

Dansk Kemi

Nummer 1 - Februar 2024 / 105. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

Livscyklusanalyser
i malingsindustrien

Glaskeramiske
plader - opdaget
ved et mislykket
eksperiment

Vandaktivitet i frosne fødevarer

GRAM

Biostorage you can depend on

bioline

Udviklet & Produceret i DK

Intelligent Chemistry

Biolab A/S Automation Specialist

Biolab A/S Custom Solutions

Liquid dispensing - Vial handling - Measurement of weight- pH - and a lot more...

JASCO

Advanced Spectroscopic & Purification Solutions

SP Scientific

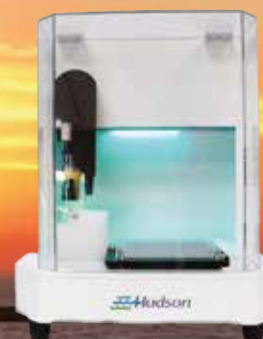
Automated Sample Concentration - Freezedrying

Gilson and Hudson Robotics Inc.

Advanced Automation solutions.

Rheosense - Viscosity on 15ul

Advanced Viscosity profiles



The only limitation is your imagination

Biolab A/S
Sindalsvej 29
DK-8240 Risskov
+45 8621 2366
sales@biolab.dk
www.biolab.dk



1 Forside
Vandaktivitet er defineret som forholdet mellem vanddamptrykket over fødevarer og damptrykket over rent vand ved samme temperatur, men i frosne fødevarer under faseomdannelse er bestemmelse af vandaktivitet mere komplekst. Læs mere herom på side 9. Foto: Freepik.

6 Fremtidens energilagring og konverteringsteknologier
Redox-mediatorer har mangfoldige anvendelsesmuligheder og tiltrækker opmærksomhed inden for forskning i energikonvertering.

12 Gennemsigtige glaskeramiske materialer
Oprindeligt blev glaskeramiske materialer opdaget ved et tilfælde. I dag betyder indsigt i deformationsmekanismer på mikro- og nanoskala, at stadig stærkere gennemsigtige glaskeramiske materialer kan fremstilles.

14 Digitalisering af lugt
Digitale næser, der kan detektere cadaverin, er med til at reducere madspild.

16 Bæredygtig udvikling af malingsprodukter
Læs om livcyklusvurdering inden for malingsindustrien.

19 Ny forskning sikrer effektiv PFAS-fri membranteknologi til energilagring
Projektet "Dankobat, der har fokus på at udvikle vanadium redox flow-batterier (VRFB), tager et nyt skridt ved at bruge fluorfrit polybenzimidazol (PBI) som et nyt membransystem.

20 Ethics of Chemistry - From Poison Gas to Climate Engineering
Anmeldelse af lærebog, der sætter fokus på, hvordan man analyserer og diskuterer etiske aspekter af kemi.

22 To gymnasiekemilærebogsforfattere
Anders Østergaard og E. Rancke-Madsen har forfattet flere lærebøger inden for kemi.

24 Kemisk nomenklatur til kosmetik
Et dyk ned i kosmetikken, der anvender sin egen nomenklatur.

28 Torbern Bergman, Guiton de Morveau, Antoine Lavoisier og den nye kemi
Læs om pionerer inden for grundlæggelsen af den kemiske nomenklatur.

31 Foreningsnyt fra IDA

TechMedia

Naverland 35
2600 Glostrup
Telefon 43 24 26 28
info@techmedia.dk
www.techmedia.dk

Redaktion:
Professor Hanne Christine Bertram
(ansvarshavende)
hcb@techmedia.dk
Professor Søren Kiil
sk@kt.dtu.dk
Ph.d. Kristian B. Krogh
kbb@novozymes.com
Professor Henrik Skov
hsk@envs.au.dk
Maria Bech Poulsen
mabp@envs.au.dk

Ledelse:

Adm. direktør Peter Christensen
Direktør Rikke Marott Schelde

Redaktionskomité:

Professor Anne S. Meyer (formand)
Professor, dr. scient. Mikael Bols
Professor Morten J. Bjerrum
(Kemisk Forening)
Lektor, ph.d. Peter Szabo
(Kemingeniørgruppen)
Lektor, civilingeniør, ph.d.
Merete Norsker Bergsøe
Vibeke Richter Foersom
(Næstformand, Kemilærerforeningen)
Chefkonsulent Helle Westphal
Gruppeleder, EHS, FMC site Rønland
Inge Margrethe Jensen
Fagkonsulent Mette Malmqvist

ISSN 0011-6335 (tryk)
ISSN 1902-360x (online)

Bladsekretær:

Heidi Thode
Tlf. 43 24 26 62, ht@techmedia.dk

Annoncer:

Tanja Wulff Dühring
Tlf. 43 24 26 06, twd@techmedia.dk

Annonceproduktion:

Marianne Dieckmann
Tlf. 43 24 26 82, md@techmedia.dk

Layout:

Trine Plass

Tryk:

PE Offset A/S

Oplag: 4.190

Online læsere: 1.279

Abonnement:

Bestilling og ændring/opsigelse
sendes til abonnement@techmedia.dk

Trykt på
miljøvenligt papir
med vegetabiliske
miljøfarver.



Citater fra artikler i Dansk Kemi skal ske med tydelig kildeangivelse. Enhver form for gengivelse af artikler, herunder illustrationer, forudsætter udgiverens skriftlige tilladelse. Redaktionen kan ikke påtage sig ansvaret for materiale, der indsendes uopfordret.

Læs bladet online:
www.danskkemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

**Eller find
Dansk Kemi på:**



Scan og hent Dansk Kemis
medieinformation 2024 her!
Scan med kameraet
på din smartphone.



Fremtidens kemiundervisning

I en verden, der bliver stadig mere digital, er det blevet mere og mere almindeligt for børn og unge at bruge teknologi i deres daglige liv - herunder i skolen.

Men hvad betyder det for vores uddannelsessystem? Bliver vi bedre eller dårligere til at lære? Og hvordan påvirker brugen af disse digitale værktøjer vores evner til at tage prøver? Disse er spørgsmål, der har optaget undervisningsministeren.

Derfor har børne- og undervisningsministeren besluttet at handle. Ministeren har nedsat en ekspertgruppe, der over det næste år vil undersøge, hvordan de digitale hjælpemidler påvirker prøver og undervisningen. Gruppen består af akademikere og praktikere, alle med stor erfaring inden for feltet.

Efter planen vil ekspertgruppen afraportere sine resultater til ministeren i marts 2024. Indtil da vil debatten om brugen af teknologi i uddannelse fortsætte, mens både undervisere og politikere venter spændt på udkommet af

denne undersøgelse. En undersøgelse, der kan betyde, at kemiundervisningen står over for nye udfordringer og muligheder.

I det følgende fremhæves nogle udfordringer og muligheder, der er identificeret af kemilærere ved årets konferencer for kemilærere (Faglig udvikling I Praksis (FIP)).

Nogle udfordringer kunne være at få lært eleverne at reflektere over "hjælpen" fra Artificiel Intelligens (AI)-baserede værktøjer. På et andet plan kunne en udfordring være, hvordan AI-baserede værktøjer kunne indgå i en prøvesituation.

På trods af udfordringerne åbner AI-baserede værktøjer utallige muligheder i kemiundervisningen. Mulighederne kunne være at benytte dem til idégenerering; som støttelærere; der for eksempel kan forklare stoffet på en anden måde end bogen eller læreren; til perspektivering, men det kunne også være hjælp til lærerens fremstilling af undervisningsmateriale.

AI-baserede værktøjer som ChatGPT kan være et kraftfuldt redskab i kemiundervisningen, men det er vigtigt at huske, at de skal bruges med omhu og med respekt for den rolle, de spiller i vores klasserum. Ved at inkorporere disse værktøjer på en intelligent og ansvarlig måde kan vi hjælpe vores elever med at opnå en dybere forståelse af kemi og dens anvendelser.

Mette Malmqvist, fagkonsulent i kemi og bioteknologi, Undervisningsministeriet

AI-baserede værktøjer
som ChatGPT kan
være et kraftfuldt redskab
i kemiundervisningen



Identificér tusindvis af stoffer på få sekunder med Metrohms spektrometre

- 7.000 organiske kemikalier**
- 2.250 uorganiske forbindelser**
- 1.500 farvestoffer, maling og pigmenter**
- 1.900 polymerer og plast**
- 1.700 produkter til personlig pleje**



Med Metrohms Raman-spektrometer MIRA er der ingen eller næsten ingen prøveforberedelse. Analysen er non-destruktiv, budgetvenlig og kan foregå kontaktfrit gennem emballage. Den håndholdte MIRA kan bruges i laboratorier, i varemodtagelsen, i fødevarerproduktion, på museer, i procesanalyse, på gerningssteder m.m.

Læs mere på metrohm.com eller kontakt os på mail@metrohm.dk

Fremtidens energilagring og konverteringsteknologier

- den essentielle rolle af redox-mediatorer.

Af Albert Otto Erich Hohn og Anders Bentien, Institut for Bio- & Kemiteknologi, Aarhus Universitet

Redox-mediatorer har tiltrukket opmærksomhed inden for energikonverteringsforskning, hvor deres alsidige anvendelsesmuligheder har åbnet døren for nye innovative og banebrydende ideer. Denne opmærksomhed har positioneret dem som en nøglekomponent inden for teknologier som elektrolyse, vandige batterier og zink-luft batterier.

Terawatt-udfordringen

Fossile brændstoffer har længe domineret energisektoren på verdensplan som den primære kilde til vores energiforsyning. Trods vores betydelige fremskridt inden for bæredygtig energi, må vi anerkende, at vi stadig er langt fra at udfase de fossile brændstoffer. Ifølge BP Statistical Review of World Energy (2020) udgør de fossile brændstoffer stadig 84,3 procent af den globale energiproduktion (174.274 TWh), mens de vedvarende energiteknologier kun udgør 11,4 procent [1]. For at opfylde EU's mål om CO₂-neutralitet i 2050 er der derfor behov for vedvarende og bæredygtige teknologier til energilagring og -konvertering på terawatt-skala [2]. Denne globale energiudfordring betegnes ofte som "The Terawatt Challenge" (Terawatt-udfordringen).

Inden for energilagring og -konvertering er der generelt en forståelse af, at der brug for materialer, som er lettilgængelige, billige og miljøvenlige. Derudover spiller den årlige globale produktion og den naturlige forekomst af grundstoffer på jorden en afgørende rolle i implementeringen af nuværende og fremtidige teknologier. I 2012 påpegede Peter Vesborg (DTU) og Thomas Jaramillo (Stanford Universitet), at 25 grundstoffer produceres i mængder, der overstiger 1 megaton årligt (Mt/år) [2]. Herved kan en energiteknologi, der

bruger 1 gram af et bestemt grundstof per watt, implementeres med en årlig kapacitet på mindst 1 terawatt (TW/år), hvis den nuværende produktion af det pågældende grundstof omdirigeres til udelukkende denne teknologi.

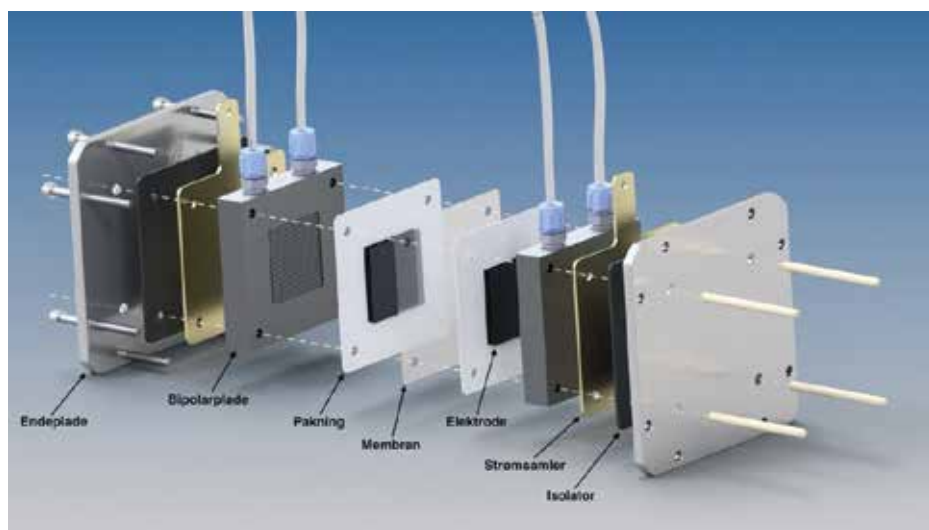
I vores forskning undersøger vi metalkomplekser som redox-mediatorer i vandige batterier (redox flow-batterier), medieret hydrogenproduktion og zink-luft batterier. En redox-mediator er et molekyle, der er opløseligt og sørger for transporten af elektroner og sommetider ioner. De undersøgte metalkomplekser består oftest af organiske ligander, som er koordineret til et centrum bestående af enten titanium (Ti), jern (Fe) eller mangan (Mn). Metallerne er udvalgt med henblik på deres elektrokemiske aktivitet, pris, tilgængelighed og enkelhed i synteseprocessen. Metalkomplekserne har desuden den ekstra fordel, at de kan opløses ved høje pH-værdier, mens metaller typisk

udfældes og danner metaloxider under disse betingelser.

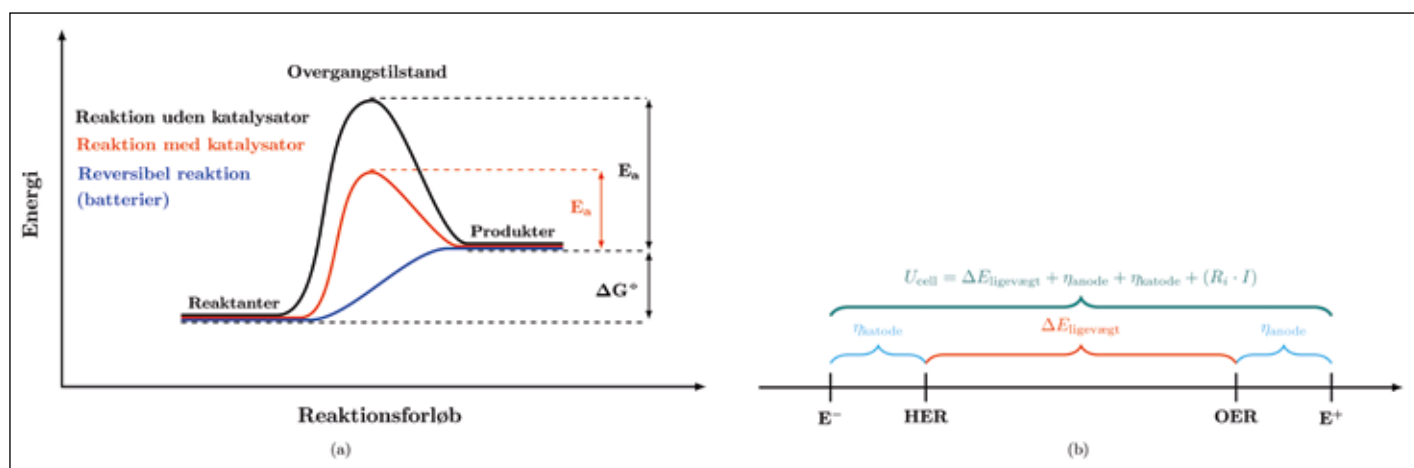
Redox flow-batterier

Et redox flow-batteri er en genopladelig enhed med separate elektrolytbeholdere, som består af katodemolekyler (positive side) og anodemolekyler (negative side), som er opløst i vand. Væskerne i elektrolytbeholderne pumpes ind i en elektrokemisk celle (stakken), hvor elektrisk energi (strøm) omdannes til kemisk energi ved at oxidere den positive side og reducere den negative side under opladning og omvendt under afladning. En illustration af en enkelt celle er vist i figur 1.

Ved konvertering af energi fra en form til en anden vil der altid forekomme en vis grad af energitab i form af varme under processen. I et batteri er dette tab forårsaget af den indre modstand (R_i), der opstår som følge af modstand i batteriets komponenter. Den



Figur 1. En illustration af en elektrokemisk celle (stakken). De essentielle komponenter, der muliggør de elektrokemiske reaktioner, inkluderer strømsamlere, elektrolytter, elektroder og membranen. Strømsamlerne sørger for elektronoverførsel mellem elektroderne og det eksterne kredsløb. De redox-aktive molekyler i elektrolytterne oxideres og reduceres på overfladen af elektroderne ved henholdsvis anoden og katoden. Membranen sørger for transport af de ioner, der deltager i de elektrokemiske reaktioner, samtidig med at forhindre at de to elektrolytter blandes.

