

Dansk Kemi

Nummer 1 - Februar 2023 / 104. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

Digitalisering
ved DTU
Kemiteknik

Mere miljøvenlig
skibsmaling
med aerogel-
indkapslingsteknologi

Videnskabs-
klubben skaber
interesse for kemi

Nye tider kræver
nye **løsninger**

Plougmann Vingtoft - eksperter i IPR

PLOUGMANN VINGTOFT®



WWW.PV.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

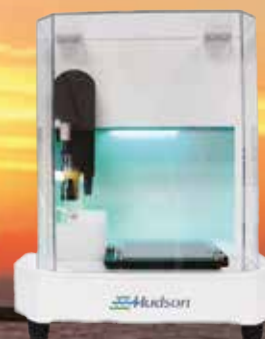
Advanced Spectroscopic & Purification Solutions

SP Scientific

Automated Sample Concentration - Freezedrying

Gilson and Hudson Robotics Inc.

Advanced Automation solutions.



The only limitation is your imagination

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



6



17



20



26

1 Forside

Med stor succes udbyder Videnskabsklubben et kemiforløb for grundskolernes 4.-5. klassetrin for at skabe interesse for kemien hos de yngste. Læs mere herom på side 15. Foto: Lars Svankjær.

6 Digitalisering af forskning og undervisning på DTU Kemiteknik

Digitalisering er et af hovedmålene i DTU's strategi for 2020-2025 - læs om implementeringen ved DTU Kemitekniks faciliteter og pilotanlæg.

9 Aerogel-indkapsling reducerer biocidforbruget i bundmalinger

En indkapslingsteknologi baseret på silika-aerogeler kan reducere biocidbehov i traditionelle antifouling-malinger.

12 Genindvinding og forbedret rensning af H₂S scavenger ved offshore olie- og gasproduktion

Nanofiltrering og hydrotermisk oxidation kan genindvinde ikke-forbrugte triazinbaserede kemikalier brugt til H₂S-fjernelse.

17 Metanols nedbrydning af epoxy- og polyuretanmalinger

Studier undersøger, om specialmalinger med tokomponent epoxy og polyuretan coatings kan modstå metanol.

20 Helwig Dieterich, latrokemiker og livlæge for prins Christian og Christian IV

Helwig Dieterich fra Hessen-Darmstadt kom i 1638 til Danmark for at behandle den udvalgte prins Christian, der havde brækket benet ved en ulykke.

24 Vintergrøntolie

Vintergrøntolie er trivialnavnet for methyl(salicylat) (methyl(2-hydroxybenzoat)).

26 Et nyt syn på landbrugets CO₂-bidrag

CO₂-optag fra etårige planter har betydning for CO₂-regnskabet.

30 Mindeord for professor John Nielsen

En vellidt og dygtig forskerkollega, professor John Nielsen, mindes.

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
Gruppenleder, 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.dansk kemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

Eller find
Dansk Kemi på:



Scan og hent Dansk Kemis
medieinformation 2023 her!
Scan med kameraet
på din smartphone.



Grøn omstilling - bag kulissen

I juleferien var jeg med familien i Musikhuset i Aarhus, hvor vi så og hørte balletten Nøddeknækkeren. Dejlig oplevelse, vidunderlig musik, dygtige dansere, flot koreografi, flotte kostumer, geniale kulisser, dygtige musikere. To timer, hvor alt gik op i en højere enhed for os, der sad i salen.

Hvor ligger der meget arbejde bagved sådan en forestilling. Både kreativitet, håndværk og træning.

Hvad har kunst nu med kemi at gøre?

Jo. Den grønne omstilling, European Green Deal eller NetZero 2035, som det hedder hos os i FMC - det er den vej, vi vil som samfund og som virksomheder. Det er indlysende, at vi skal bruge mere grøn energi, udnytte ressourcerne bedre, generere mindre affald, genbruge mere, og at kemiske stoffer, der er skadelige for mennesker eller miljø, skal udfases.

Kunsten er at komme frem til den grønne fremtid. Der ligger et stort stykke arbejde bag kulissen. Her er også brug for kreativitet, håndværk og træning. Der er brug for kemi

Kunsten er at komme frem til den grønne fremtid. Der ligger et stort stykke arbejde bag kulissen. Her er også brug for kreativitet, håndværk og træning. Der er brug for kemi.

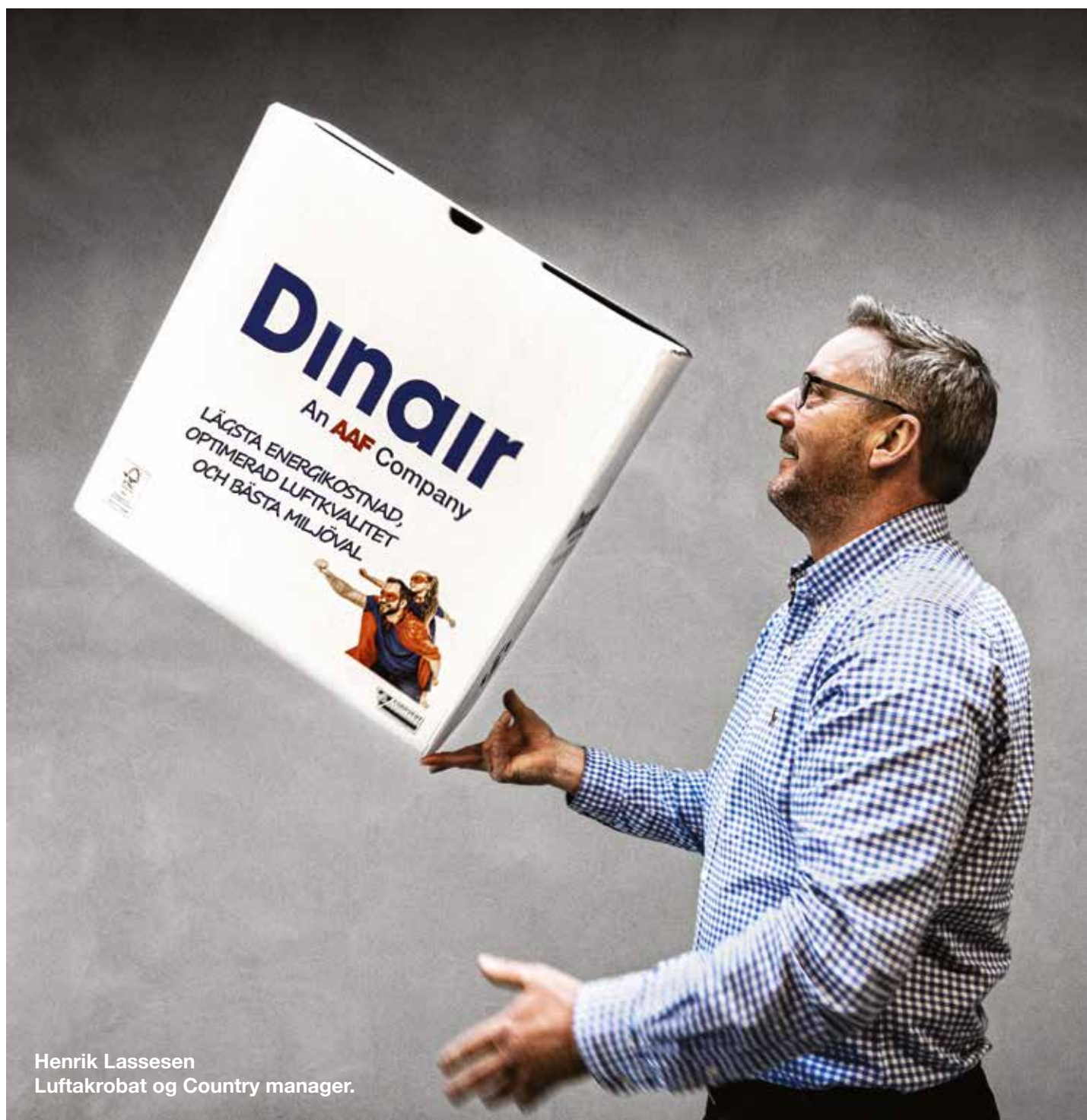
Vi har brug for at kunne fremstille de materialer og komponenter, der skal bruges til at skabe fremtidens teknologier. Her er der brug for kemikalier med mange forskellige egenskaber. Her skal kreative kemikere bidrage med nye fremstillingsmetoder, risikovurdering af

nye materialer, viden om substitutionsmuligheder og muligheder for genanvendelse. Biproduktet fra min kemiske produktion kan være din råvare til ny produktion eller måske erstatning for brændsler eller andre materialer. Vi skal bare lige kunne finde hinanden og forstå de kemiske udfordringer, der kan være i den cirkulære økonomi, se muligheder i stedet for begrænsninger og finde løsninger sammen.

Som professionelle kemikere på alle niveauer skal vi være med til at skabe forståelse for, at anvendelsen af kemikalier kan foregå sikkert for mennesker og miljø - også i industrien. Det kalder igen på både kreativitet, håndværk og træning. Der er i høj grad brug for kemien til det arbejde, der skal foregå bag kulissen i den grønne omstilling.

Jeg kan kun være enig med nobelpristager Morten Meldal, når han siger: Det bliver kemikerne, der skal løse klodens store problemer. Godt nytår.

Inge Margrethe Jensen,
Environmental Manager, FMC Site Rønland



Henrik Lassen
Luftakrobat og Country manager.

Mød nogle af ventilationsbranchens mest erfarne luftakrobater.

AAF/Dinair er en af verdens førende producenter af luftfiltre. Koncernen har flere end 3.000 ansatte i 22 lande. Vi har over 100 års erfaring og en vision om til stadighed at være verdens førende inden for luftfiltre og luftfilterløsninger. Vores produkter produceres bæredygtigt med fokus på energibesparelser og effektivitet iht. ISO16890 og EN1822. Vores eFRM HEPA filtre (membran filtre) er godkendt til pharma og renrum m.m. og kan give besparelser på op til 50%. Disse historier og mange andre, uddyber vi gerne ved lejlighed.

Kontakt en af luftakrobaterne i AAF Danmark på tlf.: 70 26 01 66 eller check: aafeurope.dk





Digitalisering af forskning og undervisning på DTU Kemiteknik

Digitalisering er et af de tre hovedmål i Danmarks Tekniske Universitets (DTU) strategi 2020-2025 og er derfor også et vigtigt fokusområde på DTU Kemiteknik (DTU KT).

Af Jochen A.H. Dreyer¹, Mark N. Jones², Julian Kager¹, Steen Larsen¹, John M. Woodley¹, Kim Dam-Johansen¹ og Jakob K. Huusom¹

¹ DTU Kemiteknik

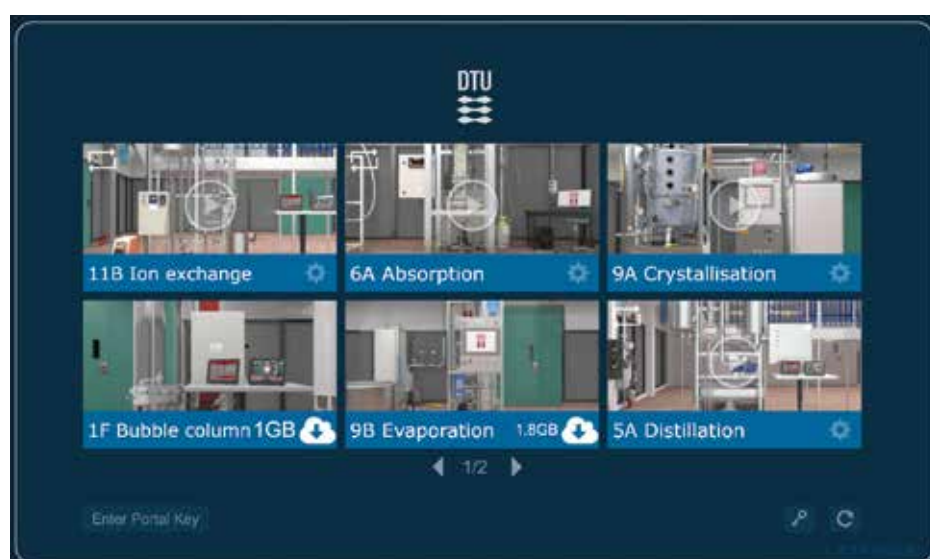
² Molecular Quantum Solutions ApS

Vi er midt i den fjerde industrielle revolution, og vigtigheden af data er støt stigende. Samtidig vinder nye digitale værktøjer til undervisning indpas. Denne tendens blev forstærket under covid-19-pandemien, men går langt ud over onlineforelæsninger eller videopræsentationer.

DTU KT's faciliteter og pilotanlæg tilbyder et ideelt miljø til at udvikle og verificere effekten af nye værktøjer inden for digitalisering i grænsefladen mellem laboratorieforskning og industrielle processer. Faciliteterne anvendes til både forskning og uddannelse. Disse unikke pilotfaciliteter har udviklet

sig gennem årtier og omfatter mange traditionelle enhedsoperationer inden for

kemi, bioteknologi, fødevarer, medicin og energi (for eksempel membran,



Figur 1. Startskærmen for present4D-appen viser her seks af de i alt otte enhedsoperationer, som Pilot Plant VR-miljøet er tilgængeligt for.



visning i DTU KT's pilotanlæg. Digitaliseringsprojektet er initieret med tre hjørneste, og artiklen er struktureret herefter: virtual reality til undervisning; webbaserede brugergrænseflader til drift af enhedsoperationer; samt datalagring og databehandling.

Virtual reality til undervisning

Målet med Pilot Plants virtual reality-miljø (VR) har været at supplere det fysiske miljø med tidssvarende anvendelse af digitale værktøjer til brug i uddannelsen af næste generation af kemiingeniører. Værktøjerne kan effektivisere de studerendes forberedelse til de praktiske øvelser og guide dem gennem processen med at betjene de enkelte enhedsoperationer. Resultatet er en bedre visuel



Figur 2. Skærmbillede fra Pilot Plant VR-miljøet til Destillation i Bubble-Cap Tray Column-enhedsdrift.

destillation, absorption, tørring, krystallisationsprocesser etc.).

Senest er der i forbindelse med projektet Fermentation based Bio Manufacturing (finansieret af Novo Nordisk Fonden) etableret moderne pilotanlæg til opskalering og test af fermenteringsprocesser og de tilhørende oprensningsprocesser. Det inkluderer et dedikeret GMO Klasse I storskala pilotanlæg til arbejde med genetisk modificerede organismer.

Data fra de >30 forskellige enheder udgør et betydeligt potentiale for nye anvendelser, såfremt de behandles og lagres optimalt, og nye digitale undervisningsværktøjer giver helt særlige muligheder for at optimere læringsmiljøet. Formålet med denne artikel er at opsummere resultater fra arbejdet igennem de seneste to år med henblik på at digitalisere dele af forskning og under-

forståelse af udstyr, procedurer, analyser og sikkerhedsaspekter.

Et skærmbillede af VR-startskærmen kan ses i figur 1. VR består af 360° billeder, interaktive knapper og indlejrede instruktionsvideoer og animationer. Vores projektpartner MediaMedic ApS skabte 3D-modeller af vores proceshaler og flere enhedsoperationer. Disse modeller blev derefter brugt til at skabe og gengive animationer og 360° billeder (figur 2). Dette indhold kombineres med videooptagelser og lydinstruktioner og er struktureret til at følge de nødvendige trin for at gennemføre de praktiske øvelser.

Pilot Plant VR-miljøet er frit tilgængeligt, og den interesserede læser er velkommen til at prøve det. Man skal blot downloade Present4D-applikationen fra <https://present4d.com/en/download/> eller

app-butikken på en mobilenhed. Når applikationen kører (figur 1), skal man indtaste portalnøglen tyj-qjn og downloade VR-miljøet til enhedsoperationerne af interesse. Yderligere information kan findes i en nylig publikation [1].

Webbaserede brugergrænseflader til procesdrift

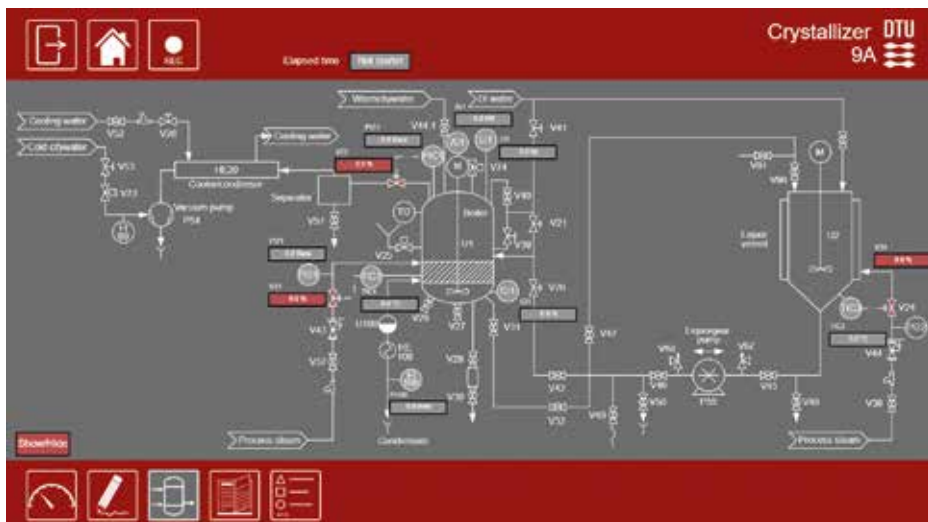
Traditionelt foregår driften af vores eksperimentelle opstillinger via et lokalt kontrolpanel eller en computer. Brugergrænsefladen var et internt udviklet LabVIEW-program eller noget software leveret af leverandørerne af de enkelte anlæg.

Sådan en traditionel digital infrastruktur har flere ulemper. Operatøren skal gøre sig bekendt med en bred vifte af brugergrænseflader. Alle data, der registreres under eksperimenterne, vil kun blive gemt lokalt, og dataanalyse kræver betydelig forbehandling på grund af forskellige filstrukturer og formater. Selv hvis alle de genererede data ville blive indsamlet, ville nyten være begrænset, da afgørende information om eksperimentet kun registreres i analoge laboratorie-notesbøger.

