoberfläche einer bestimmten Schwankung des Kohlensäuregehalts der Atmosphäre entsprechen. Seitdem ich meine letzte Berechnung ausführte, sind einige Untersuchungen erschienen, welche diese interessante Frage berühren und welche ich nicht unerwähnt lassen möchte, da sie teilweise zu unrichtigen Schlussfolgerungen veranlassen könnten.

Die erste dieser Untersuchungen stammt von Hrn Koch.³ Er beobachtete die Strahlung von einer 100° warmen Quelle,

¹ Neugedruckt in John Tyndall: Contributions to molecular physics London 1872. Die citierte Stelle findet sich auf S. 40.

² S. Arrhenius: Phil. Mag. (5) 41. 237, April 1896. Bihang der Stockh. Ak. d. Wiss. Bd. 22, Abth. 1 N:o 1, 1896, Drudes Annalen d. Phys. Bd. 4, 690, 1901, Öfversigt d. Stockh. Ak. 1901, N:o 1. p. 55 und 56.

³ J. Koch: Öfversigt der Stockh. Ak. 1901. 475.

welche auf ein Bolometer mit Zwischenschaltung von verschiedenen dicken Schichten von Kohlensäure zwischen Steinsalzplatten strahlte. Diese Untersuchung veranlasste Hrn Ångström zu dem Schluss, dass »höchstens ca 16 Prozent von der Erdstrahlung durch die atmosphärische Kohlensäure absorbiert werden und dass die Gesamtaborption sehr wenig von den Veränderungen in dem atmosphärischen Kohlensäuregehalt abhängig ist, so lange nämlich dieser nicht kleiner als 0,2 des jetzt vorhandenen ist.« Aus diesem Grunde sieht Hr. Ångström meine Ansicht von der Möglichkeit, dass Klimaschwankungen von einer Veränderung der Kohlensäuremenge in der Atmosphäre abhängen könnten, für so hinfällig an, dass er es nicht für »nötig« erachtet »näher darauf einzugehen.«¹

Hr. Ekholm² hat die Koch'schen und Ångström'schen Schlüsse einer Kritik unterworfen, welche ihre Unhaltbarkeit erweisen. Diese Kritik wird durch die neuen Messungen von Rubens und Ladenburg³ bestätigt, welche finden, dass die Kohlensäure der Atmosphäre etwa 22,5 Prozent der Erdstrahlung absorbiert und dass eine Zunahme der Kohlensäuremenge um 100 Prozent die Absorption um etwa ein Zehntel ihres Betrages vergrößert. Diese Abweichung von Hrn Ångströms Schluss wird darauf zurückgeführt, dass er und Hr. Koch Strahlungsquellen von recht hoher Temperatur (100 bis 300° C.) angewendet haben und Steinsalzplatten in den Weg der Strahlung setzten, wodurch ihre Messungen »nicht ohne weiteres auf die Erdstrahlung angewendet werden können.«

Einige Versuche von Hrn. Schäfer, die im Institut des Hrn. Rubens ausgeführt wurden, führten wohl zu Schlüssen, die teilweise mit Hrn Ångströms nicht übereinstimmten, in einem Punkt ging er aber noch weiter, indem er behauptete, dass »Änderungen des atmosphärischen Kohlensäuregehalts überhaupt keinen Einfluss auf die Erdtemperatur haben, solange die Abnahme der Kohlensäure unter 80 % der bisherigen Menge bleibt.«⁴ Dieser Schluss, der ja mit dem Ångström'schen betreffs des Temperatureinflusses der Kohlensäure sehr nahe verwandt ist, ist aber nach Hrn. Rubens »nicht zulässig«, weil Hr. Schäfer's Messungen

¹ K. Ångström: Drudes Annalen d. Physik B. 3. S. 724. 1900.

² N. Ekholm: Meteorol. Ztschr. 1902 (Nov.) S. 490—494.

³ H. Rubens und E. Ladenburg: Verh. d. deutschen phys. Ges. VII. 171—183, 1905.

