

Sitzungsberichte

der
naturwissenschaftlichen Abteilung
der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur-
und Heilkunde in Bonn.

1927.

Sitzung am 26. Januar 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr Steinmann: Zur Stammesgeschichte der Fische.

Sitzung am 9. Februar 1927.

Gemeinsam mit der Chemischen Abteilung und der Rheinischen Gesellschaft für Geschichte der Naturwissenschaft, Medizin und Technik. Vorsitzender: Herr Wilckens.

Herr H. Rheinboldt:

Hundert Jahre Aluminium.

Aluminium ist das verbreitetste Metall der uns zugänglichen Erdrinde und nach Sauerstoff und Silicium das verbreitetste Element überhaupt. Wegen seiner großen Verwandtschaft zu Sauerstoff findet sich das Metall aber nicht gediegen, und dieselbe Eigenschaft ließ es so lange verborgen bleiben.

Anm. Der durch zahlreiche Versuche und ein reichhaltiges Demonstrationsmaterial unterstützte Vortrag¹⁾ läßt sich in der gehaltenen Form nicht wiedergeben. Es wurde daher in nachstehender Fassung die Anwendung des Aluminiums und seiner Legierungen nur kurz behandelt, der geschichtliche Teil dagegen ausführlicher dargestellt. Hierbei wurde weitgehend von historischen Quellen Gebrauch gemacht, vor allem von dem „Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler“ (Wilh. Engelmann, Leipzig 1901) und „Aus Justus Liebig's und Friedrich Wöhler's Briefwechsel“ (Friedr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1888).

1) Vgl. Z. f. angewandte Chemie 40, 678 (1927); Metallwirtschaft 6, 224 (1927). Über dasselbe Thema sprach der Verfasser am 5. März 1927 vor der „Naturwissenschaftlichen Gesellschaft an der Saar“ in Neunkirchen. S. ferner H. Rheinboldt, Hundert Jahre Aluminium, Metallwirtschaft 6, 2 (1927).

Entdeckung des Aluminiums.

Bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts galten die Oxyde der Leichtmetalle, die „Fixen Alkalien, Alkalischen Erden und Eigentlichen Erden“, als einheitliche, nicht zerlegbare Stoffe. Zwar hatte man vermutet, daß diesen bestimmte „metallische Radikale“ zugrunde lägen, ohne daß der experimentelle Beweis für diese Ansicht erbracht werden konnte. Eine neue Epoche in der Erkenntnis der anorganischen Stoffe brach an, als es Ende des Jahres 1807 Humphrey Davy²⁾ gelang, die fixen Alkalien mittels des elektrischen Stromes zu zerlegen und die beiden Alkalimetalle Kalium und Natrium zu isolieren. Damit war auch die elementare Natur der Erden sehr unwahrscheinlich geworden, und schon im folgenden Jahre (1808) stellte L. F. Seebeck³⁾ in Berlin aus den Halogeniden der Erdalkalimetalle mittels der Amalgame der Alkalimetalle die Amalgame der Erdalkalimetalle her, und Davy erhielt durch Abdestillieren des Quecksilbers aus diesen Amalgamen, die er auf elektrolytischem Wege gewonnen hatte, die Metalle Calcium, Strontium, Barium und Magnesium. Der Versuch, auf diesem oder anderem Wege⁴⁾ das Radikal der „Thonerde“ zu isolieren⁵⁾, blieb jedoch erfolglos. Dennoch gab Davy dem ihm unerreichbar gebliebenen metallischen Radikal der „Thonerde“ den Namen „Aluminium“, abgeleitet von „alumen“, der lateinischen Benennung des Alauns. Im Jahre 1823 gelang Jacob Berzelius⁶⁾ die Isolierung des Radikals der „Kieselerde“ durch Erhitzen einer Fluorverbindung dieses Elementes (SiF_4 oder $[\text{SiF}_6]\text{K}_2$) mit metallischem Kalium.

Damit waren die grundlegenden Methoden zur Darstellung neuer Elemente geschaffen.

1825 nahm Hans Christian Oersted⁷⁾ in Kopenhagen die Versuche zur Isolierung des Radikals der „Thonerde“ wieder auf. Durch Erhitzen eines Gemisches von „Thonerde“ mit Kohle im Chlorstrom gelang ihm die Darstellung des bis dahin unbekannten wasserfreien Chlorides des Aluminiums (AlCl_3), aus dem er nach der Methode von Seebeck und Davy durch Umsatz mit Kaliumamalgam das Aluminium zu gewinnen versuchte. Nach seiner kurzen Veröffentlichung war das Reaktionsprodukt „ein dem Zinn etwas ähnlicher Metallklumpen, der Wasser zersetzt“.

Im Sommer des Jahres 1827 besuchte Friedrich Wöhler⁸⁾, damals Lehrer der Chemie und Mineralogie an der neugegründeten

2) 1778—1829.

3) Physiker, Lehrer und Privatdozent in Berlin (1770—1831).

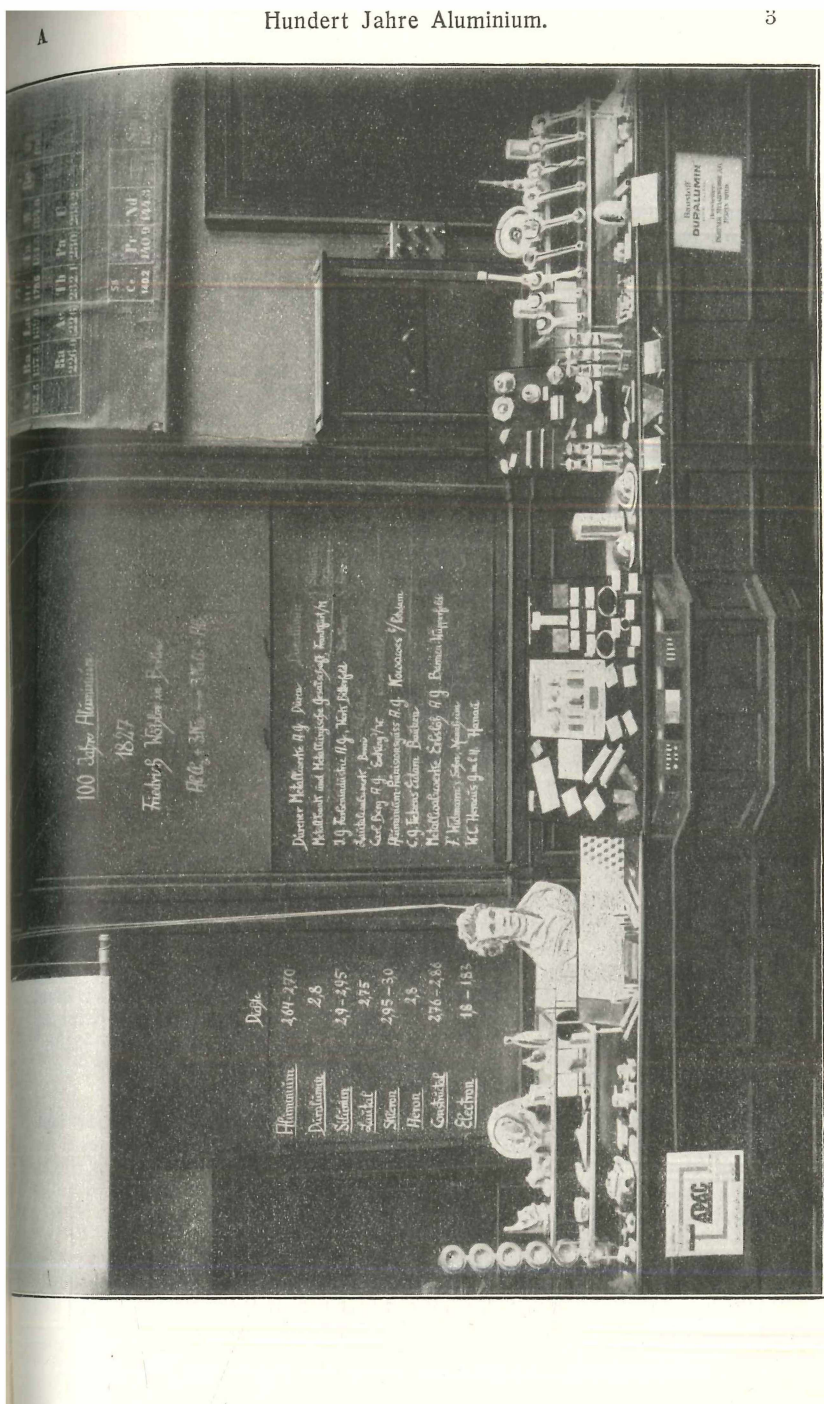
4) Durch Einwirkung von Kaliumdämpfen auf glühende Tonerde.

5) Die selbständige Natur der „Thonerde“ oder „Alaunerde“ wurde 1754 von A. S. Marggraf (1709—1782) entdeckt.

6) 1779—1848.

7) 1777—1851, Prof. der Physik in Kopenhagen. Vgl. H. C. Oersted's Leben, zwei Denkschriften von Hauch und Forchhammer. Aus dem Dänischen von Dr. H. Seibald. A. Martens-Spandau 1853. Entdeckte die Ablenkung der Magnetnadel im elektrischen Feld. Die „Physikalische und medizinische Gesellschaft in Bonn“ ernannte ihn 1822 zum auswärtigen Mitglied.

8) Geb. 31. VII. 1800 in Eschersheim bei Frankfurt a. M. — März 1825 Städt. Gewerbeschule Berlin — 1832 Höhere Gewerbeschule



Der Experimentiertisch zu dem Vortrage „Hundert Jahre Aluminium“.

Städtischen Gewerbeschule in Berlin, nach einem Zusammentreffen mit seinem Lehrer Berzelius, bei dem er 1823 bis 1824 in Stockholm zur Ausbildung geweiht hatte, Oersted in Kopenhagen und nahm nach seiner Rückkehr nach Berlin sofort eine Nachprüfung der Oersted'schen Versuche auf. Er schreibt darüber an Berzelius⁹⁾ (10. Okt. 1827): „Da mir Oersted sagte, daß er nicht vor habe, die Versuche mit dem Chloraluminium fortzusetzen und ich schon bey der ersten Wiederholung dieser Versuche große Lust zur weiteren Verfolgung derselben bekommen hatte, so will ich diesen Vorsatz, soweit es meine Zeit diesen Winter zuläßt, ausführen. Ich habe schon einen Versuch angestellt.“ Das Ergebnis dieses Versuches teilt er Berzelius mit. Bereits im November erschien in J. C. Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. XI, Seite 146—161 (1827) eine Abhandlung: „Ueber das Aluminium“, in der Wöhler die Darstellung des neuen Metalles bekannt gibt und seine wichtigsten Eigenschaften beschreibt. Diese historisch bedeutsame Abhandlung beginnt mit den Sätzen: „Die physischen und chemischen Eigenschaften der Elemente kennen zu lernen, welche in oxydiertem Zustande die Hauptmasse unserer Erdrinde ausmachen, ist gewiß in vieler Hinsicht von größerem Interesse, als die Kenntnis mancher der eigentlichen Metalle; — denn von der Kenntnis jener Körper hängen selbst zum Theil unsere Vorstellungsarten von der Bildung der Erdrinde, von der Ursache der vulkanischen Erscheinungen u. a. ab.“ Wöhler teilt dann mit, daß er zunächst den Versuch Oersteds wiederholt habe, aber ohne Erfolg. Das Reaktionsprodukt war eine eisenschwarze Metallmasse, die sich bei höherer Temperatur mit grünen Dämpfen verflüchtigte. Er schreibt an Berzelius¹⁰⁾: „Was Oersted für einen Aluminium-Klumpen hielt, ist ganz gewiß nichts anderes gewesen als ein aluminiumhaltiges Kalium.“ In seiner Abhandlung fährt Wöhler fort: „Ich habe mich daher nach einer anderen Methode umgesehen, ohne aber damit sagen zu wollen, daß es nach jener nicht glücke, das Aluminium zu reduzieren.“ Was lag für Wöhler näher, als zu der Methode zu greifen, nach der Berzelius das Silicium gewonnen hatte¹¹⁾, in dem Jahre, als Wöhler in seinem Laboratorium in Stockholm arbeitete? Und so berichtet er weiter: „Auf der Zersetzbarkeit des Chloraluminiums durch Kalium und auf der Eigenschaft des Aluminiums, sich nicht in Wasser zu oxydieren, beruht die Art, wie mir die Reduktion und Darstellung dieses Metalles gelang. — Erwärmt man in einer Glasröhre ein kleines Stückchen Chloraluminium mit Kalium, so wird die Röhre durch die heftige, mit starkem Feuer begleitete Einwirkung zerschmettert. Ich versuchte dann diese Zersetzung in einem kleinen Platintiegel, worin sie ganz gut gelang. Die Einwirkung ist immer

Cassel — 1836 Universität Göttingen — gest. 23. IX. 1882. Über sein Leben und Wirken unterrichtet der ausgezeichnete Nachruf von A. W. v. Hofmann, Ber. Deutsche Chem. Ges. 15, 3127—3290 (1882), sowie dessen Rede bei der Einweihung des Wöhlerdenkmals in Göttingen, Ber. 23, 833 (1890).

9) Briefwechsel Berzelius-Wöhler, Bd. I, 196.

10) Briefwechsel Berzelius-Wöhler, I, 196 (10. X. 1827).

11) Am 7. XI. 1826 hatte Berzelius darauf hingewiesen, daß die Chloride zur Gewinnung von Bor und Silicium viel geeigneter seien als die Fluoride, Briefwechsel I, 153.

A
 so heftig, daß man den Deckel mit einem Draht befestigen muß, wenn er nicht abgeworfen werden soll, und daß in dem Augenblicke der Reduktion der, nur schwach von Außen erhitzte, Tiegel plötzlich von Innen aus glühend wird. Das Platin wird dabei so gut wie gar nicht angegriffen. Um indessen doch vor einer möglichen Einmischung von abgelöstem Platin zu dem reduzierten Aluminium ganz sicher zu seyn, machte ich diese Reduktionsversuche nachher immer in einem kleinen Porzellantiegel und verfuhr dabei auf folgende Art: Man legt auf den Boden des Tiegels einige von anhängendem Steinöle wohl befreite Stücke von kohlenstofffreiem Kalium und bedeckt diese mit, dem Volum nach ungefähr gleichviel Chloraluminium-Stückchen. Hierauf erhitzt man den, mit seinem Deckel bedeckten, Tiegel über der Spirituslampe, anfangs gelinde, damit er nicht bei der inwendig vor sich gehenden Feuerentwicklung springe, und dann stärker, bis letztere vorbei ist, was noch lange vor dem Glühen eintritt. Die größte Menge von Kalium, die ich hierbei auf ein Mal anwandte, waren 10 erbsengroße Kugeln; in einem hessischen Tiegel könnte man es wohl wagen, mit größeren Mengen zu operieren. Mit den Quantitäten der beiden sich zersetzenden Stoffe muß man es so einrichten, daß weder so viel Kalium da ist, daß die reduzierte Masse alkalisch wird, noch so viel überschüssiges Chloraluminium, daß man davon im Moment der Reduktion sich verflüchtigen sieht. — Die reduzierte Masse ist in der Regel völlig geschmolzen und schwarzgrau. Man wirft den *völlig* erkalteten Tiegel in ein großes Glas voll Wasser, worin sich die Salzmasse unter schwacher Entwicklung eines übelriechenden Wasserstoffgases auflöst und dabei ein graues Pulver abscheidet, das bei näherer Betrachtung, besonders im Sonnenscheine, als aus lauter kleinen Metallflittern bestehend erscheint. Nachdem es sich abgesetzt hat, gießt man die Flüssigkeit ab, bringt es auf ein Filtrum, wäscht es mit *kalt*em Wasser aus und trocknet es. Es ist das Aluminium.“

„Das Aluminium bildet ein graues Pulver, sehr ähnlich dem Pulver von Platin; meist sind darin, auch nach dem Trocknen, metallglänzende Flittern zu bemerken, und einige Male erhielt ich kleinere, etwas zusammenhängende, wie schwammige Massen, die an mehreren Stellen zinnweißen Metallglanz hatten. Unter dem Polierstahl nimmt es sehr leicht vollkommen zinnweißen Metallglanz an, und in einem Achatmörser gerieben, läßt es sich etwas zusammendrücken und bildet dann größere, metallglänzende Flitter, oder auf den Achat festgestrichene, metallische Streifen. Es besitzt also völlige Metallität und ist in dieser Hinsicht dem Kiesel (Silicium) nicht analog.“

Schmelzen konnte Wöhler das erhaltene Pulver nicht. Er erkennt die Beständigkeit des Metalls gegen Wasser, untersucht sein Verhalten gegen Säuren und beschreibt die leichte Löslichkeit des Aluminiums in Alkalilaugen unter Wasserstoffentwicklung, sowie seine Vereinigung mit Sauerstoff zu Aluminiumoxyd. (156) „Erhitzt man das Aluminium bis zum Glühen an der Luft, so fängt es Feuer und verbrennt mit großem Glanze zu weißer, ziemlich harter Thonerde. Streut man das pulverförmige Aluminium in eine Lichtflamme, so bildet jedes Stäubchen einen sprühenden Funken, eben so glänzend, wie von Eisen, das in Sauerstoffgas verbrennt. In reinem Sauerstoffgas verbrennt es mit einem Glanze, den das Auge kaum ertragen kann, und mit einer so starken Wärmeentwicklung, daß die dabei entstehende Thonerde wenigstens theilweise schmilzt.“

Diese geschmolzene Tonerde ist so hart wie Korund und schneidet Glas. Wöhler beschreibt die Umwandlung des Aluminiums

durch Chlor in Aluminiumchlorid, durch Schwefeldampf in Aluminiumsulfid, sowie seine Vereinigung mit Phosphor, Arsen, Selen und Tellur.