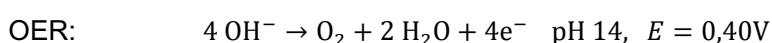
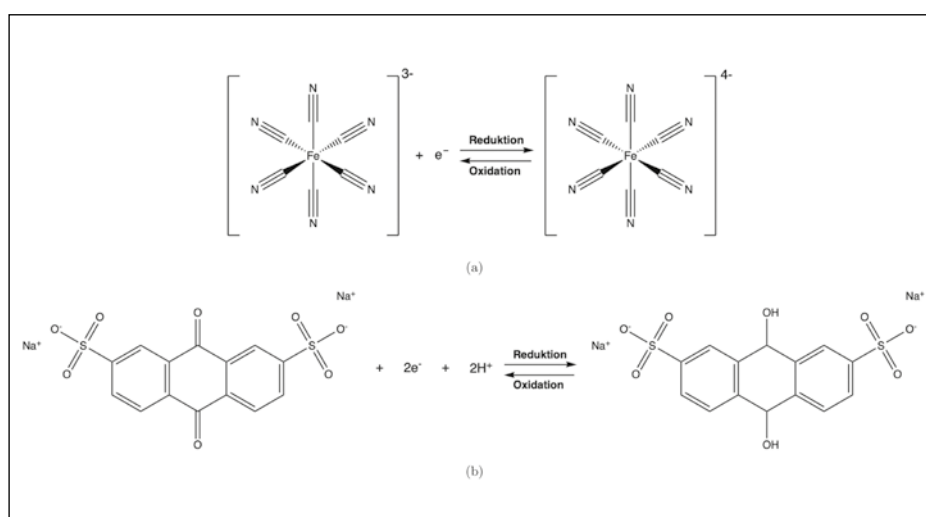


Figur 2. (a): Energidiagrammet for en ikke-katalyseret, katalyseret og reversibel reaktion. Brugen af en katalysator nedsænker aktiveringsenergien (E_a) for reaktionen, hvilket medfører et lavere overpotentiale og herved et lavere cellepotentiale. I batterier ønsker man en reversibel reaktion med ingen eller meget lav aktiveringsenergi, således at man undgår unødvendigt energitab og ikke har behov for en katalysator; (b): Cellepotentialet for en elektrolytisk celle. HER er standardpotentialet for hydrogenudviklingsreaktionen (-0,83V ved pH 14), OER er standardpotentialet for oxygenudviklingsreaktionen (0,40V ved pH 14), (E^-) er det negative halvcellepotentiale, og (E^+) er det positive halvcellepotentiale. Potentialeforskellen mellem HER og E^- er det katodiske overpotentiale, mens potentialeforskellen mellem OER og E^+ er det anodiske overpotentiale. Samtidig udgør forskellen mellem OER og HER den termodynamiske værdi (1,23V), også kendt som det elektrokemiske vindue for vand. Cellepotentialet beregnes som summen af overpotentialerne, den termodynamiske værdi og produktet af den indre modstand og strømstyrken.

indre modstand resulterer i spændingsfald og reduceret effektivitet af batteri under drift og derfor forsøger man at minimere R_i så meget som muligt for at undgå unødvendigt energitab. Redox-reaktionerne (oxidation og reduktion) af molekylerne i de elektrolytbeholdere foregår på overfladen af elektroderne. Disse elektroder er typisk lavet af materialer som carbonfelt på grund af dets gode elektroniske ledningsevne, store overfladeareal og porøsitet [4]. De to elektrolyt-opløsninger er separeret af en ion-selektiv membran, der kun tillader transport af specifikke ioner (kationer eller anioner) gennem den.

Vand-elektrolyse

Elektrolyse af vand er en elektrokemisk proces, hvor elektricitet anvendes til at spalte vand til hydrogen og oxygen (se elektrolysecellen i figur 4b, side 8). Processen finder sted som følge af de to halvcellereaktioner: hydrogenudviklingsreaktionen (HER, reduktion, optagelse af elektroner) og oxygenudviklingsreaktionen (OER, oxidation, afgivelse af elektroner) [3]. Potentialet (E) for disse to reaktioner varierer i forhold til pH-værdien af opløsningen og kan bestemmes ved hjælp af Pourbaix-diagrammet (potentiale vs. pH) for vand. Reaktions-skemaerne for HER og OER i en vandig basisk opløsning er:



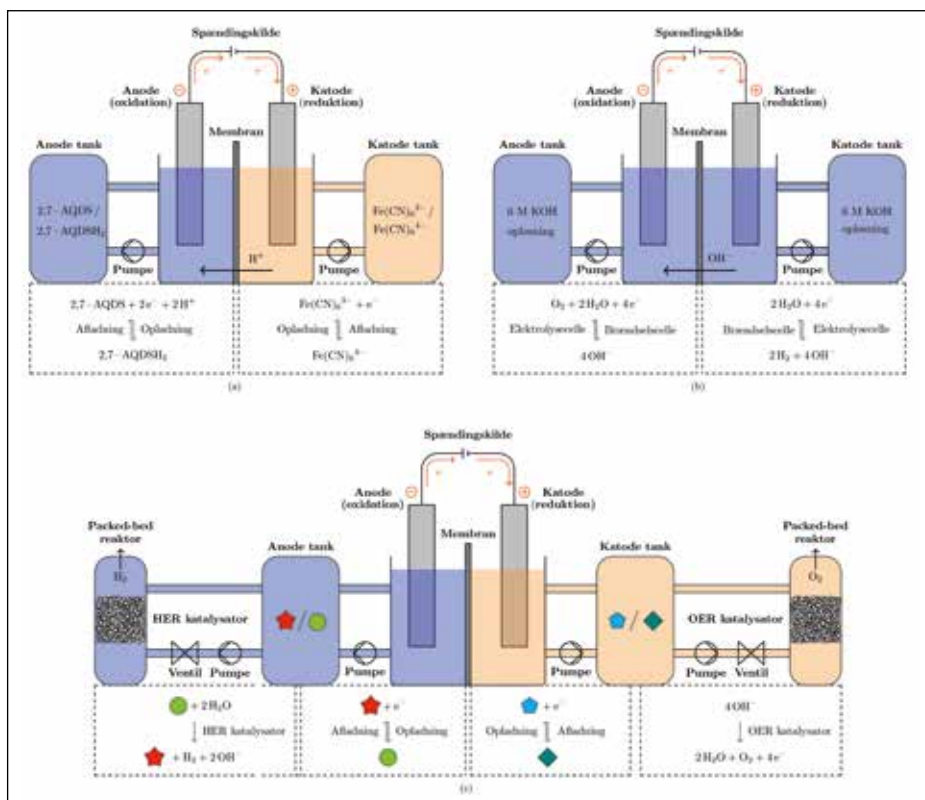
Figur 3. (a): Den kemiske struktur af ferrocyanid (reduceret form) og ferricyanid (oxideret form); (b): Den kemiske struktur af AQDS (oxideret form) og AQDSH₂ (reduceret form).

På grund af den kinetiske barriere kræver elektrolyse af vand et betydeligt højere potentiale end den termodynamiske værdi (1,23V) for, at reaktionen kan forløbe. Det "ekstra" potentiale, også kendt som overpotentialet (η), opstår primært på grund af intrinsiske aktiveringsbarrierer på anoden og katoden. Derfor er der behov for effektive katalysatorer, der kan reducere både aktiveringsenergien og overpotentialerne. Effekten af at anvende en katalysator er illustreret på energidiagrammet i figur

2a og sammenlignet med en reversible reaktion. Derudover viser figur 2b de individuelle bidrag til cellepotentialet for en elektrolytisk celle.

Organiske-uorganiske flowbatterier

Organiske molekyler vækker særlig interesse i forbindelse med redox flow-batterier, idet det er muligt at ændre deres redox-potentiale og opløselighed i vand ved at tilføje specifikke funktionelle grupper til molekylet. Typisk inkluderer disse funktionelle grupper hydroxyl-, carboxyl-, sulfonyl- og fosfatgrupper [5]. I redox flow-batterier søger man efter molekyler med høj vandopløselighed, da dette har indflydelse på både energi- og effekttætheden af batteriet. På den nega-



Figur 4. (a): Et redox flow-batteri med 2,7-AQDS som anodemateriale og ferrocyanid som katodemateriale. Figuren viser afladningsmekanismen af batteriet, hvilket betyder oxidation af den negative side og reduktion af den positive side; (b): En elektrolysecelle med 6 molar (6 M) kaliumhydroxid (KOH) som både anodemateriale og katodemateriale. Ofte benyttes der derfor kun en elektrolyttank, da begge sider indeholder det samme. Ved anoden produceres der oxygen, mens der ved katoden produceres hydrogen; (c): En illustration af et hydridsystem, som både indeholder elektrolyse og et flowbatteri. Figuren viser afladningsmekanismen af batteriet (se beskrivelse figurtekst 4a). Den røde stjerne er oxideret form af redox-mediatorer og den grønne cirkel er den reduceret form af redox-mediatorer. Den blå femkant er den oxideret form af den positive side og den mørkegrønne firkant er den reduceret form af den positive side.

tive side er der blevet undersøgt adskillige organiske molekyler, mens der på den positive side ofte anvendes det uorganiske metalkompleks ferrocyanid ($M_xFe(CN)_6$) med monovalente metaller ($M = Li^+, Na^+, K^+, NH_4^+$). Valget af ferrocyanid er baseret på dets høje opløselighed og fremragende stabilitet, mens der endnu ikke er fundet et organisk molekyle med tilsvarende stabilitet som et alternativ.

I vores forskning har vi arbejdet med et redox flow-batteri med anthraquinon-en AQDS (2,7-anthraquinondisulfonat) som anodemateriale (se kemisk struktur i figur 3b, side 7) og ferrocyanid som katodemateriale (se kemisk struktur i figur 3a, side 7). Batteriet er illustreret i figur 4a. Præstationen af dette system i forhold til cellepotentialer og energi- og effekttæthed er lavere end kommercielle state-of-the-art vanadium flowbatterier [6,7]. Dog kan materialerne i dette system produceres meget billigt på stor skala og deres egenskaber er meget mere fleksible.

Hydridsystem af flowbatterier og medieret/afkoblet hydrogenudvikling

Et af vores igangværende projekter indebærer udviklingen af et koncept for energilagring og -konvertering, hvor elektrolyse og batterilagring integreres i en simpel hydridteknologi. Dette koncept er særlig interessant, da man kan reducere omkostningerne af systemet signifikant ved at kombinere de to teknologier. En illustration af konceptet er vist i figur 4c. Når der er overskydende vedvarende energi, kan den bruges til at oplade batteriet ved at reducere det vandopløselige metalkompleks (redox-mediator) ved anoden og oxidere ferrocyanid til ferricyanid ved katoden.

Hvis man ønsker, at hydridsystemet udelukkende skal fungere som et redox flowbatteri, kan batteriet aflades ved at oxidere den negative side og reducere den positive side. Ønsker man derimod at producere hydrogen, så pumpes den reducerede redox-mediator ind i en packed-bed-reaktor, der indeholder en

HER-katalysator. Denne katalysator fremmer reaktionen mellem redox-mediatorsen og vand, hvilket resulterer i dannelsen af hydrogen (medieret hydrogenudvikling).

På den positive side fungerer ferrocyanid som en elektrondonor, indtil alt er oxideret. Derefter finder den konkurrerende OER-reaktion sted ved hjælp af en OER-katalysator. Den overordnede reaktion er derfor vandeletrolyse, hvor hydrogen og oxygen udledes gennem de to reaktorer. Den "grønne" hydrogen kan herefter benyttes til at producere kemikalier, gødning, brændsel, osv.

Finansiering

Den igangværende forskning er finansieret af projekterne DualFlow (Horizon Europe - European Innovation Council - Horizon-EIC-2021-Pathfinderchallenges-01-04 - Bevillingsnummer:101070788), HeySYS (Danmarks Frie Forskningsfond - Forskningsrådet for Teknologi & Produktion - Bevillingsnummer:1127-00068B) og ReZilient (Horizon Europe - European Innovation Council - Horizon-EIC-2021-Pathfinderchallenges-01-04 - Bevillingsnummer:101115535).

E-mail:

Albert Otto Erich Hohn:

albert.hohn@bce.au.dk

Anders Bontien: bontien@bce.au.dk

Kilder

1. *Energy Mix*. H. Ritchie and P. Rosado. Our World in Data (2020), sidst besøgt 28/11/23. URL: <https://ourworldindata.org/energy-mix>.
2. *Addressing the terawatt challenge: Scalability in the supply of chemical elements for renewable energy*. PCK. Vesborg and TF. Jaramillo. RSC Publishing (2012).
3. *Carbon felt based electrode for energy and environmental applications: A review*. TXH. Le, M. Bechelany, and M. Cretin. Carbon (2017).
4. *Decoupled Electrochemical Water Splitting: From Fundamentals to Applications*. PJ. McHugh, AD. Stergiou, and MD. Symes. Advanced Energy Materials (2020).
5. *Hydrogen production from water electrolysis: Role of catalysts*. S. Wang, A. Lu, and CJ. Zhong. Nano Convergence (2021).
6. *Organic Redox Species in Aqueous Flow Batteries: Redox Potentials, Chemical Stability and Solubility*. K. Wedge, E. Drazevic, D. Konya, and A. Bontien, Nature Energy (2016).
7. *Understanding Aqueous Organic Redox Flow Batteries: A Guided Experimental Tour from Components Characterization to Final Assembly*. JA. Pascual, IS. Sanchez, et.al. Batteries (2022).
8. *Recent Progress in Organic Species for Redox Flow Batteries*. Z. Li, T. Jiang, et.al. Energy Storage Materials (2022)



Foto: Angel Singesky, Unsplash

Vandaktivitet i frosne fødevarer under faseomdannelse

Vandaktivitet i frosne fødevarer udtrykkes relativt til vandaktiviteten af underafkølet vand ved samme temperatur og ikke relativt til vandaktiviteten af is, som ellers er vands stabile form. Det leder til et tilsyneladende paradoks for vandaktiviteten under udkrystallisation af is. Begrebet vandaktivitet bliver brugt upræcist i fødevarekemien, men Gibbs faselov hjælper med til at afklare begreberne.

Af Leif Skibsted,
Institut for Fødevarevidenskab,
Københavns Universitet

Vand er den vigtigste enkeltkomponent i de fleste fødevarer, og vands egenskaber

er afgørende for forarbejdning og konservering af fødevarer. I vandige opløsninger afviger den målte vandaktivitet fra, hvad der forventes for ideale opløsninger på grund af binding af vand til opløste molekyler. Vandaktivitet giver

derfor en bedre beskrivelse af vands indflydelse på kemiske ligevægte og omannelser af betydning for fødevarens holdbarhed ved forskellige temperaturer end vands koncentration [1]. Vandaktivitet måles normalt som forholdet mellem ►

vands damptryk over fødevarer og damptrykket af vand i standardtilstanden, se figur 1.

Valg af standardtilstand

For konstant tryk er det kemiske potentiale af vandmolekyler, μ_w , defineret som

$$\mu_w(T) = \mu_w^\circ(T) + RT \ln a_w \quad (1)$$

hvor $\mu_w^\circ(T)$ er det kemiske potentiale af vand i standardtilstanden. Valg af standardtilstand er vigtig for anvendelse af begrebet vandaktivitet, a_w . For temperaturer over vands frysepunkt er standardtilstanden rent flydende vand som den stabile form af vand ved de enkelte temperaturer [2]. For frosne fødevarer vælges derimod underafkølet flydende vand traditionelt som standardtilstand og ikke is, som ellers er den stabile form [3].

Valg af underafkølet vand som standardtilstand betyder, at a_w bestemt ved damptryksmåling af frosne fødevarer, p_{ff} , og af underafkølet vand, p_{uw}° :

$$a_w = p_{ff} / p_{uw}^\circ = p_{is} / p_{uw}^\circ \quad (2)$$

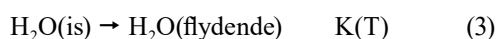
falder med faldende temperatur, da is er i ligevægt med vand i frosne fødevarer, og p_{ff} derfor har samme værdi som p_{is} ved samme temperatur [1]. Den faldende værdi af a_w ved lavere temperaturer bekræfter forestillingen om, at frysning mindsker reaktiviteten af vand og dermed øger holdbarheden af næringsstoffer i frosne fødevarer, se tabel 1. Vandaktivitet afhænger kun af temperaturen og ikke af sammensætningen af den frosne fødevarer, når der er udkrystalliseret is i fødevarer.

Valg af is som standardtilstand, som umiddelbart kan forekomme mere logisk, ville derimod medføre, at a_w af frosne fødevarer ville være 1,00 for alle temperaturer under frysepunktet. Vandaktivitet ville dermed ikke beskrive de faldende temperaturers positive effekt på frosne fødevarers holdbarhed.