⁴ C. Schäfer: Inauguraldiss. s. 15; auch Drudes Annalen 16. 93, 1905.

betreffs der »kurzwelligen« Strahlung» ($\lambda = 2,6 \mu$ und $\lambda = 4,4 \mu$) der Kohlensäure nicht für die »langwellige« Erdstrahlung ($\lambda_{\max} = 10 \mu$) gültig sind. Hrn Schäfer's Schlüsse stehen ja auch in starkem Widerspruch mit dem Befund von Hrn. Rubens und Ladenburg.

Wenn also durch die letztgenannten Autoren alle früheren Einwände gegen die Wärmewirkung der atmosphärischen Kohlensäure weggeräumt sind, so scheinen sie doch eine vermittelnde Stellung einnehmen zu wollen, indem sie sagen (l. c. S. 183): »Wenn also auch durch eine Änderung des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre um 20 Proz. eine immerhin sehr merkliche Absorption der Erdstrahlung eintreten muss, nämlich um etwa $\frac{1}{30}$ dieses Betrages, so ist doch die hiermit in Zusammenhang stehende Abkühlung der Erdoberfläche keinesfalls allein ausreichend, um hieraus eine Erklärung für die Entstehung der Eiszeiten zu ermöglichen.»

Diese Äusserung kann wohl die Vorstellung erwecken, als ob von mir geäußert worden wäre, dass eine Verminderung des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre um 20 Prozent genügend wäre, um die Temperatur der Eiszeit hervorzurufen, d. h. um die mittlere Temperatur Europas, um vier bis fünf Grad C. zu erniedrigen. Um zu verhindern dass eine solche Vorstellung um sich greife, möchte ich hervorheben, dass nach der alten Berechnung eine Abnahme der Kohlensäuremenge um 50 Prozent eine Temperaturabnahme von 4 (1897) bzw. 3,2 (1901) Grad hervorrufen würde.

Die Ansicht, dass eine Kohlensäureabnahme der Luft die Temperatur einer Eiszeit erklären kann, wird nicht eher als unhaltbar erwiesen, als bis man zeigt, dass das vollkommene Verschwinden der Kohlensäure aus der Atmosphäre nicht genügend wäre, um eine Temperaturabnahme von vier bis fünf Grad hervorzurufen. Es ist nun leicht eine Schätzung auszuführen wie tief die Temperatur sinken würde, wenn die Strahlung der Erde im Verhältniss 1 zu 0,775, d. h. um 29 Prozent, steigen würde, was einigermaßen den Daten von Hrn. Rubens und Ladenburg entspricht. Ein Steigen der Ausstrahlung um 1 Proz. entspricht einer Temperatursenkung von $0,72^{\circ} \text{C.}$ ($= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{100} \cdot 288$, da die mittlere absolute Temperatur der Erdoberfläche zu $15^{\circ} \text{C.} = 288^{\circ} \text{abs.}$ angenommen wird). Man könnte demnach eine Temperatursenkung von etwa $20,9^{\circ}$ als Folge des Verschwindens der Kohlensäure aus der Atmosphäre vermuten.

Eine genauere Rechnung, wobei die geringe Strahlung der Kohlensäure berücksichtigt wird, und wovon ich die Details in meiner Untersuchung von 1901 gegeben habe,¹ führt zu etwas niedrigeren Zahlen. Nach derselben würde von den 22,5 Prozent der Erdstrahlung, welche durch die Kohlensäure der Atmosphäre in ihrem jetzigen Zustand absorbiert werden, 3,8 Prozent wieder von der Kohlensäure in den Weltraum ausgestrahlt werden, so dass die wirkliche Verminderung der Erdstrahlung 18,7 Prozent betragen würde. Anstatt der jetzigen Temperatur von 15° C. = 288° abs. hätte man also nach Verschwinden der Kohlensäure eine absolute Temperatur T, für welche gilt:

$$T^4 : 288^4 = (1 - 0,187) : 1$$

woraus $T = 273,4$ abs. = 0,4° C.

Die jetzige Kohlensäuremenge würde demnach die Temperatur der Erdoberfläche um 14,6° C. erhöhen; ihr Verschwinden aus der Atmosphäre würde infolgedessen eine etwa drei mal so starke Temperaturerniedrigung als diejenige, welche für die Eiszeit charakteristisch war, hervorrufen.

