

Dansk Kemi

Nummer 2 - April 2026 / 107. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

Polycykliske
aromatiske kulbrinter
– multi-redox systemer

Ozon i
den arktiske
troposfære

Plastik i luften – havets usynlige bidrag

NÅR KEMI BLIVER TIL BESLUTNINGER

Løft karrieren med kompetencer inden for kemikaliesikkerhed, grænseværdier og risikohåndtering. Forløbet er internationalt, online og målrettet fagfolk i job. Halv pris på uddannelsen for danske deltagere. Start september 2026.



Scan og læs mere

MASTER I KEMISK RISIKOVURDERING

UNIVERSITY OF
SASKATCHEWAN



AARHUS
UNIVERSITET

Savner du også det store overblik?

PFAS



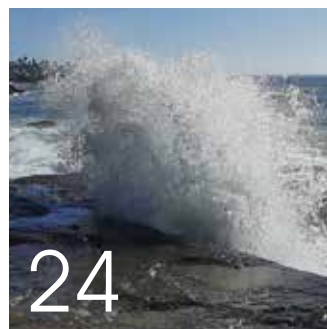
Med Combustion IC (CIC) får du den totale mængde PFAS i dine prøver.

Med mere end 10.000 forskellige PFAS er det vigtigt at få det fulde billede.
Få hurtige og pålidelige resultater - for alle PFAS.

Med CIC efter den nye standardmetode DIN-38409-59 får du:

- ▶ Selektiv bestemmelse af AOF, AOCl, AOBr og AOI i forskellige vandprøver
- ▶ AOF som en hurtig, ikke-målet screening for PFAS'er
- ▶ Effektivt system med meget lidt vedligeholdelse
- ▶ Let at bruge, robust og pålideligt





1 Forside
Springende bobler på havets overflade kan transportere mikroskopiske plastikpartikler fra vand til luft. Læs mere i artiklen på side 24.
Foto: Eva R. Kjærgaard.

5 Stratosfærisk ozon
Målingerne viser tydeligt, at det går den rigtige vej både for stratosfærisk ozon i almindelighed og det antarktiske ozonhul i særdeleshed.

6 Boganmeldelse
Historien om Cheminova 1938-1953 er blevet udgivet.

7 Ozon i den arktiske troposfære
Ozon (O_3) i atmosfæren er en vigtig klimagas – desuden er den giftig for dyr og mennesker samt skadelig for planter.

10 Kort nyt:
Årets Hæderspris 2025 gik til familien Topsøe

11 Physical Unclonable Functions
Fremtidens sikkerhedsløsninger baserer sig på tilfældige mønstre.

14 Kerneboringer i havbund giver et historisk overblik over plastforurening
I Diskobugten ud fra Grønlands vestkyst har forskere opnået den første historiske optegnelse af plastforurening ved at bore kerneprøver fra havbunden.

16 Aminosyrer til folk og fæ
Dansk Kemis nomenklatureksperter spørger: "hvad er egentlig L-cystin?"

20 Polycykliske aromatiske kulbrinter – multi-redox systemer
Nye organiske forbindelser med potentiel anvendelse inden for materialekemi som elektrisk ledende materialer, elektrokrome materialer eller som komponenter i batterier.

24 Plastik i luften – havets usynlige bidrag
Springende bobler på havets overflade kan transportere mikroskopiske plastikpartikler fra vand til luft.

27 Kemiens etik:
Et overset felt med voksende betydning
Derfor er der behov for større opmærksomhed på kemiens etiske dimensioner i både forskning, undervisning og faglige organisationer.

30 Nyt fra Kemisk Forening

TechMedia

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

Ledelse:
David Wall

Redaktion:
Katja Salomon Johansen
(ansvarshavende)
katja@techmedia.dk
Professor Søren Kiil
sk@kt.dtu.dk
Ph.d. Kristian B. Krogh
kbk@novozymes.com
Professor Henrik Skov
hsk@envs.au.dk

Redaktionskomité:
Professor, dr. scient. Mikael Bols
Professor Morten J. Bjerrum
(Kemisk Forening)
Lektor, ph.d. Peter Szabo
(Kemiingeniørgruppen)
Lektor, civilingeniør, ph.d.
Merete Norsker Bergsøe
Vibeke Richter Foersom
(Næstformand, Kemilærerforeningen)
Chefkonsulent Helle Westphal
Senior Environmental Specialist,
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:
Helle Hansen
Tlf. 43 24 26 71, hh@techmedia.dk

Layout: Trine Plass
Tryk: PE Offset A/S

Antal abonnenter: 3.600

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.dansk kemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

Eller find
Dansk Kemi på:



Scan og hent Dansk Kemi
medieinformation 2026 her!
Scan med kameraet
på din smartphone.

Foto: Christian Ole Carlsson.



"Catalytic CO₂ Conversions" (CCC2026) i IDA

- IDA Conference danner rammen for endnu en international konference.

Når denne lederartikel læses, er det netop 30 år siden, at Ingeniørforeningen i Danmark - IDA besluttede at opføre IDA Huset på Kalvebod Brygge i København. Der var mange udfordringer i byggefasen, som krævede en del pionerånd, blandt andet nye miljøvenlige tiltag såsom anvendelse af regnvand til toiletskyl og animalske limfarver i maling. IDA Huset markerede også starten på en helt ny bydel langs bryggen i København. Byggeriet varede frem til indvielsen den 1. oktober 1998, hvor mere end 1000 medlemmer og gæster besøgte det nye ingeniørhus. Når man i dag betragter byudviklingen omkring IDA Huset, må det konkluderes, at IDA med nybyggeriet tog en fremsynet beslutning, som de fleste anerkender i dag.

Opførelsen af IDA Huset markerede kulminationen på fusionen af de to tidligere foreninger for teknikumingeniører (I-S) samt civil- og akademiingeniører (DIF). En betydelig del af IDA Huset benyttes i dag til mødeaktiviteter og konferencer under navnet IDA Conference.

IDA Conference
danner rammen for
CCC2026-konferencen



IDA Kemi er medarrangør på den internationale CCC2026 konference, som afholdes i IDA Conference den 25.-28. august (<https://copenhagenccc2026.com>). Titlen er officielt "Catalytic CO₂ Conversions", hvilket dækker over den nyeste forskning relateret til konvertering af CO₂ i industrielle processer. Hvis CO₂ kan konverteres til nyttige produkter gennem katalytiske eller elektrokemiske

processer, vil debatten om CO₂ ændre karakter til øget fokus på muligheder og anvendelser.

Jeg vil kort fremhæve udvalgte emner fra programmet, som illustrerer bredden i konferencen: Fundamental Catalysis & Mechanistic Insight, Scalable CO₂ Utilization Technologies, Sustainable, Energy-driven Approaches, Process Engineering & System Integration, Computational Catalysis, Modelling & AI Tools. Fra denne plads vil jeg anbefale at tage et kig på programmet med adskillige foredrag fra anerkendte internationale forskere, herunder også professor Morten Meldal, som fik Nobelprisen i Kemi i 2022.

Peter Szabo, IDA Kemi

Stratosfærisk ozon

En status.

Af Ole John Nielsen,
Kemisk Institut, Københavns Universitet

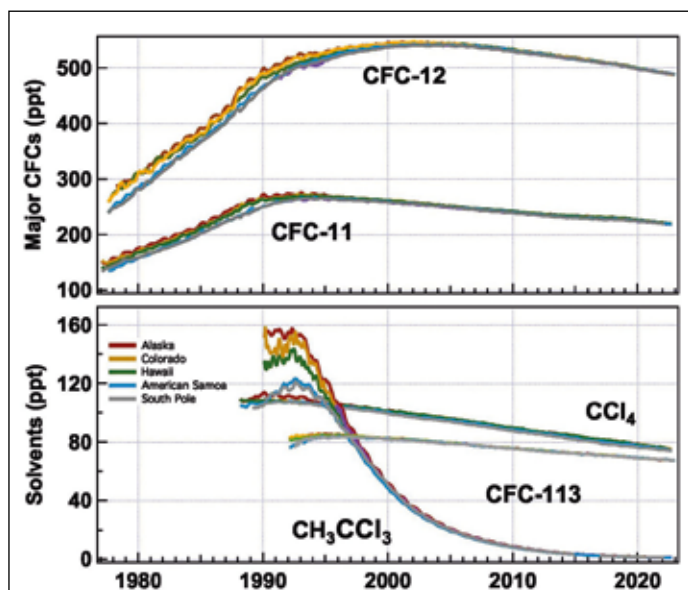
Stratosfærisk ozon har været vigtig for livets udvikling og beståen på jorden. Historien er lang, indviklet og succesfuld og er beskrevet andetsteds [1]. For mig begyndte historien i 1974, da jeg som førsteårsstuderende hørte K.A. Jensen forelæse om den nyligt opdedede katalytiske ozonnedbrydning ved hjælp af kloratomer [2]. Jeg har været så heldig at kunne beskæftige mig med ozonnedbrydende stoffer og tilgrænsende emner lige siden.

Begrænsning af brugen af halogenerede forbindelser

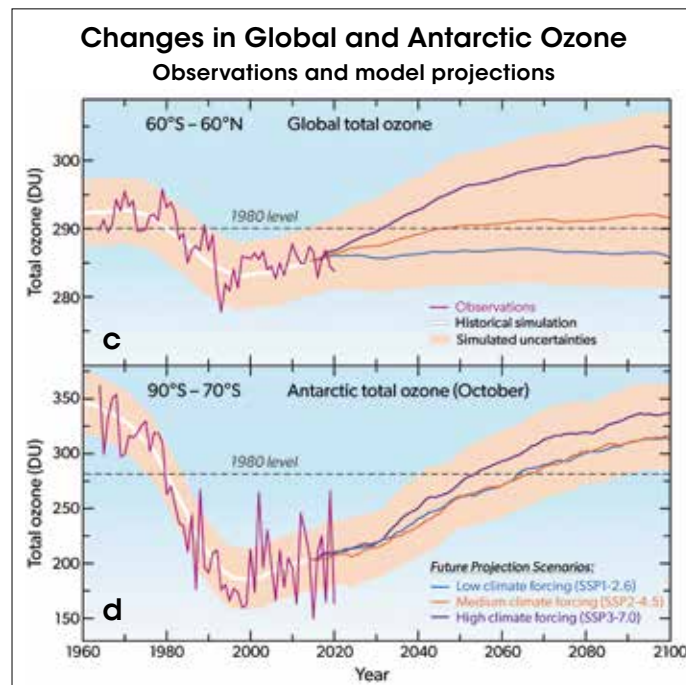
Opdagelsen af ozonhullet over Antarktis, som blev publiceret i 1985 [3], førte til vedtagelsen af Montreal-protokollen i 1987. De fem tilføjelser til Montreal-protokollen, senest Kigali-ændringen i 2016, har ført til en succesfuld udfasning af ozonnedbrydende stoffer. På figur 1 kan man se, hvorledes den globale koncentration af de vigtigste ozonnedbrydende stoffer har udviklet sig siden vedtagelsen af Montreal-protokollen. For CFC-11 og CFC-12 ser man en stigning i den atmosfæriske koncentration, indtil udfasningen begyndte, og derefter et langsomt henfald. På den nederste del af figur 1 kan man se, at en forbindelse med kortere atmosfærisk levetid (cirka 5 år) forsvinder hurtigere ud af atmosfæren.

Ozonrapporter

Det er vigtigt her at skelne mellem stratosfærisk ozon i almindelighed og ozonhullerne. Der er et forholdsvist permanent ozonhul over Antarktis, hvorimod der er et mere lejlighedsvist ozonhul over Arktis. Ligesom IPCC udgiver rapporter, der summerer status på klimaændringerne, har UNEP et ad hoc panel, som udgiver rapporten "Scientific Assessment of ozone depletion". Den er udkommet cirka hvert fjerde år siden 1989 (1994, 1998, 2002, 2006, 2010, 2014, 2018 og 2022).



Figur 1. Koncentrationen af nogle ozonnedbrydende forbindelser som funktion af tiden. Kilde: NOAA.

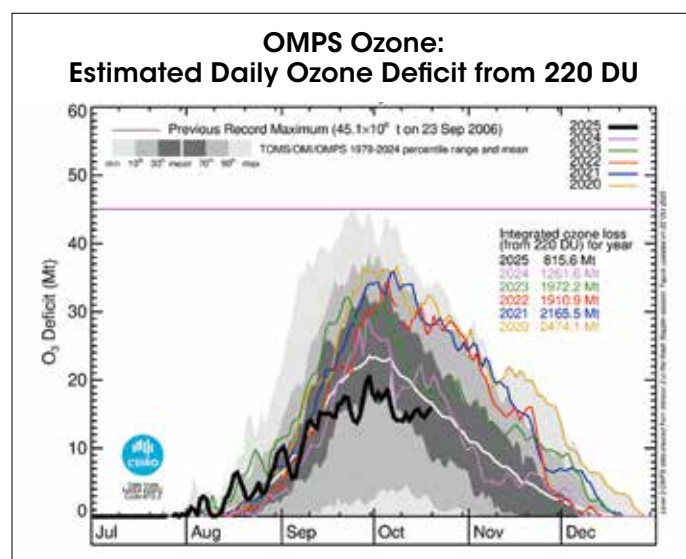


Figur 2. Ozon målt i Dobson-enheder (DU) for globalt stratosfærisk ozon (c) og over Antarktis i oktober (d).

Kilde: Scientific Assessment of Ozone Depletion 2022.

Hvad har det betydet for stratosfærisk ozon og det antarktiske ozonhul?

I "Scientific Assessment of ozone depletion 2022" finder man figur 2. I det øverste panel (c) ses den lille kurve med støj på. Det er den observerede gennemsnitlige tykkelse af ozonlaget målt i dobson-enheder (DU). Det ses, at tykkelsen af ozonlaget aftager fra omkring 1980 og ser ud til at stige svagt fra år 2000 til 2020. Det bratte fald i 1991 skyldes partiklerne fra Pinatubo vulkanudbruddet.



Figur 3. Manglende ozon i millioner tons (Mt) fra satellitdata i forhold til 220 Dobson-enheder. Kilde: CSIRO.

Fakta

IPCC: Intergovernmental Panel of Climate Change
 UNEP: United Nation Environmental Program
 ppt: Parts per trillion
 DU: Dobson unit. En DU svarer til et ozonlag på 0,01 mm ved et tryk på 1 atmosfære og ved 0°C. Det vil sige, at hvis man i 1980 pressede hele ozonlaget sammen ved jordens overflade, ville det være 2,9 mm tykt.
 CFC: Chlorofluorocarbons (ofte kaldet freon på dansk)

Det antarktiske ozonhuls udvikling

På figur 2 panel d kan man se udviklingen i det antarktiske ozonhul. Den lille kurve med støj på er målinger, og de andre er forskellige modelfremskrivinger. Det kan være svært at se, at hullet "er blevet mindre" de seneste 15 år på grund af den store variation fra år til år. Men på figur 3, side 5, ser vi en anden måde at afbilde ozonhullet de seneste seks år. Man beregner den mængde ozon, der mangler i forhold til ikke at

have et hul. Her ses det mere tydeligt, at den mængde ozon, "der mangler", bliver mindre og mindre år for år.

Konklusion

Målingerne viser tydeligt, at det går den rigtige vej, både for stratosfærisk ozon i almindelighed og det antarktiske ozonhul i særdeleshed. Montreal-protokollen med justeringer har været en kæmpe succes. Et stop for brug af CFC'er og andre ozonnedbrydende stoffer har ikke blot sat gang i genopretningen af det stratosfæriske ozonlag, men også gavnet klimaet, da de nye erstatningsstoffer har langt lavere klimaeffekt end CFC'erne.

E-mail:

Ole John Nielsen: ojn@chem.ku.dk

Referencer

1. Ole John Nielsen og Merete Bilde: "Reflection on two Ambio papers by Paul Crutzen on ozone in the upper atmosphere". *Ambio* 50, 47, (2021).
2. Molina MJ, Rowland FS. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruct of ozone. *Nature* 249, 810-812, (1974).
3. Farman JC, Gardiner BG, Shanklin JD. "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/No_x interaction". *Nature* 315, 207-210, (1985).

Cheminova 1938-1953

Af Jørgen Burchardt

Antal sider: 424

1. udgave 2025

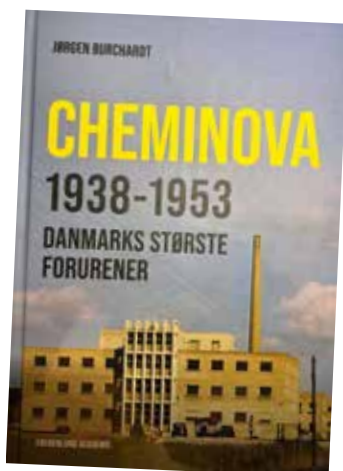
1. oplag 2025

Anmeldt af
 Kristian B. Krogh

Cheminova kan løst oversættes til "den nye kemi". Undertiden mødes man som kemisk uddannet med udtryk som: "Det er farligt, fordi der er kemi i", "Vi skal ikke have noget kemi" og "Pas på med kemi!". Har den offentlige mening en sag her? Det har i mange år faldet mig for brystet, at man ikke, som vores danske Nobelprisvinder Morten Meldal kan se, at kemi tilbyder et væld af løsninger inden for den grønne omstilling, miljøproblemer og lægevidenskaben, og at vi bare skal omfavne kemi.

