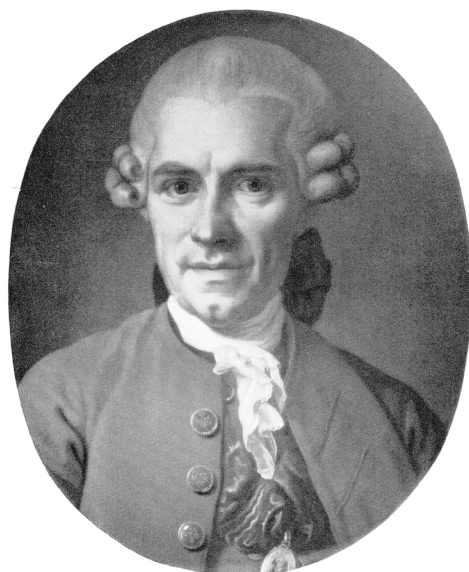


Torbern Bergman, Guiton de Morveau, Antoine Lavoisier og den nye kemi

Den moderne nomenklatur- og affinitetsforståelse gjorde op med alkemiske forestillinger i 1770'erne og 80'erne samtidig med den kemiske revolution.



Fotos: Wikipedia Commons

Bergman (Kungliga Svenska Vetenskapsakademien, Stockholm), Guiton de Morveau og Lavoisier.

Af Curt Wentrup

Forkastelsen af den for uindviede uforståelige alkemiske nomenklatur og grundlaget for en moderne, systematisk nomenklatur begynder med Louis-Bernard Guiton de Morveaus artikel *Mémoire sur les dénominations chimiques* i 1782 [1]. Alkemisterne havde brugt navne som Glaubersalt (Na_2SO_4), vitriololie (svovlsyre), smør af antimon (SbCl_3), hornsølv (AgCl), henflydende salt af vinsten (K_2CO_3), korrosivt sublimat (HgCl_2), osv., og desuden benyttede de talrige symboler såsom \odot = guld, D sølv, ♀ kobber, ♁ kviksølv, ♂ eller δ jern, ♃ tin, ♄ bly, \ominus = salt, \oplus = salpeter, Ψ = kalc (oxyd), osv.

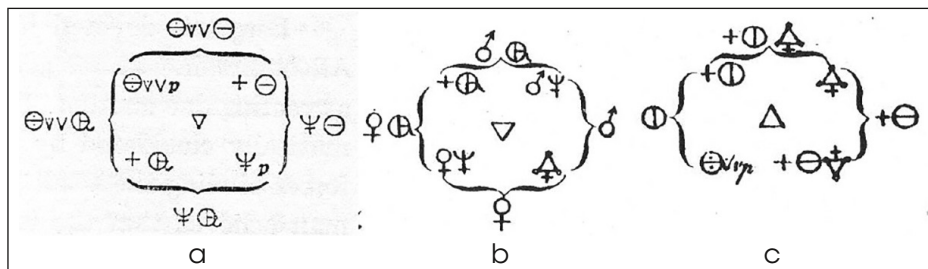
Dette system blev også brugt af den berømte Torbern Bergman i Uppsala, som stod i nær skriftlig forbindelse med Guiton. Det fremgår af korrespondancen [2], og også af Guitons *Mémoire*, at han ofte søgte Bergmans råd, og at de var rimeligt enige med hensyn til nomenklatoriske anskuelse. Således skrev Guiton i et brev til Bergman 27.10.1781:

”Jeg profiterer af Deres kommentarer om mine noter og finder, at vores uenigheder er reduceret til meget lidt...” og 14.1.1783:

”Jeg tror, De ikke vil misbillige min navngivelse, ... jeg kalder *air vital* (livsluft (O_2)) *air déphlogistiqué* (dephlogistikeret luft) ifølge Deres side 366 (anden del af Bergmans *Opuscula phy-*

sica et chemica [3], som Guiton havde oversat til fransk og derved bidraget væsentligt til hans berømmelse i Frankrig) for ikke at være partisk...”. Han lærte endda svensk, så han kunne læse alle Bergmans arbejder. Bergman og Guiton var tilhængere af J.J. Becher og G.E. Stahls teori [4], hvorved phlogiston var det brændbare stof, som formentes at blive frigjort ved forbrænding og ved kalcinering (oxidation) af metaller.