In ähnlicher Weise berechne ich, dass eine Verminderung des Kohlensäuregehalts zur Hälfte oder eine Zunahme desselben auf den doppelten Betrag Temperaturänderungen von -1,5° C. bzw. +1,6° C. entsprechen würde.

Bei diesen Berechnungen habe ich vollkommen von der Anwesenheit des Wasserdampfes in der Atmosphäre abgesehen. Dieser wirkt in doppelter Weise. Teils vermindert der Wasserdampf die Ausstrahlung in ähnlicher Weise wie die Kohlensäure, wodurch die Absorption der Kohlensäure einen grösseren Bruchteil der Erdstrahlung umfasst, als wenn der Wasserdampf von der Atmosphäre entfernt wäre. Teils verursacht die Temperaturzunahme zufolge einer Zunahme des Kohlensäuregehalts eine Zunahme des Wasserdampfes in der Atmosphäre mit einer darauf folgenden Temperaturerhöhung.

Um diese beiden Einflüsse zu schätzen, muss man sich eine Vorstellung bilden von der Wärmeabsorption durch Wasserdampf und zwar sowohl in Bezug auf die Erdstrahlung als auch in Bezug auf die Sonnenstrahlung. Betreffs der Wärmeabsorption

¹ Öfversigt der Stockholmer Ak. 1901, N:o 1, S. 41 u. folg. Bei der Rechnung ist es angenommen dass die Abnahme der Temperatur über 10,000 M. Höhe halb so schnell vor sich geht als die adiabatische Bedingung verlangt.

durch Wasserdampf sind wir viel weniger unterrichtet als betreffs derjenigen von Kohlensäure. Hr. Ekholm hat (l. c.) versucht aus allen den vorliegenden Beobachtungen, eine Berechnung der Absorption der Erdstrahlung durch Wasserdampf durchzuführen. Das Hauptmaterial liefern die Beobachtungen von Langley über die Absorption der Wärmestrahlung des Mondes bei verschiedenem Wassergehalt der Atmosphäre. Dieser Wassergehalt entspricht einer durchstrahlten Wasserschicht von 0,72 cm. bis 5,0 cm. Dicke. Für diese Wasserdampfmengen findet Ekholm, unter Annahme eines 15° warmen, gegen eine schwarze Umgebung von -80° strahlenden, schwarzen Körpers, eine Absorption von 33 bsw. 66,4 Proz. Bei der Berechnung der Absorption von geringeren Wasserdampfmengen benutzt Ekholm die Formel von Bouguer. Diese Berechnungsweise könnte wohl als durch die Untersuchung von Fowle¹ berechtigt angesehen werden, falls nämlich Langley einen genügend schmalen Spalt (nach Fowle 10" bis 15") benutzt hätte. Dies scheint aber nicht der Fall gewesen zu sein, jedenfalls umfassen die Strahlengruppen in Langleys Tabellen eine Breite von 15 Bogenminuten. Es ist demnach kein Zweifel, dass eine Benutzung von Bouguers Formel auf die Daten von Langley eine zu starke Absorption bei hohem Wasserdampfgehalt, dagegen eine zu niedrige bei geringem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ergeben. Tyndalls Befund,² dass die geringsten Wasserdampfmengen genügen, um eine starke Absorption der strahlenden Wärme hervorzurufen, stehen in Widerspruch mit den Ergebnissen der Anwendung der Bouguer'schen Formel auf das Material von Langley. Zur Extrapolierung der Absorptionswerte für niedrige Wasserdampfmengen habe ich im Anschluss an den Befund von Hrn. Rubens und Ladenburg für Kohlensäure angenommen, dass man mit praktisch genommen richtigen Resultaten folgende Formel benutzen kann:

$$\log A = K_1 + K_2 \log w$$

worin A die Absorption (in Bruchteilen) und w die Wasserdampfmenge bedeuten. Wenn man die oben gegebenen Werte einführt, erhält man $K_1 = -0,438$; $K_2 = 0,372$. Mit Hülfe derselben ist folgende kleine Tabelle der Variation von A nach w berechnet.

¹ F. E. Fowle: Smithsonian Miscellaneous Collections Vol. 47. N:o 1468. 1904. p. 1.