Auf Grund dieser Angaben kann kein Zweifel bestehen, daß Wöhler das Radikal der „Thonerde“ — das Aluminium — isoliert hatte. Seither galt Wöhler als der Entdecker des Aluminiums.

In den letzten Jahren ist aber eine Meinungsverschiedenheit entstanden, ob Oersted oder Wöhler die Erstentdeckung des Aluminiums zukomme¹²⁾. 1921 beschäftigte sich J. Fogh auf Veranlassung von Niels Bjerrum mit der Nachprüfung von Oersteds Methode mit dem Erfolg, daß er tatsächlich bis zu 99%iges Aluminium erhielt, aber nur bei Anwendung eines großen Überschusses an Aluminiumchlorid und von verdünntem Kaliumamalgam, also von überschüssigem Quecksilber. Unabhängig von diesen Versuchen kam in Deutschland 1925 Toussaint, der sich im Auftrage von Karl Goldschmidt mit derselben Aufgabe befaßte, zu gleichem Ergebnis. Danach ist es wohl möglich, daß Oersted tatsächlich Aluminium erhalten hatte, er machte aber über die Mengenverhältnisse der Reagentien keinerlei Angaben, und da er selbst nie wieder auf das Aluminium zurück kam und auch Wöhler gegenüber, mit dem er in freundschaftlichem Briefverkehr blieb¹³⁾, keinerlei Prioritätsansprüche geltend machte, so ist anzunehmen, daß er selbst seine Versuchsbedingungen nicht reproduzieren konnte, weshalb er wohl auch Wöhler aufforderte, seinerseits die Versuche zur Isolierung des Aluminiums aufzunehmen. Wöhler hat dagegen eine leicht reproduzierbare Methode angegeben und die Eigenschaften des Metalles eingehend beschrieben. So haben auch die Zeitgenossen Wöhler als den Entdecker des Aluminiums betrachtet¹⁴⁾ und es liegt für unsere Zeit keine Veranlassung vor, ihm die Entdeckung des Aluminiums streitig zu machen!

In den nächsten Jahren beschäftigte sich Wöhler nicht mit Aluminium, erst 9 Jahre später (1836) veröffentlichte er ein verein-

12) J. Fogh, C. 1923. III. 965. — C. Matignon u. C. Faurholt, *Chimie et Industrie* 13, 9 (1925), *Science Moderne* 2, 249 (1925), C. 1925. I. 2053. — Matignon, *Chimie et Industrie* 14, 368 (1925), C. 1926. I. 293. — Niels Bjerrum, *Z. f. angewandte Chemie* 39, 316 u. 375 (1926), C. 1926. I. 2645. — Karl Goldschmidt, *Z. f. angewandte Chemie* 38, 1057 (1925), C. 1926. I. 805 — 39, 375 (1926), C. 1926. I. 2869, *Chimie et Industrie* 15, 702 (1926), C. 1926. II. 521. — M. Tosterud u. J. D. Edwards, *Trans. Amer. electrochem. Soc.* 51; C. 1927. II. 1.

13) Vgl. Briefwechsel Liebig-Wöhler I, 271 (22. II. 1846).

14) Vgl. z. B. J. J. Berzelius, *Lehrbuch der Chemie*, 4. Aufl. 1835; II, 371: „Nach vielen mißglückten oder nur unvollständig gelungenen Versuchen, theils von Davy, theils von mir und von Oersted, gelang es endlich Wöhler, dieses Metall isoliert darzustellen.“ — C. Hauch, *H. C. Oersteds Leben* (1853), 106: „Oersted suchte schon die Grundstoffe selbst von diesen Verbindungen auszuscheiden, und wählte dazu das Mittel, welches später mit so vielem Glück benutzt worden ist, nämlich Kalium. Aber damals (1824) war dieses Metall, wenigstens bei uns, sehr schwer zu erhalten, und er wandte deshalb Kalium-Amalgam an, welches ihm nur sehr unbefriedigende Resultate gab.“ Vgl. Anm. 7.

faches Darstellungsverfahren¹⁵⁾, das 1845 verbessert wurde und die Gewinnung des Metalles in größerer Menge und kompakterer Form ermöglichte¹⁶⁾. Eine zufällige Beobachtung gab hierzu Veranlassung. Wöhler¹⁷⁾ schreibt am 9. Februar 1845 an Berzelius: „Ich habe neulich, um es meinen Practicanten zu zeigen, Aluminium aus AlCl_3 reduziert und habe dabei gefunden — was mir bei meinen früheren Versuchen entgangen war — daß das Aluminium ganz leicht schmelzbar ist. Das graue Metallpulver besteht in der That aus lauter kleinen geschmolzenen Kügelchen, nicht selten mit bloßen Augen sichtbar und zuweilen von der Größe kleiner Stecknadelköpfe . . . Das Aluminium läßt sich schon in der Löthrohrflamme schmelzen . . . Ich will diese Versuche noch etwas weiter verfolgen, vor Allem aber darauf losgehen, eine bessere Reductionsmethode zu erfinden, wodurch man mehr erhält. Denn bei dem bisherigen Verfahren ist die Feuererscheinung im Reductionsmoment so stark, daß man nur mit kleinen Mengen auf einmal operiren kann.“ Die von Wöhler¹⁸⁾ angegebene neue Methode besteht im Prinzip darin, daß die Dämpfe von Aluminiumchlorid und Kalium (oder Natrium) zur Reaktion gebracht werden. Wöhler teilt mit, daß er so zwei Kügelchen im Gesamtgewicht von 32 mg erhalten habe, während das Gesamtgewicht dreier anderer Kügelchen 34 mg betrug. Die Dichte des Aluminiums bestimmte er an diesem Material zu 2,50—2,67, nach unseren heutigen Bestimmungen beträgt sie 2,64—2,70.

Wir beschließen die historische Betrachtung der Entdeckung des Aluminiums mit dem Jahre 1854, in dem unabhängig voneinander Robert Wilhelm Bunsen¹⁹⁾ in Heidelberg und Henry Sainte-Claire Deville²⁰⁾ in Paris bekanntgaben, daß es ihnen gelungen war, durch Schmelzflußelektrolyse einer Doppelverbindung von Aluminiumchlorid mit Natriumchlorid metallisches Aluminium zu gewinnen.

Hiermit sind die beiden Wege zur technischen Gewinnung des Aluminiums vorgezeichnet!

Entwicklung der technischen Gewinnung des Aluminiums.

Die Entwicklung der technischen Aluminiumgewinnung zerfällt in zwei Abschnitte, die sich zeitlich ablösen und nach den angewandten Verfahren als „Chemische Reduktionsperiode“ und als „Elektrochemische Reduktionsperiode“ charakterisiert werden können.

15) Annalen d. Chemie u. Pharmazie **17**, 47 (1836).

16) Annalen d. Chemie u. Pharmazie **53**, 422 (1845).

17) Briefwechsel Berzelius-Wöhler, II, 523—525.

18) Ann. d. Chemie u. Pharm. **53**, 422 (1845). Vgl. auch Briefwechsel Liebig-Wöhler I, 251 (24. I. 1845) — 253 (15. II. 1845) — 255 (14. III. 1845).

19) Bunsen, Poggendorffs Ann. d. Physik u. Chemie **92**, 648 (1854). 9. Juli 1854.

20) Deville, Comptes rendues de l'Académie des Sciences **39**, 325 (1854). 14. August 1854. Vgl. dazu l. c. **39**, 535, 771, 901 (1854),

Chemische Methode der Aluminiumgewinnung.

Im Jahre 1854 studierte H. Sainte-Claire Deville²¹⁾ in seinem Laboratorium der Ecole normale in Paris das Wöhler'sche Verfahren der Aluminiumgewinnung, und es gelang ihm, durch einige Verbesserungen der Methode das Metall in größeren Kügelchen zu erhalten²²⁾. Deville erkannte die technische Bedeutung des Prozesses und ging sofort mit großer Energie an die Verwirklichung der Darstellung in größerem Maßstabe. Hierbei konnte er sich der Unterstützung der Akademie der Wissenschaften und des Kaisers Napoleon III. erfreuen, der zu Beginn des Jahres 1855 anordnete, daß in der chemischen Fabrik zu Javelle bei Paris Versuche zur Darstellung des Aluminiums in größerem Maßstabe auf seine Kosten durchgeführt wurden²³⁾. Deville's erste Erfolge wurden in Frankreich mit großem Enthusiasmus aufgenommen, und es schien zunächst so, als sollte Wöhler die Ehre der Erstentdeckung verloren gehen²⁴⁾. Liebig's Aufforderung²⁵⁾, sich zu diesen Umtrieben zu äußern, lehnt Wöhler²⁶⁾ ab, „diese Reklamationen sind doch immer mehr oder weniger kleinlich, auch könnte man nichts sagen, ohne diese empfindlichen Franzosen zu verletzen. Traurig ist es bei dieser Gelegenheit, wieder zu sehen, daß die Deutschen nur auf das, was aus dem Auslande kommt, Werth legen. In allen Zeitungen war die wichtige Entdeckung ausposaunt.“ Aber ein Jahr später — Mai 1855 — kann er Liebig berichten²⁷⁾: „Die Franzosen haben mir nun in Betreff des Aluminiums volle Gerechtigkeit widerfahren lassen, nachdem sie freilich alle Versuche gemacht hatten, die Ehre der Entdeckung den Franzosen zuzuwenden; besonders nobel und klug hat sich Dumas gezeigt, der den Kaiser bewogen hat, Deville und mir das Offizierkreuz der Ehrenlegion zu verleihen. Mit Deville stehe ich im freundschaftlichsten Verkehr, dessen Verdienste um die Darstellung des Aluminiums im großen Niemand mehr anerkennen kann als ich“²⁸⁾. Von Deville wurde Wöhler eine Medaille aus-

Ann. d. Chemie u. Pharm. 92, 252 (1854), Annales de chimie et de physique [3] 43, 33 (1855).

21) Henry Sainte-Claire Deville, geb. 11. III. 1818 auf St. Thomas (Antillen), 1845—1851 Dozent an der Fakultät Besançon, ab 1851 Prof. der Chemie an der Ecole normale und der Sorbonne (1867) in Paris. Gest. 1. VII. 1881 in Boulogne. — Jules Gay, Henri Sainte-Claire Deville. Sa vie et ses travaux. Paris, Gauthier-Villars et Fils 1889.

22) Compt. rend. 38, 279 (1854).

23) 30 000 Frs. wurden hierfür verbraucht.

24) Vgl. Compt. rend. 38, 359, 555, 557 (1854).

25) Briefwechsel Liebig-Wöhler II, 14 (15. V. 1854).

26) Briefwechsel Liebig-Wöhler, II, 15 (19. V. 1854). Später sah er sich doch dazu veranlaßt, vgl. Briefwechsel II, 24 (4. I. 1855).

27) Briefwechsel Liebig-Wöhler, II, 25 (Mai 1855).

28) Deville selbst war an den Umtrieben gegen Wöhler nicht beteiligt. Die Forscher blieben bis zu ihrem Lebensende in freundschaftlichem Verhältnis, das besonders während des Krieges 70/71 zum Ausdruck kam, und haben mehrere gemeinsame Arbeiten durchgeführt. Vgl. Briefwechsel Liebig-Wöhler II, 28, 38, 39, 54, 58, 233, 303, 304, 305, 307, 308. Liebig schreibt z. B. an Wöhler (26. IV.

Aluminium überreicht, die auf der einen Seite den Kopf von Napoleon III., auf der anderen den Namen Wöhler und die Jahreszahl 1827 trug. In seinem Bericht über diese Schenkung²⁹⁾ sagt Wöhler: „Wiewohl ich von meinen eigenen früheren Versuchen kleine Kugeln und über einen halben Zoll lange ausgehämmerte Blättchen von Aluminium besaß und seine Geschmeidigkeit und seine Unveränderlichkeit an der Luft kannte, so gestehe ich, war mir der Anblick einer so großen Masse von diesem Metall . . . in hohem Grade überraschend.“ Als Liebig³⁰⁾ von der Überreichung der Medaille hörte, ließ er sie sich nach München kommen, um sie dem König Max und seinen Zuhörern zu zeigen. Wir führen dies an, um einen Begriff zu geben, welchen Eindruck das Aluminium bei seinem ersten Erscheinen machte. So ist es nicht erstaunlich, daß sich an „Deville's Silber aus Lehm“, das auf der Pariser Weltausstellung 1855 unter den Erzeugnissen der Porzellanmanufaktur zu Sèvres nebst seinen Ausgangsmaterialien ausgestellt war, überschwengliche Erwartungen knüpften. Die fachliche Kritik war dagegen weniger optimistisch, wie eine Bemerkung in Wagners Jahresberichten 1856 beweist: „Die Pariser Weltausstellung war berufen, dem Märchen vom Silber aus Lehm ein Ende zu bereiten. Hier mußte das Aluminium öffentlich sich zeigen, und es war leicht zu erkennen, daß bei weitem der größte Teil von dem, was man von ihm gehört hatte, auf Rechnung der Leichtgläubigkeit der großen Massen zu setzen sei. Statt der erwarteten Berge von Aluminium fand man nur zwölf kleine Barren, die vielleicht im ganzen 1 kg wogen, wenig genug für eine Entdeckung, welche die Welt aus den Angeln zu heben bestimmt schien.“ Der Herstellungspreis für 1 kg belief sich auf etwa 2400 Mark³¹⁾.

Im Jahre 1856 gründete Deville³²⁾, unterstützt durch seine Schüler Morin und Debray, in der Fabrik der Gebr. Rousseau in La Glacière die erste Aluminiumfabrik der Welt. Wegen Belästigung der Nachbarschaft durch Dämpfe mußte diese inmitten von Häusern und Gärten gelegene Fabrik bald ihre Fabrikation einstellen und wurde nach Nanterre bei Paris verlegt.

Das Fabrikationsverfahren war gegeben durch Wöhlers Methode: Reduktion von Aluminiumchlorid durch Alkalimetalle. Da, wie aus nachstehenden Gleichungen hervorgeht, für die Gewinnung von 27 g Aluminium 117 g Kalium, dagegen nur 69 g Natrium erforderlich sind, verwandte Deville von vornherein das Natrium. Ferner ist ersichtlich, daß der Preis des gewonnenen Aluminiums im wesent-

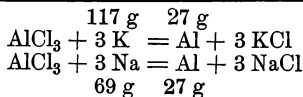
1867): „Der Verkehr mit meinen alten Freunden in der Akademie war mir sehr erfreulich; unter ihnen steht Deville durch seine Liebenswürdigkeit und sein offenes, ehrliches Wesen oben an.“

29) Ann. d. Chem. u. Pharm. **17**, 365 (1855).

