

Dansk Kemi

Nummer 3 - Juni 2024 / 105. årgang

Kemisk Forening - Kemiingeniørgruppen

På vej mod en
mere bæredygtig
skadedyrs-
bekæmpelse

Præcisionsfermentering
til fremstilling af
animalske proteiner

Kan der
laves ost
af ært?

Nye tider kræver
nye løsninger

Plougmann Vingtoft - eksperter i IPR

PLOUGMANN VINGTOFT®



WWW.PV.DK

Intelligent Chemistry Biolab A/S Automation Specialist

Biolab A/S Custom Solutions

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

JASCO

Advanced Spectroscopic & Purification Solutions

SP Scientific

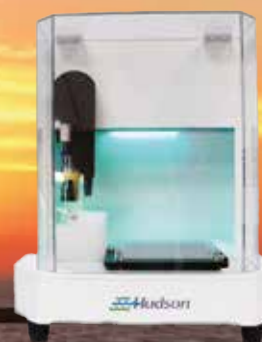
Automated Sample Concentration - Freezedrying

Gilson and Hudson Robotics Inc.

Advanced Automation solutions.

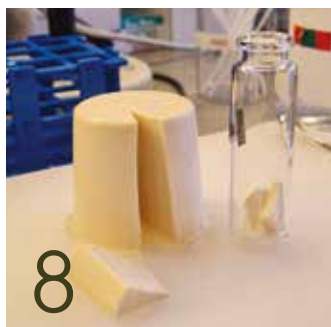
Rheosense - Viscosity on 15ul

Advanced Viscosity profiles



The only limitation is your imagination

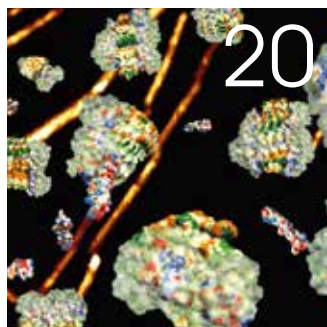
Biolab A/S
Sindalsvej 29
DK-8240 Risskov
+45 8621 2866
sales@biolab.dk
www.biolab.dk



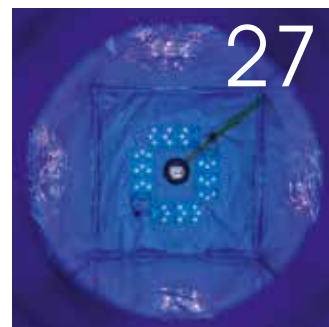
8



15



20



27

- 1 Forside**
Ost laves traditionelt ud fra mælk af animalsk oprindelse. Inden for fødevarerforskningen arbejdes der på at udvikle nye oste baseret på plantebaserede råvarer.
Læs mere herom på side 8. Foto: Freepik.com.
- 6 Præcisionsfermentering**
Ved brug af mikroorganismer giver præcisionsfermentering mulighed for fremstilling af eksempelvis proteiner, vi traditionelt får fra animalske kilder.
- 11 Funktionelle ingredienser i fødevarer - konsistensgivende hjælpestoffer**
Anmeldelse af ny lærebog, der henvender sig til proces teknologuddannelsen og som håndbog til fødevarerbranchen.
- 12 Maillard reaktionsprodukter i plantebaserede og traditionelle kødburgere**
Maillard-reaktioner har betydning for smagsudvikling og forløber forskelligt i plantebaserede og traditionelle kødburgere.
- 15 Nye veje til skadedyrsbekæmpelse i landbruget**
Som et alternativ til syntetiske pesticider, forskes der i udviklingen af nye biologiske strategier.

- 18 Praktisk tilgang til ISO 8655**
Tips til pipettekalibrering og service.
- 20 Alting er kemi**
Læs om Nobelprismodtagerens fire mantraer.
- 24 DTU Biosustain og The Cultivated B indgår samarbejde om bioreaktorteknologi**
Nyt samarbejde skal validere bioreaktorteknologi og etablere nye industristandarder inden for bioprocessing.
- 26 Datamangel gør det svært at identificere hormonforstyrrende stoffer**
Der er ønske om at opdatere informationskravene i EU-lovgivningen REACH.
- 27 Metanrenser til fjernelse af lavkoncentrationsmetan**
Metode baseret på gasfasekemi kan muligvis blive et fremtidigt redskab til at nedbringe metanudledning.
- 30 Foreningsnyt fra Kemisk Forening**

TechMedia

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

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

Ledelse:

Adm. direktør Peter Christensen
Direktør Rikke Marott Schelde

Redaktionskomité:

Professor Anne S. Meyer (formand)
Professor, dr. scient. Mikael Bols
Professor Morten J. Bjerrum
(Kemisk Forening)
Lektor, ph.d. Peter Szabo
(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 vegetabiliske
miljøfarver.



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

Læs bladet online:
www.dansk kemi.dk

Se også: www.kemifokus.dk

Eller find
Dansk Kemi på:



Scan og hent Dansk Kemi's
medieinformation 2024 her!
Scan med kameraet
på din smartphone.



AI i kemisk undervisning og forskning

Der er i øjeblikket megen furore omkring brugen af kunstig intelligens, AI, i form af "Large Language Models" (LLMs), som bruges i chatbots som chatGPT4 og Bard. I løbet af de næste par år får vi nok et mere realistisk forhold til dette nye værktøj.

Hvordan kan vi udnytte denne udvikling i kemiundervisningen på en god og praktisk måde? Det er efter min mening afgørende, at vi først fokuserer på de lavthængende frugter ved at integrere AI i mindre skala, inden vi overvejer mere radikale ændringer af vores undervisningsmetoder. Traditionelt set har undervisningen i kemi for bachelorstuderende været baseret på forelæsninger, teoretiske øvelser, laboratoriearbejde og lærebøger. Her kan integrati-

Ikke alt, der er nyt, er godt,
men er gammelt bedre?



onen af AI være et nyt værktøj, som tilbyder studerende adgang til hjælp alle timer i døgnet. Studerende kan interagere med disse nye chatbots og få input til at løse kemiske problemer, forstå koncepter eller få yderligere forklaringer på komplekse kemiske problemstillinger.

Man kan for eksempel bede en chatbot om en "forklarende beregning af pH i en 0,10 molær NH_3 opløsning i vand". Svaret chatGPT 4 giver, er perfekt. Dette bidrager til et mere flydende og selvstyret læringsmiljø. En studerende behøver heller ikke få et fuldstændigt svar, men kan bede om hjælp til at komme i gang med en given opgave. Chatbots kan give forkerte svar, men her kan den studerende så spørge underviseren. Man skal også huske på, at LLMs hele tiden bliver bedre og bedre. AI bør for nuværende ses som et supplement til undervisningen, ikke som en erstatning for traditionelle undervisningsmetoder eller lærere.

Selvom studerende kan drage fordel af at bruge AI som en hjælp i deres læringsproces, er det afgørende at fastlægge klare retningslinjer, når det kommer til evalueringer og eksamener. Brugen af AI bør ikke finde sted under en eksamen for at sikre, at eleverne demonstrerer deres egne færdigheder og forståelse. De studerende kan argumentere, at de er blevet oplært til at bruge en chatbot og derfor skal have lov til at bruge dem under eksamen. Tilsvarende kan man dog også argumentere, at fordi man under studiet har kunnet spørge en underviser, skal man også have underviseren med til eksamen.

Jeg vil ikke gå i detaljer med brugen af LLMs inden for den kemiske forskning, men det er sikkert, at brugen af chatbots allerede har stor betydning og kan lette mange opgaver såsom ansøgninger, læsning af artikler samt bidrage med input til relevante faglige spørgsmål. Vi står således over for en markant ændring i brugen af det skrevne ord, men også over for generering af store mængder tekst. Det er blevet let at skrive en masse ord og floskler ved hjælp af en chatbot. Vi skal således også lære, hvordan vi bruger AI uden at generere tekst, som ingen har brug for.

Morten J. Bjerrum og chatGPT4



PÅLIDELIGE OG PRÆCISE VISKOSITETSMÅLINGER

IKA ROTAVISC

IKA ROTAVISC sikrer præcise og ensartede resultater for blandt andet væsker, polymerer og viskøse stoffer. Forbedrer din kvalitetskontrol og procesoptimering ubesværet med dets brugervenlige design, der tilbyder nem betjening og alsidighed på tværs af materialer. Optimer dine viskositetsmålinger med IKA ROTAVISC.

Kontakt Mikrolab Aarhus A/S for at høre mere på ml@mikrolab.dk.



MIKROLAB
AARHUS A/S



www.mikrolab.dk



Præcisionsfermentering

Mikroorganismer i store ståltanke kan producere medicin, kemikalier, fødevarer ingredienser og brændstof uden brug af dyrehold og med et markant lavere forbrug af CO₂, vand og land i forhold til traditionel produktion.

Af Majse Nafisi, science manager, Advanced Protein Solutions, Novonesis A/S

Fermentering har været kendt i mange år, for eksempel ved fremstilling af vin og øl, hvor mikroorganismer omdanner sukkerstoffer til en række andre stoffer, deriblandt alkohol og smagsgivere. Præcisionsfermentering adskiller sig fra traditionel fermentering ved, at de mikroorganismer, der indgår, er blevet designet til formålet, for eksempel ved hjælp af genmodificering i et laboratorium. Værtsorganismen bliver derved en "cellefabrik", der producerer store mængder af det ønskede protein eller molekyle.

Hvilke muligheder er der?

Præcisionsfermentering gør det muligt at producere proteiner fra andre organismer i mikroorganismer, og man kan derved opnå store mængder rent protein fra ellers svært tilgængelige kilder. Et eksempel på dette er insulin. Uden brug af præcisionsfermentering skulle der



Proteiner fremstillet ved præcisionsfermentering finder blandt andet anvendelse i vegansk is.

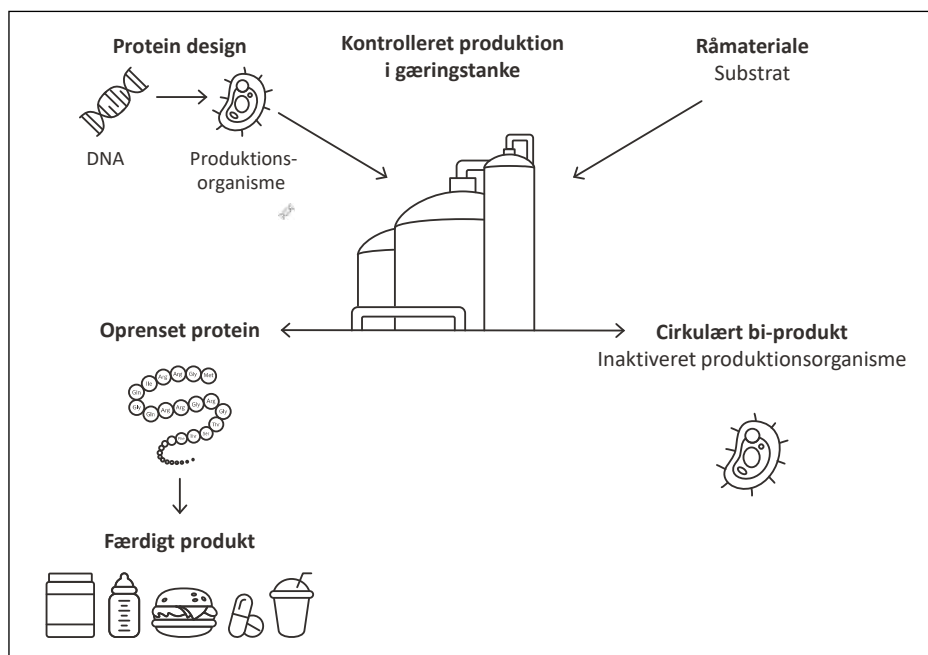
bruges mere end 1 milliard svinekirtler årligt for at dække den globale efterspørgsel. Et andet eksempel er enzymet osteløbe, der bruges til at koagulere mælk under osteproduktion. Tidligere blev osteløbe oprenset fra kalvemaver, men produceres nu i mikroorganismer, hvorved animalsk produktion undgås.

Det er allerede i dag muligt at produ-

cere mælke- eller æggeproteiner, som vil kunne bruges i fødevarer og dermed erstatte de konventionelle animalske kilder. Et eksempel er mælkeproteinet β -lactoglobulin, der hos amerikanske Perfect Day fermenteres i svampeceller og bruges til fremstilling af vegansk is.

De nye proteiner kan være identiske i forhold til den oprindelige sekvens eller have forbedrede egenskaber såsom lavere allergenicitet eller bedre næringsindhold. Ved brug af præcisionsfermentering er det nemlig muligt at ændre på proteinets aminosyresammensætning, hvorved nye egenskaber kan opnås. Dermed er det også muligt at ændre på enzyms aktivitet, substratspecificitet og stabilitet, hvilket kan have stor betydning for deres robusthed i forskellige processer.

Præcisionsfermentering kan også bruges til at udtrykke en række proteiner, der danner en hel biosyntesevej, hvorved mikroorganismen kan producere stoffer som antibiotika, lipider, farvestoffer samt smags- og aromastoffer. Afhængig af biosyntesevejen kan det være en kompliceret proces, hvor mange komponenter skal spille sammen på en koordineret måde for at kunne danne et produkt. Som eksempel er der ved mikrobiel produktion af "human milk oligosaccharides" (HMOs) i *E. coli* indsat fire nye gener og muteret 14 endogene gener [1].



