



*P. T. Cleve*

## PER THEODOR CLEVE.

Per Theodor Cleve wurde am 10. Februar 1840 als dreizehntes Kind des Grosskaufmanns F. T. Cleve zu Stockholm geboren, dessen Vorfahren in der Mitte des 18. Jahrhunderts aus Westdeutschland nach Schweden eingewandert waren.

Schon während seiner Gymnasialzeit zu Stockholm traten seine Charakterzüge und seine vom damaligen Studienplan abweichenden Neigungen deutlich hervor. Statt sich in die Aussprüche der klassischen Verfasser zu vertiefen, versäumte er gern einen Theil der diesen reichlich gewidmeten Unterrichtsstunden und zog es vor, auf langen Streifzügen mit den Thieren, Pflanzen und Steinen seiner Heimath sich vertraut zu machen. Kein Wunder, dass es ihm erging wie seinem grossen Landsmann Berzelius, den die Schulphilologen als einen »Jüngling von geringer Hoffnung« bezeichuet hatten. Erst nach der Reifeprüfung 1858 konnte Cleve in Upsala seine naturwissenschaftliche Begabung voll entwickeln. Der junge Student theilte von Anfang an seine Interessen zwischen den beschreibenden Naturwissenschaften und der Chemie. Auf Wanderungen zu beobachten und zu sammeln, war damals und blieb die liebste Beschäftigung Cleve's, der von der Natur mit einem ungemein scharfen Auge ausgerüstet war. Allein mit der Natur und ihre Freiheit geniessend, lernte er die Schönheiten seines Landes und die auf schwedischem Boden so kräftig gedeihende persönliche Freiheit über alles schätzen. Und doch kann man nicht sagen, dass Cleve ein typischer Vertreter seines Volkes war. Die Beweglichkeit seiner Ansichten, sein impressionistisches Wesen, seine glückliche Zuversichtlichkeit sind die Zeichen der wallonischen Abstammung seiner Grossmutter. Durch die naive Freude an Formenreichtum und Formenschönheiten, sowie durch seine ausgesprochene Abneigung gegen Speculation und Theorie war Cleve's wissenschaftliche Richtung in seinem Charakter begründet.

Schon damals erforderte das Universitätsstudium in Schweden eine unverhältnissmässig lange Zeit. Cleve verkürzte diese Periode

nach Möglichkeit; er wurde 1862 Candidat, 1863 Doctor und gleich darauf Docent der organischen Chemie an der Universität zu Upsala. Der Lehrstuhl der allgemeinen Chemie war damals durch L. Svanberg besetzt, der sich an den mineralogisch-chemischen Arbeiten seiner Zeit betheiligte hatte. Wissenschaftliche Anregung hat Cleve von ihm nicht erhalten.

Bereits mit 21 Jahren hatte Cleve seine chemische Erstlingsarbeit: »Ueber einige ammoniakalische Chromverbindungen« (1)<sup>1)</sup> veröffentlicht. Diese Körperklasse war kurz vorher von Frémy entdeckt worden; Cleve gelangte indessen bei seiner Untersuchung zu anderen Verbindungen als Frémy und nannte seinen neuen Körper von der Zusammensetzung  $\text{CrCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  Tetramminchromchlorid (1, 6). Das hiermit begonnene Studium der complexen anorganischen Verbindungen blieb nun ein Jahrzehnt der Gegenstand seiner emsigen experimentellen Forschung. Nachdem er sich mit einigen complexen Quecksilber- und Gold-Rhodaniden beschäftigt hatte (3, 4), wandte er sich, um einen näheren Einblick in die Constitution seiner Chromammoniakverbindungen zu gewinnen, der durch ihre Stabilität ausgezeichneten und formenreichsten Gruppe der Metallammoniakverbindungen zu, nämlich den Platinbasen. Als der junge Forscher dieses Gebiet betrat, hatten namhafte Chemiker schon den Weg eröffnet und waren zu einzelnen interessanten Ergebnissen gelangt.

Magnus hatte bereits 1828 als der Erste das nach ihm benannte grüne Salz  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{PtCl}_4$  aus Platinchlorür und Ammoniak dargestellt. Gros hatte daraus 10 Jahre später in Liebig's Laboratorium mit Salpetersäure eine Reihe chlorhaltiger Salze vom Typus  $\text{Cl}_2\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$  gewonnen, und 1840 stellte Reiset ebenfalls aus Magnus' Salz die Verbindungen dar, die als Salze der ersten Reiset'schen Base  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$  bekannt sind. Bald darauf (1844) entdeckte Reiset einen zweiten Typus von Salzen, die nur halb so viel Ammoniak enthielten wie die vorigen und sich von der sogenannten zweiten Reiset'schen Base ableiten. Diese Körper gewannen ein besonderes Interesse, als Peyrone einen Körper darstellen lehrte welcher dieselbe Zusammensetzung hatte, wie das Chlorid der zweiten Base Reiset's, aber nicht als identisch mit diesem angesehen werden konnte. Diese auf dem anorganischen Gebiet erste Isomerie konnte nach den damaligen Anschauungen nicht erklärt werden, und ihre Existenz wurde auch von Berzelius bezweifelt. Ein von Raewsky entdecktes, dem Gros'schen sehr nahestehendes, aber ungenügend bekanntes Salz  $(\text{OH})\text{ClPt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$  veranlasste schliesslich Gerhardt

<sup>1)</sup> Die in Klammern dem Text eingefügten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 4236—4238.

zu einer umfassenden Untersuchung, durch welche den erwähnten Salztypen noch ein weiterer, die Platinamminsalze,  $\text{Cl}_2\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$  u. s. w. zugefügt wurden.

