Dit branchemagasin fra TechMedia A/S

Dansk Kemi

Nummer 4 - August 2023 / 104. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

Fokus på PFAS

Nye bæredygtige proteinkilder

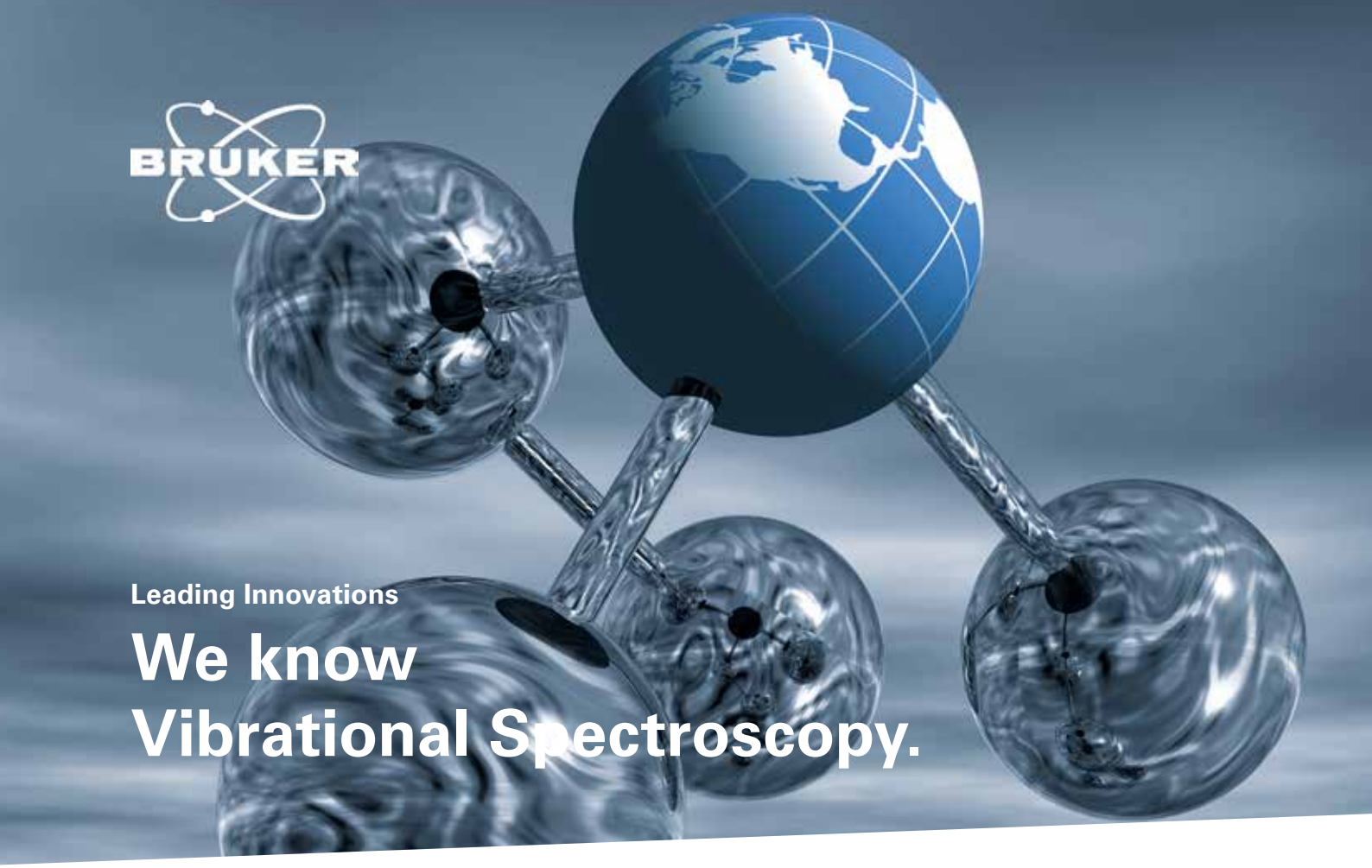
LabDays 2023

LabDays 2023

- trade fair for laboratory technology

labdays.dk

AARHUS 13-14 SEPTEMBER



Advanced Research and QA/QC Solutions based on Infrared, Near Infrared and Raman Spectroscopy.

Visit us at **LabDays** Booth #69

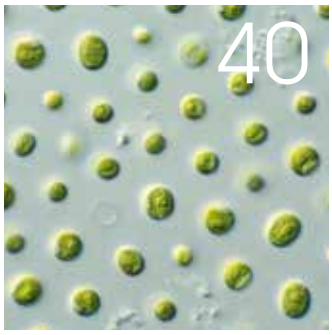
Our selection of near, mid and far infrared and Raman spectrometers is unrivalled across the industry. Our portfolio includes compact, portable routine as well as powerful research spectrometers. Our solutions cover the entire spectral range from near infrared, mid infrared, far infrared to THz applications.

- FT-IR Spectrometers
- FT-NIR Spectrometers
- Raman Spectrometers
- Process Monitoring
- Remote Sensing
- FT-IR Research Spectrometers
- FT-IR Microscopes
- Raman Microscopes
- Dairy Analyzers
- Gas Analyzers
- Silicon Analyzers
- Software Solutions

For more information please visit www.bruker.com/optics

Innovation with Integrity

INDHOLD



1 **Forside**
I den grønne omstilling er der fokus på nye, bæredygtige proteinkilder. Insekt er et alternativt bud på animalsk proteinkilde, læs mere herom på side 16.
Foto: Oktavianus Mulyadi (Wikimedia Commons).

6 **Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) og helbred**
Hvad ved vi egentlig om sammenhængen mellem PFAS og vores sundhed?

10 **Johann Rudolph Glauber og det Danske Hof**
Læs om forbindelsen mellem Johann Rudolph Glauber og det Danske Hof.

16 **Insekt på menuen**
Insekter er et muligt bud på en fremtidig alternativ proteinkilde.

19 **LabDays 2023**
Læs alt om LabDays 2023 og hvad du kan finde på messen, der løber af stablen 13.-14. september i Aarhus Congress Center.

30 **PFAS i byggeaffald**
PFAS er vidt udbredt i miljøet og findes også i byggeaffald.

33 **Høj-opløst massespektrometri (HRMS)**
Non-target screening med HRMS byder på nye muligheder.

36 **Hvad indeholder yoghurten af væsentlige lavmolekylære forbindelser?**
Små metabolitter og peptider i yoghurten giver indblik i fødevarens sundhedsfremmende potentiale.

40 **Mikroalger som fremtidens fødevareingrediens**
DTU Fødevareinstituttet forsker i mikroalger, der er et godt bud på en fremtidig og bæredygtig fødevarekomponent.

44 **Citrat i calcium biomineralisering**
Calciumsalte og deres opløselighed formodes at have betydning for deres biotilgængelighed.

46 **Fokus på azid**
Omkring azid og nomenklaturen.

46 **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
kbk@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 (Kemiingeniørgruppen)
Lektor, civilingeniør, ph.d. Merete Norsker Bergsøe
Vibeke Richter Foërsom (Næstformand, Kemilærerforeningen)
Chefkonsulent Helle Westphal
Gruppeleder, EHS, FMC site Rønland
Inge Margrethe Jensen
Fagkonsulent Mette Malmqvist

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

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

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

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

Layout: Trine Plass
Tryk: PE Offset A/S

Oplag: 4.190
Online læsere: 1.279

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

Trykt på miljøvenligt papir med vegetabilske miljøfarver.

NORDISK MILJØMÆRKNING 5041 0309 TRYKSAG

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

Læs bladet online:
www.danskkemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

Eller find Dansk Kemi på:

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

Noble eftertanker

Nu er der gået ¾ år siden Morten Meldals glædelige, overrumplende og, for alt for mange i universitetsverdenen, overraskende Nobelpris. Hverdagen har igen indfundet sig på Kemisk Institut for den danske kemi og for dansk forskning. Hvilken betydning har prisen haft, og hvilke eftertanker giver den anledning til?

For det første er netop denne pris en gigantisk opmuntring til den eksperimentelt arbejdende videnskabskvinde/mand, som oftest kæmper en ensom kamp og kun belønnes med den indre glæde, et stykke veludført forskning giver. Opdagelsen af klikkemien viser, at en meget stor og nyttig opdagelse kan komme pludseligt ud af et relativt enkelt forskningsprojekt.

For det andet illustrerer den på forunderlig vis, hvordan en utrolig nyttig og anvendelig opdagelse er opstået ud fra grundforskning. Har man i danske universitetsmiljøer gjort lige så nyttige opdagelser ved hjælp af såkaldt anvendt forskning? Det tvivler jeg på, og man bør overveje at rette flere midler mod opdagelse af ny kemi frem for løsning af specifikke problemer med kendt kemi.

For det tredje, som Knud Jensen også berettede i sin leder i Dansk Kemi nr. 3/23, er det ikke nogen hemmelighed, at Meldal i de sidste 10 år fik meget lidt støtte til sin forskning fra fonde og råd. Samtidig var det i samme tidsrum heller ikke nogen hemmelighed, at han formentlig ville få Nobelprisen - jeg erindrer, at jeg allerede i 2007 diskuterede muligheden med udenlandske forskere. Vi har altså at gøre med en forsker, som man, hvad enten han får Nobelprisen eller ej, ved, kan lave store opdagelser, men man støtter ham ikke. Man må spørge sig selv, om de fonde som i så høj grad styrer dansk forskning ved nok om og/eller interesserer sig nok for det, de administrerer. Hvorfor har man det indtryk, at mange blev taget med bukserne nede, da Meldal fik Nobelprisen? Er det ikke ens job at vide, hvem der med sandsynlighed kan få Nobelprisen, hvis man sidder i en fondsbestyrelse eller i toppen af et universitet for den sags skyld?

> Hvorfor har man det indtryk, at mange blev taget med bukserne nede, da Meldal fik Nobelprisen?

Endelig opdagedes klikkemien jo i forbindelse med undersøgelse af noget helt andet. Fordi Meldals forskning på det tidspunkt var støttet af en stor bevilling fra Grundforskningsfonden, havde man råderummet til at forfølge opdagelsen. Men det har man ikke nødvendigvis på en lille bevilling og derfor bør flere bevillinger give forskerne mulighed for at arbejde frit inden for et område frem for strengt at skulle følge et forudbestemt program. Vi kender simpelthen ikke de største opdagelser på forhånd.

Vi kan glæde os over, at Nobelprisen har gjort kemi til et fyrtårn i dansk videnskab, men bør samtidigt tage ved lære af fortidens fejl. Vi skal have mere faglig forståelse ind i styringen af dansk forskning, hvis vi skal sikre, at Meldals pris ikke bliver den sidste.

Mikael Bols

MD Scientific Aps

www.md-scientific.dk

LabDays 2023 Aarhus - Stand nr. 57

Gonotec
Osmomat 3000

Tosoh Bioscience EcoSEC Elite

Advion Interchim puriFlash
with expression

Riggtek Dissolution
Media Preparation Station

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) og helbred

- sundhedsmæssige perspektiver af PFAS-forurening i Danmark.

Af Paula E.C. Hammer, speciallæge i Arbejds- og Miljømedicin, ph.d., klinisk toksikolog, Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling Bispebjerg Hospital/Giftlinjen og Arbejds- og Socialmedicinsk Afdeling Holbæk Sygehus

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) er en fælles betegnelse for en gruppe af over 10.000 stoffer, som består af ekstreme stabile forbindelser mellem kulstof og fluor. De har været anvendt globalt siden 1950'erne grundet deres effektive egenskaber som kemi- og varmeresistente samt vand- og smudsafvisende. Netop disse egenskaber gør, at PFAS er svært nedbrydeligt både i miljøet og i levende organismer.

PFAS findes både i industrielle og i hverdagsprodukter såsom tekstilimprægnering, slip-let-belægning af køkkenudstyr og plejeprodukter. Studier på tværs af kontinenter peger på, at PFAS findes i blod hos potentielt hele verdens befolkning. Nogle af de hyppigste undersøgte PFAS i human forskning er perfluoroktansyre (PFOA), perfluoroktansulfansyre (PFOS), perfluorhexansulfonsyre (PFHxS), perfluornonansyre (PFNA) og perfluordecansyre (PFDA) (figur 1).

Human eksponering

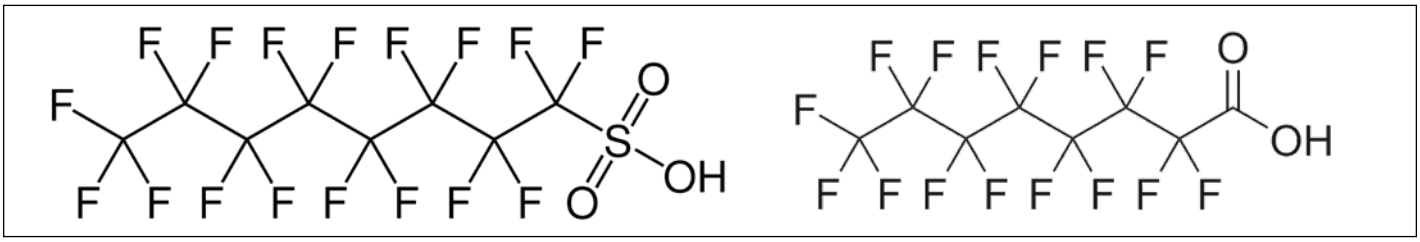
Den generelle befolkning er udsat for PFAS primært via indtagelse af kontaminerede fødevarer (især animalske produkter, da PFAS binder sig til proteiner) og drikkevand samt i mindre omfang via indendørs støv. Arbejdsrelateret eksponering foregår især ved inhalering af støv, røg og damp ved fremstilling, anvendelse og bortskaffelse af PFAS. Optagelse af PFAS gennem huden er meget begrænset. Efter absorption bindes PFAS til albumin og andre proteiner i blodet og opkoncentreres især i leveren og nyrerne. De udskilles primært via urin, men også via afføring grundet enterohepatisk cirkulation. Derudover udskiller kvinder PFAS ved menstruation, via placenta under graviditeten og via modermælk [1].

Betegnelsen "evighedskemikalier" har givet befolkningen indtryk af, at PFAS forbliver i kroppen for evigt. Dette er ikke tilfældet, omend de udskilles meget langsomt med halveringstider rapporteret for PFOS og PFOA i blod på omkring fem år. Til sammenligning er halveringstiden for bly omtrent 30 dage i blod og over 20 år i knoglevæv.

Helbredseffekter

I marts 2023 offentliggjorde Sundhedsstyrelsen en rapport, som vurderer evidensen af PFAS' helbredseffekter baseret på tidligere internationale reviews blandt andet fra Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), European Food and Safety Authority (EFSA) og National Academy of Sciences, Engineering and Medicine's (NASEM) [2]. Rapporten peger på følgende evidens [2]: Væsentlig mistanke om en association mellem udsættelse for PFAS og:

- nedsat antistofrespons overfor vaccination
- nedsat fødselsvægt



Figur 1. Kemiske strukturer for PFOS (perfluoroktansulfonat), til venstre, og PFOA (perfluoroktansyre), til højre. To eksempler på PFAA'er (perlfuoroalkylic acids = perfluoralkylsyrer).

DISCOVER the RHEOMETER with the
Sensitivity • Ease-of-use • Versatility

WHETHER FOR PROCESSING APPLICATION OR R&D OR QC OR END USE PERFORMANCE

Suitable For Products From Liquids To Solids

TA® | tainstruments.com

• forhøjet kolesterol
• nyrekræft.

Mindre overbevisende evidens for en association mellem udsættelse for PFAS og:
• forhøjet blodtryk i graviditeten
• påvirkning af leverenzymer
• påvirkning af skjoldbruskkirtlens hormoner
• brystkræft
• testikelkræft.

PFAS er ikke akut giftig. Effekten på immunforsvaret i form af nedsat antistofrespons overfor vaccination er på nuværende tidspunkt anset som den kritiske effekt, hvis forebyggelse formås også at kunne forebygge de andre helbredseffekter.

Der forskes fortsat i PFAS' potentielle association med mange flere helbredseffekter, men evidensen er ikke entydig. Det har endnu ikke været muligt at fastlægge en dosis-responssammenhæng, og det er heller ikke belyst, om PFAS' helbredseffekter skyldes en tærskelværdi eller den kumulerede eksponering. Årsagen til disse udfordringer er til dels, at man som regel undersøger enkelte stoffer ad gangen, og at man ikke har en kontrolgruppe bestående af ikke-eksponerede personer, da stort set alle mennesker på jorden har PFAS i kroppen.

Endelig er der mangel på studier, som tager højde for den velkendte kemiske cocktaileffekt ved at undersøge de mange tusind PFAS samtidig og i samspil med andre kemikalier, vi omgives af i hverdagen. På den anden side er det vigtigt at huske på, at den nuværende evidens om PFAS' helbredseffekter er baseret på over 30 års forskning af personer med ekstraordinær stor eksponering for PFAS ved fremstilling af disse stoffer. Dette niveau af eksponering er ikke set i Danmark, da man aldrig har haft PFAS-fabrikker i landet.

Flere PFAS helbredseffekter har indtil videre vist sig primært at være forbundet med ændringer i hormoner og biologiske markører og ikke nødvendigvis med klinisk sygdom. Selv om man har observeret lavere niveau af antistoffer efter vaccination, har man ikke fundet manglende effekt af vacciner og heller ikke øget forekomst af alvorlige infektioner eller de sygdomme, som man vaccinerer mod. PFAS har været associeret med 50-100 gram lavere fødselsvægt, men ikke for lav fødselsvægt (< 2.500 gram) [3]. Angående forhøjet kolesterol fandt man i et kohortestudie af knap 2.000 personer, som havde indtaget drikkevand forurenet med PFAS gennem over 30 år i Sverige, en øgning af totalt kolesterol på under 1 mmol/L [4], hvilket er langt fra behandlingskrævende hyperkolesterolæmi. Ligeledes har PFAS være associeret med påvirkning af leverenzymer, men ikke med leversygdom.

PFAS' helbredseffekter er uden tvivl relevante og bekymrende, men primært på samfundsniveau og ikke på individniveau. Dette kan illustreres ved at oversætte relative gruppebaserede risici observeret i kohortestudier til absolutte individbaserede estimater. For eksempel betyder en 30 procent relativ risikoøgning for nyrekræft, at en persons risiko for at få nyrekræft inden 75-årsalderen i Danmark stiger fra 0,7 procent til 0,9 procent, hvis man er kvinde, og fra 1,5 procent til 1,9 procent, hvis man er mand.

Dette svarer til cirka tre ekstra tilfælde blandt 1.000 mennesker med høj eksponering for PFAS. Som individ er denne risikoøgning meget beskeden, men for samfundet er det en betydelig risiko. Denne perspektivering er vigtig for at undgå unødig bekymring blandt

Figur 2. Kilder til forurening.

- Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) er en fælles betegnelse for en gruppe af over 10.000 persistente stoffer, som findes globalt både i miljø og hos mennesker.
- Der er betydelig evidens for, at PFAS har uønskede helbredseffekter, hvilket bør give anledning til regulering, kortlægning og håndtering af forureningskilderne, men der er ingen grund til panik.
- PFAS er ikke akut giftige, og de er mindre sundhedsskadelige end for eksempel luftforurening, tobaksrygning og tungmetaller.
- Der er stor forskel på populationsrisiko vs. individrisiko for sygdom ved eksponering for PFAS.
- Blodprøver for måling af PFAS siger ikke noget om en persons sygdomsrisiko og giver ikke anledning til behandling.
- Grænseværdier i Danmark er blandt de laveste i verden og beskytter de meste sårbare i samfundet.
- Mediedækningen og lavere grænseværdier har givet befolkningen indtryk af, at PFAS er en ny og stigende forurening, men den er i virkeligheden en velkendt og til dels nedadgående problematik.
- Regulering af PFAS kan effektivt reducere den humane eksponering, især hvis den målrettes samtlige PFAS fremfor enkelte stoffer.

befolkningen. PFAS er problematisk og udgør en miljømæssig katastrofe, men de er langt mindre toksiske end mange kemikalier, vi omgives af i hverdagen såsom luftforurening, tobaksrygning og tungmetaller.

Vedrørende graviditet og amning er der ikke på nuværende tidspunkt faglig begrundelse for at udsætte graviditeten eller for at undlade amning, især de første 4-6 måneder på grund af eksponering for PFAS. Amning har en lang række beskyttende effekter i forhold til barn og mor. I henhold til Sundhedsstyrelsens vejledning kan personer med en påvist ekstraordinær eksponering blive henvist til udredning og rådgivning på en arbejds- og miljømedicinsk afdeling.

Blodprøver for måling af PFAS

PFAS-forureninger har haft stor mediebevågenhed i Danmark de seneste år, hvor spørgsmålet om man bør måle sit "PFAS-tal", blev rejst. Lægefagligt er der af flere grunde ikke indikation for dette.

For det første er der ikke fastlagt et normalt niveau af PFAS i blod. Disse stoffer er menneskeskabte og hører dermed ikke til i kroppen. Derfor er ethvert niveau over nul i princippet forhøjet. Danske kohortestudier peger på, at befolkningens gennemsnitlige PFOS-niveau var omkring 30-40 ng/mL i løbet af 1990'erne og faldt til 5-10 ng/mL de seneste 10 år blandt andet på grund af regulering af PFOS [5,6,7]. Til sammenligning har man observeret niveauer på 135 ng/mL i gennemsnit for PFOS efter forurening af drikkevand i Ronneby, Sverige [8] og på over 300 ng/mL for PFOA hos medarbejdere fra en Teflon-fabrik i USA [9].

For det andet er det ikke belyst, hvilke niveauer der udgør en sundhedsrisiko. Altså en persons PFAS' niveau siger ikke noget om vedkommendes risiko for at udvikle sygdom.

For det tredje giver en PFAS-måling ikke anledning til nogen behandling. Uanset en persons PFAS-niveau er udredning og behandling af eventuelle sygdomme den samme. Der findes på nuværende tidspunkt ingen behandling, som kan fremme udskillelse af PFAS.

Endelig opfylder blodprøver for måling af PFAS ikke Sundhedsstyrelsens screeningskriterier, som sigter efter at identificere personer, som kan have gavn af forebyggelse eller tidlig behandling. Enkelte personer har ikke brug for en blodprøve for at identificere, at de bør mindske deres eksponering for PFAS. Der er rigelig evidens på at, det er en god idé for hele befolkningen. Ydermere bør PFAS-problematikken håndteres primært på samfundsniveau og ikke på individniveau. Befolkningen har på nuværende tidspunkt yderst begrænset mulighed for at undgå eksponering for PFAS, da stofferne er bredt anvendt både i industrielle og hverdagsprodukter, men de er ikke deklarationspligtige. Desuden er det indtil videre kun få ud af over 10.000 stoffer, som er blevet regulerede.

Blodprøver for måling af PFAS kan dog indgå i biomonitoreringsstudier og som kortlægning af den humane eksponering, når målinger fra miljøet er utilstrækkelige. Der er i sådanne tilfælde tale om eksponeringsvurdering på gruppe- eller samfundsniveau og ikke om en individbaseret klinisk undersøgelse.

Regulering

Den stigende evidens for PFAS' negative helbredseffekter har fremmet en række tiltag i forsøg på at standse PFAS-forureningen globalt. Det Nordiske Ministerråd udgav en rapport i 2019, som peger på, at de sundhedsmæssige konsekvenser af PFAS kan koste det Europæiske Økonomisk Samarbejdsområde flere billioner euro, hvis man ikke reducerer PFAS' miljømæssige forurening og human eksponering [10].

Enkelte PFAS er blevet reguleret gennem de seneste 20 år. For eksempel har man i EU forbudt anvendelse af PFOS i brandslukningsskum i 2006 og af PFAS generelt i fødevareemballage i 2020. Danske biomonitoreringsstudier viser, at reguleringen har bidraget til faldende niveauer af PFOS og PFOS i blod hos den generelle befolkning, da niveauet er faldet til cirka 1/5 del i løbet af de seneste 15 år. Denne faldende tendens skyldes også faldende grænseværdier for PFAS både i jord, grundvand og drikkevand. Danmark har aktuelt nogle af de laveste grænseværdier i EU.