Reduktionsmidler som trækul mentes at have et meget stort phlogistonindhold. Priestley og Kirwan, som også var phlogistikere, mente, at brændbar luft (hydrogen) var identisk med phlogiston. Bergman forblev phlogistontroende til sin død, men Guiton blev omvendt og



Figur 1. Bergmans formulering af kemiske reaktioner.

tilsluttede sig Lavoisiers opfattelse i 1787, da det blev stadig vanskeligere at forsvare phlogistonbegrebet på grund af Lavoisiers dekomponering af vand og beskaffenheden af luftsyre (CO_2) og livsluft (air déphlogistique = air vital = oxygène = syre-danner = surstof) [5c]. Endnu i 1786 udskrev han som kansler af l'Academie Royal i Dijon en prisopgave om phlogistons egenskaber og om forskellen mellem phlogiston og varmestoffet [5a].

D'Arcet, en læge ved det medicinske fakultet, meddelte i 1786, at man i Paris stadig var skilt i to grupper, hvad angår eksistensen af det brændbare princip (phlogiston), og spørgsmålet, om vand kan adskilles i brændbar og livgivende luft (hhv. H_2 og O_2), og om disse igen kan forenes (hvilket Lavoisier påviste).

"Den venlige strid var endnu ikke afgjort" [5b]. I 1783 spurgte Bergman Guiton, om Lavoisier stadig var anti-phlogistiker, hvilket Guiton måtte bekræfte (brev af 30.8.1783) [2], selv om de begge på det tidspunkt nok havde foretrukket et negativt svar. Den Kemiske Revolution (cirka 1772-89) bestod i Lavoisiers omstødning af phlogiston-begrebet til fordel for oxidation, som førte til den Nye Kemi.

Efter at Guiton, Lavoisier, Berthollet, Fourcroy, de la Place (Laplace), Monge, Vandermonde, Cousin, le Gendre, Cadet, og Jean Henry Hassenfratz havde mødtes hos Lavoisier tre gange om ugen i tre måneder for at diskutere den nye nomenklatur, som blev publiceret i 1787 [6], meddelte Hassenfratz direkte, at det var Bergman, som havde opmuntret Guiton til en gennemgående ændring, som førte til det nye kunstsprog [5c]. Guiton selv udtalte, at det nye kunstsprog også ville blive ledsaget af nye, simple kemiske symboler for at gøre det nemmere at beskrive forbindelsers sammensætning og deres dekomposition *efter Bergmans metode* [5d]. Disse symboler blev fremsat af Hassenfratz og Adet [6] som beskrevet nedenfor. Bergmans indflydelse er ofte ikke blevet taget tilstrækkeligt i betragtning af historieskriverne.

Bergmans nomenklatur

Vi behøver nu et indblik i Bergmans nomenklatur og hans avancerede beskrivelse af kemiske reaktioner. Han foreslog navne som *acidum vitrioli*, - *nitri*, - *salis marini* og -*phosphori* (svovl-, salpeter-, salt- og fosforsyre), *acidum formicarum* (myresyre) og - *aëreum* (luftsyre, CO_2), *cuprum vitriola* og *cobalti nitrati*, men bibeholdt gamle navne som *sale Glauberi* & *ammoniaci secreto* (Glaubers Na_2SO_4 og $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), *sale digestive* (KCl), *alkali vegetabile, minerale, et volatile* (hhv.

$\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaOH}$, $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{KOH}$, og NH_3) i 1775. Han indså også, at salte er resultatet af reaktioner mellem syrer og baser og formulerede dem på denne måde ved hjælp af de gamle, alkemiske symboler [7].

Således blev kaliumsulfat formuleret ved sammensætning af symbolerne for potaske og svovlsyre, og calciumklorid som kalk og saltsyre, som er vist på henholdsvis venstre og højre side af diagrammet i figur 1a.