Figur 1. Fermenteringsproces. DNA indsættes i værtsorganismen, der dyrkes i gæringstanke under optimale forhold. Efter endt gæring, høstes proteinerne og adskilles fra værtsorganismen, og resultatet er et oprenset protein med høj renhed, der kan bruges som ingrediens i for eksempel fødevarer.

Processen

Når en mikroorganisme skal omdannes

til en "cellefabrik", foregår det i praksis ved, at genet, der koder for det ønskede protein indsættes i værtsorganismens DNA, som nu kan producere det nye (heterologe) protein enten konstitutivt (hele tiden) eller ved inducering. Mikroorganismerne dyrkes i store gærings-tanke, der indeholder næringsmedium (substrat), og vækstbetingelser såsom temperatur, pH og iltmætning holdes under nøje kontrol. Når gæringen er slut, og høje koncentrationer af det ønskede protein er opnået, bliver proteinerne høstet og oprenset (figur 1). Under oprensningen adskilles proteinet fra værtscellen, og det oprensede protein indeholder derfor ikke DNA.

Mikroorganismer bruges ofte som værtsorganismer, da disse nemt kan dyrkes i gæringsstanke, har en kort fordoblingstid og forholdsvis nemt kan udtrykke proteiner, der er nye for dem. Populære værtsorganismer er bakterier (som for eksempel *Bacillus* sp, *Escherichia coli*), gær (*Pichia* sp, *Saccharomyces* sp) og filamentøse svampe (*Aspergillus*, *Trichoderma*). Mange års forskning har gjort disse organismer til gode værter ved at forstå og optimere processer inden for blandt andet gen-modificering, proteinudtrykkelse og gæring. Der er dog også fokus på at udvikle nye værtsorganismer, hvor produktion i planter har interessante perspektiver i forhold til at kunne bruge sollys, og dermed fotosyntesen, som kulstofkilde.

Flere faktorer er vigtige ved valg af værtsorganisme, men en af de afgørende er værtsorganismens mulighed/evne til at udføre post-translational modifikation (PTM). Mange proteiner bliver ændret efter translationen, hvorved der for eksempel påsættes sukkermolekyler eller sker phosphorylering og dette kaldes post-translational modifikation (PTM - se faktaboks). PTM kan modulere et proteins aktivitet, lokalisering samt interaktion med andre cellulære komponenter som proteiner, lipider og DNA.

Baseret på værtsorganismens PTM-maskineri, kan der ske ændringer i det udtrykte protein; aminosyresekvensen vil være ens, men glycosyleringsmønstret kan for eksempel være forskelligt. Det kan være, at der er påsat andre sukkermolekyler, end der var på det oprindelige protein, eller måske er der slet ikke sket en glycosylering, hvor der skulle have været. For eksempel er det humane glycosyleringsmønster forskelligt fra det i mikroorganismer, hvilket kan være en udfordring, da mange af de proteiner, der bruges til medicinske formål, er glycosylerede.



Foto: Freepik.com.

Hvilke proteiner kan udtrykkes?

Det kan være svært at vide på forhånd, hvilke proteiner der kan udtrykkes i heterologe systemer. Proteinerne skal både udtrykkes i høje koncentrationer, men også i en funktionel form, hvor korrekt foldning og PTM spiller vigtige roller. Som tidligere nævnt er det vigtigt at kende behovet for PTM for det ønskede protein. Et andet aspekt er nødvendigheden af intracellulære forhold som blandt andet pH og redoxpotentiale. Det kan også være, at der er brug for særlige cofaktorer til dannelse af proteinet, som værtsorganismen ikke selv kan producere. Membranproteiner kan være særligt vanskelige, da de sidder forankret i cellemembraner, hvor for eksempel lipidkomposition kan være afgørende for funktionaliteten.

Hvilke begrænsninger er der?

Som nævnt er valg af værtsorganisme en vigtig parameter i forhold til, hvilke proteiner og stoffer der kan produceres. En anden begrænsning er relateret til pris, da det i dag er dyrt at producere proteiner ved fermentering. Hvis brugen af præcisionsfermentering skal bredes ud til helt nye former for proteiner og måske erstatte proteiner fra animalske produkter, kan det være, at der skal findes nye produktionsorganismer og produktionsmetoder, der kan levere store mængder rent protein af god kvalitet.

Når brugen af præcisionsfermentering bevæger sig fra enzym/farma-området til fødevaringredienser, kræves meget større produktionskapacitet, hvilket kræver betydelige investeringer. I den sammenhæng er der formentlig behov for alternative finansieringsmuligheder gennem statslig eller privat støtte fra store investorer (se faktaboks for eksempel på sådan et projekt). Derud-

over er der på nuværende tidspunkt også udfordringer med at få nye proteiner hurtigt på markedet på grund af en langsommelig godkendelsesproces for nye fødevarer i EU (novel food). Det vil særligt være en stor udfordring for mindre virksomheder.

E-mail:

Majse Nafisi: MNAF@novonesis.com

Reference

1. Bych K, Mikš MH, Johanson T, Hederos MJ, Vignæs LK, Becker P. Production of HMOs using microbial hosts - from cell engineering to large scale production. Curr Opin Biotechnol. 2019;130-137. Doi: 10.1016/j.copbio.2018.11.003.

Fra CO₂ til fødevarerproteiner

I et konsortium, støttet af Novo Nordisk Fonden og Bill & Melinda Gates Foundation, undersøges mulighederne for at bruge fermentering til at producere proteiner på en mere bæredygtig måde. Ved hjælp af biologiske og elektrokemiske processer vil partnerne i konsortiet forarbejde CO₂ og omdanne det til acetat (eddike), der kan bruges fra kulstofkilde for mikroorganismer under fermentering. Mikroorganismerne kan derved, via præcisionsfermentering, bruge acetat og producere nye proteiner til brug i fødevarer. Konsortiet består af følgende partnere: Novonesis A/S, Topsoe A/S, Washington University og Novo Nordisk Foundation CO₂ research Center ved Aarhus Universitet. For yderligere information: CO₂ as a sustainable raw material in our future food production - Novo Nordisk Fonden.

Plantebaseret ost

Er det realistisk at efterligne smag og konsistens?

Af Carmen Masia*, Anni Bygvrå Hougaard og Poul Erik Jensen, Institut for Fødevarevidenskab (KU FOOD), Københavns Universitet

*nuværende adresse: Novonesis, Hørsholm

Ost baseret på mælk er en vigtig kilde til protein og calcium. Traditionelt har ost været en fast bestanddel af vores måltider og indgår i mange forskellige retter og snacks. Der findes mange typer ost, der spænder fra milde og cremede til hårde og skarpe. Nogle af de mest almindelige typer inkluderer cheddar, mozzarella, gouda, brie, gorgonzola og feta.

Mælkebaseret ost fremstilles ved at koagulere kaseinproteinet og fedtet. Derefter presses vollen ud, hvilket resulterer i en fast ostemasse med omkring 50 procent tørstof. Koaguleringen kan opnås ved brug af mælkesyrebakteriekulturer og enzymer, alt efter den ønskede type ost.

Det er velkendt, at ost kan have forskellige teksturer, smags-



Figur 1. Plantedrik. På billedet ses en homogen emulsion bestående af 10 procent ærteprotein og 10 procent planteolie efter homogenisering. Ærteproteinernes tilstedeværelse bidrager til at holde olien i suspension. Emulsionen blev efterfølgende karakteriseret ved måling af både zeta-potentiale og partikelstørrelsesfordeling, hvilket indikerede en stabil emulsion i mindst syv timer.



Figur 2. Ærteproteingel. Efter syv timers fermentering med mælkesyrebakterier ses en tydelig geldannelse. Syrningen bevirker et fald i pH fra cirka 7 til cirka 4,5, hvor en stor del af ærteproteinene har deres isoelektriske punkt og derfor danner en proteingel. Gelen har tekstur som en friskost. Farven bærer præg af ærteproteinets farve og smagen er let syrlig med ærtesmag.

nuancer og lugte, afhængigt af fremstillingsmetoden og modningstiden. I de seneste år har der været en stigende interesse i at producere ostelignende produkter baseret på plantebaserede ingredienser. Dette skyldes især den miljømæssige påvirkning af animalsk produktion samt et stigende fokus på sundhed ved at indtage flere plantebaserede fødevarer.

Ært som råvare til fremstilling af ost

Fra både en teknisk-videnskabelig og en produktudviklingsmæssig synsvinkel er det relevant at undersøge, om planteproteiner kan danne grundlag for fremstillingen af en plantebaseret ost. Med andre ord, om planteproteiner kan efterligne kaseins egenskaber til at danne proteinnetværk og emulgere fedt/olie og efterfølgende tilbageholde fedtkuglerne i et proteinnetværk. Vi har arbejdet med proteiner fra ærtefrø. Ærter (*Pisum sativum*) er en nordisk afgrøde, og deres frø har et højt indhold af protein (20-30 procent) med en god aminosyresammensætning.

Ved at bruge proteiner fra ærtefrø lykkedes det os at skabe en flydende og stabil ærteproteinmatrix, altså en ærteprotein-emulsion med en flydende planteolie [1]. Et af kravene til

stabiliteten var, at der ikke måtte ske en faseseparation af emulsionen i løbet af de 7-8 timer, som er nødvendige til at syrne emulsionen med en tilsat mælkesyrebakteriekultur. Ærteproteinerne har en rimelig evne til at emulgere, og sammen med homogenisering var det muligt at fremstille en stabil emulsion (figur 1).

Når vi syrner emulsionen med mælkesyrekultur, falder pH fra cirka 7 i emulsionen til 4,5 efter fermentering. Under dette fald i pH udnytter vi, at hovedparten af ærteproteinerne (de såkaldte globuliner) har et isoelektrisk punkt omkring pH 4,5. Ærteproteinerne er helt eller delvist denatureret som følge af forskellige varmebehandlinger i processen, og når pH nærmer sig pI, vil proteinerne koagulere og danne et gelnetværk.

Plantematrix - en fed plantedrik

Processen til fremstilling af en ærteproteinemulsion, hvor ingredienserne (ærteproteinisolat (en ingrediens med 85 procent protein), vand, olie og sukker (glukose og sukrose) (til efterfølgende mælkesyrefermentering)), blev udviklet ved hjælp af forskellige typer homogenisering [1]. Den optimale emulsion bestod af 10 procent ærteprotein og 10 procent planteolie. Mælk indeholder cirka 3,5 procent protein og 3,5 procent fedt. De 10 procent ærteprotein blev valgt, fordi denne mængde resulterede i en gel, hvor mindre ærteprotein vil give svagere eller ingen gel efter fermentering. Stabiliteten af emulsionen blev karakteriseret ved målinger af zeta-potentiale, som udtrykker partiklernes overfladespænding og partikelstørrelsesfordelingen. Ærteproteinemulsionen viste sig at være stabil i

mere end syv timer. Herefter blev emulsionen varmebehandlet (pasteuriseret ved 90°C i 20 minutter) for at reducere mulig baggrundsfermentering fra bakterier i ærteproteinet og fra homogeniseringsprocessen.

Den kontrollerede fermentering blev påbegyndt ved hjælp af en blanding af mælkesyrebakterier. Ærteproteinemulsionen havde fået tilsat sukker, glukose og sukrose, som mælkesyrebakterierne kunne fermentere til laktat og dermed sænke pH-værdien i emulsionen. Dette resulterede i dannelsen af et proteinnetværk, altså en geldannelse (figur 2). Geler, ligesom andre materialer, kan karakteriseres ved deres hårdhed og elasticitet. Dette kan måles ved hjælp af reologimetoder og teksturanalyse. Visuelt kan gelnetværket karakteriseres med konfokalmikroskopi (figur 3, side 10).

Den anvendte fremstillingsproces minder en del om fremstillingen af visse friske oste, og de visuelle observationer og målinger viste da også en relativt blød gel med en hårdhed på cirka 3-400 gram-force, svarende til de værdier, man finder i en frisk ost [1,2]. Til sammenligning har en gul Danbo ost en hårdhed på cirka 1.500-2.000 gram-force.

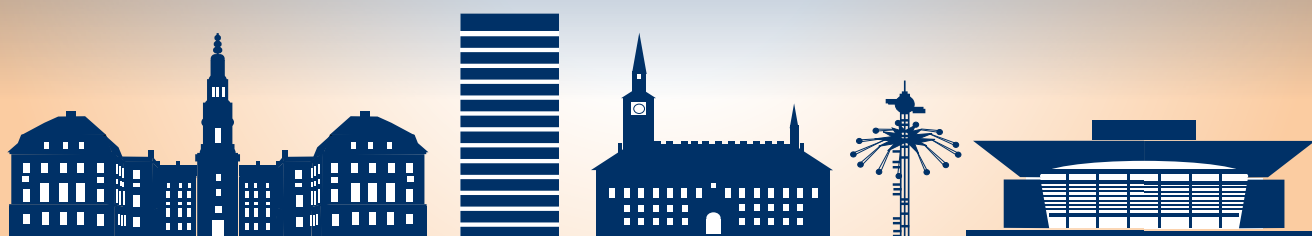
Baseret på disse undersøgelser kom vi frem til en optimal ærteproteinemulsion til fermenterede ærteproteingeler med 10 procent protein og 10 procent olie. En større mængde olie (15 og 20 procent) resulterede i blødere geler [1], hvilket ikke var ønskeligt.