30) Briefwechsel Liebig-Wöhler, II, 26 (23. VII. 1855).

31) Dumas, Compt. rend. **40**, 1296 (1855).

32) Berichte Devilles über seine Versuche und Fabrikationsverfahren: Compt. rend. **39**, 321 (1854), **41**, 1053 (1855), Annales de Chimie et de Physique [3] **43**, 5—33 (1855), **46**, 415—458 (1856). „De l'aluminium, ses propriétés, sa fabrication et ses applications“ (Mallet-Bachelier, Paris 1859), 176 S. — Ferner: Ed. Uhlenhuth, Die Darstellung des Aluminiums, Kaliums, Natriums, Magnesiums, Bariums, Strontiums und Calciums und der Metalloide Bor und Silicium (G. Basse, Quedlinburg 1858), 66 S. u. 21 Abb.



lichen abhängig ist von dem Preise des Natriums. Dieses war noch kostbarer als Kalium und kostete 1852 pro kg 1600 Mark. Sollte an eine industrielle Erzeugung von Aluminium gedacht werden, so mußte zunächst der Preis des Natriums wesentlich verbilligt werden. Diese Aufgabe wurde von Deville sofort in Angriff genommen und mit zäher Energie verfolgt. So gelang es ihm, in kurzer Zeit das Kilo Natrium für 8 Mark ($\frac{1}{200}$ des ursprünglichen Preises!) und später für 6 Mark darzustellen. Damit konnte technisch gearbeitet werden. So konnte Dumas im Oktober 1856 der Akademie der Wissenschaften in Paris einige Kilogramm Aluminium vorlegen, dessen Kilopreis 300 Mark betrug³³⁾. Im folgenden Jahre konnte das Kilo bereits für 240 Mark erhalten werden. Im Verlauf von drei Jahren war der Preis also auf den zehnten Teil ermäßigt worden. Damit war zunächst aber ein gewisser Abschluß erreicht. Im Jahre 1859 wurden von Deville 1680 kg Aluminium erzeugt. 1861 erfolgte die Verlegung der Fabrikation nach Salindres bei Alais (Gard.). Anstatt des hygroskopischen und leichtflüchtigen Aluminiumchlorids wurde dessen Doppelsalz mit Natriumchlorid $[\text{AlCl}_2]\text{Na}_2$ verwendet. Als Ausgangsmaterial diente der natürliche Bauxit³⁴⁾, dessen Vorkommen in der Nähe von Beaumont (Südfrankreich) im Jahre 1821 von Berthier entdeckt worden war. Als Flußmittel wurde zudem Kryolith $[\text{AlF}_6]\text{Na}_3$ zugesetzt. So konnte eine weitere Preissenkung auf 140 Mark für das Kilogramm Aluminium erreicht werden (1865).

In den Jahren 1859 und 1860 wurde erstmals der Versuch unternommen, außerhalb Frankreichs die Aluminiumgewinnung einzuführen; zwei englische Firmen unternahmen den Versuch, jedoch ohne besonderen Erfolg, sodaß die Betriebe 1874 wieder geschlossen wurden.

Damit kehrte das Monopol der Aluminiumfabrikation wieder nach Frankreich zurück. Lange Zeit blieb die Fabrik in Salindres die einzige bedeutende Produktionsstätte der Welt für Aluminium. Anlässlich der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 gibt A. Wurtz³⁵⁾ eine Beschreibung des dortigen Fabrikationsverfahrens. Wir entnehmen dieser, daß im Jahre 1872 in der Fabrik zu Salindres 1800 kg Aluminium dargestellt wurden. Auf 100 kg Natrium-Aluminiumchlorid und 40 kg Kryolith als Flußmittel wurden 35 kg Natrium verwendet. Die Kosten für 1 kg stellten sich für Natrium-Aluminiumchlorid auf 2,48 Frs., für Natrium auf 11,32 Frs. und für Aluminium auf 69,25 Frs., einschließlich der Unterhaltungskosten, die beim Natrium mit 48,3% der Gesamtunkosten sehr ins Gewicht fallen. Für allgemeine Unkosten erhöhten sich die Preise jeweils um 10%, sodaß sich der Preis des Kilogramms Aluminium auf ungefähr 80 Frs. stellte. Verkauft wurde Aluminium zum Kilopreis von 100 Frs.

33) Ann. d. Chem. u. Pharm. **100**, 347 (1856).

34) Compt. rend. **60**, 1330 (1865).

35) A. W. Hofmann, Bericht über die Entwicklung der chemischen Industrie während des letzten Jahrzehends, I, 657—659 (Friedr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1875).

Im Jahre 1881 starb Deville. Bis dahin hatte Frankreich etwa 27 000 kg Aluminium erzeugt, und der Preis des Metalles war auf etwa den 30. Teil des ursprünglichen gesunken. Im folgenden Jahre (1882) starb auch Wöhler. Damit waren die beiden Pioniere der Aluminiumgewinnung von der Weltbühne abgetreten!

Vom Jahre 1882 ab entstehen nun auch in anderen Ländern Aluminiumfabriken, die mit Verbesserungen der chemischen Reduktionsmethode hervortreten. Zunächst in England (1882), dann in Amerika (1883) und in Deutschland (1885). In den Jahren 1885—1888 wurde in Deutschland etwa die Hälfte der Weltproduktion erzeugt. Im Jahre 1887 nahm die englische „Aluminium Crown Company“ einen besonderen Aufschwung, indem nach dem Verfahren von Castner und Netto (1886) der Gestehungspreis des Natriums auf 1,60 Mark pro Kilo herabgesetzt werden konnte. Dementsprechend fiel der Aluminiumpreis 1888 auf etwa 48 und 1889 auf 38 Mark. Das Verfahren konnte sich aber in der Folgezeit nicht mehr auswirken. Der erste Abschnitt der technischen Aluminiumgewinnung ging seinem Ende zu. Durch zielbewußte Verbesserung der ursprünglichen Wöhlerschen Methode war der Preis des Aluminiums in 35 Jahren (1854—1889) von 2400 auf 38 Mark, d. h. auf den 60. Teil, gesunken. Die Gesamt-erzeugung während dieser Periode betrug etwa 200 000 kg.

Die großen Erwartungen, mit denen das Aluminium bei seinem Erscheinen begrüßt wurde, hatten sich aber im Verlaufe dieser Zeit nicht erfüllt³⁶⁾. Die Anwendung des Metalles war in starkem Abnehmen begriffen, was besonders auf den Pariser und Wiener Weltausstellungen (1868 und 1873) im Vergleich mit der Londoner Weltausstellung von 1862 zum Ausdruck kam. Diente das Aluminium anfangs vor allem zu Schmucksachen und Luxusartikeln³⁷⁾, so waren Bijouterien aus Aluminium in den siebziger Jahren kaum mehr zu sehen. Eine kunstvoll ziselierte Kinderklapper für den 1856 geborenen Sohn Lullu des Kaisers Napoleon war das erste Stück dieser Art. Wegen seiner Leichtigkeit diente das Metall für Operngläser, optische und physikalische Instrumente. Das große Interesse von Napoleon III. für das Aluminium führte dazu, daß militärische Ausrüstungsgegenstände daraus angefertigt wurden (Säbelscheiden, Degengriffe); die Adler der französischen Fahnen waren um mehr als 2 kg leichter geworden, seit sie aus Aluminium gefertigt wurden. Wöhler³⁸⁾ berichtet an Liebig am 7. April 1873: „Auf meine Anfrage schreibt mir Lepsius, daß die Adler auf den eroberten französischen Fahnen wirklich aus vergoldetem Aluminium bestehen — ein Metall, das 1827 zuerst in Berlin dargestellt worden ist. Sic eunt fata.“ Während das Interesse an reinem Aluminium stark nachgelassen hatte, erfreuten sich dagegen die Legierungen des Aluminiums, besonders die Aluminiumbronze, wegen ihrer ausgezeichneten Eigenschaften gesteigerter Nachfrage.

36) A. W. Hofmann, Bericht über die Entwicklung der chemischen Industrie während des letzten Jahrzehnds (1875) I, 608 (R. Biedermann).

37) 1861 wurde auch eine Thénard-Medaille in Aluminium gegossen, Briefwechsel Liebig-Wöhler, II, 107; vgl. auch Compt. rend. 40, 838 (1855).

38) Briefwechsel Liebig-Wöhler, II, 362 (7. IV. 1873). Es sind dies die letzten Worte, die Wöhler seinem Freunde Liebig (gest. 18. IV. 1873) schrieb.

Elektrochemische Methode der Aluminiumgewinnung.

Seit den erfolgreichen Laboratoriumsversuchen von Bunsen und Deville im Jahre 1854, das Aluminium durch Schmelzflußelektrolyse von Natrium-Aluminiumchlorid zu gewinnen, denen 1856 die Darstellung des Metalles durch Elektrolyse geschmolzenen Kryoliths folgte, wurde die elektrochemische Methode der Aluminiumgewinnung nicht mehr aus den Augen verloren. Aber alle in der Folgezeit angemeldeten Patente blieben praktisch unbrauchbar, da der Strom galvanischer Batterien, der einzig verfügbaren Quelle elektrischer Energie, für technische Zwecke viel zu teuer war. Die Sachlage änderte sich, als im Jahre 1867 durch Werner von Siemens³⁹⁾ die Gleichstromdynamomaschine erfunden wurde. Aber erst das Jahr 1887 brachte die Einführung der elektrochemischen Methode in die Technik. Bei der Aktualität des Problems ist es nicht verwunderlich, daß die Durchführung fast gleichzeitig und unabhängig von verschiedener Seite erfolgte. In Europa ging der Anstoß wieder von Frankreich aus, von dem 23jährigen Ingenieur Paul Toussaint Héroult⁴⁰⁾; in Amerika von dem gleichaltrigen Metallurgen Charles M. Hall⁴¹⁾. Wenige Jahre nach Einführung des elektrolytischen Prozesses war die chemische Reduktionsmethode vollkommen verdrängt; 1888 verschwand die bedeutende deutsche Aluminiumerzeugung, 1893 wurde das Verfahren der Aluminium Crown Company eingestellt.

Héroult schützte sich in mehreren Patenten (1886/87) ein „Verfahren der Herstellung von Aluminiumlegierungen durch die erhitze und elektrolytische Wirkung eines elektrischen Stromes auf das Oxyd des Aluminiums und das Metall, mit welchem Aluminium legiert werden soll“. Neu an dem Verfahren ist die Verwendung von Aluminiumoxyd als Elektrolyt und dessen Einschmelzung unmittelbar durch den elektrischen Strom ohne Außenheizung. Der Héroult'sche Ofen war dem elektrischen Schmelzofen von W. v. Siemens (1880) nachgebildet. Zu Anfang der Operation wird Kupfer in den Ofen gebracht, dieses im elektrischen Lichtbogen eingeschmolzen und darauf zu dem als Kathode dienenden geschmolzenen Kupfer Aluminiumoxyd zugesetzt; als Anode wird Kohle verwendet. An eine Reindarstellung von Aluminium wurde zunächst nicht gedacht. Héroult wurde unmittelbar nach Bekanntwerden seiner Patente von der Schweizerischen Metallurgischen Gesellschaft engagiert, die vom 30. Juli 1888 an in Lauffen bei Schaffhausen am Rheinflall nach seinem Verfahren Aluminiumbronze herstellte. Bereits nach einem Jahr wurde die Fabrikation jedoch wieder eingestellt, da kein gleichmäßig zusammengesetztes Produkt erzielt werden konnte. Aluminium selbst ließ sich nicht gewinnen, was erklärlich ist, da der Schmelzpunkt des Aluminiumoxyds (2080°) über dem Siedepunkt des Metalls (etwa 1800°) liegt. Die Darstellung von Aluminium wurde erst möglich durch das Eingreifen von Martin Kiliani⁴²⁾, dem im Laborato-

39) 1816—1892.

40) Geb. 10. IV. 1863 in Thury-Harcourt (Normandie), gest. 9. V. 1914.

41) Geb. 6. I. 1863 in Ohio (U. S. A.), gest. 27. XII. 1914.

42) Geb. 22. IV. 1858 in Würzburg, gest. 21. I. 1895. Über sein Leben vgl. den Nachruf von F. Regelsberger, Z. f. Elektrochemie 1, 525 (1895).

rium der Deutschen Edison-Gesellschaft in Berlin, der späteren A.E.G., die elektrolytische Abscheidung des Aluminiums aus einer Lösung des Oxyds in geschmolzenem Kryolith (Schmelzpunkt 930°) gelungen war. Emil Rathenau, auf dessen Veranlassung die Versuche Kilianis ausgeführt worden waren, gründete mit den die Schweizerische Metallurgische Gesellschaft bildenden Schweizer Industriellen Ende 1888 die Aluminium-Industrie A.-G. Neuhausen. Die Einrichtung der Aluminiumfabrikation übernahm Kiliani. Héroult schied nach Abtretung seiner Patentrechte an die neue Gesellschaft aus und richtete das Kilianische Verfahren zunächst bei der Société Electrométallurgique Française in Froges (Savoyen) ein. Kiliani arbeitete von Anfang an mit einer feuerflüssigen Lösung von Aluminiumoxyd in Kryolith und führte die Elektrolyse in dem Héroultschen Ofen durch; als wesentlich erkannte er eine möglichst niedrige Temperaturhaltung während der Elektrolyse. 1890 konnte die Gesellschaft bereits 40,5 t Aluminium herausbringen; die Produktion stieg in den nächsten Jahren schnell — 1891 : 168,7 t; 1892 : 237,4 t; 1893 : 437,5 t; 1894 : 600 t — und erreichte im Todesjahre Kilianis (1895) 650 t. Dementsprechend fiel der Preis des Aluminiums rapid, von 38 M. pro Kilo im Jahre 1889, auf 27,60 M. im Juli, 15,20 M. im September 1890, 12 M. im Februar, 8 M. im Juli und 5 M. im November 1891. 1895 betrug der Preis 3 M., war also in den sechs Jahren seit Beginn der elektrolytischen Reduktion auf $\frac{1}{13}$ des Endpreises der vorangehenden Periode gefallen und damit nicht weit von dem heutigen Aluminiumpreise entfernt!

In Amerika ging die Entwicklung einen anderen Weg. Wenige Wochen vor Héroult meldete Hall (1886) in den Vereinigten Staaten ein Verfahren an, Aluminium durch Schmelzflußelektrolyse einer Lösung des Oxyds in Kryolith und Aluminiumfluorid zu gewinnen; im Gegensatz zu dem Verfahren Héroults sollte die Schmelzung aber durch Außenheizung erfolgen. Deshalb führten die praktischen Versuche, die 1887/88 in der Aluminiumfabrik der Gebr. Cowles in Lockport unternommen wurden, zu keinem Erfolg. Trotzdem gründete Hall mit amerikanischen Kapitalisten (1 Million Aktienkapital) die Pittsburgh Reduction Company in Kensington bei Pittsburg (Pennsylvanien) oder, wie sie heute genannt wird, die Aluminium Company of America. In diesem Werk wurde die Schmelze sofort durch den elektrischen Strom selbst nach dem Héroultschen Prinzip erzeugt. Es wäre für die Geschichte der Aluminiumindustrie interessant, zu ermitteln, ob ein Erfahrungsaustausch beider Erfinder stattgefunden hat, wofür spricht, daß Héroult im Jahre 1888 in Amerika war, und zwischen den Firmen der beiden Erfinder niemals Patentprozesse angestrengt wurden.