Denne bog giver en utrolig detaljeret og velbeskrevet baggrund for en af Danmarks største og værste miljøforureninger. En forurening ikke kun på Harbøre Tange, men også i både Gladsaxe og Måløv, hvor firmaet havde sin opstart. Bogen skildrer både den entreprenante Gunnar Andresens barndom, studietid på Den Tekniske Højskole og hans imponerende opbygning af Cheminova som en stor kemisk fabrik under 2. Verdenskrig og årene efter indtil flytningen til Harbøre Tange.

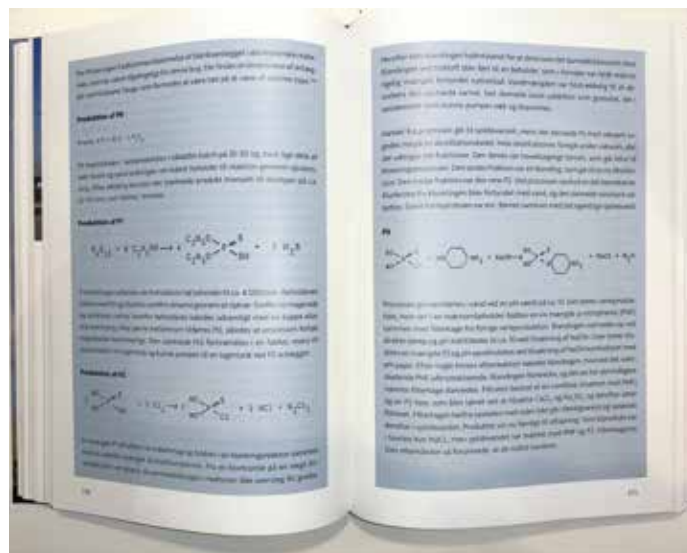
Undervejs i bogens 424 sider afdækkes aktører i Cheminovas historie fra hans lærere på DTH, bestyrelsesmedlemmer, sognerådsformænd til kredslæger. Man følger produktudvikling og ingeniørkunst under krigens råstofmangler og skiftende kunder. Der beskrives også en produktion af blandt andet sprøjtegifte med hensynende træer i fabrikkens nærhed og



fisk med bugen i vejret i vandløb og fiskernes til tider usælgelige fisk i Roskilde Fjord.

Samtidig afdækkes det på fascinerende og skræmmende vis, hvordan mange små brækker ikke forhindrede det i at ske. Bogen kan læses som en virksomhedshistorie og samtidsbeskrivelse, og med en kemisk uddannelse/viden, så giver det en yderligere dimension til historien, da man kan forstå, hvilke kemiske processer og reaktioner der fandt sted.

Efter at have læst bogen kan man sidde tilbage med en undren. Var det "The perfect storm", eller var det bare et sammenfald af begivenheder og vigtigst af alt: Er vi blevet klogere, og er vi bedre stillet i dag til at evaluere nye teknologiske fremskridt? Man tænker uvilkårligt på George Santayana's citat "Those who cannot remember the past are condemned to repeat it".



Ozon i den arktiske troposfære

Ozon (O_3) i atmosfæren er en vigtig klimagas – desuden er den giftig for dyr og mennesker samt skadelig for planter.



Af Henrik Skov, Claus Nordstrøm, Jens Hjorth, Jesper Christensen, Jakob B. Pernov, Kaj Mantzius Hansen og Zhuyun Ye, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

Ozon (O_3) forbindes ofte med det beskyttende lag i stratosfæren, men den findes også i troposfæren – de nederste cirka 10 kilometer af atmosfæren – hvor den både fungerer som drivhusgas og som luftforurening. Den er en central klimagas, samtidig med at den er giftig for dyr og mennesker og skadelig for planter. EU har for nylig opdateret retningslinjerne for tilladte ozonkoncentrationer. Indtil 2030 må ozon ikke overskride 60 ppbv (fra engelsk: parts per billion volume) mere end 25 gange årligt (treårigt gennemsnit). Derefter sænkes grænsen til 50 ppbv, som kun må overskrides tre gange årligt.

I figur 1, side 8, er vist bidraget til den samlede temperaturstigning fordelt på gasser og partikler.

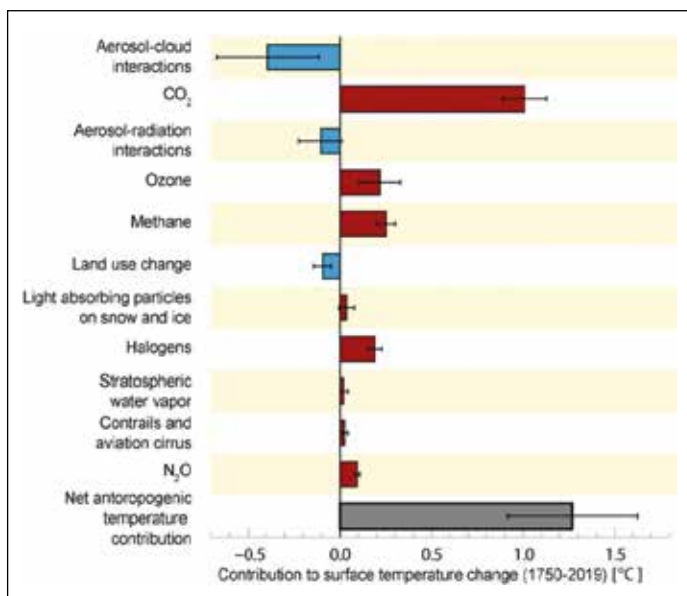
Ozon er den tredje vigtigste drivhusgas efter CO_2 og metan. På trods af dens betydning er de atmosfæriske processer, der styrer O_3 , ikke fuldt forstået – især ikke i Højarktis, hvor usikkerhederne er store. Derfor undersøger vi ozon ved Villum Research Station (VRS) på Station Nord i Nordøstgrønland.

Figur 2, side 8, viser beliggenheden af VRS på Station Nord (www.villumresearchstation.dk), hvor vi blandt andet måler O_3 .

På VRS har vi målt ozon siden 1995, dog med en pause fra 2002 til 2007, hvor stationen var lukket (se figur 3, side 9).

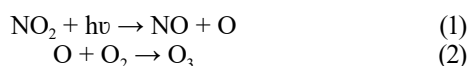
Målingerne viser en klar sæsonvariation

Vi har tidligere beskrevet, at O_3 og Hg^0 fjernes ved konkurrerende reaktioner med Br om foråret [1,2] og referencer deri, ►



Figur 1. Bidraget til observeret temperaturstigning fra før industriel tid til 2019 fordelt på gasser og partikler.

men hvilke processer bestemmer sommerkoncentrationerne af O₃? O₃ dannes i troposfæren ved fotolyse af NO₂:



O₃ blev målt med en Teledyne model 400T O₃ monitor. Måleprincippet er UV-absorption. Målingerne kalibreres mod en certificeret O₃-standard før og efter brug på VRS. I felten sikres kalibreringen ved på daglig basis at addere ren luft (uden ozon) og på ugentlig basis at lave en måling af en kendt mængde O₃ fra en intern O₃-kilde i apparatet, se for eksempel [1] for usikkerheder m.m.



Figur 2. Kort med beliggenheden af Station Nord i Nordøstgrønland, hvor Villum Research Station er placeret.

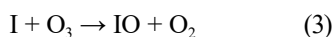
men NO₂ er meget lav i Arktis. Til gengæld er levetiden af ozon i troposfæren relativ lang (~ 1 uge), så derfor kan det langtransporteres fra mere sydlige breddegrader eller synke ned fra den øvre del af atmosfæren (den fri troposfære). Vi er derfor ved at undersøge, hvilke parametre der er vigtige for at forklare de observerede sommerkoncentrationer, da O₃ har den største påvirkning på strålingsbalancen (klimaet) om sommeren på grund af tilstedeværelsen af sollys, så den troposfæriske O₃ både er aktiv i UV- og infrarødområdet.

Vi analyserede vores resultater ved hjælp af tilbagetræktorieberegninger for at se, om der var forskel på, hvor luftmasser kommer fra, når der var lave koncentrationer og når der var høje ozonkoncentrationer (se figur 4). Foreløbige analyser viser en klar sammenhæng mellem transport fra den fri troposfære, kendetegnet ved lav relativ fugtighed og forhøjet O₃. Trajektorierne viser, at luften er transporteret til VRS op over Indlandsisen og dermed ned fra over 3 kilometers højde.



Troposfæren er de første cirka 10 kilometer over jordoverfladen. Troposfæren er delt op i overfladelaget, der direkte er påvirket af jordfladen. Det er afgrænset fra den fri troposfære af det atmosfæriske inversionslag.

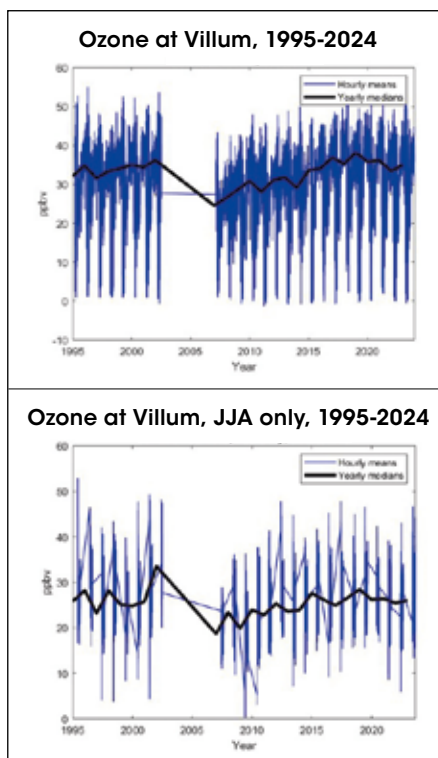
De lave værdier viser sig at blive målt, når luften kommer fra det Arktiske Ocean, hvilket stemmer fint overens med et tidligere studium, hvor vi undersøgte, hvilke processer der kan forklare de lave værdier om sommeren. Og her viser det sig at være halogenkemi i atmosfæren, der på årsbasis fjerner mest O_3 , med I som vigtigst og Cl og Br som mindre vigtige [3].



Halogenerne i Arktis kommer hovedsageligt ved emission fra snedækket havis.

Konklusion

De foreløbige resultater peger på, at de højeste ozonkoncentrationer om sommeren ved Villum Research Station primært bestemmes af transport fra den frie troposfære. Dette er vigtigt for forståelsen af ozons rolle i Arktis,



Figur 3. O_3 -målinger fra 1995 til 2024. Enhed er ppbv (engelsk: parts per billion volume). Den øverste figur viser alle målinger, mens den nederste kun viser sommerkoncentrationerne. De sorte linjer er henholdsvis årsmiddelværdier og sommerrmiddelværdier. De manglende data mellem 2002 og 2007 skyldes, at VRS var lukket i denne periode.

hvor dens klimatiske effekt er størst om sommeren på grund af sollysets tilstedeværelse, hvorimod lave koncentrationer skyldes halogenreaktioner, hvor I nok er den vigtigste reaktant og snedækket havis er vigtigste kilde.

Taksigelse

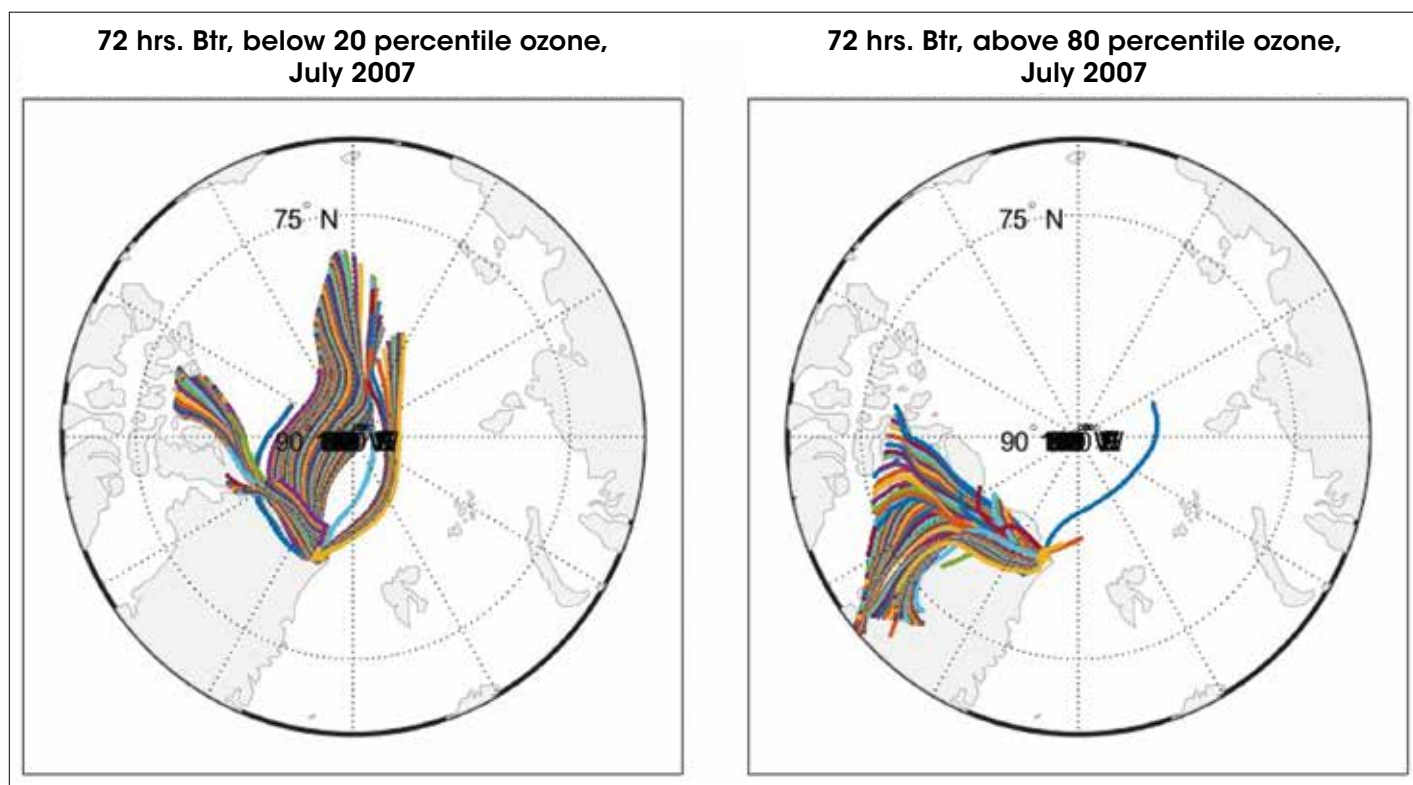
Miljøstyrelsen takkes for finansiel støtte via virkemidlet "Arktisk Miljøstøtte". Bjarne Jensen, Stephan Ingemann Bernberg og Christel Christoffersen takkes for deres gode tekniske arbejde med målingerne.

E-mail:

Henrik Skov: hsk@envs.au.dk

Referencer

1. Skov, H., J. Hjorth, C. Nordstrom, B. Jensen, C. Christoffersen, M.B. Poulsen, J.B. Liisberg, D. Beddows, M. Dall'Osto & J.H. Christensen (2020) Variability in gaseous elemental mercury at Villum Research Station, Station Nord, in North Greenland from 1999 to 2017. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 13253-13265.
2. Hjorth, J., J.B. Pernov & H. Skov (2024) Ozon ved Villum Research Station. *Dansk Kemi*, 2, 26-28.
3. Fernandez, R.P., L. Berná, O.G. Tomazzeli, A.S. Mahajan, Q.Y. Li, D.E. Kinnison, S.Y. Wang, J.F. Lamarque, S. Tilmes, H. Skov, C.A. Cuevas & A. Saiz-Lopez (2024) Arctic halogens reduce ozone in the northern mid-latitudes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121.



Figur 4. Eksempler på tilbagetrajektorieberegninger til bestemmelse af, hvor luftpakker kommer fra. Til venstre vises, hvor luften kommer fra, når der måles under 20 procent percentilen af koncentrationerne. Til højre vises, hvor luften kommer fra, når der måles over 80 procent percentilen af koncentrationerne.

Årets Hæderspris 2025 gik til familien Topsøe

I mere end 80 år har familien og virksomheden Topsoe A/S (tidligere Haldor Topsøe A/S) haft en markant og vedvarende indflydelse på dansk erhvervsliv og det globale industrimarked.