Screening af mikroorganismer til fermentering

Mælkesyrebakterierne, altså sammensætningen af bakterie-

LabDays 2024

- trade fair for laboratory technology



COPENHAGEN, KB HALLEN

4 - 5 SEPTEMBER

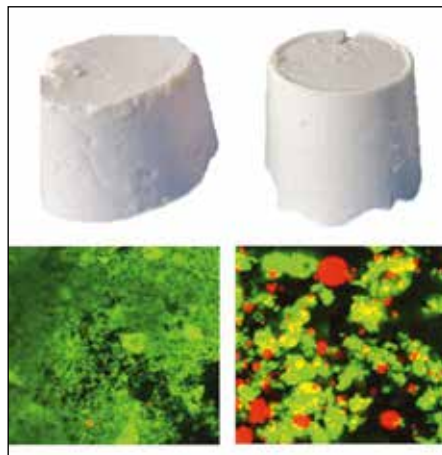
arter og -stammer og deres fermentering, har afgørende betydning for både tekstur- og smagsudviklingen i den tidligere nævnte ærteproteinemulsion. For at undersøge dette nærmere blev forskellige stammer af mælkesyrebakterier samt forskellige kombinationer af disse afprøvet i fermenteringen af ærteproteinemulsionen. Deres evne til 1) hurtig syrning, 2) bidrag til proteingelens hårdhed, 3) evne til at maskere ærteagtige smagsstoffer og 4) udvikling af ostelignende smagsstoffer blev således evalueret [3]. Under syrningen og i den resulterende gel blev pH-målinger foretaget, tekturen blev vurderet ved kompressionstest, og flygtige aromaforbindelser blev analyseret ved brug af GC-MS.

Ud af 90 forskellige mælkesyrebakteriestammer, herunder stammer af *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* og *Streptococcus*, blev 13 udvalgt, baseret på deres evne til syrning, bidrag til gelens fasthed, fjernelse af ærteagtige smagsnoter og produktion af osteassocierede flygtige organiske forbindelser [4]. Disse blev kombineret i 64 forskellige blandinger af fem stammer hver og screenet igen for de samme parametre. Fermentering af ærteproteinemulsionen ved hjælp af en blanding af *S. thermophilus*, og forskellige arter af *Lactobacillus* og *Lactococcus* resulterede i en markant reduktion af de flygtige organiske forbindelser forbundet med ærteagtige smagsnoter, øget produktion af osteassocierede flygtige stoffer samt en stigning i gelens fasthed.

Brug af enzymer til bedre mikrostrukturudvikling

Vi kan derfor fremstille stabile emulsioner med ærteprotein og planteolier, som kan fermenteres med mælkesyrebakterier og resultere i en geldannelse, som vi kender det fra traditionel ostefremstilling. Forskellige mælkesyrebakterier har varierende evne til at påvirke gelens hårdhed, fjerne uønskede smagsstoffer og skabe ønskede osteagtige aromaer. Der er således mange muligheder for at fortsætte med at screene for mælkesyrebakterier, der bidrager med de ønskede egenskaber.

Gelerne frembragt ved syrning indeholder omkring 80 procent vand, og i sammenligning med en gul Danbo, der kun indeholder 40-45 procent vand, er vi et stykke vej fra en plantebaseret, skærbar ost. En væsentlig forskel i fremstillingen er, at geldannelsen i en Danbo i højere grad beror på enzymatisk modifikation af kaseinet (løbetilsætning) og mindre på syrning (minimum pH cirka



Figur 3. Øverst ses geler efter fermentering med mælkesyrebakterier. Nederst ses konfokalmikroskopibilleder af gelnetværket, dvs. mikrostrukturen. Proteiner ses som grønne samlinger og olie som røde dråber som følge af farvning med fluorescerende farver, henholdsvis Nile blue og Nile red. Billederne til venstre er med 10 procent ærteprotein og ingen olie. Billederne til højre er med 10 procent ærteprotein og 10 procent planteolie.

5,2). Der findes således forskellige strategier til at øge hårdheden og tørstofindholdet i de plantebaserede geler.

En måde at øge gelens hårdhed og elasticitet på er at anvende transglutaminase (TG). TG er et enzym, der primært katalyserer dannelse af en isopeptidbinding mellem γ -carboxamidgrupper af glutamin-sidekæder og ϵ -amino-grupper af lysin-sidekæder med efterfølgende frigivelse af ammoniak. Således blev fermentering med mælkesyrebakterier kombineret med TG, og derefter blev tekstur og reologiske egenskaber i gelerne karakteriseret [5]. Porøsiteten af proteinnetværket i ærteproteinemulsionsgelerne blev mindre i prøverne behandlet med TG. Teksturegenskaberne blev markant forbedret, hvilket resulterede i hårdere og mere elastiske geler.

Det er således muligt at kombinere fermentering med tilføjelse af TG for at forbedre tekstur- og reologiske egenskaber af de fermenterede ærteproteinemulsionsgeler. Dette bringer os tættere på en plantebaseret ost.

Synerese er altafgørende for kontrol med vandindholdet i traditionel ost, hvor valle udskilles og presses ud af mælkekoaglet ved nøje kontrol med procesparametrene. Om, og i så tilfælde hvordan, dette kan overføres til de plantebaserede geler, er endnu uafklaret.

Udvikling af smagsprofil

Smags- og aromaprofilerne af planteproteinbaserede oste, og fødevarer generelt, er afgørende for forbrugers accept.

Fermentering er, som tidligere antydnet, en lovende strategi til at mindske ærte- eller plantebaserede smagsnoter og forbedre den samlede sensoriske profil af for eksempel plantebaseret ost. Effekten af forskellige mælkesyrebakterieblandinger og opbevaringstid (4, 8, 12 og 16 uger) blev yderligere undersøgt i emulsionsgeler, fremstillet med og uden TG [5]. Profilen af flygtige organiske forbindelser i de fremstillede geler blev derfor evalueret ved hjælp af GC-MS.

Generelt havde bakterieblandingen, der blev anvendt til at fermentere emulsionsgelerne, den største indvirkning på både profilen og mængden af flygtige organiske forbindelser. Lagringstiden havde også en betydning. Mængden af planterelaterede flygtige organiske forbindelser, såsom aldehyderne hexanal og benzaldehyd, samt osterelaterede forbindelser, herunder diacetyl, acetoin og 2,3-pentandion, varierede over tid.

For en traditionel ost, for eksempel en Danbo, gælder, at både tekstur og smag udvikler sig over tid (uger til måneder) som følge af proteolytisk (og lipolytisk) aktivitet fra både løbe/koagulant, andre tilstedeværende proteaser og mælkesyrebakteriernes batteri af enzymer. Vi står stadig over for udfordringen med at forstå, hvordan plantebaserede geler kan omdannes til en velmagende ostelignende erstatning med en behagelig konsistens og struktur.

E-mail:

Poul Erik Jensen: peje@food.ku.dk

Litteratur

- Masiá C, Jensen PE, Petersen IL, Buldo P (2022). Production of a Functional Pea Protein Matrix for Fermented Plant-Based Cheese. *Foods* 11, <https://doi.org/10.3390/foods1010000>.
- Masiá C, Keshanidokht S, Preisler LD, Risbo J, Jensen PE (2023). Plant lipid sources in fermented pea protein gels: emulsion stability and gel microstructure. *LWT - Food Science & Technology* 182 (2023) 114890 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114890>.
- Masiá C, Fernández-Varela R, Jensen PE, Yazdi SR (2023). The impact of different bacterial blends on texture and flavor development in plant-based cheese. *Future Foods* 8: 100250. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100250>.
- Masiá C, Fernández-Varela R, Poulsen VK, Jensen PE, Sørensen KI (2023). Composition of bacterial blends for fermentation-induced pea protein emulsion gels using multi-property screening of lactic acid bacteria. *Food Bioscience* 56, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103333>.
- Masiá C, Ong L, Logan A, Stockmann R, Gambetta J, Jensen PE, Yazdi SR, Gras S (2024). Enhancing the Textural and Rheological Properties of Fermentation-induced Pea Protein Emulsion Gels with Transglutaminase. *Soft Matter* 20, 133. <https://doi.org/10.1039/D3SM01001E>.

Ny lærebog:

“Funktionelle ingredienser i fødevarer – konsistensgivende hjælpestoffer”

Bogen “Funktionelle ingredienser i fødevarer - konsistensgivende hjælpestoffer” er tænkt som en lærebog på procesteknologuddannelsen og som en slags håndbog for alle i fødevarebranchen.

*Gundhild Brynning, Akademisk Forlag,
1. oplag, 1. udgave, 2023*

Af Hanne Christine Bertram, hcb@techmedia.dk

Bogen er bygget op med fem kapitler. Det første kapitel giver en introduktion, og præsenterer nogle definitioner, herunder beskrives også terminologierne tilsætningsstoffer, hjælpestoffer og ingredienser. De efterfølgende fire kapitler præsenterer forskellige klassiske kemiske grupper af hjælpestoffer, nemlig henholdsvis hydrokolloider, stivelse, fibre og proteiner, og der er en klar linje for, hvordan det faglige stof præsenteres. Hvert kapitel afsluttes med en afrunding og faktabaserede refleksionsspørgsmål til læseren. Både undervisere og læsere vil formentlig finde det nyttigt med denne afsluttende opsummering af et kapitels vigtigste faglige indhold (“hvad skal jeg kunne”). Bagerst indeholder bogen også en alfabetisk ordnet liste med anvendte termer og begreber, der formentlig vil kunne fungere som et gavnligt opslagsværk.

Det faglige indhold

Fagligt præsenterer bogen klassiske hjælpestoffer, der i fødevareindustrien anvendes med henblik på at opnå effekter på fødevarers konsistens og tekstur. Generelt er lærebogen godt skrevet. Sætningerne er konstrueret, så læsningen er let. Teksten er meget beskrivende og tager udgangspunkt i anvendelsesorienterede egenskaber. De kemiske aspekter omkring hydrokolloider, stivelse, fibre og proteiner er beskrevet på et ret basalt niveau, der formentlig vil harmonere fint med, at bogen henvender sig til procesteknologuddannelsen. Det vurderes, at bogens indhold er fint afstemt med fødevareteknologer og procesteknologer som målgruppe, mens det er svært at se, hvordan bogens indhold vil være rigtig relevant inden for sundhed og ernæring, som der nævnes på bogens bagside.

Tæt kobling til fødevareindustrien

De fire kapitler omkring henholdsvis hydrokolloider, stivelse,

fibre og proteiner indeholder foruden baggrundsteorien supplerende tekstafsnit, der er forfattet af kompetente industriaktører fra CP Celco, KMC og Arla Food Ingredients. På denne vis suppleres bogens teoretiske beskrivelser med relevante industrielle aspekter og anvendelser og giver en tæt kobling til fødevareindustrielle anvendelser. Tekstbidragene fra de forskellige industripartnere hænger udmærket sammen med indholdet i de kapitler, hvor de indgår, og fungerer derfor fint som et slags supplement til teksten. Eneste lille sidebemærkning her er, at man som læser finder det lidt unødvendigt at læse samme indledende introduktion af en virksomhed tre gange, fordi denne virksomhed bidrager med tre tekster.

Opsamlende vurderes det, at “Funktionelle ingredienser i fødevarer - konsistensgivende hjælpestoffer” er en nyttig og brugbar lærebog, der på en læsevenlig måde indfører læseren i fundamentale aspekter i brugen af klassiske hjælpestoffer til at modulere konsistensegenskaber af fødevareprodukter.



Maillard reaktionsprodukter i plantebaserede og traditionelle kødburgere

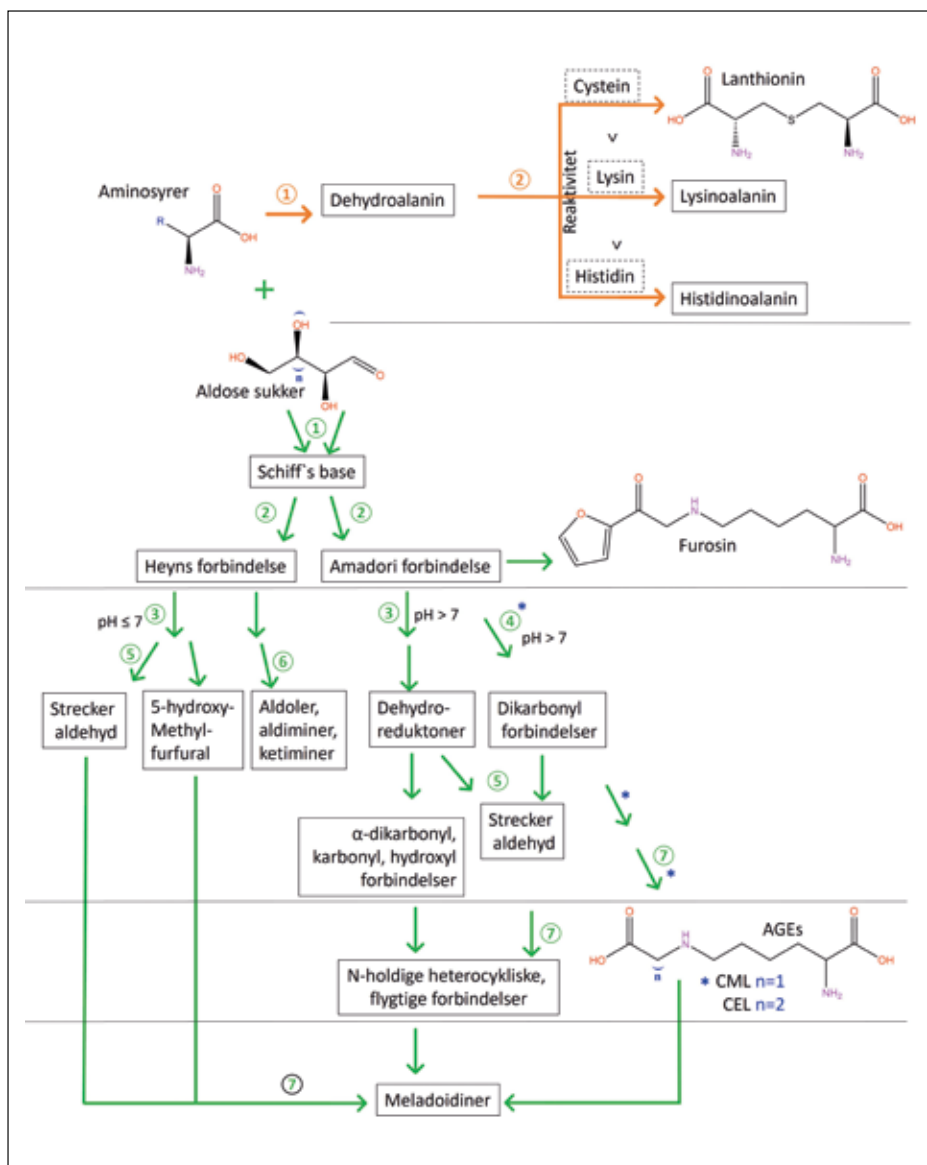
Vi har kigget på Maillard-produkter; et resultat af kemiske reaktioner, der har betydning for blandt andet smagsudvikling i varmebehandlede fødevarer.