Grænseværdien for summen af flere PFAS blev for eksempel sænket med en faktor 50 i 2021 (fra 100 til 2 nanogram/L) [11]. Grundlaget for dette er en anbefaling fra EFSA i 2020, som tager udgangspunkt i acceptable niveauer, som kan være med til at beskytte småbørn mod PFAS' kritiske effekt i form af påvirkning af immunforsvaret. I starten af 2023 indsendte Danmark i samarbejde med Norge, Sverige, Tyskland og Holland et lovforslag om forbud mod alle PFAS til EU's Kemikalieagentur. Et sådant forbud forventes at bidrage betragteligt til at reducere den miljømæssige forurening og hermed også den humane eksponering for PFAS i de kommende årtier. Der foregår aktuelt en kortlægning af potentielle kilder til PFAS i Danmark både fra miljøet og i arbejdsmæssige sammenhænge. Danmark forventes at indføre landsdækkende tiltag for at begrænse anvendelse af stofferne ved en kommende national handleplan for håndtering af PFAS.

E-mail:
Paula E.C. Hammer:
paula.edeusa.cristina.hammer@regionh.dk

Referencer

1. Toxicological Profile for Perfluoroalkyls, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2021 https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=1117&tid=237.
2. Helbredseffekter af PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS, Sundhedsstyrelsen, 2023. https://www.sst.dk/-/media/Viden/Milj%C3%B8/Milj%C3%B8-og-sundhed/PFAS/FINAL-Helbredseffekter-af-PFOA_-PFNA_-PFOS-og-PFHxS-maj-2023.ashx.
3. Engstöm K., Axmon A., Nielsen C., Rignell-Hydbom A. High in utero exposure to perfluoroalkyl substances from drinking water and birth weight: a cohort study among infansts from Ronneby, Sweden. Int J Environ Res Public Health. 2022 Feb 18;19(4):2385. doi: 0.3390/ijerph19042385.
4. Lit et al. Associations between perfluoroalkyl substances and serum lipids in a Swedish adult population with contaminated drinking water. Environ Health. 2020 Mar 14;19(1):33. doi: 10.1186/s12940-020-00588-9.
5. Joensen U.N., Bossi R., Leffers H., Jensen A.A., Skakkebæk N.E., Jørgensen N. Do Perfluoroalkyl compounds impair human semen quality? *Environ Health Perspect*. 2009;117(6):923-927. doi:10.1289/ehp.0800517.
6. Joensen U.N., Veyrand B., Antignac J.P., et al. PFOS (perfluorooctanesulfonate) in serum is negatively associated with testosterone levels, but not with semen quality, in healthy men. *Hum Reprod*. 2013;28(3):599-608. doi:10.1093/humrep/des425.
7. Petersen K.U., Hærvig K.K., Flachs E.M., et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and male reproductive function in young adulthood; a cross-sectional study. *Environ Res*. 2022;212. doi:10.1016/j.envres.2022.113157.
8. Xu Y., Nielsen C., Li Y., et al. Serum perfluoroalkyl substances in residents following long-term drinking water contamination from firefighting foam in Ronneby, Sweden. *Environ Int*. 2021;147. doi:10.1016/j.envint.2020.106333.
9. Winquist A., Lally C., Shin H.M., Steenland K. Design, methods, and population for a study of PFOA health effects among highly exposed Mid-Ohio Valley community residents and workers. *Environ Health Perspect*. 2013;121(8):893-899. doi:10.1289/ehp.1206450.
10. The Cost of Inaction - A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS, The Nordic Council of Ministers, 2019. http://norden.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1295959&dswid=7209.
11. Miljøstyrelsens hjemmeside, https://mst.dk/kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/pfas/.

Johann Rudolph Glauber og det Danske Hof

Kong Frederik III's *chemici* Otto Sperling og Caspar Herbach opsøgte Glauber i Amsterdam for at lære guldmageri og andre hemmeligheder.

Af Curt Wentrup

Helwig Dieterich, kongelig dansk livlæge [1], gav den forbavsende oplysning i *Vindiciae* [2], at den berømte kemiker Johannes Rudolph Glauber (figur 1) havde været hans laborant. Glauber, som var født i Karlstadt i Franken i 1604, tilbragte en stor del af sit professionelle liv i Amsterdam, men i 1632 under 30-års krigen var han i Frankfurt ved Svenskekongen Gustav Adolfs hof, hvor han fremstillede hulspejle, som var meget eftertragtede af de *fürnehmen Herren* til barbering [3].

Figur 1. Sandt kontrafej af den ærværdige og velagtede Hr. Johannis Rudolph Glauber, fornem kemiker og laborant i Kitzingen i Franken [8]. Glauber var i Kitzingen 1651-55.

Figur 2. Otto Sperling (1602-1681) og Leonora Christina (Chr. IV's datter med Kirsten Munk, og Corfitz Ulfeldts hustru) ved skakspillet. Maleri af P.H. Kristian Zahrtmann, 1916.

Men Gustav Adolf faldt i slaget ved Lützen den 6. november 1632, og Glauber så sig derfor sandsynligvis om for at finde beskæftigelse andetsteds. Ole Borch skrev i sin journal i Amsterdam den 29. marts 1662, at han var sammen med Glauber fra Salzburg (Glauber havde tilbragt nogen tid i Salzburg), en guitarist og *chymicus*, som havde arbejdet for Greven af Darmstadt, og "han fortalte mig, at han havde en metode til at reducere bly til kviksølv" [4]. Det stemmer med Glaubers egen udtalelse, at han tjente en herre af højt renommé i to år i hans ungdom [5]. Formålet var netop at udvinde kviksølv fra bly. Det kan derfor antages, at Glauber var *chymicus* for Landgreve Georg af Hessen-Darmstadt omkring 1632-34. På det tidspunkt var Dieterich landgrevens livlæge. Men på grund af krigen og pesten havde landgreven forlagt sin residens til Giessen, hvor Glauber i 1635 tjente landgrevens apotek [6]. Glauber kaldte sig *Apothekarius* på sin hollandske vielsesattest med Helena Cornelisdatter fra Flensborg [7]. I det tidsrum hvor de begge var i Giessen kunne Dieterich have benyttet Glauber som sin laborant til fremstilling af lægemidler til landgrevens brug.

Det var almindeligt for konger og adel i det 15. og 16. århundrede at have en dyb interesse for alkemi, især med henblik på guldmageri. Det var også tilfældet for de danske konger

Holm & Halby

TIL LABORATORIER I UDVIKLING

PRODUKTER
- LAF kabinetter
- Cytostatika kabinetter
- Sterilkabinetter
- Medicinblandeskabe
- Partikeltællere

RENRUMSARTIKLER
- Desinfektionsmidler
- Handsker
- Aftørringsklude
- Swabs og lab tips
- Klæbemåtter
- Masker
- Håndcreme

INDESLUTNINGER OG BARRIERESYSTEMER
- AIR showers
- RABS
- Isolatorer
- Sluser
- Gennemræknings-moduler

YDELSER
- Rådgivning
- Projektledelse
- Service
- Installation
- Test
- Kvalificering
- Seminarer og undervisning

Den komplette leverandør inden for renrum

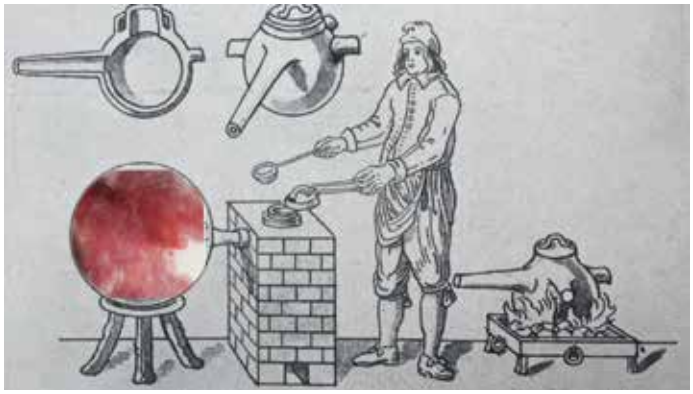
Tel.: 4326 9400
www.holm-halby.dk
info@holm-halby.dk

Hvis du vil vide mere:
Kontakt team Cleanzone
www.holm-halby.dk/cleanzone/

tilligemed Dronning Kristina af Sverige [9] og Charles II af England [4], som alle søgte råd hos Glauber.

Otto Sperling, kongelig chemicus og medicus

I 1649 var Frederik III's *hofchemicus* og *hofmedicus*, dr.med. Otto Sperling (figur 2, side 10) med Corfitz Ulfeldt i Amsterdam [10], hvor Ulfeldt etablerede det forbund med Holland (Generalstaterne), som skulle blive af eksistentiel betydning for Danmark under Karl Gustavs belejring af København i 1658. Samtidig besøgte Sperling Glauber og betalte ham 400 rigsdaler for en metode til fremstilling af spiritus lig en fransk samt opskrift på tilberedning af god vin fra rosiner, honning, æbler, pærer, stikkelsbær, ribs og andre frugter, og endelig en metode til forbedring af dårlig vin [11]. Sperling måtte kun bruge dem i de nordiske lande, og han ville få en bøde på op til 1.000 daler, hvis han røbede hemmelighederne til nogen anden.



Figur 3. Glaubers eksploderende knaldguld [3].

I 1657, da både Ulfeldt og Sperling var i landflygtighed grundet landsforræderi, købte sidstnævnte, som nu havde nedsat sig som læge i Hamburg, en portion *aurum potabile* (drikkeligt guld) af Glauber med det formål at transmutere kviksølv til guld. Forsøget mislykkedes. Men det drikkelige guld skulle også være et fremragende universallægemiddel; det skulle uddrive sved og urin, kurere galdesten og gigt m.m. Derpå fulgte en del korrespondance mellem Sperling og Glauber, men som bekendt blev Sperling i 1664 taget til fange, bragt til København i lænker, og fængslet i Blåtårn i de resterende 23 år af hans liv, hvor han skrev sin selvbiografi [12]. Den samme skæbne blev Leonora Christina, Ulfeldts hustru, til del, dog blev hun løsladt efter 22 år.

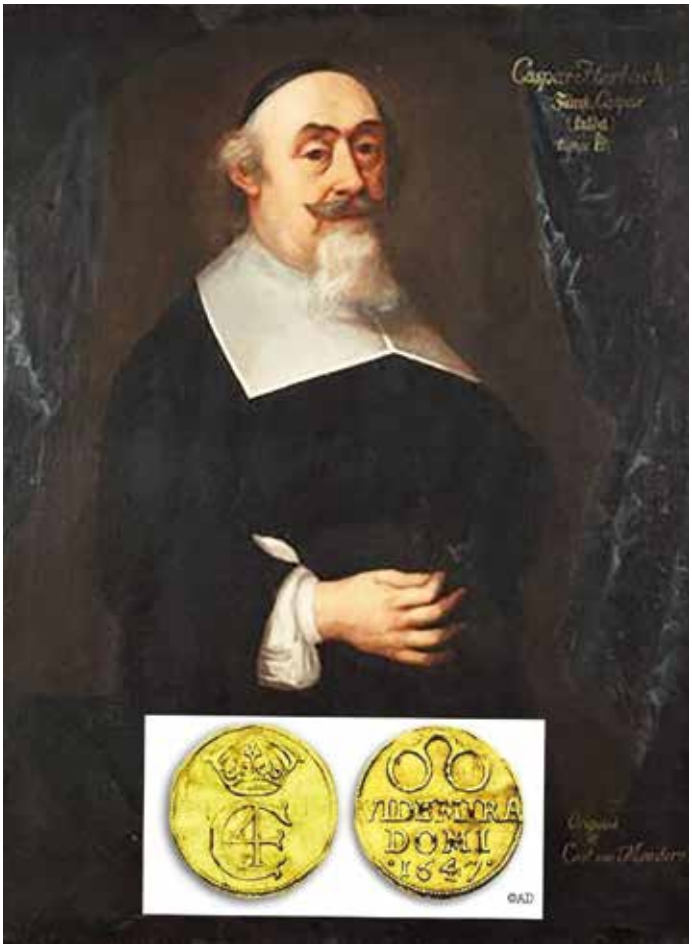
Glauber fremstillede sit *aurum potabile* på traditionel måde ved fældning af guld i *aqua regis* med ammoniak, hvorved der dannes knaldguld (*aurum fulminans*, $Au(NH_3)_4Cl_3$), som derpå destilleres med ammoniak [9]. Desuden havde han en unik metode til fremstilling af en guld-tinktur ved at eksplodere knaldguld i en kobberkedel og kondensere de derved dannede purpurfarvede dampe i en stor recipient (figur 3) [3]. Udtrækning af kondensatet med ethanol gav "en af de nobleste medicíner, som styrker og opliver hjertet, renser og forynger urent blod, så mange afskyelige sygdomme såsom spedalskhed, syfilis, og deslige uddrives". Ydermere blev det også forkyndt som en guld-formerer (*multiplicatio aurum*) (Borch [4], p.119).

Caspar Herbach, kongelig destillerer, chymicus, og mønter

Caspar Herbach alias "Kunst-Kaspar" var en kunstsnedker fra Sachsen, men tillige alkemist og guldsmed. I 1642 udnævnte Kong Christian IV ham til kongelig destillerer og *chymicus* som Peter Payngks efterfølger (cf. [1]). Et "smeltehus", som blev bygget i Kongens Have, tillod ham at ekstrahere guld af sølvmalmen fra Kongsberg i Norge. Nogle få dukater blev møntet af Herbachs guld (figur 4), som snart blev betegnet som "alkemisk guld" [13]. Der var mange eksempler på alkemisk guld, for eksempel de mønter, som Kejser Leopold I lod slå i 1675 af guld, som munken Wenzel Seyler skulle have udvundet fra tin, men som fandtes at være "ikke i stand til at modstå prøven" [14]. På den anden side skulle en musiker under kurfyrsten af Trier hver dag kunne fremstille otte imperialske daler, som modstod alle prøver (Borch [4], p. 95).

I 1656 sendte Kong Frederik III Herbach til Amsterdam for at lære nogle af Glaubers hemmeligheder og, hvis han var overbevist, købe dem [15]. Glauber tilbød fire *Secreten*:

(i) Sølvets *primum ens* (første princip), en komplet medicin, for 200 clausthaler. Kongen var ikke interesseret i denne recept.
(ii) En metode til adskillelse af kobber, guld og sølv fra malm og "animering" af salt, så det bliver salpeter. Herbach lærte at gøre det selv. Det kostede 300 rigsdaler, som kongen betalte. Proceduren beskrives nedenfor.
(iii) En smuk rød væske fremstillet ud fra salpeter; en fremragende medicin, som gav Glauber en årlig indtægt på flere tusinde daler. Det kunne gøres på en dag, og recepten kostede 1.000 rigsdaler. Det var utvivlsomt Glaubers *aurum potabile*. Kongen noterede, at hans egen læge, dr. Peter Bülche, havde gennemført fremstillingen med held på hoffet i Gottorp, og Ole Borch berettede, at kongen selv havde fremstillet drikkeligt guld [16].
(iv) En metode hvormed man med en kapital på 100 dukater kunne tjene én ekstra dukat på tre timer. Metoden kostede 200 dukater, som kongen afslog. Det drejer sig om *floren*-proceduren, som beskrives på side 14.



Figur 4. Caspar Herbach (1600-1664) og hans gulddukater [20].

CultiXcell: Cultivation Excellence!

De bedste Upstream analyzere og sensorer på markedet fås hos CultiXcell

Massespektrometer designet til online
Prima BT og Prima PRO MS til måling af offgas fra 14, 30 eller 62 fermentere. Designet til online måling 24/7-365 med den unikke Scanning Magnetic Sector teknologi (ikke en quadrupole MS).

Aber har online celledensitet på flere måder:
- Futura, kapacitans, måler kun levende celler
- Optura, optisk, linear med offline, boble uafhængig
  Scope: ø12 mm og DN25 probe til fermenter
  Spy: Måler igennem glasset, også shake flasks
  Palm: Håndholdt til shake flasks

Exner optiske celledensitetssensorer
EXspect serien fås med og uden display. Som transmission-sonde og som de nye refleksionssonder.
Nyeste EXspect 251 har boble-algoritme.

4BioCell - Nyt firma med meget erfaring
- 4Bio CellCount Pro nyeste celletæller, med viabilitet uden Trypan blå.
- 4Bio Core, Compact og Combine er analyzere til måling af metabolitter.

CultiXcell A/S Web: www.cultixcell.com Mail: mail@cultixcell.com Telefon: 7174 5811

(v) Den evindelige mine (*das immerwehrende Bergwerk*). Den kostede 1.000 dukater, og den kongelige majestæt skulle love ikke at forråde den til nogen anden. Den beskrives nedenfor.

Da kongen ikke ønskede at spendere flere penge, blev Herbach kaldt hjem. Hans søn Frederik fik dog lov til at blive et år hos Glauber for at lære flere hemmeligheder. De ovennævnte sekreter kan forstås som følger:

Glauber har beskrevet *multiplicatio aurum* [17] med en gevinst på 1 *floren* per 100 (en floren var en sølvmønt lig cirka 1/2 dukat) ved at smelte Au og Cu med *regulus martis* (Fe-Sb-legering) og salpeter. "Hæld smelten i en digel, og i bunden vil du finde rent guld, formeret med en femtedel af dets vægt, som var blevet ekstraheret fra kobberet og *regulus martis*". Det hele tog 2-3 timer. Efter fradrag af alle udgifter ville gevinsten være 1/100.

Adskillelse af kobber, guld og sølv i malme var utvivlsomt af interesse for Herbach for hans arbejde med Kongsbergmalmen. Glauber beskrev [18] smeltning af en malm, indeholdende jern, kobber, guld og sølv, med salt. Først trækker saltet jernet til sig selv og lader de andre metaller uberørte. Men hvis malmen ikke er jernrig, vil saltet i stedet drage kobberet til sig. Den afkølede masse bliver nu pulveriseret og ekstraheret med vand, som vil opløse jern- og kobbersalte. Hvis jernstænger lægges i dette vand, vil kobber deponeres på dem. Det kan så vaskes eller skrabes af, og smeltning giver godt kobber, fra hvilket man kan fremstille verdigris, som er dobbelt så dyrt som kobber. Brug af almindeligt salt til adskillelse af sølv og guld var kendt i den tidlige middelalder og sandsynligvis tidligere [19]. Ved opvarmning med NaCl dannes AgCl, som vaskes af, efterladende rent guld.

Det *immerwehrende Bergwerk* er beskrevet i forbindelse med ekstraktion af sølv fra pulveriserede malme med vandig salpeter (eller *aqua fort*, HNO_3) [17]. Guldet trækkes ud med *aqua regis*. Derefter cementeres de fældede sølv- og guldkalke ved opvarmning med galmay (kalamin, en zinkmalm bestående af zinkcarbonat og -silikat). Derved bliver sølvet mere gyldent. Nu fremstilles et flusmiddel ved opvarmning af salpeter med galmay, som tjener til at uddrive salpetersyren. Vandig ekstraktion af den faste remanens giver "den grønne løve" (sandsynligvis grønt zinksilikat), som reducerer sølvkalken og gør den gylden. Hvis sølvkalken og den grønne løve cementeres sammen ved høj temperatur, fås et *Augmentum auri*. "Endelig bliver alt sølvet graderet til guld, som man kan opfatte som et *immerwehrenden Gold-Bergwerk,* alt ved hjælp af salpeter. Det er en kontinuerlig formering af guld, hvoraf man kan leve rigeligt". Det forekommer sandsynligt, at der var noget kobber i malmen. så en Cu-Zn-Ag messing blev dannet.

Herbach blev ansat som kongelig mønter i 1663, men døde allerede i 1664. Sønnen Frederik efterfulgte ham som kongelig mønter indtil Frederik III's død i 1670. Den nye konge, Christian V, afskedigede desværre Herbach Jr. i 1671, fordi han og hans co-mønter Gotfred Krüger fandtes skyldige i bedrageri ved at have reduceret mønternes guldindhold [20]. Det var en skam, de ikke kunne bruge en af Glaubers formerende processer!

E-mail:
Curt Wentrup: wentrup@uq.edu.au

Kong Frederik III.

Referencer

1. See C. Wentrup, *Dansk Kemi*, **2023**, *(1)*, 20-22.
2. D. Helvici Dieterici, *Vindiciae adversus Tachenium*, Hamburg, **1655**.
3. J.R. Glauber, *Furni novi Philisophici*, Johannes Fabel, Amsterdam, **1647-1648**.
4. H.D. Schepelern, Ed., *Olai Borrichii Itinerarium 1660-1665: The Journal of the Danish Polyhistor Ole Borch,* Reitzel, København, **1983**, vol. II.
5. J.R. Glauber, *Pharmacopoea spagyrica* IV, Amsterdam, **1661**, p. 42.
6. K.F. Gugel, *Johann Rudolph Glauber, 1604-1670*, Würzburg, **1955**. A. Link, *Johann Rudolph Glauber 1604-1670*, Heidelberg, **1993**.
7. D.A.W. Koning, *Jaarboek van het Genootschap Amstelodamum* **1950**, *44*, 1-6
8. Portrait fra 1654, fra F. Ferechl, A. Süssenguth, *Kurzgeschichte der Chemie*, Mittenwald, Bayern, **1936**.
9. C. Wentrup, *ChemPlusChem*, **2022**, e202200289.
10. V. Ingerslev, *Danmarks Læger og Lægevæsen*, København, **1873**.
11. A. Clément, J.W.S. Johnsson, *Briefwechsel zwischen J. R. Glauber und Otto Sperling (nach den Originalen der Königlichen Bibliothek zu Kopenhagen, Gl. Kgl. Saml. 1110, in 2º), Separat-Druck, Janus,* E. J. Brill, Leiden, **1929**, *29*, 209-234 (Kongelige Bibliotek).
12. *Ottonis Sperlingii Selbstbiographie bis auf das Jahr 1673* (Kongelige Bibliotek); S. Birket Smith, *Dr. med. Otto Sperlings Selvbiografi, oversat i Uddrag efter Originalhaandskriftet*, Høst & Søn, København, **1885**.
13. A. Fjelstrup, *Guldmagere i Danmark, i det XVII. Aarhundrede*, Danmarks Tekniske Bibliotek, København, **1906**, pp. 14-45.
14. H. C. Boulton, *Amer. J. Numismatics*, **1887**, *21*, 73-80.
15. A. Clément, *Ein Besuch bei J. R. Glauber 1656, Bericht in Briefen von Caspar Herbach an König Friedrich den Dritten von Dänemark, Tirage a part, Janus*, E.J. Brill, Leiden, **1927**, *31*, 1-23 (Kongelige Bibliotek).
16. a) O. Borch, *Hermetis, Ægyptiorum et Chemicorum sapientia*, København, **1674**, p. 304; b) M. Fink-Jensen, *Alchemy in Denmark*, in *Western Esotericism in Scandinavia*, H. Bogdan, O. Hammer, Eds., Brill Academic Publishers, Leiden, **2016**, Kapitel 1, pp. 11-17.
17. J.R. Glauber i C. Packe, *The Works of J. R. Glauber*, London, **1689**, Part I, pp. 194-200.
18. J.R. Glauber, *Teutschlands Wohlfahrt*, Jansson, Amsterdam, **1660**.
19. G. Agricola, *De Re Metallica*, Basel, **1556**, H. C. Hoover, L. H. Hoover's translation, Dover, New York, **1950**.
20. E. Nystrøm, *Lyngby Sogn i Fortid og Nutid*, Gyldendal, København, **1934**; J. Wilcke: *Møntvæsenet under Christian IV og Frederik III 1625-1670*, https://www.danskmoent.dk/w2.htm.

