



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Een gedreven buitenstaander: J.H. van 't Hoff de eerste Nobelprijswinnaar voor Scheikunde

Berg, R.E. van den

Citation

Berg, R. E. van den. (2021, October 6). *Een gedreven buitenstaander: J.H. van 't Hoff de eerste Nobelprijswinnaar voor Scheikunde*. Uitgeverij Prometheus, Amsterdam. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3214868>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3214868>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

16

Dementia salis

Hier heb ik de laatste hand gelegd aan mijn nieuwe editie van de Atomlagerungen, en breng ik net in het tweede deel het allerlaatste over de zouten samen, een activiteit die mijn jongste zoon niet geheel onjuist als ‘dementia salis’ aanduidt. – J.H. van 't Hoff¹

Een nieuwe start

Nadat hij zich met zijn gezin had geïnstalleerd in zijn woning in Berlijn, was Van 't Hoff in de lente van 1896 op zoek gegaan naar een tweede huis, dat als laboratorium moest gaan dienen. Ministerialdirektor Friedrich Althoff had nog wel even geprobeerd om geld te besparen door Van 't Hoff ‘kosteloos’ een laboratorium aan te bieden in het Hygiene Institut van de Friedrich-Wilhelms-Universität, maar dat had Van 't Hoff afgewezen. Hij wilde per se in de buurt van zijn eigen woning een aantal kamers inrichten.² Die vond hij al snel een eindje verderop in de straat. Het huis was vrij landelijk gelegen aan het einde van de Uhlandstrasse (nummer 39, op de hoek met de Lietzenburgerstrasse), precies op de zogenaamde Drei-Gemeinden-Ecke, de plaats waar drie ‘gemeentes’, Berlijn, Charlottenburg en Wilmersdorf samenkomen. Het beschikte over een tuin en een groot grasveld, dat later door de medewerkers als tennisbaan zou worden gebruikt. Wat hij daar wilde gaan doen, wist hij nog niet: ‘Mijn eerste gedachte was, dat God nu wel eens wat helpen kon, ik zelf was toch met “Kind und Kegel” van het eene vaderland getrokken naar het andere; de afwachting daarvan bood een uitnemende gelegenheid om de bekoringen der nieuwe omgeving te leren kennen.’³ Veel tijd voor het verkennen van de omgeving kreeg hij echter niet.

In principe stonden hem drie mogelijke onderzoekslijnen voor ogen. Alle drie bouwden ze voort op onderzoek dat hij in Amsterdam was begonnen. Allereerst was daar wat hij het *oxidatieprobleem* noemde, de samenhang tussen de zuurstofdruk en de snelheid van een oxidatiereactie. Dat besloot hij te laten rusten, omdat daarvoor nogal verfijnde metingen – en daarvoor geschikte apparatuur – nodig waren, die hij in zijn nog in te richten ‘huislaboratorium’ niet goed dacht te kunnen doen. Een tweede mogelijke onderzoeksrichting was het probleem van de splitsing van zogeheten *racematen*, dubbelkristallen van optisch actieve verbindingen. In 1895 was dat het laatste onderzoek geweest waar hij zich in Amsterdam mee had beziggehouden en hij beschouwde dit onderwerp dan ook zo goed als opgelost.⁴ Het bood derhalve onvoldoende basis voor een onderzoeksprogramma dat langere tijd in beslag zou nemen, al zou hij het later (in de periode 1897-1899) met een aantal medewerkers in Berlijn toch weer even oppakken.⁵ Ook een derde onderzoeks-

richting, de vorming van dubbelzouten, zou een voortzetting betekenen van werk dat hij al in Amsterdam – met Van Deventer – was begonnen. Dat kwam eerder in aanmerking om mee verder te gaan, al realiseerde hij zich terdege dat ‘het probleem van de vorming van dubbelzouten bij toepassing op de *natuurlijke* vorming van zoutlagen tot een omvangrijke klus zou leiden.’⁶ Zo eenvoudig was de keuze dus niet, al zou het toeval een handje helpen.

Eind maart 1896 stond namelijk ‘als uit de lucht gevallen’ een oude kennis, Wilhelm Meyerhoffer, in Berlijn voor zijn neus. Die was in 1888 als student van Ostwald uit Leipzig naar Amsterdam gekomen en had in het laboratorium van Van ’t Hoff onderzoek gedaan naar dubbelzouten van koperchloride en kaliumchloride.⁷ Omdat een promotie in Amsterdam niet mogelijk was, vanwege de specifieke eisen die het Nederlandse universitaire systeem stelde, was hij in Leipzig gepromoveerd en in 1891 als privatdocent in Wenen gaan werken aan zijn *Habilitation*. Daar had hij ook een Duitse bewerking gemaakt van Van ’t Hoffs boek over stereochemie, *Dix années dans l’histoire d’une théorie*, dat in 1892 was verschenen.⁸ De contacten waren weer aangehaald in de zomer van 1895, toen Meyerhoffer Van ’t Hoff geluk had gewenst met diens benoeming tot lid van de orde Pour le Mérite. Toevallig was juist in die tijd Van ’t Hoffs aandacht gevallen op een artikel van Meyerhoffer over de vorming van zoutkristallen. Deze had daarin verwezen naar de enorme zoutafzettingen zoals die bijvoorbeeld in Stassfurt in midden-Duitsland en Wieliczka, in de buurt van Krakow, waren gevonden en op industriële schaal werden geëxploiteerd.⁹ In zijn artikel schreef Meyerhoffer dat voor een gedetailleerde verklaring van het ontstaan van die zoutlagen systematisch onderzoek nodig was naar de oplosbaarheid en evenwichtsverhoudingen van zouten in oplossing, en Van ’t Hoff had hem per brief aangemoedigd dat werk op te pakken. Hij zou daarmee voort kunnen bouwen op het werk dat hij zelf in Amsterdam had gedaan.¹⁰

Meyerhoffer had de aansporing van Van ’t Hoff ter harte genomen, alleen niet op de manier die Van ’t Hoff voor ogen had gestaan. Hij was naar Berlijn gekomen en stelde daar aan Van ’t Hoff voor om *samen* aan dit onderwerp te gaan werken. Verder ‘verklaarde [hij] zich bereid een laboratoriumsdiensdienst te organiseren en bracht aldaar een volledige laboratorium-inrichting, assistentie inclusief naar Berlijn-Wilmersdorf over’.¹¹ Daarmee lag Van ’t Hoffs keuze vast. Hij besloot het onderzoek voort te zetten waar hij eind jaren tachtig samen met Van Deventer aan was begonnen. Toen hadden ze onderzoek gedaan aan het overgangspunt bij de vorming van het dubbelzout *astrakaniet* ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), werk dat later was voortgezet door een van zijn promovendi, Jochum van der Heide¹² en nog weer later door een Duitse chemicus, die enige tijd in het laboratorium in Amsterdam had gewerkt, Richard Löwenherz.¹³ In 1889 had ook de Leidse hoogleraar Van Bemmelen, net als Meyerhoffer later, gewezen op het belang van dit soort onderzoeken:

Zoo komt het mij voor dat de weg is aangegeven om op te sporen en te verklaren, hoe in de natuur de mineralen chemisch gevormd en uit de moederstoffen zijn afgescheiden, en hoe de grondstoffen en hare verbindingen aan de oppervlakte der aarde hier opgehoopt, ginds verspreid worden. [...] Verplaats u in de bekende mijnen van Stassfurt.¹⁴

Dit laatste aspect, de mogelijkheid van industriële toepassingen, had Van 't Hoff altijd zeer aangesproken. Eind 1890 verzuchtte hij al tegenover Arrhenius: 'Het is alleen zo jammer dat waar de chemisch-chemici altijd nog in de industrie een mooi werkterrein vinden met goud in de grond, de fysisch-chemici altijd wat verder weg staan, vooral diegenen die uitsluitend de grootste verdunning zoeken, omdat er nu eenmaal met sterk verdunde oplossingen weinig te doen valt.'¹⁵ Eenmaal in Berlijn voelde hij blijkbaar de vrijheid om onderzoek te gaan doen dat wellicht ook tot praktische toepassingen kon gaan leiden: 'Misschien komt het nog eens tot een erg aardige samenwerking tussen zuiver wetenschappelijke onderzoeken en grote ondernemingen,' zo schreef hij Arrhenius hoopvol.¹⁶ Een paar maanden eerder had hij tijdens de Naturforscherversammlung, de jaarlijkse bijeenkomst van de Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte de daad bij het woord gevoegd:

Wat ik vooral van mijn bezoek te Frankfurt als resultaat heb meegebracht is de wijze waarop industrie en zuivere wetenschap samenwerken; ook ik begon reeds kleine liaisons in die richting aan te knopen, waaruit wellicht iets voortkomt.¹⁷

Maar welk onderwerp hij ook koos, het allerbelangrijkste was dat hij zich helemaal kon wijden aan wetenschappelijk onderzoek: 'Godzijdank heb ik hier geen last meer van die eeuwige gang naar het instituut met zijn niet aflatende stroom kleine en grote onaangenaamheden.'¹⁸ Waar die uit bestonden wordt duidelijk uit een latere brief aan Ostwald:

Ik wilde in het instituut alles altijd zelf nagaan en ben daarnaast erg gevoelig voor viezigheid en stank, terwijl ik me anderzijds in een zaal vol praktikanten niet erg op mijn gemak voelde en daardoor ook voor het geven van speciale aanwijzingen minder geschikt was.¹⁹

Om te concluderen: 'Ik mis het instituut niet en verlang er ook niet naar terug.' En in een interview een jaar na zijn vertrek zei hij: 'Zoo lief als mij Amsterdam is om het artistieke schoon en den kring van vrienden, toch moet ik wat de wetenschap aangaat de millioenenstad der intelligentie, het Spree-Athene den palm toekennen.'²⁰ Geen wonder dus dat hij in juli 1899 een verzoek om de leerstoel chemie in Wenen van de net overleden Hugo

Weidel over te nemen, en daarmee ook directeur te worden van het scheikundig laboratorium aldaar, onmiddellijk had afgewezen.²¹ Zelfs de lokroep van zijn geliefde Utrechtse universiteit in 1902 kon hem niet vermurwen zijn positie te verlaten. Telkens gaf hij de voorkeur aan zijn huidige positie als Akademiehoogleeraar in Berlijn en dat deed hij altijd op basis van hetzelfde argument, dat hij simpelweg de verantwoordelijkheid voor een grote groep studenten en medewerkers en het geven van vele uren college per week een te zware verplichting vond. In Berlijn wilde hij dan ook uitsluitend samenwerken met ervaren praktikanten. Hij had verder nauwelijks onderwijsverplichtingen en daardoor tijd genoeg om conferenties te bezoeken, iets waar hij enorm van genoot.

De eerste periode in Berlijn verschaftte hem ook direct gelegenheid tot het schrijven van nieuwe boeken. Zo legde hij de laatste hand aan een collegedictaat over zijn eerdere onderzoek aan dubbelzouten, waar hij al tijdens zijn lange wandelvakantie in Duitsland in de tweede helft van 1895 aan was begonnen.²² Of zoals oudste dochter Jenny dat uitdrukte: 'Papa schreef hier in Weesen zijn dubbelzoutjes af.'²³ Zijn huisuitgever Vieweg betaalde hem er de 'niet onbeduidende som' van 1000 mark voor, waarvoor Jenny een vleugel aanschafte. Toen de huisbaas echter zag dat die werd afgeleverd, moest hij volgens Van 't Hoff hebben gedacht: 'Den Vanthoffs geht's gut', waarna hij de jaarlijkse huur met 400 mark verhoogde.²⁴ Ook had hij inmiddels zijn eerste colleges gegeven,²⁵ wat ook weer tot tastbare resultaten zou leiden. In 1898 verscheen het eerste deel van zijn *Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie*, opnieuw bij Vieweg, gevolgd door nóg twee delen in de daaropvolgende jaren.²⁶ Volgens Cohen waren ze niet eenvoudig en vroegen ze veel van de aandacht van de lezer, waarbij ook de beknopte stijl van Van 't Hoff niet echt hielp.²⁷ Desondanks werden ze erg goed ontvangen en vertaald in het Engels, Frans en Russisch.²⁸ Ook volgde al in 1901 en 1903 een tweede druk.

De Stassfurter kali-industrie

Wat waren nu die zoutafzettingen waar Van 't Hoff meer dan tien jaar lang onderzoek aan zou gaan doen? Al sinds de Middeleeuwen werd bij de plaats Stassfurt in midden-Duitsland, ten zuiden van Maagdenburg, zout gewonnen door water afkomstig uit zoute bronnen te laten verdampen. Toen men er rond 1840 boringen begon uit te voeren, stuitte men op dikke lagen *steenzout*, dat we het beste kennen als keukenzout. Het was daar echter niet in zuivere vorm aanwezig, maar gemengd met andere zouten. Nadat besloten was het steenzout te gaan winnen, kon in 1852 de eerste zoutmijn in bedrijf worden genomen.²⁹ De zogeheten *Abraumsalze*, ongewenste verontreinigingen van het steenzout, die het een bittere smaak gaven, werden veelal met de hand afgescheiden. In 1860 werd echter een proces ontwikkeld om de gedolven mineralen

te zuiveren, gebruikmakend van verschillen in oplosbaarheid in water bij verschillende temperaturen. Daarmee werd een belangrijk bestanddeel van de *Abraumsalze*, het *kaliumchloride*, opeens een winstgevende grondstof. Het vormde de basis voor onder andere *potas* (*kaliumcarbonaat* K_2CO_3) en *kalisal-peter* (*kaliumnitraat* KNO_3), die beide niet alleen belangrijk waren als meststoffen, maar ook gebruikt werden voor de vervaardiging van glas en zeep (potas) en van buskruit (kalisalpeter). De winning van kalizouten overvleugelde al snel die van steenzout. In 1863 waren er rond Stassfurt al zo'n achttien kalifabrieken in bedrijf, met in totaal zo'n 3500 werknemers. Waar de hoeveelheid geproduceerd steenzout in de periode 1860-1880 verdubbelde, nam de hoeveelheid *carnalliet* ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), een dubbelzout van kaliumchloride (KCl) en magnesiumchloride ($MgCl_2$), met een factor 20 toe, een groei die overigens ook tot tweemaal toe tot het instorten van de markt leidde.³⁰



Het winnen van kalimineralen in de mijnen van Stassfurt.

De zoutafzettingen zoals die bij Stassfurt werden geëxploiteerd, strekken zich uit over een groot gedeelte van midden-Duitsland. Ze werden in de loop van miljoenen jaren afgezet in een binnenzee die door geologische oorzaken van het open water afgescheiden was geraakt. In zeewater zijn allerlei ionen opgelost: positieve, zoals natrium (Na^+), kalium (K^+), calcium (Ca^{2+}) en magnesium (Mg^{2+}) en negatieve zoals chloride (Cl^-) en sulfaat (SO_4^{2-}). Door verdamping neemt de concentratie van deze ionen in het water toe, waarna specifieke zouten (of met een geologische term: mineralen) zich afzetten op de bodem, precies zoals dat tegenwoordig nog steeds in bijvoorbeeld de Dode Zee gebeurt. Zo ontstonden dikke zoutlagen die na het verdwijnen van de binnenzee door aarde werden bedekt en zo op verschillende diepten in de grond worden

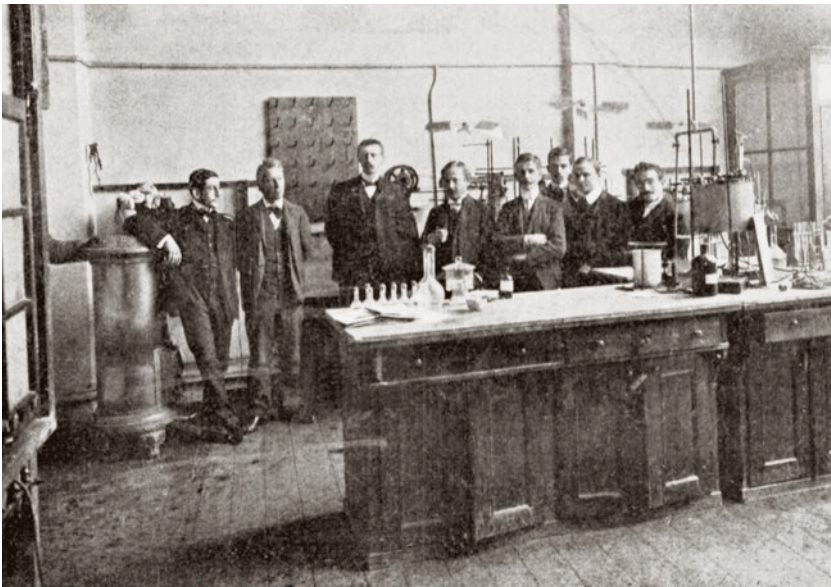
aangetroffen. De volgorde waarin de verschillende mineralen in die lagen zijn neergeslagen, zegt iets over de omstandigheden die heersten op het moment van neerslaan, zoals de temperatuur van het water en de concentraties van de verschillende ionen.³¹ Rond 1850 was al uit experimenten gebleken dat uit zee-water dat op natuurlijke wijze verdampt eerst kalk (CaCO_3) en vervolgens gips (CaSO_4) neerslaat. Naarmate de concentratie van de opgeloste ionen door verdamping toeneemt, begint zich steenzout (natriumchloride of NaCl) af te zetten. Maar wat er vervolgens gebeurt met de achterblijvende ionen was onduidelijk.³²