Af Hanne Christine Bertram,
Louise Margrethe Arildsen
Jakobsen, Søren Drud-Heydary
Nielsen og Banny Barbosa Silva
Correia, Institut for Fødevarer,
Aarhus Universitet

Med fokus på at gøre vores kost mere plantebaseret som en del af den grønne omstilling, er der på det seneste lanceret en lang række af plantebaserede alternativer til de sædvanlige kødprodukter. Mange af disse plantebaserede alternativer forsøger at efterligne de mest populære, traditionelle kødprodukter, og et af de første alternative plantebaserede produkter, der dukkede op på scenen, var burgerbøffer. Mens man i Asien har en lang tradition for plantebaserede proteinrige fødevarer såsom tofu og tempeh, opleves det, at de plantebaserede alternativer har svært ved at vinde accept hos forbrugerne i den vestlige verden.

Fremstilling af den plantebaserede burger

I typiske kødbaserede produkter såsom burgerbøffer, er især tekstur og smag vigtige egenskaber, der afgør forbrugernes vurdering og accept [1]. I plantebaserede alternativer kan den fibrøse struktur, som karakteriserer tekturen af kød, genereres ved hjælp af såkaldt teksturering. Ekstruderingsteknologier er den mest anvendte metode til at frembringe tekstureret vegetabilsk protein (TVP). TVP fremstillet ud fra råmaterialer som sojabønner eller marværter, udgør typisk hovedingrediensen i plantebaserede burgerprodukter. Ekstruderingsteknologier kategoriseres efter, om ekstruderingen af protein sker ved høj fugtighed (HME: High Moisture Extrusion) eller ved lav fugtighed (almindelig TVP). I plantebaserede burgerbøffer indgår almindeligvis både



Figur 1. Illustration af de reaktionsveje, der kan forekomme under varmebehandling af fødevarer. Maillard-reaktionen er afhængig af reducerende sukker (vist i grøn farve) og dehydroalalanin reaktionsvejen er ikke afhængig af reducerende sukker (vist i orange farve). Reaktionstrin i Maillard: 1) Sukker-amin kondensering, 2) Amadori-omlejring, 3) Sukkerdehydrering, 4) Sukkerfragmentering, 5) Strecker aminosyrenedbrydning, 6) Aldol kondensering og 7) Aldehyd-amin kondensering og dannelse af heterocyklisk N-forbindelse. Dehydroalanin-vejen: 1) β -eliminering, 2) Tværbindingsdannelse (Michael addition). CML: N⁻-(carboxymethyl)lysin. CEL: N⁻-(carboxyethyl)lysine (CEL).



Foto: Pixabay.

TVP-ingredienser fremstillet ved henholdsvis ekstrudering under lav og høj fugtighed.

De kemiske reaktionsveje med betydning for brunng og stegt smag

De ikke-enzymatiske kemiske reaktioner, der er afgørende for dannelsen af den karakteristiske og attraktive smag af stegt kødsmag, og som forløber under varmetilberedningen af kød, betegnes Maillard-reaktioner. Maillard-reaktioner involverer en reaktion mellem aminosyrer og sukker. Sukkermolekylets reaktive karbonylgruppe interagerer med aminosyrernes frie aminogruppe. Maillard-reaktionen konkurrerer med en kemisk reaktionsvej, der betegnes dehydroalanin-vejen, da frie aminogrupper i aminosyrerne indgår som substrat i begge reaktionsveje. Hvilke reaktionsveje, der finder sted, kan følges ved at måle de typiske reaktionsprodukter som for eksempel N^ε-(2-furoyl-methyl)-L-lysin (furosin), N^γ-(carboxyethyl) lysin (CEL) og N^γ-(carboxymethyl)lysine (CML), der indgår i Maillard-reaktionen og lanthionin og lysinoalanin, der indgår i dehydroalanin-vejen [2]. Ved også at måle bredspektret på de forskellige kemiske forbindelser (metabolitter) kan der samlet opnås information om både tilstedeværelsen af substrater såsom reducerende sukre, aminosyrer og reaktionsprodukter (figur 1).

Maillard-reaktioner i kommercielle plantebaserede kødburgere

For at få smagen af plantebaserede produkter til at ligne smagen af traditionelt kød, er det vigtigt at forstå, om de afgørende kemiske reaktioner forløber ens i de to typer af produkter. Dette vil hjælpe os på vej i forhold til at optimere fremstillingen af de

plantebaserede produkter. Med henblik på at belyse forekomsten og betydningen af Maillard-reaktioner i henholdsvis plantebaserede alternativer og traditionelle kødburgere, analyserede vi derfor Maillard reaktionsprodukter samt lanthionin og lysinoalanin, der indgår i dehydroalanin-vejen i både plantebaserede burgere og traditionelle kødburgere [3]. Analyserne var baseret på massespektrometri og blev gennemført på prøver fra både ikke-varmebehandlede og varmebehandlede kommercielle produkter, plantebaserede burgerbøffer og traditionelle kødburgerbøffer. Varmebehandlingen bestod i at grille burgerne på en stegeplade ved 200°C i 90 sekunder på hver side. Derefter blev burgerbøfferne pakket ind i aluminiumsfolie og efterfølgende varmebehandling i en dampovn (80 procent relativ fugtighed) ved 200°C til en centrumtemperatur på 76°C.

Figur 2, side 14, viser resultater opnået for både ikke-varmebehandlede og varmebehandlede kommercielle produkter, plantebaserede burgerbøffer og traditionelle kødburgerbøffer. Indholdet af furosin, CML og CEL var ganske ubetydeligt i de ikke-varmebehandlede kødburgerbøffer, og blev tydeligvis dannet under varmebehandlingen. I de plantebaserede burgerbøffer derimod, var indholdet af furosin, CML og CEL allerede højt i de ikke-varmebehandlede produkter, og ændringen under varmebehandlingen var langt mindre end for kødburgerbøfferne. Markante forskelle optrådte altså i Maillard-reaktioner mellem de plantebaserede alternativer og traditionelle kødburgerbøffer.

TVP-type i planteburgeren har indflydelse på indholdet af Maillard-produkter

At der allerede er forekommet Maillard-reaktioner i de

ET CENTRALT VAKUUMSYSTEM. UTALLIGE FORDELE.

Afhængig af applikationen kan energibesparelser på op til 70 % opnås med et centralt vakuumssystem. Dette er ikke den eneste fordel.

Med en Vakuumaudit kan vi identificere mange andre fordele, du kan opnå baseret på din proces.

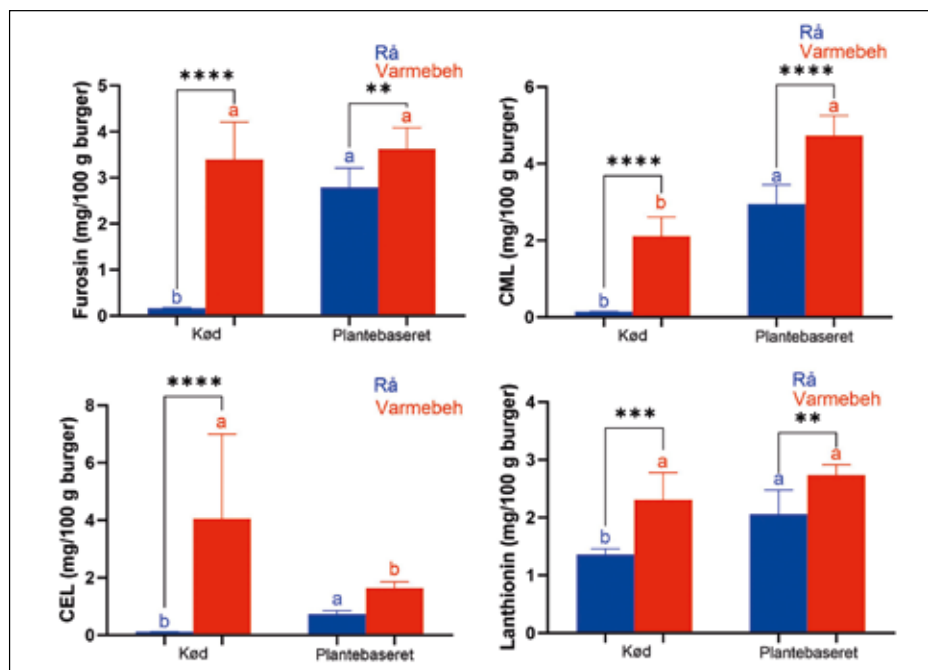
Lad vores eksperter rådgive dig!

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

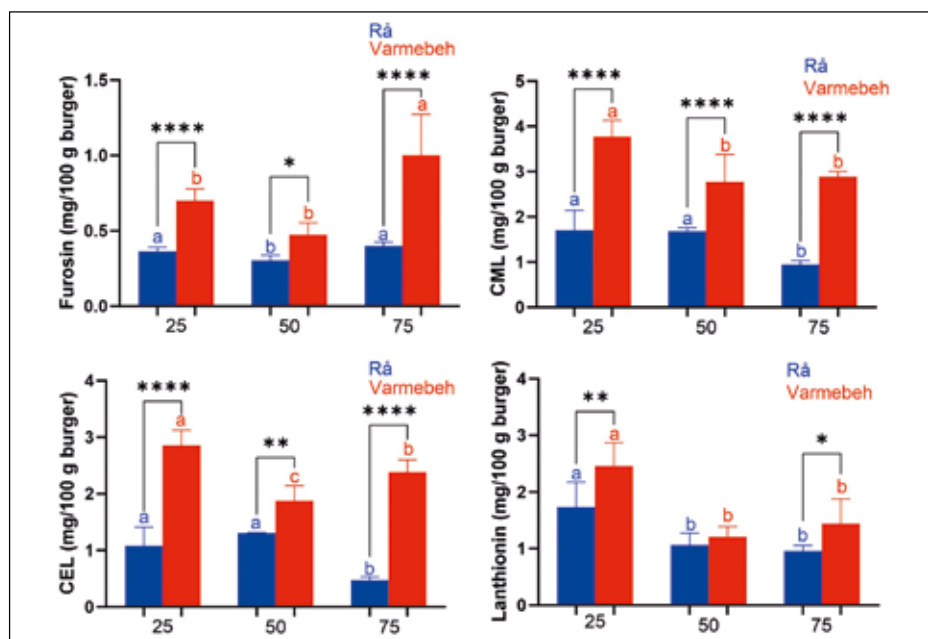
**U
BUSCH**
VACUUM SOLUTIONS

■ Maillard-reaktionen er en kemisk reaktion, der opstår, når fødevarer varmebehandles. Det er en reaktion mellem aminosyrer og sukker. Lige som karamellisering er det tale om ikke-enzymatisk brunng. Sukkermolekylets reaktive karbonylgruppe interagerer med aminosyrernes nukleofile aminogruppe, og resultatet er dannelse af molekyler, som giver smag og duft. Særligt aminosyretyper bestemmer duften og smagen, og Maillard-reaktionen danner basis for store dele af smagsindustrien.

Der dannes flere hundrede forskellige smagsstoffer ved reaktionen. De nedbrydes til endnu flere nye smagsstoffer. Processen har været brugt siden oldtiden. Den er opkaldt efter kemikeren Louis-Camille Maillard, som undersøgte den i 1912.



Figur 2. Koncentrationer af furosine, N⁻-(carboxymethyl)lysin (CML), N⁻-(carboxyethyl)lysin (CEL), og lanthionin i rå (ikke-varmebehandlede) og varmebehandlede traditionelle kødburgerbøffer og plantebaserede burgerbøffer. Bogstaverne (a,b) over søjlerne indikerer statistisk forskel og * indikerer signifikansniveau: * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001.