Den nye digitale infrastruktur udviklet i Pilot Plant erstatter det lokale kontrolsystem med et state-of-the-art styrings- og dataindsamlingsystem (SCADA, se figur 3, side 8). Helt konkret udveksler alle enheder, der er en del af SCADA, data med en central server, der anvender WinCC Unified (Siemens). De brugergrænseflader, der genereres i WinCC Unified, er tilgængelige via en webbrowser, så enhederne kan betjenes fysisk i pilot-hallerne fra en håndbåren "tablet", mens de også overvåges fra en kontor-pc. Layout af brugergrænsefladen er identisk for alle enheder. Hver enhed har en dedikeret "fane" til registrering af metadata, dvs. enhver information, der ellers ville være skrevet i en analog laboratorie-notesbog. Alle data (målinger, styresignaler, metadata) sendes automatisk til en centraliseret "server/cloud" gennem en IoT gateway (vNode) og gemmes i en SQL-database. Data kan efter endte eksperimenter ekstraheres i for eksempel CSV-format til brug i Excel eller anden databehandlingssoftware.

Datalagring og behandling

For at udvikle en skalerbar og /fremtids-sikret "data science" infrastruktur for vores forsknings- og øvelsesdata fra Pilot Plant, har vi etableret en dedikeret server som central "data lake" [2]. For kort at opsummere nogle af de tekniske detaljer, så er serveren af typen Kuber-



Figur 3. Interaktivt skærbillede fra den nyudviklede webbaserede SCADA-brugergrænseflade. Eksemplet viser fanen P&ID i Citric Acid Crystallizer.

netes (K8s) og alle softwareapplikationer organiseres i Docker-containere. Brugeradministration og softwareimplementering udføres gennem GitLab.

Data er nøglen til at kunne anvende avanceret programmel til at opbygge forståelse for processerne (for eksempel maskinlæring, kunstig intelligens, procesoptimering, osv.), og korrekt datalagring til fremtidig brug er derfor yderst vigtig. Projektet har derfor haft særlig fokus på udviklingen af SQL-databasen og strukturen af de indbyrdes forbundne tabeller til kategorisering af data. I sin nuværende form består databasen af 12 tabeller med visse gensidige relationer. Denne struktur muliggør avanceret søgning af data på tværs af udstyr eller eksperimenter.

Data kan herefter anvendes på alle tænkelige måder. For eksempel Grafana

kan bruges til avanceret datavisualisering, Python-scripts kan udvikles i JupyterHub til at analysere data, automatisere eksperimenter eller anvende kunstig intelligens gennem KubeFlow. Det er selvfølgelig også muligt at udvikle dedikerede programmer/applikationer såsom digitale tvillinger.

Konklusioner og udsigter

I løbet af de seneste to år er der sket store fremskridt i digitaliseringen af Pilot Plant-faciliteterne på DTU KT. Virtual reality-plattformen er blevet godt modtaget af vore danske og internationale studerende (figur 4). I løbet af de kommende måneder vil det didaktiske udbytte af det nye VR-miljø blive evalueret, for eksempel til vurdering af om de studerende i praksis er bedre forberedte, når de skal udføre deres praktiske

eksperimenter, om der kræves mindre lærersupervision under øvelserne og om de studerende opnår en dybere forståelse af den enkelte øvelse.

SCADA-brugergrænsefladen er i fuld drift og blev også godt modtaget (figur 4). De studerende sætter pris på at arbejde med en intuitiv og moderne brugergrænseflade på en "tablet". Fordelene ved at have et centralt datalager og en webbaseret brugergrænseflade har allerede vist sig.

Serveren til data er klar til brug, og tiden vil vise, hvordan forskellige studerende og forskere vil bruge indholdet. Der er nu enestående muligheder for at akkumulere data til en stadig dybere forståelse af kemiske enhedsoperationer.

Endelig vil nye veje relateret til digitalisering blive udforsket i fremtiden. For eksempel kunne de genererede 3D-modeller af nogle enhedsoperationer bruges til mere interaktive virtuelle eksperimenter eller "gamification" af øvelserne. Selvstudier er ved at blive konfigureret for at lette instruktionen til anvendelse af data, og nogle af værktøjerne (SQL, Python osv.) kan snart blive integreret i undervisningen. Nye værktøjer til udvikling af virtuelle laboratorier eller -udflugter udforskes også baseret på avancerede 3D 360°-fotos og -videoer, eksempler kan findes i fotosektionen på DTU KT's Google Maps-side.

Pilot Plant er opsat på at indlede samarbejder inden for digitalisering med industrielle og akademiske partnere, så tag endelig kontakt, hvis denne artikel fangede din interesse.

Sponsorer

Tak for økonomisk støtte fra Novo Nordisk Fonden som en del af Fermentation-based Biomanufacturing Initiative (FBM), bevillingsnummer: NNF17SA0031362.

E-mail:

Jochen A.H. Dreyer: jodre@kt.dtu.dk

Referencer

1. DE Carberry, K Bagherpour, C Beenfeldt, JM Woodley, SS Mansouri, MP Andersson (2023) A roadmap for designing eXtended reality tools to teach unit operations in chemical engineering: Learning theories & shifting pedagogies, Digital Chem. Eng., 6, 100074.
2. MN Jones, M Stevnsborg, RF Nielsen, D Carberry, K Bagherpour, SS Mansouri, S Larsen, KV Gernaey, JAH Dreyer, J Woodley, JK Huusom, K Dam-Johansen (2022) Pilot Plant 4.0: A review of digitalization efforts of the Chemical and Biochemical Engineering Department at the Technical University of Denmark (DTU), Comput.-Aided Chem. Eng., 49, 1525-1530.



Figur 4. To Summer University-studerende fra University of Alabama betjener Citric Acid Crystallizer, mens de har adgang til VR-miljøet og SCADA-brugergrænsefladen via to tablets.

Aerogel-indkapsling reducerer biocidforbruget i bundmaling

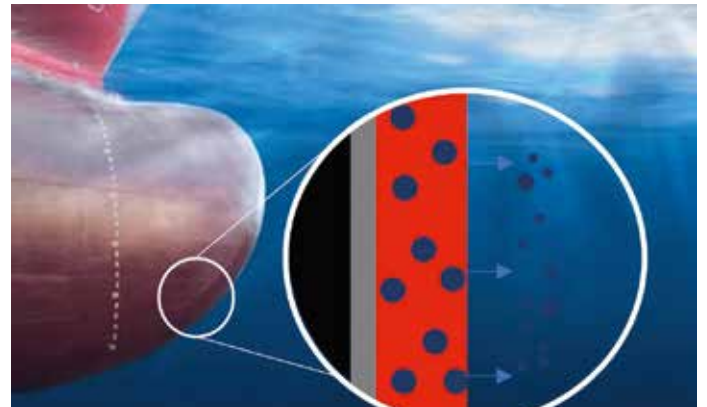
I skibsindustrien bruges store mængder biocidholdig bundmaling til at beskytte skrog og skruer, hvilket har negative konsekvenser for både havmiljøet og driftsøkonomien. Hvordan reduceres brugen af stofferne, samtidig med at der opnås en effektiv beskyttelse af skibets bund?

Af Tenna Frydenberg¹, Eva Wallström¹,
Claus Erik Weinell² og Søren Kiil²

¹ EnCoat ApS

² CoaST, Institut for Kemiteknik, DTU

Marin begroning, også kendt under betegnelsen biofouling, er akkumulering og aflejring af marine organismer på overflader, der befinder sig under vandoverfladen. Mange har observeret alger eller muslinger, som gror på bølgebrydere af sten ved stranden, men faktisk er mere end 4.000 marine arter kendt for at kolonisere offshore-platformer, skibsskrog og andre ”kunstige” overflader. For skibe er begroning forbundet med negative miljømæssige, økonomiske og sikkerhedsrelaterede konsekvenser. Organismerne skaber en overfladeruhed på skibets skrog, som reducerer sejlhastigheden på grund af den forhøjede vandmodstand. For at kompensere øges brændstofforbruget med helt op til 85 procent, hvilket er dyrt og bidrager til øget luftforurening. Derudover mindsker marin begroning skibets manøvredegytighed, korrosionshastigheden af skroget påvirkes negativt og risikoen for spredning af invasive arter går i vejret. Sidstnævnte fænomen mindsker marin biodiversitet. Bundmaling begrænser begroningen (se figur 1) og giver hvert år skibsindustrien minimum 60 milliarder dollars i besparelser.



Figur 1. Antifouling-coatings beskytter skibsbunden ved at frigive begroningshæmmende aktivstoffer (biocider).

Desuden reducerer malingerne den årlige globale udledning af CO₂ til atmosfæren med 384 millioner tons [1].

Hvad er antifouling-coatings?

En bundmaling består noget forsimplet af bindemidler, som holder sammen på malingen, pigmenter, der giver farve og 



STIKSKABSSERVICE & SPORGASMÅLING

OG MEGET MERE...

- MERE END 25 ÅRS ERFARING INDENFOR LABORATORIEVENTILATION
- SERVICE AF PROCESUDSUGNING OG KOMFORT VENTILATIONSANLÆG
- FEJLFINDING OG FEJLRETNING
- ENERGIOPTIMERING

KONTAKT OS PÅ 7196 9317 ELLER INFO@VENTION.DK



mekanisk styrke, samt diverse fyldstoffer og additiver. Størstedelen af kommercielle bundmalinger, de såkaldte antifouling-malinger, er baseret på aktivstoffer (biocider), der på vægtbasis udgør op til 50 procent af malingen. Malingerne virker ved at frigive biocider fra overfladen, hvorved begroning forhindres. Historisk set har flere forskellige biocider været brugt til formålet. I dag benyttes kobberoxid (Cu_2O) som det primære biocid og normalt i kombination med mindre mængder organiske co-biocider for at få en bredspektret effekt mod den marine begroning [1,2].

Miljølovgivning og besparelser skaber fremdrift

For 20 år siden blev en antifouling-maling anset som værende god, så længe den holdt skibsbunden ren. I dag ser vi også på det miljømæssige aftryk, som bundmalingerne efterlader. Inden for EU er antifoulingmalinger reguleret gennem The Biocidal Product Regulation (BPR), som kræver, at alle antifoulingmalinger skal opnå godkendelse, før de frigives til det europæiske marked. Godkendelsesprocessen involverer en miljørisikovurdering, der blandt andet omfatter, at fabrikanter indsender frigivelseshastigheder for biocider i malingen [3]. Det har skabt øget

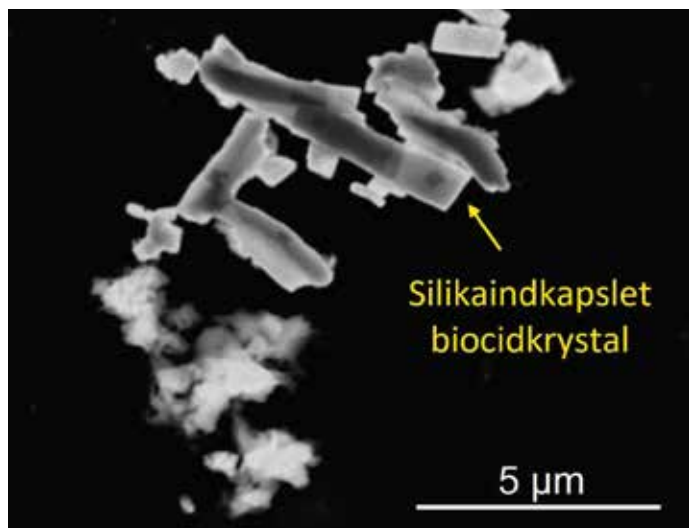
fokus på at opnå en effektiv biociddosering gennem kontrollede frigivelsessystemer. Ved en optimal udnyttelse af biocidet opnås desuden en besparelse, da biocider er dyre ingredienser.

Biocidindkapsling - en mere miljøvenlig løsning

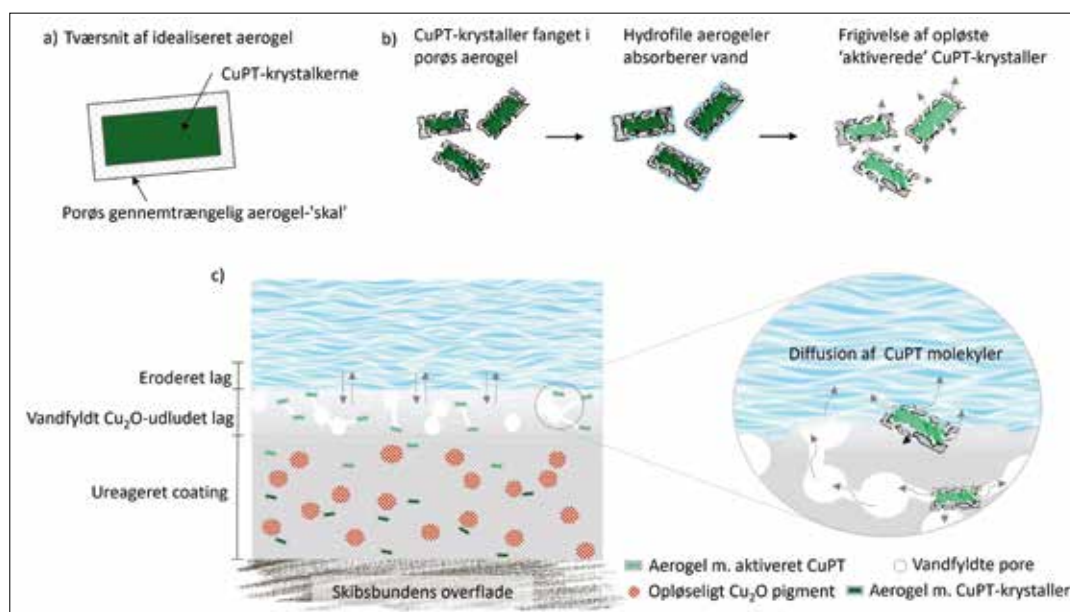
Den danske virksomhed EnCoat ApS har udviklet en indkapslingsteknologi baseret på silika-aerogeler, der kan reducere det samlede biocidbehov i traditionelle antifoulingmalinger. En aerogel er et meget let materiale, som primært består af luft (heraf navnet), og en meget høj porøsitet gør, at materialet egner sig godt til såkaldte "controlled release"-systemer. For at opnå en bedre forståelse af de bagvedliggende mekanismer, og derved bidrage til udviklingen af et optimeret malingsystem med langvarig beskyttelse, er aerogelerne blevet grundigt karakteriseret. Det er gjort gennem et forskningsprojekt i samarbejde mellem EnCoat ApS og DTU CoaST (The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre). På figur 2 ses et elektronmikroskopi-billede af et silika aerogel-indkapslet co-biocid, kobber pyrithion (CuPT). Silika-aerogelerne danner et nanometer-tyndt og porøst lag omkring de enkelte rektangulære CuPT biocidkrystaller [4].

Figur 3a viser en skematisk illustration af det indkapslede co-biocid (kobber pyrithion), der tilføjes som et additiv til bundmalingen. Biocidkrystallerne er effektivt fanget inde i strukturen af silika-aerogelen (figur 3b). Gelens hydrofile egenskaber tiltrækker havvand, som fylder porenetsværket, hvilket over tid skaber et lokalt vandmiljø omkring biocidkrystallen. Med en hastighed, der afhænger af opløselighed, hydrofobicitet, diffusivitet og nedbrydning af aerogel-strukturen, vil det opløste biocid blive frigivet. Aerogelens hydrofile egenskaber øger "opholdstiden" for opløsning af de svært havvandsopløselige CuPT-krystaller, hvilket tillader den maksimalt mulige biocidkoncentration på malingsoverfladen.

Derudover sikrer aerogel-skallen omkring de faste CuPT-krystaller, at kun opløste CuPT-molekyler diffunderer ud gennem aerogelens porer. Figur 3c viser frigivelsesmekanismerne bag den aerogel-baserede antifouling-coating. De indkapslede CuPT-krystaller og de opløselige pigmenter (for eksempel Cu_2O) er fordelt i hele bindemiddelsmatricen. Når malingsfilmen udsættes for havvand, begynder bindemiddelsmatricen og de opløselige pigmenter at reagere med ioner fra havvandet, hvorved der skabes et porøst pigmentudludt lag yderst i malingsfilmen. Kun aktiveret CuPT diffunderer ud gennem det



Figur 2. Elektronmikroskopi-billede (STEM) af silika-aerogel-indkapslet biocidkrystaller (kobber pyrithion). Gentryk fra [4] med tilladelse.



Figur 3. (a) Skematisk illustration af CuPT krystaller indkapslet i silika-aerogelmatrice. (b) Mekanismen bag aerogeler og frigivelsen af aktivstoffer, som kobber pyrithion (CuPT). (c) Tværsnit af havvandseksponeret maling baseret på aerogel-indkapslet CuPT. Gentryk fra [4] med tilladelse.



Figur 4. Paneler med aerogel antifouling-coatings, monteret i stålrammer og klar til at blive nedsænket i havvand.

udludede lag og giver biocidbeskyttelse på malingens overflade. Desuden eroderer malingen i overfladen (dvs. lagtykkelsen på malingen reduceres), når bindemiddelsmatricen er blevet tilstrækkelig vandopløselig og frigives til havvandet. På den måde assisteres frigivelsen af biocider fra malingen.