Diese experimentellen Ergebnisse gaben zu den verschiedensten Deutungen Anlass. Schon damals hatte fast jeder Forscher seine eigene Theorie über Platinammoniakverbindungen, und die Unklarheit war um so grösser, als die ganze Chemie sich gerade in einer Umwälzungsperiode befand, in welcher das lange festgehaltene System von Berzelius nothwendig aufgegeben werden musste. Um die Reiset'schen Salze in seinem elektrochemischen Lehrgebäude unterbringen zu können, sah sich Berzelius gezwungen, seine Vorstellung von der elektrochemisch indifferenten Kuppelung fertigzubilden. Nach dieser betrachtete er z. B. die erste Base von Reiset als ein mit Platinamid  $[\text{Pt}(\text{NH}_2)_2]$  in jetziger Schreibweise] gekoppeltes Ammoniumoxyd. Im Streit mit der Theorie von Berzelius hatte Gerhardt mit wachsendem Erfolg seine »Typentheorie« im Bereich der organischen Chemie zur Geltung gebracht; er machte auch den Versuch, die ammoniakalischen Platinverbindungen diesem System einzuordnen, indem er sie aus dem Ammoniumtypus herleitete. Hierbei unterschied er, im Einklang mit der neuen Valenzlehre, zwischen »platinosum« und »platinum«, 2- und 4-werthigem Platin. Etwas glücklicher suchte Grimm die Metallammoniakverbindungen auf den Typus Ammoniak zurückzuführen. Jedoch war diese ganze Typenauffassung nur ein starres Schema, und es lag ein erheblicher Fortschritt in dem von Claus 1854 geschriebenen Satz, »dass das Ammoniak in mehreren Verbindungen eine in Beziehung seiner Basicität passive Rolle übernehmen und gleich dem Wasser als basisches und nicht basisches Wasser fungiren kann«. In letzterem Falle verhält sich die Bindung des Ammoniaks nach Claus wie eine inactive Kuppelung, welche also die Sättigungscapazität des Metalloxyds nicht beeinflusst. Wie man sieht, erinnern diese Anschauungen theilweise an diejenigen von Berzelius.

Cleve hatte seine Ausbildung ganz im Geiste der Berzelianischen Lehre erhalten. Es war also nicht merkwürdig, dass Cleve, welcher zu der kritischen Durcharbeitung einer Theorie weder die Neigung noch die Anlage besass, die Resultate seiner ersten Untersuchungen über Platinbasen (5, 7, 8) im Berzelianischen Geiste formulirte (5). Das Ziel seiner Arbeit hatte er mit folgenden Worten angegeben (6, S. 20): »Durch eine Untersuchung über die ammoniakalischen Chromverbindungen veranlasst, für deren richtige Beurtheilung ich es geboten fand, mir eine selbstständige Ansicht über die allgemeine Constitution der ammoniakalischen Metallverbindungen zu verschaffen,

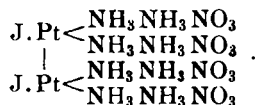
unternahm ich eine Untersuchung der ammoniakalischen Platinverbindungen, in erster Linie um die Stellung des Chlors in den Salzen der Gros'schen Base kennen zu lernen.«

Die Antwort lautet: »Die Base von Gros ist frei von Halogenen und stellt eine höhere Oxydationsstufe der ersten Reiset'schen Base dar.« Hier wird offenbar als Gros'sche Base die sowohl den Gros'schen, wie den Raewski'schen Salzen zu Grunde liegende Hydroxylverbindung  $(OH)_2Pt(NH_3)_4(OH)_2$  gemeint. Die ungleiche Fällbarkeit der vier Chloratome des Gros'schen Chlorids — also wie wir jetzt sagen, die Gegenwart zweier Chlorionen und zweier nicht dissociirter Chloratome — wird betont und findet in der Formel der Base ihren Ausdruck.

Kurze Zeit darauf setzte Cleve das Studium der Gros'schen Verbindungen in Wurtz' Laboratorium zu Paris fort. Er hatte eine Verbindung gefunden, die nach ihrer empirischen Zusammensetzung ein basisches Sulfat der Gros'schen Base sein konnte, in welchem jedoch nur eines der drei Schwefelsäureäquivalente mit Baryt fällbar war. Aus diesem Salz konnte also eine Platinbase dargestellt werden, welche Cleve Sulfatodiplatinammin nannte, und welcher er etwas später

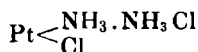
die Formel  $\begin{array}{c} O \\ \diagup \\ Pt \\ \diagdown \\ HO \end{array} \begin{array}{l} \left\langle \begin{array}{l} NH_3NH_3OSO_2 \\ NH_3NH_3Cl \end{array} \right. \end{array}$  zuschrieb.

Im Jahre 1868 verliess Cleve das Laboratorium von Wurtz, um in Stockholm seine Untersuchungen über ammoniakalische Platinsalze fortzusetzen. Er gelangte bald zu einer neuen grossen Klasse dieser Verbindungen. Es waren dies Salze complicirter Zusammensetzung, die bei der Einwirkung von Ammoniak auf jodhaltige Salze der Gros'schen Base entstehen — die ersten Repräsentanten der Basen mit einem Doppelatom Platin (8). Erst etwas später konnte er für diese Körper, welche von ihm Diplatinamminverbindungen genannt wurden, die folgende rationelle Formel aufstellen (9):



Ein Jahr nach dieser Experimentaluntersuchung war Blomstrand's »Chemie der Jetztzeit« erschienen. Die anregende und klare Durchführung der modernen Lehren von Seiten des zu dieser Zeit in Schweden tonangebenden Chemikers gewann schnell Cleve und bestimmte ihn endgültig, die alte Berzelianische Anschauungs- und Schreibweise zu verlassen, zumal durch die auf der neuen Valenztheorie fussenden Formulierungen Blomstrand's die sich immer mehrenden experimentellen Thatsachen weit übersichtlicher und voll-

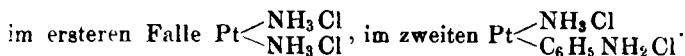
ständig wiedergegeben werden konnten. So konnte Cleve in einer 1870 erschienenen Arbeit (9) seine aus der Gros'schen Base gewonnenen Körper nach Blomstrand formuliren, wie wir oben gesehen haben. Seine Versuche über die erste Base von Reiset und diejenige von Gros konnte er gleichzeitig mit ausführlichen Untersuchungen über die zweite Reiset'sche Base, sowie die Platinamminverbindungen Gerhardt's im neuen Sinne beschreiben. Ausser zahlreichen Derivaten der zweiten Reiset'schen Base stellte er eine mit diesen isomere Reihe von Salzen dar, deren ersten Repräsentanten Peyrone bereits entdeckt hatte, allerdings ohne ihm einen passenden Platz geben zu können. Cleve brachte nun die von ihm studirten Eigenschaften der beiden isomeren Reihen durch folgende Formeln zum Ausdruck:



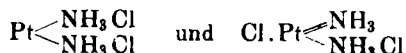
Chlorid des Platinoxydulammoniaks Chlorid der zweiten Reiset'schen Base und nannte erstere Base Platinoxydulammoniak.

Eine weitere Isomerie entdeckte Cleve beim vierwerthigen Platin, indem er eine mit den Gerhardt'schen Platinamminverbindungen gleich zusammengesetzte Serie von Salzen darstellte; er leitete sie aus dem Platinoxydammoniak ab. Diese beiden von Cleve charakterisirten Basen wurden von Blomstrand gemäss seiner consequent durchgeführten Nomenclatur Platosemidiammin bzw. Platinsemidiammin genannt, während die isomeren Basen von Reiset und von Gerhardt die Bezeichnungen Platosammin bzw. Platinammin erhielten. Unter diesen Namen sind die vier Verbindungen noch jetzt bekannt.