Et + foran et symbol betyder syre; for eksempel \ominus = salt (NaCl), og $+\ominus$ = saltsyre. Et \ominus betyder base (alkali). Et ekstra symbol - v - betyder fixeret eller fast, for eksempel *fixed nitre* af Boyle

og Glauber = potaske = $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{KOH}$ = $\ominus\text{v}$ eller $\ominus\text{vv}$, hvor det andet v står for vegetabilsk alkali. Analogt betyder $\ominus\text{vm}$ fixeret mineralsk alkali ($\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaOH}$). Et \wedge betyder volatil eller gas, for eksempel ammoniak = $\ominus\wedge$.

Reaktionen i figur 1a mellem kaliumsulfat og calciumklorid i vandig opløsning (∇) danner det tungtopløselige kaliumsulfat, som synker til bunds, mens kaliumklorid forbliver i opløsning (henholdsvis nederste og øverste symboler i figuren). I figur 1b fører reaktionen i opløsning mellem kviksølvulfat på venstre side og jern på højre side til reduktion af kviksølv til elementært kviksølv, som falder til bunds, og oxidation af jernet til jernsulfat. Interessant nok opfattes elementært jern som reduktionsprodukt af siderit (jernoxyd) og phlogiston, thi ved forbrænding bliver jernet jo forkalket (oxideret), hvorved phlogiston frigives (men ifølge Lavoisier bliver oxygen derimod optaget).

Figur 1c forestiller reaktionen mellem salpeter (KNO_3) på venstre side, opfattet som sammensat af HNO_3 og KOH og på højre side saltsyre, som opfattes som sammensat af phlogiston og dephlogistikeret saltsyre (Cl_2). Ved ophedning (Δ) dannes phlogistikeret niter (NO_2), som stiger op. I Bergmans terminologi har salpetersyren og phlogiston en stor attraktion (affinitet) for hinanden.

Formålet med Guitons *Mémoire* var at reformere det kemiske sprog, afskaffe den alkemiske obskuritet og give stofferne navne, som direkte afspejlede deres sammensætning - som Bergman havde gjort ved hjælp af sammensatte

Gammelt navn, fordansket	Nyt navn (og betydning)
acide aerien (luftsyre)	acide carbonique (kulsyre)
air vital (livsluft)	oxygen (syredanner)
brændbar luft	hydrogen (vanddanner)
phlogistikeret luft	azote (nitrogen)
marin eller mineralsk alkali	sodium(natrium)karbonat
fixeret vinstensalt eller fixeret vegetabilsk alkali	kaliumkarbonat
metal-kalk	metaloxyd
phlogistikeret vitriolsyre	acide sulfureux (svovlsyre)
acide saccharin (sukkersyre)	acide oxalique (oxalsyre)
Glaubers hemmelige sal ammoniac	ammoniumsulfat

Tabel 1. Méthode de Nomenclature.