Test af beskyttelsen i et naturligt havmiljø

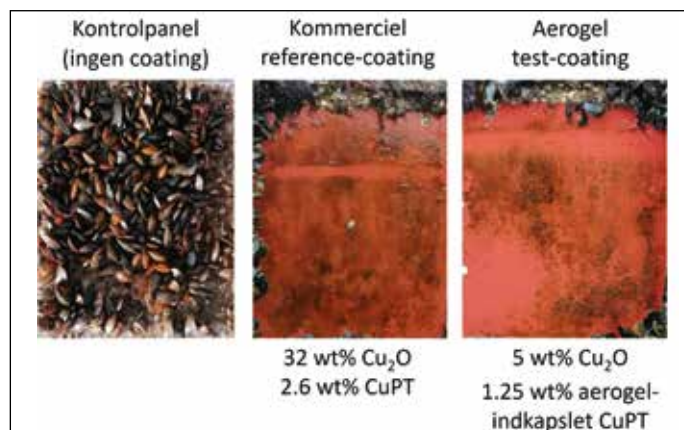
Hvor godt aerogelmalingerne beskytter mod marin begroning sammenlignet med antifouling-coatings, der har et højt biocidforbrug, er blevet testet statistisk under maritime havforhold. Malingerne påførtes testpaneler for efterfølgende at blive nedsænket i havvand ved CoaST Maritime Test Center (CMTC) i Hundested Havn, Danmark. En uddybende beskrivelse af CMTC kan læses i [5]. Se eksempel på de coatede paneler i figur 4.

Den såkaldte antifouling-performance (dvs. evnen til at beskytte mod marin begroning) bedømmes ved at vurdere typen og graden af begroning på de eksponerede antifoulingmalinger hen over en sejlsæson. Afgivelsen af aktivstoffer, og dermed den generelle antifouling-performance af malingerne, er stærkt afhængig af havvandets temperatur og saltindhold. I eksponeringsperioden fra april til november 2021 varierede parametrene i intervallerne 8-25°C og 15-21‰.

Figur 5 viser, at en aerogel-indeholdende antifouling-coating med en lav biocidkoncentration udviser lige så høj beskyttelse mod marin begroning som den kommercielle antifouling-coating med mere end fire gange så meget biocid. På begge de coatede paneler (kommerciel og test) blev der kun observeret et tyndt lag slim, men der var hverken makroalger, rurer eller muslinger som på kontrolpanelet efter syv måneders eksponering. Hård fouling, såsom rurer og muslinger, betragtes generelt som værende mere problematisk for skibsindustrien i forhold til slim og alger, der til en vis grad vaskes af, når skibet sejler. Den store reduktion i biocidindholdet opnås for aerogel-coatingen grundet mere effektiv dosering og levering af co-biocidet CuPT. En øget udnyttelse af CuPT skaber kombinationseffekter med Cu₂O biocidet, der samlet set er større end virkningerne af de enkelte biocider [6]. Derfor kan forbruget af Cu₂O også reduceres i en aerogel-maling uden at miste den høje beskyttelseseffekt mod den marine begroning.

Fremtiden for antifouling-coatings

Indkapslingsteknologien gør det muligt at reducere det totale biocidforbrug i nutidens traditionelle antifouling-coatings betragteligt gennem kontrolleret og effektiv biociddosering. Og det uden at gå på kompromis med det primære formål af antifou-



Figur 5. Billeder af paneler efter syv måneders statistisk eksponering i havvand ved CoaST Maritime Test Center i Hundested Havn. Kontrolpanel (venstre), kommerciel reference-coating (midten) og test-coating med aerogel-indkapslet CuPT. Mængden af biocid-komponenter er indikeret under hvert panel. Begronings vedhæftningsevne er blevet testet ved forsigtigt at bevæge en finger tværs over panelernes overflade (ses som lyse striber på billederne).

ling-coatings, som er at beskytte skibet mod begroning. Ud over at et minimeret biocidforbrug beskytter verdenshavene, hvilket er i overensstemmelse med en af de globale bæredygtighedsmål (SDG 14), så er der også en økonomisk gevinst. Den nye forståelse af frigivelsesmekanismerne i en antifouling-coating med indkapslet CuPT er værdifuld i forhold til arbejdet med udvikling af nye og effektive malingsformuleringer. Interaktionen mellem et kontrolleret indkapslingssystem, mekanismerne i antifouling-coatings samt indflydelsen fra havvandtemperatur, pH, saltindhold og sejlhastighed gør dog fortsat den overordnede forståelse af selve malingen kompleks. Derfor arbejdes der stadig på at afklare, hvordan de forskellige ingredienser og deres parametre påvirker hinanden. Derudover udvikles indkapslingsteknologien også til andre co-biocider, som har anderledes fysiske og kemiske egenskaber end kobber pyrithion.

Tak til Innovationsfond Danmark for økonomisk støtte til erhvervsforskerprojektet, som har været et samarbejde mellem CoaST (The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre) ved DTU Kemiteknik og EnCoat ApS.

E-mail:

Tenna Frydenberg: tlf@encoat.dk

Referencer

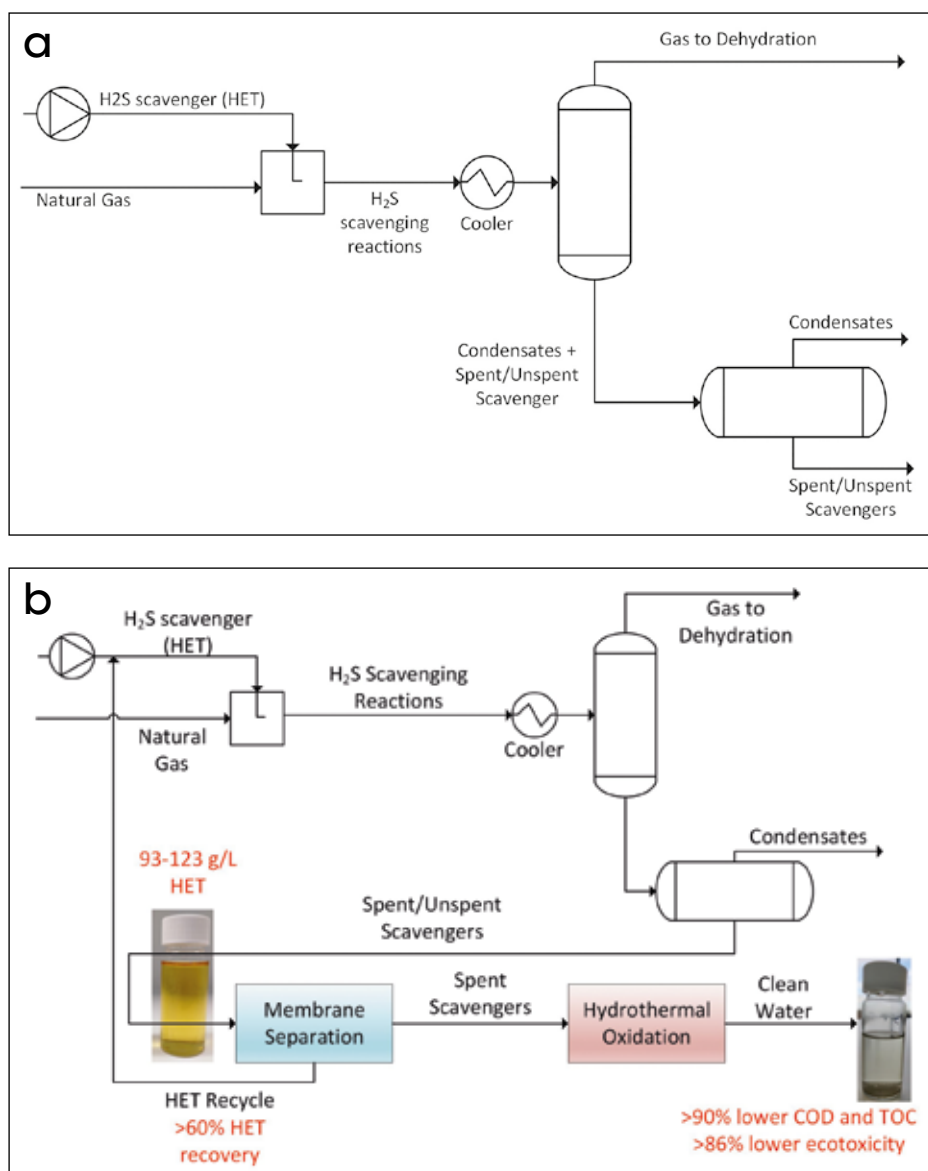
1. Maureen E. Callow and James A. Callow, Marine biofouling: a sticky problem, *Biofouling*, 49.1 (2002), 1-5.
2. Diego M. Yebra, Søren Kiil and Kim Dam-Johansen, Antifouling technology-past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings, *Progress in organic coatings* 50.2 (2004), 75-104.
3. E.J.O.J.E.U.L. Union, Regulation (EU) No 528/2012 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products, *Official Journal of the European Union L*, 167 (2012), 1-116.
4. Tenna Frydenberg, Claus E. Weinell, Kim Dam-Johansen, Eva Wallström and Søren Kiil, Characterization and Release Mechanisms of Aerogel-Encapsulated Biocide Crystals for Low-Loading and High-Utilization Antifouling Coatings. *ACS Omega* (paid open access) 7.39 (2022), 34824-34838.
5. Weinell et al. "Forskning i bæredygtige begroningshindrende bundmalinger", *Dansk Kemi*, nummer 1, februar 2022.
6. Tenna Frydenberg, Claus E. Weinell, Kim Dam-Johansen, Eva Wallström, and Søren Kiil. Silica aerogel-encapsulated biocide crystals for low-loading antifouling coatings: rheology, water absorption, hardness, and biofouling protection. *J Coat Technol Res* (2022), <https://doi.org/10.1007/s11998-022-00713-y>.

Genindvinding og forbedret rensning af H₂S scavenger ved offshore olie- og gasproduktion

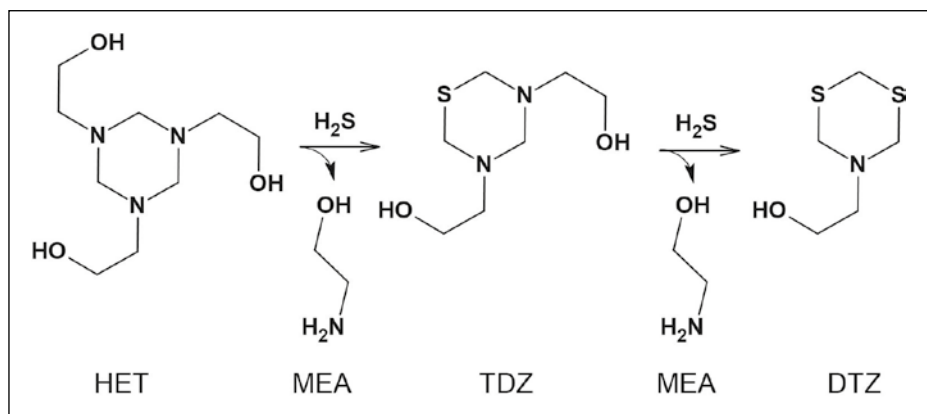
En ny proces baseret på nanofiltrering og hydrotermisk oxidation kan genindvinde ikke-forbrugte triazinbaserede kemikalier brugt til H₂S-fjernelse og rense permeatet, inden det udledes til havmiljøet.

Af Jens Muff, Alaa Khalil, Nikolaos Montesantos og Marco Maschietti, Section of Chemical Science and Engineering, Department of Chemistry and Bioscience, Aalborg University

Svovlbrinte (H₂S) er et ekstremt giftigt, brændbart og korrosivt stof, som findes i den blanding af gas, olie og vand, som indvindes fra undergrunden i forbindelse med produktion af olie og naturgas. Til beskyttelse af rør og installationer mod korrosion, samt for sikkerheds- og miljømæssige hensyn skal koncentrationen af H₂S i naturgas reduceres, typisk til under 4 ppm. I offshore olie- og gasproduktion fjernes H₂S ofte ved injektion af kemikalier, kaldet



Figur 1. (a) Boksdiagram for nuværende tilsætning af scavenger i naturgasstrømmen nedstrøms 3-fase separatoren, (b) skitse af den foreslåede proces.

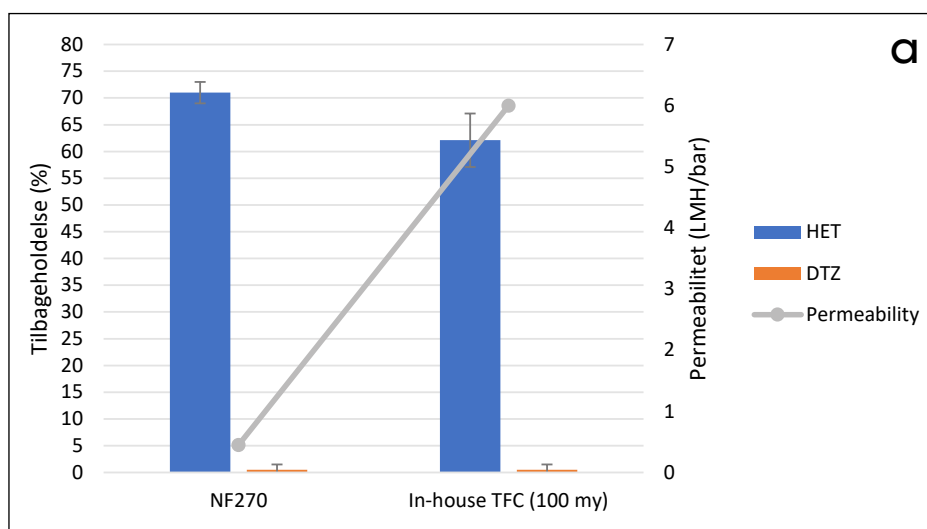
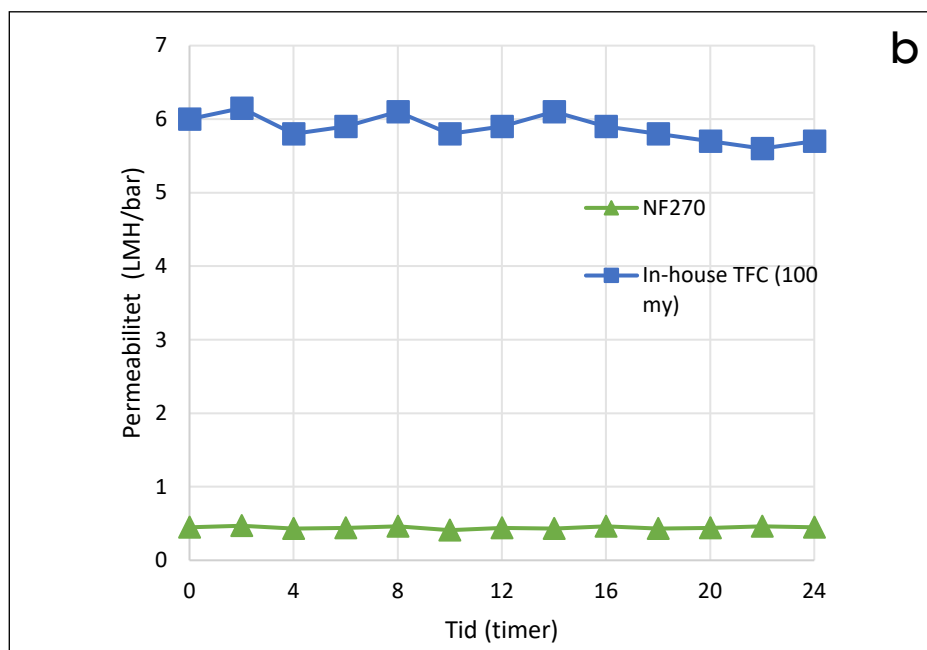


Figur 2. Scavenging-reaktion [1].

H_2S scavengers, som omdanner H_2S til væsentligt mindre skadelige stoffer. Typisk tilsættes den anvendte scavenger i naturgasstrømmen nedstrøms

den primære gas-olie-vand separation (processen er skitseret i figur 1a).

Den H_2S scavenger, der bruges i den danske del af Nordsøen, er en basisk



Figur 3. Nanofiltrering af scavenger-spildevand med NF270 (Filmtech) og en in-house syntetiseret nanofiltreringsmembran. (a) Tilbageholdelse af HET og DTZ og permeabilitet. (b) Permeabilitet ved filtrering over 24 timer [2,3].

vandig opløsning (30-60 wt%) af 1,3,5-tris-(2-hydroxyethyl)-hexahydro-s-triazin (HET). Opløsningen dispergeres i naturgassen, hvorefter H_2S absorberes i dråberne og reagerer med HET i vandfasen (scavenging-reaktionen med HET er vist i figur 2). Det alment accepterede reaktionsforløb er to på hinanden efterfølgende substitutioner af nitrogen med svovl i triazin-ringen ved frigivelse af et mono-ethanolamin (MEA) molekyle for hvert trin.

HET, MEA og 5-(2-hydroxyethyl)hexahydro-1,3,5-dithiazin (DTZ) kan findes i industrielle prøver efter reaktionen (såkaldt spent scavenger), mens mellemproduktet 3,5-bis-(2-hydroxyethyl)hexahydro-1,3,5-thiadiazin (TDZ) typisk ikke kan detekteres.

Industriel praksis er at tilsætte HET i stort støkiometrisk overskud for at forøge reaktionshastigheden og sikre, at H_2S elimineres. Det betyder, at den vandfase, der separeres fra naturgassen nedstrøms injektionspunktet, indeholder væsentlige mængder ikke-reageret (unspent) HET (93-123 g/L målt i fem forskellige prøver) og reaktionsprodukterne DTZ (17-47 g/L) og MEA (30-40 g/L) (spent scavengers), hvilket udgør en karakteristisk spildevandsstrøm meget høj i COD (op til 320 g/L) [1]. Selvom volumen af denne strøm er lille i forhold til den totale mængde af produceret vand, er håndteringen problematisk på grund af risiko for udfældninger forårsaget af potentiel polymerisering af DTZ [2]. Det er derfor ikke ualmindeligt, at denne spildevandsstrøm udledes ubehandlet til recipienten på grund af manglende brugbare alternativer.