Figur 3. Koncentrationer af furosine, N⁻-(carboxymethyl)lysin (CML), N⁻-(carboxyethyl)lysin (CEL), og lanthionin i plantebaserede burgerbøffer, fremstillet hvor indhold af tekstureret ingrediens var henholdsvis 25, 50 eller 100 procent (v/v) HME (High Moisture Extrusion) tekstureret vegetabilsk protein (TVP). Den resterende del af tekstureret ingrediens bestod af almindelig TVP (fremstillet ved lav fugtighed). Bogstaverne (a,b,c) over søjlerne indikerer statistisk forskel og * indikerer signifikansniveau: * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001.

ikke-varmebehandlede plantebaserede produkter hænger højest sandsynligt sammen med, at der indgår teksturerede TVP-ingredienser i de plantebaserede produkter, som undergår en kraftig varmebehandling.

For endvidere også at undersøge betydningen af at variere på forholdet mellem HME TVP og TVP fremstillet

ved lav fugtighed, fremstillede vores projektpartner, Fraunhofer, Tyskland, derfor nogle plantebaserede burgerbøffer i deres pilotanlæg med varierende indhold af HME TVP og TVP fremstillet ved lav fugtighed. Efterfølgende analyserede vi disse produkter og fandt tendenser til højere indhold af CML og lanthionin med et lavere indhold af

■ Nærværende studie var en del af projektet "Forbedring af saftighed af plantebaserede kødalternativer" finansieret af EIT Food (projekt-nummer 21054). Projektpartnere inkluderede foruden Aarhus Universitet også Lunds Universitet (Sverige), Torino Universitet (Italien), Fraunhofer (Tyskland), virksomhederne DSM (Holland) og Roquette (Frankrig). Massespektroskopiske analyser blev gennemført på forskningsinfrastruktur ved Aarhus Universitet, herunder FOODHAY (Food and Health Open Innovation Laboratory).

HME TVP og et højere indhold af TVP fremstillet ved lav fugtighed (figur 3). Dette hænger formentlig sammen med, at TVP involverer en mere kraftfuld varmebehandling end HME TVP.

Konklusion

Nærværende studie kan betragtes som et første spadestik til at forstå de kemiske reaktioner i plantebaserede analoger til traditionelle kødprodukter. Forbrugernes valg af fødevarerprodukter er primært drevet af produkternes sensoriske egenskaber, pris, men også bekvemmelighed ("convenience"). Desuden er forbrugere typisk meget konservative, og de forventer, at de plantebaserede alternativer har en smag, der minder om kød. Ved at kortlægge de kemiske reaktioner, der forekommer i plantebaserede alternativer, og som har betydning for smagsudvikling, vil vi formentlig i højere grad forstå, hvordan vi kan skrue på ingredienser og processer for at optimere på smagen af plantebaserede alternativer.

E-mail:

Hanne Christine Bertram:
hannec.bertram@food.au.dk

Referencer

1. van Vliet, S., Bain, J., Muehlbauer, M., & et al. (2021). A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable Nutrition Facts panels. *Scientific Reports*, 11, 13828.
2. Naik, R., Wang, Y., & Selomulya, C. (2022). Improvements of plant protein functionalities by Maillard conjugation and Maillard reaction products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25, 371 7036-7061.
3. Correia, B.S.B., Drud-Heydary Nielsen, S., Jorkowski, J., Jakobsen, L.M.A., Zacherl, C., Bertram, H.C. (2024). Maillard reaction products and metabolite profile of plant-based meat burgers compared with traditional meat burgers and cooking-induced alterations. *Food Chemistry*, 445, artikel no. 138705.

Nye veje til bæredygtig skadedyrsbekæmpelse i landbruget

Længe har syntetisk fremstillede pesticider været vores primære værn mod skadedyr i landbruget. En mere bæredygtig bekæmpelsesmetode med naturligt forekommende bakterier er måske en vej frem.

Af Katrine Bitsch Thomsen, Nadieh de Jonge og Torsten Nygård Kristensen, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet

Det er estimeret, at der i 2050 vil være cirka 10 milliarder mennesker på kloden, hvilket vil medføre en stigning i fødevarerbehovet på op mod 70 procent. Med flere mennesker vokser behovet for en større fødevarerproduktion. Samtidig står vi med udfordringer knyttet til tab af biodiversitet, markante næringsstofbelastninger, udvaskning af pesticider og en akut klimakrise. Komplexiteten i disse kriser er enorm og kræver nytænkning på mange niveauer. En mere plantebaseret kost kan afhjælpe nogle af udfordringerne, og i den sammenhæng skadedyr, der forvolder skader på afgrøder, blandt andet ved at de spiser dem og bidrager til spredning af plantevira, et kæmpe problem. På global skala forårsager skadedyr et tab af fødevarer på op mod 40 procent, og derfor er effektiv skadedyrsbekæmpelse



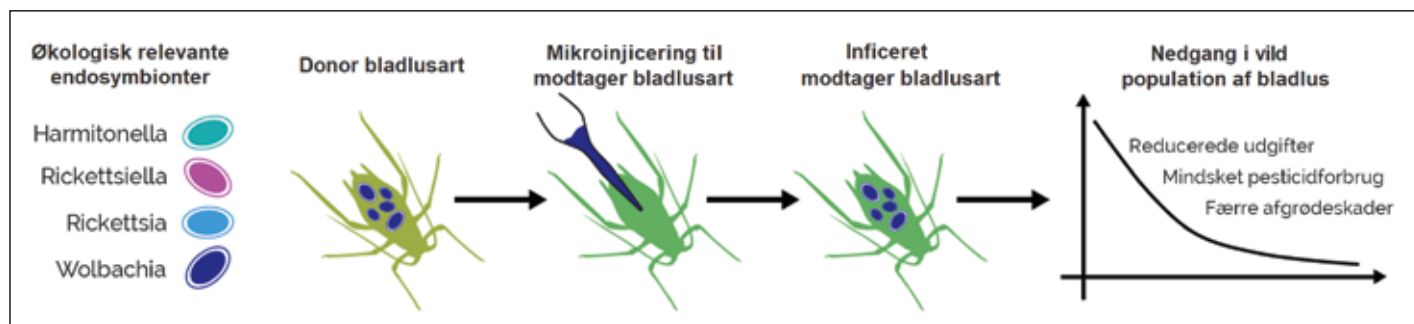
Foto: Perron A. Ross, Melbourne Universitet, Australien.

Figur 2. Ferskenbladlus, hvor bladlusen til højre på billedet er inficeret med endosymbionten *Rickettsiella viridis*, mens bladlusen til venstre ikke er inficeret. Bemærk den markante farveforskel, som skyldes infektionen med endosymbionten.

essentiell for optimering af den fremtidige fødevarerproduktion. En effektiv og meget anvendt type af skadedyrsbekæmpelse i landbruget har siden 1940'erne været brug af syntetisk fremstillede pesticider, som har været afgørende for

at øge udbytter og dermed sikre billige høj kvalitetsprodukter, hvilket har bidraget til at sikre velstand og reducere sult og hungersnød lokalt og globalt.

Den omfattende anvendelse af pesticider i planteproduktionen har dog også ►



Figur 1. Processen, hvor interessante endosymbionter overføres fra en bladlusart, som naturligt har dem, til en anden bladlusart, der ikke har endosymbionterne. Dette sker ved at samle kropsvæske med endosymbionter fra donorbladlus og injicere dem ind i modtagerbladlusen. Når endosymbionter etablerer sig i den inficerede modtagerbladlusart, kan det føre til en nedgang i bestanden af bladlus. Denne nedgang forventes at bidrage til økonomiske besparelser, mindre brug af pesticider, og færre skader på afgrøderne.

bidraget til forurening af grundvandet, fald i biodiversitet og negativ indvirkning på økosystemer generelt. Samtidig har det markante brug af bestemte aktive stoffer forårsaget, at mange skadedyrspopulationer har udviklet resistens over for pesticiderne, hvorved anvendte doser løbende er øget, og nye pesticidprodukter er kontinuert blevet udviklet. Grundet mange pesticiders skadelige påvirkning af miljøet har EU-landene forpligtet sig til at udfase en lang række pesticidtyper og halvere forbruget af aktivt stof inden 2030. Dette skaber et behov for udvikling af alternative metoder til bæredygtig ukrudts- og skadedyrsbekæmpelse. I denne artikel har vi særlig fokus på bekæmpelse af insekter, som udgør et problem i landbrugs- og gartnerierhvervene.

Bæredygtige alternativer til pesticider

Et alternativ til brug af syntetisk fremstillede pesticider er biopesticider, som er bekæmpelsesmidler udvundet fra naturlige kilder som bakterier og planter. I forhold til syntetisk fremstillede pesticider har disse produkter en mild effekt på miljøet, men anvendelse af metoden forudsætter en høj grad af indsigt i de specifikke stoffer, og de er generelt mindre virkningsfulde end syntetiske produkter.

En anden metode er "Sterile insect techniques". Metoden bygger på at masseproducere hanner af et givent skadedyr (typisk insekter), som er gjort sterile ved at eksponere dem for fotonbestråling. Sterile hanner slippes derefter fri i stort antal i områder, hvor arten udgør et problem for landbrugsproduktion eller fordi den er vektor for en virus, der for eksempel forårsager humane sygdomme. Princippet er så, at de sterile hanner konkurrerer med naturlige ikke sterile

hanner om adgang til hunner. Dette resulterer i, at mange parringer ikke bidrager med afkom og at populationen derfor kolliderer eller reduceres markant i størrelse. Teknikken har med succes været anvendt til at kontrollere flere arter af frugtfluer i blandt andet Australien, USA og Mexico.

I denne artikel vil vi give et indblik i ny forskning fra vores gruppe, hvor vi arbejder med, hvordan manipulation med bakterier, der lever i skadedyr (såkaldte endosymbionter), kan udnyttes og bidrage til udfasning af pesticider eller supplere brugen af dem. Målet med dette er at opnå behandlingsteknikker, der ikke belaster miljøet og biodiversitet i lige så høj grad som syntetisk fremstillede pesticider. Metoden har stort potentiale til at bidrage med at nå EU's målsætning om at reducere brugen af pesticider og dermed til at reducere forurening forårsaget af deres anvendelse.

Endosymbionter som naturlige allierede i kampen mod skadedyr

I vores forskning undersøger vi muligheder for at manipulere med endosymbionter og teknikens potentiale i forbindelse med kontrol af skadedyr og dermed skader på afgrøder forårsaget af herbivori og overførsel af plantevirus.

Endosymbionter er typisk bakterier, der lever i cellerne på organismer (ofte insekter), i et symbiotisk forhold involverende fordele for både endosymbiont og vært. Sådanne relationer mellem arter udvikles via evolutionære processer, der strækker sig over tusinder til millioner af år. I denne proces kan endosymbionterne blive helt afgørende for insektværtens succes, og bidrage til for eksempel tilgængelighed og udnyttelse af næringsstoffer, reproduktion, og

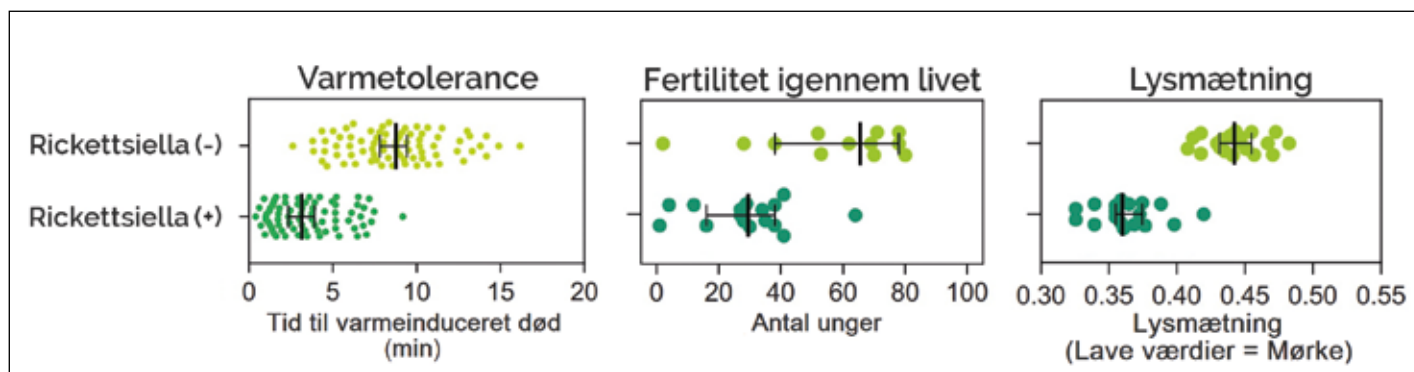
de kan påvirke deres evne til at modstå abiotiske eller biotiske stressorer.

Det er tidligere vist, at manipulationen af endosymbionter i myg kan udnyttes til at kontrollere overførslen af denguevirus fra myg til mennesker. I tilfældet med myggene overførtes en endosymbiont, kaldet *Wolbachia*, fra bananfluer til myg. Introduktionen af *Wolbachia* til disse myg har reduceret myggepopulationer og deres evne til at sprede sygdomsfremkaldende virus. Metoden er således med stor succes blevet benyttet i blandt andet Australien, Singapore og Malaysia, hvor den har vist sig meget effektiv som et alternativ våben i kampen mod blandt andet denguefeber.