Haldor Topsøe grundlagde virksomheden i 1940 med en vision om at fremme teknologisk innovation inden for katalyse – en banebrydende teknologi, der revolutionerede processerne i den kemiske industri samt olie- og gassektoren. Virksomheden har i dag cirka 2800 ansatte verden over og er en førende global leverandør af avanceret teknologi og løsninger til energiomstillingen.

- Med udgangspunkt i stifterens dybe interesse for videnskab og entreprenørskab har familien gennem generationer udviklet virksomheden til en global leder inden for bæredygtige løsninger. I dag bidrager virksomheden blandt andet til at optimere energiforbrug og reducere CO₂-udslip verden over, siger Ulrik Ræbild, partner og ansvarlig for Årets Ejerleder i PwC.

Fokus på bæredygtig innovation
Virksomheden har nået betydelige mile-

■ Hædersprisen som Årets Ejerleder

For niende gang i uddeler Landsjuryen for Årets Ejerleder (PwC, Nykredit, Dansk Erhverv, Årets Ejerleder 2024) en særlig Hæderspris i forbindelse med kåringen af Årets Ejerleder, hvor en ejerleder i Danmark, som gennem en årrække har ydet en enestående indsats, anerkendes og hædres. Hædersprisen går til en ejerleder, som gennem en lang årrække har haft en betydende indflydelse på dansk erhvervsliv ved at besidde modet til at træffe beslutninger i en omskiftelig verden, og som har ambitionerne og viljen til hele tiden at sætte nye og højere mål og samtidig "drivet" og evnerne til at indfri disse. Kort fortalt, så er modtageren af Hædersprisen en evig kilde til inspiration for såvel nuværende som næste generation af ejerledere.



Årets Hæderspris 2025 blev modtaget af Kim Saaby Hedegaard, CEO, Power-to-X, Topsoe A/S, på vegne af familien Topsøe.

pæle, der styrker familiens position som en vigtig aktør i dansk industri. Efter de i 1970'erne var pioner inden for katalytiske processer til olie- og gassektoren, skiftede virksomheden i 1990'erne fokus mod grøn teknologi og bæredygtighed.

- I dag står Topsoe som en global frontløber inden for teknologi, der understøtter renere brændstofproduktion og lavere CO₂-udledning. Med deres investering i Europas største elektrolysefabrik, som netop er åbnet, bidrager de til at styrke Danmarks rolle inden for klimavenlig brintproduktion og Power-to-X-teknologi. Investeringen afspejler familiens fortsatte engagement i bæredygtig innovation, siger Ulrik Ræbild.

Samme ejerfamilie i flere generationer

Ejerfamilien, nu i tredje og fjerde generation, fører udviklingen videre med det samme engagement og lederskab, der har præget familien gennem tiden. I dag er det særligt Jakob Topsøe, som

■ Tidligere Hædersprismodtagere

Familierne Tøpholm og Westermann fra WS Audiology (2024), Thomas Kirk Kristiansen fra Lego Group (2023), Torben Østergaard-Nielsen, ejerleder i United Shipping & Trading Company A/S (USTC) (2022), Anders Holch Povlsen, Bestseller (2021), (2020 var særligt grundet covid-19, hvorfor prisen ikke blev uddelt), Lars Kann-Rasmussen, VKR Gruppen (2019), Jørgen Mads Clausen, Danfoss A/S (2018), Ane Mærsk McKinney Ugglå, formand for fondene A.P. Møllers familiefond og A.P. Møller og Hustru Chastine McKinney Møllers Fond til almene Formaal (2017) og Købmand Lars Larsen (2016).

bidrager til at definere retning og mål for virksomheden i sine roller som formand for familiens ejerselskab Topsøe Holding A/S og næstformand for Topsoe A/S.

- Familiens særlige engagement i teknologi, lederskab og samfundsansvar gør dem til et forbillede for ejerledede virksomheder. Gennem vedvarende innovation, en stærk forpligtelse til bæredygtighed og betydelige bidrag til dansk erhvervsliv har familien sat et varigt præg på både branchen og samfundet, udtaler Henrik Rasmussen, regionsdirektør i Nykredit. Hos Dansk Erhverv ser man også stor grund til at fejre den nykårede Hædersprismodtager 2025.

- Familien Topsøe fortjener at modtage Årets Hæderspris 2025. Deres historie viser, hvordan en familie gennem generationer kan skabe en virksomhed, der forener arv og ansvarlighed og samtidig skaber global gennemslagskraft, siger Natasha Brandt, kommerciel medlemsdirektør i Dansk Erhverv.

Kilde: Pressemeddelelse

Physical Unclonable Functions

Fremtidens sikkerhedsløsninger baserer sig på tilfældige mønstre.

Af Thomas Just Sørensen, Nano-Science Center og Kemisk Institut, Københavns Universitet

Sikker identifikation af fysiske objekter er ved at blive en nødvendighed for virksomheder. Det gælder på tværs af produktkategorier og i flere regioner verden over. Den eneste praktiske løsning er at mærke de fysiske produkter og knytte hvert enkelt mærke til en digital identitet. De eksisterende teknologier har alle den indbyggede svaghed, at de fysiske mærker kan

kopieres, genskabes eller klones af kopister med en tilstrækkelig motivation. Den form for snyd bliver umuligt, hvis produkterne forsynes med PUF-mærker baseret på pigmenter i tilfældige mønstre.

I 2001 beskrev forskeren Pappu som den første en ny type mærkning: en fysisk envejsfunktion; et mærke der ikke kan kopieres eller reproduceres [1]. Året efter blev begrebet udviklet til det, vi i dag kender som en Physical Unclonable Function (en PUF). Konceptet er i dag etableret i elektronikbranchen, hvor PUF-teknologi bruges til at sikre blandt andet IoT-enheder. Her er sikkerheden imidlertid kun garanteret, så længe PUF'en forbliver en integreret del af selve enheden. Optiske PUF'er fungerer anderledes. De aflæses med lys, og deres unikke, komplekse respons gør det muligt at bruge dem i åbne systemer – eksempelvis via scanning med en smartphone. Alligevel findes der stadig kun få eksempler på produktmærkning med optiske PUF-mærker.

Elementerne i en PUF

Et PUFmærke består af fire lige vigtige elementer. Selve PUF'en er et tilfældigt mønster, der i princippet kan skabes af næsten hvad som helst [2], men et PUFmærke skal opfylde strenge designkrav, som afhænger af den måde, det bruges på:

Det fysiske PUF-mærke skal enten være en integreret del af produktet eller fungere som en forsegling af varen eller emballagen. Et indbygget mærke må ikke kunne fjernes uden at ødelægge produktet, og et PUF-segl skal destrueres, hvis nogen forsøger at pille det af.

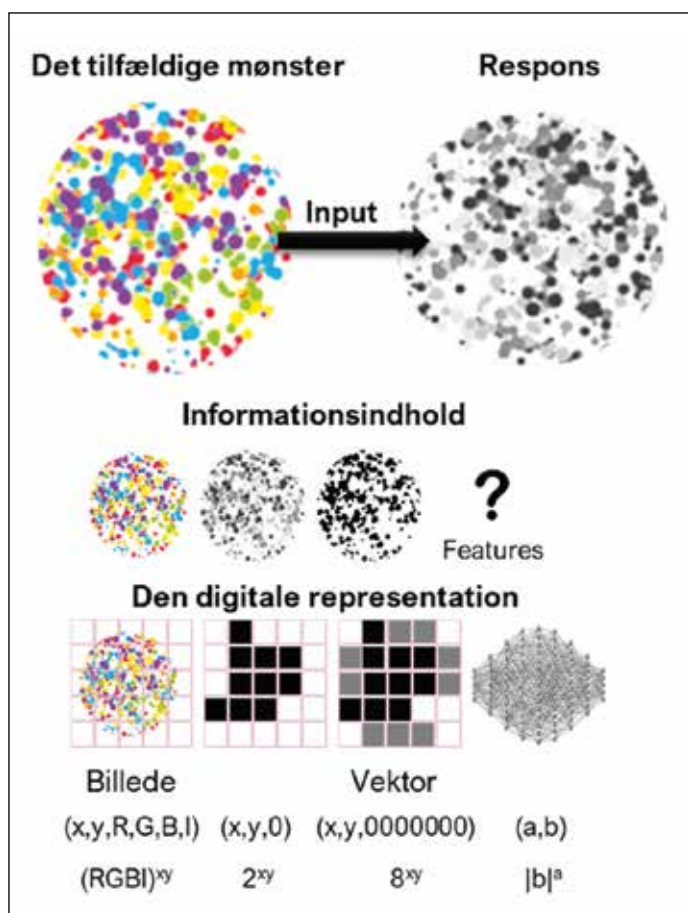
Registreringen af PUF-mærket udgør systemets juridiske kontrakt. Her kobles PUF'en til en digital registrering via et bestemt inputrespons par. For optiske PUF'er består både input og respons af lys, typisk i form af et referencebillede, der lagres sikkert og med langt højere kvalitet end en normal aflæsning. Det er denne registrering, der etablerer den unikke ID.

Når PUF'en læses, gentages input og det respons, der fremkommer ved læsningen, sammenlignes med det registrerede respons. Nye AI-baserede metoder er på vej til at blive et standardværktøj for denne sammenligning [3]. Et neuralt netværk oversætter respons fra både registrering og aflæsning til vektorer, og systemet afgør identiteten ved at måle afstanden mellem dem. Ligger afstanden under en fast tærskelværdi, leveres PUF'ens unikke ID.

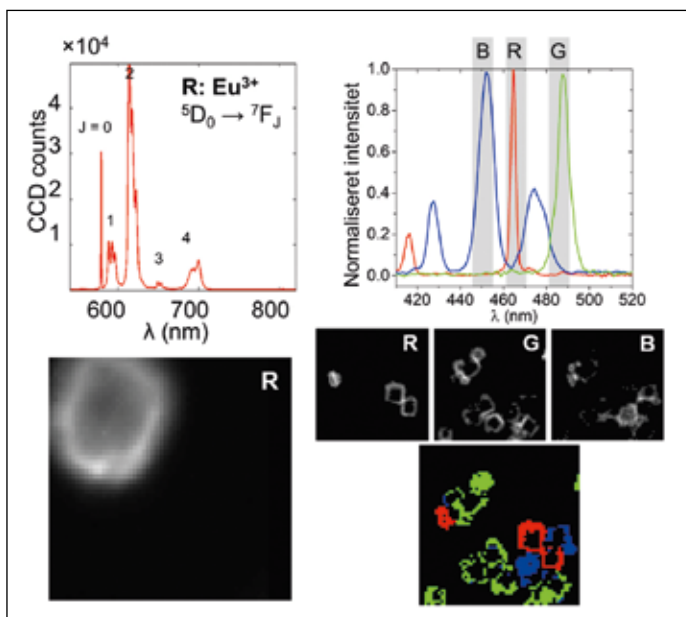
Samlet udgør elementerne et kryptografisk system, der automatisk sikrer, at det PUF-mærkede produkt er ægte [4].

Kemien bag PUF-mærkerne

I figur 1 er der tegnet et tilfældigt mønster i flere farver. Det illustrerer den fysiske PUF, der i dette eksempel aflæses i et



Figur 1. Et eksempel på en Physical Unclonable Function eller PUF (øverst til venstre), og et input-respons par i form af et gråtonebillede (øverst til højre). Informationsindholdet (i midten) er forskelligt, alt efter hvordan mønsteret aflæses. Det kan aflæses i farver, gråtoner, sort/hvid eller som features. Det sidste er sådan, O-KEYs læses. Den digitale repræsentation (nederst) er det unikke ID, der knyttes til hver PUF. Det kan være et billede, en simpel 2D strekkode, en mere kompleks vektor eller outputtet fra et neuralt netværk.



Figur 2. Emissionsspektrum og billede optaget i et mikroskop fra et europium(III)-pigment (til venstre). Excitationsspektra af dysprosium(III)-pigment (B), europium(III)-pigment (R) og terbium(III)-pigment (G) samt billeder af et PUF mønster bestående af de tre pigmenter (øverst til højre). De tre individuelle billeder er PUF'ens respons til tre forskellige laserlinjer, som samles til en digital repræsentation, et farvebillede (nederst til højre).

gråtonebillede (respons). Informationsindholdet i responset er naturligt mindre i gråtoner end i farve, men er større end i et rent sort/hvidt billede. Informationsindholdet kan blive yderligere reduceret i den digitale repræsentation, alt efter hvilken type der bruges. Både den fysiske PUF og aflæsningen kan være kompleks. Vi kan for eksempel lave et tilfældigt mønster af pigmenter, der indeholder de sjældne jordarter europium(III), terbium(III) og dysprosium(III). De udsender henholdsvis rødt, grønt og blått lys. Derved kan det tilfældige mønster både aflæses som et sort/hvidt billede, men vi kan også bruge de unikke egenskaber af lanthanidernes luminescens, som vist i figur 2 [5].

Her kan vi både lave et respons i sort/hvid, i farve, og vi kan lave billeder afhængigt af, om vi giver et input specifik mønster på en enkelt farve. De data, der er vist i figur 2, er alene pigmenter på en glasoverflade; en PUF, men ikke et PUF-mærke.

Physical Unclonable Function

Physical Unclonable Function, PUF: Et mønster, der er så småt og så kompliceret, at det ikke kan genskabes.

Input: Den metode, der bruges til at læse en PUF. Det kan være lys, elektriske felter, strøm m.m.

Respons: Det signal en PUF giver efter et input. Det kan være et simpelt billede, strøm, et trådløst signal m.m.

Input-respons par: Kryptologisk koncept, hvor et bestemt input kun har et korrekt svar, der skaber en sikker forbindelse mellem afsender og modtager.

Digital repræsentation: Det dataformat som et PUF-respons gemmes i.

Digital ID: Det unikke ID, der er knyttet til en PUF.

PUF-mærke: En registreret PUF i et veldefineret område, der har en digital ID, og som kan læses med det rette udstyr.

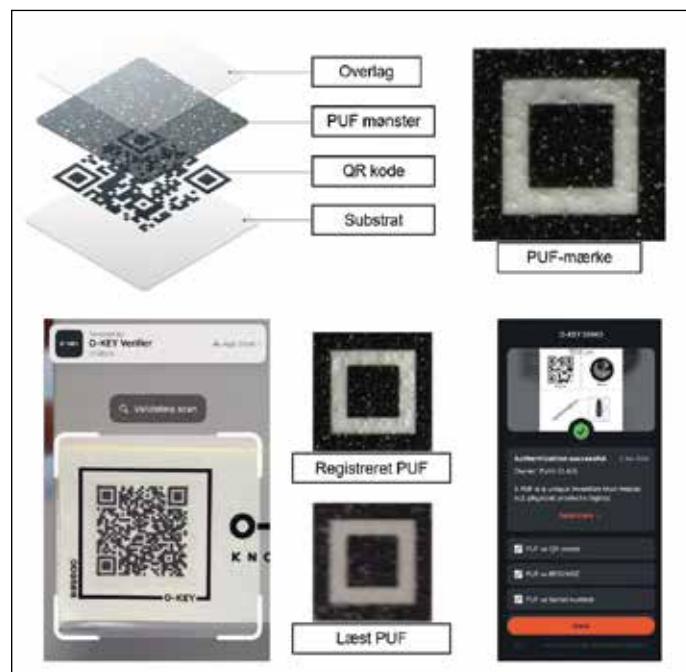
For at kunne bruge det som et PUF-mærke, skal pigmenterne i en lim/lak, der ikke forstyrrer signalet, og vi kan ikke printe på papir, da papir faktisk har en kraftig egenluminescens, hvilket gør, at vi ikke får et klart respons fra PUF-mønstret. Derfor kan den PUF, der fungerer fint i forskningslaboratoriet, ikke bruges i praksis.

Figur 3 viser det PUF-mærke, som er commercialiseret under varemærket O-KEY. Det er et tilfældigt mønster af mikroskopiske hvide partikler printet på papir. Komplexiteten er mere end rigelig til at sikre, at systemet er sikkert, men som en videnskabelig udfordring kan der laves meget mere komplicerede PUF-mærker [6].

Et eksempel på et PUF-mærke

For at kunne bruge en PUF i et PUF-mærke, skal det område, det tilfældige mønster findes i, defineres. Det har vi valgt at gøre i hjørnerne af en QR-kode. Fordelen er, at QR-koder både er veldefinerede og er noget, som de fleste allerede er vant til at scanne. PUF-mærkerne fremstilles på et almindeligt trykkeri, ved at trykke med et klart blæk, der indeholder PUF-partikler i titaniumdioxid, oven på den sorte farve, som vist i figur 3. Derved skabes der helt unikke mønstre af hvide partikler oven på det sorte tryk. Mønstre, der er umulige at kopiere, hvilket er definitionen på en PUF. Da trykket foregår på en label, har vi automatisk lavet et PUF-mærke, og figur 3 viser tydeligt, at PUF-mønstret kan læses på et billede. Hvis PUF-mærket skal holde længe, kan der lægges en klar film, et overlag, på.