HET er i forbindelse med brug offshore klassificeret som værende et såkaldt "gult" kemikalie (jf. the Harmonized Offshore Chemical Notification Format), hvilket betyder, at kemikaliet generelt kan udledes, selvom det kan udgøre en risiko for havmiljøet. HET er desuden et dyrt kemikalie, og op til 50 procent af de samlede omkostninger til kemikalieforbrug offshore går til H_2S scavenging. Der er dermed både et miljømæssigt og et økonomisk incitament til at genindvinde og recirkulere ikke reageret triazin (unspent scavenger) og rense den resterende spildevandsstrøm.

I forskningsprojektet ZeroH2S, som er støttet af forskningscenteret Danish Offshore Technology Centre, har vi demonstreret proof-of-concept for en proces, hvor en væsentlig del af HET genindvindes fra spildevandsstrømmen ved nanofiltrering, og hvor permeatet fra filtreringen renses ved hydrotermisk oxidation (processen er skitseret i figur 1b).

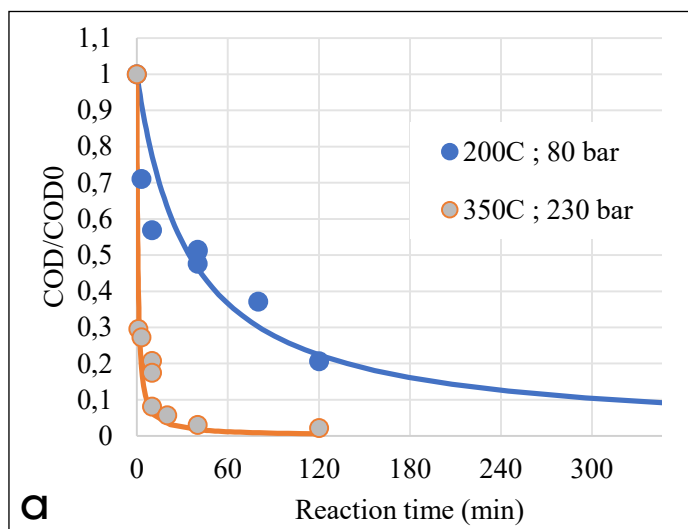
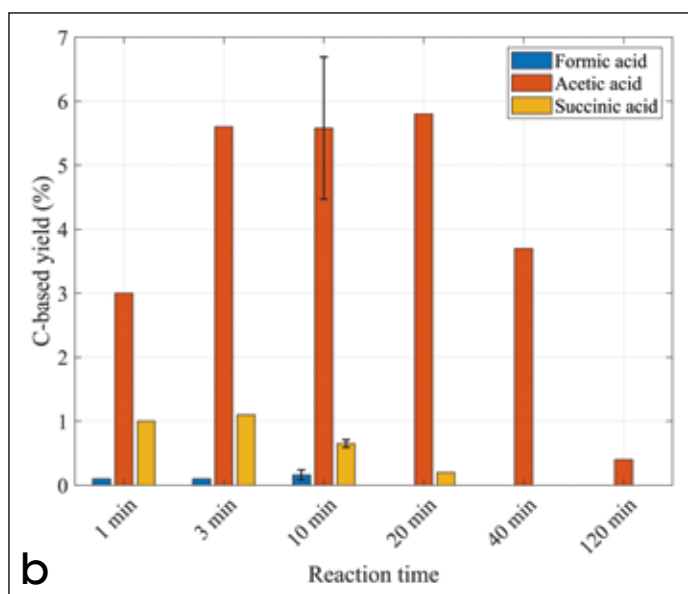
Genindvinding af HET

Screening af et udvalg af kommercielt tilgængelige nanofiltreringsmembraner og en lavtryks omvendt osmose membran viste, at den udbredte NF270 nanofiltreringsmembran fra Filmtech ved et recovery på 50 procent og en permeabilitet på 0,45 LMH/bar kan tilbageholde HET med ~71 procent, mens der ingen målbar tilbageholdelse (< 0,5 procent) er af det primære reaktionsprodukt DTZ [3,4] (se figur 3a på side 13).

Filtreringstest over 24h giver en stabil flux (figur 3b), som stemmer overens med den lave ledningsevne for spildevandet, der kun indeholder få ioner i lave koncentrationer, og således har et lavt fouling- og scalingpotentiale, når DTZ filtreres fra. Igangværende forskning undersøger, hvorvidt separationen af HET fra DTZ kan forbedres ved at modificere nanofiltreringsmembranen. Indtil videre har ændring af membranens tykkelse kunne forøge permeabiliteten op til 6 LMH/bar og bibeholde næsten samme separation af HET og DTZ [4], og der arbejdes videre med at undersøge effekten af forskellige additiver til membranens filtreringslag.

Rensning af permeat

Hydrotermisk oxidation er en vandrensningsteknologi, hvor



Figur 4. Hydrotermisk rensning af permeat. (a) Relativ fjernelse af COD som funktion af reaktionstid. (b) Eksempel på forekomst af karboxyl-syre mellemprodukter ved 350°C og 230 bar [1].

tryksat atmosfærisk luft eller anden ilt-kilde bruges som oxidationsmiddel i en proces under forhøjet temperatur og tryk. Den hydrotermiske oxidation kan afhængig af temperatur, tryk og reaktionstid reducere COD i spildevandet op til 98 procent (se figur 4a).

Ved en for processen forholdsvis lav temperatur (200°C) og moderat tryk (80 bar) blev COD reduceret 43 procent i løbet af 10 minutter, mens nærkritiske betingelser (temperatur: 350°C; tryk: 230 bar) reducerede COD med 80 procent [1]. Øget reduktion blev fundet ved længere reaktionstid, og spildevandets hovedbestanddele, HET, DTZ og MEA, blev omdannet inden for 1 minut. Oxidationsprocessen resulterede i fuldstændig mineralisering af organisk nitrogen og sulfat til primært ammonium og sulfat. Slutprodukter fra reaktionen er desuden molekyllært nitrogen (N_2) og kuldioxid. Resterende kulstof (4-8 procent udbytte baseret på kulstofbalancen) er som mellemprodukter bundet i kortkædede bionedbrydelige karboxylsyrer såsom myresyre, ravsyre og eddikesyre, hvor fordelingen afhænger af reaktionsbetingelserne (se figur 4b [1]). Også som mellemprodukter identificeres pyradiner og pyraziner i lave koncentrationer, der dog ligeledes nedbrydes ved øget reaktionstid. Sammenlignet med det ubehandlede spent scavenger spildevand reducerer den hydrotermiske rensning spildevandets økotoxicitet overfor bakterier med mere end 91 procent og mellem 48 til 86 procent overfor alger, igen afhængig af reaktionsbetingelser [5].

Potentialet

Processen er dokumenteret i laboratoriet, og de detaljerede data kan findes i artiklerne i referencelisten. Næste skridt er at demonstrere processen i pilotskala, hvilket der, i samarbejde med det danske firma Aquarden, som er specialiseret i højtryks- og højtemperatur (HTHP)-processer, søges støtte til, kan ske i 2023-24. Samtidig skal scavenging-potentialet af HET-koncentratet fra membranfiltreringen undersøges, og membranens egenskaber videreudvikles, så separationen af HET fra DTZ forøges. På sigt er målet, at forbruget af kemikalier til offshore fjernelse af H_2S reduceres væsentligt til gavn for både miljø, i form af reduceret udledning af kemikalier til havmiljøet og mindsket CO_2 -aftryk til kemikalietransport og færre udgifter til kemikalier for operatørerne.

E-mail:

Jens Muff: jm@bio.aau.dk

Referencer

- Montesantos, N., Nikbakht Fini, M., Muff, J., & Maschietti, M. (2022). Proof of concept of hydrothermal oxidation for treatment of triazine-based spent and unspent H_2S scavengers from offshore oil and gas production. *Chemical Engineering Journal*, 427, [131020]. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131020>.
- Wylde, J.J., Taylor, G.N., Sorbie, K.S., Samaniego, W.N., (2020) Formation, chemical characterization and oxidative dissolution of amorphous polymeric dithiazine (apDTZ) during the use of the H_2S scavenger monoethanolamine-triazine, *Energy Fuels* 34 (8), 9923-9931, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01402>.
- Nikbakht Fini, M., Montesantos, N., Maschietti, M., & Muff, J. (2021). Performance evaluation of membrane filtration for treatment of H_2S scavenging wastewater from offshore oil and gas production. *Separation and Purification Technology*, 277, [119641]. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119641>.
- Khalil, A., Montesantos, N., Maschietti, M., & Muff, J. (2022). Facile fabrication of high performance nanofiltration membranes for recovery of triazine-based chemicals used for H_2S scavenging. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), [108735]. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108735>.
- Montesantos, N., Skjold, L.M., Baun, A., Muff, J. & Maschietti, M. (2023). Reducing the environmental impact of offshore H_2S scavenging wastewater via hydrothermal oxidation. *Water Research*, 230, [119507]. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119507>.

Videnskabsklubben kickstarter kemiinteressen

For at udbrede interessen for kemi udbyder Videnskabsklubben kemiforløb til grundskolernes 4.-5. klassesetrin.

Af Hanne Christine Bertram,
hcb@techmedia.dk

Det har længe været bragt på banen, at hvis man skal få de unge til at gå naturvidenskabens vej i forbindelse med uddannelse- og karrierevej, skal man skabe interesse for naturvidenskab og kemi hos dem tidligt. Hvilke reelle tiltag er der så for at få de yngste til at interessere sig for naturvidenskab og kemi? Videnskabsklubben, der er en nonprofitorganisation (NGO), arbejder for at fremme børn og unges forhold til naturvidenskab. Og succesen er synlig: I løbet af 2022 deltog næsten 800 skolebørn i Videnskabsklubbens tilbud, og mange måtte nøjes med en plads på venteliste.

Inspiration fra udlandet var startskuddet

Videnskabsklubben er inspireret af et lignende initiativ i USA, der hedder "Science Club for Girls". Kendskabet til



Foto: Lars Svankjær

konceptet opstod ved, at en af Videnskabsklubbens stiftere, Rikke Schmidt

Kjærgaard, stødte på det, da hun boede i USA i forbindelse med et forskningsophold. I USA endte Rikke Schmidt Kjærgaards egen datter med at deltage i "Science Club for Girls", og Rikke Schmidt Kjærgaard blev betaget af konceptet. Så i 2014 blev Videnskabsklubben skabt af Rikke Schmidt Kjærgaard og Petrine Wellendorph, der begge er topforskere på hvert deres felt og medlemmer af Det Unge Akademi under Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. På det tidspunkt fandtes der ikke noget lignende i Danmark, og Videnskabsklubben er fortsat helt unik i dansk kontekst.

Hvad går Videnskabsklubben ud på?

Videnskabsklubben tilbyder børn i 4.-6. klasse at gå til videnskab i fritiden. Tilbuddet svarer ganske enkelt til, at man i sin fritid kan gå til for eksempel fodbold, spejder eller ridning. Bør-



Foto: Lars Svankjær



Foto: Lars Svankjær

nene, der deltager i videnskabsklubben, kaldes "miniforskere", som afspejler, at tilgangen og filosofien er, at børnene skal få både kendskab til og interesse for at udforske videnskabelige fænomener. Videnskabsklubben har leg, læring og nysgerrighed i centrum. Der udbydes en række af emner, der varierer fra biodiversitet til materialefysik og mikrobiologi. Børnene vælger et emne, som de så går til i syv uger i efteråret - én dag om ugen, igen ligesom mange andre fritids-tilbud for børn. Det er gratis for børn at deltage i Videnskabsklubben.

Forløbet i kemi

Videnskabsklubben udbyder også et

I 2022 blev der udbudt 66 Videnskabsklubber i 30 danske byer. Det er planen, at der skal udbydes hold i alle kommuner med et gymnasium inden for fire år, hvilket vil svare til 91 Videnskabsklubber. Videnskabsklubben har i 2022 kunnet udbyde næsten 800 pladser til 4.-6. klasses elever, og der er yderligere 500 børn på venteliste.

Videnskabsklubben finder sted hvert år fra uge 43 til 49, begge uger inklusive, på gymnasier i hele landet.

Det er gratis at deltage i Videnskabsklubbens tilbud. Videnskabsklubben er finansielt støttet af fonde og enkelte virksomhedssponsorater, dog først og fremmest af Novo Nordisk Fonden.

Læs mere om Videnskabsklubben på deres hjemmeside: www.videnskabsklubben.dk/.

emne om kemi. Programmet om kemi er udviklet af forskere fra Kemisk Institut på Københavns Universitet og blev implementeret og kørt første gang i 2022. I spidsen for udviklingen af kemiforløbet står professor Thomas Just Sørensen, der sammen med ph.d.-studerende Lea Gundorff Nielsen har udviklet træningsmanualen og instrukserne til forløbet. Forløbet, der skal kunne gennemføres i et almindeligt klasseværelse, tager udgangspunkt i det periodiske system, og deltagerne i forløbet bliver introduceret for begreber som grundstoffer og kemiske bindinger.

- Gennem forløbet lærer eleverne blandt andet om, hvorfor olie og vand ikke kan blandes, de hører ord som vandelskende og hydrofob, som de ellers normalt ikke vil støde på i det danske sprog, forklarer professor Thomas Just Sørensen. Eksperimenterne og de kemiske reaktioner, der indgår i forløbet, er baseret på forbindelser, som man støder på i hverdagen og som eleverne således har et vist forhold til, for eksempel vand, sukker, vitamin C og sæbe.

- For mange elever er det at klæde sig i en laboratoriekittel og få lov til at arbejde med reagensglas og pipetter en stor og spændende ting, fortæller professor Thomas Just Sørensen.

I 2022 har forløbet været udbudt på i alt 12 gymnasier. Det nye kemiprogram har været ekstremt populært, og alle kemihold har lange ventelister. Holdet på Vibenshus Gymnasium har 53 på venteliste. Der er plads til 12 børn på et hold. I 2023 forventes kemiforløbet at blive udbudt på i alt 15 gymnasier rundt i landet.

I december 2022 udpegede Dronning Margrethe Videnskabsklubben som modtager af den prestigefulde Amalienborg-pris i anerkendelse af klubbens arbejde med at udbrede naturvidenskab til børn og unge. Prisen gives for en ekstraordinær videnskabelig eller kulturel indsats, og er kun blevet givet 14 gange tidligere over en periode på 50 år.



Foto: Lars Svankjær

Undervisningsform og virkemidler

Det helt særlige ved Videnskabsklubben er, at det er ældre elever fra gymnasiet og folkeskolens ældste klasser, der underviser børnene. Som udgangspunkt er der faktisk adgang forbudt for voksne i Videnskabsklubben. Det giver et helt særligt læringsrum uden præstationspres, fordi der ikke er nogle lærere til at vurdere eller give karakterer, og fordi de ældre elever (som også kaldes mentorer) kan undervise børnene i øjenhøjde og er lette for børnene at relatere til. De er, med andre ord, opnåelige rollemodeller. På engelsk kalder man denne tilgang "peer to peer"-undervisning, og det er videnskabeligt dokumenteret, at det har en stor effekt på børnenes interesse for naturvidenskab.

Stærke bånd knyttes

I Videnskabsklubben er der ingen læringsmål eller konkurrence, og der er ingen faglige eller andre krav for at være med. Udgangspunktet og kulturen er, at det primært handler om at have det sjovt og være nysgerrige sammen. Det helt særlige interessefællesskab, der opstår mellem ældre og yngre elever, gør, at rigtig mange vælger at komme igen år efter år. En betragtelig andel af Videnskabsklubbens mentorer har selv været miniforskere i Videnskabsklubben.

Metanols nedbrydning af epoxy- og polyuretanmaling

For at beskytte kemisk sårbare substrater mod korrosive kemikalier anvendes specialmaling, der danner en svært gennemtrængelig fysisk barriere. Men holder malingerne til metanol?

Af Søren Kiil, Claus E. Weinell og Ting Wang, The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Center (CoaST), DTU Kemiteknik

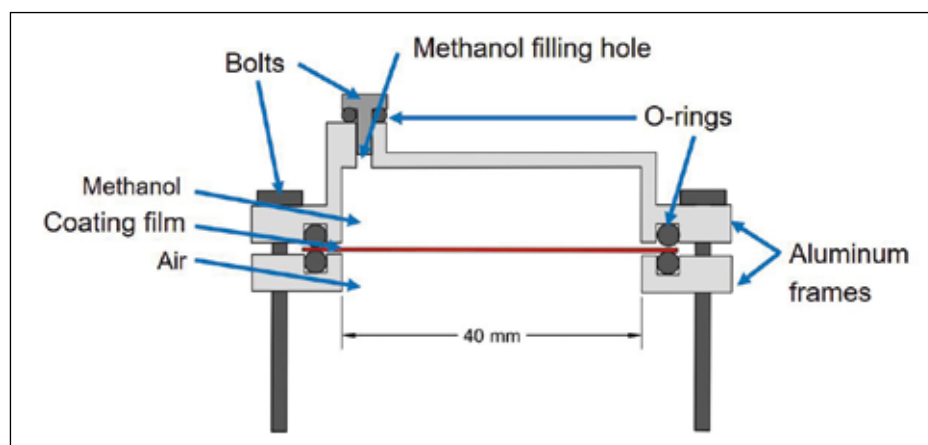
I den kemiske og maritime industri støder man på betingelser, der kræver nøje valg af konstruktionsmaterialer og anvendelse af overfladebeskyttelse. For metalliske strukturer i aggressive miljøer som saltopløsninger, syrer og baser, eller organiske kemikalier, vil man ofte vælge påføring af flere lag højtydende organiske coatings. Kendte eksempler på industrielle maling, til for eksempel stålskroget i fragtskibe, er tokomponent epoxy og polyuretan coatings, der hærdet kemisk under og efter påføring og danner en barriere med en høj krydsbindingsdensitet. Generelt kan man sige, at epoxybaseret maling sikrer god vedhæftning til substratet og yder beskyttelse mod kemikalier, mens polyuretan er kendt for sin modstandsdygtighed over for sollys. Imidlertid kan kontakten med nogle kemikalier, især hvis den er langvarig, nedbryde malingerne. Produktets levetid afhænger af kemikaliernes gennemtrængningshastighed, men også af eventuelle kemiske reaktioner med malingskomponenterne, hvor især bindermaterialer (polymer-netværk) kan være udsatte. I denne sammenhæng, som et af den kemiske industris mest anvendte råmaterialer og opløsningsmidler, er metanol vigtig. Desuden må det forventes at fremtidig Power-to-X teknologi vil lede til yderligere produktion af netop metanol med henblik på udnyttelse som brændstof i for eksempel skibsmotorer [1].