Det periodiske system danner ramme for fascinerende fortællinger i ny podcastserie

Igennem 118 afsnit dedikerer den nye podcastserie "Periodisk" ét afsnit til hvert grundstof i det periodiske system og fortæller historier fra videnskabens verden. Hvorfor var det for eksempel, at brint spillede en central rolle i Hindenburg-katastrofen? Hvorfor får man en sjov stemme af at inhalere helium, og hvorfor er jagten efter litium blevet intensiveret?

Det periodiske system er kemikerens alfabet, men det er meget mere end bare en systematisk sortering af elementerne. Systemets 118 grundstoffer er også spændende fortællinger om hvert enkelt elements opdagelse og betydning for vores klode og univers - fra de tre grundstoffer i Big Bang til uran, der satte gang i verdensmagternes atomkapløb og nu igen har sneget sig ind i energidebatten.

Kemiens system får en stemme

"Periodisk" er en podcastserie, som bogstaveligt talt vækker det periodiske system til live som en karakter, der fortæller sin egen historie. Det portrætteres af Robert-vindende skuespiller Simon Bennebjerg. Den gængse gennemgang af grundstoffernes atomkerne og reaktioner har fået en overhaling med et dragende lyddesign og dramaturgiske greb, der gør Periodisks møde med de 118 grundstoffer til spændende historier. "Periodisk" kommer omkring afgørende begivenheder, forrygende forskere og både videnskabelige dilemmaer og hverdagsundren, som trækker tråde til i dag.

Videnskabsformidlere og podcasteksperter står bag

Podcastserien er skabt af holdet bag Rakkerpak Productions, Tor Arnbjørn og Dorte Palle. Som produktionsselskab med fokus på lyd og med Tor Arnbjørns erfaring som chefredaktør på niche-medierne Sustain- og Science Report er en podcast om det periodiske system oplagt, fortæller Tor Arnbjørn.

- Det periodiske system kan lyde lidt nørdet, men jo mere vi er dykket ned i det, jo flere gode historier finder vi. Målet er, at det skal være lettilgængeligt og med de gode historier som centrum for serien, siger Tor Arnbjørn, og fortsætter:

- Det er en gave at få lov til at fortælle de superspændende historier. Jeg håber, at rigtig mange vil lytte med på serien. Lyt med her og følg hvordan verden blev skabt, og hvordan hvert enkelt grundstof passer ind i historien.

Kontakt:
Tor Arnbjørn, tlf. 20 94 20 73
E-mail: tor@rakkerpak.nu

■ "Periodisk" kan lyttes på alle de platforme, hvor du plejer at hente dine podcasts. Der kommer nye afsnit hver onsdag og lørdag frem til sommeren 2024. "Periodisk" er en Rakkerpak Original udgivet med støtte fra Novo Nordisk Fonden.

26–28.9.2023
Nuremberg, Germany
POWTECH
International Processing Trade Fair for
POWDER
BULK SOLIDS
FLUIDS
and LIQUIDS
Feel the pulse of processing technology at POWTECH! Use this opportunity to discover the latest innovations, solutions and technologies. Be inspired by leading companies and experts, and make contact with the decision-makers and innovators of the industry. Experience the energy and dynamics of POWTECH and immerse yourself in the world of powder, granules, bulk solids and liquids.
We look forward to your visit!
Together with
PARTEC
International Congress on Particle Technology
Join the POWTECH community!
powtech.de/en/become-visitor
Honorary sponsors
VDI
apv
NÜRNBERG MESSE

Foto: Wikimedia.

Insekt på menuen

Insekter er et muligt bud på en fremtidig alternativ proteinkilde.

Af Sofie Kaas Lanng[1], Hanne Christine Bertram[1] og Mette Hansen[2]

[1] Aarhus Universitet, Institut for fødevarer
[2] Aarhus Universitet, Institut for Folkesundhed

De seneste år har der været en kraftig stigende interesse for at identificere nye proteinkilder, der kan produceres med mindre klimabelastning. Her er insekter også kommet ind i billedet. For at komme helt frem i rampelyset og spille en central rolle i den humane ernæring er det dog helt centralt både at få belyst den ernæringsmæssige værdi af insekter, og hvordan indtagelse af insekter påvirker biokemiske processer i mave-tarm-kanalen.

Det klimavenlige kødalternativ

WHO estimerer, at klodens befolkning i 2050 vil være tæt på 10 milliarder mennesker [1] og med denne udvikling følger en naturlig stigning i efterspørgslen af fødevarer, herunder proteinkilder. I den vestlige verden dækkes vores proteinbehov i høj grad fra animalske kilder, herunder kød, fjerkræ og mejeriprodukter [2]. Imidlertid er det et faktum, at produktionen af animalsk protein er forbundet med et større forbrug af ressourcer som jord og vand sammenlignet med plantebaserede proteinkilder [3]. Omvendt, så er den ernæringsmæssige kvalitet af animalske proteiner generelt højere end den ernæringsmæssige kvalitet af plantebaserede proteinkilder, der både kan være udfordret af en ikke optimal aminosyresammensætning og tilstedeværelsen af anti-nutritielle faktorer. Eksempler på anti-nutritielle faktorer er trypsin inhibitorer, glukosinolater, tanniner, fytater og polyfenoler [4-7]. Derfor er der opstået en interesse for alternative animalske proteiner.

Insekter er en animalsk kilde, der typisk har et pænt proteinindhold (40-80 procent) [8], og som kan produceres med et mindre klimaaftryk end de traditionelle animalske proteiner [9-10]. Der har således de seneste år pågået aktiviteter for at kortlægge insekters potentiale og mulighederne for at udvikle en intensiv produktion.

Når vi delvist erstatter kød med insekt

I visse lande, især tropiske lande, er der tradition for at spise insekter, det vi kalder entomofagi. Men da vi i de vestlige lande ikke har denne tradition, må det forudses, at en introduktion af insekter i vores kost skal ske som en delvis erstatning af de proteinkilder, som vi i forvejen baserer vores kost på. Vi har derfor lavet et forskningsstudie, hvor vi erstattede 13 procent af råvaren i en traditionel grisekødspølse med insekt

(figur 1) [11]. Insektkilden, der indgik i pølseproduktet, var *Alphitobius diaperinus,* som er en type af mindre melorm. Baseret på de fremstillede produkter blev der gennemført et rottestudie, hvor en gruppe af rotter blev fodret med det insekt-berigede pølseprodukt, mens en anden gruppe af rotter fik et tilsvarende pølseprodukt fremstillet udelukkende med rent grisekød som råvare. Forsøget havde en varighed på fire uger, og over den samlede periode var der ikke nogen signifikant forskel på, hvor meget foder rotterne spiste eller tilvæksten for de to grupper af rotter. Men når vi med metabolomics analyserede for en bred vifte af forskellige metabolitter i rotternes mave, tarm (både tyndtarm, tyktarm) og blod, viste der sig et billede af, at der er forskel på, hvor effektivt aminosyrerne optages, når proteinkilden enten er en blanding af insekt og grisekød kontra rent grisekød. I tyndtarmen hos rotter fodret med insektberigede produkter var der generelt flere aminosyrer i tyndtarmens indhold, svarende til en forventet mindre optagelse. Samtidig kunne vi konstatere, at nye aromatiske aminosyrederivater var til stede i tyktarmen

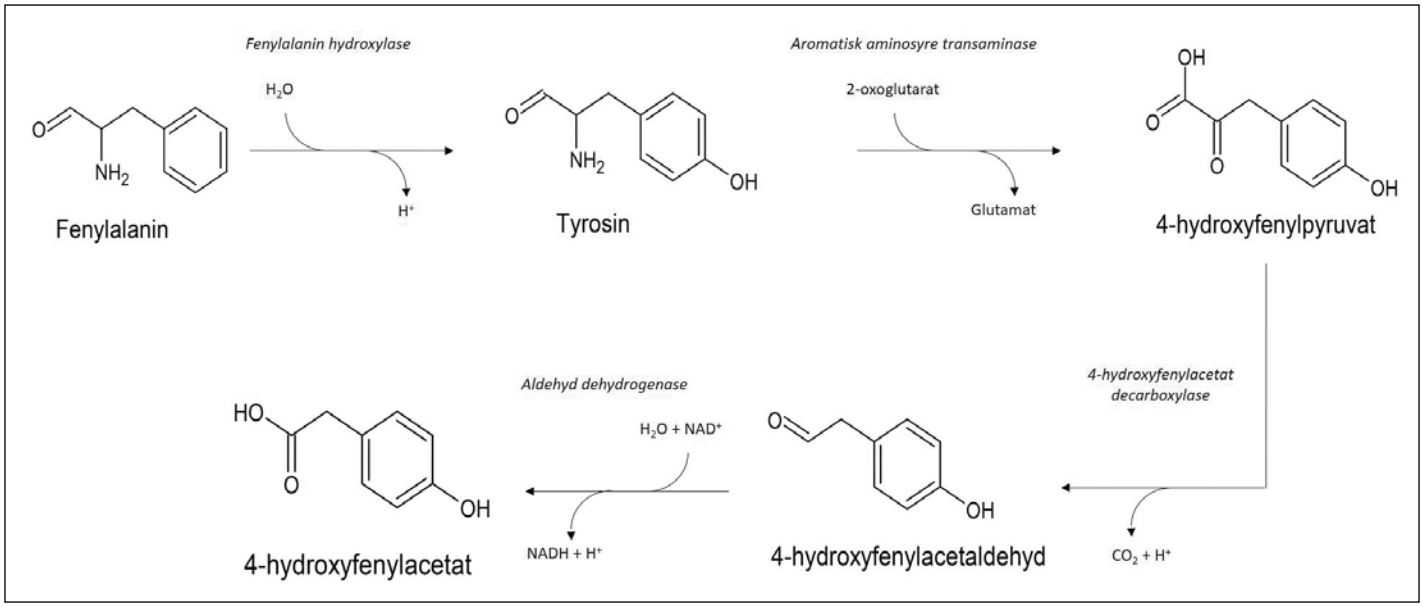
Figur 1. Traditionelle kødpølser blev brugt i rottestudiet, hvor 13 procent af kødet blev erstattet med melorm. Pølser med melorm som ingrediens resulterede i et mørkere produkt (højre) end pølsen baseret på rent svinekød som råvare (venstre).

hos rotterne fodret med insektberigede produkter. En af disse aminosyrederivater var 4-hydroxyfenylacetat, der er involveret i tyrosinmetabolismen (figur 2), og som derfor formentlig kan relateres til et højere niveau af tyrosin i tyndtarmen [11]. Vi undersøgte også tarmmikrobiomet, og også her kunne vi observere en effekt af insektberigelsen, der særligt ændrede diversiteten af tarmmikrobiomet [11].

Proteinkvalitet

Ud over rotteforsøg, har vi også undersøgt den ernæringsmæssige værdi af insekt i et akut interventionsstudie med unge, raske mænd. Forsøgspersonerne indtog enten en proteindrik baseret på enten insekt, soja eller mælkeprotein (valle) [12]. Når vi efterfølgende analyserede koncentrationen af aminosyrer i blodprøver opsamlet i op til tre timer efter indtag af de forskellige proteinkilder, kunne vi konstatere, at optagelsen af aminosyrer fra insekt var lavere og langsommere end for mælkeprotein. Det interessante var derfor at undersøge, hvilket betydning det havde for musklerne, at udbuddet af aminosyrer fra blodet var forskelligt afhængig af proteindrikken, der var indtaget.

Særligt hos småtspisende og ældre med risiko for aldersbetinget muskelmassesvind, såkaldt sarkopeni, er det afgørende, at proteinindtag også kan stimulere opbygningen af nye muskelproteiner. Så for ydermere at kortlægge om forskel i omfang og hastighed af aminosyreoptag mellem proteinkilderne havde betydning for proteinkildernes potentiale til at igangsætte opbygningen af nye muskelproteiner, gennemførte vi et større studie på 50 unge raske mænd. Mændene blev opdelt i tre grupper, der efter at have indtaget 0,25 gram protein



Figur 2. Reaktionsvej, der først omdanner fenylalanin til tyrosin og med 4-hydroxyfenylacetat som slutprodukt.

per kilo fedtfri masse af enten insekt (græshopper), ært eller mælkeprotein, fik udtaget muskelvævsprøver fra lårmusklen i begge ben. Det ene ben var blevet udsat for et styrketræningspas, inden de fik proteindrik, mens det andet ben havde hvilet.

Ideen bag dette var at undersøge, i hvor høj grad de forskellige proteindrikke understøttede træningsinduceret muskelvækst. Muskelvævet analyserede vi for ekspression af proteiner, der er involveret i at regulere muskelproteinsyntese via den såkaldte mTORC signaleringsvej. Dette blev gjort på biopsier fra begge lår på forsøgspersonerne, hvor det ene ben blev udsat for et styrketræningspas, mens det andet ben forblev i hvile. Vores analyser viste, at protein generelt stimulerede signalvejen relateret til opbygning af nye muskelproteiner, og proteinindtag kombineret med et styrketræningspas var en endnu mere effektiv stimulus [13]. Derimod kunne der ikke påvises nogen forskel i effekt mellem proteinkilderne i forhold til stimulering af signalproteinerne i musklerne. Dette kan måske forklares ved, at den indtagne proteindosis (~15 gram protein) for alle proteinkilder var tilstrækkelig til at aktivere signalproteinerne involveret i opbygning af muskelproteiner [13].

Med mange nye initiativer omkring alternative proteinkilder, er vi godt på vej til at definere og udvikle nye proteinkilder, der kan bruges som fødevarer. Vores resultater understreger, at når den ernærings- og sundhedsmæssige værdi skal vurderes, er det vigtigt, at vi ikke kun betragter indholdet og sammensætningen af aminosyrer. Indsigt i biotilgængelighed, optagelse, biokemiske processer i tarmen samt afledte effekter på tarmmikrobiomet bør indgå i vurderingen af fremtidens proteinkilder.

■ Metabolomics er studiet af kemiske processorer, der involverer metabolitter, som enten indgår i, eller er, slutprodukter i den cellulære metabolisme. Metabolomics kan også betragtes som et metodisk studie af det unikke kemiske fingeraftryk, som en specifik proces efterlader sig. De samlede metabolitter i en biologisk enhed som for eksempel en celle, et organ eller en organisme kan betegnes som dennes/dets metabolom. Metabolomics giver således et overbliksbillede af det biologiske systems biokemiske processer. Ofte foretages metabolomics analyser på prøver udtaget fra et biologisk system. Til analyse kan bruges i forskellige metoder, hvor kernemagnetisk resonans spektroskopi (NMR) og massespektroskopi er de mest udbredte.

E-mail:
Hanne Christine Bertram:
hannec.bertram@food.au.dk

Referencer

1. FN-rapport: The World Population Prospects 2019 (https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html).
2. DTU Fødevareinstituttet: De nationale kostundersøgelser (www.food.dtu.dk/publikationer/ernaering-og-kostvaner/de_nationale_kostundersoegelser).
3. H.C.J. Godfray et al. (2018) Meat consumption, health, and the environment, Science, 20, 361.
4. G.S. Gilani et al. (2005) Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. J. AOAC Int. 88, 967-987.
5. G.S. Gilani et al. (2012) Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. Br. J. Nutr. 108, 315-332.
6. G.J. McDougall et al. (2008) Current developments on the inhibitory effects of berry polyphenols on digestive enzymes. BioFactors 34, 73-80.
7. M. Stojadinovic et al.(2013) Binding affinity between dietary polyphenols and β-lactoglobulin negatively correlates with the protein susceptibility to digestion and total antioxidant activity of complexes formed. Food Chem. 136, 1263-1271.
8. T.A. Churchward-Venne et al. (2017) Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. Nutr. Rev. 75, 1035-1045.
9. D.G. Oonincx et al. (2010) An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption, PLoS One, 5: e14445.
10. A. van Huis (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security, Ann Rev Entomology, 58, 563-583.
11. S.K. Laang et al. (2021). Partial Substitution of Meat with Insect (Alphitobius diaperinus) in a Carnivore Diet Changes the Gut Microbiome and Metabolome of Healthy Rats. Foods, 10, 1814. doi.org/10.3390/ foods10081814.
12. M.T. Vangsoe et al. (2018). Ingestion of Insect Protein Isolate Enhances Blood Amino Acid Concentrations Similar to Soy Protein in A Human Trial. Nutrients, 10, article no 1357.
13. S.K. Laang et al. (2022). Influence of protein source (whey, pea, cricket) on amino acids bioaccesibility and activation of the mTORC signaling pathway after exercise in healthy young males. Eur. J. Nutrition, doi.org/10.1007/s00394-022-03071-y.

LabDays 2023 i Aarhus

Den 13. og 14. september slår LabDays 2023 dørene op for en omfattende udstillingshal i Aarhus Congress Center. Efter sidste års messe i København, hvor over 2.000 besøgende lagde turen forbi messen, er LabDays endnu engang klar til at byde velkommen til to intensive dage, hvor udstillere med alt inden for laboratorieteknik, vil fremvise deres produkter og udstyr og stå klar med deres ekspertise.

Kæmpestor interesse fra udstillerne

Standene på LabDays er blevet revet væk som varmt brød, og allerede tilbage i februar måned kunne arrangørerne melde om alt udsolgt. I alt 84 danske og udenlandske udstillere kan findes på messen, hvilket er et rekordhøjt antal udstillere og vidner om en kolossal interesse blandt udstillerne for at præsentere sine produkter på LabDays 2023.

LabDays-messen er kendt for at dække alt inden for laboratorieteknik, og mange af branchens leverandører, både danske og udenlandske, vil være til stede med deres specialister, der vil fremvise seneste nyheder.

Seminar med fagligt program

LabDays 2023 byder, ud over de mange udstillere, også på et spændende fagligt program. Begge messedage afvikles der foredrag og seminarer af 30 minutters varighed arrangeret af udstillerne.

Alt dette foregår i Exhibitors FREE Lab Theater. Som besøgende er det gratis at deltage og man behøver ikke tilmelde sig seminarerne forinden.

Blandt foredragene kan blandt andet nævnes, at specialist Ole Jakobsen fra Qiagen vil holde et indlæg om digital PCR, produktspecialist Carsten Jensen fra Mikrolab vil holde et indlæg om specialudstyr til optimering af arbejdsgange i laboratoriet, og produktspecialist Lars Mortensen fra Thermo Fisher vil holde et indlæg om sikker opbevaring af prøver i ULT fryser.

Vel mødt til nogle spændende dage i Aarhus Congress Center den 13.-14. september.

For yderligere information se www.labdays.dk.

Skræddersyede laboratorieløsninger

Mikrolab Aarhus A/S er et uafhængigt firma med udvikling, produktion, lager og salg i Danmark. Mikrolab er kendetegnet ved at tænke ud af boksen, når det kommer til løsning af problematikker og behov i laboratoriet. Mikrolab hjælper med at finde det produkt, eller bygger den løsning, der passer til dit laboratorieworkflow. På messen kan du blandt andet opleve et automatiseringskoncept med en Universal Robot samt bestselleren Opentrons OT-2, som er en prisstærk pipetteringsrobot. Mikrolab fremviser desuden deres egenproduktion af ergonomiske hjælpemidler samt sikkerhedsløsninger, og så kan der ses et stort udvalg af forbrugsartikler og basisudstyr fra Mikrolabs mange leverandører, herunder blandt andet IKA og Sartorius.

Mikrolab Aarhus A/S
Stand 6

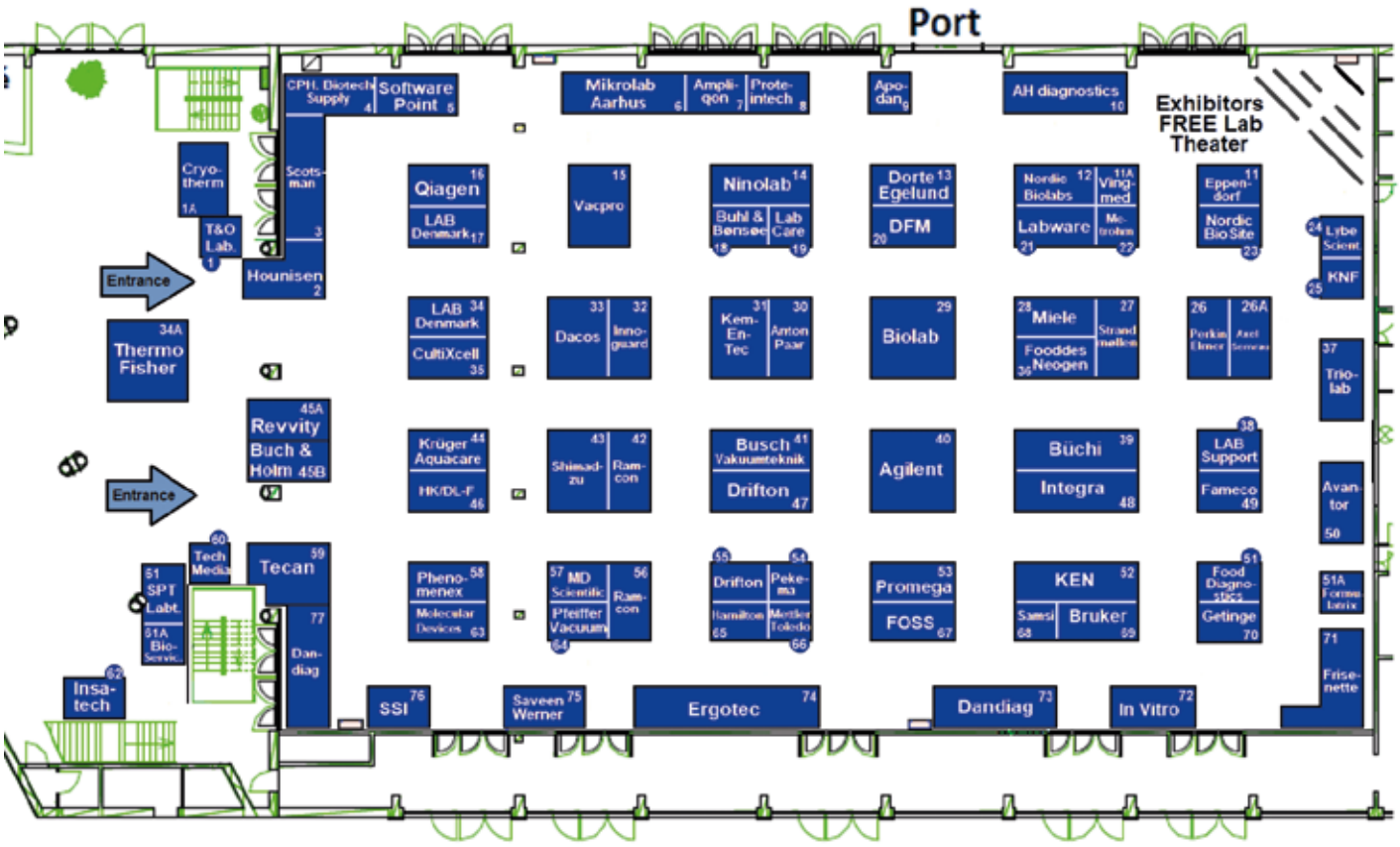
Her ses en shaker trayster.