PUF-mærkerne kommer på ruller, som vi registrerer med højopløste billeder, og læser med hjælp af computervision algoritmer i en mobilapp [7]. I figur 3 vises brugergrænsefladen i appen, samt et billede der er taget med appen. Kvalitetsforskellen til det registreringsbillede, læsningen er matchet med, er tydelig. I dette eksempel er der knyttet både billeder og link til PUF-mærkets ID. Disse vises direkte i appen, når PUF-mærket er læst.



Figur 3. Sammensætningen af et PUF-mærke: papirlabel, printet QR-kode, printet PUF-lag og øverst et beskyttende lag (øverst til venstre). Et registreringsbillede af et PUF-mærke, det tilfældige PUF-mønster er de små hvide partikler (øverst til højre). Appen, der kan læse de tilfældige mønstre, et brugerbillede fra appen matchet til det korrekte registreringsbillede, og den info der vises i appen (nederst).

Sammenlignes dette eksempel med den generelle PUF i figur 1, så består PUF'en af det tilfældige mønster, de hvide partikler danner. Husk, at PUF-mærket er mønster, QR-kode samt label. Registrering og læsning af mønsteret foregår med et input, der er helt almindeligt lys og et respons, der er et digitalt farvebillede i varierende kvalitet. Kvalitetskravet er stort ved registrering, mens selv meget dårlige billeder kan matches til det rigtige unikke ID ved hjælp af kunstig intelligens. Det er vigtigt at nævne, at der aldrig matches til et forkert ID, mens der vil være billeder, der er så dårlige, at de ikke kan matches til et ID.

Konklusion

Ved at skabe mikroskopiske, unikke PUF-mønstre på eksisterende labels og emballager, kan disse linkes til et unikt digitalt ID. Billeder taget med dedikerede kameraer, laver en digital repræsentation af PUF'en og der linkes til det unikke ID. Når nye billeder tages af PUF'en, kan disse matches til én digital repræsentation, og derved kan man nemt læse de unikke mønstre og finde de tilhørende unikke ID'er. Hele dette koncept kaldes for Physical Unclonable Functions, der i en udformning, som kan printes på almindelige trykkerier og læses med mobiltelefoner, er opfundet på Københavns Universitet og udviklet til et produkt i virksomheden PUFIN-ID.

E-mail:

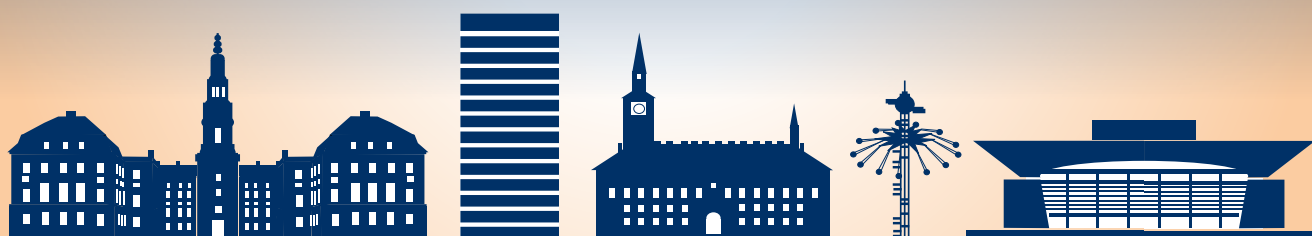
Thomas Just Sørensen: tjs@chem.ku.dk

Referencer

1. Pappu, R.; Recht, B.; Taylor, J.; Gershenfeld, N. Physical One-Way Functions. *Science* **2002**, 297 (5589), 2026-2030. DOI: doi:10.1126/science.1074376.
2. Arppe, R.; Sørensen, T.J. Physical unclonable functions generated through chemical methods for anti-counterfeiting. *Nature Reviews Chemistry* **2017**, 1 (4), 31. DOI: UNSP 0031 10.1038/s41570-017-0031.
3. a) Arppe-Tabbara, R.; Tabbara, M.; Sørensen, T.J. Versatile and Validated Optical Authentication System Based on Physical Unclonable Functions. *ACS Applied Materials & Interfaces* **2019**, 11 (6), 6475-6482. DOI: 10.1021/acsami.8b17403. b) Fernández-Benito, A.; Hoyos, M.; López-Manchado, M.A.; Sørensen, T.J. A Physical Unclonable Function Based on Recyclable Polymer Nanoparticles to Enable the Circular Economy. *ACS Applied Nano Materials* **2022**, Review. DOI: 10.1021/acsanm.2c00808.
4. Landrock, Peter: kryptologi i Lex på [lex.dk](https://lex.dk/kryptologi). Hentet 6. februar 2026 fra <https://lex.dk/kryptologi>.
5. Carro-Temboury, M.R.; Arppe, R.; Vosch, T.; Sørensen, T.J. An optical authentication system based on imaging of excitation-selected lanthanide luminescence. *Science Advances* **2018**, 4 (1), e1701384. DOI: 10.1126/sciadv.1701384.
6. Klausen, M.; Zhang, J.; Stevens, M.M. Designing Physical Unclonable Functions From Optically Active Materials. *Adv Mater* **2025**, e2502059. DOI: 10.1002/adma.202502059.
7. I kan selv hente O-KEY verifiser appen i jeres foretrukne app store. I skal dog bruge nogle O-KEYs for at se, hvordan den faktisk virker.

LabDays 2026

- trade fair for laboratory technology



COPENHAGEN, KB HALLEN
9 - 10 SEPTEMBER

Kerneboringer i havbund giver et historisk overblik over plastforurening

I Diskobugten ud fra Grønlands vestkyst har forskere opnået den første historiske optegnelse af plastforurening ved at bore kerneprøver fra havbunden.

Ved at bore kerneprøver fra havbunden, i stil med de iskerneboringer glaciologer anvender, har forskere fra Københavns Universitet, sammen med kolleger fra Aarhus Universitet, opnået den første historiske registrering af plastforurening på Grønlands havbund.

Undersøgelsen viser en øget ophobning af mikroplast på havbunden siden 1950'erne med betydelige udsving. Mens særlige miljøforhold som frostvejr og gletsjerafstrømning kan spille en rolle, så stemmer sådanne stigninger og fald i plastakkumulering interessant nok også overens med den historiske socioøkonomiske udvikling i Grønland.

Den fremherskende opfattelse har været, at størstedelen af plasten kommer til Arktis via havstrømme, men de nye data peger på, at lokale kilder også spiller en væsentlig rolle. Ifølge forskerne kan den viden hjælpe med at forfine de globale data om plastforurening.

- Der er et stærkt ønske blandt forskere om at få data af høj kvalitet om plast i havene, så vi kan få et ordentligt overblik over problemet med plastforurening og udvikle modeller til at overvåge, hvor tendenserne bevæger sig hen. Dette forskningsprojekt er et vigtigt skridt i den retning, siger medforfatter Dr. Nicole Posth, lektor ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning.

En metode, der kan følges

Forskerne udviklede forfinede metoder til udtagning af kerner i havets sedimenter og til at identificere plast ud fra deres polymersammensætning ved at analysere prøvernes samlede indhold.

Ved at jage et rør ned i havbunden kunne forskerne hente kerner af havbunden op til analyse. Disse prøver blev dateret ved hjælp af såkaldt radionuklid-datering, hvor henfaldende isotoper måles for at bestemme et materiales alder.



Forskerne benyttede en teknik, hvor et metalrør maser sig ned i havbunden efter at være sendt i dybet fra en båd.

Foto: Karla Parga Martinez

■ Antropocænen

Antropocænen er en uofficiel og løbende debatteret periode af geologisk tid, der defineres som den periode i Jordens historie, hvor menneskelig aktivitet har haft en betydelig indvirkning på planetens klima og økosystemer.

Ved at skære kernerne op i, hvad der svarer til relativt korte tidsperioder, og isolere mikroplasten fra havbundens bestanddele (sand, ler, organisk affald osv.), kunne de derefter sammenligne plastens kemiske sammensætning med et bibliotek af kendt plast fra forskellige aldre.

Ved til sidst at matche mikroplast-typen med alderen på det havbunds-sediment, som den blev udvundet fra, kunne de opbygge en oversigt tilbage i historien.

Håndgribelige beviser på antropocænen

Antropocænen refererer til den periode i Jordens nyere historie, hvor menneskelig aktivitet har påvirket klimaet og økosystemerne på vores planet. Begrebet er blevet et accepteret udtryk i kulturelle

■ Radionuklid-datering

Alderen på havbundsprøverne bestemmes ved hjælp af såkaldt radionuklid-datering.

På grund af måden de henfalder på, kan man ved hjælp af naturlige blyisotoper og kunstige cæsium-isotoper – sidstnævnte er resultatet af atomvåbentest i atmosfæren i 1960'erne og har en halveringstid på omkring 30 år – datere havbunden og den plast, der findes i den – på den måde kan man fastslå dens alder.

og samfundsmæssige debatter, men som videnskabeligt begreb er det stadig kontroversielt.

- Det er ikke en accepteret geologisk tidsperiode. Men ophobning af plast på havbunden er nu en meget håndgribelig del af den diskussion, fordi vi har et ubestrideligt bevis på, at menneskeheden har efterladt sit geologiske aftryk selv på dette fjerne sted, siger Nicole Posth.

Om forskningen:

Forskningsartiklen blev offentliggjort i Nature Communications.

*Kilde: Københavns Universitet
- Det Natur- og
Biovidenskabelige Fakultet*

Pakkeløsninger til R&D

Plug & Pump i én løsning

Med vores pakkeløsninger får du en komplet og nøje gennemtænkt vakuumløsning samlet i én pakke. Du slipper for besværet med tidskrævende sammensætning og indkøb, da alt er inkluderet: vakuumpumper, styreenheder, kabler og nødvendigt tilbehør – klar til brug med det samme. Det er ren Plug and Pump!

Vores pakkeløsninger er ideelle til R&D og laboratorier, og giver dig den hurtigste vej til en pålidelig og fleksibel vakuumløsning.
Enkel opsætning. Pålidelig drift. Mere tid til din forskning.

www.pfeiffervacuum.com

Part of the **BUSCH GROUP**

PFEIFFER 
VACUUM+FAB SOLUTIONS

Aminosyrer til folk og fæ – hvad er egentlig "L-cystin"?

I forbindelse med EU-forordninger om fodertilsætningsstoffer (jf. Appendiks) fik Nomenklaturudvalget en forespørgsel fra en oversætter i EU om forskellige systematiske navne for "L-cystin". Fuldsystematiske navne skulle gerne kommunikere den nøjagtige struktur af en forbindelse. Vi ser lidt nærmere på det her.

Hvis man begynder at søge på L-cystin, finder man hurtigt ud af, at der er en hel del at sige om det. Men vi må skuffe læsere, som havde håbet på et kursus i kroppens biokemi og overvejelser om supplerings af vores kost med aminosyrerne cystein og cystin, som ikke er klassificeret som essentielle. Det overlader vi til eksperterne.

I dette emneområde skal man fra starten passe på: Selv om cystein og cystin ikke er det samme, fremviser søgemaskiner næsten kun resultater med kosttilskud indeholdende L-cystein eller bare cystein, også når man søger på L-cystin.

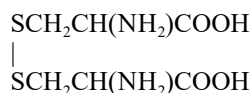
Systematiske navne for cystein og cystin

IUPAC stoppede i den omfattende *Blue Book* fra 2013 [1] med at give de annoncerede *preferred names*, før de nåede til aminosyrer, carbohydrater m.fl. naturprodukter i det afsluttende Chapter 10. De traditionelle navne for aminosyrerne, som også afspejles i trebogsstavforkortelserne (Ala, Glu, Gly, Pro osv.), står således alle som IUPAC-acceptable og er de navne, der bruges langt oftest [2].

Relevant her er strukturerne af cystein (Cys):



og cystin:



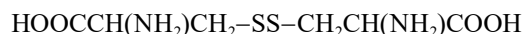
med den lidt kluntede to-gange-tre-bogstaver-forkortelse



Sidstnævnte er som vist en dimer af cystein; der kodes ikke direkte for den i bioproteinsyntesen, men den dannes let ved oxidation af 2 molekyler cystein i proteinkæder.

Det er forholdsvis enkelt at konstruere et nutidigt systematisk navn for cystein: 2-amino-3-sulfanylpropansyre.

For cystins vedkommende kan man svarende til opskrivningen



af strukturformlen give det *substitutive* navn

2-amino-3-[2-(2-amino-2-carboxyethyl)disulfan-1-yl]propansyre (*)

Det er jo lidt kompliceret, og navnet afspejler ikke umiddelbart symmetrien i strukturen.

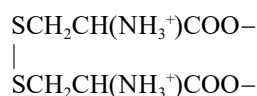
En anden fremgangsmåde er at hæfte sig ved, at der i cystin ud fra den divalente substituentgruppe disulfan-1,2-diyl, –SS–, stikker to identiske 2-aminopropansyregrupper, således at man kan give forbindelsen et *multiplikativt* navn:

3,3'-disulfan-1,2-diylbis(2-aminopropansyre) (**)

Det er noget mere overskueligt. Hvis man yderligere bruger det traditionelle navn alanin for 2-aminopropansyre, kan det samlede navn simplificeres til 3,3'-disulfan-1,2-diylalalanin.

Konstruktionen 3,3'- refererer til, at de to svovlatomer substitueres ind i hver sin af de to identiske aminosyremultiplikanders 3-positioner. Og bemærk: 'bis(2-aminopropansyre)', fordi de to enheder har et sammensat navn, der starter med en substituentbetegnelse, mens det er tilstrækkeligt med 'di' i konstruktionen med det simple navn alanin.

Foretrækker man at betragte zwitterionen



bliver det systematiske navn 3,3'-disulfan-1,2-diylbis(2-ammoniopropanoat) (***).

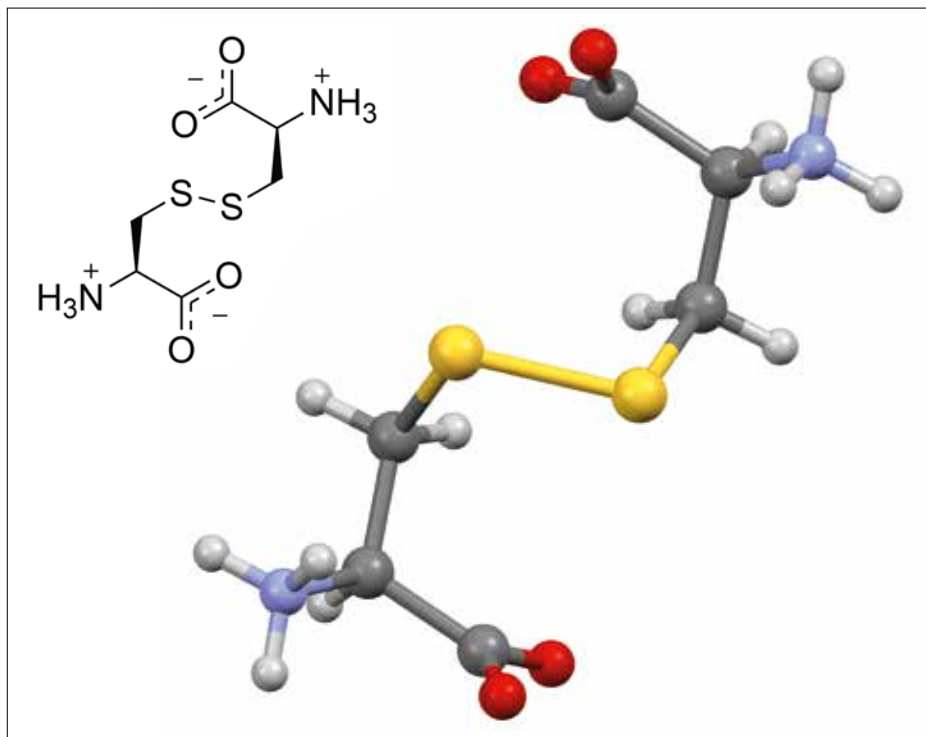
Deskriptorerne D,L og R,S

Deskriptorerne D og L bruges til at specificere absolutkonfigurationen ved carbonatom nr. 2 i α-aminosyrer som cystein. De 22 naturligt forekommende sådanne α-aminosyrer, der i dag nævnes som byggesten i proteinkæder (inklusive selenocystein og pyrrolysin), har alle L-konfiguration. Når to molekyler L-cystein danner et cystinmolekyle som ovenfor vist, burde det rettelig kaldes L,L-cystin. Dette ses også i nogle kilder, mens selv IUPAC minsandten blot kalder det L-cystin [2]. Men man kan også tænke sig D,L-cystin og D,D-cystin. Ingen af disse synes at have nogen praktisk eller biokemisk betydning (læsere: kender I eksempler på det modsatte?). [NB: *racemater* skrives med deskriptoren 'DL' uden komma, altså for eksempel DL-cystein].