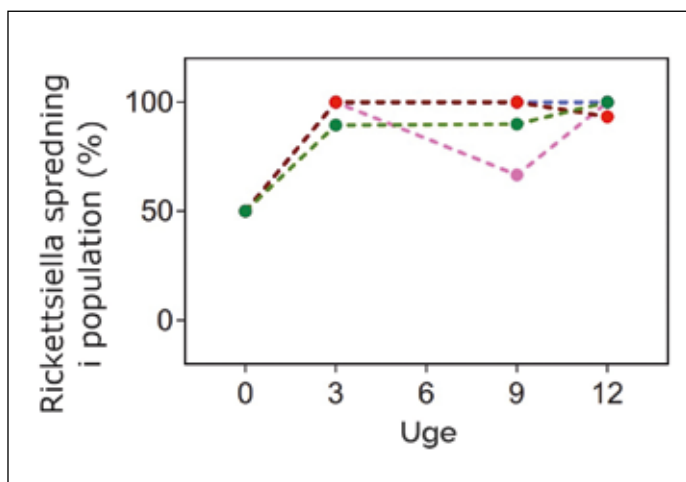
Vi er i gang med, sammen med australske samarbejdspartnere, at benytte den samme tilgang til at kontrollere skadedyr i landbruget og nye resultater viser, at teknikken har et stort potentiale i forbindelse med kontrol af bladlus, og dermed at den kan udgøre et alternativ/supplement til bekæmpelse med traditionelle pesticider.

Ferskenbladlus - en global pest som koster kassen

Vi har arbejdet med en art af bladlus kaldet ferskenbladlus (*Myzus persicae*), som globalt er et af de økonomisk belastende skadedyr. Det, vi har gjort, er at overføre en naturlig endosymbiont kaldet *Rickettsiella* fra en anden bladluseart (ærtebladlus) til ferskenbladlusen gennem en teknik kaldet mikroinjektion. Med denne teknik overføres *Rickettsiella* via en meget tynd pipettespids fra donor (en ærtebladlus) til modtager (en ferskenbladlus) (figur 1). Første observationer fra disse studier viser, at *Rickettsiella* fik bladlusene til at skifte farve (figur 2, side 15), ligesom de halverede deres reproduktion og blev mindre tolerante overfor varmemstress (figur 3).



Figur 3. Figurene viser eksempler på effekter af infektion med endosymbionten *Rickettsiella viridis* på ferskenbladlus. "Rickettsiella (-)" repræsenterer bladlus uden endosymbionten, mens "Rickettsiella (+)" repræsenterer bladlus med endosymbionten. Til venstre vises, hvor lang tid bladlusene kan overleve ved en høj temperatur (et mål for varmemstress-tolerance). I midten ses det totale antal afkom, bladlusene får igennem livet, og til højre hvor mørkegrønne bladlusene er. Resultaterne viser således, at bladlus med endosymbionter producerer færre afkom, bliver mørkere og har en lavere tolerance over for varme. Hver prik i figurene udgør et individ og median og spredning er repræsenteret med vertikale linjer.



Figur 4. Grafen viser spredningen af endosymbionten *Rickettsiella* i populationer af ferskenbladlus over tid. 50 procent af individerne i populationerne er inficeret ved forsøgets start. De fire farver repræsenterer forskellige populationer. Grafen viser, at det relative antal af bladlus med infektionen stiger markant i løbet af tre uger, hvorefter den forbliver relativt stabil.

Samtidig så vi, at for bladlus, der bærer *Rickettsiella*, overføres bakterierne ikke kun til deres eget afkom, men også til andre bladlus, der lever af og på den samme plante; der er altså tale om både vertikal og horisontal transmission. Den kontinuerlige og effektive spredning af *Rickettsiella* gør, at frekvensen af bladlus med *Rickettsiella* hurtigt stiger i en population, samtidig med at den samlede population af bladlus reduceres i antal, fordi deres evne til at overleve og reproducere reduceres (figur 4).

Resultaterne fra disse laboratoriebaserede undersøgelser tyder altså på, at vi ved at introducere en endosymbiont til ferskenbladlus, såsom *Rickettsiella*, kan undertrykke bladluspopulationer og dermed forventeligt reducere omfanget af de skader, som de forårsager på vores afgrøder. Andre forskningsgrupper har vist, at tætheden af endosymbionten *Buchnera* i melonbladlus (*Aphis gossypii*) har stor indvirkning på bladlusenes følsomhed over for pesticiderne imidacloprid og sulfoxafloz (begge potente nervegifte). Så ved at regulere tætheden og sammensætningen af bestemte endosymbionter tyder det på, at vi kan påvirke følsomheden overfor givne pesticider, så en mindre dosis kan være tilstrækkelig til at kontrollere en opblomstring af en population på et kritisk tidspunkt i vækstsæsonen. Så altså - hvis pesticider er påkrævet, kan vi bruge mindre af dem.

Vi undersøger i øjeblikket ligeledes, om endosymbiont-bakterier i ferskenbladlus kan blokere for overførslen af skadelige plantevirus, på samme måde som vi så med myggene og overførsel af denguevirus. Første resultater er lovende, men det er endnu for tidligt at drage konklusioner.

Fra laboratoriet til feltet

Vi har store forventninger til, hvordan de teknikker som kort er beskrevet her, kan forfines og udnyttes som endnu værktøj til bæredygtig bekæmpelse af bladlus og på sigt andre skadedyr. Vi er nu i en fase, hvor vi skal lave forsøg under produktionsforhold i drivhuse og på friland, hvilket vil give indsigt i, om de lovende resultater fra laboratoriet kan overføres til "den virkelige verden", samt undersøge om den forventede reduktion i antallet af ferskenbladlus, når vi manipulerer med endosymbionter, rent faktisk bidrager til et større udbytte af de afgrøder, vi undersøger. Som en del af dette arbejde indgår også en risikovurdering, der undersøger, om endosymbiont manipulationer påvirker bladlusenes interaktioner med andre dyr, og om de introducerede endosymbionter overføres til andre dyr og planter. Viden opnået fra andre arter indikerer, at der er en meget begrænset risiko. I denne sammenhæng er det vigtigt at holde sig for øje, at endosymbionterne allerede er i naturen og at alternativet, nemlig at fortsætte med intensiv brug af syntetiske pesticider, udover at være politisk uønsket, har stor negativ effekt på økosystemers funktionalitet.

Vi forventer, at vores radikalt anderledes tilgang til bæredygtig bekæmpelse af bladlus på den lange bane kan bidrage til en økonomisk og miljømæssig bæredygtig bekæmpelse af skadedyr. Det kræver masser af forskning at komme dertil og et lidt andet syn på bekæmpelse, hvor der vil være mere fokus på de mikroorganismer, der lever inde i værten end på selve skadedyret.

Tak til Villum Fonden (bevilling 40841) og Carlsbergfondet (bevilling CF22-1230) for støtte til vores forskning.

E-mail:

Torsten Nygård Kristensen: tnk@bio.aau.dk

Kilde

Gu X, Ross PA, Gill A, Yang Q, Ansermin E, Sharma S, Soleimannejada S, Sharma K, Callahana A., Browna C, Uminaa PA, Kristensen TN, and Hoffmann AA2023. A rapidly spreading deleterious aphid endosymbiont that uses horizontal as well as vertical transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2023;120(18):e2217278120. doi:10.1073/pnas.2217278120.



Programmerbar slangepumpe

- Intuitivt grafisk interface med touch-screen betjening.
- Avanceret modulbaseret programmering til opsætning af egne komplekse fylde- og væskeoverførselsopgaver.
- Flowhastighed på 0,16 ul/min - 3000 ml/min.



DRIFTON
THE SCIENCE OF DISPENSING

KONTAKT OS PÅ 3679 0000 ELLER INFO@DRIFTON.DK - SE MERE PÅ [DRIFTON.DK](https://www.drifton.dk)

Praktisk tilgang til ISO 8655

- overvejelser og betragtninger om pipettekalibrering og service.



Af Ole Bach Dahl,
Dansk Pipette Service ApS

Opdateringen i 2022 af ISO 8655-standarden for pipettekalibrering har givet anledning til en del spørgsmål om, hvordan den kan anvendes i praksis. Her gives nogle råd og vejledninger om blandt andet, hvor ofte en pipette skal kalibreres, de anvendte spidser og hvordan kalibreringen kan udføres.

Frekvens

Mange får service og kalibreret pipetten én gang om året. Dette kan sagtens være fint, så længe der er taget stilling til denne frekvens. Man skal blandt andet tage i betragtning, hvilke konsekvenser der er, hvis en pipette fejler og har gjort det i en uvis rum tid. Indgår pipetten i kritiske processer og hvad betyder pipetten i forhold til usikkerhed for målinger og resultater?

Mange pipetteproducenter angiver, at pipetten bør smøres hver 3. måned ved dagligt brug, og udfører man denne

smøring, bør pipetten kalibreres, da man har påvirket det fysiske system. Meget få får udført smøring med denne frekvens. En pipette som anvendes dagligt, bør derfor ideelt set kalibreres og smøres fire gange om året, og gerne med både as-found og selvfølgelig as-left kalibreringer.

Der skal tages stilling til, hvor mange voluminer og gentagelser der udføres ved kalibreringen, samt hvilke specifikationer pipetten skal holdes op imod. Oftest anvendes producentens specifikationer, eller der anvendes specifikationer fra ISO 8655:2022.

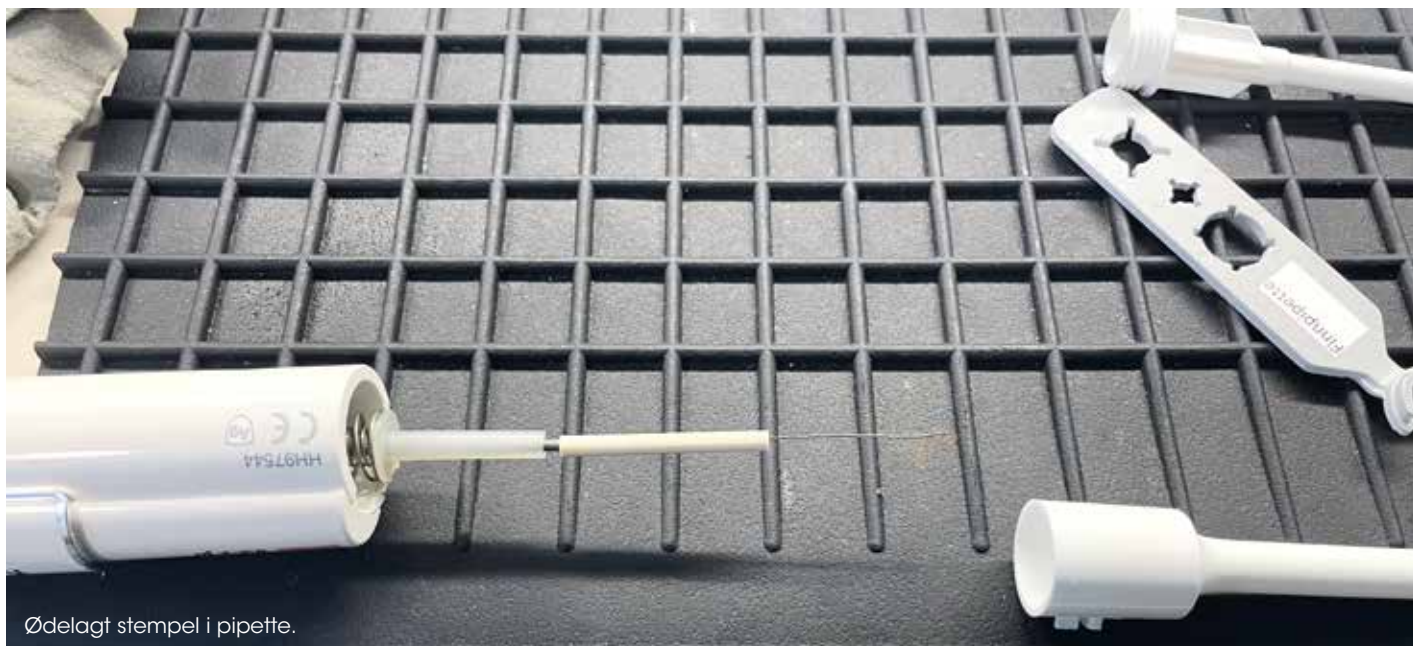
Spidser

ISO 8655-2:2022 foreskriver, at producenterne af spidser skal informere og dokumentere, at spidserne overholder kravene i denne standard. Der findes et hav af universalspidser på markedet og langt fra alle passer lige godt på pipetterne. Nogle spidsleverandører har tabeller, som viser, hvilke spidser der passer til hvilke pipetter. Dokumentation for

denne kompatibilitet er desværre ofte mangelfuld eller ikke-eksisterende. Og der findes også mange gode spidser på markedet.

Dansk Pipette Service erfarer, at pipetter ligger helt op til 25 procent fra det forventede volumen ved brug af andre spidser, end den som pipetten er "født med". Dette er ikke nødvendigvis et udtryk for, at spidsen er af dårlig kvalitet, men "bare" at den passer dårligt til den pipette. Skifter man leverandør eller type, bør pipetterne helt klart kalibreres med den nye type. Pipette og spids skal betragtes som ét samlet instrument og usikkerheden bør bestemmes ud fra dette.

En pipette og spids kan kun være 100 procent tæt, hvis vi ser bort fra kapillærkræfterne. Bliver en pipette justeret ind ved nominel volumen (højeste volumen) med en spids med dårlig kompatibilitet, så vil det afgivne volumen ved 10 procent af nominel volumen ofte afvige signifikant fra det forventede. Nogle producenter angiver faktisk, at pipet-



Ødelagt stempel i pipette.

teringsvolumen med den anvendte spids er begrænset til maksimum volumen af netop denne årsag.

Spidsens åbning, diameter og længde kan desuden udgøre en større modstand end den originale spids og dermed forvære resultaterne ved alle voluminer.