Een complicerende factor was dat volgens de tegenwoordig algemeen geaccepteerde Barrentheorie van de Duitse geoloog Carl Ochsenius de binnenzee slechts door een soort zandbank (*Barre*) van de open oceaan was afgesloten, waardoor bij tijd en wijle vers zeewater van buitenaf kon toestromen, precies zoveel als er door verdamping verloren was gegaan.³³ Daarbij is het ook niet zo dat bij het indampen altijd het minst oplosbare zout uitkristalliseert. De oplosbaarheid van een zout in water is namelijk ook afhankelijk van de aanwezigheid van andere ionen. Zo kun je veel meer kaliumchloride oplossen in zuiver water dan in water waar al magnesiumionen in aanwezig zijn. De zes bovengenoemde ionen zouden in principe 22 verschillende, enkelvoudige zouten kunnen vormen die ook allemaal als mineralen in de zoutafzettingen worden aangetroffen. Zo bestaat het mineraal *sylvien* uit kaliumchloride (KCl). Sommige van die 22 zouten onderscheiden zich door de aanwezigheid van watermoleculen, die als *kristalwater* in het zout gebonden zijn. *Bischofiet* is bijvoorbeeld een mineraal van magnesiumchloride met zes moleculen kristalwater, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Naast enkelvoudige zouten kunnen ook dubbelzouten voorkomen, waardoor het aantal mogelijke combinaties nog veel groter is. Zo kwamen we eerder al *carnalliet* ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) tegen. Niet alle combinaties van twee zouten leiden echter tot daadwerkelijk bestaande dubbelzouten, simpelweg omdat sommige zouten alleen in een bepaald temperatuurgebied stabiel zijn, waar andere juist uiteenvallen. Uit onderzoekingen bleek dat er desondanks toch meer dan 110 verschillende dubbelzouten kunnen voorkomen.³⁴

Om dit ingewikkelde probleem van de zoutvorming nader te illustreren is het goed om een simpel systeem te beschouwen. We nemen daarvoor een bekglas gevuld met een verzadigde oplossing van zowel keukenzout als suiker. Wanneer we de temperatuur van de oplossing laten toenemen tot zo'n 40 graden Celsius, zal het water beginnen te verdampen. Nu is suiker in warm water veel beter oplosbaar dan in koud water, terwijl dat voor zout nauwelijks uitmaakt. Naarmate de concentraties met het verdampen van het water toenemen zal dus als eerste het zout het punt bereiken waar het niet langer in oplossing kan blijven en neerslaan. De suiker blijft ook bij de hogere concentraties in oplossing. Wanneer we vervolgens de temperatuur weer laten dalen,

gebeurt het omgekeerde: het opgeloste zout merkt weinig van de temperatuurverandering, maar de suiker is slechter oplosbaar en slaat op zijn beurt neer. Zo heeft zich alleen door de temperatuur te verhogen en weer te laten zakken, eerst een zoutlaag en daarna een suikerlaag op de bodem van het bekglas gevormd. Tijdens het indampen en af en toe weer overstromen van de binnenzeeën rond Stassfurt hebben zich voortdurend soortgelijke processen afgespeeld, zij het dan van veel gecompliceerder aard. Als eerste zette zich zo een dikke laag steenzout af. Die laag ligt onderop en is daarmee het oudst. De laag wordt echter doorsneden met dunne lagen van het gips-mineraal *anhydriet* (calciumsulfaat), die als een soort van jaarringen wijzen op perioden van afkoeling. Boven op het steenzout bevinden zich verschillende andere minerale lagen, die pas zijn neergeslagen nadat door voortdurende verdamping de concentraties van de betrokken ionen in het water bepaalde grenswaarden hadden overschreden.³⁵

Dat was de puzzel waar Van 't Hoff en Meyerhoffer zich voor gesteld wisten, te begrijpen onder wat voor omstandigheden, bij welke concentratie en na hoeveel tijd een bepaald zout of mineraal zich afscheidt uit een indampende oplossing. Om antwoord op die vraag te vinden, gingen ze uiterst systematisch te werk, door bijvoorbeeld eerst alle combinaties van kalium- en magnesiumionen met chloride-ionen onder de loep te nemen. Dat leverde naast *sylvien* en *carnalliet* niet minder dan vijf verschillende vormen van magnesiumchloride op, met 12, 8, 6, 4 en 2 moleculen kristalwater. Het zal duide-



Van 't Hoff en zijn medewerkers in het laboratorium in Berlijn rond 1903. Van 't Hoff is tweede van links, Meyerhoffer is vierde van rechts.

lijk zijn dat dit soort onderzoek een enorme hoeveelheid aan data oplevert in de vorm van concentraties van de betrokken ionen, samenstelling van de neerslagen en temperaturen waarbij neerslagen ontstaan. Wanneer deze worden weergegeven in de vorm van tabellen, ontstaat al snel een onoverzichtelijke getallenbrij. Vandaar dat Van 't Hoff en Meyerhoffer gebruikmaakten van een grafische voorstellingswijze, die in Amsterdam door een van Van 't Hoff's medewerkers, de Duitser Richard Löwenherz, was geïntroduceerd.³⁶ Van 't Hoff had Löwenherz bij zijn komst naar Amsterdam in 1893 gevraagd een verklaring te zoeken voor een opvallende knik in een oplosbaarheidscurve die een Duits chemicus en mineraloog uit Stassfurt, Heinrich Precht – die we later nog uitgebreid tegen zullen komen – voor het eerst had waargenomen.³⁷ Löwenherz loste dit ingewikkelde probleem, waar vier verschillende zouten bij betrokken zijn, systematisch op aan de hand van de genoemde grafische weergave. Hierin worden verschillende parameters als concentraties en temperaturen weergegeven op individuele assen. Hoewel dat natuurlijk beperkt is tot een weergave in drie dimensies, was het door het slim weglaten van bepaalde parameters toch mogelijk inzicht te krijgen in de manier waarop een oplossing van bepaalde uitgangsstoffen zich gedroeg.³⁸

Het Berlijnse zoutonderzoek

Na zijn verhuizing naar Berlijn in de lente van 1896 was Meyerhoffer begonnen met het inrichten van het laboratorium, waarvan hij in de jaren daarna ook de dagelijkse leiding op zich zou nemen. Tegelijkertijd had hij in hetzelfde huis een aantal kamers betrokken. Op zijn aanbeveling had Van 't Hoff ook een voormalig collega van hem uit Wenen aangenomen voor het doen van analyses, de van oorsprong Hongaarse scheikundige David Bader.³⁹ Toen deze eind april in Berlijn aankwam, was er van een ingericht laboratorium nog nauwelijks sprake, en maakten 'alleen twee labtafels, enige statieven en Teclu-branders duidelijk welke ruimtes voor Van 't Hoff gereserveerd waren.'⁴⁰ Een paar dagen later pas kwamen Van 't Hoff en zijn bediende met wat glaswerk, enige thermometers en 2 kilo magnesiumchloride. Van 't Hoff maakte diezelfde middag nog een grote indruk op Bader door het smeltpunt van $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ te bepalen op $116,7^\circ$, een waarde die later met een nauwkeuriger thermometer op $116,67^\circ$ werd bepaald.⁴¹ Bader kreeg de opdracht het laboratorium verder in te richten, zonder luxe, maar wel zo dat alles voorhanden was wat werkelijk gebruikt werd. Half augustus kon Van 't Hoff aan Cohen melden: 'Mijn nieuwe, altijd nog voorlopige installatie (ik wil eerst een jaar ondervinding opdoen) begint zich tot één en ander te leenen; met Meyerhoffer heb ik iets opgezet dat schijnt te gaan en van een aantal andere sollicitanten heb ik tegen October twee uitgekozen om in de richting, die ik nu zelf bepaal, verder te werken.'⁴²

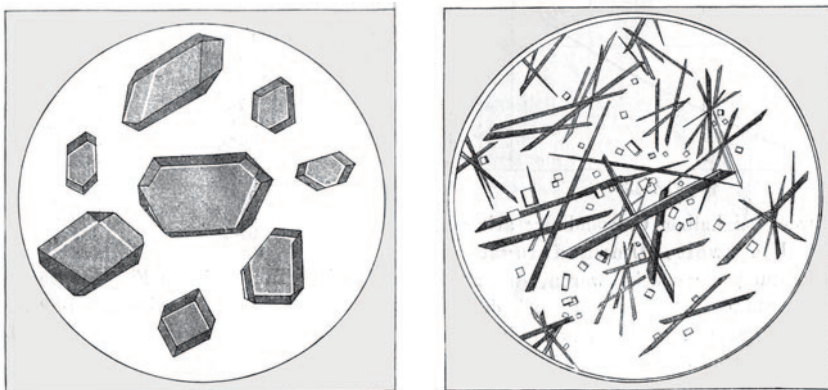
Vanaf de tweede helft van 1896 kwamen er jonge, vaak net gepromoveer-

de onderzoekers naar Berlijn, om hun diensten aan te bieden en daarmee tegelijkertijd samen te kunnen werken met een grootheid op het vakgebied van de fysische chemie: 'Doordat ik ze iets meer liet betalen dan elders en slechts op bijzondere aanbeveling hoofdzakelijk gepromoveerden aannam, [vormden] zij een kleine keurbende.'⁴³ Het was een bont gezelschap aan nationaliteiten, zo schreef van 't Hoff aan Cohen: 'zoo tripoteeren'⁴⁴ nu te Wilmersdorf, een Roemeniër, een Hongaar, een Canadees, twee Duitschers en een Hollander.'⁴⁵ Drie weken later kwamen daar ook nog een Engelsman en een Ier bij.⁴⁶ Zelf trok hij zich voor het doen van experimenten meestal terug in zijn privélaboratorium dat hij zelf schoonhield en waar hij later tijdens de zomermaanden geraniums kweekte. Om daar niet voortdurend gestoord te worden, liet hij zich op vaste tijden op de hoogte brengen van ieders voortgang, door met behulp van een afgesproken belsignaal alleen diegene naar zich toe te roepen met wie hij wilde overleggen.⁴⁷