Foto: Freepik.com

Mon der er køer, der får L-cystin som fodertilskud? Vi ved det ikke, men det vil være tilladt if. EU-forordningen.



Deskriptorerne *R* og *S* (Cahn-Ingold-Prelog-systemet) fastsættes som beskrevet i relevante lærebøger. Se også

figur 1. Pointen i vores kontekst her er, at mens L-konfigurationen i de naturligt forekommende aminosyrer i de fleste

Figur 1. To repræsentationer af zwitterionstrukturen af L-cystin. Læseren kan overbevise sig om, at konfigurationen er *R* ved begge α -carbonatomer [anskues de fire grupper bundet til α -carbonatomet med hydrogenatomet bagest, væk fra beskueren, er omløbsretningen $N \rightarrow C(\text{bundet til } S) \rightarrow C(\text{bundet til } O)$ med uret]. Billedet er lånt fra [8], hvor absolutkonfigurationen dog ikke er medtaget i det anførte IUPAC-navn, som er identisk med navnet (***) ovenfor.

tilfælde modsvarer deskriptoren *S*, så er det på grund af de tunge chalcogenatomer i cystein, cystin og selenocystein omvendt for disse, hvor altså den naturligt forekommende konfiguration er *R*.

Hvilke navne er IUPAC-navne?

Som så ofte anført er *IUPAC-navn* ikke en beskyttet titel. I situationer som den foreliggende foretrækker IUPAC for det systematiske navn generelt den multiplikative metode, her altså navnet (**). Navnet (*) er dog også acceptabelt.

EU-forordningen fra 2013 om cystin som fodertilsætning ([3], se Appendiks) angav det tilsyneladende systematiske navn

cysteinyI	HSCH ₂ CH(NH ₂)CO–	(substituentgruppe)
cystyl	SCH ₂ CH(NH ₂)CO– SCH ₂ CH(NH ₂)CO–	(divalent substituentgruppe)
halv-cystyl	–SCH ₂ CH(NH ₂)CO–	(divalent substituentgruppe)
cysteinsyre	HO ₃ SCH ₂ CH(NH ₂)COOH	2-amino-3-sulfopropansyre (engelsk <i>cysteic acid</i>)
cysteyl	HO ₃ SCH ₂ CH(NH ₂)CO–	(substituentgruppe)
cysteamin	HSCH ₂ CH ₂ NH ₂	(decarboxyleret cystein, 2-aminoethan-1-thiol)
cystamin	SCH ₂ CH ₂ NH ₂ SCH ₂ CH ₂ NH ₂	(dobbelt decarboxyleret cystin, 2,2'-disulfan-1,2-diyl-diethan-1-amin)

Figur 2. IUPAC-godkendte korte navne på udvalgte derivater af cystein og cystin.

(2R)-2-amino-3- [(2R)- 2-amino-3-hydroxy-3-oxopropyl disulfanyl-propansyre

som IUPAC-navn. Den går dog ikke. For det første er der ikke noget, der tyder på, at konstruktionen '3-hydroxy-3-oxopropyl' er eller har været acceptabel; det skal hedde 2-carboxyethyl. Mindre vigtige detaljer er de overtallige mellemrum, en ekstra bindestreg, manglende lokanter 1 og 2 på disulfangruppen [sml. med (*)] samt manglende kursivering af 'R'. I den seneste forordning fra i år [4] er navnet korrigeret og er næsten fremme ved formen (*).

Kilder som ChEBI, PubChem og CAS Common Chemistry angiver en række alternative navne for cystin og L,L-cystin, hvoraf nogle heller ikke følger IUPAC-anbefalinger eller andre rimelige principper for systematisk nomenklatur, og dertil navne, der ikke giver sig ud for at være systematiske.

Så længe navnene ikke kan misforstås, kan alle disse iagttagelser måske betegnes som pedanteri eller nørderi. Måske ved man i EU, om der nogen- sinde er opstået juridiske tvister, fordi et ukorrekt navn er blevet betegnet som et IUPAC-navn i en forordning til regulering af markedet?

Sluttelig har vi i figur 2 vist en række derivater af cystein og cystin med korte navne, der anses for acceptable i IUPAC. Man skal holde tungen lige i munden!

Appendiks

I EU er cystin godkendt som et tilsætningsstof til dyrefoder. Før et stof bliver godkendt som fodertilsætning, skal det først vurderes af Den Europæiske Fødevaresikkerhedsautoritet (EFSA). Processen og betingelserne for at få et stof vurderet fremgår af forordning EF/1831/2003 om fodertilsætningsstoffer [5]. Ansøgningen sendes til kommissionen, som herefter videresender den til EFSA, som så vurderer stoffet og kommer med en udtalelse – på EFSA's hjemmeside (www.efsa.europa.eu) kan man finde disse udtalelser.

Kommissionen forbereder herefter en forordning om godkendelse eller afvisning af stoffet, hvorefter forordningen godkendes efter procedurerne i EU. En godkendelse er gyldig i 10 år, hvorefter den skal fornyes. Et stof kan godkendes inden for en eller flere af de fire kategorier "teknologiske tilsætningsstoffer", "sensoriske tilsætningsstoffer", "tilsætningsstoffer med ernæringsmæssige egenskaber" og "zootekniske tilsætningsstoffer". Inden for hver kategori er der flere "funktionelle grupper", som ikke har noget med funktionelle grupper i kemisk forstand at gøre.

Cystin blev første gang godkendt i 2013 [3] til alle dyrearter i kategorien "tilsætningsstoffer med ernæringsmæssige egenskaber". Cystin er dog ikke bare cystin, men skulle for at være i overensstemmelse med forordningen være fremstillet ved hydrolyse af keratin

fra fjerkræfjer. I 2025 blev godkendelsen forlænget [6]. I 2020 blev cystin produceret af *Pantoea ananatis* NITE BP-02525 (en Gram-negativ bakterie) godkendt [7] – udover som tilsætningsstof med ernæringsmæssige egenskaber blev det også godkendt i kategorien "sensoriske tilsætningsstoffer" (gourmetfoder?). Som det allerseneste er cystin produceret af *Escherichia coli* DSM 34232 blevet godkendt i kategorien "sensoriske tilsætningsstoffer" [4].

AM og TD, Nomenklaturudvalget

Referencer

1. *Nomenclature of Organic Chemistry – IUPAC Recommendations and Preferred Names 2013* (the "Blue Book") [H.A. Favre, W.H. Powell (red.) Royal Society of Chemistry/IUPAC 2014]. Se den bekvemme i 2022 opdaterede online-version her: <https://iupac.qmul.ac.uk/BlueBook>.
2. Ref. 1 Chapter 10 er baseret på 1983-anbefalingerne for aminosyrenomenklatur (<https://iupac.qmul.ac.uk/AminoAcid/>).
3. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013R1006> (2013).
4. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/da/ALL/?uri=CELEX:32026R0402> (2026).
5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/da/TXT/?uri=CELEX%3A32003R1831> (2003).
6. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/da/TXT/?uri=CELEX%3A32025R0272> (2025).
7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/da/TXT/?uri=CELEX:32020R1379> (2020).
8. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cystine> (besøgt 3/3-2026).

Professor Mikael Bols er ny formand for Dansk Kemis redaktionskomité

Dansk Kemi har et solidt fundament i redaktionskomiteen, som sikrer, at tidsskriftet forbliver samfundsmæssigt relevant og med fagligt højt niveau. Således er det komiteens medlemmer, der på skift skriver lederen for magasinet. Formanden

indkalder typisk komiteens medlemmer til møde én gang om året.

Hele redaktionen sender en stor tak til professor Anne S. Meyer, DTU, som har været formand i en årrække, men som nu har valgt at fokusere på andre opgaver.

Det er med stor glæde, at vi siger velkommen til professor Mikael Bols, KU, som har takket ja til at være ny formand. Mange kender Mikael for hans videnskabelige arbejde inden for organisk kemi, men Mikael har også været institutleder for Kemi på Københavns Universitet i en årrække og er en flittig skribent i Dansk Kemi.

Redaktionen ser frem til et fortsat godt samarbejde.



Foto: Michael Barrett Boesen.



Tak til professor Anne S. Meyer for hendes indsats som formand for redaktionskomiteen.

Ulf Schnack runder 90 år og sætter stadig kulør på Flügger

Den tidligere administrerende direktør har gennem det meste af sin tilværelse sat afgørende aftryk på Flüggers udvikling. Under hans ledelse bevægede virksomheden sig fra at være en rendyrket leverandør til professionelle malermestre til også at blive et detail- og retailbrand, hvilket lagde grunden til den koncern, Flügger er i dag.

Ulf Schnack trådte tilbage som topchef i 2007 og har i dag rollen som chief dna officer. I 2021 overtog hans yngste søn, Sune Schnack, posten som administrerende direktør. Trods sin alder møder Ulf Schnack fortsat ind og følger forretningen tæt.



Ulf Schnack har, siden han var helt ung, vidst, at han en dag skulle overtage Flügger. Hans far opfordrede ham derfor til at uddanne sig til kemiingeniør, så han kunne etablere en fabrik.



Polycykliske aromatiske kulbrinter – multi-redox systemer

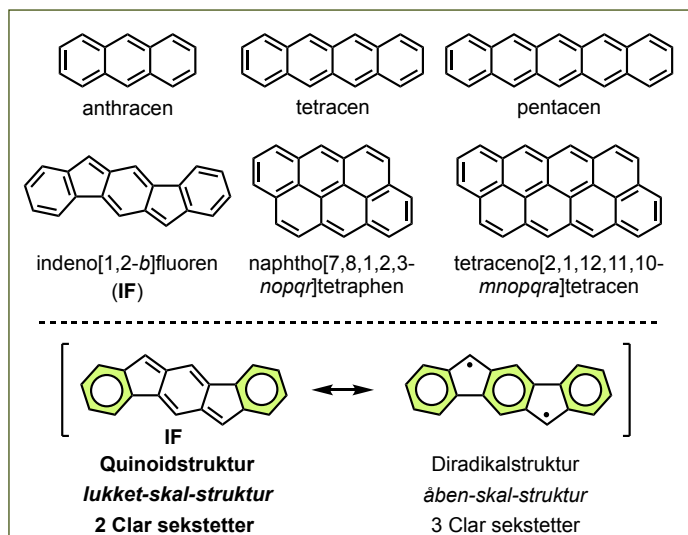
Kombinationen af polycykliske aromatiske kulbrinter og den organiske svovlforbindelse tetrathiafulvalen giver nye multi-redox systemer. De har potentiel anvendelse inden for materialekemi som elektrisk ledende materialer, elektrokrome materialer eller som komponenter i batterier.

Af Mogens Brøndsted Nielsen,
Kemisk Institut,
Københavns Universitet

PAH'er er polycykliske aromatiske kulbrinter (hydrocarboner) bestående af annelerede ringe af sp^2 -hybridiserede kulstof-atomer (figur 1) [1]. De har

fundet stor interesse inden for materialekemi; for eksempel udviser derivater af pentacen med sine fem seksleddede ringe halvledende egenskaber, der kan udnyttes i organiske tyndfilms- og felt-effekt-transistorer [2]. Indenofluoren[1,2-*b*]fluoren (**IF**) har samme antal ringe som pentacen,

men er opbygget af skiftevis seks- og femleddede ringe. Derivater af denne forbindelse beskrives bedst ved den quinoide struktur vist i figur 1 snarere end som et diradikal [3]. Denne præference forekommer, selvom strukturen dermed indeholder én Clar sekstet mindre (se faktaboks).



Figur 1. Eksempler på PAH'er og resonansformer af IF.

TTF - et redox-aktivt molekyle

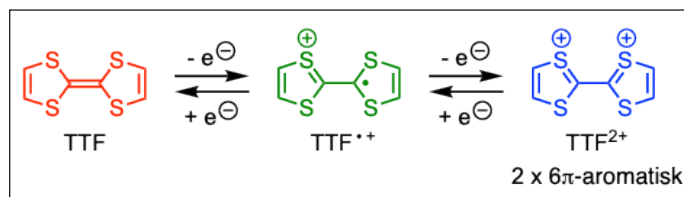
Tetrathiafulvalen (TTF) er en elektrondonor, som kan oxideres reversibelt i to trin (figur 2). De optiske og redox-egenskaberne kan justeres ved at indsætte en π -konjugeret enhed imellem de to 1,3-dithiolringe [4].

Kombination af IF og TTF

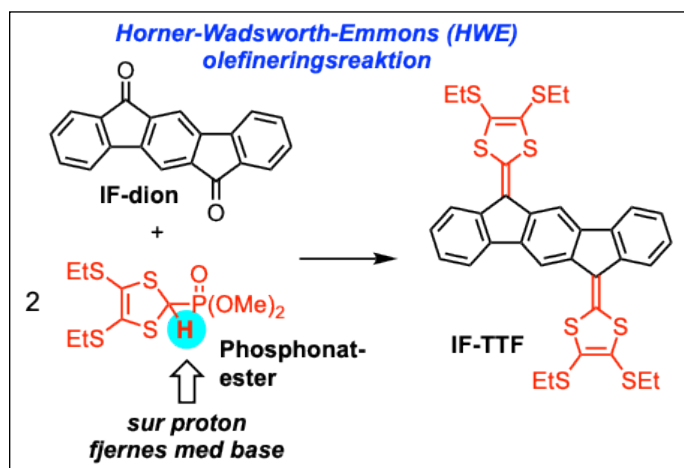
PAH'er, som kan tage flere ladningstilstande ved oxidation og/eller reduktion, er interessante som komponenter i elektrisk ledende eller elektrokrome materialer eller som enheder i batterier [5]. En tilgang til at opnå sådanne er at kombinere en PAH med TTF.

IF kan placeres imellem TTF's to ringe ved at reagere en IF-dion med to phosphonatester afledt af 1,3-dithiol-2-thion i en såkaldt Horner-Wadsworth-Emmons (HWE) reaktion (figur 3) [6]. Produktet IF-TTF har et plant π -system og undergår to reversible oxidationer (figur 4). Elektronspinresonans (ESR) spektroskopiske studier viste, at dikationen har quinoidstruktur ligesom IF. Uparrede elektroner ville have givet anledning til et ESR-signal, men et sådant sås netop ikke.

Det var muligt at gro krystaller af radikalkationen (med TaF₆ som modion) ved elektrokrystallisation – en metode, hvor krystaller gro på en elektrode, samtidig med at der sker elektrolyse. Disse krystaller udviste halvledende egenskaber [6]. Kationerne associerer i opløsning, men disse molekyllære



Figur 2. Reversible oxidationer af TTF.



Figur 3. Syntese af IF-TTF.

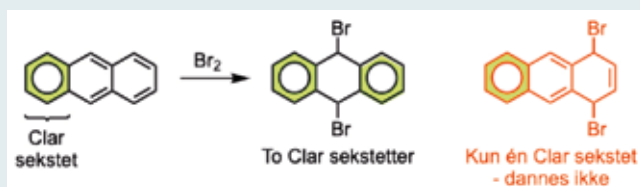
samlinger ødelægges ved oxidation til dikationerne. Systemet kan derved bruges til redox-kontrolleret selvsamling/adskillelse.