Uanset valg af spids, så er det vigtigt, at pipetten udvejes med den anvendte spids - eller?

Hvis man vil vide, om pipetten er i god stand, kan man sagtens anvende pipettens originalspids. Hvis man vil vide, hvordan pipetten fungerer i laboratoriet, skal man anvende den spids, som laboratoriet har valgt at bruge.

Den anvendte pipettespids fabrikat og

type bør angives på kalibreringscertifikatet, og der bør udføres en kalibrering med hver type spids, pipetten anvendes med.

Kalibreringer udført af brugerne

I mange tilfælde er det den daglige bruger, der udfører service og kalibrering af egne pipetter. Har man begrænset erfaring med kalibrering, må det forventes, at brugerens usikkerhedsbidrag er større end rutineret personale.

Spidsen skal forberedes ved fem opsugninger, inden første aliquot måles; pipetten holdes lodret ved opsugning og med 30-45 graders hældning ved dispensering. Spidsen skal holdes i et vist niveau under overfladen osv. Alt dette beskrives ganske nøjagtigt i ISO 8655-6:2022, afsnit 8.3.2 "Test cycle". Følges proceduren ikke, kan det lede til højere usikkerhedsbidrag, og pipetten vil måske ikke kunne overholde specifikationerne.

Uanset hvad, så kan denne ekstra usikkerhed føre til, at pipetten ikke overholder de fastlagte grænser, og dermed føre til omkostninger i form af driftsstop, arbejdstid, reservedele osv. Så er det brugerens pipetteringssevner eller pipettens performance, der testes? Det ene udelukker ikke nødvendigvis det andet, bare for en god ordens skyld. Og begge dele kan give rigtig god information.

For blandt andet helt at fjerne det personafhængige usikkerhedsbidrag, har Techvolver udviklet en fuldautomatiseret løsning, hvor menneskehånden er erstattet af en robotarm, der håndterer pipetten i kalibreringsprocessen fra start til slut.

Tabel A.1 i ISO 8655-2:2022 indehol-

der en oversigt over mulige fejlkilders usikkerhedsbidrag, som kan hjælpe med at finde de største bidrag under kalibreringen.

Men hvad gør vi så?

Først bør man definere, hvilke pipetter i laboratoriet der anvendes mest, og/eller er forbundet med størst risiko. Disse pipetter kan meget vel have en anden kalibrerings- og servicefrekvens end resten. Man bør overveje, om disse skal kalibreres oftere og ved både as-found og as-left.

ISO 8655:2022 angiver, at pipetter bør kalibreres regelmæssigt og mindst én gang hvert år, samt testes regelmæssigt for at verificere kalibreringen. Frekvensen af denne rutinetest skal bestemmes ud fra parametre som for eksempel:

- risiko for anvendelse.
- hyppighed af brug.
- antal af brugere af pipetten.
- karakter af væsken og dens dampes belastning af pipettens fysiske dele.

Er man på helt bar bund i denne risikovurdering, bør man teste ofte, og efterhånden som man indsamler data om pipetterne, kan man forlænge intervallerne imellem denne verificering. Et godt værktøj til verificering er Rainin SmartCheck SLS1010S. På kun 60 sekunder med fire dispenseringer får man bekræftet, om pipetten ligger inden for eksempelvis 5 procent af den forventede volumen og at spredning ikke er for stor.

E-mail:

Ole Bach Dahl:

info@danskpipetteservice.dk

■ Begreber

Kalibrering = Bestemmelse af instrumentets fejlvisning.

Justering = Justering, så instrumentet overholder de fastlagte specifikationer.

Så en kalibrering kan lede til en justering og efterfølgende kalibrering. Man skelner normalt mellem to typer kalibrering:

As-found - Udvejning inden servicering.

As-left - Udvejning efter servicering.

As-found kalibreringen fortæller, om pipettens performance ved aflevering til service/kalibrering. As-left kalibreringen viser, at pipetten overholder de aftalte specifikationer efter service.

Alting er kemi

Det første af fire mantraer fra en Nobelprismodtager.

Af Benedicte Nyvang Vævest og Morten Meldal, Kemisk Institut, Københavns Universitet

”Alting er kemi!” For kemikere er dette et selvfølgeligt udsagn, men for mange andre er dette et revolutionerende udsagn, som kan iværksætte nysgerrighed, nytænkning og måske også provokation. Dette, det første ud af hele fire mantraer, satte professor Morten Meldal på dagsordenen, da han 5. oktober 2022 modtog Nobelprisen i Kemi for hans opdagelse og forskning inden for klikkemi i samvirke med kemikerne og medpristagerne Carolyn Bertozzi og Barry Sharpless.

Danmark fik en Nobelprismodtager i Kemi for første gang i 25 år. Klikkemi tager afsæt i organisk kemi med mange anvendelser i grundforskning i organisk syntese og i udvikling inden for den kemiske biologi.

Som beskrevet ved flere anledninger, var det Mortens ph.d.-studerende

Christian Wenzel Tornøe ved SPOCC-centret (Center for Fastfase Organisk Kombinatorisk Kemi) ved Carlsberg Laboratorium, der omkring årtusindeskiftet ved et tilfælde løb ind i dét, vi nu kender som CuAAC-reaktionen: Kobber(I)katalyseret azid-alkyn cycloaddition. Ved gentagne mislykkede forsøg på at opnå at syntetisere konjugerede keto-alkyner fra en alkyn og et syrechlorid, blev der i stedet dannet et andet produkt.

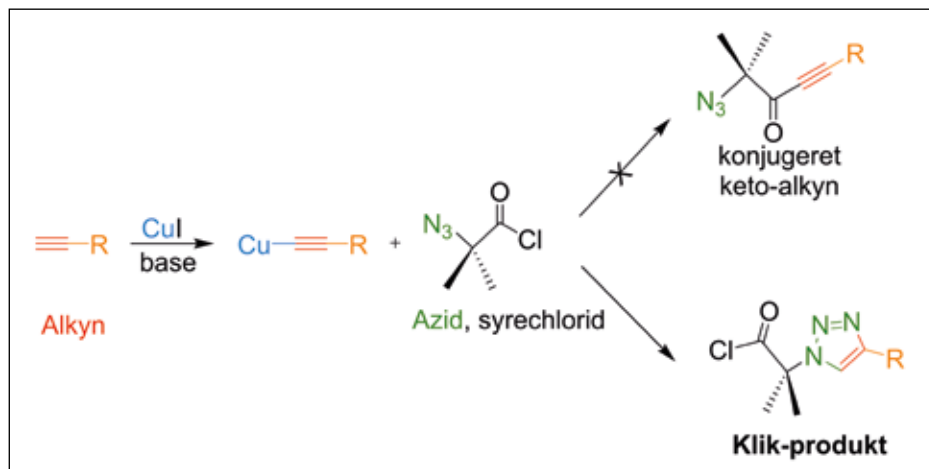
Det viste sig, at det kvantitativt dannede produkt var den stabile og regioselektivt dannede 1,4-substituerede 1,2,3-triazol, hvor det reaktive syrechlorid forblev uberørt under reaktionsbetingelserne (skema 1) [1]. Dermed kunne syrechloridet i produktet anvendes til videre brug i andre svære acyleringsreaktioner. Det gik øjeblikkeligt op for Morten og Christian, at denne regioselektive kobber(I)-katalyserede cyklisering af azid og alkyn til 1,2,3-triazoler var uhørt selektiv og

uberørt kemi med uanede mængder af muligheder for at fremstille molekylære arkitekturer med nye egenskaber. Derfor er denne CuAAC klikreaktion nu også blevet verdenskendt. Den er anerkendt som en robust syntesevej, som kan udføres selektivt og uafhængigt af de fleste andre typer kemi, og reaktionen giver adgang til hidtil utilgængelige molekyler med mangfoldige funktioner. CuAAC-reaktionen giver dermed mange nyskabende muligheder for funktionalisering. Altså, denne simple treklange af små molekylære klodser: kobber, azid og alkyn kan anvendes til syntese af små organiske forbindelser i vand, såsom simple lægemidler, og til sammensætning af større biokemiske funktionelle molekyler, såsom proteiner og enzymer [2].

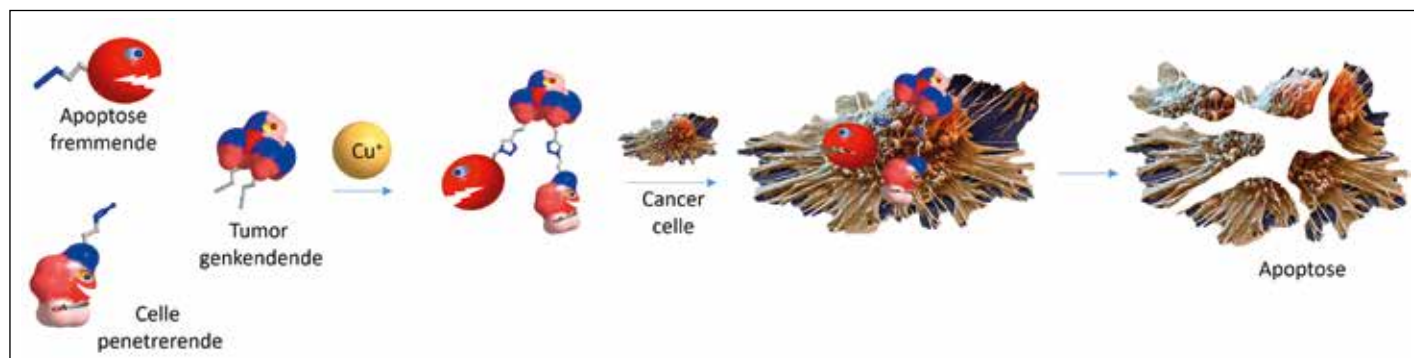
Konceptet ”klikkemi”

Men hvilken kemi defineres som ”klik”? En klikreaktion er en kvantitativ reaktion, der kan anvendes til at kombinere forskellige makromolekylære funktioner i en enkelt molekylær ”robot”, som har flere forskellige biologiske, strukturelle eller materielle funktioner, alt efter hvilke klodser robotten er opbygget af. Dermed kan vi sammenkoble syntetiske funktionelle protein- og peptidbyggeklodser. Et eksempel kunne være en molekylær robot, hvor et apoptosefremmende molekyle, et genkendelsesmolekyle og et celle-penetrerende peptid kombineres med klikkemi til at danne ét enkelt, samlet molekyle med de tre kombinerede egenskaber og anvendelser, hvor de enkeltstående molekyler ikke ville kunne gøre det samme til for eksempel at behandle selektivt mod cancerceller (skema 2).

Professor Barry Sharpless og hans for-



Skema 1. Den tilfældige opdagelse af CuAAC klikreaktionen skete under forsøg på at acylere kobber-acetylid med azid-holdige carboxylsyrechlorider.



Skema 2. CuAAC klikreaktion mellem flere funktionelle molekyler kan give os multifunktionelle molekylære robotter, der kan anvendes i vores kamp mod ellers uhelbredelige sygdomme.



Billede 1. Morten holder foredrag på Øregaard Gymnasium.

skergruppe beskrev klikkemi-konceptet i 2001 [3]. Det blev accepteret bredt som et videnskabeligt koncept, og artiklen beskrev nogle af de generelle regler, som en sand klikreaktion burde opfylde. Det, der særligt definerer en klikreaktion, er blandt andet kvantitativ omdannelse til ét regiospecifikt og stereospecifikt produkt med høj atom-økonomi under simple reaktionsbetingelser og simpel oprensning. Det væsentligste klikkriterium er imidlertid, at kemien skal være ortogonal til al anden kemi. Sidenhen er der kun få reaktioner, som kan beskrives som fuldt "ægte" klikreaktioner. Dette gælder CuAAC, SPAAC (Strain-Promoted Azide-Alkyne click chemistry reaction), og TCO (trans-Cyclooctene ligation), og kan også gælde for S_NAR -reaktioner (nukleofil aromatisk substitution), men selv efter snart 25 år er listen kort, hvilket vidner om sværhedsgraden af at udvikle kemi, der kvalificeres som klikkemi. Men for den originale kobber(I)-katalyserede triazol-dannelse (CuAAC) er denne anset som kronjuvelen - den eksemplariske klikreaktion.

Rockstjerne-status

Ved modtagelse af Nobelprisen medfølger en enorm efterspørgsel på at holde foredrag, stille op til interviews, deltage i paneldebatter og deltage som personlighed til events. Man går fra at være en anerkendt forsker inden for branchen til at være en profileret personlighed, som har en stemme og en myndighed for den almene dansker i alle aldersgrupper.

Morten oplever det til tider som om, han har opnået "rockstjerne-status". Han har holdt oplæg for både børn, unge, voksne og ældre, som spænder fra alt fra

skoleelever til akademikere til forretningsfolk til politikere og såmænd også til de kongelige. Nævneværdige foredrag indebærer blandt andet det offentlige foredrag til KulturNatten på H.C. Ørsted Institutet i 2022 ugen efter modtagelsen af Nobelprisen, gymnasieforedrag på Sønderborg Statsskole, Hjørring Gymnasium og Øregaard Gymnasium (billede 1), inviterede foredrag på DTU, AU og SDU, Tænk tanken Kraka, Vin og Videnskab, Science and Cocktails, hovedforedragsholder på det 1. Danske Peptidsymposium, samt mindeværdige paneldebatter på Folkemødet 2023.