Van 't Hoff maakte in die gesprekken wel duidelijk hoe volgens hem het werk diende te geschieden. Zo was hij pas tevreden wanneer metingen vele malen onafhankelijk van elkaar waren gedaan en vond hij in het algemeen nog wel een alternatieve manier om een gevonden resultaat te controleren. Maar al te vaak bracht hij na belangrijke bepalingen de Beckmann thermometer eigenhandig naar de Physikalisch-Technische Reichsanstalt om deze te laten ijken.⁴⁸ In zijn werk nam hij nooit pauze, maar ging hij schijnbaar onvermoeibaar in een vast tempo door. Een lezing voor de Österreichische Ingenieurs- und Architektenverein in 1906 sloot hij af met zijn werkmotto: 'Haste nie und raste nie, sonst haste die Neurasthenie.'⁴⁹ Een aantal medewerkers had bij wijze van scherts de activiteit in het laboratorium grafisch weergegeven. Die van Van 't Hoff had tussen negen en zes uur een constante hoge waarde, die van Bader lag iets lager, terwijl die van de studenten een kleine piek vertoonde rond een uur of tien, wanneer Van 't Hoff zijn ronde deed en verder hogere pieken tijdens het middageten en vooral na afloop van het werk, wanneer het 'Vergnügungsfeld' werd betreden. Tot hun schrik viel de schets in handen van Van 't Hoff, en toen deze de daaropvolgende drie dagen hier tijdens het werk niets over losliet, werden de heren wat nerveus. Op de avond van de derde dag nodigde Van 't Hoff iedereen uit voor een etentje bij hem thuis, dat in een wat gedrukte stemming verliep. Maar toen hij iedereen na het diner naar zijn studeerkamer leidde voor een glas bier en een sigaar, bleek dat de schets een ereplaats had gekregen op de schoorsteenmantel tussen een paar mooie kristallen, en zei Van 't Hoff, die als laatste de kamer was binnengekomen: 'Ja dat zijn allemaal waardevolle herinneringen, die mij zeer na aan het hart liggen.' Waarna de spanning was gebroken.⁵⁰

De eerste onderzoeksresultaten konden al op 4 februari 1897 tijdens een zitting van de Akademie worden gepresenteerd. Daar liet hij zijn collega's ook weten waar zijn programma voor de komende jaren uit zou bestaan. Dat

bestond uit vier stappen. Eerst wilde hij uitzoeken wat er gebeurt wanneer oplossingen van de sulfaten en chloriden van kalium en magnesium langzaam indampen. Daarna was hij van plan om uit te zoeken welke invloed de aanwezigheid van natriumchloride heeft op het uitkristalliseren van deze zelfde verbindingen, om vervolgens ook de invloed van calcium vast te kunnen stellen. Wanneer dat allemaal was uitgezocht, wilde hij onderzoeken wat er gebeurde met in kleine hoeveelheden aanwezige ‘verontreinigingen’ (ijzer, bromide etc.). Een ambitieus project, dat jaren in beslag zou gaan nemen.⁵¹ Hij moet zich toen al gerealiseerd hebben dat ‘konkrete vraagstukken, als dit, een zekere zelfopoffering [vorderen], omdat zij voor de scheikunde zelf niet in de eerste plaats waarde hebben en mij toch voor jaren in beslag moesten nemen, wilde er iets van worden’.⁵²



Microscoopbeelden van zoutkristallen zoals weergegeven in Van 't Hoff's boek Vorlesungen über Bildung und Spaltung von Doppelsalzen.

Het onderzoek zelf was niet echt opwindend. Dat kon ook moeilijk anders, omdat het laboratorium alleen over betrekkelijk simpele apparatuur beschikte, die alleen niet al te ingewikkelde experimenten toestond. Het dagelijks werk, zoals het bepalen van de oplosbaarheid van zouten onder verschillende omstandigheden, het analyseren van neerslagen en het meten van dampspanningen was ‘bewerkelijk en eentonig’,⁵³ zeker vergeleken met het onderzoek in Amsterdam, waar hij echt aan het front van de wetenschap had geopereerd. Dat moet hem dwars hebben gezeten. Tekenend daarvoor is een anekdote over een spiegelgalvanometer, een geavanceerd instrument om kleine stroompjes te meten, die in Van 't Hoff's privélaboratorium boven op een kast stond. Hij vertelde dat hij in Amsterdam ooit had gezien dat bij auto-oxidatiereacties elektrische ladingen ontstonden en dat hij dat verschijnsel eigenlijk het allerliefst in Berlijn verder had willen bestuderen. Hij had daar echter van af moeten zien, omdat zijn huidige laboratorium daarvoor niet toegerust was.⁵⁴ Daar kreeg hij later steeds meer problemen mee:

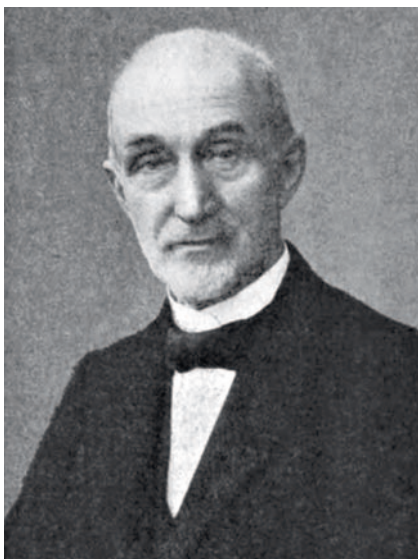
Het zwakke punt zit 'm in de omstandigheden in het laboratorium. [...] Fischer bood mij een deel van zijn laboratorium aan, terwijl ook de [Physikalisch-Technische] Reichsanstalt mij ook wel onderdak wilde bieden. Maar daarmee zou de zelfstandigheid van mijn positie verloren gaan en het hele karakter ervan. Bij het jubileum van de Akademie heb ik net als andere collega's om een assistent gevraagd, maar die niet gekregen.⁵⁵

Omdat het onderzoek zelf ook zelden tot wetenschappelijk verrassende resultaten leidde, was er ook nauwelijks sprake van diepgravende wetenschappelijke discussies.⁵⁶ Maar zoals hij in een persoonlijk gesprek in een naburig café aan zijn toenmalig medewerker en latere Nobelprijswinnaar Hans von Euler liet weten, drukte de verantwoordelijkheid als opleider van een nieuwe wetenschappelijke generatie hem zo zwaar op de schouders, dat hij ervoor terugschrok om jonge wetenschappelijke talenten mee te nemen op onzekere onderzoekspaden.⁵⁷ Zijn streven was ook om niemand met lege handen uit het laboratorium te laten weggaan, dat wil zeggen zonder ooit een publicatie over zijn werk te hebben geschreven. Als dat om wat voor redenen dan ook niet leek te gaan lukken, dan zette hij de betreffende medewerker aan een simpler onderzoek dat sneller tot resultaten zou leiden.⁵⁸

Waar in 1897 niet minder dan zes publicaties over het onderzoek naar de vorming van de oceanische zoutafzettingen in Stassfurt het licht hadden gezien,⁵⁹ bleef de productie ook in de jaren daarna hoog met gemiddeld zo'n vier tot vijf artikelen per jaar, resulterend in een reeks die uiteindelijk 52 artikelen zou omvatten.⁶⁰ In 1901 werd een eerste mijlpaal bereikt, met het afronden van de studie naar de invloed van natrium op het neerslaan van sulfaten en chloriden van magnesium en kalium bij 25 graden Celsius. Het grootste probleem hierbij was de vorming van het *kieseriet* ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) geweest, dat in het laboratorium maar uiterst moeilijk kon worden gevormd, terwijl het toch in dikke lagen in de zoutafzettingen aanwezig was. Met veel volharding en vooral veel geduld kon worden aangetoond dat dit *kieseriet* in een hygroskopische oplossing van magnesiumchloride bij kamertemperatuur werd gevormd over een tijdsspanne van vele dagen.⁶¹ In 1904 werd een nieuwe mijlpaal bereikt toen Van 't Hoff en zijn medewerkers de onderzoeken wisten uit te breiden tot temperaturen van maximaal 83 graden Celsius, de hoogste temperatuur die tijdens de geologische zoutvorming moet zijn opgetreden.⁶² Tot slot werden ook nog de boraten onderzocht, al vond Van 't Hoff zelf achteraf dat dat beter achterwege had kunnen blijven.⁶³ Op 21 oktober 1908 kon Van 't Hoff met een bijna hoorbare zucht van verlichting in zijn dagboek aantekenen: 'Salzablagerungen voltooid.'⁶⁴ Zo was 'een enorme opgave op het gebied van de fysische chemie'⁶⁵ dan eindelijk afgerond, Snelders noemt het zelfs 'het eerste voorbeeld van een omvangrijke samenwerking op het gebied van de natuurwetenschappen',⁶⁶ al lijkt dat wat overdreven. Volgens

