

Grundstoffernes periodesystem (PS) fylder 150 år

- og det vil Dansk Kemi's læsere ikke få let ved at glemme her i 2019. Se introduktionen i [1] og følg Jesper Bendix' artikelserie om systemets betydning i kemien i løbet af året. Fokus for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg her i den parallelle serie er, for så vidt angår PS, IUPAC's udgave af det, figur 1, danske bidrag til udviklingen af systemet, valget af grundstofnavne samt ikke mindst de danske grundstofnavne, som vi anbefaler.

Grundstoffernes periodesystem (IUPAC)																	
1 H hydrogen 1.008 (1.0078, 1.0082)																	2 He helium 4.0026
3 Li lithium 6.94 (6.938, 6.997)	4 Be beryllium 9.0122																10 Ne neon 20.180
11 Na natrium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 (24.304, 24.307)																18 Ar argon 39.948
19 K kalium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titan 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chrom 51.996	25 Mn mangan 54.938	26 Fe jern 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nikkel 58.693	29 Cu kobber 63.546(3)	30 Zn zink 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsen 74.922	34 Se selen 78.971(8)	35 Br brom 79.904	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirkonium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybden 95.95	43 Tc technetium 101.07(2)	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag sølv 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimon 121.76	52 Te tæller 127.60(3)	53 I iod 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoider	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantal 180.95	74 W wolfram 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platin 195.08	79 Au guld 196.97	80 Hg kviksølv 200.59	81 Tl thallium 204.38 (204.38, 204.39)	82 Pb bly 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At æstat	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoider	104 Rf rutherfordium 181.038(8)	105 Db dubnium 185.86(3)	106 Sg seaborgium 186.10(3)	107 Bh bohrium 187.01(3)	108 Hs hassium 188.10(3)	109 Mt meitnerium 188.93(3)	110 Ds darmstadtium 189.12(3)	111 Rg roentgenium 189.12(3)	112 Cn copernicium 189.12(3)	113 Nh nihonium 189.12(3)	114 Fl flerovium 189.12(3)	115 Mc moscovium 189.12(3)	116 Lv livermorium 189.12(3)	117 Ts tennessin 189.12(3)	118 Og oganesson 189.12(3)
57 La lanthan 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodym 140.91	60 Nd neodym 144.24	61 Pm promethium 144.91	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erubium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97			
89 Ac actinium 227.03	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uran 238.03	93 Np neptunium 237.05	94 Pu plutonium 244.06	95 Am americium 243.06	96 Cm curium 247.07	97 Bk berkelium 247.07	98 Cf californium 251.08	99 Es einsteinium 252.08	100 Fm fermium 257.10	101 Md mendelevium 258.10	102 No nobelium 259.10	103 Lr lawrencium 262.10			

Figur 1. Denne udgave af IUPAC's opstilling med de danske grundstofnavne anbefalet af Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg kan ses på og downloades fra vores hjemmeside *Dansk Kemisk Nomenklatur* [2]. Det er formentlig nødvendigt at gøre dette for at kunne læse navnene tydeligt. (Nationalkomiteen for Kemi ser i øjeblikket på mulighederne for at rejse midler til at få fremstillet tavler i stort format med dette system til ophængning i auditorier, klasseværelser osv.)

Af Ture Damhus

Ganske kort, så har IUPAC åbnet PS-jubilæumsåret, når dette læses; det skete nemlig ved en heldagskonference den 29. januar i Paris, som blev *live stream*'et [3]. I forbindelse med IUPAC's General Assembly i Paris i juli 2019 vil flere storstilede arrangementer løbe af stablen, og året vil til sidst blive lukket i Japan. Det anbefales, at man går ombord i alle nyhederne på www.iupac.org.

I øvrigt havde *EuChemS* også en fejring i januar, hvor man præsenterede en særlig grafisk udgave af systemet, figur 2 (side 20).