² Tyndall: l. c. S. 39, 75.

W =	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	8	cm.
A =	2,9	3,7	5,2	6,7	8,7	12,0	15,5	20,0	28,2	36,5	47,2	54,8	61,6	66,4	71,0	79,1	Proz.

Unter Annahme, dass der Wasserdampf in der Atmosphäre so verteilt ist, wie die Berechnungen von v. Bezold aus den Ergebnissen der deutschen Luftschiffahrten andeuten, habe ich die Verminderung der Erdstrahlung durch den Wasserdampf ermittelt. Wegen der starken Konzentration des Wasserdampfes in den niederen Luftschichten wird die Ausstrahlung durch die Einwirkung des Wasserdampfes nicht in derselben Proportion reduciert wie durch die Einwirkung der Kohlensäure. Die Rechnung ergibt, dass unter den Umständen, welche der Wasserdampfmenge in unserer Atmosphäre entsprechen, ziemlich genau ein Drittel der durch den Wasserdampf absorbierten Strahlen in der Atmosphäre zurückbehalten bleibt. Der mittlere Wasserdampfgehalt der ganzen Atmosphäre entspricht ungefähr einer absorbierenden Schicht von 4 cm. Länge. Demnach würde der Wasserdampfgehalt die Erdstrahlung um $\frac{1}{3}$. $61,6 = 20,5$ Prozent vermindern.

Führt man diese Korrektur ein, so findet man, dass eine Änderung des Kohlensäuregehalts im Verhältniss 1 zu 2 die Temperatur der Erdoberfläche um $2,1$ Grad verändern würde. Dabei ist angenommen, dass die Strahlen, welche von dem Wasserdampf absorbiert werden, keinen Einfluss durch die Kohlensäure erleiden.¹

Hierzu kommt noch der vergrösserte Wärmeschutz durch die Zunahme des Wasserdampfes. Der Wasserdampf in der Atmosphäre hält nun nicht nur die Erdstrahlung zurück, sondern absorbiert auch einen grossen Teil der Sonnenstrahlung. Dieser letztere Umstand wirkt in entgegengesetzter Richtung, aber bei weitem nicht so kräftig, wie der erstgenannte. Für die diesbezügliche Korrektur habe ich die Daten von Ångström und Schukewitsch² benutzt. Die Rechnung ergibt, dass eine Verdoppelung der Wasserdampfmenge in der Atmosphäre bei den mittleren Verhältnissen einer Temperaturerhöhung von $4,2^{\circ}$ C.

¹ Diese Annahme ist vielleicht nicht vollkommen stichhaltig, indem vielleicht einige Spektraltheile in dem grossen Absorptionsbande der Kohlensäure auch von Wasserdampf afficiert werden. Diese Wirkung des Wasserdampfes scheint jedoch sehr schwach zu sein, falls sie überhaupt existiert. Die Vernachlässigung dieses Umstandes dürfte mehr als kompensiert werden dadurch, dass die Wirkung von Ozon, Kohlenwasserstoffen etc., die noch sehr wenig bekannt ist, nicht in Rechnung gezogen wurde.

² Ångström: Drudes Annalen 3. 730. 1903.

n.
oz.

entspräche. Aus dieser Angabe lässt es sich berechnen, dass die entsprechende sekundäre Temperaturänderung bei einer Schwankung der CO_2 der Luft um 50 Procent etwa $1,8^\circ \text{C}$. betragen würde, so dass die totale Temperaturänderung bei einer Abnahme der Kohlensäuremenge der Luft um 50 Procent $3,9$ oder rund 4°C . erreichen würde.

Meine erste Berechnung dieser Ziffer ergab einen etwas höheren Wert, etwa 5°C . Bei dieser älteren Berechnung ist der Einfluss der Kohlensäure zu hoch, dafür aber derjenige des Wasserdampfes zu niedrig geschätzt worden, wie Ekholm (l. c.) schon bemerkt hat. Dieses Verhalten wurde dadurch verursacht, dass im Allgemeinen in den Langley'schen Daten die Kohlensäuremenge mit der Wasserdampfmenge zunimmt, so dass leicht eine Verschiebung zu Gunsten des einen zufolge von Versuchsfehlern eintritt. Die dadurch entstehenden Fehler kompensieren aber einander zum grossen Teil.