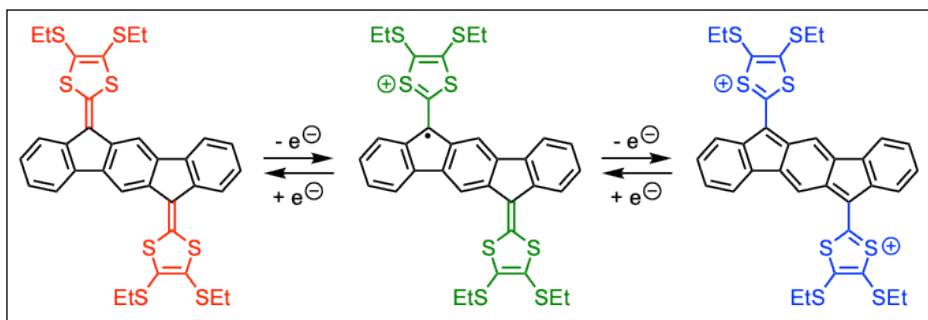
IF-TTF udviser en intens absorption omkring 475 nm. Ved oxidation fås nye absorptioner i det nær-infrarøde område; forbindelsen udviser elektrokrome egenskaber [6]. Absorption af synligt lys gør den ydermere attraktiv som redox-aktiv lyshøster i organiske solceller. Et donor-acceptor dyade-system med IF-TTF er blevet integreret i en farvestof-sensibiliserede



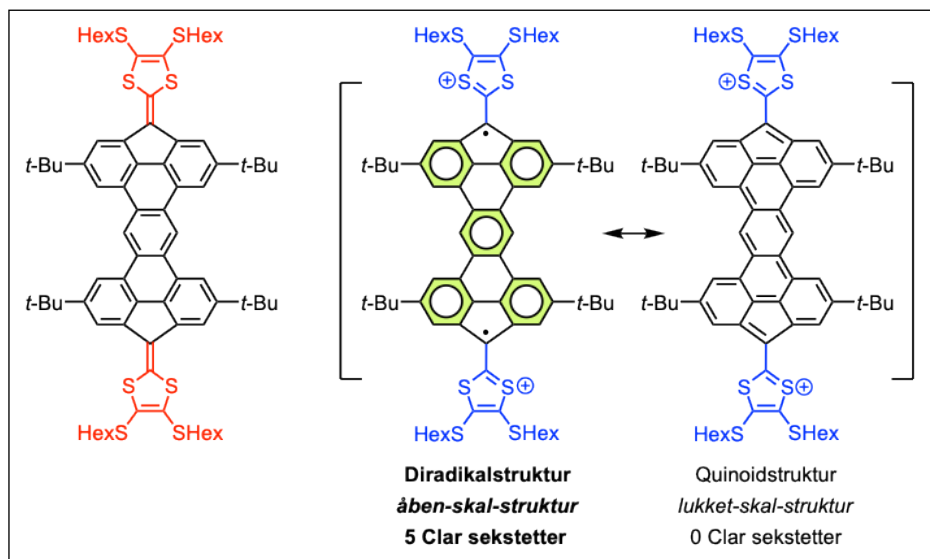
Fakta

En PAH beskrives bedst ved den resonansform, der har flest aromatiske 6π -benzenoide enheder, såkaldte Clar sekstetter (vises med en cirkel). Hvis elektroner er talt med i én ring, må de ikke tælles med i den næste. Reglen kan udsige noget om reaktivitet. Anthracen vil for eksempel addere brom i den centrale ring og ikke i de yderste. Her ved fås to Clar sekstetter og ikke blot bibeholdelse af én.





Figur 4. Reversible oxidationer af IF-TTF.



Figur 5. TTF udvidet med to-dimensionel PAH og dennes dikation.

solcelle udvisende en effektivitet på 6,4 procent [7].

En udfordring er dog manglende stabilitet af IF-TTF over tid, da de exocykliske dobbeltbindinger kan reagere med singlet oxygen. Herved kløves molekylet til en PAH-keton og en 1,3-dithiol-2-on [8]. Nedbrydningen kan dog mindskes ved at placere elektrontiltrækkende cyano-grupper på PAH'en.

Hvordan fremmes en diradikalstruktur?

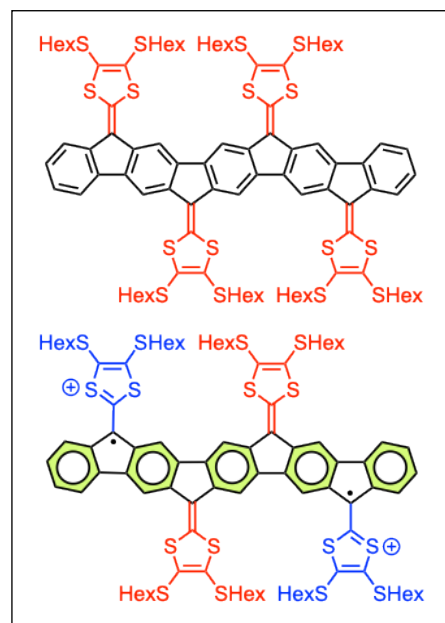
Molekyler med diradikalstruktur har i de senere år vakt særlig interesse. Når de spændes imellem to elektroder som "molekylære ledninger", udviser de *anti-Ohmisk* opførsel: ledningsevnen øges, jo længere molekylet er. Det muliggør elektrontransport over længere afstande [9].

Vi hypotiserede, at diradikalstruktur kan opnås ved at øge antallet af favorable Clar sekstetter. For den to-dimensionelle PAH-TTF's dikation vist i figur 5 vil parring af alle elektroner ikke give en eneste Clar sekstet, mens et diradikal vil have ikke færre end fem. Studier viste, at forbindelsen kan oxideres trinvis og tage fem ladningstilstande: 0, +1, +2, +3, +4 [10]. Et tydeligt

ESR-signal observeredes for dikationen, og beregninger peger samtidigt på en triplet-grundtilstand med to uparrede elektroner af samme spin. Hypotesen blev bekræftet.

Flere redox-aktive enheder langs PAH'en

For nyligt har vi lavet en PAH med fire 1,3-dithioler (figur 6) via HWE-reaktioner på en PAH-tetraon [11]. Tetraonen måtte først fremstilles (figur 7). De seks-

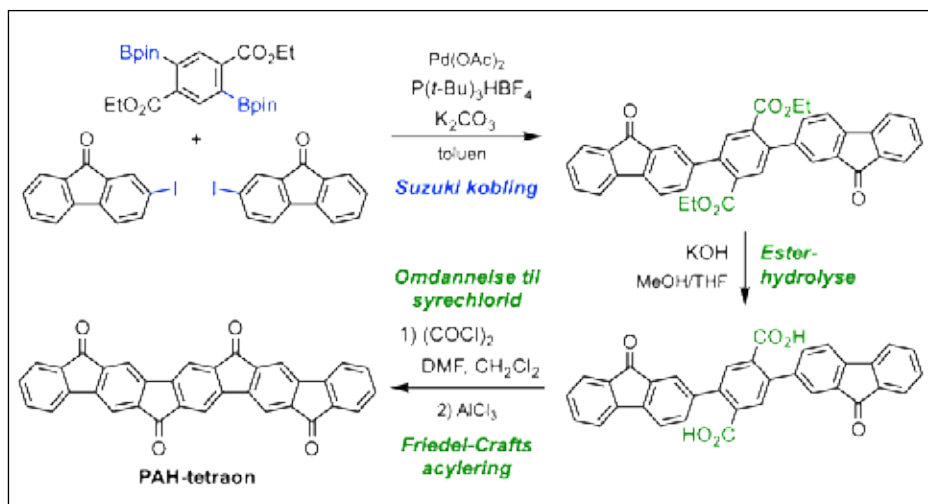


Figur 6. PAH-TTF med fire dithiol-enheder og dens dikation.

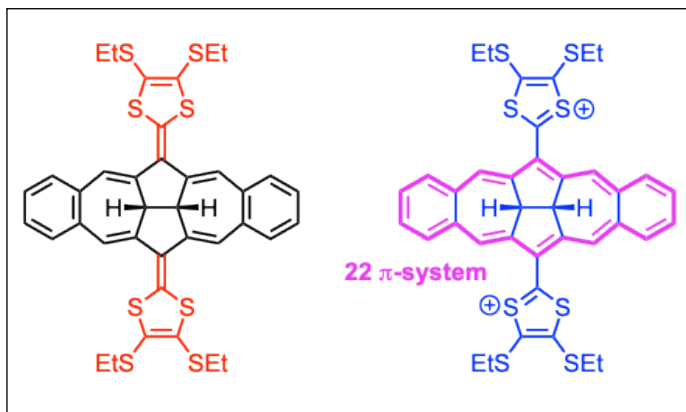
leddede ringe blev forbundet ved Suzuki-koblinger. De to estergrupper blev hydrolyseret og de resulterende carboxylsyre omdannet til syrechlorider. De to centrale femleddede ringe blev til slut dannet ved Friedel-Crafts acyleringer. PAH-TTF's dikation viste sig at være ESR-aktiv. En mulig forklaring er, at det er mest favorabelt at danne en positiv dithioliumring i hver ende af molekylet for at mindske Coulomb-frastødning (figur 6). Dette lokaliserer samtidigt en uparret elektron i hver ende, adskilt af en central IF-TTF enhed.

Aromaticitet langs periferien

Figur 8 viser en udvidet TTF med en central kerne, der indeholder fem-, seks- og syvleddede ringe [12]. Dette molekyle har en "sommerfuglelignende" geometri. Ved oxidation til dikationen fås et centralt π -system, der er tæt på at være



Figur 7. Syntese af PAH-tetraon.



Figur 8. PAH-TTF indeholdende syvleddede ringe og dens dikation.

plant. Antallet af π -elektroner langs den ydre periferi er 22 og opfylder Hückel's aromaticitetsregel om $4n+2$ π -elektroner ($n = 5$). Aromaticitet støttes af beregninger samt en betydelig udligning af bindingslængdeforskelle langs periferien.

Konklusion

Redox-aktive PAH'er, der kan eksistere i flere ladningstilstande, kan opnås ved at placere dithiol-ringe langs kanten. Der kan tændes og slukkes for PAH-kernernes aromaticitet ved oxidation/reduktion. Opnåelse af Clar sekstetter eller aromaticitet langs en større periferi kan bruges til at kontrollere diradikalstruktur vs parring af elektroner. Denne artikel har fokuseret på oxidation af TTF-PAH'er, men ved mindre modifikationer kan TTF-PAH'er opnås, der også kan reduceres – for eksempel ved at introducere en pentalen-enhed (to annelerede femleddede ringe) [13].

Tak til

Novo Nordisk Fonden for økonomisk støtte og til nuværende og tidligere gruppemedlemmer, kollegaer på KU, samt nationale/internationale samarbejdspartnere, alle hvis navne fremgår fra de citerede artikler.

E-mail:

Mogens Brøndsted Nielsen: mbn@chem.ku.dk

Referencer

1. X. Feng, W. Pisula, K. Müllen, *Pure Appl. Chem.* **2009**, *81*, 2203.
2. Y. Yunus, N.A. Mahadzir, M.N.M. Ansari, T.H.T.A. Aziz, A. M. Afdzaluddin, H. Anwar, M. Wang, A.G. Ismail, *Polymers* **2022**, *14*, 1112.
3. D.T. Chase, A.G. Fix, B.D. Rose, C.D. Weber, S. Nobuse, C.E. Stockwell, L.N. Zakharov, M.C. Lonergan, M.M. Haley, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 11103.
4. V.B.R. Pedersen, M.B. Nielsen, *Chem. Asian. J.* **2025**, *20*, e202500356.
5. H. Ueda, S. Yoshimoto, *Chem. Rec.* **2021**, *21*, 2411.
6. M.A. Christensen, C.R. Parker, T.J. Sørensen, S. de Graaf, T.J. Morsing, T. Brock-Nannestad, J. Bendix, M.M. Haley, P. Raptá, A. Danilov, S. Kubatkin, O. Hammerich, M.B. Nielsen, *J. Mater. Chem. C* **2014**, *2*, 10428.
7. J. Mogensen, H. Michaels, R. Roy, L. Broløs, M.D. Kilde, M. Freitag, M.B. Nielsen, *Eur. J. Org. Chem.* **2020**, 6127.
8. P. Henke, C. Rindom, U.K. Aryal, M.F. Jespersen, L. Broløs, M. Mansø, V. Turkovic, M. Madsen, K.V. Mikkelsen, P.R. Ogilby, M.B. Nielsen, *ChemSusChem* **2023**, *16*, e202202320.
9. T. Stuyver, T. Zeng, Y. Tsuji, P. Geerlings, F. De Proft, *Nano Lett.* **2018**, *18*, 7298.
10. F. Lirette, V.B.R. Pedersen, M.B. Nielsen, I. Fernández, J.-F. Morin, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, *63*, e202410458.
11. C. Rindom, F. Seljmani, L.B. Woodcock, M.B. Nielsen, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2026**, e25025.
12. V.B.R. Pedersen, M. Zalibera, F. Lirette, J. Ouellette, A. Lanza, I. Fernández, P. Raptá, J.-F. Morin, M.B. Nielsen, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, *64*, e202422275.
13. J. Granhøj, V.B.R. Pedersen, K.V. Mikkelsen, M.B. Nielsen, *Org. Biomol. Chem.* **2024**, *22*, 9259-9265.



HUSK

**Dansk Kemi
kan også læses online**

Få besked hver gang en ny udgave er tilgængelig.

**Tilmeld dig og læs bladet på
TechMedia.dk**

Nyttig viden fra TechMedia

Plastik i luften – havets usynlige bidrag



Foto: Freepik.com

Springende bobler på havets overflade kan transportere mikroskopiske plastikpartikler fra vand til luft.

Af Eva R. Kjærgaard, Institut for Kemi, Aarhus Universitet

Når du står på stranden og mærker vinden fra havet, kan du mærke saltet fra vandet, som bliver frigivet, når bølger brydes, men det er ikke det eneste i luften. I havbrisen svæver der formentligt også mikroskopiske plastikpartikler.

De fleste forbinder plastikforurening med flasker og poser, der flyder i vandkanten. Men plastik kan blive findelt til mikroskopiske stykker og transporteret gennem vand, jord og nu også luft. Forskere har i de senere år vist, at havet kan sende plastik op i atmosfæren, når bølger bryder og bobler springer på havets overflade [1,2].

Hvordan ender plastik i luften, og hvad betyder det for klimaet og for os? Det var nogle af spørgsmålene, vi prøvede at svare på som del af mit ph.d.-projekt – blandt andet ved hjælp af en bobletank på Aarhus Universitet. Projektet foregik i samarbejde med ph.d.-studerende Freja Hasager og post-doc Sarah Suda Petters og var en del af et forskningsprojekt finansieret af Det Frie Forskningsråd (Green Transition) ledet af professor Merete Bilde og lektor Marianne Glasius.

Plastik i miljøet – fra makro til nano

Siden plastik for alvor blev et populært materiale i 1950'erne, er produktionen steget eksplosivt [3]. Materialet har mange fordele: det er let, stærkt og kan formes til næsten alt. Netop de egenskaber, der gør plastik så nyttigt i hverdagen, gør det også til en miljømæssig udfordring. For når plastik først havner i naturen, bliver det der.

I havet, på land og i luften nedbrydes plastik langsomt. Større stykker bliver gradvist slidt i stykker til mindre fragmenter, som kaldes mikroplastik (mellem 5 millimeter og 1 mikrometer i diameter) og nanoplastik (mindre end 1 mikrometer i diameter). Disse partikler er så små, at de kan svæve i luften, indåndes og bevæge sig over store afstande.

Plastik er derfor ikke længere kun et affaldsproblem – det er blevet en del af Jordens kredsløb.

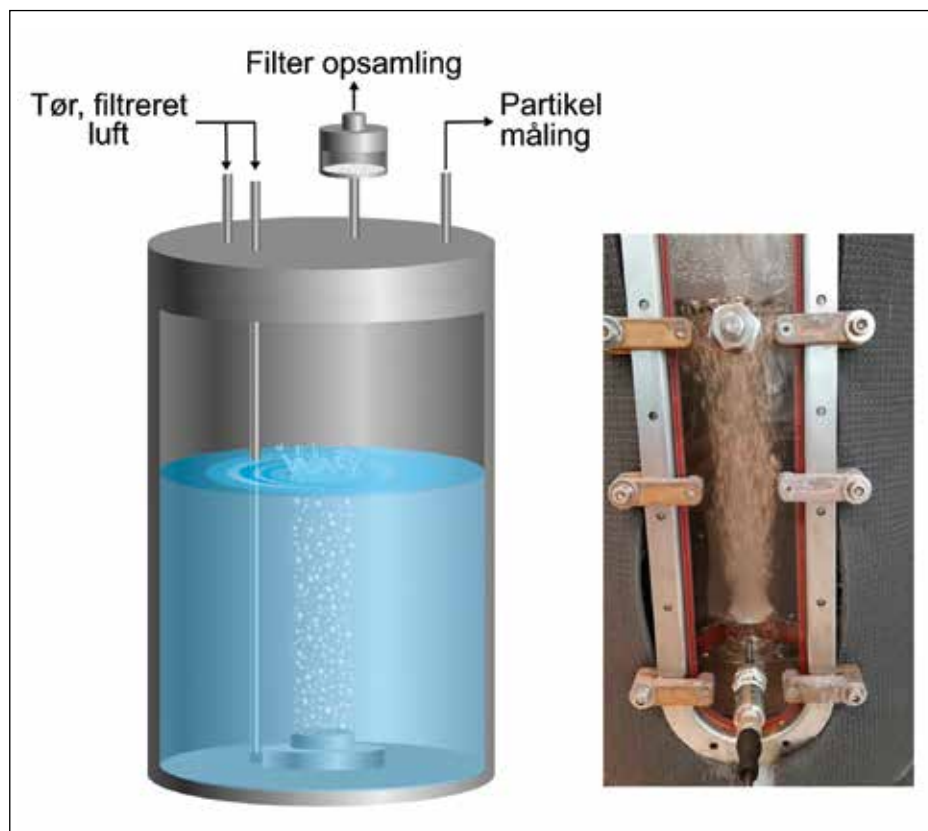
Plastik i luften

- hvordan kommer det derop?