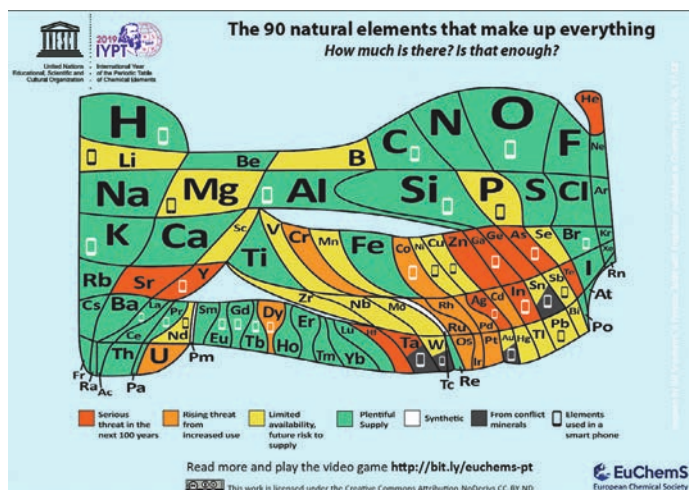
Terminologi

Hvis man lægger vægt på, at PS er *et system af perioder*, vil man anvende betegnelsen fra denne artikels overskrift. Men

helt tilbage til Mendeleev har man også talt om, at rækken af grundstoffer, når den ordnes efter stigende atomvægt, udviser en "periodiske Gesetzmässigkeit", jf. figur 3 (side 20). Det kan man vel godt sige afspejles i den tabellariske opstilling, og så kalder man det grundstoffernes (eller "det") *periodiske system*. Der skal ikke foretages yderligere vurdering af disse to talemåder her, men vi er jo nødt til at bruge den ene eller den anden nedenfor. Se i øvrigt [6].

IUPAC-periodesystemet

Da IUPAC gennem 1980'erne forberedte en ny udgave af de uorganiske nomenklaturanbefalinger, som endte med *The 1990 Red Book* [7], kunne man konstatere, at der rundt om i verden og i litteraturen anvendtes et utal af forskellige opstillinger



Figur 2. EuChemS' opstilling af PS, hvori de enkelte grundstoffer har felter med et areal, der svarer til deres udbredelse. Man kan også se, om grundstoffet forekommer i *smart phones*. Se nærmere på EuChemS's hjemmeside [4].

Figur 3. Det måske ældste PS til vægophæng. Lånt fra artiklen [5]. Det er fra 1885, og følgelig mangler germanium stadig (opdaget 1886).

af PS. Specielt var der flere indbyrdes modstridende måder at betegne hovedgrupper og sidegrupper på. Man besluttede sig for at komme ud over dette ved at foreslå opstillingen, som ses på figur 1, og bruge denne som grundlag for *nomenklaturfremstillingen*. Som nærværende forfatter husker perioden op til udgivelsen af [7] og nogle få år efter, var der temmelig heftig kritik i de kemiske massemedier. Mange følte, at netop deres favoritopstilling var bedst egnet til *diskussion af kemien* af grundstofferne. Interessant nok døde modstanden forholdsvis hurtigt ud og blev vel afløst af en ret udbredt accept af denne opstilling, også i kemiske kontekster. Men altså: IUPAC fordømmer ikke arbejde med andre opstillinger, og sidenhen har der da også været overvejelser om andre mere eller mindre kunstfærdige præsentationer af PS, se for eksempel [8,9].

Danske bidrag til udviklingen af periodesystemet

Danmark står som bekendt for to deciderede opdagelser af grundstoffer: aluminium og hafnium. Det er ikke stedet her at gentage disse historier; men se for eksempel [10,11]. Interessant er også, at Julius Thomsen faktisk forudsagde eksistensen af ædelgasgruppen i periodesystemet [12,13]. Thomsen var også ophav til den opstilling af systemet, som mange af os ældre kemikere har kendt siden gymnasietiden takket være Rancke-Madsens lærebog i kemi [14], og som senere blev udbygget af Niels Bohr, se videre i [6].

Grundstofnavnene

En ting er opstillingen af grundstofferne i rækker og kolonner og disses betegnelser. Noget andet er selve navnene på grundstofferne. Et mindre antal grundstoffer har været kendt fra oldtiden (guld, sølv, bly, svovl m.fl.) og har derfor etablerede navne, som typisk adskiller sig en del på forskellige sprog. For grundstoffer med en dokumenteret opdagelseshistorie har navngivningen i nogle tilfælde været forholdsvis uproblematisk, dvs. det internationale kemikersamfund nåede hurtigt til enighed om et engelsk navn, som så også hurtigt blev indlemmet med ingen eller få modifikationer på andre sprog. Der er dog undtagelser, hvoraf nogle skal nævnes her.