Die Geschichte der Aluminiumindustrie weist eine eigenartige Erfindertragik auf! Bereits 3 Jahre vor Hall und Héroult hatte in den Vereinigten Staaten Chr. S. Bradley (1883) ein Patent angemeldet, das ein Schmelzen des Aluminiumoxyds durch den Strom selbst vorsieht und zudem einen Ofen aus Fremdmaterial vermeidet, indem die Elektrolyse in einem ausgehöhlten Haufen des Erzes selbst vorgenommen wird. Also dasselbe Schmelzprinzip wie bei Héroult, aber wie bei diesem sind keine Lösungsmittel für das Aluminiumoxyd vorgesehen. Unerklärlicherweise wurde dieses Patent erst 1891 erteilt, acht Jahre nach seiner Anmeldung, sodaß Héroult, der sein Patent 5 Jahre früher erhielt, den geschichtlichen Ruhm und

den Gewinn davontrug. Bradley trat seine Patentrechte an die Electric Smelting & Aluminium Company, die aus der Fabrik der Gebr. Cowles hervorgegangen war, ab. Die Folge war ein 13jähriger heftiger Patentprozeß zwischen dieser Gesellschaft und der Aluminum Company of America, die, da sie nach demselben Schmelzprinzip arbeitete, die Patentansprüche Bradleys verletzte. Der Prozeß endete mit einem Vergleich, indem die Aluminium Company der Electric Smelting & Aluminium Company einen Schadenersatz leistete, aber zugleich das Recht der Weiterbenutzung des Verfahrens bis zum Jahre 1909, mit dem der Patentanspruch Bradleys erlosch, erwirkte. Da die Patente Halls bereits 1906 abließen, sicherte sie sich dadurch eine weitere Vorrangstellung um 3 Jahre.

Hiermit beschließen wir unsere Wanderung durch die Periode der elektrochemischen Aluminiumgewinnung. Durch die Erfindungen von Bradley, Héroult, Hall, Kiliāni, denen sich noch A. Minet zugesellt, wurde die moderne Aluminiumindustrie begründet. Bis heute ist das Verfahren im Prinzip dasselbe geblieben. Da Kiliāni zuerst den praktischen Weg zur elektrolytischen Gewinnung von Reinaluminium gezeigt und als erster in größerem Maßstab Aluminium hergestellt hat, so ist er in erster Linie als der Begründer der modernen Aluminiumindustrie zu bezeichnen⁴³⁾.

Im Jahre 1908 betrug die Weltproduktion an Aluminium 18 600 t im Werte von 33 Millionen Mark. Der Kilopreis stellte sich auf 1,75 M. An der Spitze der Erzeugung standen die Vereinigten Staaten, danach folgten Frankreich, die Schweiz, England und Italien. Deutschland besaß — abgesehen von der Beteiligung an Neuhausen — keine heimische Aluminiumindustrie. Diese beispiellose Entwicklung war dem Erfindungsgeist und der Initiative nur weniger Männer zu verdanken!

Entwicklung der Aluminiumindustrie zur Weltindustrie.

Nach dem Ablauf der Bradley-Patente setzte vom Jahre 1909 an eine beispiellose Entwicklung der Aluminiumgewinnung zur Weltindustrie ein. In dieser Periode befinden wir uns heute noch. Charakterisiert wird diese Entwicklungsphase durch den Erwerb und Ausbau von Wasserkraften, die Erschließung von Bauxitlagern und die Errichtung von Aluminiumproduktionsstätten in den verschiedensten Ländern, und bezeichnend für diese Periode ist, daß das nationale Kapital nach Neugründungen außerhalb der politischen Landesgrenzen drängt. Das ist die Entwicklung der Aluminiumindustrie zur Weltindustrie! So stieg die Weltproduktion, die 1908 18 600 t betragen hatte, bereits 1909 auf 31 200 t und hatte sich im Jahre 1913, im Verlauf von 5 Jahren, mit 63 200 t mehr als verdreifacht. Einen stürmischen Anstieg der Produktion brachte der Weltkrieg; das Maximum wurde im Jahre 1918 mit 134 900 t, der mehr als siebenfachen Produktion von 1908, erreicht. Die Kriegsfolgejahre brachten zunächst einen schroffen Abfall; die Produktion fiel 1921 auf fast die Hälfte. Heute ist die Depression überwunden und die Maximalerzeugung der Kriegsjahre bereits überholt. Im Jahre 1926 wurden 200 000 t Aluminium gewonnen.

Der Weltkrieg brachte auch Deutschland die heimische Aluminiumindustrie!

43) Vgl. dazu F. Regelsberger, Zur Geschichte der Aluminiumherstellung, Z. f. angewandte Chemie 38, 367 (1925).

Die deutsche Aluminiumindustrie⁴⁴⁾.

Vor dem Weltkriege besaß Deutschland bereits eine bedeutende Industrie zur Gewinnung reiner Tonerde aus eingeführtem Bauxit, sowie eine weitverzweigte Industrie zur Herstellung von Aluminiumfertigfabrikaten. Das Metall selbst wurde nur in einer kleinen, der Aluminium-Industrie A.-G. Neuhausen (Schweiz) gehörigen Fabrik in Rheinfelden mit einem Jahreserzeugnis von etwa 800 t gewonnen. Als im Mai 1915 auf Veranlassung von Walther Rathenau eine Bestandsaufnahme der Metallreserven erfolgte, ergab sich ein Vorrat von nur etwa 4000 t Aluminium. Im Juni 1915 wurden daher von der Kriegsmetall-Aktiengesellschaft die Metallbank u. Metallurgische Gesellschaft und die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron beauftragt, mit größter Beschleunigung drei Werke für eine Jahreserzeugung von insgesamt 6000 t zu errichten. Die Anlagen wurden in Rummelsburg bei Berlin, in Horrem bei Köln und in Bitterfeld errichtet. Das erste Werk kam bereits im Dezember 1915 in Betrieb, das zweite folgte im Januar 1916, Bitterfeld im April 1916. Die Werke Rummelsburg und Horrem erhielten die elektrische Energie aus bereits bestehenden Kraftwerken, das Werk Bitterfeld wurde an das kürzlich erbaute Kraftwerk der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron angeschlossen. Der Bauxit wurde aus den ungarischen Komitaten Bihar und Klausenberg, sowie aus dem Jadtal, ferner aus Dalmatien und Istrien bezogen. Aber die von diesen Werken erzeugte Aluminiummenge genügte dem rapid zunehmenden Metallbedarf des Krieges nicht, sodaß weitere Großanlagen erforderlich wurden. Als erstes kam im September 1917 das Erftwerk bei Grevenbroich am Niederrhein in Betrieb, das für eine Jahreserzeugung von 12 000 t eingerichtet war. Dieses Werk erhielt zugleich eine Anlage zur Herstellung von Kohlelektroden. Den Strom lieferten die Braunkohlenkraftwerke des Kölner Beckens, nötigenfalls konnte auch das mit Steinkohlen arbeitende Kraftwerk Reisholz bei Düsseldorf zur Stromversorgung herangezogen werden. Im April 1917 wurde mit dem Bau des Lautawerkes bei Hoyerswerda in der Lausitz begonnen, mit 8000 Arbeitern, deren Zahl bald auf 12 000 stieg. Dieses Werk mit einer Leistungsfähigkeit von 10 000 t Aluminium, das mit einer Großanlage zur Herstellung von Tonerde und einem eigenen Kraftwerk auf Braunkohlenbasis ausgerüstet wurde, konnte im Herbst 1918 in Betrieb genommen werden. Während des Krieges wurden in Deutschland an Aluminium erzeugt (in Tonnen):

	1915	1916	1917	1918
Rummelsburg	29	1 710	3 737	3 214
Horrem	—	1 824	2 940	2 484
Bitterfeld	—	1 501	3 588	3 754
Erftwerk	—	—	10	3 450
Lautawerk	—	—	—	201
Insgesamt	29	5 035	10 275	13 103

Das Lautawerk war erst kurze Zeit in Betrieb, als der Krieg seinen unglücklichen Abschluß fand und die junge deutsche Aluminiumindustrie vor vollkommen veränderte Verhältnisse stellte. Die

44) Vgl. H. Specketer, Z. f. angewandte Chemie 37, 447 (1924), sowie Metallwirtschaft 6, 503 (1927).

beiden Werke in Rummelsburg und Horrem mußten ihren Strom den früheren Verbrauchern abgeben; sie wurden geschlossen, zumal sie ja reine Kriegsgründungen waren (vgl. die kurze Bauzeit!), und abgerissen. Von den älteren Werken blieb allein das Bitterfelder erhalten. Das Erft- und Lautawerk wurden vereinigt zu der Vereinigte Aluminiumwerke A.-G., die heute eine reine Reichsgesellschaft ist, nachdem 1919 die Gründerfirmen ausschieden. Im Januar 1925 wurde ein neues Aluminiumwerk, das Innwerk, das nach dem Kriege im Anschluß an die Wasserkraftgroßanlage des Innwerkes in Töging (Oberbayern) erbaut wurde, in Betrieb genommen. Dieses Werk, für eine Jahresleistung von 16 000 t eingerichtet, gehört ebenfalls zu der Vereinigte Aluminiumwerke A.-G. Es bestehen also heute in Deutschland vier Aluminiumwerke, von denen drei — das Innwerk, das Lautawerk und das Erftwerk — der Vereinigte Aluminiumwerke A.-G. gehören, während nur das Aluminiumwerk G. m. b. H. Bitterfeld eine Privatgesellschaft ist. Die jährliche Leistungsfähigkeit dieser Werke beträgt 36 500 t Aluminium; hierfür stehen insgesamt 92 000 Kilowatt zur Verfügung.

Im Jahre 1926 erzeugte Deutschland rund 33 000 t Aluminium, das sind über 90% der Maximalleistung. Mit dieser Erzeugung nimmt Deutschland heute den zweiten Platz unter den Produzenten der gesamten Welt ein und den ersten in Europa. Frankreich, das Jahrzehnte hindurch an erster Stelle stand, ist 1926 an die vierte Stelle gerückt, hinter Amerika (U. S. A), Deutschland und Norwegen, und wird mit seiner Produktion von der Schweiz und Kanada nahezu erreicht.

Verwendung des Aluminiums.

Fragen wir uns, wozu diese große Menge Aluminium verbraucht wird, so müssen wir uns hier auf einige kurze Andeutungen beschränken⁴⁵⁾. Hoffte man anfangs, das Aluminium als Ersatz von Edelmetallen, vor allem von Silber, einführen zu können, so dient heute die Hauptmenge industriellen Zwecken. Der größte Teil geht in die Walz- und Drahtziehwerke oder dient metallurgischen Zwecken. Wir machen heute vom Aluminium nutzbar: 1. Unedele Eigenschaften, seine bereits von Wöhler erkannte Affinität zu Sauerstoff, 2. seine elektrische Leitfähigkeit und seine Wärmeleitfähigkeit, 3. gewisse mechanische Eigenschaften, 4. seine Korrosionsfestigkeit gegen die Atmosphärien und besonders organische Stoffe, 5. seine Leichtigkeit.

1. Wegen seiner Affinität findet Aluminiumpulver Verwendung bei Explosivstoffen und in der Feuerwerkerei. In besonders großem Maßstabe dient es der Metallurgie zur Reinigung der Metallgüsse von gelösten Oxyden. Hierher gehört auch die von Hans Goldschmidt 1894 eingeführte Aluminothermie⁴⁶⁾, in der wir nach Wilhelm Ostwald⁴⁷⁾ „einen Hochofen und ein Schmiedefeuer in der

45) Ausführliche Angaben: R. Debar, Die Aluminium-Industrie, Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1925. — Zeitschrift f. Metallkunde 19, Heft 1 (1927).

46) Karl Goldschmidt, Aluminothermie, S. Hirzel-Leipzig 1925.

47) Z. f. angewandte Chemie 15, 699 (1902).

Westentasche“ besitzen. Die Thermitreaktion ermöglicht sowohl die Gewinnung von Metallen, die nach den üblichen metallurgischen Verfahren nicht frei von Kohlenstoff erhalten werden können, wie die Schweißung hochschmelzender Metalle (Schienenschweißung). Ein Nebenprodukt ist der künstliche Korund.

2. Die elektrische Leitfähigkeit des Aluminiums beträgt 60% der des Kupfers. Bei gleicher Leitfähigkeit beläuft sich das Gewicht einer Aluminiumleitung auf 50% der einer Kupferleitung. Deshalb dienen Aluminiumkabel, die zudem wetterbeständiger sind als Kupferleitungen, zur Fernübertragung hochgespannter elektrischer Energie.

Die Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums ist halb so groß wie die des Kupfers und doppelt so groß wie die von Schmiedeeisen. Die spezifische Wärme ist sehr hoch anderen Gebrauchsmetallen gegenüber, sie übertrifft die des Eisens um das Doppelte, die des Kupfers oder Zinks um etwa das Dreifache. Daher erfordert Aluminium wohl mehr Wärmezufuhr, bleibt aber entsprechend länger heiß. Auf Grund dieser Eigenschaften verwendet man Aluminium zu industriellen und häuslichen Heizvorrichtungen mannigfaltigster Art, wozu bei Kochgeräten seine völlige Ungiftigkeit hinzu kommt.

3. Aluminium besitzt eine große Dehnbarkeit, ist zu feinstem Draht ausziehbar, läßt sich zu dünnsten Blechen hämmern oder walzen. In dieser Eigenschaft steht es unmittelbar hinter Gold⁴⁸). Daher haben Aluminiumfolien in der Verpackungsindustrie Zinnfolien vollkommen verdrängt. Auch für Tuben wird es wegen seiner Dehnbarkeit und seiner Ungiftigkeit verwendet.

4. Die Beständigkeit gegenüber der Atmosphäre verleiht Aluminiumgegenständen ein bleibendes schönes Aussehen. Die Festigkeit gegenüber organischen Stoffen macht das Aluminium geeignet für Apparate für die chemische Großindustrie. Das Gärungsgewerbe, besonders die Bierbrauereien, verwenden z. T. ungeheure Behälter aus Reinaluminium.

5. Die Dichte des gegossenen Aluminiums beträgt 2,64, die des gewalzten 2,68 und die des gezogenen 2,70. Wegen dieser Leichtigkeit anderen Gebrauchsmetallen gegenüber findet Aluminium ein ausgedehntes Anwendungsgebiet für militärische Ausrüstungsgegenstände, Haushalts- und Wirtschaftsgegenstände, Bestecke, photographische Apparate, optische Instrumente und vieles andere.

Ein großes Gebiet, dessen Entwicklungsfähigkeit noch nicht abzusehen ist, wurde dem Aluminium erschlossen durch gewisse Legierungen, die eine Festigkeit und Dehnung wie weicher Stahl besitzen. Diese Legierungen, deren älteste das von Alfred Wilm 1909 entdeckte Duralumin ist, lassen sich gießen, walzen, pressen, ziehen, schmieden, schweißen, löten und nieten. Durch bestimmte Verfahren lassen sich die Eigenschaften beliebig variieren. Wegen dieser Eigenschaften eignen sich diese Legierungen als Konstruktionsmaterial vor allem dort, wo das Gewicht des Materials eine Rolle spielt. Nachstehend sind die wichtigsten dieser Legierungen mit ihren spezifischen Gewichten zusammengestellt.

48) Wöhler, Ann. d. Chem. u. Pharm. 113, 249 (1860).

Aluminium	2,64—2,70
Duralumin	2,8
Silumin	2,9 —2,95
Lautal	2,75
Skleron	2,95—3,0
Aeron	2,8
Constructal	2,76—2,86
Elektron	1,8 —1,83
Magnesium	1,75

96 Zeppeline wurden aus Duralumin erbaut. Die Metallflugzeuge bestehen aus Aluminiumlegierungen, neuerdings fertigt man auch die Propeller aus diesem Material. Ohne Uebertreibung kann man behaupten, daß ohne die Aluminiumlegierungen der Luftverkehr niemals den heutigen Umfang erreicht hätte.

Im Schiffbau verwendet man die Legierungen für Auf- und Einbauten; Rennboote werden aus ihnen angefertigt. Die Rotoren des Rotorschiffes „Barbara“ wurden aus Lautal gebaut (17 m hoch, 5 m Durchmesser!).

Die Automobilindustrie ist ein bedeutender Abnehmer von Aluminiumlegierungen (Karosserie, Brennstofftanks, Räder, Felgen, Bremsen, Naben, Kolben, Pleuelstangen u. a.). Für den Rahmen von Motorrädern und Rennrädern werden Aluminiumlegierungen verwandt.

Bei Eisenbahnwaggons verwendet man Leichtmetalllegierungen zur Verkleidung, für die Dächer, zur Innenausstattung; neuerdings hat man Versuche unternommen, auch das Baugerippe aus diesem Material zu verfertigen (Berliner Stadt- und Untergrundbahn).

Durch Verwendung von Leichtmetalllegierungen erzielt man bei Verkehrsfahrzeugen 1. eine erhöhte Anfahrbeschleunigung, 2. eine Verkürzung des Bremsweges, 3. eine erhöhte Verkehrsgeschwindigkeit und 4. einen geringeren Kraftverbrauch.