Um weitere experimentelle Stützen für seine Auffassung der besprochenen Isomerien beizubringen, untersuchte Cleve das Verhalten der isomeren Salze zu Anilin (10), und fand, dass bei der Einwirkung dieser Base verschiedene Endproducte entstehen: Aus der mit Platosamminchlorid entstandenen Verbindung werden die beiden angenommenen Anilinmoleküle wieder leicht abgespalten, in der mit Platosemidiamminchlorid dargestellten bleibt hingegen ein Molekül Anilin zurück. Man erhielt also:



Der von Cleve hieraus hergeleitete Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassung der Isomerie ist wohl, wie Jörgensen später (Journ. für prakt. Chem. [2] 33, 489) zeigte, nicht bindend; jedoch dürften seine Versuche einen besseren Stützpunkt bieten für die jetzt wahrscheinlichsten Formeln der betreffenden Salze:



Noch heute ist bekanntlich keine Einigkeit bezüglich der Auffassung dieser Verbindungen erzielt. Jedenfalls bringen Cleve's Formeln eine der wesentlichsten Thatsachen, nämlich das verschiedene Verhalten des Chlors in den beiden isomeren Chloriden, gut zum Ausdruck. Ein interessantes Beispiel derselben Isomerie zwischen Säurecomplexen des Platins entdeckte später in Cleve's Laboratorium H. Söderbaum, der in seiner Doctordissertation 1888 zwei Serien von Platooxalylsalzen beschreiben konnte.

Dieser Untersuchung folgte 1871 eine neue, in welcher Cleve die Isomerie zwischen Magnus' Chlorür und einem braunen, von Peyrone entdeckten Salz aufklärte; für letzteres ergab sich die Formel  $2 \left( \text{Pt} \begin{array}{l} \text{NH}_3 \text{NH}_3 \text{Cl} \\ \text{NH}_3 \text{Cl} \end{array} \right) + \text{PtCl}_2$ , es erwies sich also als der erste Repräsentant der »Platosamminsemidiammine«. Die dieser neuen Serie entsprechenden »Platinamminsemidiammine« erhielt Cleve hieraus durch Oxydation.

Zehn Jahre früher hatte Lang interessante Platinverbindungen dargestellt, welche mehrere  $\text{NO}_2$ -Gruppen enthielten. Nachdem Cleve die Einwirkung von schwefliger Säure und Sulfiten auf Platosammin und Platosamidamminsalzen studirt hatte, betrachtete er alle diese Körperreihen unter demselben Gesichtspunkt, dass ihre  $\text{SO}_3$ -,  $\text{NO}_2$ -Gruppen sowie die CN-Gruppen in den Doppelcyanüren in der gleichen Weise an das Platinatom gebunden sind wie Ammoniak (12,13).

Alle seine experimentellen Resultate und Schlussfolgerungen über Platinammoniakverbindungen legte Cleve 1872 in einer zusammenfassenden Arbeit nieder: »On ammoniacal Platiumbases« (14). Er fügt hier alles über die Ammoniakverbindungen anderer Metalle Bekannte zu und entnimmt dem grossen Material folgenden Schluss: »Consequently, as a rule, the most positive metals seem to have the power to unite the greatest number of molecules of ammonia, but more negative metals, such as platinum, form the most stable amoniacal compounds.«

Trotz der Anforderungen, welche die Platinarbeiten an den unermüdlichen Experimentator stellten, fand er in jenen Jahren noch Zeit zu mannigfacher anderer Thätigkeit. Nachdem er von der Reise nach Paris, die wir bereits erwähnt haben, zurückgekehrt war, arbeitete er einige Monate im mineralogischen Laboratorium der Stockholmer Akademie der Wissenschaften. Unterstützt durch ein Stipendium trat er bereits im folgenden Jahr 1868 eine grössere Reise an, diesmal um die Geologie eines Theils des westindischen Archipels zu erforschen. Eine Frucht dieser Expedition war eine grössere verdienstvolle Publication über den geologischen Bau der Antillen (On the

Geology of the north eastern Westindia Islands. Vet. Akad. Handl. 1871). Bald nach seiner Rückkehr wurde er zum Adjunct am technologischen Institut (der späteren technischen Hochschule) ernannt. In dieser Stellung verblieb er, bis die chemische Professur in Upsala durch Svanberg's Rücktritt frei wurde. Als Adjunct in Stockholm entwickelte Cleve eine vielseitige schriftstellerische Thätigkeit; er gab die ersten seiner elementaren chemischen Lehrbücher heraus, denen später zahlreiche andere folgten, und verfasste populär-wissenschaftliche Aufsätze botanischen und geologischen Inhalts. In diese Zeit fällt auch der Beginn seiner Arbeiten über die seltenen Erden.

Die Chemie der seltenen Erden war von Alters her ein Lieblingsgebiet der schwedischen Forscher. Die Natur selbst hatte das sonst seltene Material im Norden gesammelt, und besonders der kleine Ort Ytterby in den Schären unweit von Stockholm war lange der bedeutendste Fundort für seltene Erdmineralien. Die grundlegenden Entdeckungen auf diesem Gebiet zu Anfang und Mitte des vorigen Jahrhunderts sind an nordische Namen geknüpft. Gadolin hatte aus der nach ihm benannten berühmten Steinart von Ytterby 1794 eine unbekannte Erde ausgeschieden, welche Ekeberg näher untersuchte und Yttererde nannte. Zu Beginn der Blüthezeit der Chemie in Schweden konnte Berzelius mit Hisinger die Entdeckung eines neuen Elementes, des Ceriums, im »rothen Tungstein« von Bastnäs anzeigen (1804). Weit später (1829) fand er noch ein unbekanntes Oxyd, die Thorerde, im Torit aus Brevig. Endlich sind noch die bedeutenden Entdeckungen Mosander's aus dieser Zeit zu erwähnen: die Lanthanerde und die Didymerde im Cerit, sowie die Theilung der Erde Gadolin's in die farblose Yttererde, die rosagefärbte Terbinderde und die durch ihr gelbes Oxyd ausgezeichnete farblose Erbinerde. Nach diesen aussergewöhnlichen Erfolgen war eine Periode des Stillstandes eingetreten; in diese Zeit fällt der Tod von Berzelius und die Auflösung seiner Schule. Schon früher hatte sich auf dem Continent die chemische Forschung anderen Aufgaben zugewandt, und die brennenden Fragen dieser Zeit standen mit der Erforschung der seltenen Erden kaum in Zusammenhang.