Ich habe es nicht für nötig erachtet, eine mehr detaillierte Rechnung mit den jetzt vorliegenden Daten betreffs der Wärmeabsorption auszuführen, da diese Daten nach vielen Richtungen komplotiert werden müssen, bevor es sich verlohnt, weitläufigere Rechnungen auszuführen. Ich habe nur zeigen wollen, dass die neuen Bestimmungen von Rubens und Ladenburg zu ungefähr denselben Resultaten führen, zu welchen ich durch Berechnung älterer Bestimmungen gekommen bin. Die neue Berechnung kann natürlich ebenso wenig wie die ältere mehr als die ungefähre Grösse des Einflusses, bis auf etwa 30 Procent, angeben.

Wenn man mit den führenden Geologen annimmt, dass die Temperatur während der Eiszeit 4 bis 5 Grad niedriger, während der Eozänzeit dagegen 8 bis 9 Grad höher war wie jetzt, so würde ein Sinken des jetzigen Kohlensäuregehalts auf etwa 50 bis 60 Procent der Eiszeit, ein Steigen desselben auf den vierfachen bis sechsfachen Betrag einer Eozänzeit, entsprechen.

In einem grossen Werk, benannt die Aequatorfrage¹ hat Hr. Kreichgauer die alte Idée aufgenommen, dass die Eiszeiten durch starke Verschiebungen des Pols auf der Erdoberfläche zu erklären wären. Er denkt sich die Erklärung auf folgende Weise:

¹ D. Kreichgauer: Die Aequatorfrage in der Geologie, Missionsdruckerei in Steyl, 1902.

Wir nehmen an, wir haben einen um seine Achse sich drehenden Himmelskörper, welcher aus mehreren Schichten von verschiedenem specifischen Gewicht bestehe. Diese lagern sich dann so, dass die tiefste auch die specifisch schwerste ist und so weiter, so dass am Ende die äusserste Schicht aus dem leichtesten Bestandteil des Himmelskörpers gebildet ist. Zufolge der Einwirkung der Drehung müsste in jeder Schicht ihre Tiefe am Aequator etwas grösser sein als an den Polen, wegen der nach aussen zunehmenden Schwungkraft müsste dieser Unterschied in der äussersten Schicht am grössten sein.

Diese Folgerung gilt so lange die Schichten flüssig sind. Auf der Erde ist aber die oberste Schicht (abgesehen von der Luft und dem Meer, welche nur relativ unbedeutende Masse besitzen) fest und reicht bis zu einer gewissen Tiefe, wo sie wegen der hohen Temperatur abschmilzt. Es wird nun allgemein angenommen, dass die Temperaturzunahme mit der Tiefe überall ungefähr gleich gross ist, also müsste die feste Erdkruste überall gleich dick sein, wenn die Oberflächentemperatur überall gleich wäre. Da weiter diese an den Polen etwas niedriger ist als am Aequator, so wird sogar die feste Kruste wahrscheinlicherweise an den Polen etwas dicker sein als am Aequator. Nach der Gleichgewichtsbedingung sollte aber die oberste Schicht am Aequator am dicksten sein; folglich herrscht kein Gleichgewicht, sondern die feste Kruste hat ein Bestreben sich zum Aequator hin zu verschieben. Wegen der unsymmetrischen Verteilung des Festlandes ist die Triebkraft nicht symmetrisch verteilt; so z. B. meint Hr. Kreichgauer, dass zufolge des Überwiegens der Landmassen auf der nördlichen Halbkugel und in dem alten Kontinent eine Verschiebung der Erdscholle in der Richtung vom Nordpol zum Kaukasus jetzt stattfindet. Eine Folge davon wäre, dass der Nordpol der im Erdkörper stillstehenden Erdachse sich jetzt in entgegengesetzter Richtung, nämlich vom Nordpol gegen Alaska hin bewegt.