Vandaktivitet af frosne fødevarer

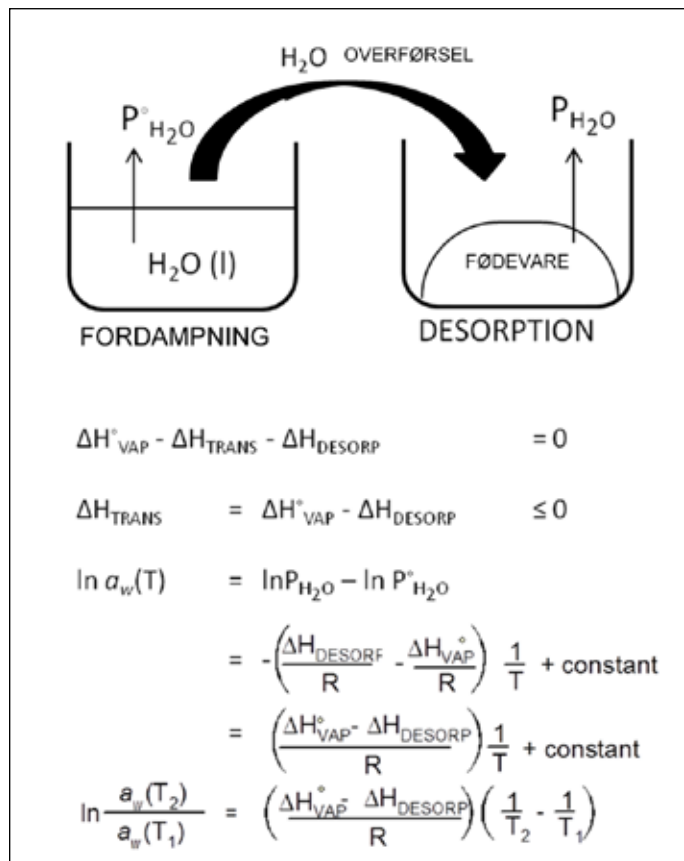
Som det fremgår af tabel 1, falder vandaktiviteten væsentligt med faldende temperatur, når standardtilstanden er underafkølet vand. Valg af flydende vand som standardtilstand for temperaturer under vands frysepunkt er ikke i overensstemmelse med normal termodynamisk praksis, men dikteret af ønsket om at gøre begrebet vandaktivitet mere praktisk anvendeligt. Det sker dog ved at sammenligne standardtilstande ved forskellige temperaturer for systemer ikke i ligevægt.

Valg af underafkølet vand som standardtilstand for vandaktivitet bør altid præciseres som vandaktivitet af underafkølet vand på vands iskurve for at undgå tvetydighed. Vandaktivitet har samme numeriske værdi som ligevægtskonstanten mellem is og vand



Smeltning af is er en typisk endoterm faseomdannelse i frosne fødevarer i modsætning til glasovergange også typiske for frosne fødevarer, se tabel 2.

Ved dybfrysning falder vandaktiviteten i fødevarer til omkring 0,85, hvilket er nogenlunde det samme som vandaktiviteten i mættet vandig natriumchlorid ved stuetemperatur, som anvendes til tøndesaltning af sild. Denne sammenligning tydeliggør problemet med valg af en stabil og en ikke-stabil form af vand som standardtilstand for fødevarer under forskellige temperaturbetingelser.



Figur 1. Vandaktivitet i ikkefrosne fødevarer øges med stigende temperatur, da enthalpi for desorption af vand er større end enthalpi for fordampning af vand [6]. ΔH_{TRANS} er enthalpi for befugtning med vand, ΔH_{DESORP} er tørringsenthalpi og ΔH_{VAP} er vands fordampningsenthalpi.

Vandaktivitet af ikke-frosne fødevarer

For betingelser over vands frysepunkt med valg af flydende vand som standardtilstand er vandaktivitetens afhængighed af temperaturen uproblematisk. Kolligative egenskaber af simple vandige opløsninger kan forklares alene som en fortynding af opløsningsmidlet. Opløste stoffer fortynder opløsningsmidlet. Opløste stoffer skaber ikke spændinger i opløsningsmidlet, som det ellers har været foreslået for at forklare kolligative egenskaber som osmotisk tryk [4]. I ethvert system i ligevægt med eller uden faseomdannelser eller opløste stoffer, bevares derfor alle lokale ligevægte på grund af det kemiske potentiales konstante værdi for solventet gennem opløsningen [4].

Temperatur/°C	p_{is}/p_{uw}°
0	1,00
-5	0,95
-10	0,91
-15	0,86
-20	0,82
-25	0,78
-30	0,75
a. p_{is}/p_{uw}° er identisk med ligevægtskonstanten for $\text{H}_2\text{O}(\text{is}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{flydende})$.	

Tabel 1. Forhold mellem vanddamptryk over is, p_{is} , og underafkølet vand, p_{uw}° , ifølge reference (2) °.

Omdannelse	Type	Termodynamisk karakterisering
Fordampning	Første orden	$\Delta H > 0, \Delta S > 0, C_p = \infty$ for T_{Fordamp}
Smeltning	Første orden	$\Delta H > 0, \Delta S > 0, C_p = \infty$ for T_{Smelte}
Krystallisation	Første orden	$\Delta H < 0, \Delta S < 0$
Glasovergang	Anden orden	$\Delta H = 0, \Delta S = 0, \Delta C_p > 0$

Tabel 2. Faseomdannelser i fødevarer.

Det fremgår af figur 1, at vandaktivitet kan omregnes fra a_w ved en temperatur til en anden temperatur, når enthalpi for desorption af vand er kendt. Tilsvarende beregninger kan foretages for vandabsorption. Ændringerne i enthalpi for udtørring eller befugtning afhænger af fødevarens vandindhold og mindre af temperaturen. Da ΔH_{DESORP} for alle fødevarer er større end ΔH_{VAP} for vand, vil a_w øges med stigende temperatur.

Gibbs faselov

For underafkølede flydende fødevarer under indfrysning eller tørring leder de forskellige valg af standardtilstand til et paradoks. Ved alle temperaturer under 0°C vil udkrystallisation af is resultere i et fald i vandaktiviteten til en væsentlig lavere værdi. Et sådant fald i vandaktivitet vil kunne accelerere hastigheden af kemiske reaktioner som for eksempel ikke-enzymatisk brunning [5].

Det tilsyneladende paradoksale fald i vandaktivitet ved dannelse af is i underafkølet vand, i underafkølede vandige opløsninger eller i underafkølede fødevarer er en konsekvens af Gibbs faselov gældende for konstant tryk:

$$F = C - P + 1 \quad (4)$$

Antallet af frihedsgrader, F , falder fra $F=1$ for underafkølet vand som et én-komponentsystem med $C=1$ med én fase, $P=1$, til $F=0$, når antal faser øges til $P=2$ ved udkrystallisation af is. Tab af en frihedsgrad giver sig til kende ved tilpasning af vandaktiviteten til en værdi under 1,00 som et invariant punkt ved den aktuelle temperatur på vands iskurve [6]. Denne værdi afhænger af ligevægtstemperaturen og bliver mindre ved faldende temperatur.

Vandaktivitet af fødevarer under indfrysning har vist sig at kunne beregnes ud fra de enkelte produkters frysepunktssænkning. Vandaktiviteten kan dog kun beregnes ved fødevarens frysepunkt og ikke ved lavere eller højere temperatur end ved det sænkede frysepunkt [7]. Natriumchlorid er et vigtigt konserveringsmiddel. En 20 procent vandig opløsning af natriumchlorid har frysepunktet -16,5°C, hvilket svarer til en vandaktivitet på $a_w=0,84$ i god overensstemmelse med forholdet mellem p_w og p_w^0 , som det fremgår af tabel 1. Ved lavere temperaturer falder a_w . Ved højere temperaturer stiger a_w .

Konklusion

Med valg af underafkølet vand som standardtilstand ved temperaturer under vands frysepunkt giver vandaktivitet en fornemmelse af temperaturens effekt på fødevarens holdbarhed under frysning. Det sker dog ved at anvende og sammenligne standardtilstande ved forskellige temperaturer for systemer ikke i termisk ligevægt. Det er i modsætning til valg af standardtilstand for ikkefrosne fødevarer, hvor standardtilstanden ved forskellige temperaturer anvendes og sammenlignes for systemer i termisk ligevægt. Ved opvarmning af alle former for dybfrosne fødevarer stiger vandaktiviteten op til $a_w=1,0$ ved 0°C, hvor diskontinuiteten for vandaktiviteten til ikkefrosne fødevarer afhænger af produkttypen.

E-mail:

Leif Skibsted: ls@food.ku.dk

Litteratur

1. Miyawaki, O. (2018). Water and Freezing in Food. Food Science and Technology Research, 24, 1-21.
2. Sippola, H. & Taskinen, P. (2018). Activity of Supercooled Water on the Ice Curve and other Thermodynamic Properties of Liquid Water up to the Boiling Point at Standard Pressure. Journal of Chemical Engineering Data 63, 2986-2998.
3. Schnewberger, R., Voilley, A., Weiser H. (1978). Activity of Water in Frozen Systems. International Journal of Refrigeration 1, 201-206.
4. Andrews, F.C. (1976). Colligative properties of Simple Solutions. Science 194, 567-571.
5. Labuza, T.P. (1980). The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. Food Technology 34, 36.
6. Hedegaard, R.V. & Skibsted, L.H. (2024). Shelf-life of Food Powders. Handbook of Food Powders: Chemistry and Technology, Second Edition, Elsevier Ltd. 335-354.
7. Chen, C.S. (1987). Relationship between Water Activity and Freezing Point Depression of Food Systems. Journal of Food Science 52, 433-435.

ET CENTRALT VAKUUMSYSTEM. UTALLIGE FORDELE.

Afhængig af applikationen kan energibesparelser på op til 70 % opnås med et centralt vakuumssystem. Dette er ikke den eneste fordel. Med en Vakuumaudit kan vi identificere mange andre fordele, du kan opnå baseret på din proces.

Lad vores eksperter rådgive dig!

Busch Vakuumenteknik A/S
87 88 07 77
info@busch.dk
www.buschvacuum.com

**U
BUSCH**
VACUUM SOLUTIONS



Gennemsigtige glaskeramiske materialer

Glaskeramiske materialer anvendes i blandt andet kogeplader, men de kan også gøres gennemsigtige som et glas, og har meget bedre brudmodstand.

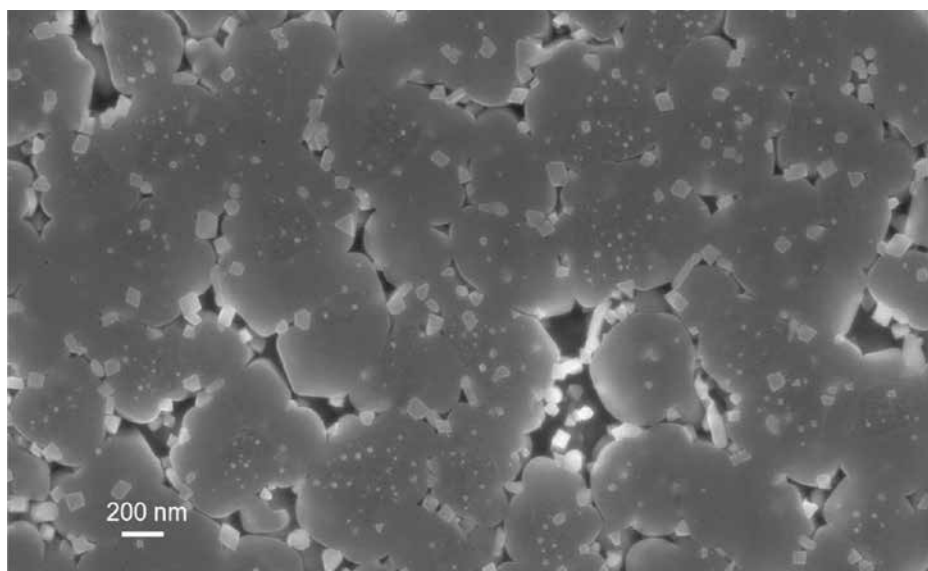
Af Morten M. Smedskjær,
Institut for Kemi og Biovidenskab,
Aalborg Universitet

En dag for omkring 70 år siden opdagede forskeren Donald Stookey fra firmaet Corning et nyt materiale, i hvad der ellers var et mislykket eksperiment [1]. Han var ved at varmebehandle en glasplade, men temperaturstyringen sad fast i "tænd"-positionen. I stedet for at forblive ved 600°C steg ovntemperaturen til 900°C. Stookey forventede at finde en smeltet pøl af glas, men til sin overraskelse fandt han i stedet en ikke-deformeret, uigennemsigtig fast plade. Han greb en tang, trak pladen ud af den varme ovn, men den gled ud af tangen og faldt ned på betongulvet, klang som stål og forblev ubrudt. Det skulle vise sig, at han havde omdannet glas materialet til et delvist krystalliseret glas, en såkaldt glaskeramik, med overlegne mekaniske egenskaber i forhold til den oprindelige glas.

Kombinerer egenskaber af glas og krystal

Glasmaterialer er kendetegnet ved, at atomerne ikke sidder i et velordnet gitter modsat tilfældet i krystaller. Glaskeramiske materialer fremstilles ved en kontrolleret delvis krystallisering af glas under opvarmning. Materialet indeholder mindst én krystallinsk fase og en resterende glasfase [2]. Et eksempel på mikrostrukturen af en glaskeramik er vist i figur 1.

En velkendt anvendelse fra dagligdagen er glaskeramiske kogeplader. I denne anvendelse er en lav termisk udvidelseskoefficient (såkaldt CTE) afgørende for at undgå brud, når materialet udsættes for store temperaturforskelle over få centimeter og for termisk



Figur 1. Scanningselektronmikroskopi-billede af en typisk mikrostruktur af glaskeramik. Den primære krystallinske fase er en β -spodumen fast opløsning. Mindre faser er også synlige. Mikrostrukturen er tydeliggjort ved at opløse glasfasen med en syrebehandling. Genoptrykt figur fra ref. [2] under Open Access licens.

chok, der kan opstå ved for eksempel at spilde koldt vand på en varm kogeplade [3]. Alle almindelige glasmaterialer har en positiv CTE, dvs. at de udvider sig med stigende temperatur, men visse krystaller kan trække sig sammen, når temperaturen stiger. Ved at designe og styre sammensætningen af glaskeramikken, kan den positive CTE af glasfasen kompenseres af den negative CTE af krystalfasen, således en samlet CTE meget tæt på nul kan opnås.

Gennemsigtighed

Mange anvendelser af traditionelle glasmaterialer bunder i deres transparens for det synlige lys. I de fleste tilfælde mistes denne egenskab i glaskeramiker. Når krystalstørrelsen øges, falder gennemsigtigheden på grund af lysspredning, og til sidst bliver materialet helt ugen-

nemsigtigt ved en større krystalstørrelse (i mikrometer til millimeter området). Glaskeramiske materialer kan dog være transparente for synligt lys, hvis en af de følgende betingelser er opfyldt:

(1) krystallerne er meget mindre end bølglængden af synligt lys, typisk mindre end 50-100 nanometer; eller (2) både den optiske anisotropi (dobbeltbrydning) inden for krystallerne og forskellen i brydningsindeks mellem krystaller og glas er meget små [4]. Dermed er der potentiale for at lave glaskeramiske materialer, der bevarer gennemsigtigheden fra glas, men som alligevel har fordelagtige egenskaber fra krystallerne.

Jagten på høj styrke og brudsejhed

Jagten på mere ridsefaste og brudsikre materialer driver i høj grad udviklingen

af glaskeramiske materialer. Høj styrke og brudsejhed er afgørende mekaniske egenskaber for en række anvendelser, blandt andet medicinske, konstruktionsmæssige og forbrugerelektroniske [5]. De mekaniske egenskaber af en glaskeramik afhænger i høj grad af både kemisk sammensætning og mikrostruktur, hvoraf sidstnævnte blandt andet kontrolleres gennem optimering af protokollen for varmebehandling. Tilbage i år 2020 annoncerede Apple, at den nye iPhone 12 ikke ville have et glasmateriale som det yderste beskyttelseslag ligesom tidligere modeller, men derimod en gennemsigtig glaskeramik (såkaldt Ceramic Shield, produceret af Corning). Men hvorfor har glaskeramiske materialer bedre mekaniske egenskaber end de oprindelige glasmaterialer?

For det første er en optimeret mikrostruktur nødvendig for at opnå gode mekaniske egenskaber. Glaskeramik med en finkornet struktur har generelt lavere styrke og brudsejhed end dem med store, aflange og indbyrdes forbundne krystallkorn. En høj fraktion af den krystallinske fase med tværforbundne krystalaggregater muliggør hærtningsmekanismer såsom revne-afledning, revne-broddannelse og faseomdannelse. Aktivering af en eller flere af disse hærtningsmekanismer er afgørende for at muliggøre en markant forbedring af styrke og brudsejhed [6]. For eksempel har forskere for nylig fremstillet en stærk, gennemsigtig lithiumdisilikat/apatit glaskeramik med en brudsejhed på $2,0 \text{ MPa m}^{1/2}$, hvilket er over dobbelt så meget som værdien for konventionelt vinduesglas ($0,75 \text{ MPa m}^{1/2}$). Kombinationen af høj brudsejhed og høj gennemsigtighed kunne tilskrives en mikrostruktur primært bestående af den anisotrope lithiumdisilikat krystalfase, der gav anledning til revne-afledning [7].

I vores forskningsgruppe på Aalborg Universitet arbejder vi også på at udvikle gennemsigtige glaskeramiske materialer

med gode mekaniske egenskaber. Vi har for eksempel vist, at dannelse af fresnoit-krystaller ($\text{Ba}_2\text{TiSi}_2\text{O}_8$) i en barium-titano-silikat-glas øger stivheden og brudsejheden markant, når størrelsen af krystallerne stiger [8]. Dette reducerer dog samtidig gennemsigtigheden og øger risikoen for at danne nye revner. Interessant er det altså, at selvom brudsejheden stiger, dvs. modstanden mod udbredelsen af en eksisterende revne, så falder modstanden mod at danne nye revner. Dette skyldes, at krystallerne i sammenligning med glasset er hårdere og mere tilbøjelige til at generere restspændinger under en trykpåvirkning, hvilket kan føre til ny revnedannelse.