Auch für Hochbauten (Funkurm Königswusterhausen) und im Brückenbau finden Aluminiumlegierungen als Konstruktionsmaterial Verwendung.

Rückblick und Ausblick.

Schauen wir nochmals zurück, so können wir uns die Entwicklung der Aluminiumindustrie während der 73 Jahre ihres Bestehens am besten vor Augen führen durch Betrachtung folgender Daten:

	Kilopreis	Welterzeugung
1854 Deville	2 400.— M.	ca. 1 kg
1889 Ende der chemischen Periode . .	38.— „	71 000 „
1895 6 Jahre elektrischer Gewinnung .	3.— „	1 427 000 „
1908 Ablauf der Patente	1.75 „	18 600 000 „
1911 Tiefster Preisstand	1.20 „	46 700 000 „
1913 Letztes Vorkriegsjahr	1.50 „	63 200 000 „
1918 Höchstserzeugung der Kriegsjahre .	2.35 „	134 900 000 „
1921 Krisenjahr	1.70 „	74 900 000 „
1926	2.37 „	200 000 000 „

Blicken wir in die Zukunft und fragen wir uns: Was wird das zweite Jahrhundert bringen?, so sieht es zunächst so aus, als wäre das Aluminium das Metall der Zukunft, als gingen wir allgemein einem Leichtmetall-Zeitalter entgegen. Heute wird bereits dem Gewicht nach mehr Aluminium gewonnen als Zinn; unter den Gebrauchsmetallen steht Aluminium an fünfter Stelle nach Eisen, Blei, Kupfer und Zink. Es sind Werke im Bau, die in fünf Jahren eine Produktionssteigerung um etwa 50% erwarten lassen. Aber das Aluminium muß sich als jüngstes Gebrauchsmetall seine Anwendungsgebiete systematisch erobern. Hierzu müssen Forschung und Praxis Hand in Hand arbeiten⁴⁹⁾, wie es s. Zt. bei der Entwicklung der Industrie der synthetischen Farbstoffe der Fall war. In Erkenntnis dieser Tatsachen haben sich 1926 alle Aluminiumproduzenten Europas zu einem Kartell zusammengeschlossen⁵⁰⁾.

Um Eisen, Kupfer oder Zink aus ihrer Vormachtstellung zu verdrängen, ist Aluminium heute noch zu teuer. Wenn sein Kilopreis unter 1 Mark herabgesetzt werden könnte, dann wäre Aluminium das Metall unserer Zeit. Daran ist aber nicht zu denken, denn der hohe Gestehungspreis ist durch das teure Gewinnungsverfahren bedingt, das bei dem niedrigen elektrochemischen Äquivalent des Aluminiums ungünstig sein muß. Daher ist die Frage nicht unberechtigt, ob das heutige Gewinnungsverfahren die letzte technische Lösung ist, oder ob die Periode der elektrochemischen Gewinnung des Aluminiums eines Tages durch eine Periode hüttentechnischer Reduktion abgelöst wird, wofür bereits Anzeichen vorhanden sind.

Im Jahre 1864 schrieb H. Ste.-Claire Deville: „Es ist dem Aluminium in der Technik ein Platz angewiesen, der eine Folge ist seines Klanges⁵¹⁾, seiner Hämmerbarkeit, seiner Geschmeidigkeit und seines geringen spezifischen Gewichtes. Ich wäre vollkommen befriedigt, wenn es von der Industrie als solch ein Aushilfsmetall akzeptiert würde. Geschähe es jedoch eines Tages, daß man Mittel und Wege fände, es mit geringen Kosten aus seinem Erz, der Tonerde, dem quantitativ verbreitetsten Bestandteil der Erdkrinde, abzuscheiden, so würde es das gemeinste aller Metalle werden. Dann wären meine Hoffnungen überflügelt, und ich würde mich glücklich preisen, das Hauptverdienst dem zuzuschreiben, der das erste Aluminiumkügelchen darstellte, dem illustren Göttinger Chemiker Wöhler.“

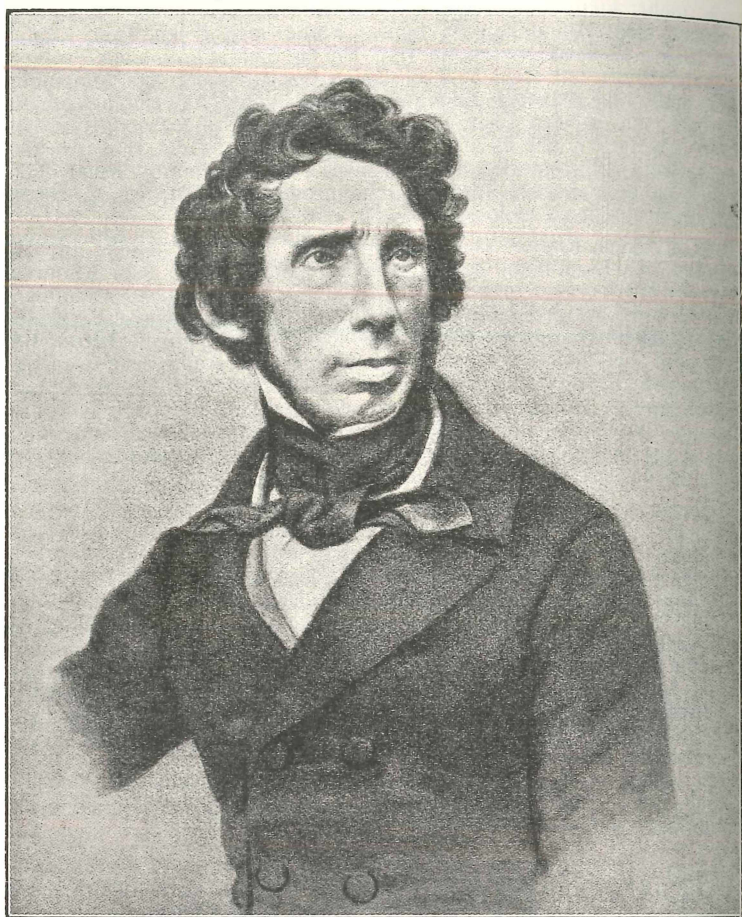
Mit diesen Worten beschließen wir unsere Betrachtungen zur Feier der 100jährigen Entdeckung des Aluminiums durch

FRIEDRICH WÖHLER.

49) Vgl. A. Petersen, Die moderne Forschung auf dem Gebiete der Nichteisenmetalle, insbesondere der Leichtmetalle, Naturwissenschaften 14, 1049 (1926).

50) Vgl. die Ausführungen von Dr. Ing. von der Porten, Metallwirtschaft 5, 673 (1926).

51) Es wurden Stimmgabeln aus Aluminium angefertigt; Deville hatte versucht, Aluminium als Glockenmetall einzuführen, was sich aber wegen des schrillen Tones nicht bewährte.



Friedrich Wöhler.

Sitzung am 27. Februar 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr König als Gast:
Führung durch die Sternwarte mit einleitendem Vortrag.

Sitzung am 1. Juni 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens.

1. Herr Dahm:

Chemismus der Pflanzenatmung¹⁾.

Wenn man im täglichem Leben von Atmung spricht, so meint man in der Regel damit das Ein- und Ausatmen, wie wir es ja bei uns selbst jederzeit beobachten können. Dieser Vorgang des Ein- und Ausatmens ist aber nur das Anfangs- bzw. Endglied einer ganzen Reihe von Vorgängen, die alle mit zur „Atmung“ zu rechnen sind. Das Wesentliche bei der Atmung spielt sich in den einzelnen Zellen ab, aus denen ja alle Lebewesen zusammengesetzt sind. Als Atmungsmaterial dient dabei, wenigstens für die Pflanzen, der Traubenzucker. Alle lebenden Zellen atmen bei Tier und Pflanze Tag und Nacht. Diese Vorgänge für die Pflanzenzellen etwas näher zu beleuchten, soll die Aufgabe des folgenden sein.

Zum Verständnis des ganzen ist es nötig, sich stets vor Augen zu halten, dass die Pflanze kein einfaches chemisches System darstellt, sondern ein lebender Organismus ist, der vor allem die Fähigkeit zur Selbststeuerung hat. Pfeffer (1), der Mitbegründer der modernen Pflanzenphysiologie, sagt dazu: „In den im lebenden Organismus gebotenen Dispositionen, nicht im Sauerstoff liegt die primäre Ursache der Atmung. Die Sauerstoffaffinitäten müssen in jedem Augenblick in begrenzten Mengen geboten sein, aber fortlaufend entwickelt werden; denn nur so erklärt es sich, dass die Ausgiebigkeit der Atmung in weiten Grenzen von der Partiärpressung unabhängig ist“. Unsere Fragestellung muss also lauten: 1. Wie schafft die Pflanze die erwähnten Dispositionen und 2. welche chemischen Umsetzungen gehen von dem Atmungsmaterial aus bis zu den uns sichtbaren Atmungsschlacken vor sich?

Zur ersten Frage, wie die Pflanze die Zustände schafft, die zur Spaltung der Zuckermoleküle führen, nimmt man allgemein an, dass es die vom Plasma erzeugten Enzyme sind, die auf die Spaltung der zu veratmenden Stoffe hinarbeiten. Dafür spricht z. B. die Tatsache, dass Pflanzenpressäfte oder durch Kälte abgetötete Zellen Zucker unter CO_2 Abgabe zu spalten vermögen. Die Spaltung bleibt aber aus, wenn man die Pflanzenpressäfte kocht, wodurch die Enzyme zerstört werden. Die Annahme von der Beteiligung

1) gekürzt veröffentlicht.

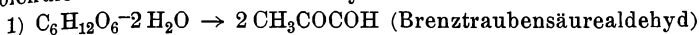
der Enzyme ist auch deshalb erforderlich, weil man sonst nicht verstehen kann, wie Stoffe, die ausserhalb der Zelle nicht miteinander reagieren, in der Zelle aufeinander einwirken, ferner, warum gerade der Traubenzucker und nicht die anderen in der Zelle befindlichen organischen Stoffe oxydiert werden. Alles das ist aber leicht zu erklären, wenn wir die Beteiligung spezifisch wirkender Enzyme annehmen. Auf die einzelnen Enzyme werde ich im Zusammenhang mit unserer zweiten Frage eingehen: Welche Zwischenprodukte entstehen bei der typischen Atmung, d. h. bei der Spaltung des Zuckers zu Kohlensäure und Wasser?

Grundlegend für unsere heutige Ansicht über den Chemismus der Atmung war die Feststellung Pflügers, dass bei der Tieratmung auch unter Sauerstoffabschluss die CO_2 Abscheidung weiter vor sich gehe. Pflüger nannte diesen Vorgang intramolekulare Atmung, weil es sich dabei um Spaltungen innerhalb der Moleküle ohne Zufuhr von Sauerstoff handelt. Nach Ansicht des Autors ist sie keine pathologische Erscheinung, sie soll vielmehr eine ständige Vorstufe der normalen Atmung bei den Tieren bilden. Die Ansicht Pflügers fand bei den Botanikern seiner Zeit wenig Anklang, erst Pfeffer hat für die Pflanzen auf die Möglichkeit des Vorausgehens einer intramolekularen Spaltung vor dem Angriff des Sauerstoffs hingewiesen (2): „Hiernach ist in der Tat möglich, dass auch bei Anwesenheit von Sauerstoff die intramolekulare Atmung bis zur Bildung von Alkohol oder allgemein bis zur Bildung der Endprodukte durchlaufen wird, welche dann, wie sie entstehen, weiter oxydiert werden. Es ist jedenfalls zulässig und für das Verständnis am einfachsten, wenn wir fernerhin den genetischen Zusammenhang zwischen intramolekularer und Sauerstoffatmung in der besagten Weise auffassen“. In seiner Pflanzenphysiologie (3) ist Pfeffer allerdings etwas zurückhaltender hinsichtlich seiner Ansicht über den Zusammenhang zwischen aerober und anerober Atmung. Erst nach der Entdeckung der Zymase in der Hefe durch Buchner und dem Nachweis des gleichen Enzyms in den höheren Pflanzen brach sich die Ansicht vom Zusammenhang der intramolekularen und der Sauerstoffatmung immer mehr Bahn.

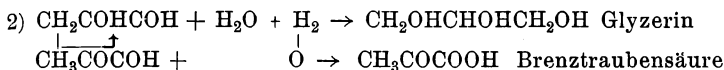
Die weiteren grundlegenden Versuche für unsere heutige Auffassung von den Zwischenprodukten der normalen Atmung verdanken wir den Forschungen Neubergs und seiner Schule¹⁾ auf dem Gebiete der alkoholischen Gärung. Nach Neuberg findet bei der Vergärung des Zuckers zu Alkohol und Kohlensäure etwa folgendes statt:

1) Veröffentlicht in der Biochem. Zeitschr. seit 1911, ferner Sammelbericht Ber. Chem. Ges. 1922. 55₃, 3624.

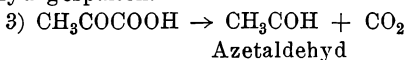
Der Traubenzucker zerfällt unter Wasserabspaltung in zwei Moleküle Brenztraubensäurealdehyd.



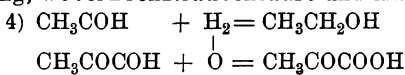
Wir müssen dabei die Mitwirkung von Enzymen annehmen und wollen sie nach Neuberg und Oppenheimer (4) Enzyme des ersten Angriffs nennen. Durch Wasseranlagerung an die beiden Brenztraubensäurealdehydmoleküle entsteht alsdann Glycerin und Brenztraubensäure. Dabei wirkt eine Oxyreduktase mit, die wir auch Dehydrase nennen können.



Die Brenztraubensäure wird durch Carboxylase in Azetaldehyd und Kohlendioxyd gespalten.



Der Azetaldehyd tritt nun mit weiterem Brenztraubensäurealdehyd — Entstehung nach 1) — in Beziehung, wieder unter Wasserbeteiligung, wobei Brenztraubensäure und Alkohol entstehen:



Die Brenztraubensäure zerfällt wieder nach Gleichung 3).

In Gleichung 2) und 4) haben wir es mit einer Disproportionierung zu tun, d. h. Wasser wird an ein Molekül derart angelagert, dass das H_2 das eine Molekül in eine Verbindung mit niedriger Oxydationsstufe und das O das andere Molekül in eine solche mit höherer Oxydationsstufe verwandelt.

Wenn wir annehmen, dass der Sauerstoffaufnahme eine intramolekulare Spaltung des Zuckers vorausgeht, so liegt der Schluss nahe, dass die intramolekularen Spaltungen, die bei der Veratmung des Zuckers zunächst ohne Sauerstoffanteilmahme vor sich gehen, denen bei der alkoholischen Hefegärung ähnlich sind. In diesem Falle müssten sich bei der typischen Pflanzenatmung die gleichen Atmungszwischenprodukte nachweisen lassen wie bei der alkoholischen Gärung. Es war nun Neuberg gelungen, eine Stabilisierung der Zwischenprodukte bei der Gärung durchzuführen, wenn er dem Gärgut sekundäres Alkalisulfit zusetzte. Dadurch lässt sich nämlich Aldehyd in Form des Aldehydkomplexsalzes abfangen. Die Menge des gebildeten Alkohols geht stark zurück. Wollte man nun bei der Pflanzenatmung die gleichen Zwischenprodukte, insbesondere den Azetaldehyd, abfangen, so hätte man der Pflanzenzelle Alkalisulfit begeben müssen. Das ist aber nicht möglich, weil es nicht in lebende Zellen eindringt. Neuberg und seine Schüler suchten daher nach einem anderen Abfangmittel, das dieselbe

Wirkung hätte, wie das Alkalisulfit, aber in die Zelle eindringe und wenig giftig wäre. Sie fanden es in dem Dimedon, einer komplizierten organischen Verbindung, an das sich die Aldehyde leicht anlagern. Es fällt dann das so entstehende Aldehyddimedon unlöslich aus. Durch Behandeln mit verd. Alkohol kann die Verbindung rein gewonnen und bestimmt werden. Es gelang nun Neuberg und Gottschalk auf diese Weise, bei der anaeroben Atmung der höheren Pflanzen verhältnismässig grosse Mengen von Azetaldehyd nachzuweisen.