Udstillerliste

Agilent Technologies Denmark ApS	40
AH Diagnostics A/S	10
Ampliqon A/S	7
Anton Paar Danmark - filial af Anton Paar Nordic AB	30
ApodanNordic PharmaPackaging A/S	9
Axel Semrau GmbH	26 A
Biolab A/S	29
BioServices AB/LBH Advanced BioServices AB	61A
Bruker Nordic AB	69
Buch & Holm A/S	45B
Buhl & Bønsøe A/S	18
Busch Vakuumteknik A/S	41
Büchi Labortechnik GmbH	39
Copenhagen Biotech Supply ApS	4
Cryotherm GmbH & Co. KG	1A
CultiXcell A/S	35
D-S Sikkerhedsudstyr A/S	45
Dacos A/S	33
Dandiag A/S	73 & 77
DFM A/S	20
Dorte Egelund ApS	13
Drifton A/S	47 & 55
Eppendorf Nordic A/S	11
Ergotec ApS	74
Fameco Nordic ApS	49
Food Diagnostics A/S	51
Fooddes A/S	36
Formulatrix Europe Ltd.	51A
Foss Nordic A/S	67
Frisenette ApS	71
Getinge Danmark A/S	70
Hamilton Bonaduz AG	65
HK - Dansk Laborant-Forening	46
Hounisen Laboratorieudstyr A/S	2
In Vitro A/S	72
InnoGuard AB	32
Insatech A/S	62
Integra Biosciences Nordic ApS	48
Kem-En-Tec Nordic A/S	31
KEN Hygiene Systems	52
KNF Neuberger GmbH	25
Krüger Aquacare A/S	44
LAB Denmark ApS	17 & 34
Lab Solutions ApS	1
LabCare	19
LABsupport ApS	38
LabWare Nordic AB	21
Lybe Scientific AS	24
MD Scientific ApS	57
Metrohm Nordic ApS	22
Mettler-Toledo A/S	66
Miele A/S	28
Mikrolab Aarhus A/S	6
Molecular Devices Ltd.	63
Neogen Europe Ltd.	36
Ninolab, A/S	14
Nordic Biolabs AB	12
Nordic Biosite ApS	23
Pekema A/S	54
PKI Denmark ApS AES	26
Pfeiffer Vacuum Scandinavia AB	64
Phenomenex ApS	58
Promega Biotech AB	53
Proteintech Europe Ltd.	8
Qiagen Danmark - filial af Qiagen AB	16
Ramcon A/S	42 & 56
Revvity Danmark A/S	45A
Samsi AB	68
Saveen & Werner ApS	75
Sciex ApS	58
Scotsman Køleteknik A/S	3
Shimadzu Danmark	43
Software Point	5
SPT Labtech Ltd.	61
SSI Diagnostica A/S	76
Strandmøllen A/S	27
T&O LabSystems GmbH & Co. KG	1
Tecan Nordic AB	59
TechMedia A/S/ Dansk Kemi	60
Thermo Fisher Scientific	34 A
Triolab A/S	37
Vacpro ApS	15
Vingmed A/S	11A
VWR International A/S	50

per 27. juli 2023

Halplan



Kom og hils på Dansk Laborant-Forening/HK

Dansk Laborant-Forening/HK (DL-F) er Danmarks største netværk for laboranter og står klar på messen til en snak med dig om, hvad der sker på din arbejdsplads og i dit arbejdsliv.

Uanset om du har spørgsmål eller ønsker til din landsforening om arbejdsmiljø, efter- og videreuddannelse, faglige aktiviteter eller om fagets fremtid, så kom forbi standen.

Er du studerende, så kig forbi for at høre mere om, hvad DL-F kan gøre særligt for dig.

DL-F medbringer diverse DL-F materialer og BFA-vejledninger, invitationer til deres medlemsarrangementer, og der er selvfølgelig også en quiz.

DL-F deltager også med seminarer den 14. september:

Kl. 11.00-11.55:
Fremtidens Fag som Laborant, Katrine Bøg, formand DL-F

Kl. 14.00-14.30:
Paneldebat om "Det fleksible arbejdsliv"

Dansk Laborant-Forening/HK
Stand 46

Nøjagtig og aseptisk dosering af væsker

Det nye peristaltiske fyldesystem dPOFLEX PFU er ideelt at anvende til nøjagtig og aseptisk væskeoverførsel med lav flowhastighed på laboratorier og ved små batchfyldninger. Det kan levere en flowhastighed på mellem 0,01 og 1.178 mL/min. Hvis du benytter pumpehovedet PFH01, som er beregnet til mikrovolumendosering, kan du med doseringsfunktionen fylde dine glas med væskevolumener på mellem 30 og 2.000 µl (2 ml) på 1 sekund med en nøjagtighed, der er bedre end ±1 procent. Og med PFH02 pumpehovedet kan din doseringsmængde være mellem 0,2 og 16 ml per sekund.

Hvis du har en væske, som du ønsker at overføre med lav pulsering, er fasekompensationsstrukturen på PFH-pumpehovederne perfekt til dig. Den skånsomme pumpefunktion eliminerer skumdannelse, sprøjt og dryp, samt forhindrer dyr overfyldning og opretholder celleaktivitet.

Du undgår risikoen for krydskontaminering med dPOFLEX fyldesystemet, da din væske kun er i berøring med den indre overflade af de sterile engangssæt med silikoneslange, som anvendes til fyldesystemet.

PFC-controlleren med touchscreen gør det nemt at kontrollere din fyldeproces og gemme dine indstillinger. PFC-controlleren kan kontrollere op til 32 kanaler, og hver kanal kan styres simultant eller individuelt.

Du kan eksportere batchrapporter, driftslogfiler, have tre niveauer af brugeradgang og elektronisk signatur. De særlige egenskaber ved dPOFLEX PFU-påfyldningssystemet gør, at det er i overensstemmelse med 21CFR Part 11 og GMP.

Kom forbi standen for at se, om dPOFLEX PFU fyldesystemet kan være den rette løsning til jeres laboratorie.

Drifton A/S
Stand 47 & 55

Bæredygtig innovation

I en tid med stigende fokus på præcision, pålidelighed og bæredygtighed inden for laboratorieteknologi, har Buhl & Bønsøe tilføjet en serie af banebrydende produkter til deres produktportefølje - Heratherm Inkubatorer fra Thermo Scientific Orion. Disse inkubatorer repræsenterer en revolution inden for temperaturkontrol og bæredygtigt design, hvilket giver forskere en ny standard for avancerede inkubationsløsninger.

Præcis temperaturkontrol

Heratherm Inkubatorer imponerer med deres evne til at opretholde præcis temperaturkontrol. Inkubatorerne er udstyret med avancerede systemer til temperaturstyring, der sikrer en ensartet fordeling af temperaturen i hele inkubatoren. Dette resulterer i nøjagtige og pålidelige eksperimentelle resultater samt optimal vækst og udvikling af biologiske prøver. Forskere kan være sikre på, at deres forsøg udføres under ideelle temperaturforhold, hvilket øger reproducerbarheden og giver troværdige resultater.

Revolutionerende bæredygtighed

Ved at integrere innovative løsninger har Heratherm Inkubatorer et markant lavere energiforbrug sammenlignet med traditionelle modeller. Inkubatorerne er designet med hensyntagen til energieffektivitet og miljømæssig bæredygtighed. Med isolerede kabinetter og avancerede varmesystemer reduceres energiforbruget betydeligt, hvilket udmønter sig i et mere bæredygtigt forsknings- og produktionsmiljø. Udover de miljømæssige fordele giver

det bæredygtige design også besparelse på driftsomkostningerne.

Innovative funktioner og brugervenlighed

Heratherm Inkubatorer er designet med brugeren i fokus. De er udstyret med intuitive kontrolpaneler og brugergrænseflader, der gør det nemt at indstille og overvåge indstillinger såsom temperatur, tid og andre parametre. Nogle modeller har avancerede programmeringsmuligheder og datalogning, der muliggør nem sporing og dokumentation af inkubationsprocessen. Dette giver forskere og operatører en problemfri brugeroplevelse og forbedrer arbejdseffektiviteten.

Buhl & Bønsøe A/S
Stand 18

Mød Metrohm på LabDays

– vi er eksperter i kemisk analyse

Vi ses til LabDays den 13. - 14. september i Aarhus Congress Center.
Du finder vores produktspecialister på stand nr. 22!
Vi er eksperter i titrering, ionkromatografi, spektroskopi, elektrokemi, pH og meget mere. Kom og få råd og vejledning og deltag i sjove konkurrencer om spændende præmier!

Se hele vores udvalg på metrohm.com

Metrohm

Automatiseret bioreaktorløsning skræddersyet til den næste generation af forskning

På Delft University of Technology i Holland havde forskere brug for en ny løsning til evolutionær ingeniørvidenskab for at forbedre studiet af genetisk manipulerede celler i jagten på at erstatte flere petrokemikalier med plantebaserede materialer. Det krævede en robust, fleksibel og automatiseret bioreaktoropsætning, der var skræddersyet til at imødekomme de specifikke udfordringer i forbindelse med evolutionsstudier.

Komplekse celler betyder behov for automatiserede løsninger

Dr. Ir. Robert Mans fra Institut for Bioteknologi forklarer, hvorfor deres videnskabelige arbejde i laboratoriet havde brug for mere automatisering:

- Udfordringen er, at celler er ekstremt komplekse, og det er umuligt altid at forstå fuldt ud, hvad der sker inde i dem. Nogle gange opfører genetisk manipulerede celler sig efter hensigten - og andre gange bliver de syge og vokser langsomt. Vores måde at optimere dette på er ved hjælp af evolution. At lade cellerne udvikle sig til at blive sundere og vokse hurtigere. Og det kræver ekstremt pålideligt og sterilt udstyr, forklarer Dr. Mans.

- Så vi havde brug for en mere automatiseret løsning, der muliggjorde en lukket operation uden at skulle åbne noget i løbet af de månedlange processer.

Ph.d.-studerende Sophie de Valk forklarer, hvordan den tidligere opsætning gjorde hendes arbejde med genteknologi af gær mere kompleks og tidskrævende:

- Vi plejede at være relativt begrænsede med hensyn til, hvordan vi kunne automatisere evolutioner. Vi var nødt til at skifte medium i hånden - altid med risiko for kontaminering og potentielle tilbageslag. Så vi følte helt klart et behov for præcis proceskontrol og muligheden for at opsætte endnu mere komplekse system-scripts.

Forskerteamet på Delft University of Technology havde brug for en partner, der både kunne levere den nødvendige ekspertise og investere tid i at designe en ikke-standardiseret løsning.

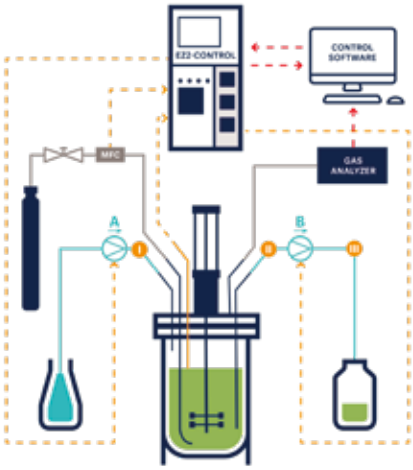
- Vi kendte allerede Getinge, og vidste, at deres system var meget robust og pålideligt. Men jeg tror, at den største forskel for os var, at Getinge er så åbne over for at skabe skræddersyede løsninger. At samarbejde og udvikle en skræddersyet opsætning i stedet for en hyldevare, siger Dr. Mans.

En kompleks bioreaktor konstrueret til enkelhed

Rowin Timmermans, senior applikationsspecialist med 12 års erfaring med Applikon-løsninger, var en del af det team, der tog udfordringen op. Han indså med det samme, at opgaven krævede processtyringsscripts i kundens SCADA-software, der kunne reducere antallet af manuelle indgreb betydeligt.

- Vi havde brug for at automatisere to typer af langvarige processer: en gentagen batchproces og en kemostat- eller accelerostatproces. Normalt ville begge dele kræve en masse manuelle indgreb. Så den største udfordring var at kombinere data fra TU Delft-forskerholdets egne offgas-analysatorer med alle procesdata fra Applikon ez-Control-systemet - og derefter bruge disse onlinedata til automatisk at styre de gentagne batch- og kemostat- eller accelerostatprocesser på den ønskede måde, forklarer Timmermans.

Timmermans var ansvarlig for at skrive scripts til at styre alt, hvad der



sker i fermenteringsprocessen. Dette var baseret på et meget tæt samarbejde med teamet fra Institut for Bioteknologi på Delft University of Technology.

- Min primære rolle var at programmere scripts i Lucullus, softwareløsningen fra Getinge for at opnå procesautomatiseringen. I løbet af vores samarbejde besøgte jeg universitetet flere gange for at køre tests sammen. Jeg tror, at denne måde at arbejde sammen på - med hyppig og konstruktiv feedback - er nøglen til succes. Det er den eneste måde, hvorpå man fuldt ud kan forstå et specifikt behov og finde frem til en løsning, der er skræddersyet til kundens nøjagtige behov, konkluderer Timmermans.

Tilpassede fordele - designet til generel brug

Sophie de Valk peger på nogle af højdepunkterne og fordelene ved det nye system set fra hendes synspunkt:

- Jeg kan godt lide, hvor nemt man kan overvåge mange af de ting, der foregår i reaktoren online. Tidligere var man altid nødt til at eksportere dataene først og derefter plotte dem i Excel. Nu behøver man ikke at stirre på sin reaktor hele

tiden for at vide, at alt går glat. Du kan se det ret nemt med tre klik - selv når du arbejder hjemmefra.

Ud over at have øjeblikkelig adgang til onlineovervågning hvor som helst, nævner Sophie de Valk også den enkelhed og fleksibilitet, der kendetegner det nye automatiserede evolutionssystem:

- Nu er det virkelig nemt at opsætte et ret kompliceret automatiserings-script. Man behøver ikke at bruge uger sammen med de studerende på at bygge det hele op fra bunden. Jeg har også haft tilfælde, hvor vi ønskede at justere nogle parametre under evolutionerne i realtid. Det kan vi gøre nu, fordi det er supernemt at spore signaler online og se, hvordan det går og vokser. Og baseret på overvågningsdataene kan vi justere pH-værdien, tilsætte mere luft eller foretage andre nødvendige justeringer.

Forskerholdet fra TU Delft og de involverede fra Getinge har afholdt et fælles webinar for at dele både deres erfaringer fra processen og mulighederne i det banebrydende automatiserede bioreaktorsystem. Desuden har Dr. Mans og hans team også publiceret en videnskabelig publikation for at gøre viden tilgængelig for det akademiske miljø.

Hvis du er interesseret i at få adgang til mere information af det udførte arbejde, kan du besøge Getinge på LabDays eller kontakte Charlotte Schønbeck på charlotte.schonbeck@getinge.com.

Getinge Danmark A/S
Stand 70

FOSS

Kjeltec™ 9

Fremtidssikret Kjeldahl

Helt nye innovative systemer til Kjeldahl analyse tilpasset dit analyse behov.

- Høj bruger sikkerhed
- Stor analysenøjagtighed
- Digitale løsninger, der sikrer data, dokumentation og sporbarhed

Besøg os på Stand 67 på LabDays messen i Aarhus Congress Center den 13-14 september og hør mere om Kjeltec™ 9 og vore løsninger til laboratoriet.

ANALYTICS BEYOND MEASURE

fossanalytics.com

Produkter til forskning og udvikling

LAB Denmark sælger og supporterer produkter og instrumenter til forskning og udvikling samt kvalitetskontrol inden for farma-, fødevare- og miljøindustrien, samt til forskning på universiteterne.

På messen vil LAB Denmark vise mange forskellige instrumenter fra deres mangfoldige leverandører. Der vil således blandt andet være instrumenter fra deres leverandører CEM, Sotax og Sonation. Er du interesseret i et bestemt produkt, kan du skrive til LAB Denmark på info@labdenmark.dk, så der kan arrangeres et tidspunkt for at mødes til en demonstration på messen. Hvis du har spørgsmål, svarer både Thomas Røll (thomas@labdenmark.dk) og Tina Falk Andersen (tina@labdenmark.dk) med glæde på dine spørgsmål.

Kjeldatherm destruktionsblok og Vapodest 500 automatisk destillationsenhed med titrator. Et robust og brugervenligt udstyr fra Lab Denmarks leverandør C. Gerhardt til bestemmelse af protein efter Kjeldahl-metoden.

DT50 er en hurtig og brugervenlig henfaldstester uden bad. Den "vandbadsfri" DT50 sætter nye standarder i hurtig og brugervenlig drift. Induktionsopvarmningsteknologi reducerer opvarmningstiderne til kun 3-5 minutter og eliminerer uproduktive rengøringsopgaver.

LAB Denmark ApS
Stand 17 & 34

En verden af liquid handling og small-scale automatisering

Dandiag byder velkommen til en verden af liquid handling og small-scale automatisering. Bliv klogere på, hvilken pipette du skal anvende til de forskellige typer af væsker, hvordan du kan forbedre dine datasets og hvordan du undgår skader i arm, skulder og hænder.

På stand 77 vil Dandiag gøre dig klogere på compliance, digitalisering og bæredygtighed i dit laboratorie. Hvordan kan du blive paperless og hvilket laboratorieudstyr er CRF part 11 compliant. Få også indblik i produkter, der kan ryste, mixe, centrifugere og filtrere.

I 2023 har Dandiag tilføjet to nye leverandører til porteføljen, som blandt andet tilbyder den modulært opbyggede small-scale automatiseringsplatform, pipetteringsrobotten CyBio Felix fra Analytik Jena, som er designet til at passe til dit behov både nu og i fremtiden. Fra Hirschmann-Laborgeräte har Dandiag den automatiske bottle-top dispenser Opus, som gør det muligt for dig at dispensere uden at belaste din arm og skulder.

Live-demo

På *stand 73* holder Dandiag live-demo af CyBio FeliX modulært opbygget pipetteringsrobot.
Hvornår: onsdag og torsdag kl. 10.30 og kl. 13.30.

På *stand 77* holder Dandiag live-demo af den compliancedygtige Cubis II vægt.
Hvornår: onsdag og torsdag kl. 11.00 og kl. 14.00.

Dandiag A/S
Stand 73 & 77

Cubis II - ny digital løsning. CFR Part 11-kompatibel, modulopbygget og med forskellige tilslutningsmuligheder. Sortiment af ultramikrovægte med syv cifre og op til platforme med høj kapacitet på 70 kilo.

Hounisen i 50 år – sikre leveringer og ordentlige vilkår

Der er sket meget, siden Hounisen begyndte i en baggård i Mejlgade i Aarhus for 50 år siden. I et lille lokale på 2. sal, hvor kasser med laboratorieudstyr blev hejst op med snoretræk. Nu har Hounisen landets største lager.

I 2021 etablerede Hounisen branchens største lager herhjemme, fyldt med certificeret udstyr til laboratorie og klinik. Men det er mere end blot en stor bygning og et logistisk kraftcenter, understreger Jan Locher, direktør i Hounisen. Det er en platform, som skal sikre bedre leveringsbetingelser og priser til hele det danske sundhedsvæsen og vores mange dygtige laboratorier:

- Et dansk lager af denne kaliber betyder, at fragttiderne nedbringes markant, og når vi køber større partier hjem, vil det også betyde, at vi kan sikre vores kunder bedre priser.

Ordentlighed har ingen udløbsdato

For Jan og andre medarbejdere i Hounisen handler det om at sikre *hele* forløbet - fra kunden ringer ind til en faguddannet kundeservice, til varen bliver leveret til aftalt tid. På dén måde har det familieejede selskab nu i fem årtier både drevet en sund forretning og skabt de stærkeste kunderelationer og partnerskaber.

- Vi gør en dyd ud af at klæde alle kunder ordentligt på, store som små. Derfor holder vi vores kundeservice i Danmark. Den bliver ikke outsourcet til Irland eller Polen. Det er helt klart dyrere for os, men det er bedre for kunden, som jo i sidste ende sidder med ansvaret for patienten eller et forskningsprojekt, siger Jan Locher.

Grønne horisonter

Fremtiden er her allerede, og hvis vi skal kunne være i den, er vi nødt til at værne om den. Derfor er de næste skridt på vejen vigtige. Sammen med AVL A/S og to danske universiteter arbejder Hounisen nu dedikeret for at sikre en bedre genanvendelse af brugt laboratorieplast.

- Vi skal naturligvis bidrage til, at vi bruger vores fælles ressourcer bedst muligt. Vi leverer plast i reneste kvalitet fra certificerede europæiske producenter, som kan genbruges. Samtidig holder vi produktion og fragt inden for EU, så vi ikke belaster miljøet unødigt ved at fragte varer på tværs af jordkloden, slutter Jan Locher.

Hounisens samarbejde med universiteterne bygger på en aftale, hvor brugerne sorterer plasten løbende. Herefter betaler Hounisen for afhentning og transporten af den genbrugsklare plast. Ifølge en rapport, udarbejdet af Teknologisk Institut, er det muligt at reducere CO_2-udledningen med 1,5-2 kilo for hvert kilo polypropylenplast, der genanvendes.

Der er mange veje til en grønnere fremtid, og vi skal alle løfte i flok. Med dette initiativ sætter vi effektivt fra land mod en grønnere fremtid for vores branche.

Hounisen Laboratorieudstyr A/S
Stand 2

LabDays 2023 Stand nr. 47

dPOFLEX fyldesystem med høj præcision

Det nye fyldesystem fra LONGER er en præcis doseringsløsning til brug i forskning, udvikling og mindre batchfyldninger.
Leveres med PFC controller til individuel kontrol af op til 32 kanaler

- Doseringsnøjagtighed bedre end ± 1%
- Præcisionsfyldning ned til 30 µL
- Overholder 21 CFR Part 11 og GMP

DRIFTON
THE SCIENCE OF DISPENSING

KONTAKT OS PÅ 3679 0000 ELLER INFO@DRIFTON.DK – SE MERE PÅ DRIFTON.DK

Vakuumpumper med variabelt hastighedsdrev

Normalt kører vakuumpumper med en fast rotationshastighed. Med et variabelt hastighedsdrev (VSD) derimod styrer pumpens rotationshastighed og tilpasser pumpehastigheden til de svingninger, der er behov for. Det betyder energibesparelser, lavere CO_2-udledninger og lavere vedligeholdelsesomkostninger.

Et variabelt hastighedsdrev (frekvensstyret drev) er en digital styring, som regulerer en motors rotationshastighed. Det gør det muligt at tilpasse en vakuumpumpes pumpehastighed nøjagtigt til processens aktuelle krav. Resultatet: væsentlige energibesparelser. Busch Vacuum Solutions tilbyder et bredt udvalg af vakuumpumper med indbygget VSD. Selv allerede monterede vakuumpumper kan nemt ombygges med et retrofit kit.

Udsving i vakuumbehovet

Behovet for vakuum varierer ofte inden for produktionsprocesserne. Det ideelle er, at vakuumforsyningen tilpasses efter behovet. Med et drev med variabel hastighed kan vakuumpumper justeres, så de passer til variationer i vakuumbehovet. Ved at kunne reagere på udsving i behovet for vakuum kan man opnå betydelige energibesparelser. I kombination med en tryksensor regulerer et variabelt hastighedsdrev automatisk pumpens rotationshastighed.

Valg af driftstilstande

I scenarier med procesparametre, der ændrer sig, anbefaler vi vakuumpumper, som kan styres på efterspørgselsdrevet basis, og som enten garanterer en jævn pumpehastighed eller konstant opretholder det påkrævede vakuumniveau. For processer, der kører med et konstant vakuumbehov, anbefales det at lade vakuumpumpen køre ved en konstant hastighed. For processer med skiftende vakuumbehov er trykreguleringsstyring det ideelle valg. I dette tilfælde vil man se, at vakuumpumpen justerer rotationshastigheden efter vakuumbehovet. Når niveauet for dette vakuumbehov er nået, fortsætter vakuumpumpen med at køre ved minimumshastighed, hvilket gør den i stand til at reagere på et pludseligt behov for øget vakuumbehov. Det gør det muligt at opnå yderligere energibesparelser.

Drift med variabel hastighed regulerer vakuumgenereringen på efterspørgselsdrevet basis.

Omkostningsbesparelser og forbedret ydeevne

Med en vakuumpumpe som R5 lamel-vakuumpumpen giver integreringen af en VSD mulighed for en energibesparelse på op til 50 procent. I en typisk produktionsproces med en pumpe med en 30 kW motor giver det en CO_2-besparelse på mere end 10.000 kilo om året - en mængde, som mere end 1.000 træer ville optage.

Vedligeholdelsesomkostningerne er også lavere i forhold til pumper med fast hastighed på grund af lavere gennemsnitsbrug, der begrænser slid på lejer og tætninger. Derudover kan en motor med VSD drives ved et højere omdrejningstal uafhængigt af strømforsyningen. Dette resulterer i en forøgelse af pumpehastigheden på cirka 20-40 procent og en tilsvarende højere pumpehastighed, end når pumpen kører ved 50 Hz.