I et andet studie har vi adresseret dette og opnået en forbedring af både modstand mod revneudbredelse (brudsejhed) og revnedannelse, samtidig med en delvis bevaring af gennemsigtigheden. Specifikt er det lykkedes i et niobium-dopet barium-alumino-borat glaskeramisk materiale [9]. Vi kunne i dette studie vise, at egenskaberne af glasfasen er afgørende for det samlede materiales egenskaber. Vi designede glasset på en sådan måde, at koordinationstallene af bor og aluminium falder under krystalliseringen (varmebehandlingen), fordi vi ved fra tidligere forskning, at dette kan føre til energispredning under mekanisk påvirkning og dermed øge revnemodstanden [10]. Desuden hjælper den dannende piezoelektriske krystalfase BaNb_2O_6 med at forbedre både revnemodstand ved at konvertere mekanisk energi til elektrisk energi og brudsejhed ved at skabe revne-afledning (figur 2).

Konklusion

Disse studier viser, at en grundlæggende forståelse af deformationsmekanismer på mikro- og nanoskala er afgørende for at kunne designe stærke, brudseje og gennemsigtige glaskeramiske materialer i fremtiden. Vores forskning viser også, at det kun er muligt at opnå markant

forbedret brudsejhed, hvis krystalfasen er tilstrækkelig stor (>100 nanometer).

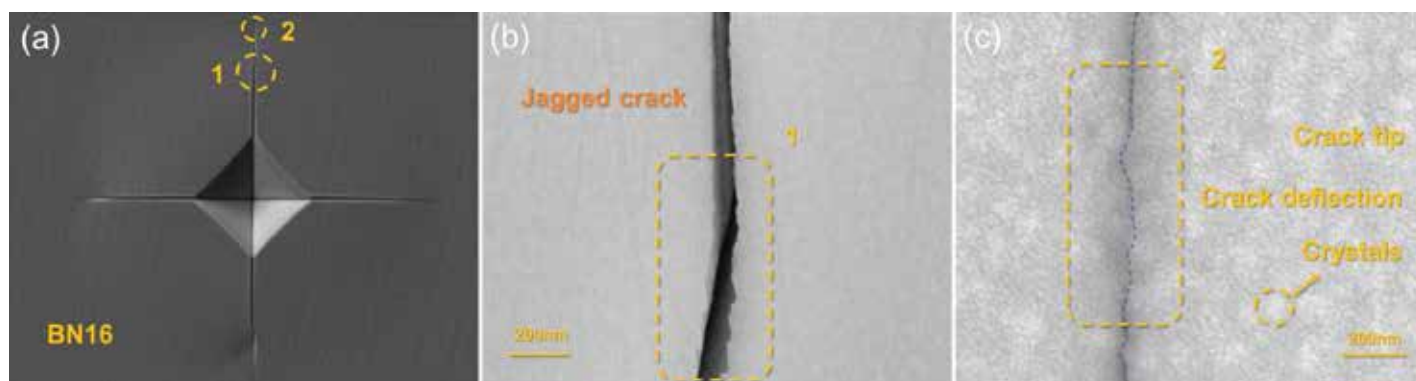
Dette betyder, at det er afgørende at opnå en meget lille forskel i brydningsindeks mellem krystal og glasfase, hvis gennemsigtigheden skal bevares. Udfordringen er her, at krystalfase og glasfase typisk ikke har den samme kemiske sammensætning, så krystalliseringen ændrer også sammensætningen og dermed egenskaberne af den tilbageværende glasfase, efterhånden som krystallerne vokser. På trods af den kommercielle succes disse materialer allerede har haft, er der altså stadig store muligheder for at forbedre og udnytte den unikke kombination af egenskaber, der er mulige for glaskeramiske materialer.

E-mail:

Morten M. Smedskjær: mos@bio.aau.dk

Referencer

1. G.H. Beall, "Dr. S. Donald (Don) Stookey (1915-2014): Pioneering Researcher and Adventurer," *Front. Mater.* **3**, 37 (2016).
2. J. Deubener, et al., "Updated definition of glass-ceramics," *J. Non-Cryst. Solids* **501**, 3-10 (2018).
3. W. Pannhorst, "Glass ceramics: State-of-the-art," *J. Non-Cryst. Solids* **219**, 198-204 (1997).
4. G.H. Beall, D.A. Duke, "Transparent Glass-Ceramics," *J. Mater. Sci.* **4**, 340-352 (1969).
5. M.J. Davis, E.D. Zanotto, "Glass-ceramics and realization of the unobtainable: Property combinations that push the envelope," *MRS Bull.* **42**, 195-199 (2017).
6. Q. Fu, G.H. Beall, C.M. Smith, "Nature-inspired design of strong, tough glass-ceramics," *MRS Bull.* **42**, 220-225 (2017).
7. Q. Fu, et al., "Tough, Bioinspired Transparent Glass-Ceramics," *Adv. Eng. Mater.* **24**, 2200350 (2022).
8. D. Sun, Q. Zhang, P. Liu, L.R. Jensen, D. Wang, M.M. Smedskjær, "Balancing fracture toughness and transparency in barium titanate glass-ceramics," *Ceram. Int.* **49**, 17479-17487 (2023).
9. Q. Zhang, et al., "High damage-resistance and fracture toughness of transparent Nb-doped barium aluminoborate glass ceramics," *Appl. Mater. Today* **34**, 101888 (2023).
10. K. Januchta, et al., "Discovery of Ultra-Crack-Resistant Oxide Glasses with Adaptive Networks," *Chem. Mater.* **29**, 5865-5876 (2017).



Figur 2. Scanningselektronmikroskopi-billeder af et aftryk (indent) og revner lavet i en niobium-dopet barium-alumino-borat glaskeramik. Genoptrykt figur fra ref. [9] under Open Access licens.

Digitalisering af lugt

Hvordan kan elektroniske næser reducere madspild?

Af Roana de Oliveira Hansen,
lektor, NanoSYD,
Syddansk Universitet

Sammenlignet med andre pattedyr har den menneskelige lugtesans begrænsninger med hensyn til følsomhed og gentagelighed. Alligevel er brugen af den menneskelige lugtesans den mest anvendte metode til vurdering af fødevarerfriskhed i industrien og detailhandlen. Men nu er elektroniske næser dukket op som en banebrydende teknologi til at digitalisere information om fødevarerfriskhed på tværs af forsyningskæden.

Næser og fødevarerfriskhed

Siden oldtiden har lugtesansen hjulpet mennesker med at vurdere den øjeblikkelige egnethed af fødevarer. Menneskenæser kan genkende et bredt spektrum af dufte, men er begrænsede med hensyn til lugtkvantificering. Derfor kan vi ikke forudsige, hvornår maden vil blive dårlig. I vores moderne verden bliver mad ikke længere indsamlet og forbrugt lokalt, men produceres ofte langt væk og transporteres til sin endelige destination. Høst, opbevaring, transport, forarbejd-

ning... det tager alt sammen tid, og den unikke information om produktets friskhed går tabt et sted i processen.

Fødevarerproduktion står for omkring 33 procent af de samlede kulstofemissioner. Alligevel bliver mellem 33 og 50 procent af al mad, der produceres, spildt. Hvis madspild var et land, ville det være den tredjestørste udleder af CO₂¹. En af hovedårsagerne til madspild er manglen på værktøjer til præcist at bestemme produktets friskhed. I dag kan restauranter, fødevarerbutikker og supermarkeder kun stole på enten menneskenæser eller den trykte etiket for skøn over holdbarhedsperioden for kød og fisk.

Trykte "bedst før"-datoer på kød-/fiskestykker er baseret på punktuelle mikrobielle og sensoriske analyser eller forudsigelseskurver for holdbarhed, der skønner udløbsdatoen. For at være på den sikre side bliver alle produkter mærket med en mere konservativ "bedst før"-dato end nødvendigt. Denne meget generelle og konservative tilgang til holdbarhed resulterer i massivt unødigt spild - både i industrien og nedad i værdikæden. Digitalisering af dufte og information om fødevarerfrisk-

hed kan være afgørende for at reducere madspild.

Elektroniske næser

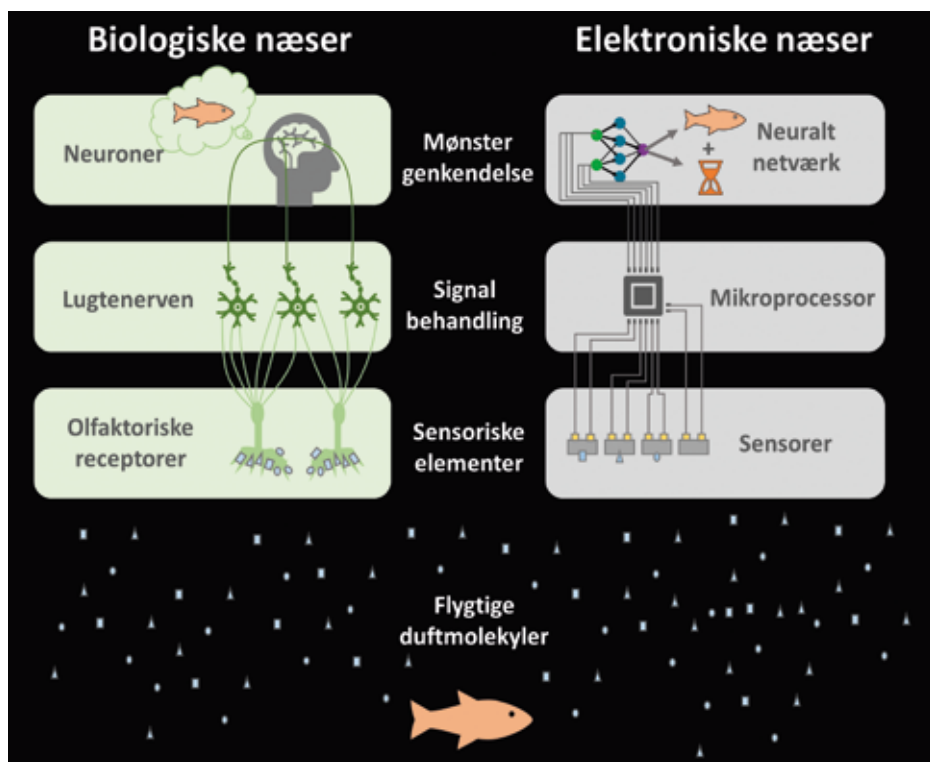
Har du nogensinde målt en lugt? Kan du afgøre, om en lugt bare er dobbelt så stærk som en anden? Kan du måle forskellen mellem to lugte og en anden? Det er meget tydeligt, at vi har mange forskellige slags lugte, lige fra duften af violer og roser til asafoetida. Men indtil du kan måle deres lighed og forskelle, kan du ikke have nogen videnskab om lugt. Hvis du er ambitiøs med at finde en ny videnskab, så mål en lugt.

Alexander Graham Bell, 1914

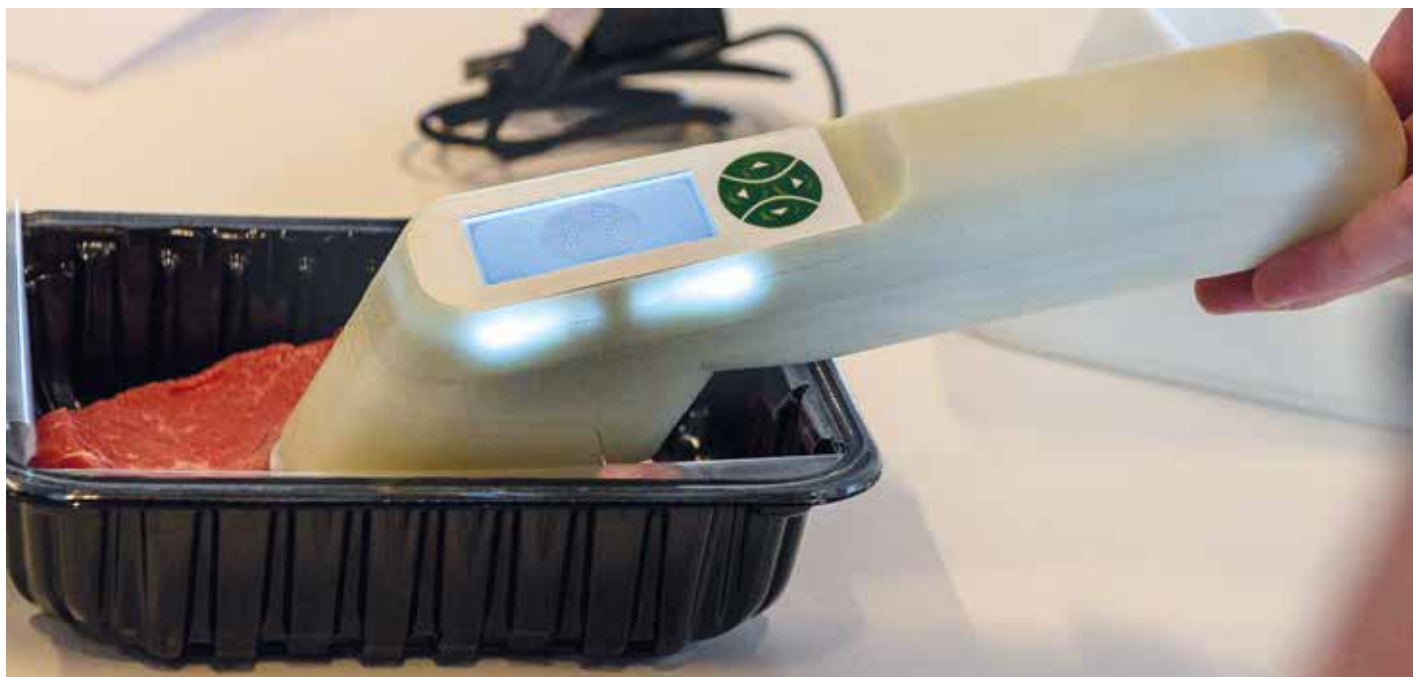
Siden Bells udtalelse i 1914 er der sket en omfattende udvikling på området for elektroniske næser. Ligesom biologiske næser, benytter elektroniske næser sig af sensoriske elementer, hvor sensoroverfladerne er kemisk funktionaliserede for at opnå høj affinitet til flygtige analytter. Når aromakomponenterne binder sig til sensoroverfladerne, skaber de en elektronisk signaludgang. Signalet behandles enten af den olfaktoriske bulb (i tilfælde af biologiske næser) eller af en mikroprocessor (i tilfælde af elektroniske næser). Neuroner eller neurale netværk kan genkende mønstre og associere disse mønstre med deres lagrede hukommelsesdatabaser.

Friskhed af kød og fisk er direkte relateret til en karakteristisk lugt. Årsagen til denne lugt er tilstedeværelsen af forbindelsen cadaverin, en flygtig biogen amin, der produceres ved oxidation af kød-/fiskeprotein. Koncentrationen af cadaverin stiger på en forudsigelig måde over tid afhængigt af kødtypen. Måling af cadaverin-koncentrationen i kød og fisk muliggør præcise forudsigelser af udløbsdatoer og er en velegnet opgave for elektroniske næser [1-7].

I dag findes der et bredt udvalg af sensor teknologier, der muliggør detektion af flygtige kemiske forbindelser. Dette inkluderer blandt andet metaloxid-, mikrocantilever-, kvarts-krystal mikrobalance, overfladeakustikbølge- og optiske sensorer. Sensoroverfladerne kan kemisk funktionaliseres for at opnå selektiv affinitet til specifikke kemiske forbindelser. Når duftmolekyler binder sig til sensoroverfladen, forårsager det



Figur 1. Illustration af konverteringen af et kemisk input til et elektronisk output



Håndholdt måleudstyr til digital måling af cadaverin.

en ændring i sensorens fysiske egenskaber. Ændringerne kan være i elektrisk ledningsevne, masse, viskoelastiske egenskaber, energi eller lysabsorption. Ved at bruge sensortransducere og passende elektronik kan man konvertere disse ændringer til elektriske signaludgange. Disse signaler behandles derefter yderligere af en mikroprocessorenhed (figur 1).

Duftgenkendelsestræning

Et nyfødt menneske er udstyret med lugtreceptorer, olfaktoriske bulbe og neuroner. Derfor kan en baby lugte fisk, en blomst eller mælk. Imidlertid kan barnet med tiden, læring og association af lugtopplevelsen med andre sanser, på et tidspunkt genkende, at denne lugt svarer til denne genstand. Den samme proces forekommer for en elektronisk næse. Machine learning er den teknik, der bruges til at træne den elektroniske næse til at genkende forskellige dufte. En fordel ved elektroniske næser er, at lugtkoncentrationen kan kvantificeres og inkluderes i genkendelsesalgoritmen, hvilket for eksempel muliggør forudsigelse af udløbsdatoer for fødevarer. Menneskelige sanser er primært kvalitative, og begrænsninger med hensyn til kvantificering hindrer forudsigelse.

Fremtiden

Håndholdte elektroniske næser til kvantificering af cadaverinniveauer er nu på markedet². Sensorer bliver trænet til at genkende og forudsige udløbsdatoer for en bred vifte af kød- og fisketyper³. Når restauranter og supermarkeder er i tvivl

Logistikken kan optimeres for at sikre, at produkter med kortest holdbarhed forbruges først, hvilket også kan bidrage til at reducere mængden af madspild

om produktets friskhed, kan de bruge en sådan elektronisk næse til øjeblikkeligt at kvantificere det. Når tvivlen er fjernet, vil mere af den producerede mad ende på en tallerken i stedet for i en skraldespand.