Typisk transporteres kemikallet med fragtskib, hvor det opbevares i coatede ståltanke, og der har været eksempler

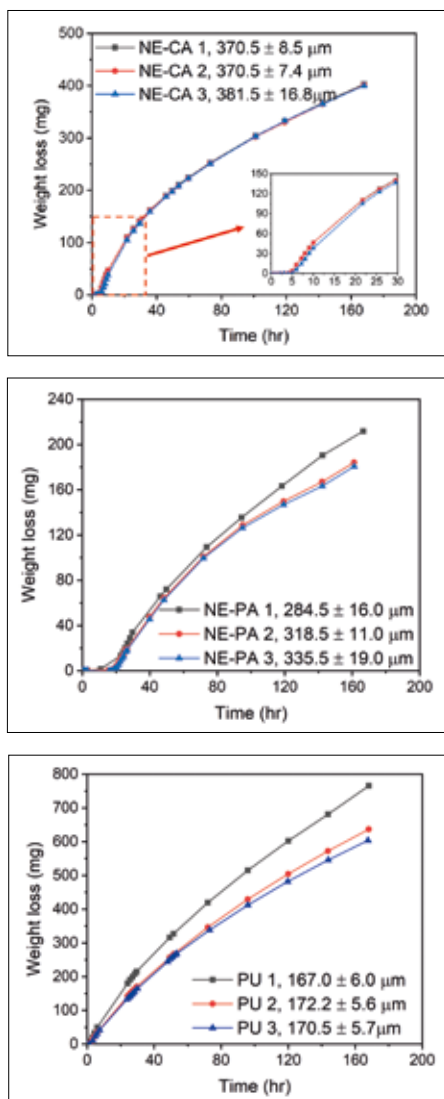


på, at malingerne ikke er tilstrækkelig modstandsdygtige. I indeværende artikel, som er en opsummering af de vigtigste resultater på området fra Ting

Wangs ph.d.-afhandling [2], ser vi nærmere på nedbrydningsmekanismerne. Detaljer kan også findes i publikationen Wang et al. [3].



Figur 1. Tværsnit af celle til måling af gennemtrængningshastigheden af metanol i maling ("coating film" i figuren). Alkoholen påfyldes som væske (12,5 ml) i toppen af cellen og fordamper fra den nedadvendte malingsoverflade. Undervejs måles cellens vægftab. Gengivet fra [3] med tilladelse fra Springer.



Figur 2. Metanolvægttab fra celle med følgende coatings: (øverst) novolac epoxy hærdet med en cyclo-alfatisk amin (NE-CA), (midte) novolac epoxy hærdet med en polyamid (NE-PA) og (nederst) polyuretan (PU), dannet ved reaktion mellem en polyol og en isocyanat. For NE-CA er også vist et forstørret billede (rødt rektangel) for de første 30 timer. Filmtykkelse er angivet i figurene. Gengivet fra [3] med tilladelse fra Springer.

Hvorfor er metanol så aggressivt?

Metanol, CH_3OH , er et lille polært molekyle, der har let ved at diffundere ind i de fleste organiske materialer som plastik og maling. Derudover gør de fysiske egenskaber, at molekylet har relativt let ved at inducere kvældning og blødgøring og for maling svække vedhæftningsegenskaberne mellem coating og substrat. I øvrigt gør det høje dipolmoment (1,67 Debye mod vands 1,84), at metanol, inklusive opløste urenheder, er i stand til at påtrykke galvanisk korrosion af metalsubstrater, som over tid kan lede til svigt af for eksempel tanke af kulstofstål. For at undgå den galvaniske korrosion anvendes svært krydsbundet epoxymaling i to til tre lag (i alt omkring 300 μm), som en ikke-ledende barriere mellem ståltank og metanol.

Diffusionscelle, reologi og malingsprøver

I vores laboratorieforsøg blev anvendt to solventfri såkaldte novolac epoxy (NE) malinger, hærdet med henholdsvis en cycloalfatisk amin (CA) og en polyamid (PA), samt en solvent-baseret polyuretan (PU) maling [3,4]. Alle coatings, ud over fyldstoffer som kvarts og talkum, indeholdt TiO_2 pigment. Med henblik på sammenligning blev der også målt på en poly(metylmetylacrylate) referencefilm.

Til diffusionsforsøgene anvendte vi en specialdesignet et-kammer celle som vist i figur 1 på side 17. Under et forsøg diffunderer metanolmolekyler gennem malingsfilmen og fordampes fra den anden side, og det leder til et vægttab af cellen, som registreres. I alle tilfælde var fordampningshastigheden væsentligt højere end diffusionshastigheden, og massetransportmodstanden for metanol fra malingsoverflade til luft kunne derfor negligeres.

For at kvantificere de reologiske egenskaber af malingerne under eksponering

gen anvendte vi et avanceret reometer med en opvarmningshastighed på $5^\circ\text{C}/\text{minut}$ [3]. Desuden, for at identificere potentielle ændringer i sammensætningen af metanol-væskeprøverne, udførte vi gaskromatografi med tilhørende massespektrometri [3].

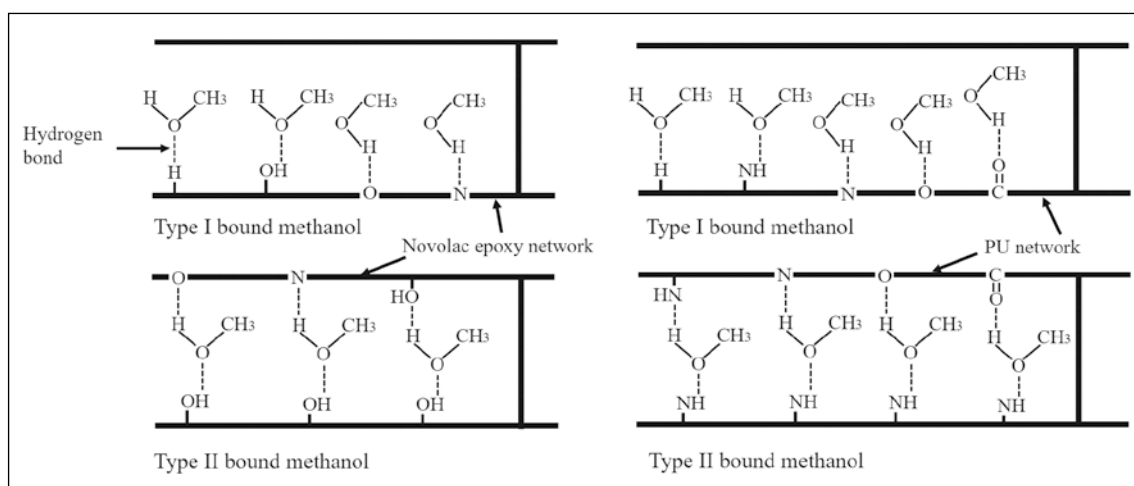
Resultater af undersøgelsen

Gennemtrængningshastigheder af metanol

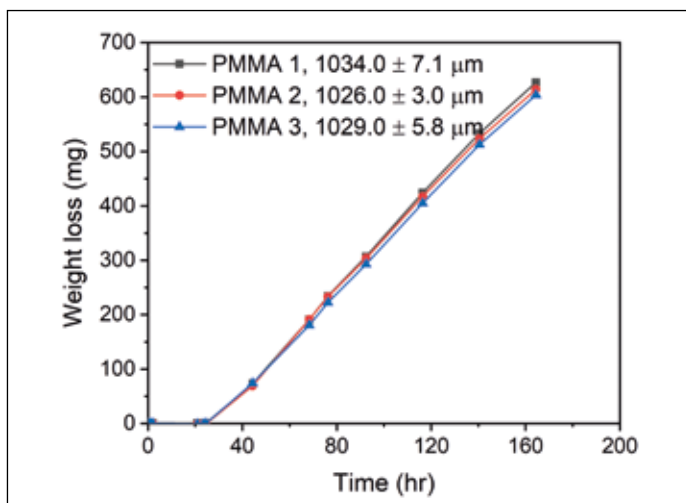
I figur 2 er vist, hvordan cellens vægttab varierer over tid og dermed, hvor gode (eller dårlige) epoxy- og polyuretan-malingerne er til at holde metanol tilbage. For epoxymalingen NE-CA begynder vægttabet efter fem timer og svarer altså til den tid, det tager metanol at trænge igennem. Efter gennembrydningen ses en lineær stigning i vægttabet, men efter ti timer begynder fordampningshastigheden at falde. For den anden epoxy, NE-PA, og polyuretan, PU, malingerne ses en lignende tendens, men med forskellige diffusionshastigheder.

Den over tid faldende gennemtrængningshastighed kan forklares med en kombination af to faktorer: 1) udludning af solventer og blødgørere og 2) fysisk krydsbinding af Type II bundet metanol som illustreret i figur 3. Analogt til vand kan metanol etablere multiple hydrogenbindinger til epoxy-netværket og antallet af bindinger afgør, om der er tale om såkaldt Type I bundet metanol (en enkelt binding) eller Type II (to bindinger). Type I bindinger blødgør netværket i form af en reduceret glasovergangstemperatur [3], mens Type II bindinger, såkaldt fysisk krydsbinding, danner forbindelser mellem kædesegmenter og begrænser de molekylære bevægelser. Efter længere tids eksponering stiger andelen af Type II bindinger [2,3].

For PU-film derimod, går fordampningen langt hurtigere (figur 2, nederst) fordi der kun dannes Type I bindinger.



Figur 3. Potentielle metanolkomplekser dannet i novolac epoxy (venstre) og polyuretan (højre) netværk. For Type II bundet metanol er $\text{C}-\text{H}\cdots\text{O}$ hydrogenbindinger, grundet den svage hydrogenbindingsenergi, mindre vigtige og derfor ikke vist. Gengivet fra [3] med tilladelse fra Springer.



Figur 4. Metanolvægttab fra celle med PMMA-film. Filmtykkelse er angivet i figuren. Gengivet fra [3] med tilladelse fra Springer.

Og i figur 4 ses, at for PMMA referencefilmen er fordampningshastigheden konstant over tid for her opstår ingen Type II bundet metanol. Samlet set er rækkefølgen af malingerne med faldende modstandsdygtighed: NE-PA > NE-CA > PU.

Konklusion

Undersøgelsen har vist, at metanol interagerer med malingsmatricen ved at danne fysiske krydsbindinger i epoxy, men ikke i polyuretan. Sammenlignet med vand og ethanol leder metanol til mere

fysisk nedbrydning af malingerne i form af højere udludning af malingsingredienser og dannelse af Type II komplekser.

Det uventede resultat (Type II bindinger) betyder, at over tid kan hærdede epoxymalingers barriereegenskaber faktisk forbedres ved i en kort periode at udsætte malingerne for metanol. Den lille adrætte alkohol skal dog nok over tid få møvet sig igennem netværket.

Støtte og tak

Projektet er et samarbejde mellem DTU Kemiteknik og Hempel A/S (Juan José Segura og Erik Graversen) og er udført fortrinsvist i CoaST gruppen på DTU.

Tak til Hempel Fonden for støtte til forskningsprojektet.

E-mail:

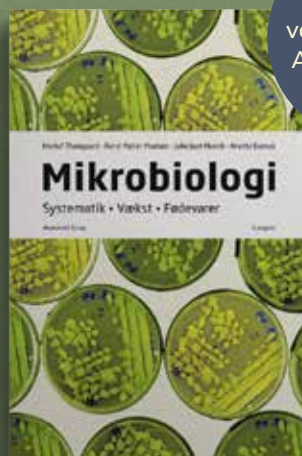
Søren Kiil: sk@kt.dtu.dk

Referencer

1. Dansk Energi: danskenergi.dk/fakta-fokus/dansk-energis-power-to-x-partnerskab/power-to-x. Tilgængeligt 24/10-2022.
2. Wang, T. "Quantification of curing, hardness development, and degradation in epoxy and polyurethane coatings", ph.d.-afhandling, DTU kemiteknik, 2020.
3. Wang, T., Luo, S., Wang, C., Wang, J., Weinell, C.E., Dam-Johansen, K., Segura, J.J., Graversen, E., Kiil, S. "Methanol degradation mechanisms and permeability phenomena in novolac epoxy and polyurethane coatings" J. Coatings Technol. Res., 18(3), 831-842, 2021.
4. Møller, V.B., Dam-Johansen, K., Franker, S.M., Kiil, S., Acid-resistant organic coatings for the chemical industry: a review, J. Coatings Technol. Res., 14(2), 279-306, 2017.

Styrk dine kompetencer

Hos Akademisk Forlag har vi en lang række bøger inden for bioteknologi, kemi og fødevarer, som giver dig mulighed for at videreudvikle dine kompetencer.



Find alle
vores bøger på
[Akademisk.dk](https://www.akkademisk.dk)

AKADEMISK FORLAG

Vi udgiver fagbøger til dig, der gerne vil dygtiggøre dig inden for fx tekniske fag og ledelse. Du finder også velkendte titler fra PRAXIS – Nyt Teknisk Forlag, som er en del af Akademisk Forlag.

Helwig Dieterich, iatrokemiker og livlæge for prins Christian og Christian IV

En dygtig læge og kirurg, men en farlig medico-chemicus, som benyttede tvivlsomme paracelsiske medikamenter, og dertil en pralende personlighed, Helwig Dieterich, MD, opnåede ikke desto mindre høje stillinger hos europæiske fyrster, inklusive det danske kongehus.

Af Curt Wentrup

I 1609 ansatte Chr. IV dr. Peter Payngk som *Distilerer* og *hofchemicus* [1]. Hans laboratorium i Kongens Have var rigt udstyret med 15 ovne og forskellige destillationsapparater, ikke ulig dem Tycho Brahe havde haft på Uraniborg [2]. I Payngks receptbog findes også Tycho Brahes ”Elixyr Tycho-nis”, som kongen havde fået af Sophie Brahe efter Tychos død. Payngk tjente også den udvalgte prins Christians hof på Nykøbing Slot på Falster. Her ankom i 1638 prinsens nye *chirurgo-medicus* og iatrokemiker, Helwig Dieterich fra Hessen-Darmstadt. Han skulle behandle den udvalgte prins Christian, hvis ben var blevet alvorligt brækket ved at blive kørt over af en vogn [3].

Skarpretteren i Glückstadt

Nødvendigheden af at kalde Dieterich til Nykøbing kan findes i historien om skarpretteren i Glückstadt (*carnifice celebri Glückstadiano*). Prinsens læge Henrik Køster (Heinrich Köster) skrev til professor, dr.med. Ole Worm den 13.3.1638 [4]:
”Min fyrstelige Naade Prinsen er i Folkemunde for Behandlingen af en berømt Skarpretter fra Glückstadt. I bedste Hensigt blev han i Slutningen af forrige Aar sendt hertil af kongelig Majestæt; men som Følge af stadig udvortes Anvendelse af stærkt kølende og opstrammende Midler saasom Galæbler, Soda, Vitriol og Eddike bibragte han den angrebne Fod Kulde, Stivhed, Følelsesløshed og Koldbrand; efter Væskernes Tilbagetrængen i Legemet kom der tillige Trangbrystethed, usædvanlig Uro, Smerte i Mellemgulvet, Tilstopning af Milten og samtidig stærkt Flod af Hæmorrhoider. Gennem samfulde to Maaneder og mere til har nævnte Empiriker, der var saa skikket til denne Behandling som et Æsel til at spille paa Lyre, forestaaet Kuren, og førend den blev ham overdraget, og saa længe den har staaet paa, har jeg ikke saa meget som set den angrebne Fod, langt mindre er jeg blevet taget med paa Raad... Jeg lader dig vide, at min fyrstelige Naade Prinsen har været lænket til sit Leje i de sidste to Maaneder - efter at merbemeld-



Christian IV,
1588-1648.

te Lusekonge var skaffet afvejen med [en belønning på] 200 Rigsdaler og en stor, forgyldt Sølvkande”.

Dieterich havde i 1619 forsvaret en teologisk magistergrad i Giessen. Derefter vekslede han til medicinstudiet i Altdorf under Caspar Hoffmann og i Wittenberg under den berømte kemiker Daniel Sennert. I 1626-27 var han på Rüebens Apotheke zu Löwen i Ulm, før han studerede kemi i Tübingen under Jac. Müller. 1627 blev han dr.med. i Strasbourg. Allerede i 1628

blev han livlæge (*hofmedicus*) for Landgreve Georg af Hessen-Darmstadt, som på grund af 30-års krigen havde forlagt sin residens til slottet i Giessen. Slottet i Marburg var også i hans besiddelse. Derfor tjente Dieterich hovedsageligt i Giessen og Marburg. Gennem landgreven fik han kontakt med Kurfyrst og Markgreve Georg Wilhelm af Brandenburg, som det følgende år kaldte ham til Berlin som sin livlæge [5].

Grev Georg Wilhelm udlånte så at sige Dieterich til prins Christian for at behandle gangræn i benet til betydelig ærgrelse for Henrik Køster på grund af Dieterichs indbildske, selvtilfredse og herskesyge optræden. Han tålte ingen ligemand [4].