R5 Plus har som standard et indbygget variabelt hastighedsdrev.

Busch Vakuumteknik A/S
Stand 41

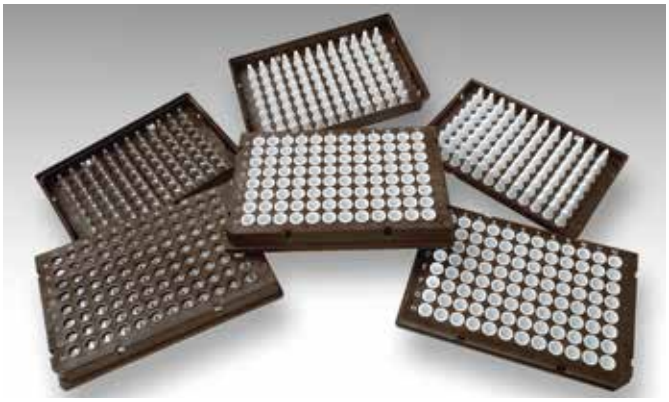
Dansk Kemi
PÅ LABDAYS - vi ses på stand 60

Laboratorie-opvaskemaskiner

Miele Professional præsenterer den nye SlimLine-laboratorieopvaskemaskine i PLW 7111-serien, som sætter nye standarder for performance og brugervenlighed. Det helt nyudviklede rengøringssystem har betydelig større effekt end tidligere, og kan også tilpasse strøm- og vandforbruget til fyldningsmængden takket være pumpen med variabel omdrejningshastighed.

Derudover kan du også se Mieles PG8583 laboratorieopvaskemaskine, hvor vandtrykket er højere end i den tidligere generation, samt mere plads til rådighed. Der er to moduler til pipetter og - afhængigt af deres længde - en ekstra overkurv med bægerglas.

Miele A/S
Stand 28



Grønnere laboratorie med B-frame Biocomposite PCR-plader

B-frame er PCR-plader med hård ramme, hvor rammen er produceret af bæredygtig biomasse, hvilket reducerer den petroleumsbaserede plast med op til 50 procent. På denne måde bidrager vi til at minimere plastikforbruget og dermed vores klimaaftryk.

B-Frame low binding 96 brønds PCR-plader, lav- og standardprofil, fuld- og semi skørtede. Pladerne er kompatible med de fleste PCR-maskiner og fri for human DNA- og DNase-/RNase.

Saveen & Werner ApS
Stand 75

EpMotion

Har du gået og gjort dig tanker, om dit daglige arbejde kunne gøres smartere og mere effektivt?

Besøg Eppendorf på messen og se, hvorfor vores nye epMotion er det rette valg til dit laboratorium.

Eppendorf Nordic A/S
Stand 11

PFAS i byggeaffald

- en mulig kilde til miljøforurening.

Af Jane Vaagelund Eriksen,
Medico Kemiske
Laboratorium ApS

Forekomsten af PFAS i miljøet er blevet stærkt belyst i medierne i løbet af de sidste år. Der har, med god grund, været stort fokus på brandskolerne som kilde til den massive forurening i områderne omkring disse. Den danske regering har valgt at sætte grænseværdier for drikkevand [1], der ligger noget under de EU-regulerede grænseværdier for drikkevand [2]. Faktisk er grænseværdierne sat så lavt, at det stiller næsten urimeligt store krav til detektionsgrænser hos de laboratorier, der skal kunne levere disse analyser.

Der er ligeledes angivet vejledende grænseværdier for PFAS i jord [3], hvilket naturligvis er i god tråd med et ønske om at minimere yderligere forurening af vores vand. Spørgsmålet er, om det er nok at have fokus på de oplagte kilder til forurening (brandskoler og relevante industrigrunde). PFAS har været brugt i rigtig mange industrier igennem de sidste mange årtier, så måske der er behov for flere indsatsområder for at begrænse udledningen til miljøet.

PFAS-forbindelser medtaget i analysen	
PFBA (22)	PFOS (4 + 22)
PFPeA (22)	PFNS (22)
PFHxA (22)	PFDS (22)
PFHpA (22)	PFUnDS (22)
PFOA (4 + 22)	PFDoDS (22)
PFNA (4 + 22)	PFTrDS (22)
PFDA (22)	6:2 FTS (22)
PFUnDA (22)	8:2 FTS (C8)
PFDoDA (22)	8:2 monoPAP(C8)
PFTrDA (22)	8:2 diPAP (C8)
PFOSA (22)	EtFOSA (C8)
PFBS (22)	EtFOSE (C8)
PFPeS (22)	MeFOSA (C8)
PFHxS (4 + 22)	MeFOSE (C8)
PFHpS (22)	

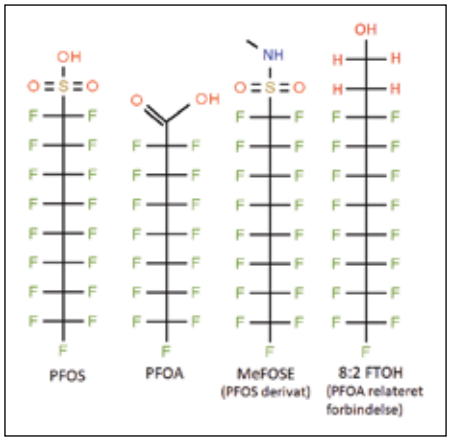
Tabel 1. Oversigt over de 29 stoffer, der blev analyseret for i studiet af byggeaffald. For hvert stof er angivet, om det er indeholdt i summen for PFAS 4 eller PFAS 22, eller om det er en C8-relateret forbindelse.

Foto: Wikimedia.

Udbredt anvendelse af PFAS

Betegnelsen "PFAS" dækker over en stor gruppe af stoffer (over 12.000), hvoraf en del er polymerer, der betegnes som stabile og ikke-optagelige i biologiske systemer. De PFAS-forbindelser, der typisk er i fokus i vand og jord, er de perfluorerede carboxylsyrer (for eksempel PFOA) og sulfonsyrer (for eksempel PFOS) (figur 1). Både PFOA og PFOS har været anvendt i en række produkter, men der har også været anvendt en stor gruppe af relaterede forbindelser (for eksempel poly-fluorerede forbindelser), der i biologiske systemer kan omdannes til de stabile perfluorerede carboxylsyrer eller sulfonsyrer. Både PFOS og PFOA tilhører gruppen af C8-forbindelser, hvilket betyder, at de indeholder otte kulstofatomer.

Anvendelsen af PFOS har været re-



Figur 1. PFAS struktureksempler.

guleret på EU-niveau siden 2009, mens regulering af PFOA, C6 og C9-C21 forbindelser først er blevet reguleret senere. Selvom man fra blandt andet dansk side er gået forrest med et forslag om et bredt forbud mod anvendelsen af PFAS i EU, er det fortsat tilladt at markedsføre produkter med de kortere PFAS-forbindelser. Disse kortere PFAS-forbindelser er blandt de forbindelser, der overvåges for i vand og jord.

Miljøstyrelsen har i en kortlægning i 2016 [4] identificeret en række brancher, der har indberettet anvendelse af udvalgte PFAS-forbindelser. Her fremgår det, at PFAS har været meget bredt anvendt på grund af deres overfladeaktive egenskaber. For eksempel nævnes anvendelse i malinger og som imprægnering af blandt andet tæpper. Derudover nævnes også fyldpladser for byggeaffald som en mulig kilde til forurening.

Stor kontrol med skibsmaterialer

Skibe, der sejler i EU-farvand, skal have et såkaldt IHM-certifikat, der indeholder informationer om miljøfarlige stoffer i materialerne på skibet, til brug i forbindelse med ophugning. Dette certifikat skal blandt andet indeholde informationer om forekomsten af PFOS. Mange af de skibsmaterialer, der er relevante for PFOS-analyse, er materialer, der også findes i bygninger. Efter at have lavet et stort antal analyser af skibsprøver for PFOS, kan man som laboratorie undres over, at der ikke er krav om de samme analyser på byggeaffald. Om et materiale kommer fra skibe eller bygninger, må anses som at være underordnet i forhold til affaldshåndteringen.

Byggeaffald indeholder målbart PFAS

Hos Medico Kemiske Laboratorium analyserer vi jævnligt nye produkter for indhold af regulerede stoffer, herunder blandt andet for en række af de produktregulerede PFAS-forbindelser, samt for de PFAS-forbindelser, der er fastsat grænseværdier for i vand og jord. Derudover analyserer vi dagligt et betydeligt antal prøver af byggeaffald for de klassiske miljø- og sundhedsskadelige stoffer, der kan findes i bygningsmaterialer (for eksempel asbest, PCB og tungmetaller).

For at blive klogere på, om der er grund til bekymring i forhold til PFAS-udledning fra byggeaffald, fandt vi det relevant at undersøge, om der overhovedet kan påvises PFAS i de almindelige prøver af byggeaffald. På den baggrund blev der udvalgt 50 mere eller mindre tilfældige prøver fra prøvearkivet og disse blev senere suppleret med 50 prøver udtaget fra en genbrugsplads, således at en bredere palette af bygningsmaterialer blev inkluderet i undersøgelsen. De 100 prøver blev analyseret for de 22 vand/jord regulerede PFAS-forbindelser, samt

Kemikaliekøleskab med udsug

Temperaturkontrolleret kemikalieopbevaring
Personsikkerhed på 15 sekunder

Mød os på
LabDays i Århus
13-14 September 2023

SCOTSMAN BioMedical
a part of SCOTSMAN KøleTeknik

Jernholmen 48D • 2650 Hvidovre

Kontakt os for yderligere oplysninger
Telefon **7015 3388**
E-mail: Jesper Krone • **jk@scotsman.dk**

www.scotsman.dk

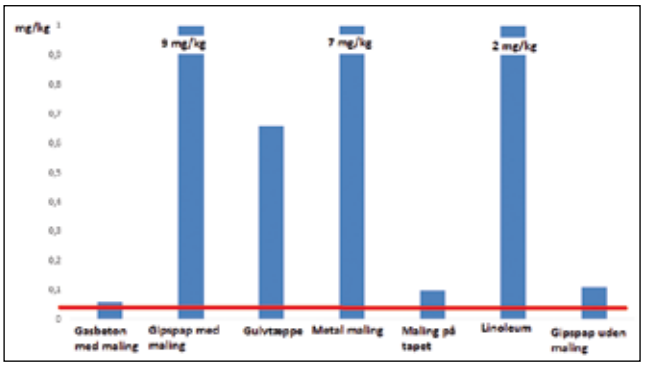
syv udvalgte C8- relaterede forbindelser, der menes at kunne omdannes til enten PFOS eller PFOA (tabel 1, side 30).

Resultaterne viste, at en tredjedel af de analyserede prøver havde målbart indhold af en eller flere PFAS-forbindelser. PFAS blev påvist i prøver af malinger, tapeter, gulvtæpper, linoleum og gipspap. De fundne koncentrationer lå i intervallet 0,001 mg/kg til 1 mg/kg. Der blev fundet en række PFAS-forbindelser i flere af prøverne, mens enkelte prøver kun indeholdt en enkelt PFAS-forbindelse. Af de PFAS-forbindelser der blev påvist, var særligt det PFOA relaterede stof 8:2-diPAP bemærkelsesværdigt. Denne forbindelse blev påvist i relativt høje koncentrationer i linoleum (2 mg/kg) og i malinger (7 og 9 mg/kg), og i lavere koncentrationer i gipspap uden maling (0,1 mg/kg). Stoffet menes at kunne omdannes til PFOA i biologiske systemer [5], hvorfor det er af særlig interesse. Derudover blev der påvist forskellige carboxylsyrer (herunder PFOA), samt PFOS og PFOS-derivater (EtFOSE, EtFOSE, MeFOSE og MeFOSA).

Der savnes grænseværdier for byggeaffald

Der findes for nuværende ikke anvendelige grænseværdier for PFAS i byggeaffald, men der findes i POP-forordningen [6] grænseværdier for, hvornår enkelte PFAS-forbindelser skal betragtes som farligt affald. Disse grænseværdier er dog meget høje sammenholdt med de grænseværdier, der er fastsat for nye produkter (EU), samt for jord og vand (DK). Historisk set er det ofte grænseværdierne for jord, der videreføres til anvendelse for klassificering af byggeaffald.

De fundne resultater er derfor holdt op imod de vejledende grænseværdier for jord. Grænseværdierne for jord er, ligesom grænseværdierne for vand, fastsat for henholdsvis 4 og 22 PFAS-forbindelser. Der anvendes en PFAS 4 grænseværdi på 0,01 mg/kg og en PFAS 22 grænseværdi på 0,4 mg/kg. Flere af prøverne falder over PFAS 4 grænseværdien. Hvis de syv udvalgte C8-forbindelser (der ikke er omfattet af grænseværdierne for jord) ydermere blev lagt til summen, ville endnu flere prøver ligge over grænseværdien. I figur 2 ses udvalgte prøveresultater holdt op imod PFAS 4 grænseværdien.



Figur 2. Udvalgte prøver med indhold af PFAS 4 + 7 udvalgte C8-relaterede forbindelser. Summen af de 11 PFAS-forbindelser er angivet. Den røde linje indikerer PFAS 4 grænseværdien for jord.

Figur 3. Eksempler på prøver med påvist indhold af PFAS.

Der er stadig plads til mere viden

De fremkomne resultater indikerer, at byggeaffald kan være en kilde til PFAS-forurening. Der er dog fortsat plads til mere viden omring, hvilke materialer der bør undersøges og for hvilke specifikke PFAS-forbindelser. Da gruppen af PFAS-forbindelser er så stor, som den er, vil det være umuligt at identificere og kvantificere alle eventuelle PFAS-forbindelser. Der er flere mulige tilgange til, hvorledes der kan analyseres rutinemæssigt på byggeaffald, men der savnes stillingtagen fra myndighedernes side i forhold til, om analyser på byggeaffald skønnes nødvendige.

E-mail:
Jane Vaagelund Eriksen:
jve@medico.dk

■ Medico Kemiske Laboratorium er et mindre laboratorie, der er specialiseret inden for analyser af bygningsaffald. Laboratoriet udfører årligt cirka 60.000 analyser for søstervirksomheden Dansk Miljøanalyse.

Derudover udfører laboratoriet regelmæssigt analyser af nye produkter, for eksempel i forbindelse med kontrolkampagner af forbrugerprodukter. Laboratoriets analyseudbud omfatter en række miljø- og sundhedsskadelige stoffer, og der udvides løbende med nye analyser for at kunne efterkomme kundernes behov.

Referencer
1. Drikkevandsbekendtgørelsen, BEK nr. 504 af 14/05/2023.
2. Europa-Parlamentets og Rådets direktiv (EU) 2020/2184 af 16. december 2020 om kvaliteten af drikkevand.
3. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenet jord, Miljø- og fødevareministeriet, 2021.
4. Kortlægning af brancher, der anvender PFAS, Miljøprojekt nr. 1905 nov. 2016, Miljø- og fødevareministeriet, 2016.
5. Bizkarguenaga, E., Zabaleta. I., Prieto, A., Fernández, L.A. og Zuloaga, O. Uptake of 8:2 perfluoroalkyl phosphate diester and its degradation products by carrot and lettuce from compost-amended soil. Chemosphere, Volume 152, 2016, side 309-317.
6. Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2019/1021 af 20. juni 2019 om persistente organiske miljøgifte.

Høj-opløst massespektrometri (HRMS)

HRMS er på tærsklen til industriel anvendelse inden for miljøanalyser.

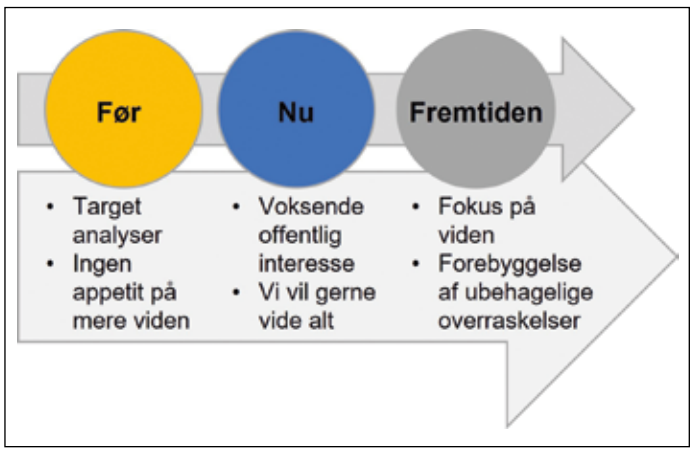
Af Nanna Louise Kjærsgaard og
Peter Bondgaard Mortensen, Eurofins Miljø A/S

Vi er som samfund blevet mere opmærksomme på, hvilke kemikalier vi indtager og omgiver os med. Derfor kan det være svært at forstå, at vi stadig baserer vores miljømonitorering på spørgsmålet "er dette stof i vores miljø?" i stedet for spørgsmål som "hvad er der i vores miljø?". Det er reelt set det, vi gør, når vi analyserer med konventionelle analysemetoder. Lovgivningen i dag er opbygget således, at man analyserer målrettet for kendte miljøfremmede stoffer, som er udpeget på forhånd. Så selvom vi screener for lange lister af miljøfremmede stoffer, leder vi stadig kun efter de stoffer, vi kender og har mistanke om kunne være i vores miljø. Dette gør, at der er risiko for at overse forurening med stoffer, som potentielt kan være skadelige, simpelthen fordi vi ikke har ledt efter dem. Og det sker.

Et eksempel på dette er en analyse lavet af forskere på Københavns Universitet [1], der viste, at vand, der opbevares i drikkedunke i timevis, opsamler potentielt sundhedsskadelige kemikalier [2]. Gennem det sidste årti har der løbende været sager med fund af nye stoffer så som PFAS [3] og kemikalier fra bildæk [4] i den danske vandforsyning. Disse fund, samt offentlighedens interesse for at undgå unødige og skadelige stoffer, har været medvirkende til, at efterspørgslen for miljøanalyser er ved at ændre sig. Dermed er der behov for, at nye og forbedrede analyseteknikker bliver implementeret i miljøovervågningen.

Højere nøjagtighed på massebestemmelsen giver nye muligheder

Med høj-opløst massespektrometri (HRMS) er det nu muligt at komme tættere på at besvare spørgsmålet "hvad er der i vores miljø?". Modsat konventionel target-analyse kan man med HRMS-teknikker måle på mange stoffer samtidigt uden at forudbestemme, hvilke stoffer man leder efter. Man kan dermed detektere alle de stoffer i prøven, der passer til den anvendte analysemetode. Denne såkaldte "non-target" metode giver et kemisk fingeraftryk af den pågældende prøve. Derudover kan den forbedrede nøjagtighed af massebestemmelsen give en mere sikker identifikation af de påviste stoffer. Denne type massespektrometri kan bruges til at lave analyser på flere niveauer, alt efter hvor bredt man ønsker at søge.



Figur 1. Skematisk illustration af udviklingen i efterspørgslen for miljøanalyser.

Paradigmeskifte inden for miljøovervågning

I dag bruges HRMS-analyser mest til forskning, og Dansk Kemi har tidligere bragt flere artikler om emnet [5-6]. Nu er teknikken også ved at gøre sit indtog i industrien. For fem år siden var der ingen kommercielle laboratorier i Danmark, der benyttede HRMS, hvorimod der i dag er få, men et stigende antal laboratorier, der investerer i HRMS. Hos miljølaboratoriet Eurofins Miljø A/S har vi to års erfaring med HRMS-analyse, primært på spildevand. Derudover deltager vi i en række forskningsprojekter på drikkevand/grundvandsområdet med forskellige samarbejdspartnere. Vi oplever, at efterspørgs-

OTTO – DIGITAL SERVICE FRA BUSCH

OTTO overvåger dine vakuumpumper, overalt, når som helst. Se tilstanden af din proces eller vakuumpumpens med vores digitale service. OTTO sender automatisk beskeder til Busch i tilfældet af forstyrrelser i din proces.
Oplev fordelen af tilstandsovervågning.

LABDAYS
September
Aarhus

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

BUSCH
VACUUM SOLUTIONS

Foto: Wikimedia.

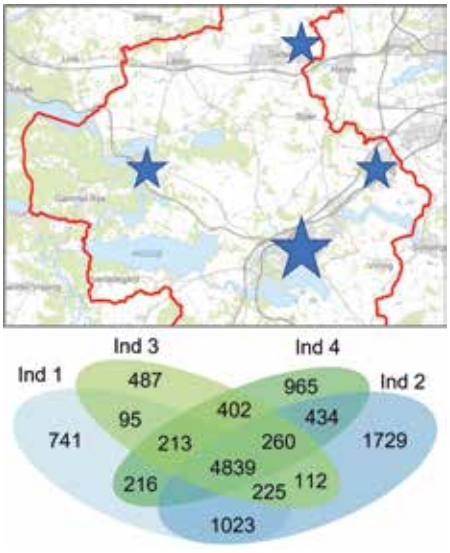
len for miljøanalyser har rykket sig fra, at man kun ville have svar på de obligatoriske test, til at man nu vil vide så meget som muligt, så man undgår overraskelser (figur 1). Der er ved at ske et paradigmeskifte inden for miljøovervågning. Hvor miljølaboratorierne tidligere var "simple" leverandører af analyseresultater (data), vil de fremover blive mere integrerede partnere i løsning af spørgsmål og problemer. Her kan HRMS-analyser komme til at spille en afgørende rolle.

Anvendelser for HRMS-analyse nu og i fremtiden

HRMS-analyser kan med fordel anvendes i forbindelse med blandt andet monitorering af nye udledninger, undersøgelse af fortidens forurening med miljøfremmede stoffer, samt til at danne beslutningsgrundlag for investering i tekniske anlæg som for eksempel renseforanstaltninger.

Metoden har desuden den meget store fordel, at analyserne kan bruges retrospektivt, da det opsamlede rådata kan genbesøges og analyseres på et vilkårligt tidspunkt. Et meget kraftfuldt værktøj til undersøgelse af eksempelvis tidstrends.

I dag bruges HRMS kun til den ikke-regulerede del af miljøovervågningen, men på trods af dette har teknikken allerede fundet anvendelse i flere tilfælde til target-analyser eller suspekt-screening for pesticider, PFAS-stoffer, lægemidler og industrielle kemikalier i blandt andet spildevand og slam.



Figur 2. Kort over placeringen af fire vandforsyninger i Skanderborg Kommune, samt Venn-diagram over antallet af tilledte kemiske stoffer, der blev detekteret ved LC-HRMS analyse for indløbsvandet for de respektive sites.

Eksempel på anvendelse af HRMS-analyser

Skanderborg Forsyning har anvendt resultatet af LC-HRMS analyser i forbindelse med planlægning af kommende investeringer i spildevandsrensning. Forsyningen undersøger muligheden for at lægge fire spildevandsanlæg sammen til ét. I den forbindelse var Forsyningen interesseret i at vide mere om den kemiske profil af indløbsvandet til de respektive spildevandsanlæg. Indløbsvandet blev derfor analyseret med LC-HRMS med det formål at klarlægge antallet og sammensætningen af stoffer i indløbsvandet til de enkelte anlæg. Venn-diagrammet (figur 2) viser antallet af tilledte kemiske stoffer fundet ved de respektive anlæg. Diagrammet viser, hvor mange stoffer der er unikke for de enkelte anlæg, hvor mange stoffer der blev fundet i indløbsvandet for to eller flere sites (der hvor cirklerne overlapper) og antallet af stoffer, som blev påvist ved alle anlæg.

I alt 4.839 stoffer var fælles for alle anlæg. Indløbsvandet for anlæg 2 (Ind 2) havde overordnet flest stoffer, og også flest unikke stoffer (1.729), der ikke blev påvist ved de andre anlæg. En mere detaljeret analyse af resultaterne afslørede også, at ét anlæg havde en betydelig tilledning af PFAS-forbindelser.