Ved at digitalisere information om fødevarers friskhed på tværs af forsyningskæden, kan logistikken desuden optimeres for at sikre, at produkter med kortest holdbarhed forbruges først, hvilket også kan bidrage til at reducere mængden af madspild.

Denne artikel er baseret på forskningsarbejde gennemført i projektet Precise, der har modtaget støtte fra European Regional Development Fund Interreg Deutschland-Danmark (Bevilingsnr. 03-2.3-22 1).

E-mail:
Roana de Oliveira Hansen:
roana@mci.sdu.dk

Referencer

1. Alexi, N. *et al.* Novel cadaverine non-invasive biosensor technology for the prediction of shelf life og modified atmosphere packed port outlets. *Meat Sci* **192** (2022).
2. Wang, Y. *et al.* Micro-cantilevers for optical sensing of biogenic amines. *Microsystem Technologies* (2017) doi:10.1007/s00542-016-3257-9.
3. Costa, C.A.B. *et al.* Meat and fish freshness evaluation by funtionalized cantilever-based biosensors. *Microsystem Technologies* **26**, (2020).
4. Mamou, D. *et al.* Surface modification enabling reproducible cantilever functionalization for industrial gas sensors. *Sensors* **21**, (2021).
5. Nsubuga, L. *et al.* Gas Adsorption Response of Piezoelectrically Driven Microcantilever Beam Gas Sensors: Analytical, Numerical, and Experimental Characterizations. *Sensors* **23**, (2023).
6. Alexi, N. *et al.* Potential of novel cadaverine biosensor technology to predict shelf life of chilled yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Control* **119**, (2021).
7. Korsá, M.T. *et al.* Optimizing piezoelectric cantilever design for electronic nose applications. *Chemosensors* **8**, 1-12 (2020).

Cadaverin, $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2$, eller *1,5-pentandiamin*, er en særdeles ildelugtende forbindelse. Cadaverin dannes sammen med putrescin, $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$, *1,4-butan-diamin*, i kød ved nedbrydning af aminosyrerne hhv. lysin og ornithin. Putrescin og cadaverin blev første gang beskrevet i 1885 af den tyske fysiker Ludwig Brieger (1849-1919).

Bæredygtig udvikling af malingsprodukter

Hvad er det mest miljømæssigt bæredygtige malingsystem til et havvindmølletårn?

Af Mads Juhl, ph.d.-studerende, Kim Dam-Johansen, professor, The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre (CoaST), Institut for Kemiteknik, DTU og Michael Z. Hauchild, professor, Center for absolut bæredygtighed, DTU

Generelt set kræver en bæredygtig udvikling i malingsindustrien en kombination af miljømæssige, økonomiske og sociale hensyn, hvor man arbejder på at minimere påvirkningen af miljøet og samtidig øge værdien for samfundet som helhed i form af bedre malingsystemer med større holdbarhed.

Tiltag til en bæredygtig udvikling i malingsindustrien

For at sikre, at udviklingen i malingsindustrien går i en bæredygtig retning, er der flere tiltag, som industrien kan implementere:

1. Reducere miljøpåvirkning ved at vælge ingredienser (i hele værdikæden), som er mindre skadelige for miljø og sundhed. Dette kræver samarbejde mellem råvareleverandører, producenter og brugere.
2. Reducere behovet for nye råmaterialer ved øget genanvendelse og genindvinning af eksempelvis malerspande og andet pakkemateriale.
3. Fokus på bæredygtighed i produktudvikling: Malingsindustrien kan udvikle produkter, der er mere bæredygtige ved at anvende ingredienser og materialer, der har en mindre miljømæssig påvirkning, og som er mere holdbare og energieffektive. Desuden kan man fokusere på at udvikle maling, der indeholder mindre farlige stoffer og mindre VOC'er (flygtige organiske forbindelser), som kan have en negativ indvirkning på luftkvaliteten indendørs og udendørs.
4. Samarbejde med andre virksomheder

Materialer, ressourcer og energi	Mængde	Enhed
Bindemiddel	4,61	g
Fortynningsmiddel	12,8	g
Solvent 1	18,7	g
Epoxy	63,8	g
Solvent 2	6,3	g
Skumdæmper	1,9	g
Hærder	60,2	g
Solvent 3	21,3	g
Befugtningsmiddel	1,8	g
Talkum	20,7	g
Voks	1,8	g
Solvent 4	78,5	g
Zink	707,6	g
Elektricitet	0,864	MJ
Damp	0,37	Kwh
Vand	4,0	g
Direkte emissioner:		
Ammoniak	4,8E-04	g
Kuldioxid	96,3	g
Kulilte	0,02	g
Støv	0,07	g
Farligt affald	48,6	g
Metan	1,30E-03	g
Nitrogen oxider	0,07	g
NMVOC	2,8	g
Uorganisk affald	21,6	g
Spildevand	4,10E-03	L

Tabel 1. Eksempel på materialer, ressourcer og energi der indgår i processen for at producere 1.000 g zinkepoxy.

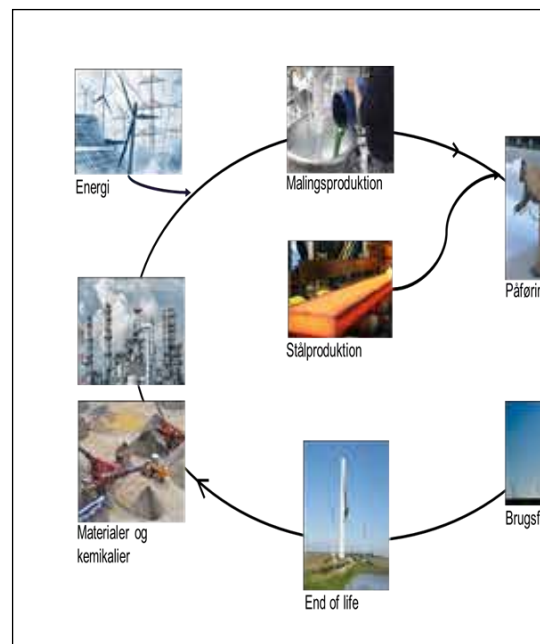
og interessenter: Malingsindustrien kan samarbejde med andre virksomheder og interessenter for at finde løsninger på fælles udfordringer og fremme bæredygtige praksisser. Dette kan være samarbejde med leverandører, kunder og samarbejdspartnere om

at udvikle mere bæredygtige produktionsmetoder og materialer.

5. Certificeringer og standarder: Malingsindustrien kan opnå certificeringer og overholde standarder for bæredygtighed for at demonstrere deres engagement i at fremme en bæredygtig udvikling. Dette kan også hjælpe med at skabe større gennemsigtighed og ansvarlighed i branchen.

Det er nemt at blive enige om ovenstående punkter, hvorimod det er langt vanskeligere at blive enige, når det kommer til spørgsmålet om, hvordan vi monitorerer, måler og kvantificerer, så vi sikrer os, at de tiltag vi tager, også bringer os i en mere bæredygtig retning.

Et eksempel herpå er spørgsmålet om, hvilket malingsystem som er miljømæssigt mest bæredygtigt til maling og korrosionsbeskyttelse af et havvindmølletårn. Der findes flere alternative systemer, som opfylder de krav, som branchen har til 20 års levetid uden nævneværdig vedligeholdelse. Den traditionelle metode er at anvende en varm



Miljøbelastning (udvalgte midpoint kategorier)	Enhed	Basis system TSM	Alternativ med Zinkepoxy	Alternativ med Zinksilikat
Global opvarmning	kg CO ₂ ækvivalent	1.49E+01	7.63E+00	6.78E+00
Forbrug af fossile ressourcer	kg olie ækvivalent	3.41E+00	2.57E+00	2.30E+00
Udledning af næringsrige stoffer til ferskvand	kg fosfor ækvivalent	9.63E-03	1.73E-03	2.00E-03
Udledning af kræftfremkaldende stoffer	kg 1,4-DCB* ækvivalent	8.64E-01	1.21E-01	1.36E-01
Partikelemission	kg PM2.5 ækvivalent	2.50E-02	9.99E-03	1.03E-02

*1,4-DCB=1,4Dichlorobenzene

Tabel 2. Udvalgte miljøbelastningskategorier beregnet i henhold til ISO14044 med anvendelse af ReCePi 2016 metoden. Rød farve angiver mest miljøbelastende alternativ i kategorien og grøn angiver den mindste miljøbelastning.

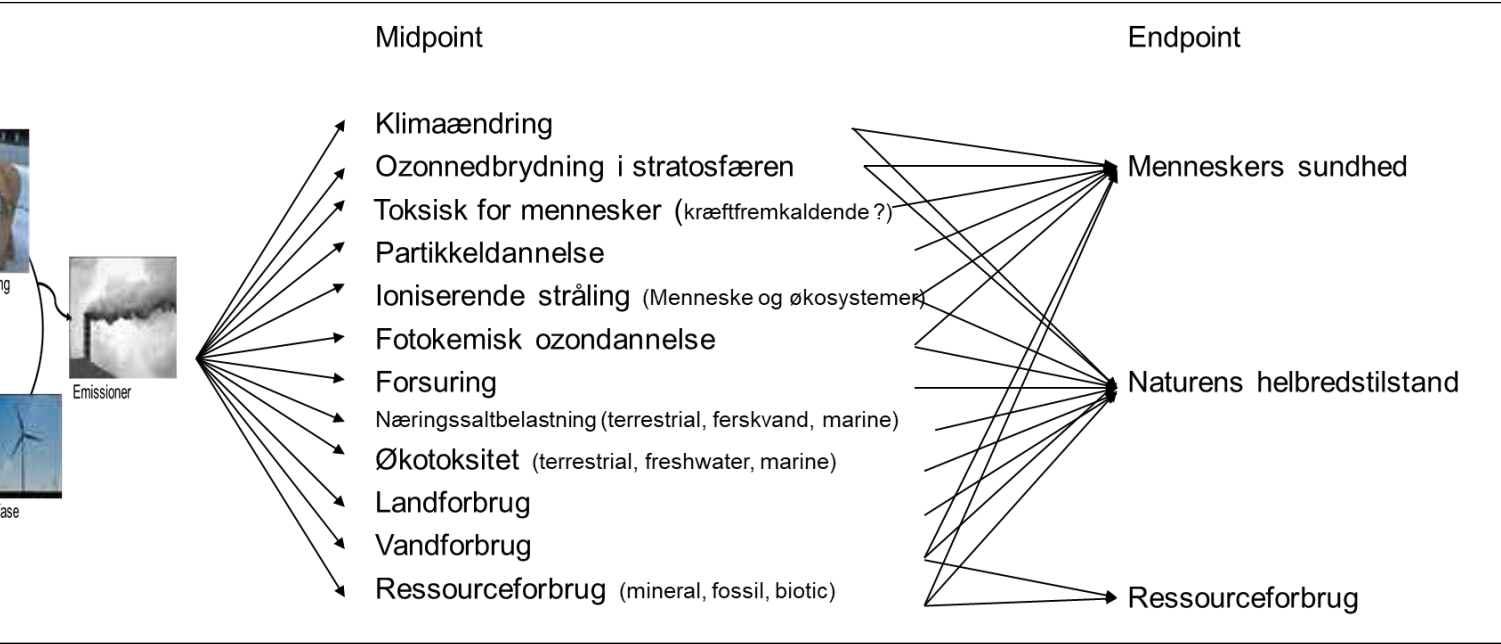
sprøjtemetallisering (TSM) som første lag, efterfulgt af organiske malingslag bestående af epoxy og polyuretan. Alternativerne er at anvende enten en zinkepoxyprimer som første lag efterfulgt af epoxy og polyuretan, eller en zinksilikatprimer ligeledes efterfulgt af epoxy og polyuretan. Der er mange af den slags dilemmaer, som vi nok erkender, men ikke rigtigt kender svaret på.

Livscyklusvurdering

Værktøjet til at kvantificere miljøpåvirkningerne, og dermed til at få svar på dilemmaerne, er livscyklusvurdering

(LCA). Der eksisterer et standardiseret værktøjssæt (ISO14044 [1]), som kan anvendes på livscyklusser inden for stort set alle genrer. Det går i al sin enkelthed ud på, at man kvantificerer de fysiske flows til og fra alle processer i produktets livscyklus fra vugge til grav. Input til processerne er kemikalier, materialer og energi, mens output er produkt, emissioner til omgivelserne og affald. Tabel 1 er et eksempel på, hvilke processer der indgår til at beskrive en zinkepoxyprimer. Når processerne kombineres som svarende til livscyklussen, vil de samlede ressourceforbrug til og

emissioner fra alle processerne beskrive de miljømæssige belastninger, der hidrører fra det færdige produkt. For at kunne svare på hvilket af malingssystemerne, der er miljømæssigt mest bæredygtigt, må vi således udføre livscyklusvurderinger på de tre alternativer, hvor resultatet vil beskrive miljøbelastningerne i de miljøpåvirkningskategorier, som man fokuserer på. I figur 1 er miljøbelastningerne fra et malingssystems livscyklus delt ind i miljøkategorier, og alt efter hvilken detaljeringsgrad og anvendelse man ønsker, vil man karakterisere sine resultater



Figur 1. Miljøbelastningerne fra livscyklussen for et malingssystem pegende mod midpoint- og endpoint-kategorier [2].

Miljøfaktor (endpoint kategorier)	Enhed	Basis system TSM	Alternativ med zinkepoxy	Alternativ med zinksilikat
Menneskers sundhed	DALY	4.11E-05	2.55E-05	1.79E-05
Ressourceforbrug	USD2013	9.15E-01	4.24E-01	6.81E-01
Naturens helbredstilstand	Arter.år	7.63E-08	3.50E-08	4.02E-08

Tabel 3. Endpoint livscyklusvurdering fra 1 kvadratmeter havvindmølleår behandlet med tre forskellige beskyttende malingssystemer. Rød farve angiver mest miljøbelastende alternativ i kategorien og grøn angiver den mindste miljøbelastning.

mod enten ”midpoint”- eller ”endpoint”- kategorier. Anvendes ”midpoint” vil man kunne sammenligne direkte på global opvarmning og toksiske emissioner, hvorimod hvis der karakteriseres mod ”endpoint”-kategorier vil man få et mere sammensat resultat, som måske er lettere at gå til, men også indeholder mere usikkerhed, end når ”midpoint”- resultaterne anvendes.

Sprøjtemetallisering (TSM) eller zinkepoxy eller zinksilikat?
Hvis vi vender tilbage til spørgsmålet om, hvilket af de tre alternativer som det er miljømæssig mest bæredygtigt at benytte: For systemerne baseret på TSM, zinkepoxy eller zinksilikat beskriver vi først de processer, som indgår:

- TMS-systemet er et standardsystem, som bruges i industrien i dag.
- Zinkepoxysystemet har med de seneste års rustbeskyttende forbedringer vist sig at kunne leve op til de krav, som industrien stiller for holdbarhed og beskyttelse til et malingssystem, der anvendes på et havvindmølleår.
- Zinksilikat-systemet lever på tilsvarende vis op til industriens krav til holdbarhed og beskyttelse, men er i praksis anset for at være vanskeligere at håndtere end zinkepoxy.

Alle anvendte malingsrecepter er udarbejdet i CoaST (The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre), og malingssystemerne opfylder kravene som beskrevet af Megavind i deres forslag til en industristandard for overfladebehandling af havvindmøller [3].

De tre datasæt behandles herefter i et LCA softwareprogram (OpenLCA) i henhold til ISO14044, og når vi beregner midpoint-kategorier i henhold til ReCiPe 2016(H) metoden [4], opnås resultater som vist i tabel 2, side 17. Den funktionelle enhed er påføring af malingsystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår fremstillet i stål og rustbeskyttet i 20 år.

Resultaterne viser, at det generelt er basissystemet baseret på sprøjtemetallisering, som er det mindst miljømæssigt

bæredygtige system. Samtidig er det svært at svare på, hvilke af de to alternativer der er bedst, idet forskellen mellem dem er så lille, at det ikke er muligt ud fra denne analyse at udpege det mest favorable alternativ.

Hvilken kategori betyder mest?
For mange lande og virksomheder er det den internationale globale dagsorden sat af FN gennem blandt andet klimakonventionen og Parisaftalen [5], som har gjort, at global opvarmning får al opmærksomheden, og nærmest er blevet et synonym for miljømæssig bæredygtighed. Derfor tages rigtig mange beslutninger med den globale opvarmning for øje, uden at tage hensyn til de øvrige miljøbelastningskategorier. Der er dog heldigvis igangsat mange forskellige initiativer til beskyttelse af de øvrige miljøområder såsom FN’s biodiversitetskonvention, som behandles på årlige COP-konferencer på samme måde som klimakonventionen.

Hvad skal vi vælge?
I det eksempel præsenteret her (tabel 2, side 17) er resultatet entydigt med hensyn til, hvilket alternativ der giver den største miljøpåvirkning, og dermed fravælges. Det er basissystemet med termisk sprøjtemetallisering (TSM). Hvilket af alternativerne med zinkepoxy eller zinksilikat der vælges, vil ikke være begrundet i den miljømæssige bæredygtighed, da der ikke er meget forskel, men i praksis mere baseret på erfaring og håndtering hos dem, der laver specifikationen og dem, der skal udføre malingspåføringen.