Bei dieser Ableitung wird vorausgesetzt, dass die äusserste Schicht geringeres specifisches Gewicht als die nächstfolgenden geschmolzenen Teile besitzt. Dies ist jedoch nicht sicher der Fall. Beim Erstarren von Diabas hat Barus eine Zusammenziehung um 3,9 Proz. konstatiert. Unter höherem Druck ist die Zusammenziehung geringer. Weiter ist die Kruste abgekühlt und hat auch dadurch grössere Dichte. Diese grössere Dichte wird dadurch kompensiert, dass leichtere eruptive Bergarten wie

Granit die Hauptmasse der Kruste ausmachen. Es ist deshalb schwer zu sagen, ob die Kruste specifisch schwerer oder leichter als das nächstunterliegende Magma ist. Man kann folglich nicht sicher behaupten, dass ein Bestreben der Kontinente, sich zum Aequator hin zu verschieben, stattfindet.

In der Tat bemerkt man auch keine nennenswerte Verschiebung der Pole. Dieselben haben, seitdem ihre Lage genau genug registriert wurde, eine unregelmässige Kurve um ihre mittlere Lage beschrieben, und die grösste Entfernung davon beträgt etwa 10 m. Nach Hrn Kreichgauers Schätzung müsste der Nordpol sich seit der Vereisung Nord-Amerikas um etwa 6,000 Kilometer verschoben haben. Die dazu nötige Zeit schätzt Hr. Kreichgauer zu etwa 10,000 Jahre, einer mittleren Verschiebung von 600 M. pro Jahr entsprechend. Wenn man nun auch eine zehn mal längere Zeit als seit der Vereisung Nordamerikas verflossen annimmt, was wohl ungewöhnlich hoch geschätzt ist, so kommt man jedoch zu Polverschiebungen von 60 M. pro Jahr welche wenigstens 100 mal grösser sind als die jetzt beobachteten. Die Annahme von Hrn Kreichgauer ist demnach äusserst unwahrscheinlich.

Nach Hrn Kreichgauer hätte der Nordpol sich seit der Silurzeit von der Nähe des jetzigen Aequators bis zu seiner jetzigen Lage verschoben. In einer jüngst erschienenen Abhandlung weist Hr. Becker darauf hin, dass »die Majorität der Grenzlinien der grossen Oceantiefen, welche ein sehr hohes geologisches Alter besitzen, symmetrisch zur Erdachse gelegen sind«, was nach ihm darauf hindeutet, dass die Achse der Erde bei der Bildung ihrer festen Kruste dieselbe Lage hatte wie jetzt in Bezug auf sie. Dies steht offenbar in Widerspruch mit Hrn. Kreichgauers Ansichten.¹

Ich will nicht auf die vielen geologischen Schwierigkeiten näher eingehen, welche sich der Annahme von Hrn. Kreichgauers Hypothese in den Weg stellen; es möge genügen, auf die physikalischen und geophysischen Daten hinzuweisen, welche sie als sehr unwahrscheinlich und ungenügend begründet erscheinen lassen.

Gegen die Kohlensäuretheorie macht Hr. Kreichgauer den Einwand, dass animalisches Leben nicht höhere Kohlensäuremengen vertragen kann. Dagegen möge hervorgehoben werden,

¹ George Becker: Present problems of geophysics, American Geologist Bd 35 s. 8. 1905.

dass Thiere sehr gut einen Kohlensäuregehalt der Luft von 1 Proz. vertragen, also etwa dreissig mal den jetzigen Betrag. Und so grosse Mengen sind nicht nötig gewesen, um die beobachteten warmen Klimate erklärlich zu machen. Was übrigens die Möglichkeit betrifft, die Kohlensäuretheorie mit geologischen That- sachen zu vereinigen, sei auf die Arbeiten von Prof. T. C. Cham- berlin¹ und Prof. Fritz Frech² hingewiesen.

¹ T. C. Chamberlin: Journal of geology Vol. 5 N:o 7, S. 680, 1897. Vol. 6. N:o 6, S. 609, 1898.

² Fritz Frech: Zeitschrift d. Ges. f. Erdkunde 1902 S. 611—629 und 671—693.

Tryckt den 22 febr. 1906.

Uppsala 1906. Almqvist & Wiksells Boktryckeri-A.-B.

t
d
d
ri
n
q
es
ai
d'
da
pe

ét
ar
di
Da
—
mé
gift