Chirurgo-Medicus dr. Dieterich

Dieterich havde lært kirurgi i Altdorf under Caspar Hoffmann og i den anledning prælet med, at han havde opdaget blodets cirkulation [5,6] før William Harvey [7]. Dieterich kunne nu praktisere sine færdigheder på prinsen. Køster skrev 13.3.1638 til Ole Worm, at Prinsen nu var ”begyndt at blive behandlet af en vis *chirurgo-medicus*, Kurfyrsten af Brandenburgs livkirurg og -læge Helwig Dietrich, og med sammes egne Hænder; han er meget øvet i slige praktiske Haandteringer, men forresten, mellem os sagt, en ærgerrig og ondskabfuld Mand. Han [Prinsen] har været lænket til sit Leje paa Grund af de skrækeligste Pinsler foraarsaget af kraftige Brændjern (thi ved disses Hjælp maatte Skinnebenet blottes i et halvt Spanmaals Længde, hvorved der kunde iagttages en skjult Koldbrand, visselig fremkommet ved de nævnte kølende og opstrammende Midlers for rigelige Anvendelse, og en tvedelt Tæring i Knoglen, udvendig sort, indvendig hvid,..., tillige to Knoglesvulster, der sad fast som Brusk mellem Knoglen og Kødet); men nu er han ved Guds Naade i de sidste tre Dage begyndt at spadserer rundt i Sovekammeret støttet til en Stok, idet de Onder, der trykkede vor fyrstelige Naade, for Størstedelen - hvad jeg beder til - er fjernet. Mod Prinsens Apotheker udviser han [Dieterich] en plump Vrantenhed, udtaler, at han skulde have Lussinger og truer ham med Fængsel” [4].

Derefter vendte Dieterich tilbage til kurfyrsten, som på grund af krigens hærgen i Nordtyskland havde forlagt sin residens til Königsberg i Østprejsen (som var et polsk len til Brandenburg). Her mødte han den polske konges berømte livlæge Andreas Cnöffel og en vis farmaceutisk *famulus* Otto Tachenius, som skulle blive hans ærkefjende efter



Figur 1. Frontispiece [og dedikation] af H. Dieterichs *Vindiciae*, Hamburg, 1655.

1652. En antagonisme [8] mellem de to blev forskærpet, da Tachenius senere, som dr.med. i Venedig, beskyldte Dieterich for at være et *falsarium* og *pseudo-chemicus* [9]. Efter at have forladt Danmark i 1648 brugte Dieterich resten af sin levetid til at samle materiale til sit *vindiciae* [10] (figur 1). Imidlertid døde kurfyrsten 1.12.1640. Dr.med. Joachim Timmermann berettede i et brev til Ole Worm, at et brev fra *Belgio* beskyldte Dieterich for kurfyrstens død ved at have givet ham for stærke antimon- og kviksølvpræparater (typisk paracelsiske lægemidler) [4]. Han betegner også Dietrich som pralende og overfladisk. 30.5.1641 skriver han til Worm fra Königsberg: ”At Dr. Dietrichs Prale-rier var ganske tomme, forudsagde jeg forlængst. Han har dem tilfælles med gøglere”.

Otto Tachenius beskyldte i sit offentlige *Apologiam* [11] Dieterich for at have bedraget kurfyrst Georg Wilhelm. Hans lovede fremstilling af *aurum potable* (drikkeligt guld) var mislykket, og derved havde Dieterich tilegnet sig en stor mængde guld. Efter dødsfaldet afskedigede hans søn og efterfølger, Friedrich Wilhelm, Dieterich, som dog fik oprejsning og genansættelse efter Christian IV's død i 1648 (se nedenfor): ”Vi er altid rede til at forsvare dit renommé (*Nos semper paratos esse as defendendum fanem et existimationem tuam*)” [12].

Efter afskedigelsen kom Dieterich til den Slesvig-Holstenske Hertug Friedrich 3 i Gottorp (*Friedrich 3's svigermor var Magdalena Sibylle af Brandenburg*) som *Medicus extraordinarius* og i 1641 virkelig livlæge. Den 15.9.1641 var han igen hos prins Christian i Nykøbing, hvor han blev ansat med ordre til to

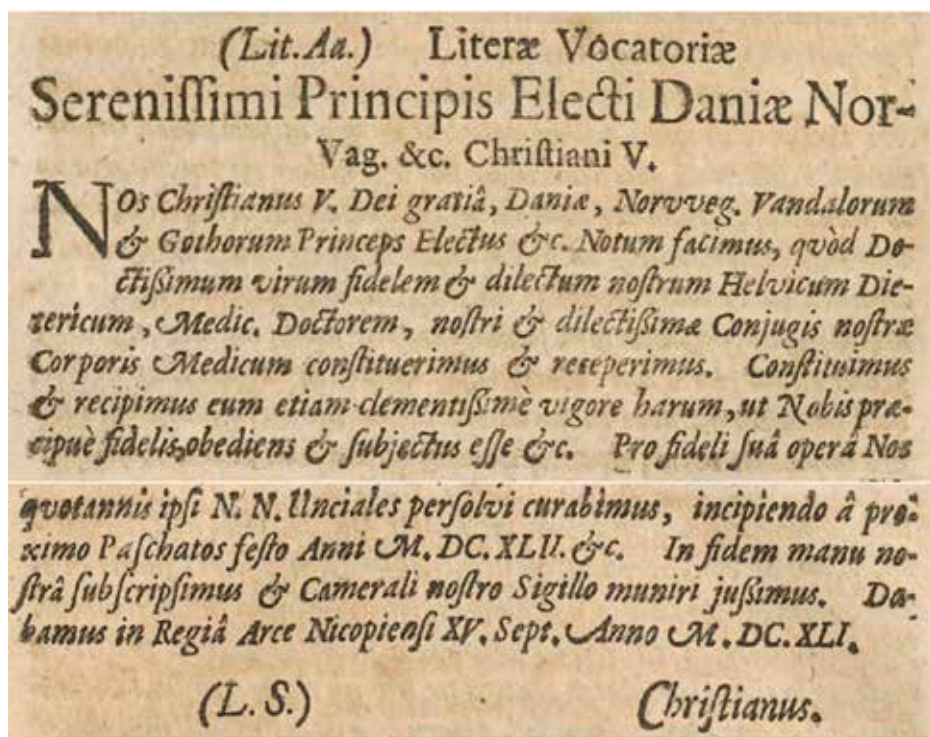
gange årligt at give møde hos prinsen og gemalinden, og også komme, hvis han bliver tilsagt i særlig anledning... ikke alene med medikamenter, men også kirurgisk, hvis det krævedes... han skulle anordne og tilberede medikamenterne med flid og omsorg, som det sømmer sig en tro læge og livmedicus. Hvis de fremstilles af hoffets apoteker, så skal Dieterich selv være til stede og ikke tillade, at de kom i fremmede hænder. Han fik en betydelig årlig løn på 400 speciedaler og fri befordring i riget (figur 2, side 22).

Christian IV gør Dieterich til sin livlæge

Den 23.11.1643 kundgjorde Kong Christian IV, at *Helvicum Dietericum*, som i øvrigt tjener *Principis Electi* Christian, skal være hans *Medicus de domo*, hvert år enten i *camera nostra* eller i *octavis III. Regum* Kiel. I 1644 gjorde Chr. IV desuden Dieterich til forstander for Kongens Have og læge ved Børnehuset [13]. Kongens egentlige livlæge, Otto Sperling, havde haft disse hverv siden 1638, men var faldet i kongens unåde.

Surbrønden

Snart opstod der problemer på grund af en surbrønd (*fontium acidulus*), Dieterich havde fremstillet. Kongen havde hørt, at Corfitz Ulfeldt ”haffuer faat noget aff D: kneffuels [dr. Cnöffels] wand, huorfor du [Corfitz] dedsamme skaldt hiid sende, Mens wiider indted deraff at bestille, ty ded kand nocksom gørris heer, Naar man uyl gørrer sig nogen wmag derfor”. Dieterich gjorde sig umagen og fremstillede sin surbrønd. Den 31.12.1644 skriver kongen; ”Ded wand haffuer ieg bekommen och achter dedsamme, om gud uyl, med det første at bruge. At der fyndis dy y Køben; ▶



Figur 2. Dieterichs ansættelse som huslæge for Christian og hans *delectissimæ* Conjugis (hustru), Nykøbing, 15.9.1641 (Vindiciae pp. 108-109).

hviis tender Erre bleffuen løsse aff D: dyderigs wand, ded er ingen wnder, ty dedsamme skulle ded wand gøre, som du haffuer sendt mig, om ded indted uar misserit med andit, Som deraff Kan Erfahris, at nar man uyl bruge dedsamme, da skal ded først skulppis op och Neder, saat ded Kommer yblandt hinanden.” Det fremgår af Sperlings selvbiografi, at Kongen klagede over mavesmerter fremkaldt af “D. Dieterich Helwigs surbrønd, som han og Doctor Küffler [Cnöffel] i Polen kaldte det”, som havde fordærvet maven [14].

Køster skrev til Worm 20.1.1645 om løse tænder og andre symptomer ved brugen af surbrønden: ”Thi da den indeholder en mærkbar Svovlsurhed, som modvirker Afslappelse, saa har vi en mistanke om, at den Løshed i Tænderne... bør tilskrives en Skørbug, der findes i Legemet hos den, der har brugt Surbrønden med mindre I maaske er sikre med Hensyn til den rigelige Kviksølv-mængde, som indgaar i denne Surbrønd”. Han udbeder sig også Worms mening, om Hovedsvimmel skyldes Brækvinsten (kaliumantimonyltartrat, $\text{KSbC}_4\text{H}_4\text{O}_7 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) eller kviksølv - ”uden Tvivl Kvikkssølv, der, når det i rigelig Mængde indgår i Surbrønd, slår sig på Hovedet, fylder det og opløser væskerne”.

Køster til Worm 5.5.1645: ”Prinsen mener, at surbrønden indeholdt sublimeret kviksølv (*Mercurius sublimatus, dulcis*. HgCl). Worm mente, der også

indgik kobber og jern i store mængder. Den Kongelige Majestæt, Knud Ulfeldt, Jørgen Seefeldt, købmand Johan Braem og andre klagede over svimmelhed, og Braem navnlig løse tænder. Den 31.1.1645 skriver Køster til Worm: ”Dr. Dieterich har forbudt apotekerne under eds aflæggelse at meddele opskriften til nogen anden, men han vedgår åbenlyst, at der indgår Brækvinsten, svovl og soda, samt tin, som er glødet nogle gange. Køster formodede også, det indeholdt *Clyssus*, et blyholdigt mineral, som var populært blandt polakker og livlændere, ”og det er en kendt sag, at bly gerne indeholdt kviksølv.” (Det blev antaget, at bly og tin indeholdt kviksølv, tillige med *semina* hvorfra sølv og guld kunne gro. “Lead is a foul metallic body, and imperfect, composed of a quicksilver, impure, not fixed, and feculent” [15].

Køster til Worm 14.2.1645: “Kgl Majts. Befinder sig nu udmærket, siden den tid han afholdt sig fra surbrønden”. Men nu fik Dieterich endnu større problemer med kongen, fordi han havde fornærmet Vibeke Kruse, kongens elskerinde. Køster 1.2.1646: ”Dr. Dieterichs Handlinger overfor Wibke, der ligger alvorlig syg af den sædvanlige Gigt og Skørbug, har ikke indbragt ham hæder; hun benytter nu Dr. Jacob Janus. Dr. Helwig Dieterich virker ikke længere som Kongens personlige Livlæge. Uden Tvivl skriver Miseren sig fra nævnte Frues Fornærmelse.” Ole Worm kom-

menterede tørt: ”Hofgunst er skør som Glas” [4].

Dieterich vedblev dog af og til at behandle prinsen, og de planlagde en rejse sammen til badene ved Eger i 1647. Imidlertid døde Christian på slottet Korbitz ved Dresden (Sachsen) den 2.6.1647, før de nåede til surbrønden. Kurfyrsten af Sachsen var hans svigerfader Johann Gerog I (prins Christian var gift med Magdalena Sibylla af Sachsen).

Christian IV døde 28.2.1648 på Rosenborg Slot i nærværelse af Worm, Sperling og andre læger.

Om Dieterich, kemikeren Johann Rudolph Glauber, og guldageri vil blive berettet i en senere artikel.

E-mail:

Curt Wentrup: wentrup@uq.edu.au

Referencer

1. A. Fjelstrup, Dr. Peter Payngk, Kong Kristian IV's Hofkemiker, A. Gieses Eftf., København, 1911.
2. C. Wentrup, *Tycho Brahe*, Del I og II, Dansk Kemi 2022, nr. 5 og 6.
3. Prins Christians breve 22. jan og 17. feb. 1638 til Markgreven, Kurfyrst af Brandenburg.
4. Olai Wormii et ad eum Doctorum Virorum Epistulae, København, 1751. H.D. Schepelern, *Breve fra og til Ole Worm*, II, Munksgaard, København, 1967.
5. Dieterichs CV: *Decad II, Actorum medicorum Berolinensium*, Gottfried Goedicke, Berlin, 1729, Vol. IX, p. 14f.
6. E.V. Ferrario, F.N.L. Poynter, K.J. Franklin, *J. Hist. Med. Allied Sci.* 1960, 15, 7-21.
7. W. Harvey, *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, Frankfurt, 1628.
8. H.H. Take, *Otto Tachemius (1610-1680), Ein Wegbereiter zwischen Herford und Venedig*, Herforder Forschungen, Band 16, Verlag für Regionalgeschichte, Bielefeld, 2002.
9. O. Tachenius, *Epistula De Famoso liquore Alkahest*, i H. Dieterich, *Vindiciae adversus Tachenium*, Hamburg, 1655, p. 5 ff.
10. H. Dieterich, *Vindiciae adversus Tachenium*, Hamburg, 1655.
11. O. Tachenius, *Apologia contra Falsarium et Pseudochimicum Helvwig Didericum*, Venedig 1652, i H. Dieterich, *Vindiciae adversus Tachenium*, Hamburg, 1655, p. 40-49.
12. *Vindiciae*, p. 90-95, Berlin 15.3.1653.
13. *Vindiciae*, p. 107-108, Chr. IV, København, 1.11.1644. Se også p. 108-109.
14. *Otonis Sperlingii Selbstbiographie bis auf das Jahr 1673*, Kgl. Bibliotek, København; S. Birket Smith, Dr. med. Otto Sperlings Selvbiografi, oversat i Uddrag efter Originalhaandskriftet, Høst & Son, København, 1885.
15. W. Lewis, *A Course of Practical Chemistry. In which are contained All the Operations Described in Wilson's Complete Course of Chemistry*, London, 1746.

PFAS?

SPØRG OS!

BOOK ET MØDE

Scan QR-koden og
få viden om hvordan
du måler indholdet
af PFAS i dine prøver.



MIRA XTR DS

Identificér farlige stoffer
hurtigt og sikkert

- ✓ Fjernstyret eller håndholdt
- ✓ 20.000 stoffer i biblioteket
- ✓ Kontaktfri måling
- ✓ Let at anvende



 **Metrohm**

Vintergrøntolie

Som jeg sidder og skriver dette på overgangen mellem efterår og vinter, kan jeg se ud i haven og se en masse grønt. Ud over græsset er der rhododendron, ædelcypres, taks, kristtorn, liguster, lyng og i køkkenhaven er der grønkål. Der er også bunddækkeplanterne liden singrøn (*Vinca minor*) og hasselurt (*Asarum europaeum*). I tilgift til de stedsegrønne planter er der også de planter, som på grund af den milde november ikke er visnet ned endnu, som for eksempel den allestedsnærværende skvalderkål under hækkene.

Navnet vintergrøn dækker over en underfamilie og en slægt. Vintergrøn (*Pyroloideae*) er en underfamilie i lyngfamilien (*Ericaceae*) med fire slægter, der alle er forekommende i Danmark. Den talrigeste slægt hedder også vintergrøn (*Pyrola*) eller sommerkonval. Liden singrøn kaldes også (fejlagtigt) vintergrøn, selvom den tilhører en helt anden familie (singrønfamilien, *Apocynaceae*). Derudover bruges betegnelsen vintergrøn synonymt med stedsegrøn.

Emnet for denne artikel er dog ikke nogen af disse planter, men vintergrøntolie som, navnet til trods, ikke udvindes

af en plante i vintergrøn-underfamilien. Vintergrøntolie/ vintergrøntolie (begge stavemåder ses anvendt, for eksempel i lex.dk) er trivialnavnet for methyl(salicylat) (methyl(2-hydroxybenzoat), figur 1) [1]. Navnet vintergrøntolie stammer fra engelsk (wintergreen oil), da olien traditionelt har været udvundet ved vanddampdestillation af bladene fra nedliggende bjergte (*Gaultheria procumbens*, figur 2), en nordamerikansk plante med mange navne [2], hvoraf et af dem er American wintergreen. Vintergrøntolie har også været udvundet fra barken af sukkerbirk (*Betula lenta*), men i dag fremstilles methyl(salicylat) primært syntetisk. Ret beset er vintergrøntolie altså ikke det samme som methyl(salicylat), da olien også indeholder mindre mængder af andre stoffer afhængigt af oprindelsen. Vintergrøntolie har da også sit eget CAS-nummer (68917-75-9 – methyl(salicylat) har 119-36-8) og er defineret i den amerikanske kemikaliefortegnelse (TSCA) som "Extractives and their physically modified derivatives. *Gaultheria procumbens*, *Ericaceae* or *Betula lenta*, *Betulaceae*".