1	2	3	4	5
VITRIOLIC ACID	PHLOGISTICATED VITRIOLIC ACID	NITROUS ACID	PHLOGISTICATED NITROUS ACID	MARINE ACID
Pure ponderous earth	Pure ponderous earth	Pure vegetable alkali?	Pure vegetable alkali?	Pure vegetable alkali?
Pure vegetable alkali	Pure vegetable alkali	Pure fossil alkali?	Pure fossil alkali?	Pure fossil alkali?
Pure fossil alkali	Pure fossil alkali	Pure ponderous earth?	Pure ponderous earth?	Pure ponderous earth?
Lime	Lime	Lime	Lime	Lime
Pure magnesia	Pure magnesia	Pure magnesia	Pure magnesia	Pure magnesia
Pure volatile alkali	Pure volatile alkali	Pure volatile alkali	Pure volatile alkali	Pure volatile alkali
Pure clay	Pure clay	Pure clay	Pure clay	Pure clay
Calx of zinc Calx of iron Calx of manganese	Calx of zinc Calx of iron Calx of manganese	Calx of zinc Calx of iron Calx of manganese	Calx of zinc Calx of iron Calx of manganese	Calx of zinc Calx of iron Calx of manganese
Calx of cobalt Calx of nickel Calx of lead Calx of tin Calx of copper Calx of bismuth Calx of antimony Calx of arsenic Calx of mercury Calx of silver Calx of gold Calx of platina Water Spirit of wine Phlogiston	Calx of cobalt Calx of nickel Calx of lead Calx of tin Calx of copper Calx of bismuth Calx of antimony Calx of arsenic Calx of mercury Calx of silver Calx of gold Calx of platina Water Spirit of wine Phlogiston	Calx of cobalt Calx of nickel Calx of lead Calx of tin Calx of copper Calx of bismuth Calx of antimony Calx of arsenic Calx of mercury Calx of silver Calx of gold Calx of platina Water Spirit of wine Phlogiston	Calx of cobalt Calx of nickel Calx of lead Calx of tin Calx of copper Calx of bismuth Calx of antimony Calx of arsenic Calx of mercury Calx of silver Calx of gold Calx of platina Water Spirit of wine Phlogiston	Calx of cobalt Calx of nickel Calx of lead Calx of tin Calx of copper Calx of bismuth Calx of antimony Calx of arsenic Calx of mercury Calx of silver Calx of gold Calx of platina Water Spirit of wine Phlogiston
Phlogiston		Phlogiston		Phlogiston
Pure vegetable alkali		Pure ponderous earth?		Pure ponderous earth?
Pure fossil alkali		Pure vegetable alkali		Pure vegetable alkali

Figur 2. Udsnit af Bergmans affinitetstabel [7] og den engelske oversættelse af 1785 [13].

alkemiske symboler. Bergman vovede dog endnu ikke at ændre alle de gamle navne, ”fordi man ønsker at bibeholde de besynderlige navne under påskud af at undgå konfusion” (Guiton, *Mémoire*,¹ Fodnote 1, p. 371). Det skridt tog han imidlertid i 1784 med et nyt nomenklaturforslag, som var stærkt påvirket af Guitons *Mémoire* [8]. Guiton ændrede vitriololie til vitriolsyre (ændret til svovlsyre i 1887 (se *Méthode de Nomenclature* [6] nedenfor)), og alle salte af denne syre blev vitrioler (sulfater). Forbindelser skulle ikke navngives efter deres opfindere eller forekomster (for eksempel Glaubersalt; hjortetaksalt ((NH₄)₂CO₃), og det var bedre at vælge et intetsigende navn end et, som kunne vildlede. Volatil alkali blev til ammoniak, som med syrer dannede ammoniumsalte, og fixeret vegetabilsk alkali (vinstensalt) blev til potaske (K₂CO₃). Han afledede navne på talrige salte ud fra de pågældende syrer, for eksempel muriater (chlorider), citrater, oxal(a)ter, fosfater, formater, seba(sa)ter, osv. CO₂ gik under navnet luftsyre (Bergman), fixed air (Pristley), gaz eller acide méphitique (Maquer og Sage). Guiton foretrak air méphitique (dårlig luft).

Hassenfratz og Adet

Guiton afstod fra at give forbindelserne nye formler. Det blev gjort af J.H. Hassenfratz og P.A. Adet i deres bilag til Guiton, Lavoisier, Berthollet og Fourcroy's store værk *Méthode de Nomenclature* [6], hvor de skrev:

“Vi skulle ikke foreslå de samme

navne, som dem der blev brugt af ”de gamle”, som gjorde alt, hvad de kunne for at skjule forståelsen for almindelige mennesker. De skal i stedet være kemiske ord, som vil blive ensartede blandt alle kemikere... de skal udtrykke antallet, naturen og mængden af simple stoffer, som danner forbindelser...”