Uden på nogen måde at identificere alle stoffer giver eksemplet et godt billede af, hvad man skal være opmærksom på ved sammenlægning af anlæg. Spildevand er ikke ens fra anlæg til anlæg, og sammensætningen af spildevandet fra de enkelte anlæg kan have stor betydning for fremtidig renseeffektivitet.

Analyse af afløbsvand giver på samme måde viden om anlæggets renseeffektivitet. Med HRMS-analyser er det muligt at fokusere på identifikation af problematiske stoffer. Dette gør det muligt at prioritere ressourcer og bestemme, hvilke tiltag der skal iværksættes for at sikre effektiv rensning af vandet. Når disse analyser er foretaget i planlægningsfasen, som i eksemplet fra Skanderborg Forsyning, kan det bidrage til, at investeringer bliver lavet på et så veloplyst grundlag som muligt. Dermed mindskes risikoen for, at man senere finder problematiske stoffer, som man ikke i første omgang havde taget højde for, og derfor kan blive nødsaget til at foretage nye og fordyrende tiltag.

Fremtidige anvendelser af HRMS

Ud over de nævnte anvendelser fra vandområdet har HRMS-analyser potentiale for i fremtiden at blive udvidet til anvendelse på alle miljømatricer. Hermed er der potentiale for, at metoden

HRMS-analyser i flere niveauer

Target-analyse: Her analyseres målrettet efter få kendte stoffer og der anvendes en referencestandard for sikker identifikation og kvantificering. Dette svarer til den konventionelle metode, dog med mere præcis massebestemmelse.

Suspekt screening: Her analyseres efter en lang række af kendte forbindelser, som for eksempel pesticider, lægemidler, PFAS-stoffer og andre industrielle kemikalier. Der anvendes kun i begrænset omfang referencestandarder.

Non-target screening: Her laves en bred analyse for både kendte og ukendte stoffer i en prøve.

kan anvendes til blandt andet monitorering og overvågning af mikroforureninger i miljøet generelt. Dette kan blandt andet danne grundlag for beslutninger om udledningstilladelser til industrien og kan understøtte finansielle beslutninger i forbindelse med investering i grundvandsbeskyttelse, rensningsteknologier inden for rentvands- og spildevandsområdet, luftemissioner, indeklima m.m.

Hvad skal der til for fuld udrulning af HRMS i industrien?

Med HRMS-analyser er vi et skridt tættere i jagten på at kunne besvare spørgsmålet "hvad er der i vores miljø?". Der ligger dog stadig meget arbejde i udvikling, forbedring og standardisering af metoderne. Selvom HRMS allerede i dag er et værdifuldt redskab, er der en række udfordringer, der skal overvindes for i større grad at implementere HRMS-teknikker i den industrielle miljømonitorering. En af de vigtigste udfordringer bliver at standardisere analysemetoderne, så der skabes robuste og pålidelige data på tværs af laboratorierne. Særligt inden for retrospektive analyser er det essentielt, at analyserne er udført efter standardiserede protokoller, så prøverne kan sammenlignes. En sådan standardisering af metoderne er også vigtig for udrulningen af HRMS i den regulerede del af miljøovervågningen.

En af udfordringerne er, at metoderne ikke automatisk giver en koncentration af det pågældende stof, da der ikke medanalyseres referencestandarder. En præcis bestemmelse af koncentrationen kræver normalt, at man har et passende referencestof, hvilket selvsagt ikke er muligt, når man ikke på forhånd ved, hvilke stoffer man vil finde. Der forskes imidlertid i disse år intensivt i metoder til at estimere koncentrationer i situationer uden referencestandarder - en såkaldt semikvantificering.

I et samfund der i stigende grad efterspørger at vide "alt", er der stort potentiale for, at HRMS-analyser i fremtiden bliver et vigtigt og fuldt implementeret værktøj inden for miljøanalyser.

E-mail:
Nanna Louise Kjærsgaard:
nannalouisekjaersgaard@eurofins.com

Referencer
1. Tisler, S., Christensen, J., Non-target screening for the identification of migrating compounds from reusable plastic bottles into drinking water, *Journal of Hazardous Materials*, 429 (2022) 128331.
2. Ritzau, Drikkedunke til sport afgiver hundredvis af kemikalier, *Jyllands-Posten*, (2023, 10. maj) https://jyllands-posten.dk/indland/ECE13731145/drikkedunke-til-sport-afgiver-hundredvis-af-kemikalier/.
3. Gotfredsen, K., Der er PFAS i grundvandet i hver femte kommune - se hvor det er fundet, *nyheder.tv2.dk*, (2022, 23. december) https://nyheder.tv2.dk/samfund/2022-12-25-der-er-pfas-i-grundvandet-i-hver-femte-kommune-se-hvor-det-er-fundet.
4. Gotfredsen, K., Kemikalier fra bildæk fundet i drikkevand på Sjælland, *nyheder.tv2.dk*, (2023, 16. april) https://nyheder.tv2.dk/samfund/2023-04-16-kemikalier-fra-bildaek-fundet-i-drikkevand-paa-sjaelland.
5. Tisler, S.,& Christensen, J.H., Migration af kemikalier fra genanvendelige plastdrikkedunke til drikkevand, *Dansk Kemi*, 103, nr. 6, 2022, side 9-10
6. Jensen, B., Kemiske fingeraftryk afslører ukendt Forurening, *Dansk Kemi*, 102, nr. 1, 2021, side 8-10.

STRANDMØLLEN

ESSENTIEL
NÅR KVALITETEN SKAL TESTES

Hos Strandmøllen får du mere end bare gas. Du får løsninger på dine udfordringer i laboratoriet. Både de daglige og de mere langsigtede – uanset om det drejer sig om gaschromatografi, dokumentation, sporbarhed eller noget helt fjerde. Du møder fagfolk, som med omtanke, erfaring, viden og passion forstår kompleksiteten i din hverdag, og som med den sikreste hånd kan gøre en forskel og give dig den nødvendige kontrol.

STRANDMØLLEN – ESSENTIEL FOR FREMTIDEN

Hvad indeholder yoghurten af væsentlige lavmolekylære forbindelser?

Studier peger på, at det at spise yoghurt har særlige, gavnlige effekter, der mindsker risikoen for livsstilsygdomme. Vi lavede et studie for at dykke ned i, hvad det tilsyneladende er for nogle kemiske forbindelser i yoghurten, som kan forklare de biofunktionelle egenskaber.

Foto: Evan Reimer, Unsplash.

Af Hanne Christine Bertram[1], Søren D. Nielsen[1,2], Louise M.A. Jakobsen[1] og Nina R.W. Geiker[3,4]

[1] Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet
[2] Arla Food Ingredients
[3] Institut for Idræt og Ernæring, Københavns Universitet
[4] Center for Sundt Liv og Trivsel

Mælk og mejeriprodukter tilfører os essentielle makro- og mikronæringsstoffer og udgør en vigtig del af kosten. På det seneste er der desuden opstået en stigende interesse for, om indtag af mejeriprodukter også er forbundet med biofunktionelle effekter. Især fermenterede mejeriprodukter har fået opmærksomhed på baggrund af deres tilsyneladende potentiale til at fremme menneskers sundhed. Dette hænger sammen med, at epidemiologiske undersøgelser har vist sammenhænge mellem indtag af fermenterede mejeriprodukter og en lavere risiko for hjerte-kar-sygdomme, type 2 diabetes og fedme [1]. Disse sammenhænge er understøttet af interventionsstudier, der viser gavnlige effekter af indtagelse af fermenterede mejeriprodukter på risikofaktorer såsom blodets lipidprofil [2] og fedtindhold i leveren [3]. Men hvad ligger til grund for disse gavnlige effekter?

Mekanismerne bag gavnlige effekter

Fermenterede mejeriprodukter som yoghurt er karakteriseret ved, at der tilsættes en starterkultur under fremstillingen, og der er blevet spekuleret i, hvilken rolle starterkulturen har for de gavnlige effekter, man har forbundet med indtaget af fermenterede mejeriprodukter. En mulig faktor er, at bakterierne danner bioaktive forbindelser, der bidrager til de gavnlige effekter. En anden faktor, der muligvis kan være medvirkende til at forklare de gavnlige effekter, er, at fermenterede mejeriprodukter har et højere indhold af mælkesyre og lavere pH-værdier end ikke-fermenterede mejeripro-

ACE og ACE-hæmning

ACE står for "Angiotensin Converting Enzyme" (ACE), og ACE-hæmmere hæmmer enzymet, som er ansvarlig for omdannelsen af angiotensin I til angiotensin II. Angiotensin II binder til receptorer på glatmuskelceller i blodkarsvæggene. Dette fører til, at blodkarrene trækker sig sammen og blodtrykket stiger. Ved at hæmme denne omdannelse virker ACE-hæmmere blodtrykssænkende.

Figur 1. De fire mejeriprodukter, der blev analyseret for indhold af metabolitter og peptider: 1) En konventionel sødmælk, 2) en konventionel sødmælksyoghurt (der blev analyseret både umiddelbart efter fremstilling og efter 14 dage på køl), 3) samme sødmælksyoghurt, men varmebehandlet for at inaktivere starterkulturen og 4) en kemisk syrnet mælk.

dukter, hvilket også vil kunne indvirke på kemien i mave-tarm-kanalen og derved ændre struktur og tilgængelighed af tilstedeværende kostkomponenter.

For at belyse, hvilke reelle forskelle der findes i mejeriprodukters indhold af lavmolekylære forbindelser med mulige bioaktive funktioner, lavede vi et studie, hvor fire forskellige mejeriprodukter blev analyseret for deres indhold af metabolitter og peptider [4]. De fire mejeriprodukter bestod af konventionel sødmælk, en kemisk syrnet mælk, sødmælksyoghurt, samt en sødmælksyoghurt, der efterfølgende blev varmebehandlet med henblik på at inaktivere starterkulturen (figur 1).

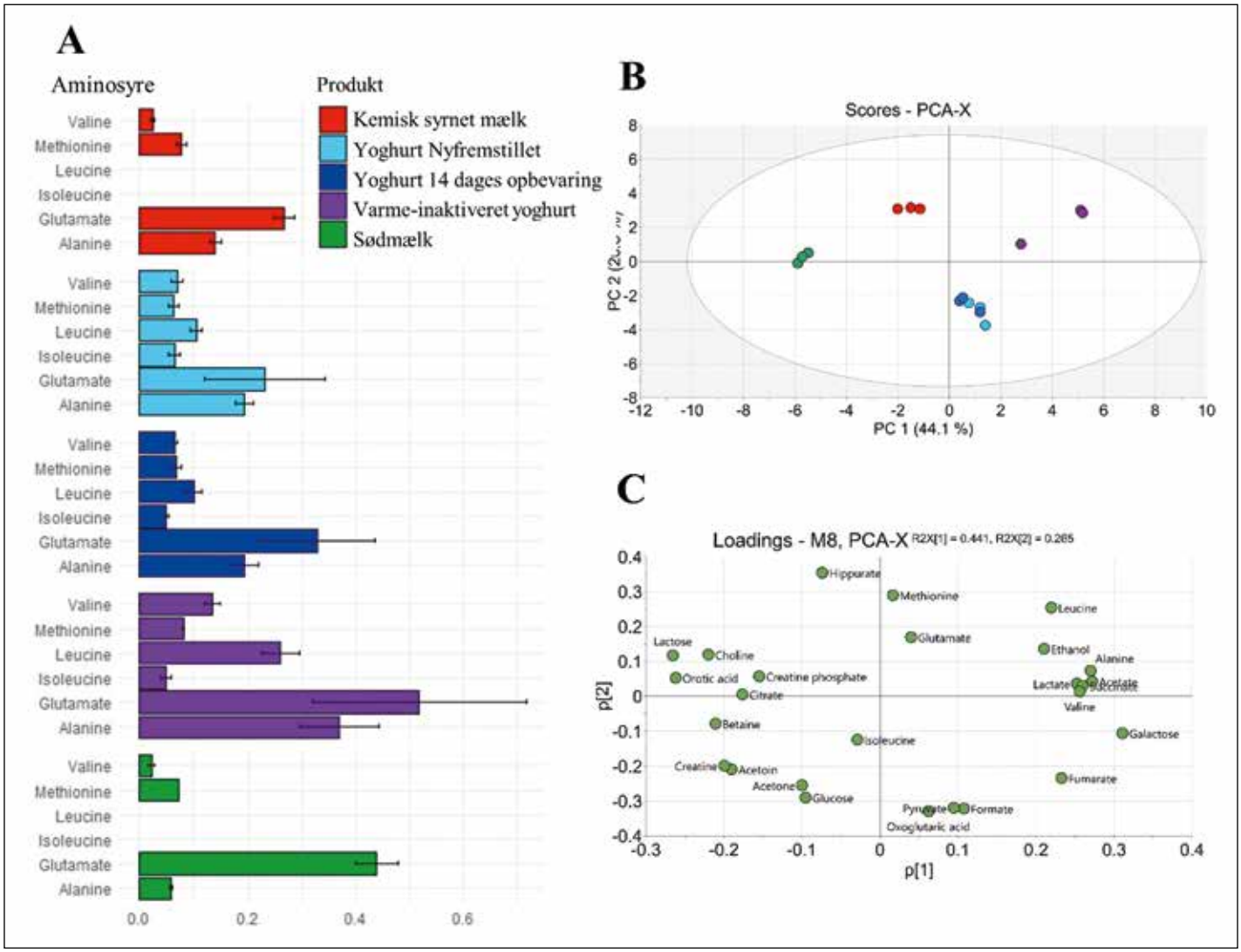
Sødmælksyoghurten, fremstillet med en startkultur bestående af *S. thermophilus* og *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, blev endvidere analyseret både kort tid efter fremstilling og efter 14 dages opbevaring på almindelig køl ved 4°C. Produkterne havde stort set identisk indhold af fedt (3,5 g/100 g) og protein (3,4-3,8 g/100 g), mens kulhydratindholdet var lidt højere i den kemisk syrnede mælk (5,8 g vs. 3,5 g/100 g, hvor tilsætning af stivelse var nødvendig af hensyn til teksturen.

Metabolomics

Metabolitter i de undersøgte mejeriprodukter blev analyseret ved hjælp af metabolomics, hvor proton NMR-spektroskopi udgjorde den analytiske platform. I alt 29 metabolitter blev identificeret og kvantificeret. De kvantificerede forbindelser omfattede aminosyrer, organiske syrer, produkter, der indgår i citronsyrecyklus og glykaner. Principal component analyse (PCA) blev gennemført på metabolitkoncentrationerne (figur 2).

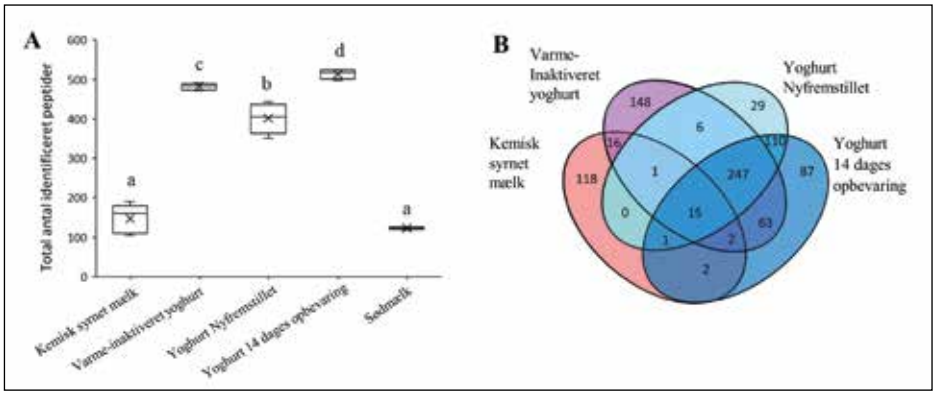
Samlet set udviste de fermenterede produkter en mere kompleks metabolitprofil end det kemisk syrnede produkt og sødmælk. Sammenlignet med ikke-fermenterede produkter (sødmælk og kemisk syrnet mælk) var begge de fermenterede yoghurter (fermenteret og varme-inaktiveret fermenteret) karakteriseret ved højere niveauer af forgrenede aminosyrer (leucin, isoleucin og valin), citronsyrecyklus-produkter samt produkter fra sakkarolytisk aktivitet.

Laktose var det primære kulhydrat til stede i mejeriprodukterne, og niveauet



Figur 2. Koncentrationer af metabolitter bestemt i mejeriprodukterne samt resultater fra principal component analyse (PCA) baseret på samtlige metabolitter detekteret ved hjælp af proton NMR-spektroskopi.

var højest i sødmælk (217 mM) og kemisk syrnet mælk (186 mM), mens det var lavere i de to mikrobielt fermenterede yoghurter (fermenteret (125 mM) og varmeinaktiveret fermenteret (112 mM). Dette hænger sammen med, at kulstof fra laktose udnyttes af starterkulturen, som ved fermentering genererer mælkesyre og andre organiske syrer. Tilstedeværelsen af galaktose i fermenterede yoghurter afspejler den mekanisme, som starterkulturen anvender til laktosefermentering; laktose transporteres ind i bakteriecellerne, hvor det hydrolyseres til glukose og galaktose. Mens glukose metaboliseres yderligere inde i cellerne, udskilles det meste galaktose, da det ikke er det foretrukne substrat for bakterierne i yoghurtkulturen [5]. Mælkesyre er den primære metabolit, der dannes af mælkesyrebakteriers fermentering, men i den kemisk syrnede mælk blev mælkesyre tilsat som kemisk syrningsmiddel. Bortset fra sødmælk var mælkesyre til stede i sammenlignelige koncentrationer i de øvrige mejeriprodukter. Køleopbevaring af den fermenterede yoghurt ændrede ikke den metaboliske profil markant.



Figur 3. Resultater fra peptidanalyser. A). Det totale antal af identificerede peptider i de fire forskellige mejeriprodukter hvor sødmælksyoghurt blev analyseret både umiddelbart efter fremstilling og efter 14 dages opbevaring på køl (4°C). B). Venn diagram, der viser antallet af peptider identificeret i de forskellige mejeriprodukter og overlap mellem mejeriprodukterne.

Peptidomics

Mejeriprodukternes indhold af peptider blev analyseret ved hjælp af peptidomics med massespektrometri som analytisk platform. Det samlede antal peptider identificeret i den fermenterede sødmælksyoghurt var 402, og dette antal steg til 514 peptider efter 14 dages køleopbevaring, hvilket sandsynligvis er et resultat af en fortsat fermenteringsaktivitet af starterkulturen under opbevaring. Yoghurten, der blev varmeinaktiveret efter en fermenteringsperiode på 13 timer (42°C), viste sig at indeholde 482 peptider i gennemsnit (figur 3A), og lignede således en fermenteret yoghurt opbevaret på køl i 14 dage med hensyn til peptidindhold. Dette fund tyder på, at den proteolytiske aktivitet steg på grund af termisk denaturering af proteiner, eller at opvarmningen øgede permeabiliteten af *lactobacillus* cellevæg med en resulterende øget frigivelse af proteolytiske enzymer i yoghurten. De fermenterede yoghurtprøver indeholdt signifikant flere peptider (op til 354 procent) med en signifikant højere totalmængde end kemisk syrnet mælk, som havde et tilsvarende antal peptider som sødmælk; i gennemsnit henholdsvis 145 og 123 identificerede peptider (figur 3A og 3B).

Peptider, der blev identificeret i mindst 50 procent af replikaterne fra en yoghurt, blev sammenlignet mellem de fire mejeriprodukter, der enten var kemisk syrnet eller fermenteret (figur 3B). Kun 15 peptider overlappede mellem alle fire produkter, mens 247 peptider overlappede mellem de tre mikrobielt fermenterede yoghurter. Fermenteret yoghurt ved 1 og 14 dages opbevaring havde 110 peptider til fælles, som ikke fandtes i nogle af de andre produkter. Kemisk syrnet mælk og varmeinaktiveret fermenteret yoghurt havde det højeste antal peptider, der var unikke for det specifikke produkt, hvilket betyder, at peptidprofilen er ret forskellig for henholdsvis de kemisk syrnede, de fermenterede og de varmeinaktiverede fermenterede produkter.

Peptidernes egenskaber

De identificerede peptider til stede i mejeriprodukterne blev sammenlignet for sekvenshomologi (>80% sekvenslighed) med kendte bioaktive peptider under anvendelse af den såkaldte Milk Bioactive Peptide Database (MBPDB, http://mbpdb.nws.oregonstate.edu/) [6] (tabel 1). Af de 402 identificerede peptider i fermenteret yoghurt havde 145 peptider en høj sekvenshomologi

Produkt	Blodtryks-sænkende	Anti-mikrobielt	DPP-IV inhibitorisk	Antioxidant	Immun-modulatorisk	Andet
Kemisk syrnet mælk	32 (+13)	36 (+3)	1	10	14	22
Varme-inaktiveret yoghurt	100 (+123)	51 (+15)	6	64	14	60
Yoghurt Nyfremstillet	69 (+108)	45 (+11)	3	56	11	41
Yoghurt 14 dages opbevaring	80 (+126)	57 (+18)	0	65	12	58
Sødmælk	24 (+11)	35 (+4)	0	9	12	17
Tal i parentes angiver antallet af peptider, der har bioaktivt potentiale, men som ikke blev fundet i MBPDB databasen.						

Tabel 1. Antal af homologe bioaktive peptider, der blev identificeret og prædikteret i mejeriprodukterne.

med kendte bioaktive peptider. Efter 14 dages køleopbevaring af yoghurten steg antallet af peptider med homologi med kendte bioaktive peptider til 174. Af de 482 peptider identificeret i varmeinaktiveret fermenteret yoghurt var 181 meget homologe med kendte bioaktive peptider, flere af disse med mere end én kendt biologisk funktion. Flere af peptiderne, der ikke matchede kendte bioaktive peptider, blev prædikteret at indeholde potentiel bioaktivitet med blodtrykssænkende effekter (ACE-hæmning) og antimikrobiel aktivitet (tabel 1).

Konklusion

Vores studie viste, at yoghurt indeholder langt flere peptider end mælk. Fermentering eller kemisk syrning resulterede i et højere bioaktivt peptidpotentiale. I det ikke-varmeinaktiverede fermenterede yoghurtprodukt var der en kontinuerlig dannelse af peptider over en 14 dages køleopbevaringsperiode. Varmeinaktivering af en fermenteret yoghurt forlænger holdbarheden af et yoghurtprodukt, og det er derfor spændende, at vi fandt ud af, at varmebehandling af den fermenterede yoghurt viste samme eller højere niveau af peptider end den ikke-varmeinaktiverede yoghurt. Som forventet indeholdt fermenteret yoghurt mindre laktose, men mere galaktose og højere niveauer af organiske syrer fra sakkarolytisk fermentering. Selvom der stadig er mange uafklarede faktorer, såsom om peptider stadig har bioaktive egenskaber efter at have passeret mave-tarm-kanalen, kan de identificerede forskelle i indholdet af lavmolekylære forbindelser i henholdsvis mælk og yoghurt formentlig bidrage til at forklare, at produkterne indøver forskellig effekt på vores sundhed, når vi indtager dem.

E-mail:
Hanne Christine Bertram:
hannec.bertram@food.au.dk

Nærværende studie var en del af projektet ”FerMets”, der er finansieret af Arla Food for Health og Mælkeafgiftsfonden.