Im Spectroskop erhielt die Chemie der seltenen Erden ein neues, überaus werthvolles Hülfsmittel. Gladstone beobachtete das Absorptionsspectrum des Didyms, Bahr 1862 das des Erbiums. Delafontaine benützte die spectroskopische Prüfung zur Vertheidigung der von Berlin in Abrede gestellten Existenz des Terbiums. Bahr bestätigte in Bunsen's Laboratorium bald darauf Berlin's Resultate; Bahr und Bunsen fanden also in den Gadoliniterden nur zwei Oxyde: die Yttererde, mit farblosen Salzen ohne Absorptionsspectrum, und die Erbinerde (Terbinderde von Mosander), mit rosarothern Salzen,



deren Absorptionsspectrum von demjenigen des Didyms vollständig verschieden war. Trotzdem hielt Delafontaine seine Ansicht aufrecht.

In diesen Streit griffen nun Cleve und sein Mitarbeiter Höglund ein (15). Sie fanden keine Spur von Terbium in der von ihnen untersuchten Erde, welche sie in Yttrium- und Erbium-Oxyd zerlegten. Cleve und Höglund stellten zahlreiche neue Salze der beiden Erden dar, betrachteten aber nach altem Muster Yttrium und Erbium noch als zweiwerthige Elemente.

Wenige Jahre vorher hatte Mendelejeff der anorganischen Chemie einen Gedanken von ausserordentlicher Fruchtbarkeit geschenkt. Man hatte eine umfassende Regel erhalten für die Beurtheilung der experimentellen Resultate, und ihr theoretischer Inhalt wirkte naturgemäss überaus anregend auf die experimentelle Forschung. Mit der Schärfe, mit der Mendelejeff die Consequenzen aus seinem System zog — neue Befunde voraussagend und ältere kritisirend —, hatte der russische Gelehrte die Umstellung der meisten seltenen Erden, welche bis dahin als zweiwerthig galten, in die dritte Gruppe seines Schemas gefordert.

Die Prüfung des Mendelejeff'schen Systems und die Lösung neuer damit zusammenhängender Aufgaben lag jetzt im Interessengebiet der allgemeinen Chemie, und für das Specialstudium der seltenen Erden brach eine neue Entwicklungsperiode an. Es war also nicht merkwürdig, dass Cleve diesen Aufgaben, die in erster Linie einen sicheren und ausdauernden Experimentator erforderten, seine grosse Arbeitskraft zuwandte. Er nahm nicht nur das mit Höglund begonnene Studium des Yttriums und Erbiums wieder auf, sondern bearbeitete auch eingehend die Elemente Thorium, Lanthan und Didym. Bereits im Jahr 1874 hatte er eine umfangreiche Monographie über diese fünf Elemente fertig gestellt (16). Das übrig bleibende seltene Element Cerium wurde gleichzeitig unter Cleve's Leitung von Jolin einer genauen Untersuchung unterworfen. Als Resultat der so gewonnenen Kenntniss einer grossen Zahl von Verbindungen konnte Cleve angeben, dass Thorium sicher vierwerthig ist, während die übrigen fünf Metalle eine natürliche Gruppe von chemisch nahe verwandten Grundstoffen bilden, unter denen einerseits Cer und Lanthan, andererseits Yttrium und Erbium am nächsten verwandt und nach Maignac und Topsoe durchgehends isomorph sind, während das Didym eine vermittelnde Stellung einnimmt und theils mit der einen, theils mit der anderen Untergruppe isomorphe Salze bildet. Nimmt man also, wie es Cleve nach seinen experimentellen Ergebnissen geboten fand, das Lanthan als dreiwerthig an, so müssen auch die übrigen vier Erdmetalle als dreiwerthig betrachtet werden, und Cleve

fand diese Annahme durch die Darstellung vieler für dreiwertige Elemente charakteristischer Salze bestätigt. Trotz wiederholter Kritiken, unter denen die von Delafontaine und Wrouboff zu nennen sind, ist diese Auffassung die allgemein herrschende geworden und hat auch neuerdings durch die Versuche von Biltz eine kräftige Stütze gefunden.

Einige Jahre später — Cleve war inzwischen als ordentlicher Professor nach Upsala übersiedelt — veranlasste ihn ein experimentell schlecht begründeter Angriff von Frerichs und Smith, seine früheren Angaben über Lanthan- und Didym-Verbindungen zu kontrolliren (27). Er konnte dieselben durchaus bestätigen und äusserte bei Gelegenheit dieser Nachprüfung zum ersten Mal Zweifel an der Einheitlichkeit des Didyms: »Es dürfte nicht ausgeschlossen sein, dass ein neues Element im Didymoxyd enthalten ist, welches die braune Farbe veranlasst, die das Didymoxyd beim Glühen an der Luft annimmt.« Es war indessen bekanntlich Auer von Welsbach vorbehalten, durch die 1885 gemachte Entdeckung des Praseodyms die Richtigkeit der Cleve'schen Vermuthung zu beweisen.

In der nun anbrechenden Epoche erweiterten und klärten zahlreiche Entdeckungen und erfolgreiche Arbeiten die Kenntniss der seltenen Erden. Der Meisterhand Marignac's gelang es, im Jahr 1878 aus der alten Erbinerde ein neues, farbloses Oxyd, die Ytterbinerde auszuscheiden. Nilsson, der über grösseres Material als Marignac verfügte, bemühte sich unmittelbar, Ytterbiumoxyd in reinem Zustand zu gewinnen und entdeckte hierbei das Scandium, welches durch sein Funkenspectrum charakterisirt war. Da Cleve dasselbe Element in seinem aus Keilbanit und Gadolinit stammenden Material hatte, konnte er nur wenige Monate später (29) wichtige Mittheilungen über den neuen Grundstoff machen. Aus dem Studium einer Reihe von Salzen und dem zum ersten Mal bestimmten Atomgewicht des Scandiums gelangte Cleve zu dem wichtigen Ergebniss, dass Scandium mit dem von Mendelejeff vorausgesagten und charakterisirten Ekabor identisch ist. Damit war also das zweite der drei prophezeiten Elemente gefunden und zugleich der systematische Werth des periodischen Systems auf's deutlichste gezeigt; ist doch der Prüfstein jeder Theorie das, was sie vorauszusagen vermag.

Cleve wollte nun eine ytterbiumfreie Erbinerde untersuchen, fand aber kein constantes Atomgewicht und vermuthete aus diesem Grunde die Zerlegbarkeit der Erbinerde. Die spectroscopische Prüfung der verschiedenen Fractionen durch Thalén ergab, dass sich unter den Beimengungen in Cleve's Erbinerde zwei neue Elemente befanden, von denen eines seinem Atomgewicht nach zwischen Erbium und Yttrium,

also zwischen 166 und 89, das andere zwischen Erbium und Ytterbium — 166 und 173 — liegen musste. Cleve nannte das erstere Holmium, das letztere Thulium (30). Die für Holmium charakteristischen Bänder hatte kurz vorher Soret beobachtet und einem Element X beigelegt; die Unabhängigkeit der Entdeckung Cleve's wurde jedoch durch die Beibehaltung des nordischen Namens für Cleve's Erde anerkannt, welche übrigens sicher aus mehreren Componenten besteht.