Wichtige Untersuchungen über die Spaltprodukte bei der Atmung haben neuerdings Klein und seine Schüler (5) angestellt, wobei sie sich u. a. der Dimedonabfangmethode bedienten. Sie stellten z. B. abgeschnittene Pflanzenteile in eine Dimedonlösung von mässiger Konzentration, wodurch eine leidliche Durchtränkung des Gewebes mit dem Abfangmittel erreicht wurde. Dabei konnte eine messbare Menge von Azetaldehyd nachgewiesen werden. Demnach scheint es also wahrscheinlich zu sein, dass die aerobe Atmung zunächst bis zum Azetaldehyd denselben Verlauf nimmt wie die anaerobe. Hier trennen sich die Wege: Im ersten Falle mit O-Zutritt entstehen Kohlensäure und Wasser, bei der Hefegärung ohne O-Zutritt Kohlensäure und Alkohol.

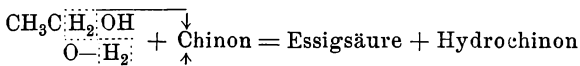
Man hat sich eingehend mit der Frage befasst, wie es kommt, dass Vorgänge in der Zelle so schnell vor sich gehen wie hier die Oxydation von Zucker, die ausserhalb der Zelle so langsam verlaufen. Zur Erklärung hat man angenommen, dass der Sauerstoff in der Zelle aktiviert werde. Durch den aktivierten Sauerstoff solle dann der Wasserstoff aus dem zu veratmenden Stoff unter Bildung von Wasser herausgenommen werden.

Gegen diese Theorie erheben sich die Bedenken, dass besonders oxydable Stoffe wie Oxalsäure und Ameisensäure und dergleichen im Organismus schwer verbrennen. Wieland (6) hat daher angenommen, dass es nicht der Sauerstoff ist, der aktiviert wird, sondern der Wasserstoff der zu veratmenden Verbindung. Dieser soll alsdann auf einen Akzeptor, die Atmungspigmente, und schliesslich auf den Luftsauerstoff abgeladen werden. In diesem Falle müsste der Wasserstoff aus organischen Stoffen auch ausserhalb der Zelle und in Abwesenheit von O aktiviert werden können. Das zu zeigen, ist nun Wieland in der Tat gelungen. Wenn er zu einer Traubenzuckerlösung Palladiumschwarz als Katalysator zusetzte, so trat Verbrennung des Traubenzuckers ein. Vom Palladiumschwarz konnte der Wasserstoff des Traubenzuckers aufgenommen und in Freiheit gesetzt werden, aber schon bald hörte die Reaktion auf, weil sich das Palladiumschwarz mit Wasserstoff beladen hatte und dadurch unwirksam geworden war. Wieland setzte nun dem

System einen Wasserstoffakzeptor zu, das ist eine Verbindung, die zu Wasserstoff mehr Affinität hat als der Stoff, der durch den Wasserstoffentzug entsteht.

Bei Zusatz eines solchen Stoffes läuft die Verbrennung unter Wasserstoffentzug solange weiter fort, als der Akzeptor noch Wasserstoff aufzunehmen vermag.

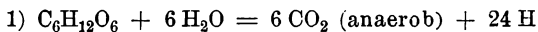
Die „Dehydrierungstheorie“ Wielands stösst auf Schwierigkeiten, wenn die Oxydation eines Stoffes nicht auf Wasserstoffentzug fusst. Hier nimmt Wieland an, dass der Dehydrierung eine Anlagerung von Wasser vorausgeht. Einen wichtigen Beweis für diese Ansicht erbrachte Wieland (6) dadurch, dass es ihm gelang, mit einem Extrakt von Essigsäurebakterien Alkohol unter Luftabschluss bei Gegenwart von Chinon als H-Akzeptor zu Essigsäure zu oxydieren.



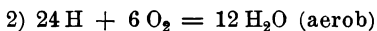
Dabei konnte Azetaldehyd als Zwischenprodukt nachgewiesen werden. Dieses selbst konnte man analog zu Essigsäure oxydieren.

Wir müssen annehmen, dass dabei anstelle des als Katalysator wirkenden Palladiumschwarz eine dem Organismus entstammende Verbindung, ein Enzym, mitgewirkt hat.

Nach Wieland soll, wie oben erwähnt, manchmal der Dehydrierung die Anlagerung von Wasser vorausgehen. Palladin (7) geht noch weiter und stellt die Hypothese auf: Alles bei der Atmung abgegebene Kohlendioxyd ist anaeroben, alles dabei abgegebene Wasser aeroben Ursprungs. Am klarsten wird die Folgerung aus dieser Theorie nach dem von Jost im Lehrbuch der Botanik für Hochschulen angegebenen Schema:



Traubenzucker



Der Wasserstoff müsste also aus dem Zuckerhydrat bei Anwesenheit von Atmungsfermenten auf leicht oxydierbare Substanzen, Atmungspigmente, übertragen werden. Von hier ginge der Wasserstoff alsdann an den Sauerstoff der Luft, wobei wir ebenfalls die Beteiligung von Fermenten annehmen müssen.

Nach Warburg (8) ist die Atmung an die Struktur der Zellen gebunden. Ferner ist bei der Atmung die Mitwirkung wenigstens einer geringeren Menge von Eisen vorauszusetzen. Dieses spielt durch Hin- und Herpendeln zwischen dem zwei- und dreiwertigen Zustand die Rolle des Sauerstoffüberträgers. Das Atmungspigment wird als die Summe der katalytisch wirksamen Eisenverbindungen definiert. Dagegen konnte nun Willstätter (9) zeigen, dass die Wirk-

samkeit der Atmungsfermente nach Zugabe von Eisen nicht grösser wird. Im Gegenteil stellte er fest, dass bei fortgesetzter Reinigung des Enzyms der Eisengehalt abnahm, während die Wirkungsweise intensiver wurde. Das feste und stete Anhaften von ganz geringen Eisensparten an den Atmungsenzymen spricht allerdings auch Willstätter dafür, dass die Reaktion in eisenhaltigen Systemen vor sich gehe.

Blicken wir auf die sich zum Teil widersprechenden Theorien über den Chemismus der Pflanzenatmung zurück, so zeigt sich uns folgendes Bild: Es scheint der aeroben Atmung bei den höheren und niederen Pflanzen eine anaerobe Spaltung voranzugehen, wie wir sie bei der Hefe als Regel haben. Ob der wesentliche Vorgang dabei die Aktivierung des Sauerstoffs oder des Wasserstoffs ist, lässt sich zur Zeit noch nicht entscheiden. Beteiligt an der Atmung sind spezifisch wirkende Enzyme, die die Aufnahme von O oder Abgabe von H vermitteln. So erklärt sich am besten die Oxydation bei so geringer Temperatur, die spezifische Auswahl von organischen Stoffen zur Atmung und die Unabhängigkeit der Atmung vom Sauerstoffdruck.

Angeführte Literatur.

1) Pfeffer, W., Beiträge zur Kenntnis der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen Leipzig 1887.

2) Ders. Das Wesen und die Bedeutung der Atmung in der Pflanzenzelle. Landw. Jahrb. 1878.

3) Ders. Pflanzenphysiologie 2. Aufl. Leipzig 1897

4) Neuberg, C. Oppenheimer, C., Zur Nomenklatur der Gärungsfermente und Oxydasen Bioch. Zeitschr. 1925.

5) Klein, G., Pirschle K., Azetaldehyd als Zwischenprodukt der Pflanzenatmung. Bioch. Zeitschr. 1926.

Pirschle, K., Azetaldehyd als Zwischenprodukt bei der Keimung fetthaltiger Samen. Bioch. Zeitschr. 1926.

6) Wieland, H., Über den Mechanismus der Oxydationsvorgänge. Erg. der Physiol. 1922.

Ders. Über den Verlauf der Oxydationsvorgänge. Ber. Chem. Ges. 1922. 55 s 3689.

7) Palladin, W., Über die Bedeutung des Wassers bei den Prozessen der alkoholischen Gärung und der Atmung der Pflanzen. Bioch. Zeitschr. 1914.

8) Warburg, O., Über Eisen, den sauerstoffübertragenden Bestandteil des Atmungsfermentes. Bioch. Zeitschr. 1924.

9) Willstätter, R., Über Sauerstoffübertragung in der lebenden Zelle. Ber. Chem. Ges. 1926. 59 2

2. Herr Bleibtreu:

Ueber Trachyteinschlüsse im Basalt des Dächelsberges.

Einschlüsse von Trachyten, insbesondere von solchen der Drachenfels-Varietät, im Basalt sind in der Umgebung von Bonn nicht auf den Dächelsberg beschränkt. Zuerst kam mir während meiner Studienzeit ein Einschluß von Drachenfelstrachyt mit einem großen Sanidinkrystall (Karlsbader Zwilling) im Basalt des großen Oelberges zu Gesicht, den auf einer Exkursion mit meinem verehrten Lehrer Gerhard vom Rath einer der Teilnehmer fand. Der Einschluß zeigte bei makroskopischer Betrachtung keine Spur von Einschmelzung. Anscheinend normaler Trachyt lag scharfrandig in normalem Basalt. Auf Grund der Kenntnis dieses Fundes fiel es mir dann leicht, schwarze Glasmassen mit eingelagerten grossen Sanidinkrystallen, die ich einige Zeit nachher im Basalt des Dächelsberges fand, als stark verglaste Einschlüsse vom Drachenfelstrachyt anzusprechen, worüber ich in meiner Dissertation¹⁾ berichtete. Diese Handstücke befinden sich in der Sammlung des Naturhist. Vereins für Rheinl. u. Westf. Sodann fand ich im Basalt des Petersberges mehrere Handstücke, die anscheinend alle von einem grossen Einschluß stammen, und die sich als stark verglaste Einschlüsse von Drachenfelstrachyt erwiesen. Grosse Sanidintafeln liegen hier in einer rötlichgrauen stark glasigen Grundmasse. Dieser Fund befindet sich in der Poppelsdorfer Sammlung. Sodann erwähnt Laspeyres in „das Siebengebirge am Rhein²⁾“ Einschlüsse von Drachenfelstrachyt vom „Steinestöß“ südwestlich von Busch am Abhang des großen Oelbergs, die nach seiner Beschreibung viele Übereinstimmung mit dem Dächelsberger Vorkommen zeigen.

Während es sich nun am Ölberg und am Petersberg um ganz vereinzelte Vorkommen handelt — auf den Fundort am „Steinestöß“, der mir erst unlängst bekannt geworden ist, werde ich noch zurückkommen — sind die Trachyteinschlüsse im Basalt des Dächelsberges ausserordentlich zahlreich, und ich bin kaum jemals an diesen Fundort hingekommen, ohne auf solche schwarze Glasmassen zu stossen. Ganz besonders zahlreich aber traten sie mir entgegen, als ich vor einiger Zeit einen Haufen von Krotzen untersuchte, der auf dem Lagerplatz gegenüber dem am meisten talaufwärts gelegenen Steinbruch aufgeschüttet war und dessen Material nachweislich von der Grenze des Basalts gegen das Nebengestein herstammte.

Während ich aber bisher am Dächelsberg stets nur die schwarzen Glasmassen mit eingelagerten Sanidintafeln gefunden

1) Zeitschrift der Deutschen Geol. Ges. 1883 S. 502.

2) Verh. des Naturh. Vereins 1900 II. S. 461.

hatte, fanden sich jetzt auf diesem Lagerplatz auch Einschlüsse von weit weniger veränderten Trachyten und zwar solche, die noch ihre ursprüngliche hellgraue Farbe hatten und andere, die außen in schwarzes Glas verwandelt, im Innern aber noch hellgrau waren. Freilich lehrt schon die Betrachtung mit unbewaffnetem Auge — und die mikroskopische Untersuchung bestätigt es —, daß auch diese hellgrauen Massen schon stark von heller, vielfach blasiger Glasmasse durchtränkt sind. Bei zwei Dünnschliffen von einem Handstück, von denen der eine von der grauen Mittelpartie, der andere von der schwarzen Randpartie hergestellt ist, erkennt man aber deutlich, daß in letzterer das Glas viel reichlicher vertreten ist. Die in meiner Dissertation beschriebenen im Dünnschliff braun erscheinenden Höfe um die basischen Ausscheidungen des Trachyts sind auf die schwarze Randpartie beschränkt, während die Glasmasse der grauen Mittelpartie u. M. wasserhell erscheint.

Hätte Laspeyres diese Übergänge von den schwarzen Glasmassen zu dem noch verhältnismässig frischen Drachenfelsgestein gekannt, so würde er wohl seinen letzten Zweifel an meiner Deutung dieser Einschlüsse als vollständig verglaster Trachyte fallen gelassen haben¹⁾.

Nicht alle diese Einschlüsse enthalten nun die großen Sanidintafeln der Drachenfels-Varietät. Es finden sich auch solche Trachyte, die dem Lohrberg-Trachyt näherstehen. Bei den verhältnismässig kleinen Dimensionen der Einschlüsse könnte man ja das Fehlen der Sanidintafeln auf einen Zufall zurückführen, wenn nicht das mikroskopische Bild auch in dem mehr oder weniger häufigen Auftreten des Augits einen Unterschied böte. In meinen Präparaten ist wenigstens Augit in denjenigen Einschlüssen, die keine grossen Sanidintafeln enthalten, sehr häufig, in den Einschlüssen mit grossen Sanidinkrystallen aber scheint er zu fehlen oder sehr spärlich aufzutreten. Reichliche Augit-Ausscheidungen aber gibt Laspeyres²⁾ als charakteristisch für den Lohrberg-Trachyt im Gegensatz zum Drachenfelstrachyt an.

Das ungemein häufige Vorkommen von Trachyteinschlüssen im Dächelsberger Basalt veranlasste mich nun, das Nebengestein wiederholt auf etwa anstehenden Trachyt zu untersuchen. Da erregte es denn meine Aufmerksamkeit in hohem Mass, als ich im Frühjahr 1926 in der Einfahrt zu dem am weitesten talaufwärts gelegenen Versuchssteinbruch einen grossen, etwa 40 cm im Durchmesser zeigenden hellgelblichen stark verwitterten Block vom Drachenfelstrachyt mit grossen Sanidintafeln fand. Von dem jetzigen Pächter

1) Verh. d. Naturhist. Vereins 1900 II. S. 534.

2) Verh. d. Naturhist. Vereins 1900 I. S. 201.

des Steinbruchs Herrn M. Schäfer aus Fritzdorf erfuhr ich, daß solcher Blöcke eine ganze Anzahl in der Einfahrt gelegen hätten, dass die übrigen aber fortgeschafft worden seien, nur der eine sei durch Zufall liegen geblieben. Seiner Ansicht nach stammten diese Blöcke aus dem Tuff. Aber erst bei wiederholtem Besuch im Sept. 1926 gelang es mir, in der südlichen Wand der Einfahrt unter überhängendem von Wurzelwerk zusammengehaltenem Erdreich eine Tuffpartie zu entdecken, die mehrere grosse eckige Trachytblöcke mit grossen Sanidintafeln umschloss, wenige Schritte von dem Fundort des im Frühjahr aufgefundenen Trachytblocks entfernt. Zweifellos stammte also auch dieser aus jener Tuffpartie. Anstehenden Trachyt oder einen Trachytgang konnte ich nicht entdecken. Auch auf der rechten Seite des Bachs, etwas weiter talabwärts, dem Hauptsteinbruch gegenüber, kurz oberhalb des zweiten Hauses, wenn man von Oberbachem herabkommt, fand ich eine weissliche Tuffpartie mit eingelagerten Trachytblöcken, zum Teil mit grösseren Sanidinkrystallen.