Midpoint eller endpoint?
I stedet for at analysere på midpoint som ovenfor kan vi benytte den samme metode, men karakterisere mod det egentlige mål (endpoints). I realiteten er formålet med bæredygtighed at beskytte naturen og mennesket uden at overforbruge ressourcerne, så vores efterkommere får samme muligheder for at opfylde deres behov, som vores generation har.

Anvendes de samme processer og mængder til at påføre de tre alternative

malingssystemer på havvindmølleårnene, men analyseres der i stedet mod endpoints, fås resultaterne som ses i tabel 3.

Menneskers sundhed er her opgjort i DALY (Disability-Adjusted Life Year). Det er summen af de leveår, der er gået tabt på grund af for tidlig død og de år, der leves med et handicap på grund af miljøbelastningerne forårsaget af påføringen af malingssystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår. Ressourceforbruget er opgjort i penge (US\$ 2013), mens naturens helbredstilstand er opgjort i antal arter (planter og dyr), som forsvinder i en vis periode som en konsekvens af påføringen af malingssystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår.

Dette giver et enklere beslutningsgrundlag for at vælge eller fravælge et alternativ ud fra den miljømæssige belastning. Usikkerhederne på resultaterne er klart større, end da vi benyttede midpoint-kategorierne, men som beslutningstager er det muligvis lettere at foretage et valg, da der er færre parametre at tage hensyn til, og som i dette tilfælde giver det samme resultat.

Målet er at sikre, at udviklingen går i en mere bæredygtig retning.

E-mail:
Mads Juhl: madju@dtu.dk

Referencer

1. ISO 14044-2008, “Environmental Management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines,” 2008.
2. M. Juhl, M.Z. Hauschild, and K. Dam-Johansen, “Sustainability of corrosion protection for offshore wind turbine towers,” *Prog Org Coat*, vol. 186, p. 107998, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.porgcoat.2023.107998.
3. “Wind turbine generators Surface treatment of wind turbine towers - Industry standard | Megavind.” Accessed: Nov. 08, 2022. [Online]. Available: <https://megavind.winddenmark.dk/publications/wind-turbine-generators-surface-treatment-of-wind-turbine-towers-industry-standard>.
4. M.A.J. Huijbregts *et al.*, “ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization,” Bilthoven, the Netherlands, 2016.
5. “The Paris Agreement - UNFCCC.” Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

Ny forskning sikrer effektiv PFAS-fri membranteknologi til energilagring

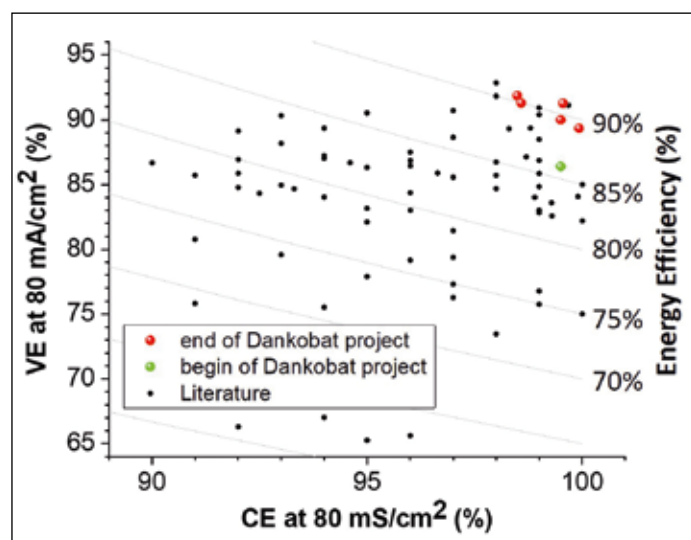
PFAS spiller en vigtig rolle i mange brancher, også inden for flowbatteriproduktion, hvor membraner traditionelt er baseret på poly- eller perfluorerede polymerer. Grundet de miljømæssige påvirkninger arbejdes der fra EU's side på at forbyde PFAS, hvilket stiller branchen overfor udfordringer med kerneteknologier, der skal nytænkes.

Af Kobra Azizi¹, Dirk Henkensmeier²
og Lars Nilausen Cleemann¹

¹ Blue World Technologies

² Center for Hydrogen-Fuel Cell Research, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, Korea

Det banebrydende Eureka-projekt, ”Dankobat”, er ledet af danske Blue World Technologies og er dedikeret til at fremme vanadium redox flow-batterier (VRFB). Der bliver forsket i denne type batterier grundet deres potentiale som stationære energilagringssystemer, der kan imødekomme det kritiske behov, vi har for lagring af overskydende vedvarende energi samt stabilisering af elnettet. I modsætning til lithium-ion-batterier tilbyder VRFB'er en næsten uendelig levetid samt nem genanvendelighed, hvilket gør dem til en gamechanger inden for energilagring.



Figur 1. Spændingseffektivitet (VE) og energieffektivitet versus strømeffektivitet (CE) ved 80 mA/cm² for membraner udviklet under DankoBat-projektet og med mere end 70 datapunkter fra tidligere udgivet forskning [3].

Traditionelle industrimembraner er afhængige af poly- eller perfluorerede polymerer, materialer, der nu er under intens kontrol fra myndighederne på grund af de fluorholdige stoffers miljøpåvirkning. I udviklingen tager Dankobat et modigt skridt ved at bruge fluorfrit polybenzimidazol (PBI) som et banebrydende nyt avanceret membransystem, og overgår samtidig industristandarder med hensyn til både energi- og omkostningseffektivitet.

Projektet indebar en omfattende undersøgelse af ydeevnen af meta-PBI-membraner (fremhævet som det grønne datapunkt i figur 1). I samarbejde med Korea Institute of Science and Technology (KIST), Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Aarhus Universitet og Korid Energy (en fremtrædende koreansk VRFB-producent) forbedrede Dankobat systematisk ydeevnen af PBI-baserede membraner til VRFB. Membranerne udviklet under Dankobat står nu i front globalt, som afbildet af de røde kugler i figur 1.

Dette blev realiseret ved at kontrollere absorption af en elektrolytopløsning [1] gennem anvendelse af membran-samlinger af tynde PBI-lag, som kraftigt reducerer uønsket vanadiumion-overgange samt tykke, stærkt ledende PBI-lag for at tilføje mekanisk stabilitet [2] og ved at ændre den molekulære struktur af PBI-polymeren. Udviklingen førte til flere patentansøgninger, og Blue World Technologies tilbyder nu PBI-membraner til brug i VRFB til kunder i Danmark, Europa og verden.

E-mail:

Kobra Azizi: Kaz@blue.world

Referencer

1. Polybenzimidazole membranes for Vanadium Redox Flow Batteries: Effect of sulfuric acid doping conditions, Chem. Eng. J., 2022, 435, 134902. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134902>.
2. Membrane assemblies with soft protective layers: Dense and gel-type polybenzimidazole membranes and their use in vanadium redox flow batteries, Small, 2022, 18, 2206284. <https://doi.org/10.1002/sml.202206284>.
3. Polymer Membranes for All-Vanadium Redox Flow Batteries: A Review, Membranes 2021, 11, 214. <https://doi.org/10.3390/membranes11030214>.

Ethics of Chemistry - From Poison Gas to Climate Engineering

Joachim Schummer og Tom Børsen (udgivere),
World Scientific, 2021.

Anmeldt af Knud J. Jensen, Københavns Universitet

Tom Børsen, der er lektor på Aalborg Universitet, og Joachim Schummer har udgivet en bog, som sætter nye standarder for, hvordan man analyserer og diskuterer etiske aspekter af kemi. Bogen indeholder 19 kapitler fra en række forskellige forskere, inklusive Børsen og Schummer. Bogen henvender sig til studerende og kan bruges i undervisningen, men mange uddannede kemikere vil også kunne have glæde af at læse bogen.

Sammen med Claus Emmeche, der er videnskabsteoretiker, underviser jeg i videnskabsteori og etik for de kemiske fag på Københavns Universitet. Kurset er målrettet mod studerende fra kemi, medicinsk kemi, biokemi samt nanovidenskab, og omfatter historiske, etiske inklusive professionsetiske, samt videnskabsteoretiske aspekter i relation til de kemiske fag. Der findes ikke en passende lærebog til hele kurset, så vi har sammensat pensum af forskellige artikler. Siden udgivelsen af Schummer og Børsens bog har vi brugt kapitler herfra.

Indledning

Kemikere syntetiserer og fremstiller årligt mange tusindvis af nye kemiske forbindelser og materialer. Det omfatter potentielle lægemidler, dele til vacciner, farvestoffer, cancer-diagnostik, kemikalier til nye materialer og meget andet. Hvor nogle andre videnskaber primært observerer verden, for eksempel astrofysik, så skaber kemikere genstandene for deres studier. Kemikere laver selvfølgelig også meget andet end at syntetisere nye kemiske forbindelser, men en central del er design og syntese af nye molekyler.

Med den helt afgørende rolle, som de kemiske fag har for vores moderne samfund, så følger også et ansvar for det, der skabes. Selvom kemikere ikke kan kontrollere, hvordan deres opfindelser anvendes, så har de alligevel et ansvar på baggrund af deres kemiske viden og kunnen.

Samfundet som helhed, virksomheder og universiteter har en forventning om, at man som kemiker - med ekspertviden inden for kemi - kan forholde sig til etiske problemstillinger i relation til kemi. Uanset om det er store samfundsmæssige udfordringer som CO₂-udslip og klima, miljøforurening, anvendelse af nye kemiske metoder eller interessekonflikter, så kan man forvente et vist niveau af refleksion over dette. Kemiske foreninger som *American Chemical Society*, *Gesellschaft Deutscher Chemiker* og *The Royal Society of Chemistry* har hver kodeks og retningslinjer for kemikeres professionelle adfærd og ansvar.

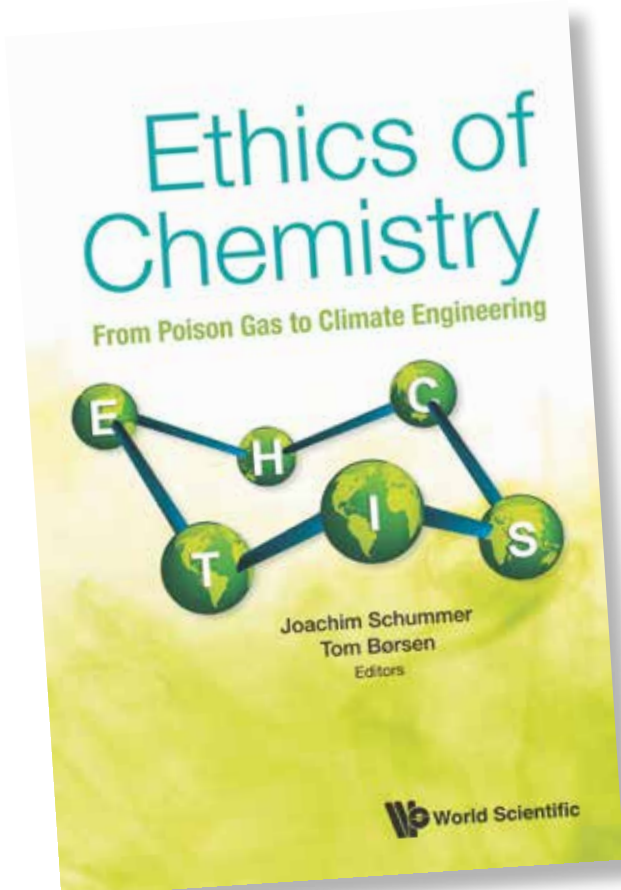
Bogen

Ethics of Chemistry er skrevet med sigte på studerende og til brug i undervisning. Men bogen henvender sig, for mig at se, til alle kemikere med interesse for de etiske problemstillinger, der kan opstå. Bogens 19 kapitler spænder vidt.

Kapitel 1 introducerer de grundlæggende etiske aspekter af kemi i undervisningen. Schummer og Børsen gennemgår de mest almindelige moralfilosofier, specielt pligtetik, utilitarisme, samt aristotelsk dydsetik. Denne grundlæggende gennemgang af moralfilosofi - specielt modstillingen mellem pligtetik og dydsetik - er vigtig for de efterfølgende kapitler. Herefter kommer de ind på praktisk etik, hvor specielt medicinsk etik er et meget veludviklet område. Dette kapitel introducerer også praktisk etik i relation til kemi og de efterfølgende cases.

Bogens kapitler har gennemgående tankevækkende analyser af etiske konflikter. For eksempel, så skriver Schummer og Børsen om situationer, hvor den tilgængelige viden på beslutningstidspunktet er begrænset og den ugunstige konsekvens er uforudset, men ikke helt usandsynligt.

Ikke alt der umiddelbart kunne ligne en etisk konflikt, er det også. I nogle tilfælde er det snarere overtrædelser af metodologiske og epistemiske normer. Det kunne for eksempel være, hvordan data produceres og interpreteres, hvor det er vigtigt at orientere sig mod *best practice*.



Bogens kapitler behandler nogle af de klassiske cases som giftgasser, thalidomid, Bhopal (methyl isocyanate), Agent Orange og DDT. Disse cases behandles grundigt og med nye vinkler.

Et eksempel på bogens spændvidde kunne være kapitel 12, som har titlen *The Ethics of Rare Earth Elements Over Time and Space*. Sjældne jordarter er centrale for den grønne omstilling, da de blandt andet indgår i magneter i vindmøller. Sjældne jordarter er en ressource, som skal udvindes og anvendes. Kapitlet gennemgår miljømæssige og sociale aspekter heraf og udvikler en interessant etisk analyse af dette.

Hvor der er en række lærebøger inden for medicinsk og biomedicinsk etik, så har der været få gode tekster om etiske aspekter af kemi. Med Schummer og Børsens bog har vi nu fået et nyt standardværk, som vil kunne bruges af studerende, men også uddannede kemikere. Bogens styrke er de detaljerede cases og den konsekvente brug af almene moralfilosofiske overvejelser til at forstå komplekse etiske konflikter.

E-mail:
Knud Jensen: kjj@chem.ku.dk

Fornem pris til anerkendt enzymforsker

Den 15. november 2023 blev professor Anne S. Meyer fra DTU hædret med den prestigefyldte Nils Foss Excellence pris.

Anne S. Meyer forsker i udviklingen af nye enzymer, og prisen blev givet for hendes arbejde med "minimal enzyme cocktail paradigm", der anvendes inden for forarbejdning af biomasse, enzym-baseret fremstilling af præbiotiske oligosakkarider og klassificering af format dehydrogenase til CO₂-omdannelse.

Anne S. Meyer har været professor på DTU siden 2006 og har i sin karriere også haft forskningsophold ved blandt andet UC Davis, USA og University of Melbourne, Australien. Hun har publiceret over 400 fagfællebedømte artikler. Hun har siden 2013 været formand for Dansk Kemis redaktionskomité.

Nils Foss Excellence pris tildeles en aktiv og internationalt anerkendt forsker, der har demonstreret fremragende innovativ forskning inden for anvendelse af analytisk teknologi på fødevarer-, foder- og landbrugsområdet. Der er fo-



Officielt billede fra Nils Foss-prisoverrækkelsesceremonien.

kus på forskning, der fører til betydeligt gennembrud i anvendelsen af analytiske teknologier, der fremmer forbedringer i bæredygtighed, kvalitet og/eller sikkerhed i fødevarerproduktionskæden. Med prisen følger 100.000 euro.

Kilde: www.nilsfossprize.com

SIKKERHEDSFØKUS



Nyt FOKUS-site fra TechMedia med nyheder, nyttig viden og nye produkter inden for sikkerhed

**Brand | IT-sikkerhed | Laboratorie
Personbeskyttelse | Security**

Har du også andre fokusområder? - Tjek vores andre sites:

ELEKTRONIKFOKUS EMBALLAGEFOKUS FOODPROCESSFOKUS KEMIFOKUS
KLIMAFOKUS HVACFOKUS TEKNISKFOKUS FØDEVAREFOKUS ELFOKUS

Tilmeld dig
nyhedsbrevet på
sikkerhedsfokus.dk
og få ugentlige
opdateringer inden for
sikkerhedsområdet

To gymnasie-kemilærebooksforfattere

Gennem årene er der udkommet mange lærebøger i kemi til gymnasiet. Adskillige er udkommet i flere udgaver, heriblandt lærebøger forfattet af Anders Østergaard og E. Rancke-Madsen. Disse to forfattere fortælles der om i det følgende.

Af Børge Riis Larsen, lektor emer.,
cand.scient. & art., ph.d.

To tidlige lærebøger i kemi til gymnasiet var *Julius Petersens Kemi for Gymnasiet*, som udkom i årene 1907-1944. Petersen var professor i kemi ved *Københavns Universitet*. En anden lærebog var skrevet af *Hans Rasmussen*, som var gymnasielærer. Han udgav i 1908 sin *Kemi for Gymnasiet*, hvis femte og sidste udgave udkom i 1937. Rasmussen var cand.mag. med hovedfag i naturhistorie og geografi med fysik og kemi som bifag. Et tredje succesrigt lærebogssystem var *L.J. Rings Kemi for Gymnasiet*, hvis første udgave kom i 1929 og 12. og sidste så sent som i 1960'erne. Ring var selv hovedfagsmatematiker med kemi som ét af sine bifag. Han var i mange år gymnasielærer i *Viborg* og senere rektor for *Frederiksborg Statsskole* [1].