Durch Hunderte von sehr mühevollen und langwierigen Fractionirungen konnte Cleve endlich 1880 eine sehr reine Erbinerde vom Atomgewicht 166 gewinnen, die nur mehr Spuren fremder Erden enthielt (31, 33). Dagegen erhielt er das ausserordentlich spärlich vorhandene Thulium nur im angereicherten Zustande (32). Noch aussichtsloser erschien eine auch nur angenäherte Reindarstellung der Holmiumoxyde. Die Verschiedenheit des Holmiums von Delafontaine's Philippium liess sich jedoch sicher feststellen.

Die späteren Arbeiten Cleve's über seltene Erden bestehen in genauen Revisionen seiner früheren Atomgewichtsbestimmungen des Yttriums, Lanthans und Didyms (36, 37, 38), welche in Rücksicht auf die seit 1874 gemachten Entdeckungen nothwendig erschienen. Die Verbindungsgewichte von Yttrium und Lanthan erfuhren nur unbedeutende Aenderungen; dagegen zeigte es sich, dass der früher für Didym angenommene Werth in Folge der Beimengungen des 1874 noch unbekanntes Samariums viel zu hoch war; die 1883 angestellte Untersuchung ergab den Werth 142, also nahezu den Mittelwerth der beiden später entdeckten Componenten Pr 140.5 und Nd 143.6. Demzufolge sah sich Cleve auch veranlasst, seine früheren mit samariumhaltigem Material ausgeführten Untersuchungen über die Salze des Didyms zu wiederholen (43). Dieser Arbeit folgte eine Untersuchung über das Verhalten der seltenen Erden zu Wasserstoffsperoxyd und die Darstellung mehrerer Superoxyde (40). Eine Monographie über das Samarium (39, 41, 42) enthält neben der Beschreibung vieler Salze eine Atomgewichtsbestimmung dieses Elementes. Die hohe Reinheit des dazu verwandten Materials zeigt sich aus der sehr guten Uebereinstimmung des Cleve'schen Resultates 150.02 ( $O=16$ ) mit denjenigen von Brauner, Bettendorff, sowie mit Urbain und Lacombe's neuem Werth 150.34.

Es war dies Cleve's letzte eigene Leistung auf dem Gebiet der seltenen Erden. Aber seine reiche Erfahrung kam auch in den folgenden Jahren einer für schwedische Verhältnisse nicht geringen Zahl von Schülern zu gut, welchen er sein werthvolles Material zur weiteren Bearbeitung überlassen konnte. So liegen die Resultate der letzten 7 Jahre in vier Monographien, über Praseodym (C. v. Schéele 1898),

über Ytterbium (Astrid Cleve 1902), über Gadolinium (C. Benedicks 1900), über Neodym (O. Holmberg 1903) vor, und dazu kommen die eingehenden und sehr interessanten spectroscopischen Untersuchungen, welche S. Forsling an Material aus dem Upsalienser Laboratorium angestellt hat. (Bih. Svenska Vet. Akad. Handlingar 1892—1899). Besonders zu erwähnen ist hier Forsling's Bearbeitung eines holmiumhaltigen Materials, das A. Langlet in 12 Fractionen zerlegt hat. (Bih. Svenska Vet. Akad. Handl. 28 No. 1, 1902).

Wie Cleve selbst, so hat auch seine Schule in erster Linie erstrebt, durch vergleichende chemische und physikalische Untersuchungen an einer grossen Zahl von Verbindungen der seltenen Erden deren gegenseitige Stellung kennen zu lernen. Cleve's Verdienste um diesen Zweig der chemischen Forschung hat die Royal Society in London 1894 mit der Davy-Medaille belohnt.

Wieder ist der Platz der seltenen Erden im periodischen System durch Retger's und Brauner's interessante Idee ein Problem der allgemeinen Chemie geworden, und andererseits ist die Kenntniss der seltenen Erden durch die moderne Beleuchtungstechnik zu ungeahnter praktischer Bedeutung gelangt. So ist zu hoffen, dass dieses Gebiet, das Cleve so lange und emsig bearbeitet hat, noch weitere Früchte wird zeitigen können.

Als Cleve 1874 die Leitung des chemischen Laboratoriums zu Upsala übernahm, wollte er dort auch der organischen Chemie, die ja zu höchster Blüthe gekommen war, den ihr zukommenden Platz schaffen. Da zu dieser Zeit sich auch kein jüngerer Lehrer mit organischer Chemie beschäftigte — Nilsson war damals Docent und arbeitete anorganisch —, musste sich Cleve selbst mit der organischen Forschung vertraut machen.

Als Arbeitsfeld wählte er das grosse Gebiet der Naphtalinverbindungen; diese waren fast nur durch die grundlegenden Arbeiten von Laurent bekannt, und zahlreiche isomere Formen harrten erst noch der Entdeckung und Aufklärung. Besonders wollte Cleve die Constitution der auf verschiedenen Wegen gewonnenen Nitrosulfonsäuren bestimmen. Er hatte zunächst die Absicht, sie über Amino-, Diazo-, Chlor- und Cyan-Derivate in Dicarbonsäuren (Phtalsäuren) zu verwandeln oder über die Oxysulfonsäuren in Diphenole. Indessen fand er bald, dass der einfachste Weg zur Constitutionsbestimmung über die Dichlornaphtaline ging, nachdem er und Atterberg sich von der Anwendbarkeit der Methoden von Carius sowie von de Koninck und Marquart für den erwähnten Zweck überzeugt hatten; bekanntlich bestehen diese Methoden in der Ueberführung von Nitro- und Sulfonsäure-Derivaten mit Phosphorpentachlorid in Chlornaphtaline.