Eine Durchsicht der bisher erschienenen Literatur über die petrographischen Verhältnisse dieser Gegend ergab nun, dass schon Laspeyres in „das Siebengebirge am Rhein¹⁾“ Trachytbomben im „Basalttuff“ des Dächelsberges erwähnt und dass Rauff in den Erläuterungen zum Blatt Godesberg der geologischen Karte mehrfach Trachytbomben mit Sanidintafeln, wie beim Drachenfelder Trachyt in den Tuffen angibt, die in einem zwischen Schweinheim und Ödingen sich erstreckenden Streifen vorkommen, einem Verbreitungsgebiet, dem der Dächelsberg naheliegt. Er macht dabei auf die grossen Dimensionen der an den verschiedensten Stellen des erwähnten Gebiets in den Tuff eingelagerten Trachytbomben aufmerksam, die teils dem Drachenfels-, teils dem Lohrberg- und stellenweise auch dem Hohenburg-Trachyt angehören. Zweifellos können Bomben von der Grösse, wie ich sie in der Tuffpartie am Dächelsberg fand, und wie Rauff sie an mehreren anderen Örtlichkeiten im Verbreitungsgebiet der Tuffe anführt, nicht weit von der Ausbruchsstelle niedergefallen sein und so wäre zu untersuchen, ob diese Bomben auch anderwärts an die Nachbarschaft von Basaltdurchbrüchen gebunden und auf sogenannte Grenztuffe beschränkt sind, oder ob für die Tuffe mehrere selbständige Ausbruchstellen anzunehmen sind²⁾.

1) Verh. d. Naturh. Vereins 1900 II. S. 537

2) Zur Zeit meines Vortrages war die Mitteilung von Otto Wilckens über die von ihm ganz in der Nähe des Dächelsberges aufgefundene Ausbruchsstelle von Trachyttuff auf der Grube „Gute Jette“ noch nicht im Druck erschienen. (Sitzungsberichte des Niederrhein. Geol. Vereins 1926 S. 35). Vielleicht handelt es sich

Es ist nun jedenfalls kein Zufall, dass gerade in neuerer Zeit, wo sich der Steinbruchbetrieb zeitweise an der Grenze des Basalts gegen das Nebengestein und gerade in der Nachbarschaft der beschriebenen bombenhaltigen Tuffpartie bewegte, so zahlreiche und dabei so wenig veränderte Trachyteinschlüsse zum Vorschein kamen. Die frischen Trachyteinschlüsse, so sagte mir der Pächter des Steinbruchs, fänden sich in der Nähe der Basaltgrenze und zwar „handbreit“ von dieser entfernt. Es wiederholt sich also hier das Verhalten, das ich schon in meiner Arbeit über metamorphosierte Einschlüsse im Petersberger Basalt¹⁾ für die Andesit-Einschlüsse nachgewiesen hatte, wo gleichfalls die Einschmelzung im äusseren Mantel des Berges geringer war als im Inneren. Es ist ja auch leicht erklärlich, dass örtliche Unterschiede in der Temperatur des Magmas und in seinem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, wie sie namentlich an der Basaltgrenze vorkommen konnten, für den Grad der Einschmelzung bestimmend sein mussten.

Was nun den mikroskopischen Befund von Dünnschliffen der Trachyteinschlüsse betrifft, so sind die Schmelzerscheinungen an den Feldspatausscheidungen schon in der älteren Literatur beschrieben²⁾, weshalb ich von einer Wiederholung absehen möchte. Dagegen war es interessant, einen Dünnschliff von dem aus dem Trachyttuff stammenden Trachytblock mit den bereits erwähnten beiden Dünnschliffen des in der Mitte noch grauen, am Rande geschwärzten Trachyteinschlusses zu vergleichen. Zunächst bestätigt der Dünnschliff von dem losen Block, dass dieser keine Einschmelzung erlitten hat. Die Grundmasse ist durchaus krystallinisch, nicht verglast und nicht blasig, die Hornblende- und Glimmerkrystalle sind frisch und unverändert. Dagegen ist bei dem Einschluss, und zwar sowohl in der hellgrauen mittleren, wie in der randlichen makroskopisch schwarzen Partie, die Grundmasse, wie bereits erwähnt, stark verglast, vielfach blasig, die Hornblende-Krystalle sind durchweg in Haufwerke schwarzer Körnchen umgewandelt unter Beibehaltung der ursprünglichen Krystallumrisse, der Glimmer ist in seiner Gestalt kaum verändert, aber ganz schwarz und undurchsichtig geworden. Die Augitkrystalle sind in der hellgrauen Partie unverändert, in dem schwarzen Glase aber zeigen sich Anzeichen von randlicher Auflösung und Zerfall in kleinere Individuen. Besonders aber möchte ich darauf hinweisen, dass die Umwandlung

bei dem langgestreckten Vorkommen der linksrheinischen Tuffe um eine ganze Reihe auf einer Spalte aufsitzender einzelner Ausbruchsstellen.

1) Verh. d. Naturh. Vereins 1908 S. 133.

2) Zeitschrift d. Deutschen geol. Ges. 1883 S. 503. Brauns, die Mineralien der Niederrhein. Vulkangebiete S. 57.

der Hornblende in Haufwerke schwarzer Körnchen in diesen Trachyteinschlüssen ganz dieselbe ist, wie ich sie bei den Andesit-Einschlüssen im Petersberger Basalt beschrieben habe¹⁾. Jeder Zweifel²⁾, dass es sich dabei wirklich um einen Zerfall der Hornblende handelt, entfällt dadurch, dass in dem Dünnschliff eines Trachyteinschlusses von dem weiter unten noch zu erwähnenden Kleinen Ölberg, sowie auch in einem Dünnschliff des in meiner Dissertation erwähnten sehr wenig veränderten Andesit-Einschlusses aus dem Dächelsberger Basalt³⁾ in einzelnen dieser Gebilde noch Reste von unveränderter Hornblende erhalten geblieben sind.

Beachtenswert sind nun noch zwei Trachyteinschlüsse aus dem Basalt vom Dächelsberg, die ihrerseits wieder Einschlüsse älterer Gesteine enthalten. Es liegt also hier der Fall von Einschlüssen im Einschluss vor. Im einen Fall handelt es sich um einen Brocken eines schiefrigen Gesteins im Trachyt, im andern Fall um den Einschluss eines porösen fein krystallinischen Gesteins, in dessen Poren feinste Erzpartikelchen aufgewachsen sind. Kommen solche sekundäre Einschlüsse mit zur Einschmelzung, so können natürlich auch einmal Mineralien mit in die Umwandlungsprodukte der trachytischen Einschlüsse hineingeraten, die ihnen sonst fremd sind⁴⁾.

Zum Schluss möchte ich noch über eine in den letzten Tagen vorgenommene Besichtigung des von Laspeyres angegebenen Vorkommens vom „Steinestöss“ berichten. Auf der Laspeyres'schen Karte sind zwischen dem Grossen Ölberg und dem Dorf Bennerth drei Basaltvorkommen eingezeichnet, die mit dem Kleinen Ölberg beginnend auf einer ungefähr nach NNW verlaufenden Linie liegen. Vom Dorf Bennerth erreicht man zunächst das nördlichste dieser Vorkommen, den Steinbruch vom „Steinestöss“. (An Ort und Stelle wird die Örtlichkeit als Steinestoss und als Stüss bezeichnet). Der Steinbruch ist allseitig senkrecht in die Tiefe abgebaut, ein in den Bruch führender Tunnel ist eingestürzt, die Tiefe ist bis zum Gewölbe des Tunnels mit Wasser gefüllt⁵⁾. Der Zugang zu dem Bruch würde nur mit Lebensgefahr möglich sein. Von oben sieht

1) Verh. d. Naturh. Vereins 1908 S. 129.

2) Brauns, die Mineralien des Niederrhein. Vulkangebietes 1922 S. 15.

3) Zeitschr. der Deutschen geol. Ges. 1883 S. 503.

4) So dürften sich die Ausführungen von Brauns bezüglich des Vorkommens von Andalusit in einem von mir als Andesit beschriebenen Einschluss im Basalt des Petersberges auf einen solchen sekundären Schiefereinschluss in einem wirklichen Andesit-Einschluss beziehen. A. Brauns, Die Mineralien des Niederrhein. Vulkangebietes 1922 S. 15.

5) Darüber berichtet auch Wilckens, Geol. der Umgegend von Bonn S. 84.

man in den Tuffwänden Bomben, die anscheinend aus Trachyt bestehen, aber eine nähere Untersuchung von Tuff und anstehendem Basalt war ausgeschlossen. In den wenigen auf den verwachsenen Halden noch sichtbaren Basaltblöcken konnte ich keine Trachyteinschlüsse finden, womit natürlich nicht gesagt sein soll, dass solche nicht vorgekommen sind. Der zweite Steinbruch, der am Nordabhang des Kleinen Ölbergs liegt, führt bei den Anwohnern den Namen „Steinbruch am Kleinen Ölberg“. Der Betrieb ist seit Kurzem eingestellt, während die Steinbrüche an der eigentlichen Kuppe des Kleinen Ölbergs schon längst aufgegeben sind. Dieser Steinbruch „am Kleinen Ölberg“, also das mittlere der drei Vorkommen, entspricht nun so vollständig der Beschreibung von Laspeyres über den Steinbruch vom „Steinestöss“, dass man versucht ist, an eine Verwechslung in der Ortsbezeichnung zu glauben. Andernfalls würde der Kleine Ölberg als fünfter Fundort für Trachyteinschlüsse hinzukommen. Der Tuff enthält massenhafte Trachytbomben und die Zahl der Trachyteinschlüsse im Basalt ist ganz unglaublich, dabei findet man sie in allen Grössen von etwa $\frac{1}{2}$ m abwärts. Fast alle Einschlüsse, die man im anstehenden Basalt und auf der Halde sieht, sind mit einer gelblichen Verwitterungsrinde umhüllt und erst beim Zerschlagen kommt die schwärzliche Farbe der Glasmasse zum Vorschein. Es scheint also, dass dieses Glas sehr zur Verwitterung neigt. Die Verwitterungsrinde drängt sich auch meist zwischen Basalt und Einschluss und beim Schlagen von Handstücken fallen die Einschlüsse vielfach aus dem Basalt heraus.

Es ergibt sich also, dass sowohl am Dächelsberg wie am Kleinen Ölberg sich die Drachenfelstrachyt-Bomben sowohl im Basalt, wie auch im angrenzenden Tuff finden und das gleiche konnte ich seinerzeit am Petersberg für die Andesit-Einschlüsse feststellen. Es ist also wohl möglich, dass die Tuffausbrüche der Zertrümmerung der den Untergrund durchschwärmenden Gänge trachytischer Gesteine vorgearbeitet haben und dass die betreffenden Einschlüsse wenigstens zum Teil indirekt aus dem Tuff in den Basalt gelangt sind.

Zum Schluss danke ich Herrn Geheimrat Brauns und Herrn Dr. Zepp verbindlichst für die Bereitwilligkeit, mit der sie mir die Belegstücke für meinen Vortrag aus den Sammlungen des Poppelsdorfer Schlosses und des Naturhist. Vereins zur Verfügung gestellt haben. Die von mir am Dächelsberg und am Kleinen Ölberg neugesammelten Stücke sind der Poppelsdorfer Sammlung übergeben.

Sitzung am 28. Juni 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr Fitting: Die Bedeutung der neuen Gewächshäuser des Botanischen Gartens für Unterricht und Forschung. Herr Wiesemann: Die technische Einrichtung der neuen Gewächshäuser. Anschliessend Besichtigung der Gewächshäuser.

Sitzung am 12. Juli 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr Niessen: Die Pflanzengallen des Rheinlandes unter besonderer Berücksichtigung ihres Vorkommens in der Bonner Gegend.

Sitzung am 9. November 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr Hopmann: Der Bau des Weltalls, mit Lichtbildern.

Gemeinsame Sitzung mit den übrigen Abteilungen der Gesellschaft.

Vorsitzender: Herr Grebe. Herr Grebe: Die Bedeutung der Röntgenstrahlen für die Entwicklung der Atomphysik. Herr Nägeli: Die modernen Untersuchungsmethoden der chirurgischen Röntgendiagnostik mit Lichtbildern.

Sitzung am 14. Dezember 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens, während dessen Vortrags Herr Dahm.

1. Herr Wilckens:

Inlanddünen.

Die Dünen, denen wir eine Betrachtung widmen wollen, liegen nicht an der Meeresküste, sondern im Binnenlande. Sie wandern nicht mehr, sondern sind zur Ruhe gelangt und sind meist mit Vegetation bedeckt. Weniger als die Küstendünen haben diese binnenländischen Flugsandablagerungen zum Studium angelockt. Sie fallen als fossile Bildungen in den Forschungsbereich der Geologie, die erst in später Zeit der Bildungen der jüngsten Epoche der Erdgeschichte Interesse entgegenzubringen begonnen hat. Im Besonderen wollen wir uns eingehender mit den Inlanddünen Deutschlands beschäftigen.

Ihre Natur lässt sich aus ihren unruhigen Oberflächenformen und aus ihrer Zusammensetzung aus lockeren Sanden mit der vorherrschenden Korngrösse 0,5—0,2 mm unschwer erkennen. Keilhack¹⁾ leitete aus ihrer Verbreitung, die er 1917 auf einer kleinen Übersichtskarte darstellte, das Gesetz ab, dass die deutschen Inlanddünen räumlich eng mit den grossen diluvialen Talzügen verknüpft, und

1) Keilhack, Die grossen Dünengebiete Norddeutschlands. — Zeitschr. Dtsch. Geol. Ges. **69** (1917), B. Monatsber. S. 2—19, Karte.

dass sie durch Westwinde verfrachtet sind. Als Voraussetzung für ihre Entstehung betrachtet er Mangel an Vegetation und trocknes Klima. Als Zeit ihrer Bildung nimmt er die Ancyclus- und die Litorinaperiode, in einer späteren Veröffentlichung¹⁾ den ersteren Abschnitt des Alluviums an.

Gelegentlich einer Untersuchung der Dünen zwischen Unterweser und Unterelbe²⁾ wurde darauf hingewiesen, dass eine der wichtigsten Bedingungen für die Entstehung von Flugsanden das Vorhandensein von fliessendem Wasser ist, das den Sand auswäscht, ihn seiner bindigen, tonigen Teile beraubt und ihn so für die Aufnahme durch den Wind geeignet macht. Daraus erklärt es sich, dass die Flugsandablagerungen immer östlich der heutigen Flüsse oder früherer grösserer Wasserläufe liegen.

Die an den Dünen zwischen Unterweser und -elbe gewonnenen Ergebnisse wurden 1924 in einem Vortrage in unserer Gesellschaft³⁾ auf die Flugsande am Niederrhein angewandt. Hier waren die Flugsande ihrer wahren Natur nicht voll erkannt, so dass sie auf den Blättern Bonn und Wahn⁴⁾ mit dem Verlegenheitsnamen „Decksand“ bezeichnet sind⁵⁾. Es wurde wahrscheinlich gemacht, dass der angeblich diluviale „Decksand“ und die ausserdem ausgeschiedenen alluvialen Dünen gleichaltrig und alluvial sind, und dass die nieder-rheinischen Dünen nur eines der vielen grossen Dünengebiete des norddeutschen Tieflandes darstellen. Als Alter derselben wird die spätere Yoldiazeit angenommen. Fliegels⁶⁾ und Rauffs⁷⁾ Auffassung, dass der Flugsand eine Vertretung des Lösses sei, wird abgelehnt, weil jener jünger als die Niederterrasse, dieser aber älter sei. Das Material der Flugsande stammt aus der Niederterrasse und ist durch Westwinde, der Löss aber ist durch Ostwinde verfrachtet.

1) In: W. Salomon, Grundzüge der Geologie, Band II, S. 483.

2) Otto Wilckens, Die Dünen zwischen Unterelbe und Unterweser. — Centralbl. f. Min., Geol. u. Pal. 1921, S. 590–594.

3) Otto Wilckens, „Niederrheinische Flugsandbildungen“. — Sitzungsber. d. Niederrhein. Ges. f. Nat.- u. Heilkunde (Nat. Abt.) 1924, S. 21. Ausführlicher in: Altalluviale Flugsandbildungen am Niederrhein. — Geol. Rundschau 15 (1924), S. 289–300.

4) der Geolog. Karte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten.

5) Im Gegensatz zu Breddin muss betont werden, dass der Name „Decksand“ den Flugsanden von der Landesanstalt nicht wegen ihrer ausgedehnten flächenhaften Verbreitung gegeben worden ist (Geol. Rundschau, 18, S. 72), sondern als neutrale Bezeichnung, weil man sich über die Entstehung dieser Sande nicht recht im Klaren war. Denn auf den preussischen geologischen Karten werden die Flugsande sonst als „Flugsand“ oder als „Dünen“ bezeichnet.