I 1997 skrev Sven Harnung og undertegnede et indlæg her i bladet [15] med den optimistiske titel *Endelig ro om grundstofnavnene*. Det drejede sig dér om, at der efter længere tids roderi (også fra IUPACs side!) med navnene på grundstofferne med atomnumre 101 til 109 var opnået international enighed, omend med nogen murren i krogene, om de navne, der nu kan ses i systemet i figur 1. Historien er noget indviklet (for eksempel var Danmark også involveret i navngivningen af nr. 107, som hverken kom til at hedde "nielsbohrium" eller "danium", men på godt og ondt simpelthen bohrium), og det anbefales at læse artiklen.

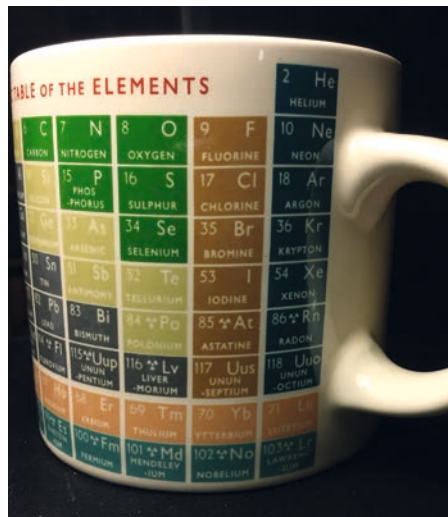
Dermed var det dog ikke slut. Undertegnede fik for alvor ørerne i maskinen i forbindelse med udgivelsen af IUPAC's anbefalinger for uorganisk-kemisk nomenklatur i 2005 [16]. Problemet var wolfram, på engelsk uden megen diskussion kaldet *tungsten*. Opdagelseshistorien kan igen for eksempel læses i [10,11], men i hvert fald havde to spaniere erkendt grundstoffets tilstedeværelse i mineralet wolframit [$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$] og foreslået navnet wolfram, som er slået igennem på en række sprog, herunder tysk og dansk. IUPAC's 1970-anbefalinger [17] anførte wolfram i parentes efter tungsten i listen over grundstoffer og brugte wolfram i adskillige afledninger; 1990-bogen [7] havde nedtonet wolfram; og i 2005 forekom wolfram kun i en fodnote for at forklare atomsymbolet W [16]. Dette var vores nutidige spanske kolleger stærkt oprørte over, og IUPAC måtte komme med et detaljeret forsvar for beslutningen. *Executive summary* er: "tungsten" er ikke til at rulle tilbage på engelsk, og vi vil ikke have flere navne for samme grundstof i den internationale nomenklatur; men IUPAC blander sig ikke i grundstoffernes opdagelseshistorie. Se nærmere i [18]. (Hvordan det i 1984 i [10] kunne blive til, at wolfram få år forinden var "blevet det internationalt vedtagne", ved jeg ikke).

Proceduren for nye grundstofnavne

Trakasserierne i forbindelse med navnene for grundstofferne nummer 101 til 109 gjorde, at IUPAC siden meget omhyggeligt har revideret og beskrevet proceduren for navngivning af nyopdagede (eller nyfremstillede) grundstoffer meget omhyggeligt (se seneste version i [19]). IUPAC's rolle er ikke at foreslå grundstofnavne og atomsymboler, men at forholde sig til, om opdagernes forslag opfylder relevante krav. Eksempelvis skal et grundstof opkaldes efter "et mytologisk koncept, et mineral, et sted eller land, en egenskab eller en videnskabsmand" [19]; navne på nye grundstoffer i gruppe 1 til 16 skal ende på "ium", i gruppe 17 på "ine" og i gruppe 18 på "on"; og navn og symbol må ikke have været i brug før for andre grundstoffer. Navnet "cassiopeium" og symbolet Cp havde været brugt om lutetium; derfor kunne nr. 112 ikke få symbolet Cp, og et forslag om "copernicium" måtte ifølge den anden nævnte regel ændres til copernicium. Hvis et forslag ikke opfylder kravene, sendes det tilbage til opdagernes, som må komme med et nyt forslag.