In den 18 Jahren, über welche sich die Naphtalarbeiten von Cleve und seinen Schülern erstrecken, bildeten auch die Dichlornaphtaline die wichtigsten experimentellen Stützpunkte und wurden eingehend studirt. Von den zehn möglichen Isomeren waren vor Cleve's Arbeiten nur zwei sicher bekannt. Cleve selbst stellte sechs Dichlornaphtaline und Atterberg in seinem Laboratorium zwei dar. Diese sind:

Bezeichnung		Schmp.	Entdecker	Bezeichnung		Schmp.	Entdecker
Cleve's	Neue			Cleve's	Neue		
$\beta$	1.4	68°	Faust, Saame 1876	$\eta$	1.6	48°	Cleve 1876
$\gamma$	1.5	107°	Atterberg 1876	$\theta$	1.7	61°	Cleve 1876
$\delta$	2.7	114°	Cleve 1876	—	1.3	61°	Cleve 1886
$\varepsilon$	2.6	135°	Cleve 1876	—	1.2	34°	Cleve 1887
$\zeta$	1.8	83°	Atterberg 1876	$\tau$	2.3	120°	Leeds und Everhart.

Die schon an sich langwierige Arbeit wurde noch dadurch erschwert, dass zwei der Isomeren (1.7 und 1.5) nahezu denselben Schmelzpunkt besitzen. Ihre Verschiedenheit und Constitution konnte erst 1890 definitiv festgestellt werden.

Die von Cleve dargestellten Nitrosulfonsäuren, deren Constitution er mit Hülfe der entsprechenden Dichlornaphtaline bestimmen konnte, sind die folgenden: 1.5( $\alpha$ ), 1.6( $\beta$ ), 1.3( $\gamma$ ), 1.7( $\delta$ ), 1.8 und 1.4. Alle diese sechs durch Nitrirung von Sulfosäuren gewonnenen Producte sind  $\alpha$ -Nitroverbindungen. Cleve reducirte sie zu den entsprechenden, für die Farbstofffabrication wichtig gewordenen Aminosäuren, unter denen speciell die 1.6- und die 1.7-Säure in der Technik als Cleve'sche Naphtylaminsulfosäuren bekannt sind.

Als Landshoff und Meyer eine eigenthümliche Umlagerung der naphtionsauren Salze durch Erhitzen entdeckt hatten, zeigte Cleve 1891, dass hierbei ein Uebergang der 1.4-Naphtylaminsulfosäure in das 1.2-Isomere stattfindet, also in das letzte noch unbekanntes der sieben möglichen  $\alpha$ -Isomeren (59).

Ferner stellten Cleve und sein Schüler Arnell folgende der vierzehn möglichen Chlornaphtalinsulfonsäuren dar: 1.4, 2.6 und 2.8 (Arnell 1883—1885), 1.5, 1.6, 1.3, 1.2 und 1.7 (Cleve 1886—1892) und endlich mehrere Nitrochlornaphtalinsulfonsäuren, deren Constitution durch Ueberführung in Trichlornaphtaline bestimmt wurde.

Auch Cleve's Schüler haben zur Kenntniss der Naphtalinderivate werthvolle Beiträge geliefert; Atterberg, welcher unter anderem das Vorhandensein von vier verschiedenen  $\alpha$ -Stellungen im Naphtalin nachgewiesen hat, ist bereits erwähnt worden; wir erinnern nur in aller Kürze an die Arbeiten von Jolin, Widman, Ekstrand, Forsling

und Ekbohm. Indessen blieb Cleve's Thema keineswegs das einzige Arbeitsgebiet des Upsalienser Laboratoriums, zumal Cleve die eigene Forschungslust der junger Chemiker sich in vollster Freiheit entwickeln liess. Obwohl Cleve niemand zur akademischen Laufbahn zu ermuntern pflegte, ist doch gerade aus seinem Institut eine stattliche Reihe jüngerer Lehrkräfte hervorgegangen, die ihrerseits zur Vielseitigkeit der chemischen Interessen des Instituts beitragen. So hatte O. Widman — welcher seit 1885 als ausserordentlicher Professor im Upsalienser Laboratorium thätig war — die Cumingruppe aufgeklärt, und der leider so früh verstorbene Bladin, welcher als Assistent in Upsala die Tetrazole entdeckte, wird stets einen ehrenvollen Platz unter den Chemikern seines Vaterlandes einnehmen.

Unter den noch nicht erwähnten anorganischen Arbeiten ist in erster Linie der Untersuchung zu gedenken, welche A. Langlet über die im Cleveit enthaltenen Gase angestellt hat. Aus einem von A. E. Nordenskjöld 1878 beschriebenen, nach Cleve benannten Mineral glaubte Hillebrand 1890 Stickstoff gewonnen zu haben. Einige Zeit nach der Entdeckung des Argons veranlasste Cleve seinen Schüler Langlet zu einer nochmaligen Untersuchung des Cleveitgases. Als indessen diese Untersuchung, deren Beginn sich etwas verzögert hatte, im Gang war, erhielt Cleve die Mittheilung, dass Ramsay einstweilen Helium (und später Argon) im Cleveit gefunden hatte. Langlet benutzte die ihm zu Gebote stehende Heliummenge zu einer Atomgewichtsbestimmung und erhielt zum ersten Mal den jetzt angenommenen Werth  $He = 4.0$ , während Ramsay, dessen Cleveitgas stark verunreinigt war, kurz vorher ein beinahe doppelt so grosses Atomgewicht gefunden hatte. (Öfv. 10. April und 12. Juni 1895.)

Auch Svante Arrhenius hat seine Ausbildung in der reinen Chemie in Cleve's Laboratorium erhalten. Doch fesselte weder die dort gepflegte beschreibende Richtung der chemischen Forschung den jungen Arrhenius, welchen damals die Probleme der Verwandtschaftslehre beschäftigten, noch vermochten seine Fachgenossen den neuen Ideen zu folgen, die Arrhenius 1884 in seiner Doctor dissertation zusammenfasste: es waren die Grundzüge der Dissociationstheorie.

Als sich wenige Jahre später die Früchte der modernen chemischen Dynamik und der Lösungstheorien deutlich zeigten, stand Cleve der neuen Schule keineswegs ablehnend gegenüber. Aber heimisch hat er sich auf dem Fahrwasser, das in's Gebiet der Physik führte, auch nicht gefühlt, als Mitte der 90er Jahre die physikalische Chemie mit der allgemeinen Annahme ihrer Lehren ihren Höhepunkt erreicht hatte. Die organische Chemie hatte sich einstweilen grossen Problemen theoretischer Art oder der Biologie zugewandt — Aufgaben, deren

Lösung nur mit mehr Hilfskräften, Zeit und Mitteln zu hoffen war, als sie Cleve zur Verfügung standen.

So kam es, dass Cleve seine noch jugendliche Lust zur Beobachtung und seine unermüdliche Arbeitskraft hinfort ganz dem Studium des Planktons widmete und somit zu dem Lieblingsgebiet seiner Lehr- und Wanderjahre zurückkehrte, das er gelegentlich immer wieder bearbeitet hatte.