Hassenfratz og Adet kendte 56 simple stoffer, som de klassificerede som følger:

1. Simple og ofte forekommende stoffer, nemlig *calorique* (varmestof), oxygen og nitrogen, som blev repræsenteret af korte, lige linjer (—), som imidlertid kunne være horisontale, vertikale, eller på skrå: | = *calorique*, / = azote (nitrogen), — = oxygen.
2. Alkaliske (Δ) og jordagtige (∇) substanser.
3. Brændbare og syredannende substanser, som blev symboliseret med halvkredse, for eksempel ∪ = svovl, ∩ = carbon, ∪ = hydrogen, ∩ = fosfor.
4. Metaller blev beskrevet med det første bogstav af det latinske navn indskrevet i en cirkel: © = kobber (*cuivre*), Ⓟ = bly (*plomb*), men As og Sb for arsen og antimon. Guld blev fortsat betegnet med det gamle alkemiske symbol, ☉. Binære forbindelser blev beskrevet ved sammensætning af symbolerne for de enkelte bestanddele. Men systemet var for kompliceret til at finde vidtrækkende anvendelse.

Méthode de nomenclature

Det væsentlige fremskridt i *Méthode de Nomenclature* [6] var erstatningen af de

gamle alkemiske navne med nye, som umiddelbart antyder, hvad forbindelserne består af, som angivet eksempelvis i tabel 1, side 9.

Selv om Guitons *Mémoire* [1] dannede grundlaget, så var den nye nomenklatur dog et statement om Lavoisiers nye kemi omkring oxygen og afvisning af phlogiston. Forståelsen af ”kalke” som oxider og (den forhastede) opfattelse, at alle syrer var oxygenforbindelser, var centrale bestanddele af den kemiske revolution. Den nye nomenklatur var revolutionerende, men Guiton et al. afstod fra at benytte et tegnsprog for kemiske formler. Hassenfratz og Adets formler var for komplicerede til at finde almindeligt indpas, og Bergmans var belastede af hans phlogistonetro. Men Bergmans berømmelse skyldtes imidlertid hans udførlige tabeller over kemisk affinitet.

Affinitet

Empedocles' opfattelse af vekselvirkningen mellem atomer handlede om kærlighed og had (*philia* og *phobia*) [9]. Glauber [10], Boyle [10], Newton [11] og Stahl [4] havde tidlige anskuelser om årsagerne til kemiske reaktioner. Geoffroy [12] havde publiceret en *table de differents rapports*, som snart ville blive kaldt *valgaffiniteter* på grund af, at metaller og andre stoffer forbinder sig stærkere med en givet substans end med andre, når et ”valg” foreligger. Bergman [7] byggede videre på Geoffroys arbejde og fremstillede omfattende tabeller over reaktioner i vanding opløsning (se udsnit i figur 2) og i fast fase med de alkemiske

symboler for syrer og baser i øverste række. Under hver syre fandtes en søjle med de afledte baser og salte. Jo højere et stof var placeret i søjlen, desto større var affiniteten til den pågældende syre, og en højerestående base kunne fortrænge en laverestående fra dens salt.

Bergmans affinitetsteori fandt vidtrækkende anerkendelse, indtil Berthollet realiserede, at resultatet af en substitutionsreaktion afhænger af *mængden* af hver reaktant [14]. Carl Friedrich Wenzel fremsatte den første formulering af massevirkningsloven, som udsiger, at hastigheden af en kemisk reaktion er proportional med *koncentrationen* af de reagerende stoffer [15]. Ved undersøgelse af opløsningen af metaller i syrer fandt han en omvendt proportionalitet mellem syrestyrken og den tid, det tog at opløse metallet. Men Wenzel var samtidig alkemist, og hans arbejde fik derfor kun ringe påskønnelse. Mens Lavoisier et al. lancerede den kemiske revolution i Paris, troede Wenzel, at metaller var sammensatte forbindelser, som han kunne sonderdele, hvorfor han blev belønnet af Det kongelige danske Videnskabernes Selskab [16].

Det var endelig Guldberg og Waage, som gav den nugældende formulering: hastigheden af en kemisk reaktion er proportional med stofmængderne [17]. "Kraften" mellem to reagerende stoffer p og q er $k \cdot [p] \cdot [q]$, hvor k er en koefficient, som afhænger af stoffernes natur, temperaturen, osv.