Referencer

1. Savaiano, D., Hutkins, R.W. 2021. Yogurt cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutr Reviews*, 79, 599-614.
2. Sadrzadeh-Yeganeh, H., Elmadfa, I., Djazayery, A., Jalali, M., Heshmat, R., Chamary, M. 2010. The effects of probiotic and conventional yoghurt on lipid profile in women. *Br J Nutr,* 103, 1778-1783.
3. Chen, Y., Feng, R., Yang, X., Dai, J., Huang, M., Ji, X., Li, Y., Okekunle, A.P., Gao, G., Onwuka, J.U. et al. 2019. Yogurt improves insulin resistance and liver fat in obese women with nonalcoholic fatty liver disease and metabolic syndrome: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr,* 109, 1611-169.
4. Nielsen, S.D., Jakobsen, L.M.A., Geiker, N.R.W., Bertram, H.C. 2022. Chemically acidified, live and heat-inactivated fermented dairy yoghurt show distinct bioactive peptides, free amino acids and small compounds profiles. *Food Chemistry,* 376, article no 131919.
5. Sørensen, K. I., Curic-Bawden, M., Junge, M. P., Janzen, T., & Johansen, E. 2016. Enhancing the Sweetness of Yoghurt through Metabolic Remodeling of Carbohydrate Metabolism in *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. *Appl Environ Microbiol*, *82*, 3683-3692.
6. Nielsen, S.D., Beverly, R.L., Qu, Y.Y., Dallas, D.C. 2017. Milk bioactive peptide database: A comprehensive database of milk protein-derived bioactive peptides and novel visualization. *Food Chemistry*, 232, 673-682

Mikroalger som fremtidens fødevareingrediens

Mikroalger kan dyrkes ved brug af saltvand og kræver ikke arealer, som traditionelt anvendes til landbrug eller naturformål, og kan dermed bidrage til en mere bæredygtig fødevareproduktion.

Af Charlotte Jacobsen, Emil Gundersen og Ditte Baun Hermund, DTU Fødevareinstituttet

Verdens befolkning forventes at ramme cirka 10 milliarder i 2050. For at fødevareproduktionen kan følge med befolkningstilvæksten, skal der produceres cirka 70 procent mere i 2050 sammenlignet med 2010. Dette kræver en omlægning af fødevareproduktionen i form af bedre udnyttelse af vores ressourcer, men også at vi reducerer de menneskeskabte miljø- og klimabelastninger, som dette kunne medføre [1,2]. Ifølge OECD-FAO Agricultural outlook [3] forventes det, at fødevareproduktionen på land vil stige med 15 procent i det kommende årti. Dette skaber et stigende pres på den i forvejen begrænsede dyrkbare jord og på vores grundvand. Ligeledes er der et stort pres på vores fosforressourcer som følge af landbrugets behov for fosforrig gødning.

I Danmark bruger vi i dag mere end 60 procent af landjorden på landbrug, hvoraf 80 procent udelukkende anvendes til produktion af foderproduktion til husdyr [4]. Der er derfor brug for alternative mindre miljøbelastende biomasser til både foder og fødevarer. Mikroalger er i en rapport fra Erhvervsministeriet [5] udpeget som en bæredygtig løsning på disse udfordringer, fordi de kan dyrkes på arealer, som ikke anvendes til landbrug eller naturformål, fordi de kan dyrkes ved brug af saltvand, og fordi produktiviteten per arealenhed kan være meget høj, hvis dyrkningen foregår effektivt. Disse kvaliteter gør, at dyrkning af mikroalger til for eksempel produktion af protein kan have et væsentligt lavere CO_2-aftryk end konventionelle fødevarekilder.

Hvad er mikroalger og hvordan dyrkes de?

Mikroalger er små vandlevende, fotosyntetiserende mikroorganismer (figur 1A). Mikroalger inkluderer også bakteriearterne blågrønalger og cyanobakterier, som også er i stand til at lave fotosyntese. Udover lys bruger fotosyntetiserende mikroalger CO_2 til at vokse - akkurat ligesom planter. Derudover har de brug for nitrogen- og fosforrige næringssalte samt visse vitaminer. De fotosyntetiserende mikroalger kan dyrkes i fotobioreaktorer (figur 1B), hvor de får tilført enten kunstigt eller naturligt lys (fototrofe).

Nogle mikroalger kan gro uden fotosyntese og anvende organisk stof som energikilde (heterotrofe) - ligesom gærceller. Disse mikroalger kan dyrkes i lukkede fermentorer med kontrolleret tilførsel af næring. Andre mikroalger kan gro på begge måder (mixotrofe). Hvis man dyrker mikroalger ved optimale betingelser, gror de hurtigt med en stor biomasseproduktion til følge. For de fototrofe mikroalger klinger produktiviteten dog af, når tætheden af mikroalgerne bliver for høj, da lyset ikke længere kan trænge ind til alle algecellerne.

Som fødevare har mikroalger en unik næringssammensætning, idet de indeholder blandt andet essentielle aminosyrer, umættede langkædede fedtsyrer som omega-3-fedtsyrer, for eksempel eicosapentaensyre (EPA) og dokosahexaensyre (DHA), vigtige mineraler som selen, jod og magnesium samt

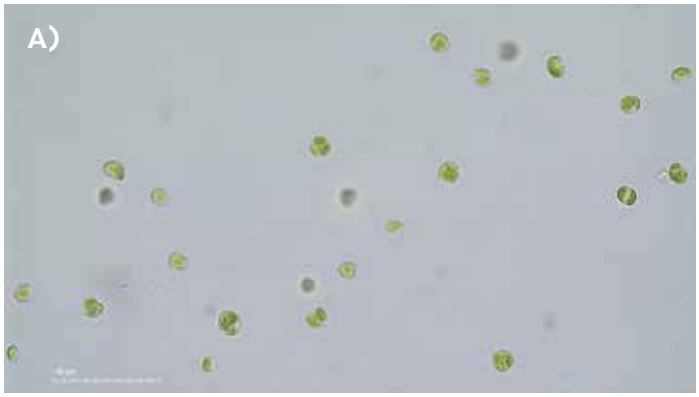
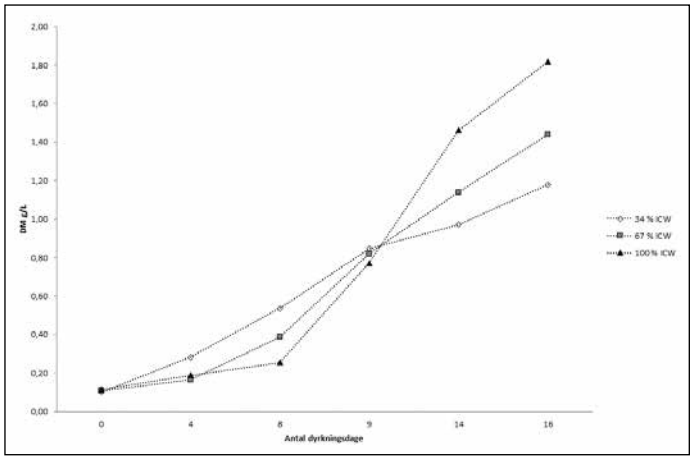


Foto: Emil Gundersen.

Figur 1. A) Mikroskopbillede af mikroalgen *Nannochloropsis oceanica*. Taget ved 100x forstørrelse. B) Billede af rørbaseret fotobioreaktor til dyrkning af mikroalger. Her dyrkes typen *Scenedesmus*.



Figur 2. Vækst af *Chlorella pyrenoidosa* (DM g/L) på industrielt procesvand fra Novozymes (34, 67 eller 100 procent) over tid. Modificeret efter [7].

B_{12}-vitamin. Desuden kan visse arter også indeholde D_3-vitamin afhængig af, hvordan de er dyrket. Mikroalger er en lovende kilde til ikke-animalsk protein. Eksempelvis kan *Chlorella spp* indeholde op til 60 procent protein af tørvægten. Man ser ingen andre ikke-animalske proteinkilder med samme høje proteinindhold per kilo råvare. Proteinerne fra mikroalger består af alle ni essentielle aminosyrer, som dækker behovet for at producere de proteiner, som er nødvendige for, at vores krop kan fungere. Det er unikt og ikke noget, man finder i samme omfang i hverken frugt, grøntsager eller bælgfrugter. Generelt har mikroalger et højt fedtindhold (op til 50 procent per tørvægt), som hovedsageligt består af flerumættede fedtsyrer, heraf EPA og DHA, som er nogle af de sunde omega-3 fedtsyrer, man også finder i fisk og skaldyr. Eksempelvis kan *Chlorella spp* indeholde omkring 42 procent EPA og DHA af den totale fedtsyremængde [6].

Der findes titusindvis forskellige mikroalger, men kun cirka 10 arter udnyttes i dag kommercielt. Mikroalgebiomassens kemiske næringssammensætning afhænger dels af arten og dels af dyrkningsbetingelserne og høsttidspunktet. Der er et stort uudnyttet potentiale for at udnytte endnu flere arter, som kan være egnede til fødevarer, foder, kosmetik, medicinske formål eller biobrændsel. Før flere arter kan anvendes til fødevarer, skal de dog gennem en Novel Food godkendelse, hvilket betyder, at de arter, som ikke har været godkendt som fødevare i EU før 15. maj 1997, skal godkendes før anvendelse. Nogle af de godkendte og mest velkendte mikroalgearter er Spirulina og *Chlorella*, som blandt andet anvendes som kosttilskud.

På DTU Fødevareinstituttet har vi forsket i dyrkning, processering og anvendelse af mikroalger siden 2013. Vores forskning fokuserer på de fotosyntetiserende mikroalger med særlig vægt på deres anvendelser til fødevarer og fiskefoder. I det følgende vil vi diskutere nogle af vores resultater, som er opnået inden for området.

Industrielt procesvand som vækstmedie for mikroalger

Som nævnt ovenfor har de fotosyntetiserende mikroalger brug for nitrogen- og fosforrige næringsrige salte for at vokse. Fødevare- og bioteknologiindustrien producerer store mængder nitrogen- og fosforrigt procesvand, som skal renses, inden det kan udledes i kloaksystemet. Det er derfor oplagt at undersøge, om mikroalger kan rense og gro på dette procesvand efter, at det har gennemgået en mindre oprensningsproces for at fjerne blandt andet uønskede bakterier. Hvis det kan lade sig gøre, er resultatet renset spildevand og mikroalgebiomasse.

I et tidligere forskningsprojekt, FIMAFY, screenede vi 10 forskellige mikroalger for deres evne til at vokse på industrielt ikke-fødevaregodkendt procesvand fra Novozymes i Kalundborg. Vi viste, at det blandt andet var muligt at gro *Chlorella* [7]. Endvidere blev der designet et næringsmedium bestående af et kommercielt næringsmedie, som blev helt eller delvist erstattet med procesvand (34, 67 eller 100 procent), så det endte op med hhv. 50, 100 og 150 mg nitrogen/L, og 3,5, 6,8 og 11,0 mg fosfor/L. Figur 2 viser, at *Chlorella pyrenoidosa* kunne vokse på alle tre medier og viste stor tolerance overfor nitrogen i form af ammonium, som normalt er begrænsende for væksten, hvis man kommer op i for høje koncentrationer [7].

I vores igangværende MASSPROVIT-projekt har vi på tilsvarende vis opnået lovende foreløbige resultater med en anden type industriel procesvand, som er fødevaregodkendt. Disse resultater er opnået med mikroalgen *Nannochloropsis oceanica*. De foreløbige forsøg viser, at op mod 40 procent af den nødvendige nitrogen og fosfor kan leveres igennem procesvandet fra Novozymes uden negative effekter på mikroalgens vækst. Kommende forsøg vil vise, hvordan brugen af procesvandet i disse mængder påvirker *N. oceanicas* indhold af næringsstoffer, så som protein, EPA og DHA.

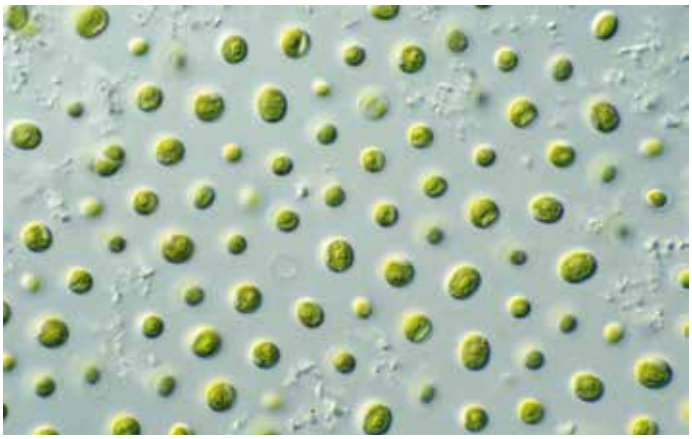


Foto: Wikimedia.

Mikroalger som kilde til sunde fedtstoffer, proteiner, farvestoffer, antioxidanter og vitaminer

I forbindelse med at vi fandt ud af, at mikroalger kan gro på industrielt procesvand, undersøgte vi også, hvilken betydning ændringerne i sammensætningen i næringsmediet havde på næringssammensætningen i mikroalgerne. Blandt andet blev de 10 forskellige mikroalgearter i FIMAFY-projektet evalueret ud fra deres evne til at producere protein. Vi undersøgte også de 10 arters fedtsyresammensætning.

Målet med projektet var at udvikle et mikroalgepulver, som havde et protein- og fedtindhold (lipidindhold), som lignede fiskemels, således at algepulveret kunne erstatte en del af fiskemelet i fiskefoder. Fiskemel indeholder cirka 70 procent protein og 10 procent fedt, hvoraf EPA og DHA udgør cirka 20-25 procent af fedtsyrerne. Derfor var det også en ekstra bonus, at fedtet i algepulveret indeholdt en eller begge af disse omega-3 fedtsyrer - og gerne i store mængder. Det ville også udvide anvendelsespotentialet for algepulveret ved at bidrage med sunde

FIMAFY-projektet: 4½ årigt projekt, som startede i oktober 2013. Projektet var finansieret af GUDP. Deltagere: DTU Fødevareinstituttet, DTU Aqua, Ecolipids, LiqTech, IFAU, BioMar A/S.

Antal dage kultiveret	Lipidindhold i % af tørvægt	Proteinindhold i % af tørvægt
4	5,8±0,1	53,1±1,2
8	8,2±0,2	58,2±3,5
11	7,9±0,3	59,1±3,1
16	10,0±0,3	57,8±3,2

Tabel 1. Sammensætningen af lipid (%tørvægt) og protein (%tørvægt) i *Chlorella pyrenoidosa* biomasse dyrket på 100 procent industrielt procesvand (ICW)) og kultiveringstid (dage). Modificeret efter [7].

omega-3 fedtsyrer, til de fødevarer de bliver tilsat.

I tabel 1 ses et udvalg af resultaterne fra det førnævnte studie. Biomassen fra *Chlorella pyrenoidosa* indeholdt op til 60 procent protein og 10 procent lipid af tørstoffet (%tørstof), hvilket var tæt på fiskemels sammensætning. Så afhængig af næringsmedie og høsttidspunkt kan den optimale sammensætning af protein og lipid altså opnås. Det højeste indhold af omega-3 fedtsyren EPA blev fundet i *Chlorella pyrenoidosa* (op til 1,3 procent EPA og 1,7 procent DHA af fedtsyrerne), men ved dyrkning af for eksempel *Nannochloropsis spp.* var det muligt at opnå, at op til 40 procent af fedtsyrerne udgøres af EPA og DHA. Ud fra den samlede vurdering fandt vi, at 67 procent erstatning med industriel procesvand i næringsmediet var optimalt for både vækst og næringssammensætning i det endelige algepulver [7]. En kombination af algepulver fra to forskellige algearter blev efterfølgende testet i samarbejde med DTU Aqua og BioMar (https://www.biomar.com/da/danmark/).

Resultaterne viste også, at der var problemer med fordøjeligheden af foderet, så snart mikroalgepulveret erstattede mere end 5 procent af fiskemelet. Dette skyldtes formentlig, at fiskene havde svært ved at nedbryde mikroalgernes cellevægge. Dette er et problem for flere mikroalgearter, fordi deres cellevægge er tykke og består af kulhydrater, som fisk og mennesker ikke har enzymer til effektivt at nedbryde. Den præcise sammensætning og struktur af cellevæggen varierer mellem de forskellige underarter, men svært nedbrydelige polysakkarider såsom cellulose, hemicellulose og pektin udgør en stor del af den primære cellevæg hos mange mikroalger.

Derudover har visse mikroalger et ekstra beskyttende lag bestående af polymerer som for eksempel alginat, hvilket også er tilfældet med den førnævnte *Nannochloropsis spp.* [8]. Tilsammen giver dette algerne et effektivt forsvar mod fjender, men desværre også stor modstandskraft over for det menneskelige mave-tarm-system. Der skal derfor arbejdes videre med at forbedre fordøjeligheden af mikroalger ved at nedbryde deres cellevægge, inden de anvendes til foder eller fødevarer.

Dette er også et af målene i det igangværende MASSPROVIT-projekt, hvor vi arbejder sammen med forskere fra Institut for Fødevarevidenskab på KU om at løse denne udfordring. Her vil en række forarbejdningsmetoder, både mekaniske og enzymatiske, blive testet. Effekten af de forskellige behandlinger vurderes efterfølgende med de mave-tarm-simulerende metoder "INFOGEST" og "INFOGEST 2.0 - vit K" [9,10]. Med denne metode kan vi måle stoffernes biotilgængelighed, altså hvor stor en del af stofferne, som er tilgængelige for optagelse af cellerne i kroppen.

På baggrund af den viden der er blevet indsamlet omkring mikroalger og næringssammensætning, har mikroalgearten og vækstbetingelser vist sig at have stor betydning for, hvilke stoffer der kan produceres. I et afsluttet ph.d.-projekt på DTU Fødevareinstituttet undersøgte Anita Ljubic, hvordan forskellige belysninger kunne ændre sammensætningen af forskellige mikroalger. Formålet var blandt andet at få mikroalgerne til at producere D_3-vitamin, som normalt syntetiseres i vores hud via sollys (UVB-stråling) uden at gå på kompromis med den øvrige næringssammensætning. Ljubic m.fl. [11] viste, at ved at udsætte de levende mikroalgeceller for UVB-stråling (15 kJ/m^2/dag i tre dage), kan man øge indholdet af D_3-vitamin og andre næringsstoffer.

Som vist i tabel 2 var det ikke alle mikroalgerne, som var i stand til dette, men *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis oceanica* og *Nanochloropsis limnetica* er i stand til at producere høje koncentrationer af D_3-vitamin. Særligt *Nannochloropsis oceanica* er i stand til at producere høje koncentrationer af D_3-vitamin (285 ng/g tørvægt), og derudover producerer den α-tokoferol (708 µg/g tørvægt) samt omega-3 fedtsyren EPA (20,7 mg/g tørvægt) også efter at være blevet udsat for UVB-stråling. Dog var der en tendens til, at nogle essentielle aminosyrer, β-karoten og K_2-vitamin blev reduceret ved UVB-bestråling af *Nannochloropsis oceanica*. Der er store perspektiver i denne opdagelse, idet der for nuværende ikke findes andre vegetabilske kilder til D_3-vitamin. Der findes vegetabilske kilder til D_2-vitamin, men D_3-vitamin er en mere effektiv kilde til D-vitamin end D_2-vitamin. Det blev foreslået, at disse UVB-behandlede mikroalger kunne være en ny bæredygtig kilde til D_3-vitamin og andre fedtopløselige vitaminer.

Dette er også grunden til, at vi arbejder videre med *N. oceanica* i MASSPROVIT-projektet. Her videreføres dyrkningsarbejdet, hvor vi forsøger at identificere de optimale lys-, salt-, og temperaturbetingelser for biomassetilvækst, samt produktion af protein, omega-3 fedtsyrer, og K_2-vitamin i *N. oceanica*. Derudover vil der blive forsket yderligere i induktion af D_3-vitamin med UVB, og behandlingen vil blive optimeret med særligt henblik på at integrere den i storskalaproduktion.

	Ikke-eksponeret		UVB eksponeret	
	Vitamin D_2 (ng/g)	Vitamin D_3 (ng/g)	Vitamin D_2 (ng/g)	Vitamin D_3 (ng/g)
T. suecica	<1	<1	111 ± 7	<1
D. salina	50	<1	38000 ± 1300	145 ± 11
N. oceanica	<1	<1	102 ± 6	285 ± 5
*N. oceanica**	<1	<1	4443 ± 200	13 ± 0.4
*N. oceanica***	<1	<1	3 ± 0.3	2 ± 0.2
N. limnetica	-	-	920 ± 88	2700 ± 198
*Høstet biomasse; **Frysetørret biomasse.				

Tabel 2. Indhold af vitamin D_2 and D_3 (ng/g tørstof) i ikke-eksponerede og UVB eksponerede mikroalgekulturer. Gennemsnit ± standardafvigelse (n = 3). Modificeret efter [10].

I MASSPROVIT-projektet arbejdes der også med udvikling af muterede stammer med forbedret vækst og næringssammensætning. Mutanterne bliver dannet ved hjælp af tilfældig, UV-baseret mutagenese af holdet ved Fødevarevidenskab på KU, og de testes parallelt med vildtypen. Vores forventning er, at denne kombination af mutagenese og vækstoptimering vil resultere i betydelige forbedringer *N. oceanica* som kilde til disse essentielle fødevareingredienser.

Processering af mikroalgebiomasse - vejen til det endelige algeprodukt

En af de begrænsende faktorer i udbredelsen af mikroalgeproduktion er de høje udgifter og det høje energiforbrug forbundet med processering af mikroalgebiomassen. Dette indbefatter høstning, opkoncentrering og tørring af mikroalgebiomassen og eventuelt også ekstraktion af indholdsstoffer, hvis slutanvendelsen ikke er som hel mikroalgepulver. I FIMAFY-projektet udviklede vi et koncept til energieffektiv processering af mikroalgemasse. Det første trin var høstning af mikroalgerne ved keramisk membranfiltrering, hvor udstyr fra LiqTech blev anvendt. Her blev opnået et tørstofindhold på 2-5 procent. Dernæst opkoncentrerede vi mikroalgebiomassen til 10-30 procent tørstof i en centrifuge. Til sidst blev biomassen tørret i en spinflashtørrer udviklet til formålet i projektet [12]. I industrien anvendes ofte spraytørring til dette sidste tørringstrin. Fordelen ved spinflashtørreren er, at den er mere skånsom og energivenlig end mange spraytørringsprocesser. Vi opnåede en kvalitet af det spinflashtørrede mikroalgepulver, som var sammenlignelig med frysetørret mikroalgepulver [12]. Frysetørring anses som den mest skånsomme tørringsmetode, men det er en meget dyr metode.

Anvendelse af mikroalger til fødevarer og andre produkter

Den høje næringsværdi og de sundhedsmæssige fordele ved mikroalger er velkendte og veldokumenterede. Men når det kommer til accept af nye fødevarer, så spiller smag og udseende en stor rolle.

I dag anvendes mikroalger i en vis udstrækning til ekstraktion af omega-3 fedtsyrer til modermælkserstatning og andre fødevarer samt til kosttilskud. Anvendelsen af algeolie til disse formål har de samme udfordringer som anvendelse af fiskeolie, nemlig at olierne nemt harskner som følge af deres høje indhold af polyumættede fedtsyrer. DTU Fødevareinstituttet har forsket i harskning af fødevarer beriget med omega-3 fedtsyrer i mange år, hvilket blandt andet er beskrevet i Dansk Kemi 82 [13]. Til de fødevarer, hvor dannelsen af harske smagsstoffer er problematisk, kan tilsætning af antioxidanter være en fordel. For eksempel kan antioxidanter forhindre klorofyl i mikroalger i at reagere med ilt og på den måde forhindre dannelsen af harske smagsstoffer, og at næringsstoffer går tabt. Mikroalgepulver kan også anvendes direkte i fødevarer, men her er udfordringen, især for de fototrofe alger den meget karakteristiske grønne farve og smag. Visse blege fermenterede (heterotrofe) mikroalger har ikke samme udfordring. Det skyldes, at de ikke bruger klorofyl til fotosyntese, når de skal "høste" lyset for at kunne vokse. Derudover har mikroalger også en lang række funktionelle egenskaber så som stabiliserende og gelerende evne, som kan udnyttes i formulering af nye fødevarer. Anvendelse af mikroalger direkte til fødevarer er beskrevet nærmere i en nylig Fokusanalyse (Plantebaseret Seafood) fra DTU Fødevareinstituttet og Food and BioCluster Denmark [14].