Van Deventer was het voor Van 't Hoff in elk geval 'een voldoening zóó zijn eereschuld te mogen afdoen aan het rijk, dat hém zoo geëerd had'.⁶⁷

Na de afsluiting van de eerste fase van het onderzoek in 1901 had Van 't Hoff het aangedurfd in te gaan op een uitnodiging om 'in het hol van de leeuw' een lezing te houden voor de verzamelde Duitse 'zoutchemici' van Saksen-Anhalt in Stassfurt.⁶⁸ Hij sprak daarin de wens uit dat zijn lezing enkelen van zijn toehoorders, meest wetenschappers in dienst van de kali-industrie, ertoe zou bewegen hem in zijn onderzoek te ondersteunen. Maar dat gebeurde aanvankelijk maar op zeer beperkte schaal.⁶⁹ De aandacht van de industriële onderzoekers ging vooral uit naar de ontwikkeling van allerlei *praktische* methoden om uit de naar boven gehaalde zouten het gewenste product, bijvoorbeeld een zout als kaliumchloride, te isoleren. Elke ontdekking die tot een verbetering van het productieproces leidde, leverde potentieel concurrentievoordeel op. Vaak werden deze ontdekkingen dan ook gepatenteerd en verder met veel geheimhouding omkleed. Dat hadden Van 't Hoff en Van Deventer ook al gemerkt toen zij in 1887-1888 werkten aan het *astrakaniet*. Van 't Hoff had indertijd contact opgenomen met de directeur van een zoutfabriek in Leopoldshall bij Stassfurt en gevraagd naar diens ervaringen. Maar hoewel deze zeer geïnteresseerd was in de experimenten van Van 't Hoff, liet hij weten tot zijn spijt op zijn beurt niets te kunnen loslaten, omdat dit betrekking had op een geheim fabricageproces.⁷⁰ Naarmate er echter vanaf 1896 een gestage stroom onderzoeksresultaten uit Berlijn op gang was gekomen, was de belangstelling om eens met Van 't Hoff en zijn medewerkers te gaan praten gegroeid. Dat had geleid tot een bezoek van de man die het zoutonderzoek onder zijn hoede had, de Duitse chemicus en mineraloog Heinrich Precht.



Heinrich Precht (1852-1924) met wie Van 't Hoff samenwerkte aan het onderzoek naar zoutvorming.

Precht was in 1877 gepromoveerd in Göttingen en na een assistentschap in Hannover bij de Gewerkschaft Neu Stassfurt gaan werken, waar hij in 1883 directeur was geworden. Daar had hij ervoor gezorgd dat de analyse en de verwerking van de gedolven mineralen op een professionelere wijze werden aangepakt.⁷¹ Hij had met belangstelling gevolgd wat Van 't Hoff in Berlijn aan het doen was, maar zich nooit bij Van 't Hoff gemeld. Pas toen deze een verkeerd idee over de vorming van een bepaald dubbelzout bleek te hebben,⁷² vond Precht de tijd gekomen om eens langs te gaan en kennis te maken. Dat bezoek vond plaats in het voorjaar van 1898 en leidde tot een uitnodiging aan Van 't Hoff om begin juni dat jaar langs te komen in Stassfurt en daar met eigen ogen het delven en de verwerking van de mineralen te komen aanschouwen. Die ontmoeting vormde het begin van een lange vriendschap en samenwerking. In 1905 organiseerden Van 't Hoff en Precht samen de eerste Duitse *Kalitag* in Hannover, waar industrie en wetenschap samenkwamen om over hun onderzoek te praten. Tijdens de bijeenkomst werd besloten tot de oprichting van een samenwerkingsverband voor het wetenschappelijke onderzoek van de Duitse kaliafzettingen,⁷³ dat van 1906 tot 1919 zou bestaan.⁷⁴ Het werd financieel ondersteund door de Duitse kali-industrie, de Akademie van Wetenschappen en de Duitse Ingenieursvereniging. In zijn laatste artikel over de zoutafzettingen (uit 1908) zette Van 't Hoff nog het wetenschappelijk onderzoeksprogramma van het Kali-Verband uiteen⁷⁵ en twee jaar later gaf hij de Akademie nog een overzicht van de tot dan toe behaalde resultaten, maar dat waren echt zijn laatste bijdragen aan het zoutonderzoek.⁷⁶

Het belang van Van 't Hoff's zoutonderzoek

Hoe moeten we nu, alles overziend, Van 't Hoff's zoutonderzoek in Berlijn beoordelen? Hij was vol enthousiasme met het werk begonnen, omdat hij er in Amsterdam mooie resultaten in had bereikt, zoals de waarneming van een aantal overgangspunten bij de vorming van dubbelzouten. Ook zag hij mogelijkheden om in samenwerking met de industrie te komen tot daadwerkelijke toepassingen en daarbij realiseerde hij zich dat hij in zijn van beperkte middelen voorziene thuislaboratorium niet de verfijnde onderzoeken kon doen die in het nieuwe, veel beter uitgeruste Amsterdamse laboratorium wél mogelijk waren geweest. In een brief aan Max Planck van 20 februari 1895, dus meer dan een jaar voordat hij zekerheid had over zijn aanstelling in Berlijn, wees hij al op een probleem dat hem het werken met verfijnde meetapparatuur onmogelijk zou maken. De plek waar zijn thuislaboratorium zou komen moest daarvoor 'vrij zijn van Berlijnse bodemtrillingen die het opstellen van een galvanometer schijnen te verstoren'.⁷⁷ Maar afhankelijk zijn van anderen wilde hij niet en anderen voor de voeten lopen al helemaal niet. Ook dat schreef hij al in diezelfde brief aan Planck.

Met al zijn persoonlijke eisen en voorwaarden na zijn komst naar Berlijn

had hij geen andere keuze dan zich volledig te richten op het zoutonderzoek. Gegeven zijn beperkte experimentele faciliteiten zou het wellicht voor de hand hebben gelegen als Van 't Hoff zich in zijn zoutonderzoek had geconcentreerd op het ontwikkelen van nieuwe *theoretische* inzichten, iets waar hij zich in Amsterdam juist door had weten te onderscheiden. Maar die ontbreken zo goed als geheel in alle publicaties. Nu waren er in de tussentijd wel anderen gekomen die de theorie op dit gebied hadden ontwikkeld. Zo had de Nederlandse natuurkundige Van Rijn van Alkemade, die bij Lorentz in Leiden was gepromoveerd, al in 1892 de theorie van Gibbs toegepast op evenwichten van oplossingen met vaste fasen voor twee of drie componenten.⁷⁸ Maar eerst en vooral was het Bakhuis Roozeboom, die na zijn aanstelling tot lector in Leiden in 1893, en met name later als opvolger van Van 't Hoff in Amsterdam, op het kompas van Gibbs' fasenleer onderzoek deed naar heterogene evenwichten.⁷⁹ Wellicht wilde Van 't Hoff zijn opvolger niet voor de voeten lopen, maar belangrijker is dat hij zoals we eerder zagen weinig belangstelling had voor de ingewikkelde wiskunde die ten grondslag lag aan de ideeën van Gibbs. Slechts in één van de 52 artikelen die Van 't Hoff wijdde aan zijn *Salzablagerungen* komt bijvoorbeeld een verwijzing voor naar diens fasenregel.⁸⁰ Met enig understatement concludeerde een van Van 't Hoffs medewerkers, de Duitse chemicus Jean d'Ans dan ook: 'Men kan Van 't Hoff nauwelijks als een apostel van die leer beschouwen.'⁸¹

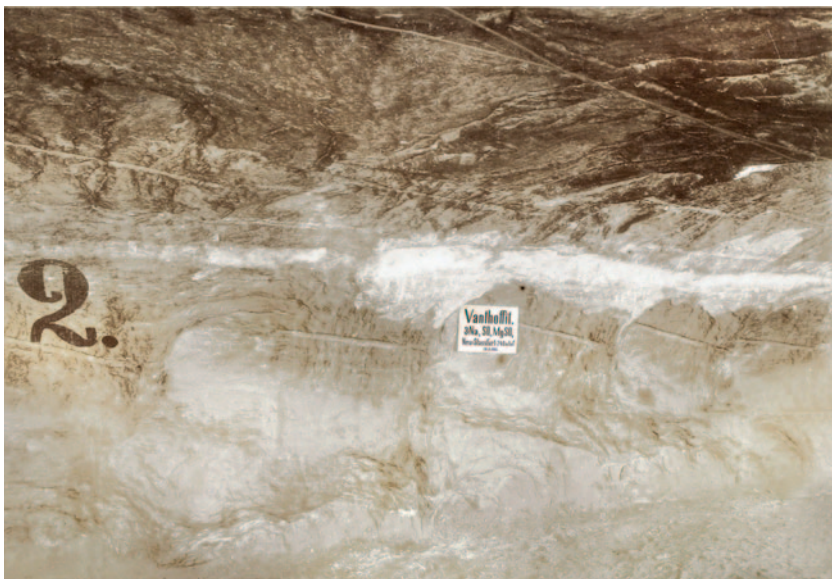
Ook heeft Van 't Hoff zich verkeken op de werkelijke aard en omvang van het experimentele werk én op de inflexibiliteit van een industrie die niet gewend was om op basis van wetenschappelijk onderzoek beproefde, maar misschien niet erg efficiënte productiemethoden aan te pakken. We zullen zien hoe Meyerhoffer met een alternatief proces voor de verwerking van *carnalliet* bot ving bij zijn industriële collega's die daar simpelweg niet aan wilden. Tegelijkertijd werd het Van 't Hoff door herhaalde bezoeken aan Precht en Stassfurt duidelijk dat zijn fysisch-chemisch onderzoek geen panacee was voor de problemen waar de zoutindustrie mee kampte: 'Wij hadden vooreerst nog meer van de geologie en de mineralogie te leeren dan omgekeerd.'⁸² Maar eenmaal begonnen was er geen weg terug meer geweest, ook al realiseerde hij zich terdege wat voor indruk dat moet hebben gemaakt op zijn collega's:

Gij zult er wel eens om gelachen hebben dat het zoo lang duurt, en in de Akademie had ik bij mijn mededelingen meermaal het gevoel van 'Kunz von Kaufingen' met de 'drei Ritter'; intusschen zijn er nog andere voorbeelden: Cahours heeft eens van Berthelot gezegd 'Voilà depuis vingt ans qu'il publie la même chose.' En Raoult heeft 22 jaar gevriespunt; ik had 10 als termijn gesteld.⁸³

Meer dan wie ook moet hij zich hebben gerealiseerd dat de hoeveelheid tijd die hij aan de zouten had gespendeerd in geen verhouding stond tot het belang ervan. Integendeel, zijn eerdere grote ontdekkingen kwamen in veel kortere tijd tot stand: 'Het eerste wat ik gedaan heb, dat ging zoo vanzelf; het tweede heeft vijf maanden geduurd en de "Salzerei" duurt nu reeds tien jaar.'⁸⁴

Ondanks de wederzijdse belangstelling voor elkaars activiteiten en de voorzichtige samenwerking is het twijfelachtig of de kali-industrie veel geprofiteerd heeft van het werk dat in Berlijn werd uitgevoerd, omdat ze zeker tot aan de Eerste Wereldoorlog 'onbezwaard door wetenschappelijke inzichten'⁸⁵ voortging de talrijke productieproblemen op pragmatische en empirische wijze te boven te komen. In januari 1897 was Van 't Hoff nog erg positief gestemd over de samenwerking: 'Er zijn al twee octrooiaanvragen de deur uit om ervoor te zorgen dat ik zo mogelijk ook ter plaatse [in Stassfurt] vaste grond onder de voeten krijg.'⁸⁶ Maar al het onderzoek in de jaren daarna heeft voor de zoutindustrie niet veel vruchtbaars opgeleverd. Ook Jean d'Ans, die het werk op dit gebied nog veertig (!) jaar zou voortzetten, zag dat Precht en Van 't Hoff 'altijd uiterst serieus en volmaakt beleefd hun eigen problemen bediscussieerden, zonder dat ze elkaar feitelijk begrepen, om uiteindelijk toch enigszins teleurgesteld uit elkaar te gaan.'⁸⁷ Precht was niet goed in staat om de technische problemen waar hij zich voor gesteld wist zó helder uiteen te zetten dat Van 't Hoff zijn wetenschappelijk licht erover kon laten schijnen en Van 't Hoff kon niet goed duidelijk maken dat zijn alternatieve productiemethoden beter waren of meer opleverden. Pas na de Eerste Wereldoorlog, toen het aantal zoutfabrieken om economische redenen met meer dan 80 procent was teruggebracht, kwam er een beweging op gang om de winning en de verwerking van kalizouten op een meer rationele basis te grondvesten. In 1918 werd de Kaliforschungsanstalt opgericht met het doel de bevindingen van Van 't Hoff en diens navolgers te gebruiken en aan te vullen met het oog op technische toepassingen.⁸⁸

De onderzoeken van Van 't Hoff leidden wel tot interessante conclusies op geologisch gebied. Op basis van al dan niet voorkomen van bepaalde (combinaties van) mineralen was het namelijk mogelijk conclusies te trekken over de temperaturen die geheerst moeten hebben in de periode dat de betreffende zoutlagen werden afgezet. Zo is magnesiumsulfaat met zes of zeven moleculen kristalwater nergens in de zoutlagen te vinden. Dat kan alleen begrepen worden door aan te nemen dat de temperatuur van het zeewater gedurende de gehele tijd dat de lagen werden afgezet boven de 32 graden Celsius moet zijn geweest, dat wil zeggen dat er in die tijd dus een tropisch klimaat in Duitsland moeten hebben geheerst. Af en toe moet het zelfs nog warmer zijn geweest gezien het voorkomen van mineralen als *langbeiniet* ($K_2Mg(SO_4)_2$) en het vrij zeldzame, naar Van 't Hoff genoemde *vanthoffiet* ($Na_6Mg(SO_4)_4$), die respectievelijk pas boven 37 en 47 graden Celsius worden gevormd. Het



Dunne laag van het naar Van 't Hoff vernoemde mineraal vanthoffiet ($\text{Na}_6\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$) in de zoutafzettingen van Stassfurt.

voorkomen van mineralen in de zoutlagen bood, gecombineerd met de inzichten van Van 't Hoff een soort *geologische thermometer*,⁸⁹ en dat was voor geologen uiterst waardevol. Donnan noemde het zelfs 'the crowning glory of the whole series of researches'.⁹⁰

Met voldoening citeerde Van 't Hoff een brief van zijn voormalige Amsterdamse collega Molengraaff over zijn 'zouterij': 'Ik herinner mij nog in Amsterdam, in den eersten tijd in het nieuwe laboratorium [dus 1891] over die onderzoeken gesproken te hebben, maar vond een ontnuchterende opname; nu schrijft hij van de "schitterende onderzoeken, die voor de geologen een grote draagwijdte hebben"'.⁹¹ Ook in zijn intrede bij zijn benoeming tot hoogleraar in Delft onderstreepte Molengraaff dit nog eens: de onderzoeken van Van 't Hoff waren een grootse triomf, omdat ze 'een volledig en onwederlegbaar juist beeld scheppen van de temperaturen, die in Permischen tijd tijdens de periode der vorming der Stassfurter zoutbeddingen in hun moederloog moeten zijn voorgekomen'.⁹² Een ander mooi resultaat was dat van de in totaal 110 dubbelzouten die er op basis van de experimenten van Van 't Hoff voor zouden moeten komen, er daadwerkelijk zeventig aangetroffen zijn. Op deze manier toonde Van 't Hoff aan 'dat de fysisch-chemische wetten ook in het grote laboratorium van de Natuur hun geldigheid behouden'.⁹³ Dat ook andere processen een rol hebben gespeeld, liet uitgerekend zijn oude vriend Arrhenius zien. Hij wees erop dat de zoutafzettingen gedurende lange perioden bedekt waren onder sedimentafzettingen, en dat als

gevolg van de aardwarmte en onder druk niet alleen kristalwater verloren kan zijn gegaan, maar er ook nieuwe en andere mineralen kunnen zijn gevormd dan er oorspronkelijk waren afgezet.⁹⁴

Geïnspireerd door het werk van Van 't Hoff zag ook de Amerikaanse chemicus Arthur Louis Day mogelijkheden om met behulp van fysisch-chemisch onderzoek meer te weten te komen over de vorming van gesteenten uit gesmolten magma, zoals dat in de aardkorst plaatsvindt.⁹⁵ Toen de secretaris van de Carnegie Institution, C.D. Walcott, in 1902 aan Van 't Hoff (en aan een aantal Europese geleerden van naam onder wie Kohlrausch, Nernst en Kelvin) had gevraagd naar de wenselijkheid van het doen van geofysisch laboratoriumonderzoek, had Van 't Hoff hier al op gewezen: 'Het specifieke probleem dat, naar ik meen, aandacht behoeft, is de fysische chemie achter de toepassing van hoge temperaturen op de belangrijkste bestanddelen van de aardkorst, in eerste instantie de silicaten.'⁹⁶ Het was dan ook dit soort onderzoek dat Day en anderen, toen nog werkzaam bij een Amerikaanse *us Geological Survey*, gingen uitvoeren, en met succes. Eind januari 1906 noteert Van 't Hoff in zijn dagboek: 'Day meldt uit Washington dat Carnegie tot den bouw van een Geophysisch Laboratorium heeft besloten, en bedankt voor mijn medewerking. De zouterij is dus niet geheel onvruchtbaar gebleken.'⁹⁷ Het Geophysical Laboratory zou in juni 1907 zijn deuren openen. En ook al was het dan niet het directe resultaat van Van 't Hoff's zoutonderzoek, het was wel 'schatplichtig aan zijn algemene aanpak daarvan en de successen die hij behaalde op het gebied van de fysische chemie en de experimentele petrologie.'⁹⁸

Zelf heeft Van 't Hoff zich maar heel zelden negatief of teleurgesteld over zijn zouterij uitgelaten. Slechts af en toe komt iets van teleurstelling naar voren, zoals in een antwoord aan Ostwald, die hem in 1897 had uitgenodigd om op de bijeenkomst van de Elektrochemische Gesellschaft in München iets te presenteren:

Ik kom in elk geval naar München, maar heb niets wat de Elektrochemische Gesellschaft als mededeling zal interesseren. Ik heb het hele jaar zitten stassfurterzoutlageren en kan daar voor de Gesellschaft niets aan ontlenuen, hoe graag ik ook mijn betrokkenheid bij alle nastrevingen zou willen tonen.⁹⁹

Wél vermeldde hij herhaaldelijk vol trots de positieve opmerkingen van anderen over zijn onderzoek, zoals die van Molengraaff, en concludeerde hij in oktober 1906, toen hij terugkeek op zijn onderzoek tot dan toe in Berlijn: 'Ook is bereikt wat ik mij bij 't begin van het Stassfurter onderzoek wenschte, niet iets dat b.v. 10 jaar na voltooiing eerst werd goed gevonden, [want] daarvoor ben ik te oud.'¹⁰⁰ Zowel Ostwald als Fischer kwamen in hun beider

Gedächtnisreden voor hun overleden vriend op Van 't Hoff's zoutonderzoek terug. Zo schreef Ostwald:

Dat grote onderzoek kan niet de vergelijking doorstaan met zijn vroegere prestaties, omdat het geen theoretische vooruitgang opleverde van dezelfde grootsheid. Zoiets op deze plek uit te spreken komt wellicht ondankbaar en ongepast over, maar ik weet uit herhaalde gesprekken dat mijn overleden vriend hier zelf niet anders over dacht en dat het hem met zijn strikte gevoel voor de waarheid tegen de borst zou stuiten wanneer op deze plek getracht zou worden om zijn levenslijn afwijkend van de werkelijkheid te trekken.¹⁰¹

Fischer was positiever en opperde dat Van 't Hoff's keuze voor het zoutonderzoek wellicht ingegeven was geweest door diens inschatting dat op zijn 'oude' vakgebied de grote ontdekkingen al achter de rug waren: 'Kon het niet zo zijn dat het gebied waarop Van 't Hoff vroeger gewerkt had juist als gevolg van zijn ontdekkingen uitgeput was geraakt?'¹⁰² waarop hij die vraag direct zelf beantwoordde: 'Inderdaad is er de afgelopen twintig jaar, wanneer men afziet van de radioactiviteit geen theorie in de scheikunde opgedoken, die wat eenvoud en algemene geldigheid betreft gelijkgesteld kan worden met de hiervoor behandelde ideeën van Van 't Hoff'. Waarvan akte.

Van 't Hoff's steunpilaren

Begin 1903 had zich in de buurt van het laboratorium aan de Uhlandstrasse een aantal veranderingen voltrokken: zo was op het grasveld dat als tennisbaan werd gebruikt een huis gebouwd en leek ook de tuin ten prooi te gaan vallen aan bebouwing. Dat zou veel licht wegnemen in de kamers van het laboratorium met als gevolg dat het werken met microscopen, waarmee de vorming van kristallen in oplossing werd gevolgd, steeds lastiger zou worden. Vandaar dat besloten werd om iets verderop, op de bovenste verdieping van een achterhuis aan de Düsseldorfer Strasse nummer 4, een nieuw laboratorium te betrekken. Die ruimte was tot dan toe als de studio van een fotograaf gebruikt en bood dus meer dan voldoende licht.¹⁰³ Zoals eerder al in het oude laboratorium was het daar elk jaar een komen en gaan van nieuwe medewerkers. Altijd waren er naast Meyerhoffer en Van 't Hoff tenminste twee anderen werkzaam, maar veel vaker waren dat er wel zes of zeven. In totaal hebben 39 uitsluitend mannen zich met het onderzoek beziggehouden, de meesten afkomstig uit Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. Ongeveer de helft van hen was al gepromoveerd toen ze in Berlijn arriveerden, een kwart promoveerde later. Daarnaast was er David Bader, de analist, en een *Laboratoriumdiener*, Emil Gohlisch, die door Van 't Hoff uit eigen zak betaald werd en dus ook voor hem en zijn familie allerlei klusjes opknapte.

Meyerhoffer regelde alle praktische zaken in het laboratorium en zorgde ervoor dat alles gladjes verliep.

Dat laatste betekende zeker in de eerste jaren een enorme ontlasting voor Van 't Hoff. 'Meyerhoffer [is] voor mij op ideale wijze behulpzaam; wat ik heden wensch, is er morgen; meld het hem niet, dan verslapt hij.'¹⁰⁴ In de loop der tijd werd echter duidelijk dat de temperamentvolle Meyerhoffer de eigenschappen ontbeerde die voor het begeleiden van zo'n groot onderzoeksproject met tal van medewerkers nodig waren. Zo besloot begin 1899 de uiterst betrouwbare en efficiënte assistent David Bader tot verdriet van Van 't Hoff te vertrekken, omdat 'er bezwaren waren tussen hem en Meyerhoffer, die verder samenwerken onmogelijk maken.'¹⁰⁵ Het ontbrak Meyerhoffer ook aan het geduld dat vereist was voor het oplossen van lastige problemen, zoals het eerdergenoemde *kieseriet*-probleem, zodat Van 't Hoff zich gedwongen zag dat samen met hem aan te pakken.¹⁰⁶ Ook kon Meyerhoffer volkomen onverwachts uitbarsten, zoals de keer dat vertegenwoordigers van de kali-industrie zich niet bereid toonden om een door hem ontwikkeld alternatief voor de verwerking van *carnalliet* – uit een smelt, dus zonder gebruik van water – toe te passen.¹⁰⁷ Van 't Hoff had dit tijdens een van zijn lezingen in Chicago nog een veelbelovende industriële toepassing van zijn zoutonderzoek genoemd.¹⁰⁸ Meyerhoffer had niet alleen in het laboratorium laten zien dat het werkte op een schaal van enkele grammen, maar ook op een duizendmaal grotere schaal. Tevergeefs, de fabriekseigenaren in Stassfurt wilden er niet aan.



De Duitse scheikundige Wilhelm Meyerhoffer (1864-1906) studeerde eerst bij Van 't Hoff in Amsterdam en werd later in Berlijn diens belangrijkste medewerker.

Met Meyerhoffer ging het allemaal iets beter nadat hij in 1900 was getrouwd en een zoontje had gekregen. Bovendien werd hij in datzelfde jaar benoemd tot buitengewoon hoogleraar in Praag, waarmee een langgekoesterde wens

in vervulling ging. Vlak na de verhuizing naar het nieuwe laboratorium, waar de arbeidsomstandigheden beter waren, kreeg Meyerhoffer door het plotse-linge overlijden van zijn zoontje echter een klap die hij niet meer te boven zou komen. Een hartaandoening waaraan ook zijn vader had geleden begon sterk op te spelen en hij werd depressief, volgens Van 't Hoff omdat de vasthoudendheid die voor het werken aan de lastige problemen noodzakelijk was bij Meyerhoffer 'eerder treurige gedachten opwekte dan deze op afstand te houden'.¹⁰⁹ Na een lichte opleving kreeg eind 1905 de ziekte de overhand en werd het werken in het laboratorium hem zowel fysiek als psychisch onmogelijk: 'Hij maakt nu zoo'n gebroken indruk, is vergeetachtig en zonder wezenlijke belangstelling, de type van een ongelukkig man.'¹¹⁰ Maart 1906 vertrok hij op doktersadvies naar een sanatorium in Merano in Italië. Voor Van 't Hoff was het toen al duidelijk dat het einde nabij was:

Meyerhoffer [...] leeft wellicht niet lang meer; hij gevoelt dat ook zelf en nam van enkelen meer een soort afscheid voorgoed, zei tegen Aleida 'Sie sind immer sehr freundlich für mich gewesen.' Ik heb er zeer mee te doen, hij is niet zoo recht op 'ein grünen Zweig' gekomen; somtijds denk ik dat het beter voor hem was geweest zich van mij los te maken en meer dan eens heb ik hem dat gezegd, maar hij was toch iemand waarvan de hand moet worden gehouden. [...] Ik heb aan hem altijd een' zeer trouwe en opgewekte medewerker gehad. Zoo gaat alles voorbij.¹¹¹

Meyerhoffer overleed op 21 april 1906 in Merano. Van 't Hoff was zeer ont- daan door het verlies van een van zijn trouwste medewerkers: 'Meyerhoffer is wel heel veel voor mij geweest, als mensch en als medewerker. [...] Ik hoop maar dat ik evenveel voor hem geweest ben als hij voor mij.'¹¹² Daarover hoefde hij niet te twijfelen. Hij had Meyerhoffer altijd in alles gesteund. Toen Hans Landolt zijn colleges aan de Friedrich-Wilhelms-Universität om gezondheidsredenen tijdelijk moest stoppen, regelde Van 't Hoff dat Meyerhoffer die zou overnemen. Zo kreeg hij ook de mogelijkheid zich te laten zien aan de rest van de faculteit. Het zou zich echter tegen hem keren, omdat Meyerhoffer zich er zo druk over maakte, dat hij tijdens het eerste college van drie uur een bloedspuwing kreeg en het college moest staken: 'Landolt schijnt zich na deze bovenmatige inspanningen van zijn plaatsvervanger zo hersteld te hebben, dat hij de colleges weer op zich nam.'¹¹³ Ook regelde Van 't Hoff via Arrhenius dat Meyerhoffer verkozen werd tot correspondent van de Akademie van Wetenschappen van Christiania, een bericht dat hem nog net voor zijn dood zou bereiken.¹¹⁴ De band met Van 't Hoff was voor Meyerhoffer in zekere zin ook een last. Hij had zelfs een 'zeer aannemelijk aanbod' afgeslagen.¹¹⁵ Van 't Hoff zag heel goed in dat er zo een schaduw was geworpen over hun samenwerking 'door de steeds klimmende moeilijkheden en

het daardoor weggenomen uitzicht, in enkele jaren iets te bereiken dat naar buiten sprak.¹¹⁶