E-mail:

Curt Wentrup: wentrup@uq.edu.au

Referencer

1. L.B. Guyton de Morveau, Mémoire sur les Dénominations Chimiques, la Nécessité d'en Perfectionner le Système et les Règles pour y parvenir, suivi d'un Tableau d'une Nomenclature Chimique. *Observations sur la Physique, l'Histoire Naturelle et les Arts, par M. l'Abbé Rozier*, 1782, 19, 370-382.
2. *Torbern Bergman's Foreign Correspondence*, G. Carild og J. Nordström, Eds., Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1965, Vol 1.
3. T. Bergman, *Opuscula physica et chemica*, Vol. 2, Upsala, 1780.
4. G.E. Stahl, *Chymia naturalis et experimentalis...*, Eysseln, Leipzig, 1720.
5. *Crells Chemische Annalen*, (a) 1786, 2, 546; (b) ibid. 425; (c) 1787, 2, 54-58; (d) 1786, 2, 54-55.
6. *Méthode de Nomenclature Chimique, Proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet [sic], et de Fourcroy. On y a joint un Nouveau Système de Caractères Chimiques, Adaptés à Cette Nomenclature, par MM. Hassenfratz & Adet*, Cuchet, Paris, 1787.
7. T. Bergman, Disquisitio de attractionibus electivis, *Nova acta Regiæ societatis scientiarum upsaliensis*, Upsala, 1775, 2, 161-250 med tabeller.
8. T. Bergman, *Nova acta Regiæ societatis scientiarum upsaliensis*, Upsala, 1784, 4, 115-128.
9. W. Ostwald, *Lehrbuch der Allgemeinen Chemie, zweiten Bandes zweiter Teil: Vewandtschaftslehre*, 2nd Ed., Engelmann, Leipzig, 1898-1902.
10. H. Kopp, *Geschichte der Chemie*, Vieweg, Braunschweig, 1843, Vol. 1.
11. W.R. Newman, *Newton the Alchemist*, Princeton University Press, Princeton, 2019.
12. E.F. Geoffroy, *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, 1718, p. 202.
13. T. Bergman, *A dissertation on Elective Attractions*, 2. udg. ved A.M. Duncan, Frank Cass & Co., London, 1970.
14. C.L. Berthollet, *Mémoires de l'Institut national*, Paris, 1799; *Ostwalds Klassiker der Exacten Wissenschaften*, Vol. 74, Engelmann, Leipzig, 1896.
15. C.F. Wenzel, *Lehre von der Verwandtschaft der Körper*, Gerlach, Dresden, 1777.
16. C. Wentrup, *ChemPlusChem* 2023, 88, e202300091.
17. P. Waage, C.M. Guldberg, *Videnskabs-Selskabet i Christiania, Forhandlinger*, 1864, 35; C.M. Guldberg, P. Waage, *J. Prakt. Chem.* 1879, 19, 69-114.

Kunstig intelligens baner vejen for nye og bedre beregningsmetoder



Kunstig intelligens gør det muligt at udvikle ekspertsystemer, der er i stand til at udtrække vigtige strukturelle oplysninger fra molekylet og lære at korrelere disse til forskellige egenskaber af interesse. Adem Rosenkvist Nielsen, Institut for Kemiteknik, DTU, vil introducere os til emnet.

Under foredraget vil der være rig mulighed for at stille spørgsmål, der medvirker til gensidige diskussioner mellem foredragsholder og deltagerne.

IDA Kemi sørger for fuld forplejning under foredraget.

18. marts 2024, IDA Conference, København

Læs mere: Fysisk tilmelding: ida.dk/arrangementer/353629.

Generalforsamling i IDA Kemi

Kom til generalforsamling i IDA Kemi og gør din indflydelse gældende.

Forslag, der ønskes behandlet på generalforsamlingen, skal være bestyrelsen i hænde senest 14 dage før generalforsamlingen.

19. marts 2024, IDA Conference, København

Læs mere: Fysisk tilmelding: ida.dk/arrangementer/353680.

Ingeniørforeningen, IDA | Kalvebod Brygge 31-33 | 1780 København V | Tlf.: 33 18 55 23
Luka Katrine Agerbo | website: ida.dk | e-mail: luka@ida.dk