Indtil et grundstof har fået et egentligt navn, har det et stiliseret latinsk-udseende navn efter et lettere nørdet system foreslået af IUPAC. For eksempel kan man på kruset i figur 4, som har nogle år på bagen nu, se navnene ununpentium (for nr. 115), ununseptium for nr. 117 og ununoctium (for nummer 118). De tilsvarende atomsymboler er Uup, Uus og Uuo.

Det bliver spændende at se, om vi fortsætter ud over 7. periode og får brug for disse regler igen.



Figur 4. Forfatterens kaffekrus. Uheldigvis står der "sulphur"; IUPAC's stavemåde er sulfur. På senere udgaver af dette krus er dette dog rettet, og de sidste grundstoffer har fået deres endelige navne, for eksempel oganesson.

Danske grundstofnavne

Kemisk Forenings daværende nomenklaturudvalg udgav i 1952 en lang betænkning, hvori blandt andet opregnedes udvalgte navne for de dengang kendte 98 grundstoffer (som man kaldte "elementer"; det ville vi ikke gøre på dansk i dag). Se [20]. Der var angivet alternative navne for nogle af grundstofferne (herunder nogle latinske navne som argentum, aurum, cuprum, ferrum, hydrargyrum, plumbum, stannum, stibium og sulfur); som naturligtvis har historisk interesse som baggrund for atomsymbolerne, men som allerede anført er det ikke hensigtsmæssigt at have flere navne for noget så fundamentalt som et grundstof, så vi anbefaler nu kun de navne, der stod først i listen dengang. Disse navne blev ophøjet til Dansk Standard i 1984, og det nuværende Nomenklaturudvalg har ikke ændret på dem.

Siden dengang er der kommet 20 nye grundstoffer til. De internationale navne for disse har uden ændring kunnet overtages på dansk – med én undtagelse, nemlig nr. 117, som er placeret i

gruppe 17, halogenerne. IUPAC-navnet er tennesine, opkaldt efter USA-staten Tennessee, hvor Oak Ridge National Laboratory ligger. I en række europæiske lande var man med på hyldesten til Tennessee-laboratoriet, men havde på den anden side en tradition for, at halogenernes navne skulle være uden den typiske engelske endelse "ine". Det førte til den beslutning, at grundstof nr. 117 skulle hedde Tennes på tysk, tennes på svensk og norsk, tenés på slovakisk, tennesse på fransk, tenesso på italiensk og portugisisk og teneso på spansk. Vi har heller ikke "in(e)"-formerne på dansk, men Nomenklaturudvalget fandt "tenness" for ubekvemt på dansk og valgte derfor som dansk navn *tennessin*. (Russerne valgte essentielt det samme navn, mens hollænderne, polakkerne og rumænerne valgte tennes-sine; ungarene tenneszin; finnerne tennesiini og esterne tennesiini). Navnet "tennessinium" var inde i diskussionen i Nomenklaturudvalget, men faldt, fordi endelsen "ium" er forbeholdt grupperne 1 til 16.

Retskrivningsordbogen medtager kun 73 grundstoffer og behandler navnene meget inkonsekvent, for eksempel har nogle, men ikke alle, et parentetisk "(et grundstof)" efter opslagsordet, og for nogle er der tilføjet tilfældige leksikonoplysninger som "metallisk", "radioaktivt" eller "giftigt". For en række grundstoffer anvendes stavemåder (klor, krom, fosfor m.fl.) fra før vores ovenomtalte anbefalinger fra 1952, som ellers har været i gymnasielæreboerne de sidste 3-4 årtier. Der er ikke krydshenvisning mellem "tungsten" og "wolfram", som derved fremstår som to forskellige grundstoffer. Nomenklaturudvalget har sendt en udførlig redegørelse for alt dette til Dansk Sprognævn og foreslået, at man som en gave til kemikersamfundet her i jubilæumsåret optog samtlige grundstoffer og i det mindste havde de af os foreslåede stavemåder som alternativer.