6) In: Wunstorff und Fliegel, Die Geologie des Nieder-rheinischen Tieflandes (Abt. Preuss. Geol. Landesanst. N. F. 67, 1910), S. 157.

7) Erläuterungen zu Blatt Bonn, S. 25.

Die am Niederrhein gewonnenen Erfahrungen wurden 1926 auf das Oberrheingebiet angewandt¹⁾. Auch hier sind die Flugsande an diluviale Talzüge (des Rheines und des Maines) gebunden, durch Westwinde verweht und in ihrer Entstehung von den Flussläufen abhängig, die die Sande der Niederterrasse ausgewaschen haben. Die Hessische geologische Landesanstalt betrachtet ebenfalls — zu Unrecht! — Löss und Flugsand als zeitgleiche Äquivalente und meint, dass dieselben Winde den ersteren, weil leichter, weiter verfrachtet hätten als letzteren. Die hessischen Geologen waren gezwungen, von diesem Standpunkte aus anzunehmen, dass die äolischen Ablagerungen durch Winde, die sternförmig vom Rhein her in allen Richtungen wehten, transportiert seien. Zu einer solchen Ansicht konnte man nur kommen, wenn man den Blick über die Grenzen von Hessen nicht hinausschweifen und die regionalen Zusammenhänge ausser acht liess.

Auf die Argumente, die Breddin neuerdings vorgebracht hat²⁾, um die Gleichaltrigkeit von Flugsand und Löss nachzuweisen, muss etwas näher eingegangen werden. Dabei sind vorweg einige Tatsachen zu nennen, mit denen Breddin sich garnicht auseinandersetzt, obwohl sie für die Entstehung der Flugsande die grösste Bedeutung haben. Da ist zunächst die, dass ohne die Auswaschung der Muttersande die Flugsande garnicht entstehen konnten. Zwischen Bonn und Köln wird die unverritzte Niederterrasse von einer etwa 2 m mächtigen Lehmdecke verhüllt. Eine Sanddecke ist im südlichen Teil der Niederrheinischen Bucht auf der Niederterrasse nicht vorhanden. Der Rhein schlemmte in der Dünenzeit bei der Auswaschung der Niederterrasse die feinen Teilchen aus und schwemmte sie fort. Deshalb konnten sie nicht Löss bilden. Ferner fehlt Breddin der regional-geologische Standpunkt: Er betrachtet die rheinischen Flugsande nicht im Zusammenhang mit den anderen grossen Inlanddünengebieten Mitteleuropas und den Löss nicht im Zusammenhang mit den übrigen mitteleuropäischen Lössgebieten. Im norddeutschen Tieflande treten massenhaft Flugsandgebiete auf, in deren Nachbarschaft kein Löss vorkommt. Dass der Löss hier nicht gehaftet habe, weil er auf Sandboden fiel, ist keine richtige Erklärung für sein Fehlen; denn es gibt in Norddeutschland genug Grundmoränenflächen, auf denen er eine Ruhestätte hätte finden können. Die norddeutschen Flugsande liegen aber vielfach im Ausblasungs-

1) Otto Wilckens, Die oberrheinischen Flugsande. — Geol. Rundschau 17a (Steinmann-Festschrift), S. 555—597. 1926.

2) H. Breddin, Löss, Flugsand und Niederterrasse im Niederrheingebiet, ein Beitrag zur Frage der Entstehung des Löss. — Geol. Rundschau 18, S. 72—80; Derselbe, Löss, Flugsand und Niederterrasse am Niederrhein. — Jahrb. Preuss. Geol. Landesanstalt 46 (1925), S. 635—662. 1926.

gebiete des Lösses, während das Niederrheingebiet zu seinem Ablagerungsgebiet gehört. Mit guten Gründen wird angenommen, dass zur Lösszeit die Winde vom Inlandeis in radialer Richtung abwehten, bei uns also aus NO. In Südosteuropa bliesen sie aus NW. Der Lössreichtum von Südosteuropa ist kein Beweis dafür, dass zur Lösszeit am Niederrhein westliche Winde vorgeherrscht haben.

Nach Breddin liegt in einiger Entfernung vom Rhein eine meridional gerichtete Flugsandzone und östlich davon und parallel zu ihr eine Lösszone. Diese äolischen Ablagerungen sollen durch Westwinde verfrachtet, dabei aber die Hauptmasse des Lösses aus NO gekommen sein. Ein Teil des Lösses soll aus der Niederterrasse stammen. „Lössmaterial, das bei einem Oststurm ins Rheinland gelangte, wurde nur zum Teil durch die Westwinde wieder nach Osten zurückgeweht, ein gewisser Teil blieb jedesmal liegen.“ Der Flugsand soll dagegen, da ihm jede „Klebekraft“ fehlte, wenn er einmal nach Westen verweht worden war, beim nächsten Westwind wieder nach Osten zurückgeweht sein. Da auch das Maastal im Osten von einem Flugsand- und von einem Lössstreifen begleitet wird, so hätte Breddin den linksrheinischen Löss auch zum Maasgebiet rechnen können. Davor ist er aber wohl angesichts der grossen Breite des linksrheinischen Lössgebietes zurückgeschreckt. Er versucht auch nicht, eine Naht zwischen dem Maas- und dem Rheinlöss festzustellen. Abgesehen davon, dass es eine sehr gezwungene Annahme ist, dass der linksrheinische Löss, der sehr ausgedehnt und stellenweise sehr mächtig ist, sich bei vorherrschenden Westwinden abgesetzt haben soll, muss festgestellt werden, dass in den norddeutschen Dünengebieten irgendeine Wirkung östlicher Winde bei der Ablagerung der Flugsande nicht zu verspüren ist. Dass am Niederrhein andere klimatische Verhältnisse existierten als in Norddeutschland, kann man nicht annehmen. Wenn Flugsand auch gelegentlich nach Westen transportiert wurde, warum liegt er denn linksrheinisch immer im O von Rinnen in der Niederterrasse? Unseres Erachtens kommt dies daher, dass hier der Flugsand ausgewaschen und von Westwinden verweht wurde.

Nach Breddin verbindet rechtsrheinisch eine Übergangszone den Flugsand- mit dem Lössstreifen. Aus Breddins Karte¹⁾ ergibt sich, dass diese Übergangszone nur ganz sporadisch entwickelt ist, auch schliesst Breddin auf ihr Vorhandensein teilweise nur aus einem allmählichen Lehmigerwerden des Ackerbodens gegen O, woraus aber, wie er selbst betont, beweiskräftige Schlüsse nicht gezogen werden können. So bleiben als Beweismittel für Breddins Auffassung nur einige wenige Aufschlüsse übrig, besonders der in

1) In letztgenannter Arbeit S. 640.

der grossen Ziegeleigrube östlich von Hochdahl (östlich von Düsseldorf), wo 5,5 m eines braunen, feinsandigen Lehmcs sichtbar sind, in dessen oberen anderthalb Metern sich dünne, schwachwellige Lagen von ziemlich feinem Sand einstellen. Der Lehm ist nach Breddin Sandlöss, die Sandlagen Flugsand. Auffallend ist, dass diese sogen. Sandlöss-Übergangszone von Hochdahl W-O streicht, also einen Übergang zwischen Flugsand im S und Löss im N bilden würde. Eine mechanische Analyse des Hochdahler Lehmcs teilt Breddin nicht mit; wir sind aber über die Körnung desjenigen Sandlösses unterrichtet, der linksrheinisch am inneren Erosionsrande der Mittelterrasse auf dieser vorkommt¹⁾. Ohne auf Kaisers ausführliche Erwägungen über diesen Sandlöss einzugehen, erklärt Breddin ihn für eine Übergangszone zwischen Flugsand und Löss auf der westlichen Rheinseite. (Es soll also in der Mitte Flugsand und dann auf beiden Seiten symmetrisch eine Übergangszone und dann Löss liegen.) Dabei enthält der Sandlöss von Blatt Brühl 56,0% Bestandteile von 0,05 mm abwärts, während die Flugsande von Blatt Wahn davon höchstens 5,2% enthalten. Dass das, was man Sandlöss nennt, nach seiner Körnung und dem Vorwiegen der feinsten Teilchen ein echter, nur etwas gröberer Löss ist, wird von Breddin nicht berücksichtigt. Sandlöss als Übergang zwischen Flugsand und Löss zu betrachten, ist nicht angängig.

„Löss und Flugsand schliessen sich aus“, sagt Breddin. Quiring²⁾ hat dem entgegengehalten, dass er auf den Blättern Mettmann und Hilden vielfach eine Überlagerung von Löss durch Flugsand festgestellt hat. Wenn Breddin darauf erwidert, dass er ja in dem Aufschluss bei Hochdahl die Wechsellagerung von Flugsand und Sandlöss beobachtet habe, so sind damit die Beobachtungen Quirings in keiner Weise widerlegt. Auch muss Breddin zugeben, dass stellenweise der Flugsand den Löss auf weitere Strecken überdeckt: südlich von Straelen greift der Maas-Flugsand 1½ km weit über Sandlöss und Lösslehm über, und dasselbe ist in der Übergangszone östlich des Rheines stellenweise (wo, wird Geol. Rundschau 18, S. 236 nicht angegeben) der Fall. Löss und Flugsand schliessen sich also nicht aus. Ich kenne auch eine Stelle am Riemberg bei Siegburg, wo über Löss eine Gehängebrekzie und darauf Flugsand lagert, also eine scharfe Grenze zwischen Löss und Flugsand vorhanden ist und beide im selben Profil übereinander liegen.

In Norddeutschland sind die Flugsande sicher durch Westwinde verweht. Solgers Versuch, sie auf die Wirkung von Ost-

1) Vgl. E. Kaiser, Erläuterungen zu Blatt Brühl, S. 60—63.

2) Zum Vortrag des Herrn Dr. Breddin: Löss, Flugsand und Niederterrasse im Niederrheingebiet, ein Beitrag zur Frage der Entstehung des Löss. — Geol. Rundschau 18, S. 132—133.

winden zurückzuführen, ist von allen anderen Dünenforschern abgelehnt. Einmal ist es undenkbar, dass die Grundrisse der Dünen gewahrt geblieben wären, während ihr Profil durch eine spätere Einwirkung von Westwinden umgekehrt wurde. Ferner können die geraden Dünenwälle, die gelegentlich zwischen den Enden der Flügel von nach Westen offenen Hufeisendünen vorkommen, nicht im Windschatten der Bogendünen von Ostwinden aufgeschüttet sein. Auch die Deflationsfelder, die sich öfters im Westen von grösseren W-O gestreckten Dünengebieten finden und die leergeblasen sind, als die Westwinde keinen Sand mehr brachten, sondern nur noch den bereits abgelagerten Flugsand verwehten, können nicht durch Ostwinde entstanden sein¹⁾. Diese Deflationsfelder geben übrigens unseres Erachtens den Schlüssel zum Verständnis der lössfreien Regionen rechts des Rheines im Mainzer Becken bzw. Odenwald und am Niederrhein, aus denen der Löss nach unserer Ansicht am Schluss der Lösszeit weggeweht ist. Auch wo, wie in dem grossen Dünengebiet zwischen Warthe und Netze, die Flugsande sehr feinkörnig sind — in dem genannten Felde sind durchschnittlich 57,1% der Bestandteile unter 0,2 mm, während die Bonner Flugsande höchstens 34% so feine Körner enthalten — ist nirgends Löss in der Weise mit dem Flugsand vergesellschaftet, dass auf eine gemeinsame Entstehung geschlossen werden könnte.

Die deutschen Inlanddünen können, weil sie von Westwinden aufgehäuft sind, nicht vor der finiglazialen Periode entstanden sein, sind also alluvial. Andererseits sprechen die archäologischen Funde (neolithische Werkzeuge in den obersten Dünenschichten oder auf den Dünen) dafür, dass die Dünen vor dem Ende des Neolithikums fertig waren. Man darf sagen, dass die überall ähnliche Erscheinungsform der mitteleuropäischen Inlandsdünen, ihre Verknüpfung mit den diluvialen Talzügen, ihre Entstehung zwischen dem finiglazialen Abschnitt des Diluviums und dem Ende des Neolithikums und ihre Aufhäufung durch Westwinde gebieterisch zu der Annahme zwingen, dass alle diese Flugsande ein- und derselben Entstehung sind. Breddins Vorwurf, ich hätte die Gleichaltrigkeit der rheinischen und der norddeutschen Flugsande behauptet, ohne sie zu beweisen, lässt diese Tatsachen ausser acht und berücksichtigt nicht, dass es sich bei der Dünenbildung um ein regionales und ein von ganz bestimmten klimatischen Verhältnissen abhängiges Phänomen handelt, das einem ganz bestimmten Abschnitt der Alluvialzeit eigentümlich ist. Wo die vollständige Entwicklung der Moore in Urstromtälern beobachtet werden kann, ist nicht nur der ältere Sphagnumtorf, sondern auch der unter diesem auftretende Kiefernwald jünger als

1) I. Högbom, *Ancient Inland Dunes of Northern and Middle Europe*. — *Geografiska Annaler* 5, S. 113—243. 1923.

der Flugsand. Die Entwicklung des Moostorfes begann im atlantischen Zeitalter und in der Mitte der Ancyluszeit, der Kiefernwald gehört der borealen Periode und dem Ende der Yoldia- und dem Beginn der Ancyluszeit an¹⁾. Damit kommen wir wiederum zu einer Datierung der Entstehung der deutschen Inlanddünen in die spätere Yoldiazeit. Voraussetzung für dieselbe ist zweifellos Mangel an Vegetation. Die Flugsandbildung hörte auf, als die Talböden der Urstromtäler und ihre Ufer sich mit Pflanzenwuchs bedeckten. Diese Talböden sind älter als die Dünen, die vielfach auf ihnen liegen und die erst in der „altalluvialen Erosionsperiode“, wie Quiring sie genannt hat, in der diese Talböden von Wasserläufen zerschnitten wurden, entstanden sind.

2. Herr Geh. Bergrat Prof. Dr. Steinmann wird zum Ehrenmitglied der Abteilung gewählt.

3. Der alte Vorstand wird einstimmig wieder gewählt.

Jahresbericht für 1927.

Infolge der Werbetätigkeit des Vorstandes stieg die Mitgliederzahl der Abteilung von 57 am 1. 1. 27 auf 103 am 1. 1. 28. Die Abteilung verlor 1 Ehrenmitglied und 7 Mitglieder durch Tod und Wegzug von Bonn. Wir bitten Mitglieder, die Bonn verlassen, der Gesellschaft trotzdem treu zu bleiben, wie es einige Herrn bereits getan haben. In dem Bestreben, alle naturwissenschaftlich Gebildeten für die Gesellschaft zu gewinnen, wurden Berichte über die Vorträge der Bonner Presse übergeben, die uns in dankenswerter Weise entgegengekommen ist.

Unsere Gesellschaft verfolgt u. a. das Ziel, ihre Mitglieder möglichst über alle Zweige der naturwissenschaftlichen Forschung zu unterrichten und unterscheidet sich dadurch von den zahlreichen an der Universität bestehenden Colloquien, die jedes naturgemäss nur eine beschränkte Anzahl von Wissenschaften pflegen können. Sie will ferner ihren Mitglieder Gelegenheit geben, über ihre eigenen Forschungen zu berichten und Mitteilungen darüber gedruckt zu bekommen. Diese Drucklegung kann jetzt auch wieder schneller erfolgen. Diese Veröffentlichung wissenschaftlicher Mitteilungen in unseren Sitzungsberichten wieder mehr zu pflegen, werden alle Mitglieder, die als Forscher tätig sind, hiermit dringend eingeladen.

Im Jahre 1927 wurden in 9 Sitzungen 4 botanische, 2 astronomische und je 1 chemischer, physikalischer, petrographischer, geologischer und medizinischer Vortrag gehalten. Es fanden Führungen durch die Sternwarte und die neuen Gewächshäuser des Botanischen Gartens statt.

Wilckens.

1) Hellmuth Albert Weber, Über spät- und postglaziale lakustrine und fluviatile Ablagerungen in der Wyhraniederung bei Lobstädt und Borna und die Chronologie der Postglazialzeit Mitteleuropas (Abt. Nat. Ver. Bremen 24 (1918)), Übersicht I).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [84](#)

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: [Sitzungsberichte der naturwissenschaftlichen Abteilung der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn. 1927. A001-A039](#)