Konklusion

Mikroalger har et uudnyttet potentiale for at bidrage til omlægningen til en mere bæredygtig fødevareproduktion. Der er i løbet af de seneste 10 år sket en eksplosiv stigning i interessen for mikroalger som en ny bioressource til anvendelse til foder, fødevarer, kosmetik og kosttilskud. Der har været store fremskridt - både videnskabeligt og industrielt - inden for udvikling af dyrknings- og høstteknologier. Der er dog stadig behov for yderligere forskning og udvikling med henblik på at forbedre produktiviteten i mikroalgedyrkningen, effektivisere og forbedre høst-, opkoncentrerings- og ekstraktionsteknologier og stabilisering af biomassen. Sidst, men ikke mindst, er der brug for at adressere udfordringen med at inkorporere mikroalger i velsmagende fødevarer, som forbrugerne vil købe.

MASSPROVIT-projektet: 3½ årigt projekt, som startede januar 2022.
Projektet er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Tematisk forskning - Grøn omstilling.
Deltagere: DTU Fødevareinstituttet, Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet.

E-mail:
Charlotte Jacobsen: chja@food.dtu.dk

Referencer

1. Bruno, M., Thomsen, M., Pulselli, F.M., Patrizi, N., Marini, M., & Caro, D. (2019). The carbon footprint of Danish diets. Climatic Change, 156, 489-507. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02508-4.
2. EAT-Lancet (2019). Healthy Diets From Sustainable Food Systems – Food, Planet and Health. Summary Report of the EAT-Lancet Commission https://eatforum.org/eat-lancet-commission/eat-lancet-commission-summary-report/.
3. OECD/FAO (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028, OECD Publishing, Paris doi:https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en.
4. Danmarks Naturfredningsforening, Dansk Vegetarisk Forening, Dyrenes Beskyttelse, Greenpeace, Plantebranchen og Rådet for Grøn Omstilling (2020). Fra foder til føde - en bæredygtig vision for dansk landbrug og fødevareforbrug. https://www.dn.dk/media/71983/fra-foder-til-f%C3%B8de.pdf.
5. Biosolution sektoren i Danmark (hbseconomics.com).
6. Calixto, C.D., Santana, J., Lira, E., Sassi, P., Rosenhaim, R., Sassi, C., Conceicao, M., & Sassi, R. (2016). Biochemical compositions and fatty acid profiles in four species of microalgae cultivated on household sewage and agro-industrial residues. Bioresource Technology, 221, 438-446 https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.066.
7. Safafar, H., Nørregaard, P.U., Møller, P., Holdt, S.L., Jacobsen, C. (2016) Enhancement of protein and pigment content in two *Chlorella sp.* cultivated on industrial process water. *J Mar Sci Eng*, 4, 84; doi:10.3390/jmse4040084.
8. Scholz M.J., Weiss T.L., Jinkerson R.E., Jing J., Roth R., Goodenough U., Posewitz M.C., Gerken H.G. Ultrastructure and composition of the Nannochloropsis gaditana cell wall. Eukaryot Cell. 2014 Nov;13(11):1450-64. doi: 10.1128/EC.00183-14. Epub 2014 Sep 19. PMID: 25239976; PMCID: PMC4248700.
9. Brodkorb, A., et.al. (2019) INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. Nat Protoc, 14(4) 991-1014; doi:10.1038/s41596-018-0119-1.
10. Jensen, M.B., Biltoft-Jensen, A.P., Jacobsen, J. (2022) In vitro bioaccessibility of vitamin K (phylloquinone and menaquinones) in food and supplements assessed by INFOGEST 2.0 – vit K. *Current Research in Food Science*, 5, 306-312; doi:10.1016/j.crfs.2022.01.018.
11. Ljubic, A., Thulesen, E.T., Jacobsen, C., Jacobsen, J. (2021). UVB exposure stimulates production of vitamin D3 in selected microalgae. Algal Research, 59, 102472. https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102472.
12. Ljubic, A., Safafar,H., Jacobsen, C. (2019) Recovery of microalgal biomass and metabolites from homogenised, swirl flash dried microalgae. *J Applied Phycology*. 31, 2355-2363.
13. Charlotte, C. (2001) Harskning i levnedsmidler med fiskeolie. dansk kemi, 82, nr. 10 https://www.kemifokus.dk/wp-content/uploads/sites/7/side36-41dak102001.pdf.
14. Hermund, D. (2023) Plantebaseret Seafood – Tang og mikroalger som kilde til omega-3 fedtsyrer, protein og vitaminer i fremtidens fødevarer. Rapport DTU Fødevareinstituttet. ISBN: 978-87-7586-011-1.

Citrat i calcium biomineralisering

På bunden af det iskolde hav nær Antarktis blev i 1936 mineralet calciumcitrat tetrahydrat fundet og senere navngivet Earlandit for at ære den engelske havforsker Arthur Earland (1866-1958). Dette usædvanlige organiske mineral er senere blevet vigtigt for at forstå calciums biotilgængelighed i den menneskelige krop.

Af Leif Skibsted, Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet

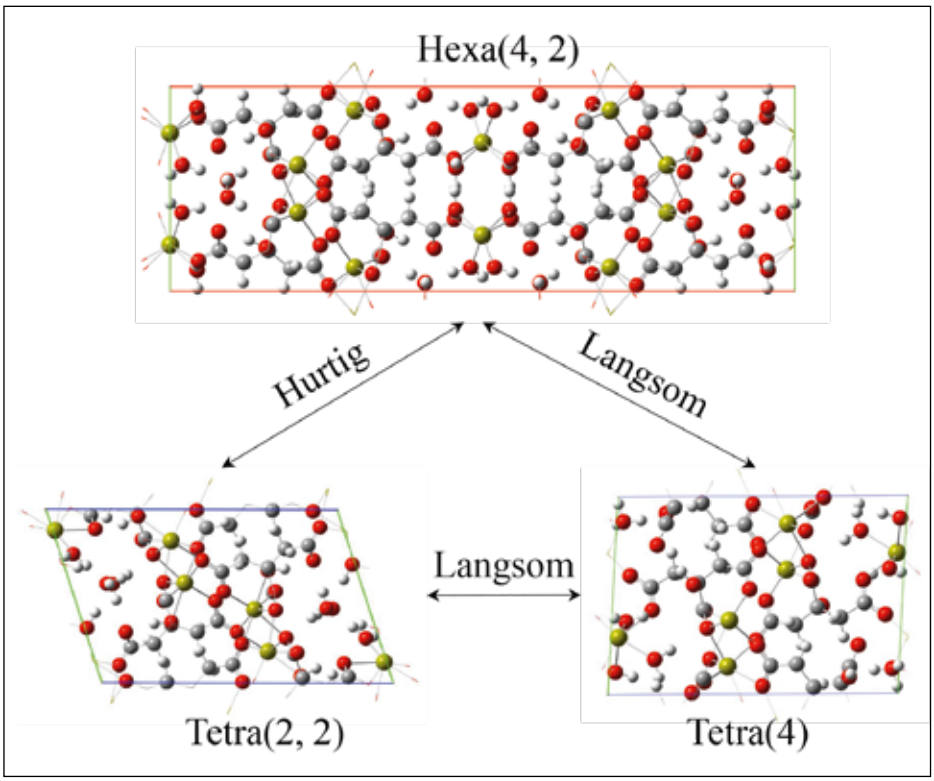
Calcium er livsvigtigt, og det nødvendige daglige indtag er omkring 1 gram afhængigt af køn og alder, og anbefalingerne er lidt forskellige fra land til land. Calcium er dermed metallet med det højeste indhold i den menneskelige krop. Gennem 2. hovedgruppe varierer de fysiologiske effekter af grundstoffernes di-kationer. Den helt lille Be^{2+} og den meget store Ba^{2+} er begge yderst giftige. Mg^{2+} og Ca^{2+} af mellemstørrelse er livsvigtige, mens det stadig diskuteres, om Sr^{2+}, der er lidt større end Mg^{2+} og Ca^{2+}, har fysiologiske funktioner.

Biomineralisering afhænger af calcium

Calciumphosphater har gennem evolutionen fået vigtige roller som basis for pattedyrs knogler og tænder, mens calciumcarbonat danner struktur for mange lavere rangerende organismer i evolutionens hierarki.

Calcium optages i pattedyrene, især i tarmen, og biotilgængeligheden bliver ofte lav på grund af calciumsaltes lave opløselighed ved tarmens pH. Biotilgængeligheden af calcium afhænger dog af, hvilke calciumsalte kosten indeholder, og af fordøjelsesprocesserne i mave og tarm.

Foto: Wikimedia.



Figur 1. Struktur af calciumcitrat hexahydrat og de to polymorfe former af calciumcitrat tetrahydrat [7]. Omdannelse mellem Tetra(2,2) med to vandmolekyler, der ikke er bundet direkte til Ca^{2+}(grøn) gennem oxygen (rød), og hexahydrat Hexa(4,2) har en lav energibarriere. Omdannelse mellem Tetra(4) med alle vand bundet direkte til Ca^{2+} og Hexa(4,2) eller Tetra(2,2) har en høj aktiveringsbarriere.

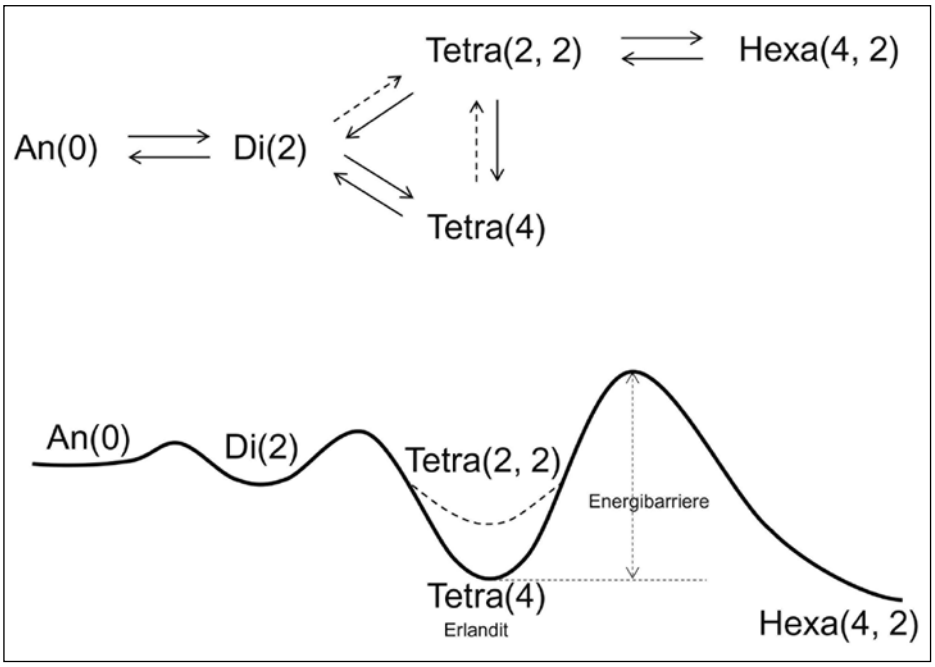
Calciumcitrat

Hastigheden af knoglernes omsætning er for nylig i humane studier fundet at korrelere positivt med niveauet af cirkulerende citrat i blodet [1]. Calciumcitrat fremmer også regenerering af dyreknogler under eksperimentel kirurgi på trods af calciumcitrats lave opløselighed [2]. Citrat spiller en vigtig rolle for styrken af pattedyrs knogler, og citrat dannes da også i knoglevæv. Citrat påvirker også optagelsen af calcium i tarmen. Allerede for mange år siden blev det i humane interventionsforsøg påvist, at biotilgængeligheden af calcium er større for calciumcitrat sammen med overskud af ionisk citrat [3].

Overmætning

Calciumcitrat kendes som dihydrat,

tetrahydrat og som hexahydrat. Opløseligheden af tetrahydratet i vand aftager med stigende temperatur, mens opløseligheden af hexahydratet derimod øges med stigende temperatur. Omdannelsestemperaturen mellem de to højere hydrater i vandig opløsning er 52°C [4]. Hexahydratet er den stabile form for lavere temperaturer, mens tetrahydratet er den stabile form for højere temperatur, og ved 54°C er de to hydrater i ligevægt med hinanden i den mættede opløsning. Opløses calciumcitrat tetrahydrat i vand, bliver opløsningen hurtigt mættet. Opløses calciumcitrat tetrahydrat derimod i en fortyndet vandig opløsning af natriumcitrat, bliver opløsningen spontant overmættet med calciumcitrat ved fastholdt temperatur uden opvarmning eller afkøling. Ligevægtsindstillingen med faldende koncentration af opløst calciumcitrat tager mere end et døgn. Denne tidsbegrænsede spontane overmætning forklarer den positive effekt af overskud af ionisk citrat på biotilgængelighed af calcium fra calciumcitrat, som det blev fundet i de tidlige humane interventionsforsøg [3]. Mekanismen bag den spontane overmætning er dog stadig uforklaret [5].



Figur 2. Kinetisk eller termodynamisk kontrol: Omdannelse mellem calciumcitrater i mættet vandig opløsning. An(0) er vandfri calciumcitrat, Di(2) er dihydratet med to vandmolekyler bundet til Ca^{2+}. Tetra(2,2) og Tetra(4) er de to polymorfe tetrahydrater og Hexa(4,2) er det stabile hexahydrat med fire vand bundet til Ca^{2+} og to vand bundet til citrat. Tetra(4) har en højere barriere end Tetra(2,2) for omdannelse til Hexa(4,2). Modificeret efter [5].

Tetrahydrat/hexahydrat omdannelse

Fra vandige opløsninger mættet med calciumcitrat tetrahydrat udfældes ikke ved fysiologisk eller ved lavere temperatur det mere stabile calciumcitrat hexahydrat trods den langt lavere opløselighed af det højere stabile hydrat. Det organiske mineral calciumcitrat tetrahydrat, fundet på havbunden nær Antarktis og kendt som Earlandit, omdannes heller ikke til det langt mere stabile hexahydrat selv på den geologiske tidsskala [5].

Calciumcitrat hexahydrat har to vandmolekyler, der ikke er bundet til Ca^{2+} og bliver ofte formuleret Ca_3Citr_2, $4H_2O$, $2H_2O$, forkortet Hexa(4,2). Calciumcitrat tetrahydrat er nu ved røntgenstrukturopklaring fundet i to former [6,7]. Den ene struktur kan formuleres som Ca_3Citr_2, $2H_2O$, $2H_2O$ forkortet Tetra(2,2) og to vandmolekyler er bundet andet sted i strukturen end til Ca^{2+}. Den anden polymorfe form har alle fire vandmolekyler bundet til Ca^{2+} og kan formuleres som Ca_3Citr_2 $4H_2O$ forkortet Tetra(4), som det ses i figur 1.

Tilsyneladende omdannes Tetra(2,2) let til Hexa(4,2) ved optagelse af to vandmolekyler, der bindes til Ca^{2+}, mens Tetra(4) langt vanskeligere binder to ekstra vand for at omdannes til Hexa(4,2). Vand ikke bundet til Ca^{2+} udskiftes langt sværere end vand bundet til Ca^{2+} i calciumcitraterne. Mineralet Earlandit må derfor være Tetra(4) og ikke Tetra(2,2). I den robuste Tetra(4) er citrat beskyttet mod omdannelse, og Tetra(4) omdannes heller ikke til Tetra(2,2) og videre til det stabile hexahydrat Hexa(4,2). Tetra(4) vil heller ikke nemt omdannes direkte til Hexa(4,2), da det involverer binding af to vandmolekyler udenfor calcium-ionernes første koordinations-sfære. Det forklarer calciumcitrat tetrahydrats robusthed som mineral på havbunden. Det forklarer også, at overmættede opløsninger af calciumcitrat tetrahydrat ved fysiologisk temperatur ikke udfælder calciumcitrat hexahydrat og bliver mættede med dette hydrat med lavere opløselighed, se figur 2. Opløseligheden af tetrahydratet er ved disse betingelser næsten dobbelt så stor som for hexahydratet [4].

Biotilgængelighed

Forskellen i opløseligheden af calciumcitrat tetrahydrat og hexahydratet har derfor betydning for calciums biotilgængelighed fra calciumcitrat. Calciumsalte som calciumcitrat vil i mavens syre i det væsentlige dissociere til frie calcium-ioner. Ved tarmens højere pH vil calcium gendanne calciumkomplekser som calciumcitrat i de mere opløselige former. Calciums høje biotilgængelighed fra calciumcitrat kan derfor tilskrives dannelse af calciumcitrat komplekser af høj opløselighed i tarmen [5].

Det organiske mineral fra den kolde havbund har hjulpet os på vej til denne nye forståelse.

E-mail:
Leif Skibsted: ls@food.ku.dk

Litteratur

1. Hartley, A. et al. (2020): Metabolomics analysis in adults with high bone mass identifies a relationship between bone resorption and circulating citrate which replicates in the general population. Clinical Endocrinology, 92, 29-37.
2. Wang, L.M. et al. (2012): Calcium citrate: A new biomaterial that can enhance bone formation in situ. Chinese Journal of Traumatology, 15, 291-296.
3. Pak, C.Y. et al. (1987): Enhanced calcium bioavailability from a solubilized form of calcium citrate. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 65, 801-805.
4. Vavrusova, M. & Skibsted L. H. (2016): Aqueous solubility of calcium citrate and interconversion between the tetrahydrate and the hexahydrate as a balance between endothermic dissolution and exothermic complex formation. International Dairy Journal, 57, 20-28.
5. Liu, X.-C. & Skibsted L. H. (2023): Citrate in calcium transport and biomineralization. International Dairy Journal 139, 105561
6. Herdtweck et al (2011): Crystal structure, synthesis, and properties of tri-calcium di-citrate tetra-hydrate $[Ca_3(C_6H_5O_7)_2(H_2O)_2]\cdot 2H_2O$. Zeitschrift Für Anorganische Und Allgemeine Chemie, 637, 655-659.
7. Kaduk, J.A. (2018): Crystal structures of tricalcium citrates. Powder Diffraction, 33, 98-107.

Fokus på azid

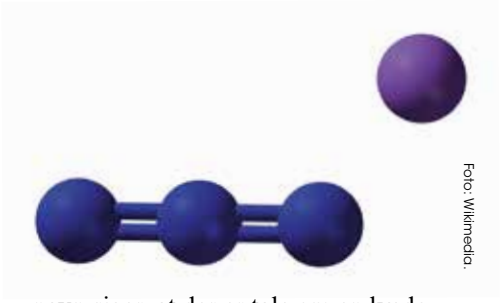


Foto: Wikimedia.

I forbindelse med dette års varmeste emne, klikkemi [1], kommer man ikke uden om navnet azid. En treatomig ion eller substituentgruppe er her pludselig kommet i søgelyset. Hvad er der at sige om den nomenklaturmæssigt?

Navnet azid er genialt: kort og ikke til at forveksle med andre navne på skrift (måske mundtligt på nogle sprog?) - men kun genialt, hvis man ved, hvad det er, naturligvis! Det må vel nærmest betegnes som et semisystematisk navn: 'az' er afledt af det franske *azote* for nitrogen, og 'id' er systematisk endelse for anioner. Det er da også if. IUPAC et acceptabelt navn [2]. Bemærk, at det ikke er nødvendigt at sige "azid-ion"; 'azid' *er* navnet på ionen.

Hvad hvis man *ikke* ved, hvad azid er? IUPAC bryster sig jo af at tilbyde navne, der oplyser brugerne om forbindelsens sammensætning og eventuelt endda dens struktur. Sammensætningen af, og såmænd også ladningen af, anionen azid kan vi klare med det støkiometriske navn (*compositional name* [3]) trinitrid(1–). Det siger præcis det samme som formlen N_3^-. Hvad der mangler, er en eksplicit aftale om, hvordan de tre nitrogenatomer nummereres. Det er vel oplagt: 1,2,3 fra en ende af? Ja, men det står faktisk ingen steder i forbindelse med navnet azid. Og hvis man for eksempel taler om koordinering til et eller flere metalatomer via det ene eller det andet nitrogenatom eller flere af dem, eller om isotopsubstitution, har man brug for en nummerering.

En lidt snurrig løsning kan være at gå ud fra det treatomige nitrogenstamhydrid triazan, $H_2N–NH–NH_2$ [4], som er født med nummereringen 1-2-3. Hvordan kommer vi derfra til azid? Vi skal have strippet alle hydrogenatomerne af uden at efterlade mere end én negativ ladning. Det ville være dejligt at kunne indføre to dobbeltbindinger. Det kan vi, hvis vi starter med at flytte en hydron over på det midterste nitrogenatom, så vi får $^-HN–NH_2^+–NH_2$. Denne uladede zwitterion ville hedde triazan-2-ium-1-id, men vi skal videre. Hvis vi fjerner en hydron fra den anden ende, får vi monoanionen $^-HN–NH_2^+–NH^-$, triazan-2-ium-1,3-diid. (Der skal i denne nomenklatur ikke skrives ladningstal; de følger direkte af navnet). Nu er vi parate til at lave to dobbeltbindinger og komme af med fire hydrogenatomer, så vi får azid skrevet som $^-N=N^+=N^-$ med navnet triaza-1,2-dien-2-ium-1,3-diid. Klart til brug med lokanter. Operationerne her er formelle standard-nomenklaturoperationer, og vi vil nødig i clinch med teoretikere omkring elektronstrukturen. Den er en anden historie. Og der er sådan set ingen af navnene, der siger noget om geometrien af forbindelsen, selv om nogle nok vil mene, at når vi skriver den som en cumulen, så må vi vel mene, at den er lineær? Egentlig ikke. Læseren kan more sig med at filosofere over lignende molekyler, for eksempel dinitrogenoxid og ozon. Dem kan vi måske skrive om en anden gang.

Det bør lige nævnes, at der er en nomenklaturtype, som ikke er blevet særlig udbredt, selv om den nogle gange er eneste udvej [5]. I vores tilfælde ville navnet for azid være triazy-[3]catenat(1–). Det navn siger, at der er tale om en kæde, men sådan set ikke, at den er retlinet.

I organisk kemi [6] møder vi azid som terminalt bunden substituent med præfikset 'azido', for eksempel i et simpelt navn som azidobenzen, som altså fuldsystematisk er 3-phenyltriazadien-2-ium-1-id. Der kan også anvendes binære navne ligesom for uorganiske azider, således at vi får navne som ethylazid og glucopyranosylazid (disse navne er så i to ord på engelsk, men i ét ord på dansk) [6]. Som ligand i koordinationsforbindelser vil azid hedde 'azido', 'trinitrido(1–)' eller, ud fra det omstændelige navn ovenfor, 'triaza-1,2-dien-2-ium-1,3-diido' - hvis altså vi har brug for lokanter.

TD, Nomenklaturudvalget

Referencer

1. *Dansk Kemi*, november 2022 og juni 2023.
2. *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*, "the *Red Book*", https://iupac.qmul.ac.uk/bibliog/books.html, afsnit IR-5.3.3.3, Homopolyatomic ions.
   Se også *Kort vejledning i uorganisk-kemisk nomenklatur* på den danske hjemmeside Dansk Kemisk Nomenklatur (https://www.kemisknomenklatur.dk; spalten med PDF-dokumenter til højre).
3. *Red Book* [2], Chapter 5.
4. *Red Book* [2], Chapter 6.
5. *Red Book* [2], afsnit 7.4: Inorganic chains and rings.
6. For organisk-kemisk nomenklatur omkring azid se den bekvemme nye netversion af "the *Blue Book*": https://iupac.qmul.ac.uk/BlueBook (html-version og PDF af hele værket findes begge her) og søg på 'azide'.

IDA Kemi™

Når kemien klikker

I 2022 modtog den danske forsker Morten Meldal Nobelprisen i kemi for sit arbejde med klikkemi. Mød Mogens Brøndsted Nielsen fra KU som til daglig bruger klikkemien i sin forskning i syntese af molekylære fotokontakter.

4. september 2023, København V

Læs mere:
Fysisk tilmelding: ida.dk/arrangementer/348876
Online tilmelding: ida.dk/arrangementer/349363

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

Henrik Lassesen
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

AAF® INTERNATIONAL

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