Vi vil her se på to senere kemilærebooks, som var skrevet af to stort set jævnaldrende hovedfagskemikere *Anders Østergaard* og *E. Rancke-Madsen*, hvis førsteudgaver kom samme år - nemlig i 1944.

Anders Østergaard (1911-2006) blev student fra *Veje højere Almenskole* i 1929 og havde her *Georg Baark* som lærer i naturfag, dvs. fysik og kemi. Baark var faktisk seminarieuddannet, men underviste i gymnasieafdelingen og havde titel af lektor. Østergaard mente, at det ikke var så ualmindeligt på den tid, at ikke-universitetsuddannede lærere underviste i gymnasieafdelingen.

Østergaard blev cand.mag. i kemi, fysik og matematik i 1934, og efter at have undervist ved *Akademisk Kursus* og *Helsingør Gymnasium* blev han fra 1961-1981 rektor ved det dengang nystartede *Ballerup Gymnasium*. Hans interesse for uddannelse og samfund er kommet til udtryk som byrådsmedlem for partiet Venstre i Helsingør fra 1958-62. Han



Tegning af Anders Østergaard udført under en morgensamling af formningslærere, maler Otto Lawaetz (1929-2003) omkring 1973.

har tillige været næstformand for *Det Centrale Uddannelsesråd*, har udgivet flere lærebøger i kemi samt været medredaktør af fagbladet *Gymnasieskolen* fra 1964-75. Efter pensioneringen i 1981 har han blandet sig i uddannelsesdebatten med kommentarer og debatindlæg. Som 90-årig var han fortsat aktiv, cyklede hver dag og brugte sin ny erhvervede computer til dagsaktuelle kommentarer, faglig opdatering og en fortælling om slægtens historie. Første udgave af hans *Kemi - en lærebog for gymnasiet* udkom i 1944. Syvende og sidste udgave i 1969 [2].

Det har næppe været sundt at studere kemi, da han studerede. For en hovedfagskemiker, der blev uddannet nogle

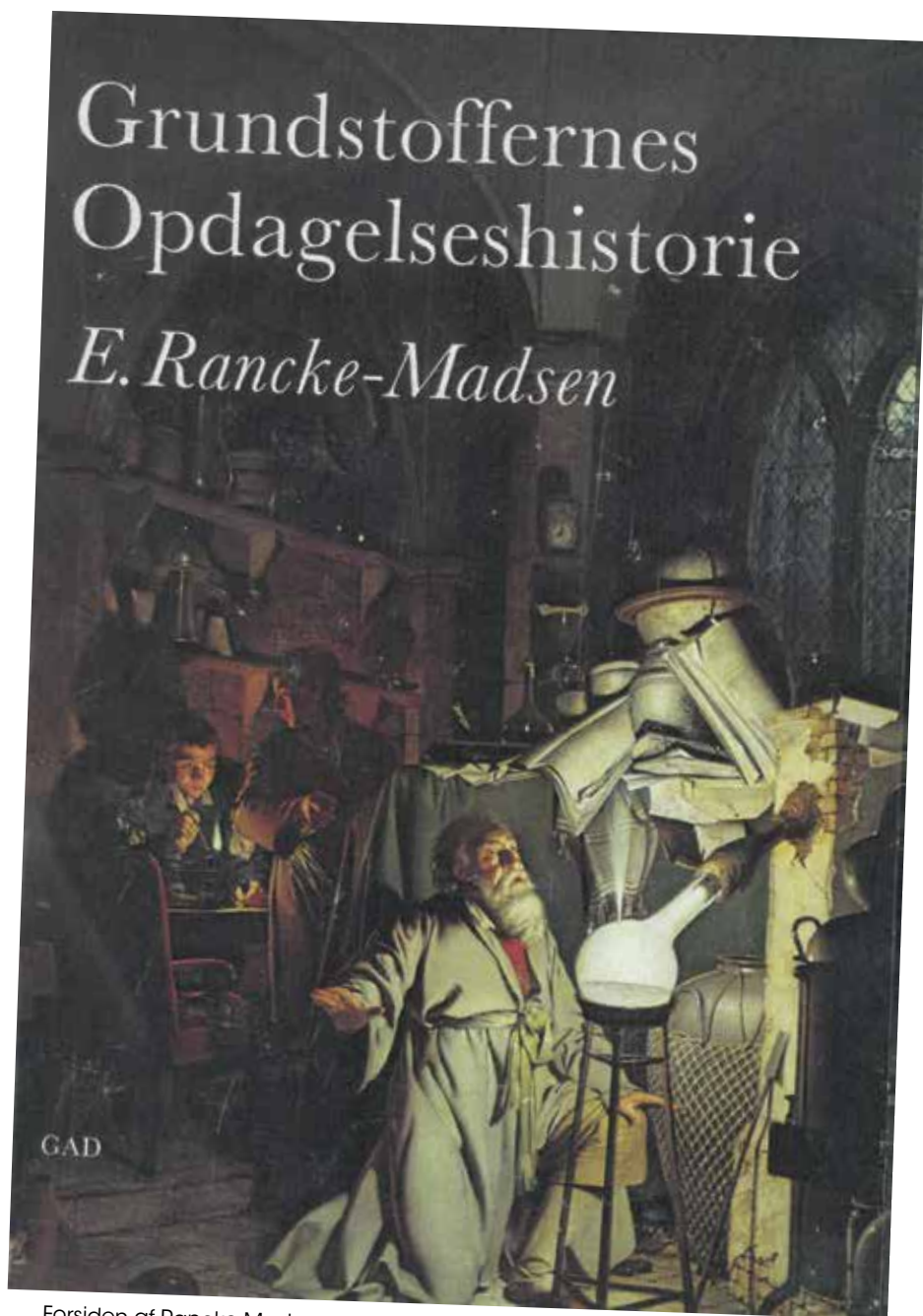
tiår senere, kan man blive helt forskrækket ved at læse, hvad Østergaard har berettet:

”Ved en vacuumdestillation havde jeg et kviksølvmanometer: en åben kviksølvsskål og så et rør ned i. Her gik jeg faktisk i kviksølvldamp og 100 grader varm vanddamp i et halvt års tid. Jeg kunne mærke metalsmagen i tænderne. I et andet halvår gik jeg og pøsede pyridin i nogle opløsninger for at lave komplekser - i pyridinlugt hele tiden med efterfølgende hovedpine hver eftermiddag. Nej, det var klart usundt” [3].

Professor i fysisk kemi var, da Østergaard studerede, *J.N. Brønsted* (1879-1947). Han opstillede i 1923 en teori om syrer og baser, som Østergaard hørte om i sin studietid, og han skrev bogen *Fysisk Kemi* som, efter Østergaards mening gjorde, at det fag var der ingen, der kunne læse. Østergaard mødte Brønsted en enkelt gang for at høre, om



Foto af professor i kemi ved Danmarks Lærerhøjskole E. Rancke-Madsen.



Forsiden af Rancke-Madsens bog Grundstoffernes Opdagelseshistorie fra 1984.

det var muligt at læse speciale med ham som vejleder. Brønsted svarede ham da, at det var der kun én, der tidligere havde gjort, og det var ikke faldet heldigt ud, så det ville han ikke anbefale [4].

Edmond Rancke-Madsen (1910-87) blev student fra *Odense Katedralskole* i 1927. Efter studentereksamen studerede han ved *Københavns Universitet*, hvor han i 1933 aflagde skoleembedseksamen med kemi som hovedfag. Derefter blev han tilknyttet til *Danmarks Tekniske Højskole*. Herudover underviste han på *Tandlægehøjskolens* kemiske laboratorium (1933-40). Han var timelærer ved *Lyngby Statsskole* i alt 16 år mellem 1940 og 1962 og lærer ved *Danmarks Tekniske Højskoles* forberedelseskursus

(1942-72). Som censor i kemi og fysik virkede han ved gymnasier, seminarier, adgangseksamen til civilingeniørstudiet, *Københavns tandlægehøjskole*, *Danmarks Tekniske Højskole* og *Ingeniørakademi*, København og Aarhus universiteter, sidstnævnte sted tillige som censor i de eksakte naturvidenskabers historie. I 1958 blev han dr.phil. på afhandlingen *The Development of Titrimetric Analysis till 1806*. Året efter blev han professor i kemi ved *Danmarks Lærerhøjskole*.

E. Rancke-Madsens lærebogsforfatterskab omfatter *Lærebog i Kemi*, 1. udg. 1944 (14. udgaves 3. oplag 1979), som i lang tid var den mest anvendte gymnasielærebog i kemi. Denne artikels

forfatter læste selv efter 4. udgave fra 1960 i sin gymnasietid på *Gladsaxe Gymnasium* og kom senere i Slagelse til at undervise efter senere udgaver af lærebogen.

E. Rancke-Madsen var selvskreven til det første professorat i kemi ved *Danmarks Lærerhøjskole* (1959-80) [5], og her fortsatte han sit pædagogiske forfatterskab og bidrog samtidig stærkt til at opbygge sit fags rammer og traditioner i disse for en ny lærestols så vigtige første år. Fra denne tid stammer blandt andet *Kemi HF*, 1972 og *Gads Fagleksikon Kemi*, 1980 (begge sammen med kollegaen fra Lærerhøjskolen *H.C. Helt*). Blandt hans senere værker kan nævnes *Grundstoffernes Opdagelseshistorie* fra 1984 og *Kemiens Fødsel* fra 1987.

En fortegnelse over de mange faglige poster og tillidshverv hvortil E. Rancke-Madsen valgtes eller udpegedes, viser bredden i hans engagement. Eksempelvis nævnes *fysik- og kemiundervisningskommissionen* (næstformand), bestyrelserne for *Selskabet for analytisk kemi*, *Gunnar Jørgensens Skole* og *Dansk Medicinsk-Historisk Selskab*, *Kemisk Forenings nomenklaturudvalg*, *folkeuniversitetets programudvalg*, repræsentantskabet for *Danmarks Tekniske Museum*, *Den danske nationalkomité for International Union of History and Philosophy of Science* og dansk repræsentant i *International Union of Pure and Applied Chemistry's Committee on the Teaching of Chemistry*.

E-mail:

Børge Riis Larsen:
b.riis.larsen@gmail.com

Litteratur

- Riis Larsen, B. (1998): Otte kapitler af kemiundervisnings historie. Træk af den gymnasiale kemiundervisnings historie gennem 400 år. Historisk-kemiske skrifter nr. 9, udg. af Dansk Selskab for Historisk Kemi.
Riis Larsen, B. og V. Skovgaard-Petersen: Tidligere rektor for Ballerup Gymnasium og medredaktør af Gymnasieskolen Anders Østergaard - i samtale med Børge Riis Larsen og Vagn Skovgaard-Petersen i februar 2000. I: Uddannelseshistorie 2000 s. 9-23.

Referencer

1. Riis Larsen, B. 1998 s. 66f.
2. Riis Larsen, B. og V. Skovgaard Petersen 2000 s. 9-23.
3. Ibid. s. 14.
4. Ibid. s. 15.
5. Som en kuriositet nævner jeg, at jeg for år tilbage havde en samtale med en svigersøn af Anders Østergaard, som kunne fortælle, at Rancke-Madsen på et tidspunkt havde nævnt overfor Østergaard, at det faktisk var ham, der skulle have haft professoratet på Lærerhøjskolen. Dette har jeg ikke kunne få bekræftet andre steder fra.

Kemisk nomenklatur til kosmetik

Inden for kosmetik har man sin egen nomenklatur til kemiske stoffer. Med nogle eksempler illustreres det, hvordan den kosmetiske nomenklatur adskiller sig fra IUPAC-nomenklaturen.

Ud over en kemisk nomenklatur, som kan bruges til alle kemiske stoffer uanset deres anvendelsesområde, findes der også nomenklatur, som er beregnet til specifikke produkttyper. I det følgende vil et af disse "nomenklatorsystemer" blive illustreret med nogle eksempler og sammenlignet med IUPAC-nomenklaturen.

Formålet med IUPAC-nomenklaturen er, at man, baseret på en række regler, ud fra en veldefineret kemisk struktur kan tildele et entydigt systematisk navn og ud fra det systematiske navn entydigt kan fastslå strukturen [1]. Man kan navngive nye forbindelser baseret på disse regler.

Der findes nomenklatorsystemer, som er målrettet afgrænsede områder. Der er for eksempel International Nonproprietary Names for Pharmaceutical Substances (INN), som varetages af WHO [2], pesticidnavne, som tildeles af International Organization for Standardization [3], og navne på kosmetiske ingredienser (INCI-navne), som tildeles af International Cosmetic Ingredient Nomenclature Committee [4]. I disse tre systemer kan man ikke selv navngive nye stoffer/ingredienser, men skal søge om at få et stof navngivet.

Hvor IUPAC-navne oversættes til nationale sprog (i Danmark står Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg [5] for at yde vejledning til navngivning på dansk), så findes INN kun på latin, engelsk, fransk, spansk, russisk, arabisk og kinesisk. Pesticidnavne kan i princippet oversættes til alle sprog (på Nomenklaturudvalgets hjemmeside [5] kan man finde en række pesticidnavne på dansk ved at vælge prædikatet "pesticidnavn"). INCI-navne findes derimod kun på engelsk og oversættes ikke.

I EU reguleres kosmetik af kosmetikforordningen EC 1223/2009 [6]. Ifølge artikel 19 i forordningen skal kosmetik indeholde en liste over alle bestand-



dele, og i artikel 33 pålægges EU-Kommissionen at udarbejde et glossar med fælles betegnelser for bestanddele, hvor man skal skele til internationalt anerkendt nomenklatur, herunder INCI. Glossaret kom i 2019 (EU 2019/701) og blev i 2022 erstattet af et nyt [7]. Det er vigtigt at bemærke, at glossaret ikke er en positivliste over bestanddele, der kan anvendes i kosmetik - det er producentens ansvar, at produktet lever op til lovgivningen. Således må man godt bruge bestanddele, som ikke er i glossaret, hvis de ellers lever op til lovgivningen. Glossaret er i det store hele identisk med INCI. Ligesom INCI-navne oversættes glossaret ikke til nationale sprog og translittereres heller ikke til ikkelatinske alfabeter.

INCI dækker ikke kun veldefinerede kemiske stoffer, men også planteekstrakter, fermenter, polymerer, komplekse blandinger med videre. Selvom navngivningen ikke er strengt systematisk, føl-

ger den dog nogle konventioner [8], og betaler man for det, kan man på Personal Care Products Councils hjemmeside finde en definition af ingrediensen. Ved at registrere sig (hvilket er gratis) kan man få oplysninger som CAS-nummer og EC-nummer. Den information kan man dog også finde i EU-Kommissionens onlinedatabase [9], uden at man har registreret sig. Fordelen ved INCI-navne er, at de ofte er korte sammenlignet med systematiske kemiske navne, hvilket er en fordel, når alle bestanddele skal oplyses på produktet.

Ud over i kosmetik finder INCI-navne også anvendelse i detergenter (vaske- og opvaskemidler m.m.). Ifølge detergentforordningen [10] skal producenterne på et websted offentliggøre en liste over alle indholdsstoffer. INCI-navnene skal anvendes, og hvis et sådant ikke findes, skal navnet i den europæiske farmakopé anvendes. Hvis heller ikke det findes, "angives i stedet

det almindelige kemiske navn eller IUPAC-navnet”.

Konventionerne for tildeling af INCI-navne er delt op i generelle, specifikke og diverse. I alt er der 76 konventioner. Den første konvention indledes med ”Nomenclature assignments are based on the chemical composition of the intended product, and simple chemical names are used when possible”. For simple veldefinerede stoffer er INCI-navnet da ofte meget sigende, mens det for blandinger, polymerer mv. kræver lidt viden at udlede sammensætningen.

Det vil komme for vidt her at gennemgå konventionerne, men med nogle udvalgte eksempler kan man få en idé om, hvordan INCI-navne forholder sig til IUPAC-navne, og hvordan man i mange tilfælde ud fra navnet alene kan få en idé om stoffets struktur. I det følgende er INCI-navne skrevet i kursiv for at skelne dem fra IUPAC-navne.

Alkaner

Simple, rene alkaner hedder det samme i INCI- og IUPAC-nomenklatur (for eksempel *dodecane*). Blandinger af alkaner med samme antal carbonatomer hedder ”iso”, for eksempel *isododecane* (dem er der ikke så mange af i INCI). Tidligere hed blandinger af alkaner med forskelligt antal carbonatomer i INCI-terminologien isoparaffin, men hedder nu *isoalkane*. Et foranstillet ”Cx-y” angiver antallet af carbonatomer. *C14-16 isoalkane* er således forgrenede (og uforgrenede, men ikke cykliske) alkaner med 14-16 carbonatomer.

Carboxylsyrer og alkoholer

For fedtsyrer (carboxylsyrer med mindst seks carbonatomer) bruges de kendte ”trivialnavne”. Det gøres også for de afledte alkoholer. Således hedder det *lauric acid* og *lauryl alcohol* og ikke henholdsvis dodecansyre og dodecan-1-ol. Der er dog nogle undtagelser. For eksempel hedder det *caproic acid* (hexansyre), men *hexyl alcohol* og ikke caproyl alcohol, mens det hedder *caprylic acid* og *caprylyl alcohol*. Ligeledes hedder det *palmitic acid* (hexadecansyr), men *cetyl alcohol* og ikke palmityl alcohol.