Schon früh waren speciell die Süsswasseralgen Gegenstand seiner Forschung geworden, und 1868 hatte er eine Monographie der schwedischen Zygnemalceen geschrieben. Bald aber ging er zu den Kieselalgen, den Diatomeen, über, und mit der Zeit wurde er einer der hervorragendsten Kenner dieser Klasse und entdeckte eine ausserordentlich grosse Anzahl neuer Formen. Unter seiner grossen literarischen Production auf diesem Gebiet kann hier nur seine »Synopsis of the naviculoid Diatoms« erwähnt werden.

Seine eingehende Kenntniss der Diatomeen hat Cleve auf zweierlei Weise zur Entwicklung anderer Wissenschaften verwerthet.

Für die Geologie wurden die Diatomeen ein gutes und einfaches Hilfsmittel, ältere Lager zu bestimmen, nachdem Cleve die wichtigsten Leitformen ausgewählt und ihr Vorkommen studirt hatte.

Eine gründliche Prüfung der Frage, inwieweit sich das Plankton für die Bestimmung der Natur und des Ursprunges von Meeresströmungen verwenden lässt, war das Ziel für Cleve's biologische Forschung in den letzten 10 Jahren. Von 1896–1904 untersuchte er regelmässig das periodisch wechselnde Plankton des Skageraks und der Nordsee. In einer umfangreichen Arbeit: *Seasonal Distribution of the Atlatic Plankton Organisms* (Göteborg 1901) ordnete er alle bekannten geographischen Daten der verschiedenen Formen, um die biologischen Bedingungen ihres Vorkommens, also ihren Werth für die Erkenntniss der Strombewegungen, festzustellen. Schon früher hatte er in einer grundlegenden Arbeit das Meeresplankton in verschiedene Haupttypen eingetheilt (*A Treatise of the Phytoplankton*, Upsala 1897). Die Anerkennung, die er auf diesem seinem Lieblingsgebiet fand — so war er Ehrenmitglied der Royal Microscopical Society —, hat Cleve, der sonst auf Auszeichnungen wenig Werth legte, grosse Freude gemacht.

Die erwähnten Untersuchungen füllten die ganze Zeit aus, die Cleve nach dem Unterricht noch übrig behielt. Auch in den Jahren seiner Planktonforschung las er sorgfältig die chemische Literatur und referirte in Vorlesungen für ältere Studenten die Fortschritte der Chemie; seine elementaren Vorlesungen zeichneten sich durch Einfachheit und Klarheit der Darstellung aus. Weniger Freude scheint Cleve an den langen Lehrerrathssitzungen der altehrwürdigen Universität

gehabt zu haben; seine Reformlust muss manchmal in Gegensatz zu den conservativen Tendenzen des Consistoriums und der Facultät gekommen sein, in der er durch die Beweglichkeit seiner Urtheile bald isolirt stand.

So vertheilte sich sein Leben zwischen Laboratorium und Arbeitszimmer; unter Collegen sah man ihn selten. Nicht dass Cleve alt und mürrisch geworden wäre; im Gegentheil liebte er es, nach arbeitsreichen Tagen sich in humorvollem Gespräch mit seiner Familie oder dem einen und anderen guten Freunde zu erholen. Da zeigte sich seine absolut objective Auffassung von Welt und Menschen, von grossen und kleinen Fragen; ihm ist die Persönlichkeit jedentalls nicht das höchste Glück gewesen. Seine heitere Ironie ergoss sich dann über alle, denen starre Principien und Leidenschaftlichkeit unnöthigen Kummer machten, und über wissenschaftliche Pedanterie nicht weniger als über religiöse und sociale Vorurtheile; er selbst dachte frei im weitesten Sinne des Wortes, und unbeugsam war nur seine Gerechtigkeit.

Gern benutzte Cleve jede Gelegenheit, nach Stockholm herüberzukommen. Er war seit 1872 Mitglied der Stockholmer Akademie der Wissenschaften und nahm an ihren Sitzungen ziemlich regelmässig theil; auch freute er sich, dann und wann im Ausland frische Luft schöpfen zu können und im Continent oder in England bekannte Fachgenossen zu treffen.

Der absolute Mangel jeden äusseren Ehrgeizes liess ihn an akademischen und sonstigen Ehrenstellen nur den damit verbundenen Zeitverlust würdigen. Nur an den Arbeiten des Nobel-Comités für Chemie, dessen Vorsitz er bis zu seiner Erkrankung führte, hat er mit Freude und Interesse theilgenommen.

In Schweden sind die Professoren berechtigt, mit 65 Jahren ihren Abschied zu nehmen, und Cleve hatte sich schon Jahre vorher auf die Zeit gefreut, wo er sich ganz ungestört der Planktonforschung würde hingeben können. Er durfte um so mehr auf viele Jahre erfolgreicher Thätigkeit rechnen, als er sich seine gute Gesundheit und Frische während seines ganzen Lebens durch Mässigkeit bewahrt hatte. Diese Hoffnung sollte sich nicht erfüllen. Nur wenige Monate vor seinem Abschied genoss er einen erbetenen Urlaub und siedelte nach Göteborg über, das er sich wegen der Nähe der Westküste und der hydrographischen Station zu Bornö zum Aufenthalt ausersehen hatte. Im December 1904 erkrankte er plötzlich an Pleuritis. Optimistisch wie immer, maass er mehrere Monate der Krankheit keine Bedeutung zu und bedauerte nur, zur Unthätigkeit gezwungen zu sein. Aber auf seinem Krankenlager war auch das Herz angegriffen worden,