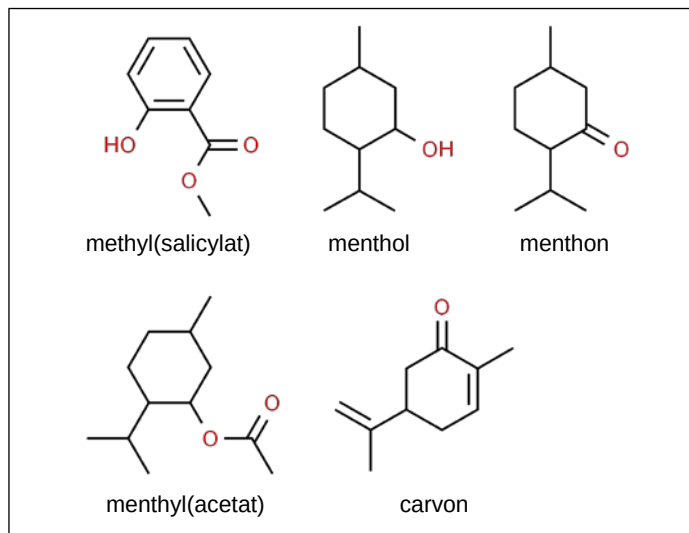
Vintergrøntolie bliver beskrevet som havende en mynteagtig smag og anvendes traditionelt som smagstilsætning til tyggegummi og mintpastiller. Til trods for den mynteagtige smag er methyl(salicylat) dog ikke at finde i æteriske olier fra mynter, hvor stoffer som menthol (5-methyl-2-(propan-2-yl)cyclohexan-1-ol), menthon (5-methyl-2-(propan-2-yl)cyclohexan-1-on), menthyl(acetat) (5-methyl-2-(propan-2-yl)cyclohexyl(acetat)) og carvon (2-methyl-5-(prop-1-en-2-yl)cyclohex-2-en-1-on) dominerer afhængigt af myntearten.

I 2021 fik methyl(salicylat) en harmoniseret klassificering i EU som reproduktionstoksisk, da stoffet er under mistanke for at skade det ufødte barn [3]. Så er man gravid, er det nok værd at tjekke sine mintpastiller og sit tyggegummi, om mints smagen stammer fra vintergrøntolie/methyl(salicylat) eller en mynteart (alternativt et af smagsstofferne fra mynte).

Alan Mortensen, Nomenklaturudvalget

Referencer

1. Kemisk forenings nomenklaturudvalg anbefaler brug af parentens rundt om syredelen i esternavne for at undgå forvekslinger som i tilfældet med phenylacetat (anionen) versus phenyl(acetat) (eddikesyrephenylester).
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Gaultheria_procumbens.
3. Off. J. Eur. Union L **188**, 27-43 (2021).



Figur 1. Methyl(salicylat), menthol, menthon, menthyl(acetat) og carvon.



Figur 2. Nedliggende bjergte (By Jomegat - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7381558>).

Er en kamp mellem X- og Y-kromosomer medvirkende til reduceret sædkvalitet?

Landvindinger inden for RNA-sekventering gør os klogere på den faldende fertilitet.



Foto: Pixabay

Mænds sædkvalitet er halveret siden 1970'erne, hvilket er alarmerende og formentlig medvirkende til, at verdens befolkningstal mange steder falder, selv om levealderen stiger. Nu har forskere fra Rigshospitalet, Aarhus Universitet og Københavns Zoologisk Have gjort banebrydende fund, som de mener, kan være en vigtig del af årsagen. Et nyt studie, der netop er publiceret i det anerkendte tidsskrift *Nature*, tyder nemlig på, at der finder en genetisk kamp sted mellem X- og Y-kromosomerne under selve dannelsen af sædcellerne, altså inden sædcellerne overhovedet når ægget.

Single-cell RNA Sequencing giver ny viden

Det er de seneste års teknologiske udvikling, der har gjort det nye studie muligt. Ved hjælp af såkaldt Single-cell RNA Sequencing er det lykkedes forskerne i studiet at undersøge enkeltceller taget fra testikler fra elleve forskellige arter, der dækker de tre store pattedyrslinjer: Eutheria - herunder mennesker - pungdyr samt de såkaldte monotremer som for eksempel næbdyret. Endelig blev en fugleart også undersøgt.

- Ud over at se forskelle blandt de elleve arter var formålet også at kortlægge, hvilke gener der er udtrykt i sædceller med hhv. et X- og et Y-kromosom. På den måde kan vi danne os et billede af, hvilke gener der muligvis er involveret i den genetiske kamp mellem X- og Y-kromosomerne. Den viden kan forhåbentlig på sigt være med til at afsløre, hvorfor mænd er dårlige - og langt dårligere end for eksempel hanaber - til at danne sædceller, siger Kristian Almstrup.

Meiosen danner grund for den genetiske kamp

Den genetiske kamp opstår ifølge teorien under den såkaldte meiose, som er den proces, hvorved celler deler sig og bliver til kønsceller. Hos mennesker bliver de til henholdsvis ægceller og sædceller - med den halve mængde genetiske materiale i hver. Hvilke gener, der ender i hvilke kønsceller, er nemlig ikke tilfældigt, men styret af såkaldt meiotisk drift - en slags konflikt eller kamp i den enkeltes genom.

- Vores hypotese er, at denne kamp er langt stærkere hos mennesker end hos for eksempel aber, hvilket betyder, at aber er langt mere effektive til at producere duelige sædceller. Tidligere studier har vist, at det især er en kamp mellem gener på vores kønskromosomer, X og Y, der er involveret i den meiotiske kamp, og i dette studie er det lykkedes os at identificere gener, der er udtrykt i hhv. en X- og Y-sædcelle. Dette er således første skridt til at beskrive, om den meiotiske kamp kan have betydning for produktionen af sædcellerne hos mænd i forhold til hos hanaber, fortæller Kristian Almstrup.

Kilde: *Sciencenews.dk*

Reference

Murat, F., Mbengue, N., Winge, S.B. *et al.* The molecular evolution of spermatogenesis across mammals. *Nature* (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05547-7>.

ET CENTRALT VAKUUMSYSTEM. UTALLIGE FORDELE.

Afhængigt af applikationen kan energibesparelser på op til 70 % opnås med et centralt vakuumsystem. Dette er ikke den eneste fordel. Sammen med dig kan vi identificere mange andre fordele, du kan opnå baseret på dine krav.

Lad vores eksperter rådgive dig!

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

BUSCH
VACUUM SOLUTIONS



Figur 1. Sydsjællandsk hvedemark (oktober 2021). Alt det kulstof, der bindes i hveden (aks, kerner, stængel, blade og rod), stammer fra atmosfærens CO_2 - optaget og bundet ved fotosyntese.

Et nyt syn på landbrugets CO_2 -bidrag

Dansk Landbrug bebrejdes at udlede en stor mængde af drivhusgasser. Denne konklusion er baseret på IPCC regneregler, der ikke medregner den kultveilte, som optages i etårige afgrøder.

Af Frans W. Langkilde¹ og Søren Brøgger Christensen²

¹ Katrinedal I/S

² Naturmedicinsk Museum, Københavns Universitet

En årsag til klimaproblemerne er den øgede mængde af drivhusgasser i jordens atmosfære [1,2], der antages at medføre temperaturstigninger og klimaforandringer. En vigtig konsekvens af temperaturstigninger er afsmeltning af is i Arktis og Antarktis og dermed stigninger i verdenshavens vandstand. Desuden medfører klimaændringerne tørke og voldsomme regnfald.

De vigtigste drivhusgasser er kul-tveilte (CO_2), metan (CH_4) og lattergas (N_2O) [1,2]. Hvert ton metan har samme drivhuseffekt som 34 tons CO_2 [2]. Med store og voksende mængder af metan i

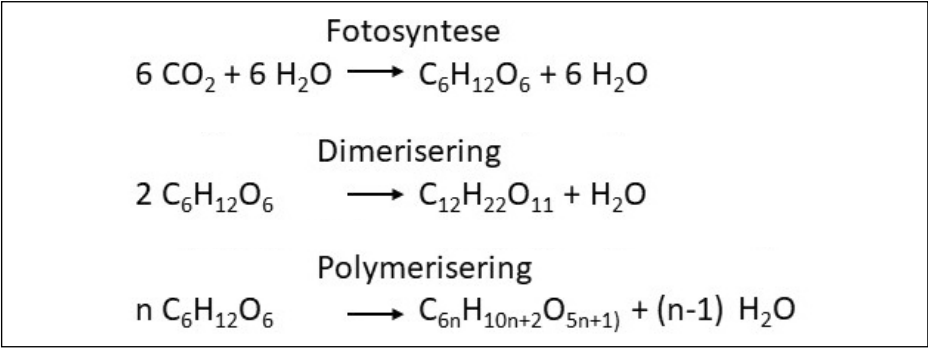
atmosfæren står metan for over 25 procent af klodens drivhuseffekt [1]. N_2O findes i mindre mængder, men hvert ton N_2O har samme drivhuseffekt som 298 tons CO_2 [2]. Derfor har N_2O betydning til trods for den mindre mængde. Hvis man omregner metan og N_2O med de nævnte faktorer og adderer med CO_2 , kommer man frem til CO_2 -ækvivalenter (CO_2e) - en størrelse vi vil bruge i denne artikel.

Landbrugets optag af CO_2 og IPCC's regneregler

I den generelle debat negligeres størstedelen af landbrugets fiksering af CO_2 , fordi FN's klimaorgan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) fastslår, at biobrændsler (for eksempel halm) anses for CO_2 -neutrale, når de produceres og forbrændes. Ligeledes

negligeres den CO_2 , som bindes i etårige afgrøder og frigøres, når afgrøderne (for eksempel hvedekerner) fortæres, eller når planter nedbrydes [3,4]. Det udgør store mængder CO_2 . De følgende regne-eksempler, beregnet per hektar og år, er primært baseret på Sydsjælland-Lolland-Falster (figur 1). Afvigelser mellem marker forskellige steder kompenseres senere via en effektivitetsfaktor.

Stivelse i kernen og cellulose i halmen er kulhydrater og har samme kemiske bruttoformel, $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$. For roesukker er bruttoformlen $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, mens for eksempel rapsolie, der overvejende består af triglycerider, har en strukturformel med en højere kulstofprocent (C%). Alt det kulstof, som findes i planter og dyr, stammer oprindeligt fra CO_2 , der via fotosyntesen er omdannet til sukkerstof og andre stoffer (for eksempel proteiner,



Skema 1. Ved dimerisering af to molekyler glukose fraspaltes et molekyle vand. Ved en polymerisering vil n blive meget stor. Bruttoformlen vil tilnærme sig C₆H₁₀O₅.

ligniner, fedtstoffer og sekundære metabolitter). Ud fra reaktionsskemaerne i skema 1 kan man beregne, at for hver 180 gram glukose der dannes, bindes 264 gram CO₂ og 108 gram vand og afgives 192 gram ilt. For 162 gram stivelse bindes 264 gram CO₂ og 90 gram vand og afgives 192 gram ilt.

Ved 10 tons kerne og 5 tons halm binder en hvedemark cirka 14 tons CO₂ i kernen per hektar per år og cirka 7 tons CO₂ i halmen. Den binder også cirka 2 tons CO₂ i jorden; det kaldes *Sequestration* (fagtermen for binding på længere sigt af C som organisk materiale i muldjorden [5]). I alt binder hvedemarken godt 23 tons CO₂ per hektar per år. Der er taget hensyn til kernens indhold af vand (14 procent) og protein. En tilsvarende beregning for sukkerroer [6,7] giver 39 tons CO₂ per hektar per år. Græs binder ved 10 tons tørstof godt 20 tons CO₂ per hektar per år, heraf en større binding i jorden end for korn [5]. Et gennemsnit af afgrøder, vægtet efter et typisk dansk sædskifte, giver cirka 26 tons CO₂ per hektar per år. Til sammenligning binder tropisk skov 18,3 tons CO₂ per hektar per år i en livscyklus [2,3], tempereret skov 11 tons, markant mindre end dansk planteavl. Skovrejsning kan derfor medføre en mindre binding af CO₂ end dyrkning af jorden (tabel 1) [2].

Hvedehalm indeholder også lignin med en højere C-andel end cellulose, hvorfor bindingen i halm nok er 8 tons, snarere end 7 tons CO₂ per hektar per år.

Hvis det antages, at verdens 8 milliarder mennesker hver udånder 900 gram CO₂ om dagen, betyder det, at mennesker hver dag samlet udånder 7,2 millioner tons CO₂ (2,6 milliarder tons per år), som oprindeligt blev bundet i landbrugets afgrøder. IPCC's beslutning om, at landbrugets oplagring af CO₂ i etårige afgrøder ikke skal medregnes, medfører, at de 7,2 millioner tons CO₂ belaster landbruget, og ikke de mennesker som udånder dem.

En begrænsning af landbrugets dyrkning af afgrøder medfører en mindre produktion, som kan føre til mangel på fødevarer [4]. En konsekvens af dette kan være, at det måske lykkes at mindske udledningen fra landbruget i Danmark, men til gengæld mindskes den betydelige fjernelse af CO₂ fra atmosfæren, som dyrkning af afgrøder medfører [2]. Der er da også forskere, som er kritiske overfor IPCC's regnemoder [4].

Biogas fremstilles i høj grad ud fra affaldsprodukter fra landbruget [8]. I 2022 dækkede biogas omkring 30 procent af naturgasforbruget i Danmark. Den reduktion i forbruget af fossil naturgas, som biogassen erstatter, bliver ikke medregnet som et positivt bidrag fra landbruget.

På Sydsjælland-Lolland-Falster bindes cirka 26 tons CO₂ per hektar per år. For et landbrugsareal i Danmark på 25.000 kvadratkilometer eller 2,5 millioner hektar og en effektivitetsfaktor på 70 procent [9], giver det 45 millioner tons CO₂ per år - tæt på det officielle tal for hele landets udledning i 2018, 48 milli-

oner tons CO₂e. Hertil kommer bindingen i skov og gartneri. Effektivitetsfaktoren skal kompensere for jordart, klima og sammensætning af afgrøder. Den er beregnet ud fra et hvedeudbytte på 7 tons per hektar per år i stedet for 10 tons. Det forudsætter dog konventionel dyrkning i hele landet.

Udledning af CO₂ i dansk landbrug

Udledningen fra hele Danmarks landbrugsproduktion sættes til 10-12 millioner tons CO₂e per år. I 2015 udgjorde det cirka 21 procent af den samlede danske udledning af drivhusgasser [9,10]. Tallet inkluderer metan fra køer og lavbundsjorder, N₂O under anaerobe forhold i lerjord, CO₂ fra traktorenes forbrænding af diesel etc. For et landbrugsareal på 2,5 millioner hektar giver det en udledning på 4-5 tons CO₂e per hektar per år, højere for kvægbrug, meget lavere for konventionel planteavl. Altså en nettobinding for hele landet på cirka 34 millioner tons CO₂e per år og cirka 14 tons CO₂e per hektar per år.

Ændret arealanvendelse - dansk landbrugsproduktion i globalt perspektiv

Vi har i ovenstående dokumenteret den enorme binding af CO₂, som landbruget forårsager ved dyrkning af afgrøder. Andre vigtige faktorer er beskrevet i teorien om ændret arealanvendelse og kulstofnytte [2,9], som også inkluderer de direkte produktionsomkostninger og ser på omkostningerne ved forbrug af fødevarer. Landbrugets produktion af fødevarer medfører frigørelse af både CO₂, metan og N₂O og er årsag til 20-25 procent af klodens drivhuseffekt [2].

	Ton C bundet	Ton CO ₂ bundet	Kulstofnytte, ton CO ₂ e (COC+PEM)
Tropisk skov	5	18,3	18,3
Tempereret skov	3	11,0	11,0
Majs, Vestafrika			
- uden kunstgødning			4,3
- med N kunstgødning			13,8
Hvede, Sverige			
- økologisk			7,8
- konventionelt			14,2
Ærter, Sverige			
- økologisk			9,5
- konventionelt			14,2

Tabel 1. Kulstofnytte af forskellige afgrøder, i ton CO₂e per hektar per år.

Resten skyldes især brugen af fossile brændsler.

Ændret arealanvendelse (land-use change, LUC) er en alternativ måde at se på kulstofbinding (carbon opportunity cost, COC), idet en bestemt landbrugsproduktion vurderes efter, hvor meget skov som skal ryddes andre steder for at skabe en tilsvarende produktion. Hertil skal lægges udledning fra selve landbrugsproduktionen (production emission, PEM), af CO₂, metan og N₂O. COC+PEM kaldes kulstofnytte [2].

Oprindelig vegetation indeholder store mængder C i træer, buske, urter, mikroorganismer og i jorden. Tabet af dette C ved global ekspansion af landbrugsarealet (COC), sammen med emission fra selve landbrugsproduktionen (PEM), bidrager med de nævnte 20-25 procent af verdens udledning af drivhusgasser. Den øverste meter af jordens overflade binder mere C, end der er i hele atmosfæren som CO₂ og metan [11,12]. Når der både skal bindes kulstof i jorden og produceres fødevarer, kræver det en intensiv og effektiv arealanvendelse på eksisterende landbrugsarealer. Det kan måles med et indeks for kulstofnytte. Kulstofnyttens for en hektar er summen af [2]:

1. Den mulighed, som dens produktion af føde giver for at lagre C andre steder (COC).
2. Den årlige ændring af C lagring i jord og planter (*Sequestration*).
3. Besparelser i fossile emissioner på grund af dyrkning af bioenergi (COC).
4. Mindskning eller forøgelse af landbrugets udledning af CO₂e (PEM).

I den almindelige debat om klimaeffekter af landbrug og fødevarer diskuteres alene landbrugets udledning af CO₂e (PEM), mens man negligerer COC, som er langt større end PEM. Mere intensivt landbrug kan øge eller mindske udledningen af drivhusgasser fra PEM, men sparer meget mere udledning af drivhusgasser via COC på grund af mindre behov for landbrugsareal andetsteds. Dette er afgørende og bør indgå i diskussionen om landbrugets klimaeffekter.

Det ses i tabel 1 (side 27), at intensivt dyrkede afgrøder giver meget højere kulstofnytte end ekstensivt dyrkede og højere end for tempereret skov. For majs i Vestafrika øger kulstofnyttens, når man indfører kunstgødning med kvælstofholdige gødninger. Også for risdyrkning ses en stor stigning i kulstofnyttens ved intensivisering. For hvede i Sverige øges kulstofnyttens fra 7,8 til 14,2 tons CO₂e per hektar per år ved at gå fra økologisk til konventionel dyrkning. Dette skyldes en

lille stigning i kulstofnyttens fra PEM og en stor stigning fra COC. Også for ærter i Sverige stiger kulstofnyttens økologisk-konventionelt. Tallene viser, at økologisk dyrket hvede i Sverige belaster klimaet 82 procent mere end konventionel hvede.