Plastikpartikler kan blive luftbårne på flere måder [1]. Når biler bremses og dæk slides mod asfalten, frigives små plaststykker, der hvirvles op med støvet. På tørre lossepladser kan vinden løfte lette plastikpartikler og føre dem væk. En mere overraskende kilde er havet. Når bølger brydes, og bobler springer på havoverfladen, slynges dråber og partikler op i luften, disse kaldes for havsprøjtsaerosoler (se faktaboks) [2]. Hvis havvandet indeholder nanoplastik, kan disse bobler sende små plastikpartikler med op i atmosfæren.

Havsprøjtsaerosoler i laboratoriet

Dannelsen af havsprøjtsaerosoler kan undersøges i laboratoriet ved hjælp af bobletanken, AEGOR, på Aarhus Universitet [4]. AEGOR er en 34 liter rustfri stål cylindrisk tank. I et eksperiment fyldes tanken med 20 liter vand og plastikpartikler lavet af polystyren (PSL). I AEGOR-tanken kan man danne bobler ved at skubbe luft igennem et filter i bunden af tanken. Boblerne stiger op igennem vandet og



Figur 1. Skema og foto, der viser AEGOR bobletanken med boblegenerator installeret i bunden.



Havsprøjtsaerosoler

Partikler kan frigives fra havet på flere måder. Når bølger brydes, dannes havsprøjt, som består af små dråber og partikler, som sendes op i luften. Havsprøjt opstår, når bølger brydes og luft sendes ned under vandoverfladen. Bobler stiger op gennem vandet, hvor de kan opsamle organiske forbindelser. Når boblerne springer ved havets overflade, frigives dråber til atmosfæren. Når de første, kaldet filmdråber, er slynget ud, dannes der et midlertidigt "hul" i havoverfladen. Når dette hul fyldes igen, slynges yderligere dråber op i luften, kaldet jetdråber.

springer ved overfladen. I luften over vandet opsamles de luftbårne partikler. Partiklernes antal og størrelse måles med en *Scanning Mobility Particle Sizer* (SMPS).

Vi opsamler også partikler på et filter, som ekstraheres og analyseres med pyrolyse gaskromatografi koblet til massespektrometri (py-GC-MS) for at undersøge, om partiklerne indeholder plastik [5]. Vi er også interesseret i partiklernes hygroskopicitet, altså deres evne til at tiltrække og holde på vand. Dette måles med en *Humidified Tandem Differential Mobility Analyzer* (HT-DMA).

Plastiktransport fra rent vand

Resultaterne fra laboratorieforsøgene viser tydeligt, at plastik kan frigives fra vand til luft. Når bobler dannes og springer på vandoverfladen, følger små partikler af polystyren; den type plastik, vi kender fra flamingo, med op i luften.

Figur 2, på side 26, viser en partikelstørrelsesfordeling for forsøg med rent vand (blå) og med tilføjet polystyren (lilla) med en diameter på 103 nm. Der er meget få partikler dannet fra det rene vand, mens der, når plastikken er tilføjet, kommer en top centreret ved cirka 103 nm, størrelsen på plastik-

partiklerne [6]. Det samme viste sig for 147 og 269 nm polystyrenpartikler. Ved hjælp af py-GC-MS analyse af partikler opsamlet på filtre kunne vi verificere, at partiklerne i luften bestod af polystyren.

Forsøgene afslører også, at koncentrationen af plastikpartikler i luften afhænger af, hvor meget plastik der er i vandet. På figur 2 ses dette ved, at toppen øges i areal og højde ved øget plastikkoncentration i vandet. Når koncentrationen i vandet øges, frigives der flere partikler til luften. Samtidig har hastigheden, hvormed boblerne i vandet dannes, stor betydning: jo hurtigere boblerne dannes og springer, desto flere partikler slynges op i atmosfæren. Det tyder på, at både forureningsniveauet i havet og havets dynamik, for eksempel hvor voldsomt bølgerne bryder, spiller en rolle for, hvor meget plastik der frigives til luften.

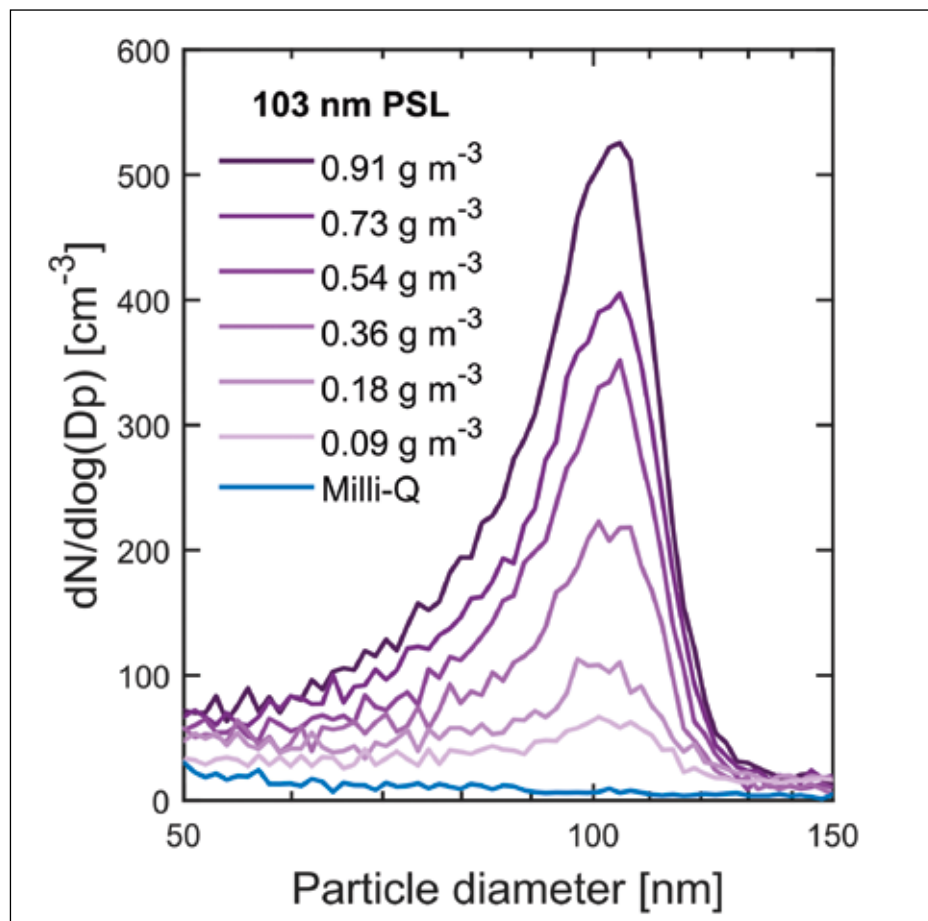
Fra havet til skyerne

I forsøg med AEGOR-tanken, hvor vandet indeholdt både salt og polystyren plastikpartikler, kunne vi observere, at både plastik og salt blev transporteret op i luften [7]. Salt er meget hygroskopisk, altså godt til at optage vand, og dette kunne vi måle med HT-DMA instrumentet. Her udsættes tørrede partikler for høj luftfugtighed og forskellen i partiklens *growth factor* (GF), altså i hvor høj grad partiklen optager vand.

Som forventet voksede saltpartiklerne meget, men interessant nok optog plastikpartiklerne også en smule vand, selvom plastik almindeligt regnes for at være hydrofob. Dette skyldes sandsynligvis, at plastikpartiklerne er blevet luftbårne sammen med salt. Det kunne eksempelvis tænkes, at plastikpartiklerne var dækket af et tyndt lag salt. Saltbelægningen kan fungere som et kemisk fingeraftryk, der viser, at partiklerne stammer fra havsprøjt. Derudover kan denne saltbelægning potentielt ændre plastikpartiklernes hygroskopicitet grundet den høje vandopløselighed af salte.

Høj hygroskopicitet er en vigtig egenskab for, om en partikel kan danne skydråber – det vil derfor være interessant at kigge nærmere på egenskaberne af plastikpartikler fra havet.

Plastikforurening er ikke længere kun et problem på havbunden eller kystområder. Forskningen viser nu, at mikroskopiske plastikpartikler kan blive luftbårne, og det tyder på, at partiklerne endda kan spille en rolle i skydan-



Figur 2. Partikel-størrelsesfordeling målt med SMPS fra eksperiment, hvor AEGOR-tanken var fyldt med rent vand (blå) og polystyrenpartikler (diameter 103 nm) i seks forskellige koncentrationer (lilla). Gengivet med tilladelse fra RCS Publishing fra reference [6].

nelse. Når plastikpartikler transporteres sammen med salt fra havsprøjt, kan de optage vand fra luften og måske kan de fungere som kondensationskerner for skyer.

Den seneste forskning udvider vores forståelse af plastik som forureningskilde. Plastik i naturen kan bevæge sig fra hav til atmosfæren og måske tilbage igen med nedbør. Nye spørgsmål rejser sig om, hvorvidt de luftbårne plastikpartikler også kan påvirke klimaet på andre måder, for eksempel ved at fungere som overflader for isdannelse i kolde skyer. En sådan proces kan ændre skyernes levetid og deres nedbørsmønstre. Det vil fremtidens forskning vise.

Denne forskning er publiceret i tre nye artikler [5, 6 og 7].

Tak til alle samarbejdspartnere, min ph.d.-vejleder professor Merete Bilde, med-vejleder lektor Marianne Glasius og støtte fra Danmarks Frie Forskningsfond (bevillingsnummer 0217-00442B) og Danmarks Grundforskningsfond (DNR172) gennem Center of Chemistry of Clouds.

E-mail:

Eva R. Kjærgaard: eva@chem.ku.dk

Referencer

1. Brahney, J., Mahowald, N., Prank, M., Cornwell, G., Klimont, Z., Matsui, H. & Prather, K.A. (2021) Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. (PNAS)* 118 (16) e2020719118.
2. Allen, S., Allen, D., Moss, K., Le Roux, G., Phoenix, V.R., & Sonke, J.E. (2020) Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics. *PLoS ONE* 15(5): e0232746.
3. Our World Data based on Geyer et al. (2017) and the OECD Global Plastics Outlook
4. Christiansen, S., Salter, M.E., Gorokhova, E., Nguyen, Q.T., & Bilde, M. (2019). Sea spray aerosol formation: Laboratory results on the role of air entrainment, water temperature, and phytoplankton biomass. *Environmental science & technology*, 53 (22), 13107-13116.
5. Hasager, F., Björgvinsdóttir, Þ.N., Vinther, S.F., Christofili, A., Kjærgaard, E.R., Petters, S.S., Bilde, M., & Glasius, M. (2024). Development and validation of an analytical pyrolysis method for detection of airborne polystyrene nanoparticles. *Journal of Chromatography A*, 1717, 464622.
6. Kjærgaard, E.R., Hasager, F., Petters, S.S., Glasius, M., & Bilde, M. (2024). Bubble-mediated generation of airborne nanoplastic particles. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 26(7), 1216-1226.
7. Petters, S.S., Kjærgaard, E.R., Hasager, F., Massling, A., Glasius, M., & Bilde, M. (2023). Morphology and hygroscopicity of nanoplastics in sea spray. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 25(47), 32430-32442.

Kemiens etik: Et overset felt med voksende betydning

Kemisk forskning og teknologi påvirker i stigende grad sundhed, miljø og samfund. Derfor er der behov for større opmærksomhed på kemiens etiske dimensioner i både forskning, undervisning og faglige organisationer.

Af Tom Børsen, Institut for Bæredygtighed og Planlægning, Aalborg Universitet

Kemi spiller en afgørende rolle i det moderne samfund. Fra lægemidler og materialer til energiteknologier former kemisk forskning vores hverdag, men giver også anledning til overvejelser om ansvar for konsekvenserne af de teknologier og produkter, der udvikles.

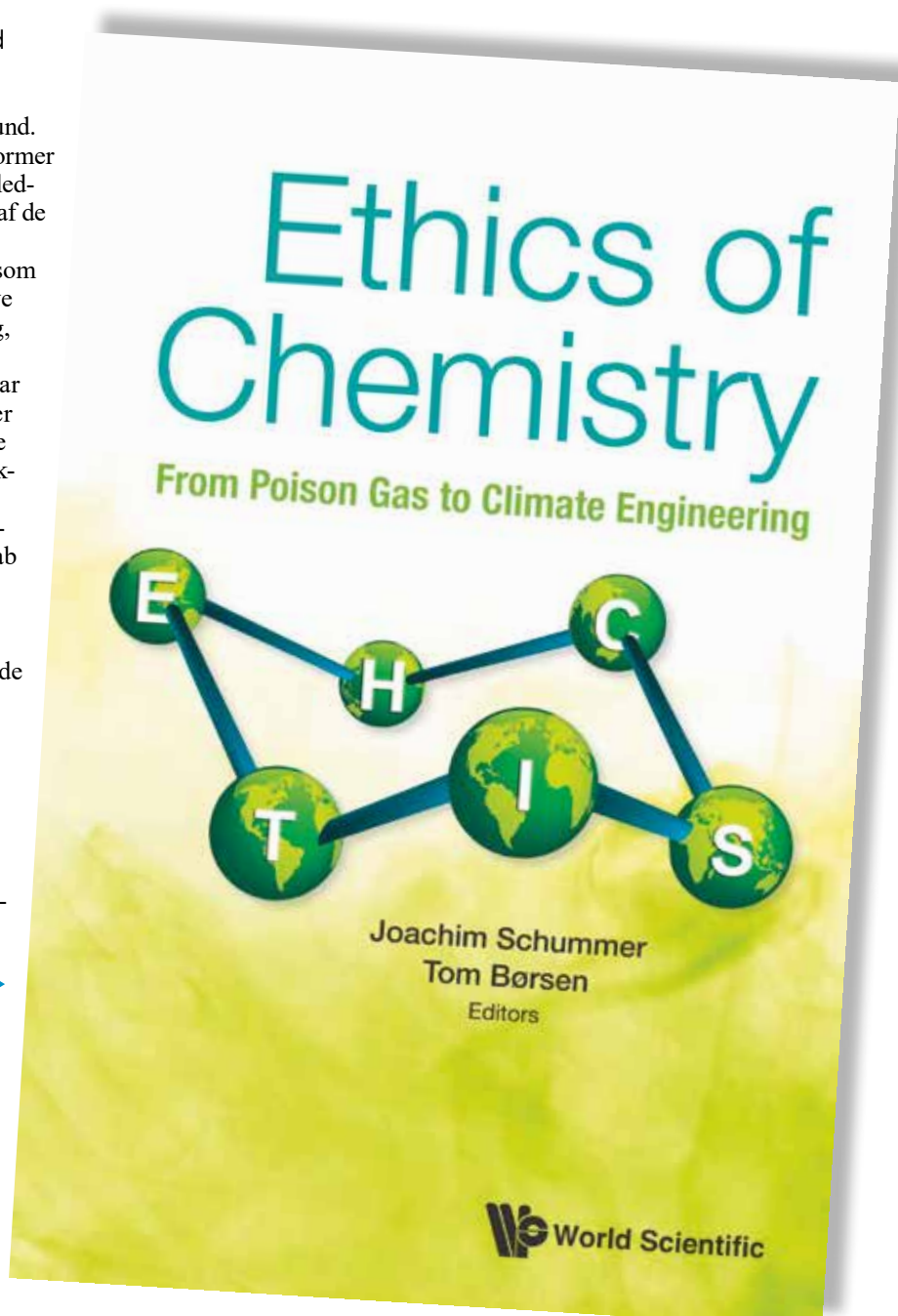
Disse overvejelser står centralt i kemiens etik, som overordnet kan forstås som studiet af de normative spørgsmål, der opstår i forbindelse med udvikling, anvendelse og regulering af kemisk viden og teknologi. Her undersøges blandt andet, hvilket ansvar kemikere og kemiingeniører har for de teknologier og produkter, de er med til at udvikle, samt hvilke etiske dimensioner der knytter sig til kemisk forskning og teknologi.

På trods af kemiens store samfundsmæssige betydning har etiske diskussioner om naturvidenskab længe været domineret af bioetik og medicinsk etik. Først i de senere år er der opstået en mere systematisk forskningsagenda om kemiens etiske dimensioner, og feltet er i dag genstand for stigende international opmærksomhed.

Kemiens etik som forskningsfelt

Kemiens etik beskæftiger sig med de etiske spørgsmål, der opstår i forbindelse med kemisk forskning, teknologi og professionel praksis. Overordnet handler feltet om, hvad kemikere og kemiingeniører bør gøre, når de udøver deres profession. I den forstand kan kemiens etik forstås som en form for professionsetik for kemikere og kemiingeniører [1]. ▶

Illustrationen viser forsiden af antologien "Ethics of Chemistry: From Poison Gas to Climate Engineering" (redigeret af Joachim Schummer og Tom Børsen, 2021), som er skrevet specifikt til undervisning i kemiens etik. Bogen præsenterer historiske og nutidige casestudier – fra giftgas under Første Verdenskrig til klima-engineering – og understøtter ansvarlig refleksion og etisk beslutningstagen i kemisk forskning, uddannelse og praksis.