18. Sur les combinaisons de cyanure de mercure avec les sulfocyanates. Bull. [2] 23, 1, 71 [1875].
19. Ueber Sulfonaphtalid. Öfv. 1876, No. 3 (S.) und Bull. [2] 25, 256 [1876].
20. Ueber die Einwirkung von Phosphorpentachlorid auf  $\beta$ -Naphtol. Mit Juhlin-Dannfelt. Öfv. 1876, No. 3 (S.) und Bull. [2] 25, 258 [1876].
21. Ueber zwei neue Modificationen von Dichlornaphtalin. Öfv. 1876, No. 7 (S.) und Bull. [2] 26, 244 [1876].
22. Ueber die Constitution der Naphtionsäure. Öfv. 1876, No. 7 (S.).
23. Ueber  $\beta$ -Nitronaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1876, No. 7 und Bull. [2] 26, 444 [1876].
24. Ueber  $\gamma$ -Dichlornaphtalin und Bromchlornaphtalin. Öfv. 1876, No. 9 (S.).
25. Ueber  $\vartheta$ -Nitronaphtalinsulfonsäure und  $\vartheta$ -Dichlornaphtalin. Öfv. 1876 und Bull. 29, 492 [1878].
26. Ueber einige Derivate von  $\eta$  Dichlornaphtalin. Öfv. 1878, No. 5 (S.) und Bull. [2] 29, 499 [1878].
27. Ueber einige Lanthan- und Didym-Verbindungen. Öfv. 1878, No. 5 (S.) und Bull. [2] 29, 492 [1878], sowie diese Berichte 11, 910 [1878].
28. Ueber die Chlorostannate der seltenen Erden. Öfv. 1879, No. 2 (S.) und Bull. [2] 31, 195 [1879].
29. Ueber Scandium. Öfv. 1879, No. 7 (S.) und Bull. [2] 31, 486 [1879], sowie Compt. rend. 89, 419 [1879].
30. Ueber die Gegenwart zweier neuen Elemente in der Erbinerde. Öfv. 1879, No. 7 (S.) und Compt. rend. 89, 478 [1879].
31. Ueber die Erbinerde. Compt. rend. 89, 708 [1879].
32. Ueber Thulium. Öfv. 1880, No. 7 (S.) und Compt. rend. 91, 328 [1880].
33. Ueber Erbinerde. Öfv. 1880, No. 7 (S.) und Compt. rend. 91, 381 [1880].
34. Ueber die Oxydationsproducte der Cholalsäure, Compt. rend. 91, 1037 [1880] und Öfv. 1881, No. 3 (S.), sowie Bull. [2] 35, 373 [1881].
35. Ueber Choloïdänsäure. Öfv. 1882, No. 4 (S.) und Bull. [2] 38, 131 [1882].
36. Ueber das Atomgewicht des Yttriums. Öfv. 1882, No. 9 (S.) und Bull. [2] 39, 120 [1883].
37. Ueber das Atomgewicht des Lanthans. Öfv. 1883, No. 2 (S.) und Bull. [2] 39, 151 [1883].
38. Ueber das Atomgewicht des Didyms. Öfv. 1883, No. 2 (S.) und Bull. [2] 39, 289 [1883].
39. Ueber Samarium. Compt. rend. 97, 94 [1883] und Öfv. 1883, No. 7 (S.), sowie Transact. chem. Soc. 43, 362 [1883].
40. Ueber die Einwirkung des Wasserstoffsperoxyds auf die seltenen Erden. Öfv. 1885, No. 1 (S.) und Bull. [2] 43, 53 [1885].
41. Ueber Verbindungen des Samariums. Öfv. 1885, No. 1 (S.).
42. Contribution to the knowledge of samarium. {Acta Soc. Scient. Ups., Ser. III, Vol. 13 und Bull. [2] 43, 162 [1885].
43. Contribution to the knowledge of didymium. Acta Soc. Scient. Ups., Ser. III, Vol. 13 und Öfv. 1885, No. 1 [2]. sowie Bull. [2] 43, 359 [1885].
44. Action de la benzaldehyde sur l'hydrazobenzol. Bull. [2] 43, 188 [1886].
45. Ueber eine neue Nitronaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1886, No. 7 (S.) und diese Berichte 19, 2179 [1886].

46. Ueber einige Chlornaphtalinsulfonsäuren. Öfv. 1886, No. 10 (S.) und diese Berichte 20, 72 [1887].
  47. Ueber eine Verbindung von Chinaldin mit Formamid. Öfv. 1886, No. 10 (S.) und diese Berichte 20, 76 [1887].
  48. Ueber die Einwirkung von Chlor auf Acet- $\alpha$ -naphtalid. Öfv. 1887, No. 2 (S.) und diese Berichte 20, 448 [1887].
  49. Ueber Sulfimidverbindungen. Öfv. 1887, No. 5 (S.) und diese Berichte 20, 1534 [1887].
  50. Ueber die Einwirkung von Chlor auf Acet- $\beta$ -naphtylamin. Öfv. 1887, No. 7 (S.) und diese Berichte 20, 1939 [1887].
  51. Ueber die Einwirkung von Chlor auf  $\alpha$ - und  $\beta$ -Naphtol. Öfv. 1888, No. 2 (S.) und diese Berichte 21, 891 [1888].
  52. Ueber die Sulfimidverbindungen. Diese Berichte 21, 1099 [1888].
  53. Ueber  $\beta$ -Amidonaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1888, No. 5 (S.) und diese Berichte 21, 3264 [1888].
  54. Ueber  $\gamma$ -Amidonaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1888, No. 5 (S.) und diese Berichte 21, 3271 [1888].
  55. Ueber die Einwirkung der Salpetersäure auf Naphtalin- $\alpha$ -sulfonsäure. Öfv. 1889, No. 5 [1889].
  56. Ueber einige Derivate des 1.3-Dichlornaphtalins. Öfv. 1890, No. 3 und diese Berichte 23, 954 [1890].
  57. Ueber 1.8-Nitronaphtalinsulfonsäure. Diese Berichte 23, 958 [1890].
  58. Ueber 1.8-Chlornaphtalinsulfonsäure. Diese Berichte 23, 962 [1890].
  59. Ueber  $\alpha_1\beta_1$ -Amidonaphtalinsulfonsäure und ihre Derivate. Öfv. 1891, No. 8 (S.) und diese Berichte 24, 3472 [1891].
  60. Ueber 1.6.4-Dichlornaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1891, No. 8 (S.) und diese Berichte 24, 3477 [1891].
  61. The formation of an explosive substance from ether. Proc. chem. Soc. 1891, 15.
  62. Ueber 1.2-Dicyannaphtalin und 1.2-Naphtalindicarbonsäure. Öfv. 1892, No. 9 und diese Berichte 25, 2475 [1892].
  63. Beiträge zur Kenntniss der Monochlornaphtalinsulfonsäuren. Öfv. 1892, No. 9 und diese Berichte 25, 2479 [1892].
  64. Ueber 1.2.7-Nitrochlornaphtalinsulfonsäure. Öfv. 1892, No. 9 und diese Berichte 25, 2485 [1892].
  65. Ueber isomere Nitrochlorsulfonsäuren des Naphtalins I, II, III. Öfv. 1893, No. 2, 3, 5 [1893].
  66. Sur la présence de l'hélium dans la clévéite. Compt. rend. 120, 834 [1895].
  67. Sur la densité de l'hélium. Compt. rend. 120, 1212 [1895].
- Carl Wilhelm Scheele, ein Gedenkblatt (S.). [Köping, 1886.]  
 The life-work of Marignac. Trans. chem. Soc. 67. [1895].  
 Metaux des terres rares in Frémy's Encyclopédie chimique. [1884.]
- Cleve's Arbeiten biologischen Inhaltes finden sich zum grössten Theil — in englischer Sprache verfasst — in den Schriften der schwedischen Akademie der Wissenschaften und der schwedischen hydrographischen Commission.