I Landbrugsforliget fra 2021 vil man spare en årlig udledning af en halv million tons CO₂ ved at fordoble det økologiske areal i Danmark. Ifølge ovenstående beregninger vil dette tværtimod øge udledningen af klimagasser.

Klimabelastningen fra fødevarer

COC og PEM for produktion af fødevarer modsvares af CO₂-effektivitet af forbrug af fødevarer, hvor madens omkostning sættes til dens COC+PEM. En gennemsnitlig nordeuropæers forbrug af mad og drikkevarer koster cirka 8,7 tons CO₂e per år (tabel 2) [2]. Af disse udgør PEM cirka 2,3 tons, COC cirka 6,4 tons. Man regner med, at hver nordeuropæer påvirker klimaet med cirka 10 tons CO₂e per år, hvoraf cirka 2 tons stammer fra fødevarer [10]. De 2 tons modsvares altså alene PEM og negligerer forbruget af landbrugsjord via COC (tabel 2) [2].

	I alt	COC	PEM
Gennemsnitlig nordeuropæer, mad og drikkevarer	8,7	6,4	2,3
Vegetarisk (ovo-lacto, med æg og mejerivarer)	5,4		
Fjerkræ og svinekød, uden oksekød og mejerivarer	2,5		
Vegansk	2		

Tabel 2. Kulstof omkostning for forskellige fødevarer, i ton CO₂e per person per år.

Kostændringer har altså betydning for klimabelastningen [2]. Belastningen falder ved vegetarisk kost, men endnu mere ved at bortvælge oksekød og mejerivarer til fordel for fjerkræ og svinekød. Diskussionen om kostens sammensætning bør baseres på fødevarernes virkelige klimabelastning, gerne udtrykt ved COC og PEM. De nævnte tal afspejles ikke i debatten om kød kontra plantekost. Køer gavner ikke klimaet, men andre typer af kød har en mindre klimapåvirkning tæt på plantebaseret kost. Det bør også betænkes, at 2/3 af verdens landbrugsland udgøres af græsningsarealer [2], og mange af disse kan ikke bruges til andet end græsning. Skov kræver typisk mere nedbør end græs. Hvis græsset ikke bliver spist, nedbrydes det til især CO₂ og metan.

Hvis man indregner COC, stiger hver danskers klimaaftryk fra 10 til over 16 tons CO₂e per år. For 5,8 millioner

danskere er COC cirka 37 millioner tons CO₂e per år. Danmarks samlede udledning i 2018 på 48 millioner tons CO₂e svarer til kun 8 tons per indbygger, det må være lavt sat. Med COC stiger tallet fra 48 til 85 millioner tons, hvoraf de 37 millioner tons stammer fra mad og drikkevarer, men det regnes normalt ikke med. De 37 millioner tons er tæt på landbrugets nettobinding på 45-11 = 34 millioner tons CO₂e, udregnet ovenfor på basis af CO₂-binding.

Inklusionen af LUC i beregningerne sætter IPCC's regnemetode i relief. For danskernes vedkommende medfører IPCC's beregningsmodel, at der ses bort fra en COC på imponerende 37 millioner tons CO₂e per år.

Perspektiver

De to sæt af begreber i denne artikel er beslægtede, men delvist uafhængige, og giver resultater, som ligner hinanden. Arealanvendelse/kulstofnytte giver for konventionel hvededyrkning i Sverige 14,2 tons CO₂ per hektar og år [2]. Binding af CO₂ gav ved hvededyrkning på Sydsjælland-Lolland-Falster 23 tons

CO₂; med en effektivitetsfaktor på 70 procent er det 16,1 tons CO₂.

Udover at de to sæt af begreber, LUC og landbrugets binding af CO₂, kan give et retvisende billede af binding og udledning af drivhusgasser, kan de åbne for en række tiltag, så landbruget bliver en del af løsningen og ikke bare en del af problemet. Anerkendelse af LUC og landbrugets binding af CO₂ i planteavl kan give incitamenter til øget dyrkning af energiafgrøder og øget fokus på bio-brændsler og biogas, både fra landbruget og skovbruget. Desuden kan det være et incitament til øget sequestration.

Kun cirka 30 procent af halmen i Danmark udnyttes til energiformål, hvilket kunne udnyttes bedre. Når halmen pløjes ned, opnås en mindre klimaeffekt [11]. Også bedre udnyttelse af andre restprodukter til biogas eller til direkte erstatning af fossile brændsler vil give en besparelse af fossilt brændstof. Det

gælder også træflis fra skov. IPCC mener, at etårige afgrøder ikke skal medregnes, siden de enten fortæres eller afbrændes, hvorved CO₂ igen frisættes. Vi mener, at CO₂ rigtigt nok indgår i naturens cyklus, men for hvert ton halm, flis eller biobrændsel der anvendes, erstattes fossile brændsler. Også teorien for LUC og COC inkluderer besparelser i fossile emissioner på grund af dyrkning af bioenergi [2].

Der er bred enighed om nytten af en CO₂-afgift, men en sådan afgift kan få alvorlige konsekvenser for landbruget. Tankerne ovenfor muliggør indførelse af en intelligent CO₂-afgift i landbruget, som inkluderer både udledning og binding af CO₂e, og som afspejler klimapåvirkningen fra planteavl og dyrehold. Inklusion af LUC i fødevarernes CO₂-regnskab kunne åbne for en klimadifferentieret fødevareoms. En generel afgift på CO₂e ville også dække metan og N₂O. Det ville give incitamenter til at mindske udledningen af disse kraftige klimagasser.

Det er foreslået, at landbrugets udledning af klimagasser kan reduceres ved braklægning af jord eller ved at plante skov. Det bør her indregnes, at dansk skov binder 11 tons CO₂ per hektar og år, hvorimod dyrkning af hvede binder op til 23 tons og sukkerroer op til 39 tons. En omlægning til skov kan derfor medføre en mindre binding af CO₂, og samtidig medføre, at melet og sukkeret skal importeres fra andre steder i verden, hvor landbruget muligvis er mindre effektivt. Det er derfor åbenbart, at en omlægning vil medføre en øget global udledning af CO₂. Dette er særlig vigtigt, da Danmark på grund af jordart og klima har gode forudsætninger for landbrug.

Vestas har en stor udledning af CO₂e, men sparer atmosfæren for en langt større mængde CO₂e ved muligheden for udnyttelse af vindenergi. Vil man skære ned på Vestas produktion for at få udledningen ned? Det virker paradoksalt, at dansk landbrug ikke godskrives den CO₂, der opfanges i de etårige afgrøder.

Vi er opmærksomme på, at denne artikel ikke inddrager emner som biodiversitet, dyrevelfærd og grundvandskvalitet.

Konklusion

Naturligvis skal man søge at mindske landbrugets udledning af CO₂e, men det skal gøres med omtanke, så man ikke får en mindre udledning i Danmark på bekostning af en global øgning af CO₂-udledningen. For os er der ingen tvivl om, at samfundet skal gå meget langt for at løse klimaproblemerne.

Løsningsforslag skal vurderes på deres fortjeneste og ikke på grundlag af ideologi og politik. Denne artikel giver to forslag til en realistisk og hensigtsmæssig måde at vurdere landbrugets klimapåvirkning på, hvordan man kan udnytte landbrugets og skovbrugets potentiale til at bidrage til en løsning af klimaproblemerne.

E-mail:

Søren Brøgger Christensen:

soren.christensen@sund.ku.dk

Referencer

1. Turner, A.J.; Frankenberg, C.; Kort, E.A., Interpreting contemporary trends in atmospheric methane. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2019**, 116 (8), 2805-2813.
2. Searchinger, T.D.; Wiersma, S.; Beringer, T.; Dumas, P., Assessing the efficiency of change in land use for mitigating climate change. *Nature (London, United Kingdom)* **2018**, 564 (7735), 249-253. Også Extended Data og Supplementary Tables.
3. Lasco, R.D.; Ogle, S.; Raison, J.; Verchot, L.; Wassmann, R.; Yagi, K.; Bhattacharya, S.; Brenner, J.S.; Daka, J.P.; González, S.P.; Krug, T.; Li, Y.; Martino, D.L.; McConkey, B.G.; Smith, P.; Tyler, S.C. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Agriculture, Forestry and other Land Use* **2006** Vol. 4. Afsnit 5.1.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

4. Frankelius, P., A proposal to rethink agriculture in the climate calculations. *Agron. J.* **2020**, 112 (4), 3216-3221.
5. Zomer, R.J.; Bossio, D.A.; Sommer, R.; Verchot, L.V., Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Nature/Scientific Reports*, **2017**, 7 (1) :15554 15794-15798.
6. Nielsen, O.; Koch, H.-J.; Wiltng, P., COBRI (Coordination Beet Research International) Report, 2015; pp. 31-32. Roetop ved 130 kg N per hektar.
7. Nordic Sugar, Danish Sugar Beet Cultivators Report, Nordzucker, Ed. 2010. Roepulp, gennemsnitlige værdier for årene 2006-2009. 4,67% af 85 ton sukkerroer.
8. Energistyrelsen, Energisituationen. Energistyrelsen: ens.dk. 2022.
9. Albrektsen, R.; Hjorth, M.M., Gyldenkerne, S. Danish Emission Inventories for Agriculture, Aarhus University, 2017.
10. Landbrugsstyrelsen, Drivhusgasser fra landbruget. Landbrugsstyrelsen: lbst.dk/tvaergaende/klima/drivhusgasser-fra-landbruget. 2022.
11. Kätterer T.; Bolinder, M.A.; Berglund, K.; Kirchmann, H.; *Acta Agriculturae Scandinavica A, NJF seminar no. 453* (2013) 181-198.
12. Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B. (2000) The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10, 423-436.

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

Professor John Nielsen

Professor John Nielsen sov stille ind lørdag den 17. december 2022 efter et længere sygdomsforløb. Vi har mistet en kær kollega, en entusiastisk underviser, en dygtig forsker og en god ven.

Af Kristian Strømgaard,
Knud Jørgen Jensen og
Jesper Thagaard Wengel

John Nielsen voksede op i Holbæk på Vestsjælland. Han startede som studerende i kemi og fysik på Københavns Universitet i 1979 og blev hurtigt særligt interesseret i kemi. Derfor valgte han at skrive speciale hos lektor Otto Dahl, hvor kombinationen af anvendt spektroskopiskopi med organisk syntese inden for phosphorkemi var attraktiv. Derudover samarbejdede han med professor Ole Buchardt omkring medicinsk bioteknologi og potentielle bioteknologiske og farmaceutiske anvendelser af deres forskning. Hermed var Johns store interesse for nukleotidkemi og DNA-syntese grundlagt, og han blev cand.scient. i 1984 (titel: *Synthesis and mechanistic studies on trivalent phosphorus compounds - directed towards application in biology*).

Samme år begyndte John at læse ph.d., hvor han efter kun en uge rejste til Holland og begyndte et frugtbart samarbejde med professor J.H. van Boom i Leiden. Han var en af de førende kemikere inden for bioorganisk kemi med en meget velorganiseret og dynamisk forskergruppe. Efter færdiggørelsen af sin ph.d. i 1987 (titel: *Solid- and solution-phase synthesis of oligonucleotides and their analogues*), valgte John at fortsætte som postdoc hos en af de største pionerer inden for DNA-syntese, professor Marvin H. Caruthers, University of Colorado (Boulder, USA). Her udførte John grundlæggende studier af såkaldt phosphorditioat-DNA, og Johns resultater fra opholdet i Boulder har nyligt demonstreret deres værdi i et biomedicinsk studie ledet af firmaet Roche. I 1988 vendte John tilbage til Københavns Universitet som adjunkt, hvor han fortsatte sit arbejde inden for DNA-syntese.

To år senere, i 1990, skiftede John til det danske biotekselskab Dako (nu Agilent Technologies Denmark) for at hjælpe med at opbygge deres kemiafdeling. Efter tre år i industrien drog John



Foto: Peter Dahlerup

tilbage til USA, til Scripps Research Institute i La Jolla, hvor han fik mulighed for at arbejde med kombinatorisk kemi sammen med nogle af verdens ledende forskere. Et af de mest markante resultater var udviklingen af en metode, hvor DNA blev brugt til at "tagge" molekyler i kombinatorisk kemi publiceret med Kim Janda og Sidney Brenner (J. Am. Chem. Soc., 1994).

I 1994 vendte John tilbage til Danmark og tiltrådte en stilling som lektor på DTU, hvor han som en af de første i Danmark introducerede kombinatorisk kemi. Her opbyggede han en forskningsgruppe, som specialiserede sig i kombinatorisk kemi, lægemiddelkemi og naturproduktkemi. Han etablerede blandt andet et succesrigt samarbejde med Michael Givskov om udviklingen af *quorum sensing* inhibitorer. Derudover forskede hans gruppe blandt andet i nye phenazin-derivater. I denne periode var han også med til at stifte AUDA Pharmaceuticals, der senere blev overtaget af det amerikanske biotekselskab Phythera.

I 2002 forlod John Nielsen DTU for at blive professor i bioorganisk kemi på det

daværende KVL, hvor han lagde megen energi i undervisning og opbygning af en forskningsgruppe inden for kombinatorisk naturproduktkemi og kemisk biologi. Fra 2004 var han leder af sektionen for bioorganisk kemi. Sideløbende med hans nye ansættelse var han i 2002-2004 forskningschef for et mindre biotekfirma, QSI Pharma, som han havde været med til at stifte.

I forbindelse med restrukturerings af kemi på Københavns Universitet valgte John i 2012 at flytte til det daværende Institut for Medicinalkemi (nu Institut for Lægemiddeldesign og Farmakologi). Her fik han en stadig større fokus på undervisning og påtog sig en række vigtige roller i forhold til udvikling af undervisning og etablering af nye uddannelser. Mest markant var hans rolle som studieleder på den nyetablerede medicinalkemiuddannelse, hvor John sikrede koordinering mellem ikke blot to institutter, men også to fakulteter. John Nielsen uddannede desuden mange speciale- og ph.d.-studerende på DTU, KVL og KU. John Nielsen var en værdsat samarbejdspartner, hvilket hans publikationer vidner om, og han blev også hyppigt brugt som censor på både SDU og Aarhus Universitet. John Nielsen modtog flere hædersbevisninger, herunder *Torkil Holm Fonds Forskningspris* i 2002.

I sin fritid nærerede John Nielsen en stor interesse og dedikation for løb, golf og gode vine. Han var især en dedikeret løber, hvor han brugte mange timer sammen med løberne i Blovstrød Løverne, hvor han også fungerede som løbetræner og opnåede en imponerende maratontid på under tre timer. I de senere år elskede John at spille golf, og også her var det en stor fornøjelse at tilbringe tid sammen med John i en positiv og venlig atmosfære krydret med en ambition om at præstere på det højest mulige niveau.

John efterlader sig sin kone, Helle, to børn (Alexander og Josephine) samt to børnebørn. Vi sender de varmeste tanker til familien.

Æret være John Niensens minde.

Ny løsning til procesanalytisk teknologi (PAT) er lanceret



Metrohm Process Analytics præsenterer "2060 The NIR Analyzer", som er designet til større prøvestrømme og inline procesovervågning.

2060 The NIR Analyzer kan måle op til fem prøvetagningspunkter hundreder af meter væk, og fås i fire forskellige konfigurationer målrettet forskellige applikationer og industrier.

For at få mest muligt ud af NIR-analysen er der behov for optimeret software, og 2060 The NIR Analyzer har de helt rigtige softwareløsninger til procesanalytisk teknologi (PAT): Med Impact- og Omnis-softwaren får du mest muligt ud

af din procesanalysator. Impact-softwaren involverer interface, der giver mulighed for programmering, visning af resultater samt kommunikationsprotokoller til anlæggets kontrolrum. I mellemtiden overvåger Omnis-softwaren al dataanalyse og indeholder kemometripakken. Som et resultat af denne kombination er 2060 The NIR Analyzer det ideelle værktøj til at understøtte PAT.

Certificeret til hårde miljøer

I flere industrier er mange produktionsprocesser klassificeret som potentielt eksplosiv atmosfære, hvor der kan forekomme højere koncentrationer af brændbare gasser, dampe eller støv. 2060 The NIR-Ex Analyzer og 2060 The NIR-REx Analyzer er udviklet til sådanne barske processer. Trykkabinettet direkte på systemet har den fordel, at der ikke skal anvendes yderligere beskyttelsesrum. Derudover er alle elektriske forbindelser egensikrede. Dette resulterer i en nem implementering i henhold til IECEx-reglerne eller EU's ATEX-retningslinjer.

Yderligere information:
Metrohm Nordic ApS
www.metrohm.com



Grøn produktion ved hjælp af billedanalyse: Casestudier fra bioprocesseringsbranchen

Oplev hvordan nye analyseteknikker baseret på billedanalyse kan øge produktionseffektiviteten i fødevarer-, biotek- og farmaproduktioner.

28. februar 2023, København V

Læs mere: ida.dk/arrangementer/348315

Lagring af CO₂ i Nordsøens undergrund

Danmark er kendt for at gå forrest, når det gælder den grønne omstilling. Med CO₂-lagring i Nordsøen tager vi endnu et skridt - som en del af løsningen for klimaet.

15. marts 2023, København V

Læs mere: ida.dk/arrangementer/348316

Ingeniørforeningen, IDA | Kalvebod Brygge 31-33 | 1780 København V | Tlf.: 33 18 47 62
Michelle S. Jensen | website: ida.dk | e-mail: mije@ida.dk

Afsender: TechMedia A/S, Naverland 35, DK-2600 Glostrup

DISCOVER the RHEOMETER with the...

Sensitivity • Ease-of-use • Versatility



**WHETHER for R&D or QC, or PROCESSING
APPLICATION or END USE PERFORMANCE**



Suitable For Products From Liquids To Solids



tainstruments.com