Feltet er tværfagligt. Det kombinerer kemi og etik, men trækker også på videnskabsteori, sundhedsvidenskab, toksikologi, økologi, miljøvidenskab og jura. Det afspejler, at kemisk forskning ikke kun har videnskabelige og tekniske dimensioner, men også betydelige metodologiske, etiske og samfundsmæssige aspekter [2].

Den nyere forskning i *Ethics of Chemistry* har i stigende grad søgt at etablere feltet som et selvstændigt område inden for videnskabsetik [3]. Dette afspejles blandt andet i en voksende litteratur, internationale konferencer og faglige netværk, der beskæftiger sig med kemiens etiske dimensioner.

Intern og ekstern etik i kemi

Inden for kemiens etik sonderer man ofte mellem intern og ekstern etik.

Den interne etik vedrører de normer, der regulerer selve den videnskabelige praksis, såsom god videnskabelig praksis, korrekt dokumentation, ansvarligt samarbejde og åbenhed i forskningen. Denne dimension knytter sig til de epistemiske normer, der skal sikre, at videnskabelig viden produceres på en troværdig og pålidelig måde [4].

Den eksterne etik handler derimod om de samfundsmæssige konsekvenser af kemisk forskning og teknologi. Her rettes opmærksomheden mod, hvordan kemiske produkter og processer påvirker mennesker, miljø og samfund, for eksempel gennem sundhedsrisici, miljøpåvirkning og bæredygtighed. I forskningen analyseres sådanne spørgsmål ofte i relation til forholdet mellem videnskab og samfund [5].

Historiske erfaringer og etiske udfordringer

En vigtig milepæl i udviklingen af kemiens eksterne etik er antologien *Ethics of Chemistry: From Poison Gas to Climate Engineering*, som jeg har redigeret sammen med Joachim Schummer.

Bogen samler historiske og nutidige casestudier, der spænder fra udviklingen af giftgas under Første Verdenskrig til aktuelle diskussioner om klima-engineering, og analyserer de etiske dimensioner i kemisk forskning og teknologi. Eksempler som Bhopal-katastrofen, DDT, Agent Orange og bisphenol A illustrerer de alvorlige risici, der kan være forbundet med kemiske teknologier.

Nutidige diskussioner om PFAS, mikroplast og kemiske teknologier til CO₂-fangst viser samtidig, at spørgsmål om ansvar og risikovurdering fortsat er centrale for kemisk innovation.

Disse eksempler viser også, hvordan

kemisk forskning er tæt forbundet med sundhedsvidenskab og toksikologi, der undersøger kemikaliers påvirkning af menneskers helbred, samt med økologi og miljøvidenskab, hvor effekter på økosystemer indgår i vurderingen af ansvarlig teknologianvendelse.

Fra problemer til ansvarlig innovation

Hidtidig forskning i *Ethics of Chemistry* har ofte fokuseret på problematiske anvendelser af kemi, såsom kemiske våben, miljøforurening eller sundhedsskadelige stoffer. I de senere år er der imidlertid også kommet øget opmærksomhed på positive eksempler, hvor kemikere og kemiingeniører har bidraget til samfundets udvikling på en ansvarlig måde.

Det gælder blandt andet udviklingen af lægemidler, vandrensningsteknologier og andre kemiske innovationer, der har forbedret folkesundhed og levevilkår globalt. Samtidig har forskningen i grøn kemi vist, hvordan kemiske processer og materialer kan designes med henblik på at reducere affald, energiforbrug og toksicitet [6].

Diskussionen om kemiens etik handler derfor ikke kun om regulering og politik, men også om kemikeres professionelle ansvar i forskning, industri og rådgivning.

På den baggrund vurderer jeg, at der fortsat er behov for flere systematiske etiske undersøgelser af sådanne positive eksempler, især af den rolle grøn kemi og medicinalkemi kan spille i arbejdet for sundhed, miljøbeskyttelse og bæredygtig udvikling.

Undervisning og faglige initiativer

Kemiens etik behandles i dag typisk i universitetskurser i videnskabsteori og etik for de kemiske fag. Formålet er at give studerende redskaber til at reflektere over deres ansvar som fremtidige kemikere eller kemiingeniører.

Fra mit arbejde som ekstern censor kender jeg for eksempel undervisningen på Københavns Universitet, hvor et tværfagligt team bestående af professor Knud J. Jensen, lektor Claus Emmeche og ekstern lektor Mette Ebbesen underviser i disse emner.

Alligevel er det stadig relativt sjældent, at studerende skriver bachelorprojekter eller specialer om emner inden for kemiens etik. Det er beklageligt, da sådanne projekter netop kunne bidrage til at udvikle ny viden om kemifagets samfundsmæssige betydning og ansvar.

Internationalt er interessen for emnet

voksende. Både European Federation of Chemical Engineering og European Chemical Society har aktiviteter, der beskæftiger sig med etik i kemi og kemiteknik. I december 2025 blev jeg valgt til bestyrelsen for European Chemical Society's Working Party on Ethics in Chemistry, hvilket forhåbentligt kan være med til at styrke udviklingen af kemiens etik i Danmark.

I Danmark kunne Kemisk Forening med fordel tage et lignende initiativ og skabe et forum for diskussion af kemiens etiske dimensioner. Et sådant forum kunne både støtte studerende og hjælpe gymnasielærere med at integrere etiske perspektiver i kemiundervisningen.

Konklusion

Kemiens etik er et voksende forskningsfelt, der belyser de etiske, samfundsmæssige og miljømæssige dimensioner af kemisk forskning og teknologi. Udviklingen viser samtidig, at kemien ikke længere kan betragtes som en rent teknisk disciplin. Kemisk innovation indgår i komplekse samfundsmæssige sammenhænge, hvor spørgsmål om ansvar, risici og bæredygtighed spiller en stadig større rolle.

Der er derfor behov for, at kemiens etik får en mere fremtrædende plads i både forskning, uddannelse og faglige organisationer. Flere studenterprojekter og specialer inden for området kunne bidrage til at udvikle ny viden om kemiens rolle i samfundet.

En sådan indsats vil ikke blot styrke refleksionen over kemisk praksis, men også synliggøre kemiens betydning for samfundet. Hvis kemien fortsat skal bidrage til løsningen af globale udfordringer som sundhed, energi og miljø, er det afgørende, at fagets etiske dimensioner også bliver en del af den faglige samtale.

E-mail:

Tom Børsen: boersen@plan.aau.dk

Udvalgt litteratur

1. Kovac, J. (2018). *The ethical chemist: Professionalism and ethics in science*. Oxford University Press.
2. Mehlich, J. (2021). *Good chemistry: Methodological, ethical, and social dimensions*. Royal Society of Chemistry.
3. Schummer, J., & Børsen, T. (2021). *Ethics of chemistry: From poison gas to climate engineering*. World Scientific.
4. Merton, R.K. (1973). *The sociology of science*. University of Chicago Press.
5. Jasanoff, S. (2004). *States of knowledge: The co-production of science and social order*. Routledge.
6. Anastas, P.T., & Warner, J.C. (2000). *Green chemistry: theory and practice*. Oxford University Press.



SKRIV TIL **DANSK KEMI**

Stofområder

Vi er interesserede i spændende artikler inden for alle områder af kemi.

Vi formidler viden om for eksempel:

- Materialekemi
- Analytisk kemi
- Kemiteknik
- Bioteknologi
- Fødevarekemi
- Klima og miljø
- Fundamental kemi

Din viden er vigtig - del den!

Dansk Kemi er til for at oplyse og begejstre om alle emner inden for kemi.

Det trykte magasin kommer ud på alle landets biblioteker og bliver sendt til 3600 abonnenter.

Indholdet bliver flittigt brugt på ungdomsuddannelser, bliver læst af industrien og udbreder viden om kemi bredt til samfundet.

Dansk Kemi er medlemsblad for Kemisk Forening og Kemiingeniørgruppen.

Dansk Kemi har eksisteret i mere end 100 år.

Kontakt redaktør Katja Salomon Johansen på katja@techmedia.dk

Vi GLÆDER os til DIT bidrag

Max. 8000 anslag inkl. mellemrum i Word. Brug overskrifter og underoverskrifter.

Medsend illustrationer og billeder i 300 dpi. Brug gerne faktabokse.

Husk billedtekster og fotokreditering. Husk også e-mail-adresse til forfatter.



KEMISK FORENING

Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

www.chemsoc.dk

The Danish Chemical Society
Founded 1879

Konferenceopslag: Koordinationskemi, organometallisk kemi og CO₂-katalyse

Danmark er vært for flere betydningsfulde kemikonferencer i 2026, som giver enestående muligheder for faglig udvikling, netværk og internationale samarbejder.

Den 46. International Conference on Coordination Chemistry (ICCC) finder sted 28. juni – 3. juli 2026 i Odeon. ICCC er en af de mest anerkendte konferencer inden for koordinationskemi og dækker emner som katalyse, bioorganisk kemi, bæredygtige materialer og avancerede spektroskopiske metoder. Konferencen inkluderer også de specialiserede symposier MIND – Metal Ions in Neurodegenerative Disease og Nordic Organometallics Meeting (NOM 2026).

Derudover afholdes Dansk Kemisk Forenings årsmøde den 18. juni 2026 på Syddansk Universitet i Odense, som giver en vigtig national platform for præsentation af ny forskning og styrkelse af samarbejde i Danmark.

Endelig vil konferencen Catalytic CO₂ Conversions (CCC2026) fokusere på katalytiske løsninger til CO₂-omdannelse og grøn kemi, med deltagelse af forskere fra både akademi og industri.

Disse konferencer giver særligt ph.d.-studerende og yngre forskere mulighed for at præsentere deres arbejde og opbygge nationale og internationale netværk.

46th International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2026)

28. juni – 3. juli 2026

Odeon, Odense

<https://iccc2026.com/>

Vi glæder os til at byde velkommen til den 46. International Conference on Coordination Chemistry (ICCC), som afholdes i hjertet af Odense. ICCC er en biennal conference med en historie tilbage til 1950 og betragtes som den længst kontinuerligt afholdte internationale conference inden for koordinationskemi.

Konferencen samler førende forskere og yngre talenter fra hele verden og giver en enestående mulighed for at præsentere ny forskning, opbygge internationale samarbejder og styrke netværk på tværs af akademi og industri.

Temaer omfatter blandt andet:

- Koordinationsforbindelser til energi- og bæredygtighedsapplikationer
- Katalyse, fotokatalyse og elektrokatalyse
- Aktivering af kemiske bindinger
- Bioorganisk og medicinsk kemi
- Elektronisk struktur og spektroskopiske metoder
- 4f- og 5f-elementer
- Supramolekylær kemi og avancerede materialer.

Vigtige deadlines:

- Poster abstracts: **17. maj 2026**

Kontakt:

Prof. Christine McKenzie, Syddansk Universitet

MIND – Metal Ions in Neurodegenerative Disease

29.-30. juni 2026
Odeon, Odense

<https://iccc2026.com/program/mind/>

MIND-symposiet er en integreret del af ICCC-programmet og sponsoreret af Lundbeckfonden. Symposiet samler internationale eksperter inden for metallobiologi og neurodegenerative sygdomme.

Symposiet dækker blandt andet:

- Metallobiologi i hjernen
- Metal-protein-interaktioner
- MRI- og PET-baseret billeddannelse
- Terapeutiske strategier og radioisotop-baserede behandlinger
- Translationel forskning og kliniske perspektiver.

MIND henvender sig til både kemikere, neuroforskere og klinikere.

Vigtige deadlines:

- Poster abstracts: **17. maj 2026**
- Registreringsfrist: **17. maj 2026**

Særsomt registrering er muligt for deltagelse kun i MIND.

CCC2026 – Catalytic CO₂ Conversions

25.-28. august 2026
IDA Conference, København

<https://www.copenhagengccc2026.com/>

CCC2026 fokuserer på katalytiske løsninger til CO₂-omdannelse og bæredygtig kemisk produktion. Konferencen samler eksperter fra både akademi og industri og giver indblik i de nyeste fremskridt inden for:

- Homogen og heterogen katalyse
- Elektrokemisk CO₂-reduktion
- Power-to-X-teknologier
- Bæredygtig energikonvertering
- Grøn kemisk syntese.

Konferencen giver en fremragende mulighed for at diskutere fremtidens klimavenlige teknologier og etablere nye internationale samarbejder.

Kontakt:
Assoc. prof. Martin Nielsen, DTU Kemi

Dansk Kemisk Forenings Årsmøde 2026

18. juni 2026
Syddansk Universitet, Odense

Dansk Kemisk Forenings årsmøde er en central national begivenhed for kemiforskning i Danmark. Mødet samler forskere, undervisere og studerende til præsentation af ny forskning og faglig diskussion i et åbent og kollegialt miljø.

Årsmødet giver gode muligheder for:

- Præsentation af igangværende forskning
- Netværk på tværs af danske institutioner
- Samarbejde mellem forskere og studerende
- Faglig udvikling og vidensdeling.

Kontakt:
Prof. James McPherson, Syddansk Universitet

NOM 2026 – Nordic Organometallics Meeting

30. juni – 1. juli 2026
Odeon, Odense

NOM 2026 er en integreret del af ICCC-programmet og sponsoreret af Carlsbergfondet. Symposiet fejrer Nordens stærke tradition inden for organometallisk kemi og samler forskere fra hele Norden og internationalt.

Organometallisk kemi spiller en central rolle i udviklingen af:

- Katalyse
- Bæredygtig kemi
- Medicin
- Energilagring.

Bekræftede oplægsholdere inkluderer:

- Prof. Troels Skrydstrup (Aarhus Universitet)
- Prof. Guy Bertrand (University of California, San Diego)
- Prof. Ainara Nova (University of Oslo)
- Prof. Eva Hevia (University of Bern)
- Prof. Fabian Dielmann (Innsbruck University)
- Prof. Sigríður Guðrún Suman (University of Iceland).

Vigtige deadlines:

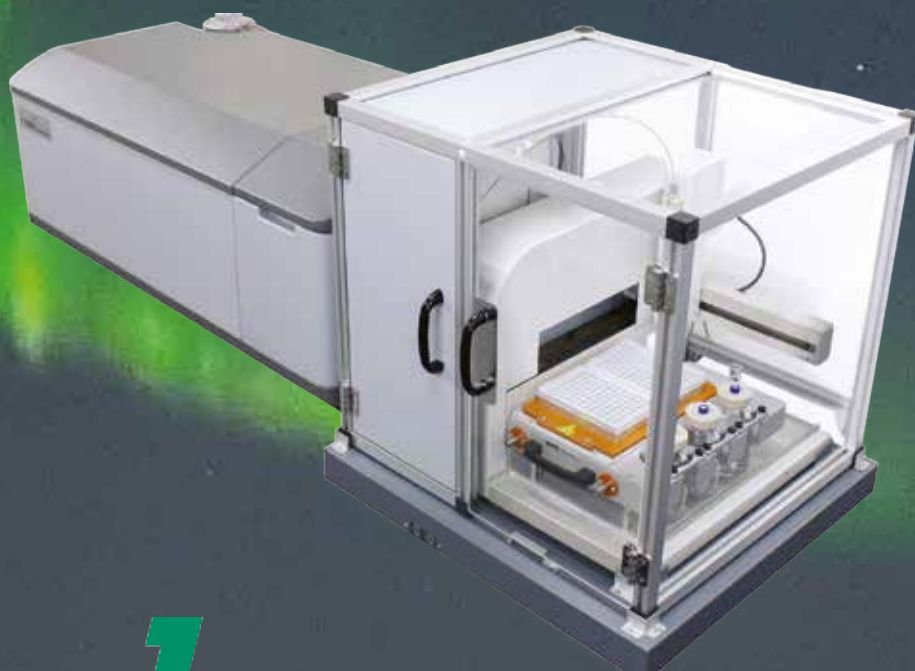
- Poster abstracts: **17. maj 2026**
- Registreringsfrist: **17. maj 2026**

Separat registrering er mulig for deltagelse kun i NOM.

Intelligent Chemistry Biolab A/S Automation Specialist

JASCO Circular Dichroism HTCD Plus High-Throughput Circular Dichroism

For scientists in pharmaceutical, process- and biotechnology, and food chemistry labs who need reproducible, automated measurements and reliable structural analysis software, the high-throughput circular dichroism (HTCD) system eliminates human error and bias in measurement acquisition and biomolecular characterization.



JASCO

The only limitation is your imagination



Biolab A/S
Sindalsvej 29
DK-8240 Risskov
+45 8621 2866
sales@biolab.dk
www.biolab.dk