I kommende artikler ser vi på, hvordan man på forskellig vis modificerer grundstofnavnene i kemisk nomenklatur.

Ture Damhus er formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg; medlem af Nationalkomitéen for Kemi; sekretær i Dansk Selskab for Historisk Kemi og medlem af IUPAC's Division VIII (Chemical Nomenclature and Structure Representation) og Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols).

E-mail:

Ture Damhus: turedamhus@outlook.dk

Referencer

1. J. Bendix, T. Damhus: Stor international kemifest i år 2019. *Dansk Kemi* 99 #8 (2018) 6.
2. www.kemisknomenklatur.dk.
3. <https://iupac.org/event/iyp2019-opening-ceremony>.
4. <https://www.euchems.eu/the-periodic-table-and-us>.
5. H. Kragh: Elemente mit System [i trykken i *Physik Journal* 18 (2019) nr. 3]. Se også <https://news.st-andrews.ac.uk/archive/worlds-oldest-periodic-table-chart-found-in-st-andrews>.
6. B.R. Larsen: Grundstoffernes periodesystem fylder 150 år – og lidt om periodesystemet i den gymnasiale undervisning. Se næste nummer.
7. *Nomenclature of Inorganic Chemistry – Recommendations 1990* ("The 1990 Red Book") [G.J. Leigh, Ed.; Blackwell Scientific Publications, 1990].
8. E.R. Scerri: *The Periodic Table – Its Story and Its Significance* [Oxford University Press 2007]. En lettere tilgængelig sammentrængt version af Scerri fremstilling kan findes i [9].
9. E.R. Scerri: Mendeleev's Periodic Table – From Origins to Current Debates, pp. 13–25 i K.J. Jensen, A. Kildebæk Nielsen (red.): *Aspects of Philosophy of Chemistry* [Historisk-kemiske skrifter nr. 17, Dansk Selskab for Historisk Kemi 2008 (se www.historisk-kemi.dk)].
10. E. Rancke-Madsen: *Grundstoffernes Opdagelseshistorie* [G.E.C. Gad, 1984].
11. H. Henriksen, E. Pawlik: *Bogen om Grundstofferne* [Gyldendal 1998].
12. H. Kragh: *Julius Thomsen. A Life in Chemistry and Beyond* [Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab 2016].
13. Scerri har det lige akkurat med i en fodnote i [9], hvor han nævner "Jörgen Thomsen". (Hans fulde navn var Hans Peter Jürgen Julius Thomsen).
14. E. Rancke-Madsen: *Lærebog i kemi* [for eksempel 9. udg., G.E.C. Gad, 1967].
15. T. Damhus, S.E. Harnung: Endelig ro om grundstofnavnene. *Dansk Kemi* 78 #10 (1997) 10–12. (Har man ikke adgang til det trykte blad fra dengang, kan man læse artiklen på internetstedet Dansk Kemisk Nomenklatur [2]).
16. *Nomenclature of Inorganic Chemistry – IUPAC Recommendations 2005* ("The 2005 Red Book") [N.G. Connolly, T. Damhus, R.M. Hartshorn, A.T. Hutton, RSC Publishing 2005].
17. *Nomenclature of Inorganic Chemistry* (med den morsomme undertitel *Definitive Rules*) ("The 1970 Red Book") [Butterworths 1970]. Kan også ses i *Pure Appl. Chem.* 28 # 1 (1971) 1–110, som frit kan downloades (<https://doi.org/10.1351/pac197128010001>).
18. *Up for Discussion – Wolfram vs. Tungsten*. Indlæg af P. Goya og P. Román, svar fra T. Damhus, *Chemistry International* 27 # 4 (2006) 26–28. Artiklen kan ses på internettet; gå til http://publications.iupac.org/ci/2005/2704/ud_goya.html#author.
19. W.H. Koppenol, J. Corish, J. García Martínez, J. Meija, J. Reedijk: How to name new chemical elements (IUPAC Recommendations 2016). *Pure Appl. Chem.* 88 # 4 (2016) 401–405.
20. Betænkningen er gengivet i *Dansk Kemisk Nomenklatur* [Kemisk Forening. København 1978.] Skriftet kan ses under et link på internetstedet Dansk Kemisk Nomenklatur [2].