De episode rond Meyerhoffer tekent de warme gevoelens die Van 't Hoff voor zijn medewerkers koesterde. Dat blijkt ook uit het feit dat hij zich vanaf het moment dat hij in Berlijn was aangekomen via Ernst Cohen op de hoogte liet houden van het welbevinden van zijn vroegere studenten en assistenten in Amsterdam, en als zij de groep verlaten hadden, van hun verdere ervaringen: 'Ontzettend verheugd heeft mij de plaatsing van Van Deventer in Indië; hij was, voor zover mij bekend, mijn eenige leerling, voor wiens toekomst terecht zorg bestond.'¹¹⁷ En een paar maanden later:

Het is mij altijd een weldadig verschijnsel als de oud-praktikanten, aan wier leiding ik mij wel eens ter wille van eigen doeleinden onttrok, het goed maken. De goede berichten over van Leeuwen, over mejuffrouw Maarseveen, over van Deventer waren mij gelijkelijk welkom; als nu van Laar te Utrecht en Eykman nog eens een kleine gunstige lotsbeschikking tegemoet gaan, is alles in orde.¹¹⁸

Ook had hij via Gunning geprobeerd om zijn broer als zijn opvolger benoemd te krijgen in de Suikercommissie en vroeg hij aan Gunning 'of er niet iets voor Eykman gedaan [kon] worden, 't zij in Groningen, 't zij als opvolger van [Van] Riemsdijk'.¹¹⁹ Eykman werd datzelfde jaar nog benoemd tot hoogleraar in de farmacie in Groningen. Met name Ernst Cohen, Van 't Hoff's eerste biograaf, had een bijzonder nauwe band met zijn leermeester. Na zijn promotie in 1893, en het vertrek van Reicher en Van Deventer, was Cohen assistent geworden bij Van 't Hoff en later privatdocent onder Bakhuis Roozeboom. In de roerige maanden voorafgaand aan Van 't Hoff's vertrek naar Berlijn had hij via zijn familierelaties ervoor gezorgd dat er via de Universiteitsvereniging financiële steun kwam om Van 't Hoff voor Amsterdam te behouden. Daarnaast had hij in diezelfde tijd een vertaling en bewerking gemaakt van de *Études* in het Duits. Om al deze redenen was Cohen voor Van 't Hoff in Berlijn tot een vertrouwenspersoon uitgegroeid en bovendien zijn enige directe band met zijn oude groep in Amsterdam. Toen Cohen midden 1898 een kans maakte om hoogleraar te worden aan McGill University in Montreal, ondersteunde Van 't Hoff dit met een gloedvolle aanbevelingsbrief en uitgebreide inlichtingen over de kennis en ervaring van de kandidaat.¹²⁰ Maar Cohen wees de benoeming uiteindelijk zelf af, omdat hij meende zo ver van huis niet te kunnen aarden.¹²¹

Vier jaar later kreeg hij echter een nieuwe kans in een interessante benoemingskwestie waar ook Van 't Hoff een rol in speelde, namelijk aan de Utrechtse universiteit. Toen daar beide hoogleraren scheikunde Hendrik Dibbits en Eduard Mulder met emeritaat gingen, nam de faculteit, in de persoon van

haar voorzitter Hubrecht, Van 't Hoff's klasgenoot op de hbs, het voortouw om de scheikunde in Utrecht, waarvan de kwaliteit er in de afgelopen 25 jaar behoorlijk op achteruit was gegaan, uit het dal te laten herrijzen. Hubrecht wist ook precies wie hij daarvoor moest hebben: zijn oude schoolvriend Van 't Hoff.¹²² Die mocht zijn voorwaarden stellen, en behoefde op voorhand al geen onderwijs aan eerstejaars te geven.¹²³ Maar Van 't Hoff liet weten geen enkele behoefte te hebben om zijn positie in Berlijn op te geven:

Men heeft mij echter hier juist datgene gegeven wat ik zocht en hetgeen destijds in 't Vaderland niet te verkrijgen was. Als ik dan verder de zes jaar overzie, die ik nu hier doorbracht, is er zooveel reden tot dankbaarheid voor de groote tegemoetkoming van de nieuwe landgenooten. Het zijn de Duitsche collega's o.a. die mij voor den Nobelprijs hebben voorgesteld en de Keizer zelf heeft mij nog onlangs in kleinen kring als gast opgenomen, wat voor de opvattingen hier het allerhoogst beteekent.¹²⁴

Nadat Van 't Hoff het aanbod had afgewezen, begon een lange zoektocht naar een geschikte kandidaat, die ook nog eens bereid was om naar Utrecht te komen. Als eerste werd Bakhuis Roozeboom gepolst, sinds 1896 de opvolger van Van 't Hoff in Amsterdam. Deze kon zich echter niet vinden in de manier waarop de faculteit de scheikunde in Utrecht wilde verdelen en bleef daarom in Amsterdam. Vervolgens was het de beurt aan Lobry de Bruyn, die in 1896 in Amsterdam Gunning had opgevolgd, maar deze had net toestemming gekregen om een lector aan te stellen, waardoor hij zijn al te drukke werkzaamheden aanzienlijk kon verlichten en ook hij besloot daarom in Amsterdam te blijven.¹²⁵

Met Cohen kwam vervolgens opnieuw een Amsterdammer in beeld. Hij had in principe wel oren naar de positie, maar leek na een bezoek aan het laboratorium af te haken, omdat dit niet 'aan de matigst gestelde eischen voldoet en dat het in verband met den eigenaardigen bouwtrant ook niet mogelijk zal zijn door eenvoudige veranderingen van het inwendige tot een eenigszins bruikbaar geheel te geraken'.¹²⁶ Daarom eiste hij dat er een nieuw laboratorium zou worden gebouwd. Op dat moment kwam Van 't Hoff tussenbeide, daartoe in een confidentieel schrijven aangezocht door Hubrecht. Hij probeerde Cohen ervan te overtuigen niet al te hoog van de toren te blazen: 'aangezien niet lang geleden het laboratorium voor Dibbits is gebouwd en dat op Leeuwenhoek werkelijk niet zoo slecht is. Mulder Sr. heeft daar heel wat gedaan en ik heb mij te Amsterdam vele jaren met heel wat minder beholpen.' Tegelijkertijd zegde hij toe nog eens voor Cohen te zullen pleiten.¹²⁷ Eindresultaat was dat Cohen van de president-curator de vrijheid kreeg om met de minister van Binnenlandse Zaken, Abraham Kuypers, te gaan onderhandelen over de bouw van een nieuw laboratorium. Dat bleek een goede



Foto gemaakt op de dag van opening van het Van 't Hoff Laboratorium (16 mei 1904) in Utrecht. Van links naar rechts: Arrhenius, Van Romburgh, Van 't Hoff en Cohen.

zet, want er werd geld op de staatsbegroting vrijgemaakt en op 16 mei 1904 kon in het Sterrenbosch het nieuwe 'Van 't Hoff Laboratorium' worden geopend.¹²⁸ Van 't Hoff kwam er persoonlijk voor over uit Berlijn, helemaal omdat de universiteit hem ook een eredoctoraat in de geneeskunde had toegekend. Ook Arrhenius, die op doorreis was van Zweden naar de Verenigde Staten luisterde de bijeenkomst op met zijn aanwezigheid. In de laudatio wees de voorzitter van de faculteit der geneeskunde C.A. Pekelharing aan de hand van een aantal voorbeelden op het belang voor de geneeskunde van Van 't Hoffs ontdekkingen als het asymmetrisch koolstofatoom en zijn theorie van de osmotische druk: 'De geneeskunde erkent U als den meester, die, als een zon aan den hemel der natuurwetenschap, ook haar gebied bestraalt en met nieuwe vruchten verrijkt.'¹²⁹ Volgens Van 't Hoff 'was de hulde eenigszins onverdiend, daar hij bij zijn werk niet aan de toepassing zijner denkbeelden in de medische wetenschap gedacht had', maar hij waardeerde deze

des te meer omdat die afkomstig was van de universiteit waar hij zulke goede herinneringen aan had.¹³⁰ De opening bestond vervolgens uit het overhandigen van een vergulde sleutel van het laboratorium aan Van 't Hoff, die op zijn beurt een kostbare, door hem zelf gebruikte en verbeterde polarimeter ten geschenke gaf.¹³¹ Onder leiding van Cohen en Pieter van Romburgh, die naast Cohen benoemd werd als hoogleraar organische chemie, zou in de daaropvolgende jaren de scheikunde in Utrecht zich langzaam herstellen.¹³²