Polyoxiran (polyethylenglycol) og alkylethoxylater

Polyethylenglycol (polyoxiran) er li-

neære polyethere med en fri OH-gruppe i hver ende. En eller begge af disse OH-grupper kan være alkylerede eller acylerede. Polyethylenglycol hedder i INCI *PEG-x* (polypropylenglycol hedder *PPG-x*), hvor x er polymerisationsgraden (antallet af monomerer). *PEG-6* har ifølge [4] CAS-numrene 25322-68-3 og 2615-15-8, hvor 25322-68-3 er generisk for alle polyethylenglycoler, mens 2615-15-8 er specifik for den bestående af seks monomerer; et systematisk navn for denne er 3,6,9,12,15-pentaoxaheptadecan-1,17-diol, hvor navngivningen tager udgangspunkt i heptadecan med fem af carbonatomerne erstattet af oxygen. Det er dog ikke helt beskrivende at bruge det specifikke CAS-nummer, da *PEG-6* ikke er et rent stof, men består af en blanding af forskellige kædelængder med en gennemsnitlig længde på seks monomerer.

Når det drejer sig om ethoxylerede alkoholer, tilføjes endelsen ”eth”. *Lau-reth-4* er således dodecanol ethoxileret med gennemsnitligt fire mol oxiran; IUPAC-navnet for denne er 3,6,9,12-tetraoxatetracosan-1-ol. Hvis det er en blanding af alkoholer med forskellige kædelængder, der er ethoxileret, bruges betegnelsen *Cx-y alketh-z*. *C9-11 alketh-2* er således C9-, C10- og C11-alkoholer med en gennemsnitlig ethoxyleringsgrad på to (tidligere anvendtes betegnelsen *pareth*).

Hvis et stof både er ethoxileret og propoxileret, kan det ske ved, at man 1) først ethoxilerer og derefter propoxilerer, 2) først propoxilerer og dernæst ethoxilerer eller 3) ethoxilerer og propoxilerer samtidigt. I de to første tilfælde fås blokcopolymerer, mens der i det sidste tilfælde opnås en tilfældig polymer. INCI tager højde for dette: *PEG/PPG-x/y* betyder, at stoffet ethoxileres og propoxileres samtidigt, hvorimod *PPG-x PEG-y* betyder, at stoffet først er ethoxileret med y mol oxiran og derefter propoxileret med x mol methyloxiran.

Ethylhexyl stearate

INCI-navnet *ethylhexyl stearate* mangler nogle oplysninger for, at man kan fastslå den specifikke struktur. Stearate er octadecanoat, men med ethylhexyl mangler der oplysninger om, hvor ethylgruppen sidder på hexylkæden. Sidder den i 2-, 3- eller 4-stilling? Her hjælper det at vide noget om fremstillingsprocessen. Alkoholen i *ethylhexyl*

stearate er en såkaldt Guerbet-alkohol, hvor to mol butan-1-ol kondenserer til et mol 2-ethylhexan-1-ol. Men det efterlader stadig et problem med stereokemien, da C-2 i ethylhexyl er et asymmetrisk carbonatom, og der dermed kan være tale om to isomerer (*R/S*). Her hjælper det at vide, at Guerbet-reaktionen ikke er stereospecifik, og at der således dannes en racemisk blanding med lige meget af de to former. Det systematiske IUPAC-navn (på dansk) er således (*rac*)-2-ethylhexyl(octadecanoat). På samme vis findes der også (2-)propylheptyl (fra pentan-1-ol) og (2-)butylloctyl (fra hexan-1-ol). På trods af det kemisk set ufuldstændige INCI-navn viser det sig alligevel at være entydigt, når man kender konteksten (CAS-nummeret er ifølge [4] og [9] 22047-49-0, som netop er 2-ethylhexyl(stearat)).

INCI bruges både af folk, der arbejder professionelt med kosmetik, og af forbrugere. For begge grupper er den præcise kemiske navngivning formodentlig af mindre betydning. Folk, der formulerer kosmetik, er sikkert mere interesserede i råvarens egenskaber end i dens systematiske kemiske navn. For den gennemsnitlige forbruger giver hverken et IUPAC- eller et INCI-navn formodentlig meget mening; for den nysgerrige forbruger er det vigtigere at kunne slå stoffet op. Her er et veletableret entydigt INCI-navn nemmere at slå op end et kemisk navn, hvor ét stof kan optræde med flere navne (systematisk, semisystematisk og trivial).

Alan Mortensen,
Nomenklaturudvalget

Referencer

1. <https://iupac.org/what-we-do/nomenclature/>.
2. www.who.int/teams/health-product-and-policy-standards/inn/.
3. www.iso.org/committee/50160.html.
4. www.personalcarecouncil.org/resources/inci/.
5. <https://kemisknomenklatur.dk/>.
6. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02009R1223-20230816>.
7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=celex%3A32022D0677>.
8. <https://www.personalcarecouncil.org/resources/inci/background-information/>.
9. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/>.
10. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02004R0648-20150601>.

Fra plastaffald til brugbar ressource:

Ny fabrik omdanner plast til olie

Makeen Energys datterselskab Makeen EnviroTech A/S har opført et fabriksanlæg, der skal omdanne plastaffald til olie. Den fremstillede olie kan herefter anvendes til produktion af ny plast. Fabrikken er gennemautomatiseret i et tæt samarbejde med Au2mate A/S.

Af Klaus Hansen,
ingeniør og journalist

Hvert år producerer danskerne millioner af tons returplast, der indsamles via kommunale ordninger og herefter genanvendes i det omfang, det er muligt. Cirka halvdelen af den indsamlede returplast kan genanvendes til fremstilling af ny plast, mens den anden halvdel desværre ikke kan genanvendes og må kasseres. Det drejer sig her om forskellige polymere plasttyper, typisk tynde plastfolier, der er limet sammen af flere forskellige slags plast. Disse ikke-genanvendelige plasttyper sorteres fra i store sorteringsanlæg og brændes herefter i forbrændingsanlæg ligesom restaffald.

Ingeniører i Makeen Energy har udviklet en ny metode til at omdanne den ikke-genanvendelige plast til et nyt olieprodukt, der efterfølgende kan bruges til fremstilling af helt ny plast. Processen er miljøvenlig og medvirker til bedre udnyttelse af det indsamlede plastaffald og bidrager dermed til et mindre CO₂-udslip og styrker den cirkulære økonomi. Forhold, der er helt i tråd med FN's anbefalinger for en mere bæredygtig produktion og klode.

Makeen Energy er netop i gang med at opføre en sådan fabrik ved Randers. Fabrikken skal - som nævnt ovenfor - producere ny olie på basis af ikke-genanvendelige plasttyper. Dette sker i en lang række komplicerede processer, og hele produktionen skal automatiseres, overvåges og styres helt ned til de mindste detaljer.

Valg af automationspartner

Makeen har ikke selv indgående kendskab til udvikling af ny procesautomation, og derfor henvendte virksomheden sig til automationseksperterne fra Au2mate A/S, der herefter påtog sig opgaven med at udvikle et komplet automationssystem til fabrikken.

- Sagen er jo den, at vi skulle automatisere et nyudviklet pyrolyse-/olieprocesanlæg, og da Au2mate har stor erfaring med automatisering af procesanlæg inden for blandt andet mejeriindustrien, kontaktede vi virksomheden, siger Jens Christian Neimann-Platz, der er head of group project engineering hos Makeen EnviroTech, og fortsætter:

- Samtidig er Au2mate et stort og velrenommeret firma, der har erfaring med at automatisere komplekse procesanlæg,

de er globalt repræsenteret, så derfor var det et godt bud på en kompetent automationspartner til vores nye fabrik og vækstambitioner.

Jens Christian Neimann-Platz fortæller ligeledes, at han også lagde vægt på, at Au2mate har stor erfaring med opbygning af aktive Scada-systemer og ligeledes har både PLC- og Scada-softwareprogrammører blandt sine ansatte.

Af andre fordele nævner han, at Au2mate kan tilbyde hotline hjælp i alle døgnets 24 timer samt en nærliggende serviceafdeling, der altid er klar til udrykning.

Au2mate har været en stor hjælp, og vi har draget nytte af deres viden og know-how i forbindelse med udvikling og integration af hele vores fabriksautomation. Nu er vi begyndt at teste systemerne, og vi kan se, at det virker, som det skal.

Makeen Energy forventer at oprette flere nye fabrikker i Danmark og forskellige andre lande. Men nu skal den første fabrik her i Danmark lige køres ind. På basis af disse erfaringer kan virksomheden så etablere nye fabrikker rundt omkring i verden.



Her ses et dronefoto af det kæmpestore fabriksanlæg, der skal omdanne returplast (plastaffald) til olie.

■ Makeen Envirotech er en underafdeling af Makeen Energy. Makeen Energy har domicil i Randers og her er over 100 erfarne ingeniører og maskinmestre ansat, hvor deres opgave er at udvikle nye grønnere teknologier, der kan være med til at løse nogle af klodens mange miljøproblemer. Det er teknologi, der giver en mere bæredygtig produktion og øget cirkulær økonomi, som for eksempel plastkonverteringsanlæg, biogasanlæg eller genanvendelsesteknologi til kompositmateriale.

Makeen Energy er en global virksomhed med over 3.600 ansatte jævnt fordelt over hele kloden.

Inspirerende kemilærere modtog prestigefyldt medalje

Selskabet for Naturlærers Udbredelse (SNU) tildelte den 4. december 2023 H.C. Ørsted Medaljen i bronze for fremragende formidling af naturvidenskab til lektor Nicolai Bogø Stabell, H.C. Ørsted Gymnasiet i Lyngby.

Lektor Nicolai Bogø Stabell har siden 2015 været ansat på H.C. Ørsted Gymnasiet i Lyngby, hvor han underviser i kemi. Nicolai har blandt andet skabt ”Scienceholdet”, hvor elever bliver undervist i at formidle naturvidenskab og kendskab til STEM-uddannelser på folkeskoler og ved åbent hus-arrangementer. Ved sin ansættelse grundlagde Nicolai pilotprojektet Kemi-OL Træningsholdet med det formål at støtte og vejlede elever, der ønsker at deltage i Kemiolympiaden. Nicolai har også etableret et Turbo Kemi A-forløb med mulighed for, at elever kan gennemføre Kemi A-pensum på ét år.

Han fungerer som rådgiver for projekter vedrørende ”Unge Forskere”-konkurrencen, han er aktiv i arbejdsgruppen Science City i Lyngby med BRO-bygning lokalt, og han rådgiver og bidrager til Novo Nordisk Fondens initiativer inden for LIFE. Også internationalt gør Nicolai sig bemærket, idet han er medstifter af en forening for deltagere i kemiolympiader, CODS, som fremmer de unges interesse for kemi.



Medaljemodtageren Nicolai Bogø Stabell sammen med SNU's præsident Anja C. Andersen og bedømmelsesudvalgets formand, fhv. rektor Hans Lindemann.

Endelig har Nicolai Bogø Stabell engageret sig i udformningen af retningslinjer for undervisningen i kemi og andre naturvidenskabelige fag i grønlandske gymnasieskoler.

Medaljen blev overrakt af SNU's præsident, professor Anja C. Andersen. Med

medaljen og æren følger et rejselegat på 25.000 kroner samt 50.000 kroner til et projekt på H.C. Ørsted Gymnasiet sponsoreret af energiselskabet Ørsted.

Kilde: Selskabet for Naturlærers Udbredelse, snu@snu.dk

Om SNU

Selskabet for Naturlærers Udbredelse - i daglig tale kaldet SNU - blev stiftet af H.C. Ørsted i 1824. Efter en større udlandsrejse så han et behov for også i Danmark at have et selskab, hvor alle kunne komme og høre om de nyeste landvindinger inden for fysik og kemi - og disse fags potentielle betydning for næringslivet. Han gav sig derfor til at holde forelæsninger, hvor alle havde adgang. Det blev blandt andet udnyttet af bryggerfamilien Jacobsen, og på den måde var SNU med til at danne grundlag for Carlsbergs forkantsposition i tiden. Her næsten 200 år efter er SNU stadig et samlingspunkt, hvor fremtrædende forskere formidler den nyeste viden, ofte på tværs af traditionelle faggrænser.



HUSK

**Dansk Kemi
kan også
læses online**

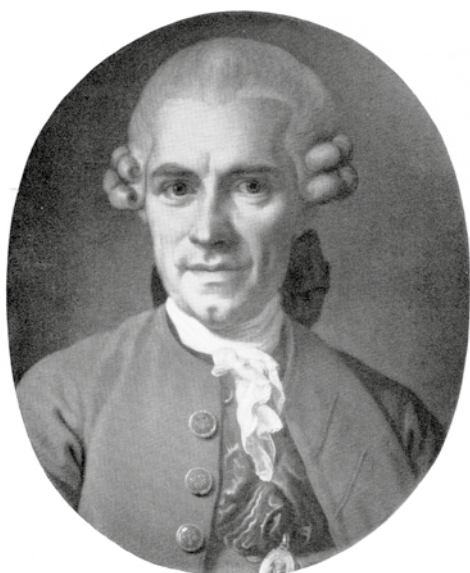
Få besked hver gang
en ny udgave er
tilgængelig.

**Tilmeld dig på
TechMedia.dk**

Nyttig viden fra TechMedia

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, $\oslash$ sølv, ♀ kobber, ♂ kviksølv, ♂ eller ♂ jern, ♂ tin, ♂ bly, ⊖ = salt, ⊕ = salpeter, Ψ = kalk (oxyd), osv.

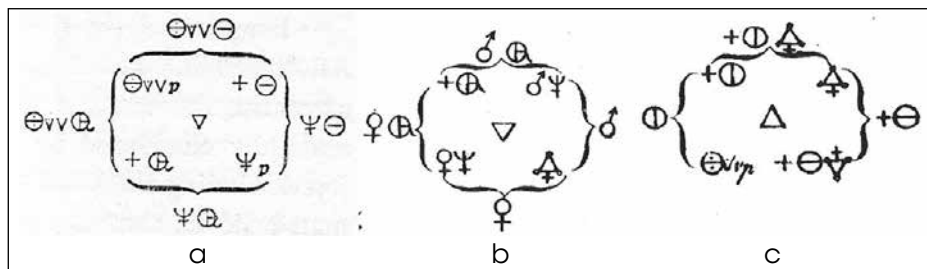
Dette system blev også brugt af den berømte Torbern Bergman i Uppsala, som stod i nær skriftlig forbindelse med Guiton. Det fremgår af korrespondancen [2], og også af Guitons *Mémoire*, at han ofte søgte Bergmans råd, og at de var rimeligt enige med hensyn til nomenklatoriske anskuelser. Således skrev 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 Gen-dre, 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, simplere 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* & *ammoniaco 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 $\oplus$ betyder base (alkali). Et ekstra symbol - v - betyder fixeret eller fast, for eksempel *fixed nitre* af Boyle

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

Reaktionen i figur 1a mellem kalium-sulfat 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 kviksølv-sulfat på venstre side og jern på højre side til reduktion af kviksølv-saltet til elementært kviksølv, som falder til bunds, og oxidation af jernet til jernsulfat. Interessant nok opfattes elementært jern som reduktionsproduktet 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.

Figur 2. Udsnit af Bergmans affinitetstabel [7] og af 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 (($\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), 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 (K_2CO_3). 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. CO_2 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 horizontale, 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 $\cup$ = svovl, $\subset$ = carbon, $\supset$ = hydrogen, $\cap$ = fosfor.
4. Metaller blev beskrevet med det første bogstav af det latinske navn indskrevet i en cirkel: $\odot$ = kobber (*cuivre*), $\oplus$ = bly (*plomb*), men As og Sb for arsen og antimon. Guld blev fortsat betegnet med det gamle alkemiske symbol, $\odot$. 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 phlogistontro. 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 $k[p] \cdot [q]$, 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, Berthollet [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: Verwandtschaftslehre*, 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 Exakten 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



Quality Control in the Food & Beverage Industry with **FT-NIR** Spectroscopy



- **MPA II:**
Unrivalled flexibility for your daily QA/QC work as well as for sophisticated method development.



- **TANGO:**
The next generation FT-NIR spectrometer with touch screen operation and intuitive user interface.



- **MATRIX-F:**
On-line FT-NIR for direct measurements in continuous or batch processes, enabling a close production control.

FT-NIR is a powerful and effective technology for control of raw materials, intermediates and finished products. The major application areas of NIR spectroscopy include dairy and meat, beverages, edible oils, bakery ingredients and condiments as well as grains and oil seeds.

In contrast to most wet-chemical and other reference methods, FT-NIR technology is quick, cost-effective, non-destructive and safe, since it does not use chemicals, solvents or gases.

Bruker Optics has the industry's most comprehensive FT-NIR product-line; from the very intuitive FT-NIR spectrometer TANGO to the versatile Multi Purpose Analyzer MPA II and award-winning MATRIX systems for online measurements.

Contact us for more details:
info.bopt.nordic@bruker.com • www.food-analysis-nir.com