Og den store efterspørgsel på Meldal-navnet breder sig i den grad også ud over Danmarks grænser. Med forelæsningssturnéer til blandt andet Sverige, Spanien, Vietnam, Japan, Australien, Saudi Arabien og Indien inden for det sidste års tid, vidner Mortens pas om en berejst mand. Hans naturvidenskabelige nøgleforedrag: "Molecular Click



Billede 2. Mortens Nobel-medalje.

Adventures - A Leap from the Shoulders of Giants" (oversættelse: Molekylære klik-eventyr - et spring fra giganters skuldre), er dermed kommet vidt omkring og blevet afholdt et utal af gange med en ny version hver gang tilpasset til det aktuelle publikum.

Derudover har Morten også afholdt populærforedraget "Motivation in Science Career Choices" (oversættelse: Motivation hos naturvidenskabelige karrieremuligheder), adskillige gange for motiverede og inspirerede publikummer. Hans foredrag bliver altid mødt med stor interesse fra den enkelte for at stille formelle, akademiske spørgsmål, samt uformelle, nysgerrige, personlige spørgsmål og for at få et håndtryk og en "selfie" med på vejen.

Fremvisningen af Nobelpris-medaljen til foredragene og talerne er også kilde til stor inspiration for de talstærkt fremmødte (billede 2). Medaljen er symbolet på den mest prestigefyldte pris, man kan modtage som akademiker. Symbolet på naturvidenskabelig opdagelse og opfindelse, akademisk og industriel anvendelighed og anerkendelse af denne brugbarhed og formåen inden for forskningsverdenen.

De fire mantraer

Mortens fire mantraer lyder således:

- 1) Alting er kemi, 2) Helt unge til kemi, 3) Forskning uden begrænsninger, samt 4) Funding efter ydeevne.

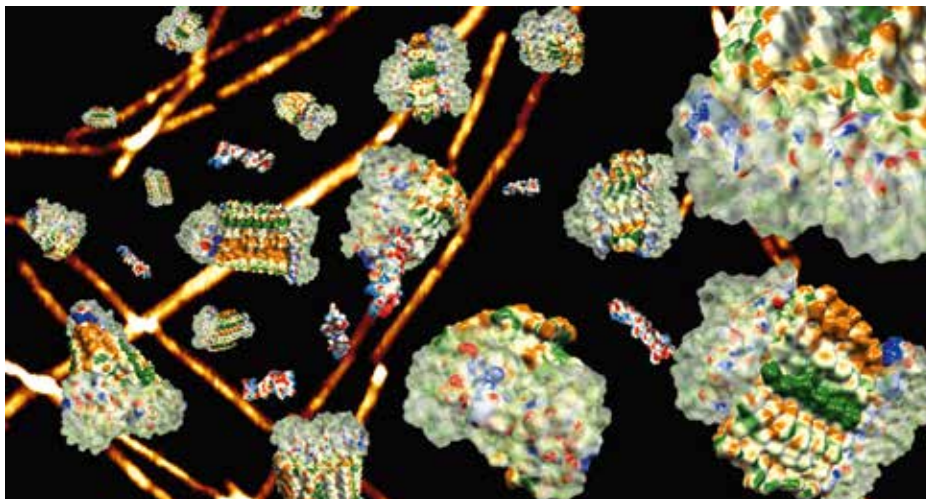
Mantra 1) Alting er kemi består i at sætte på dagsordenen, at alt hvad vi har omkring os, samt vi selv, er kemi. Alt består af atomer og molekylesammensætninger, som opbygger den verden, vi lever i. Kemi er, ligesom fysik, en af de

to fundamentale videnskaber, og kemiens byggesten har evnen til evolutionært at forme og danne liv, når betingelserne for det er til stede. For Morten er det vigtigt at inspirere til at se verden med disse ”kemiske” briller, da det vil medføre en god forståelse for vores fortid, nutid og fremtid og de udfordringer, vi står overfor.

Mantra 2) Flere unge til kemi handler om, at vi har brug for flere kemikere til at løse verdens problemer. Når kemi er alting, er det også kemi, der har de konkrete løsninger på for eksempel klimaproblemer og sygdomme, og derfor er det vigtigt, at flere unge får interessen for at læse og studere kemi. Derfor er Mortens store vision, at vi skal have kemi fra 1. klasse i grundskolen, hvor vi med animationer kan give skolebørnene en behagelig introduktion til den tredimensionelle mikroskopiske verden af atomer og molekyler. Når kemi er en fundamental videnskab, som kan løse verdens problemer, er det også vigtigt, at børn tidligt fra barnsben af bliver interesseret for kemiens verden igennem undervisningen.

Mantra 3) Forskning uden begrænsninger omhandler det aspekt, at det meste fondsbevilligede forskning er projektspecifikt og afgrænset, sådan at der er meget lidt mulighed for kreativ udfoldelse og tilfældighed inden for projektets afgrænsning. Morten understreger vigtigheden af tilfældigheder i forskning og at forstå, at størstedelen af alle store opdagelser har et stort element af tilfældighed og lykketræf. Store opdagelser er ikke fabrikeret ved skrivebordet, men derimod opnået ved en integreret kombination af idéer, eksperimentelt design og uventede eksperimentelle observationer. Dette har dybe implikationer for nødvendigheden for forskere til at kunne ændre deres forskningsretning og kunne operere frit baseret på nye opdagelser.

Mantra 4) Forskning efter ydeevne er et forsøg på at optimere den måde, vores forskningsmidler anvendes på. Forskere sukker efter forskningsfrihed og derfor må vi, som forskere, acceptere en tidsmæssig kort evaluering af vores ydeevne i den store internationale konkurrence, som der er inden for videnskab. Den nuværende procedure med evaluering af Bluesky-forskningsansøgninger, udført af paneler, uden den nødvendige ekspertise, er ikke optimal. Morten foreslår at finansiere forskning baseret blandt andet på seneste *Peer Reviewed* publikationer, innovation og outreach i stedet for idéer tilpasset et forudbestemt, populært forskningsområde.



Billede 3. Hydrodynamisk kontrol af Alzheimer fibrildannelse med amfipatiske β -hårnåls peptider, der genkender fibrillernes vækstflade og derved opløser stumper af fibrillerne.

Fremtidens kemikere og egen forskning

Ud over Mortens store offentlige engagement og befarenhed som følge af Nobelprisen, lægger hans *første* og *største* ansvar i sin stilling som professor og forsker på Kemisk Institut på Københavns Universitet. Her er hans store glæde og motivation at opretholde sin egen forskning og forskergruppe, samt at undervise kandidatstuderende i hovedfaget: Reaktionen og Syntese i medicinalkemi. Det er netop her, at han som professor og menneske får mulighed for at have indflydelse på at forme og danne fremtidens kemikere.

Mortens primære interesseområde er inden for molekylær genkendelse, som er forudsætningen for alle biologiske processer og molekylær omdannelse ved katalytiske/enzymatiske processer. I

laboratoriet bliver der syntetiseret peptider på livet løs. I hans forskningsgruppe arbejder de med at udvikle kunstige enzymer, såkaldte mikroproteiner. Mikroproteinerne bliver designet ved hjælp af molekylær modellering i MOE (Molecular Operating Environment) og er bestemt til at bestå af både L- og D-aminosyrer. De kunstige enzymer udvikles ved metoden mutagenetisk molekylær dynamik (MMD) udviklet af Morten selv, hvor proteinlignende egenskaber udvikles evolutionært ved dannelse af en foldet struktur stabiliseret ved en fedtlignende pakning i proteinets indre, en vandlignende overflade, og til sidst en kløft med katalytiske aminosyrer til binding og omdannelse af substrater.

Metoden tillader, at man hurtigt opnår den optimale struktur, som derefter bliver testet ved syntese og



Billede 4. En sjælden og uforglemmelig aften i Det Kongelige Danske Videnskabs Selskab i selskab med Mortens tidligere sambaband ”Abanda”. ”Alting er kemi”, men det er ikke alt, der er kemi.

analyse i laboratoriet. Her anvendes automatisk fastfase syntese til at levere mikroproteiner i masseområdet 4-5000 Dalton. Mikroproteinernes enzymatiske aktivitet undersøges ved hjælp af kombinatorisk fastfasekemi med et FRET substratbibliotek på beads, der fluorescerer, når substraterne reagerer med mikroproteinerne. Aktive beads analyseres og vidner om specificiteten af de nye mikroproteaser [4,5].

I et lignende modelleringsprogram, baseret på MMD, har Mortens forskningsgruppe designet og fremstillet mindre vandopløselige β -hårnåls peptider, der binder kraftigt til fibriller i Alz-

70-års fødselsdag, samt hans videnskabelige karriere og resultater, blev fejret og hyldet ved et todages symposium afholdt af Kemisk Institut, Københavns Universitet, på H.C. Ørsted Institutet i april 2024.

Morten udtrykker sin taknemmelighed for afholdelsen af symposiet ved at kommentere følgende:

"Vi havde et par fantastiske dage til Morten Meldal Symposiet. Vi gennemgik en masse kemi, der har bidraget til Nobelprisen. Kemi, der blev udført på Carlsberg Laboratorium for 23 år siden. Vi har haft fantastiske foredragsholdere (billede 5), som har præsenteret et væld

fem år. Morten udtrykker, at det er en stor ære at blive anerkendt med hele 10 stipendier i sit navn. Ph.d.-stipendierne opfordrer til at lade nysgerrigheden udfolde sig til at drive originale idéer og forskning.

Nobelprisen i kemi er vigtigere end nogensinde. Den inspirerer, retfærdiggør og giver retning i en yderst prøvet verden. Kemi er allestedsnærværende, og dermed er kemi mere end bare en uddannelse. Det er en konceptuel vej til forståelse af vores eksistens og den smukke kompleksitet, naturen udspiller. Vi har brug for kemi til at løse mange globale problemer og for at leve et liv på en bæredygtig og vedvarende måde. Vi har brug for kemi til at forstå vigtigheden af at dele verdens ressourcer på en ansvarlig måde til vores næste. Kemi er vigtigt i alle former for håndværk og for akademiske og industrielle virksomheder og formål, og dermed har vi brug for forskning uden begrænsninger, samt forskning efter ydeevne. Kemi kan måske endda støtte de samfundsmæssige rammer omkring politiske beslutninger og etiske overvejelser. Derfor skal flere unge introduceres for et nysgerrigt kemisk perspektiv, sådan at vi kan få flere unge til kemi, som kan lave banebrydende opdagelser, som er nødvendige for at løse fremtidens problemer.

E-mail:

Benedicte Nyvang Vævest:

brk@chem.ku.dk

Morten Meldal: meldal@chem.ku.dk



Billede 5. Gruppebillede med foredragsholderne m.fl. til Morten Meldal Symposiet 2024. Fra venstre mod højre: Anthony Davis (University of Bristol), William D. Lubell (University of Montreal), Pernille Harris (instituttleder v. Kemisk Institut, Københavns Universitet), Mikael Bols (Københavns Institut), Phaedria Marie St. Hilaire (business leader, DEIB Advocate), Annette Beck-Sicking (University of Leipzig), Morten Meldal (Københavns Universitet), Christian W. Tornøe (Novo Nordisk), Benjamin List (Max Planck Institut Mülheim), Klaus Bock (tidligere hos Carlsberg), Frederik Diness (Roskilde Universitet), Knud J. Jensen (Københavns Universitet), og John Wade (University of Melbourne). Foredragsholdere ikke på billede: Kristian Hvidfelt Nielsen (Aarhus Universitet), Thomas Eiland Nielsen (Novo Nordisk) og Sanne Schoffelen (Lundbeck).

heimers plaks og inhiberer fibrillering, og har vist, at opløselige Alzheimer-peptider danner aggregater, der auto-katalytisk kløver sig selv til harmløse små-peptider (billede 3) [6,7].

70 år og mere motiveret end nogensinde

I januar 2024 fyldte Morten 70 år. Det vidner om en lang karriere inden for forskning, og med Nobelprisen er Morten mere motiveret end nogensinde. Morten har fået mange muligheder og unikke, mindeværdige oplevelser (billede 4), som ikke særlig mange 70-årige kan drømme om, og derudover holder forskningen ham til ilden. Mortens

af interessant ny kemi. Det har været meget spændende, og jeg tænker også, at det har været lærerigt og inspirerende for de unge deltagere, at man skal bruge sine evner og sit mod til at få det bedste ud af sin videnskabelige karriere, ligesom mine unge forskere har gjort gennem årene".

Desuden, for at markere tildelingen af Nobelprisen, vil der hvert år den 5. oktober blive uddelt to ph.d.-stipendier fra SCIENCE, såkaldte *Morten Meldal PhD Fellowships in Chemistry*. Ph.d.-stipendierne kan søges inden for eksperimentel og teoretisk kemi på naturvidenskabelige institutter på Københavns Universitet, og bliver uddelt de næste

Referencer

1. Tornøe, C.W., Christensen, C., and Meldal, M., Peptidotriazoles on solid-phase: [1,2,3]-Triazoles by regioselective copper(I)-catalyzed 1,3-dipolar cycloadditions of terminal alkynes to azides, *J. Org. Chem.* **2002** 67 (9), 3057-3064.
2. Meldal, M. and Diness, F., Recent, fascinating aspects of the CuAAC click reaction, *Trends in Chemistry (Cell Press)* **2020** 2 (6), 569-584.
3. Kolb, H.C., Finn, M.G. and Sharpless, K.B., Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001** 40, 2004-2021.
4. Meldal, M. and Christensen, S.F., Micro-Particle Matrix encoding of beads, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010** 49 (20), 3473-3476.
5. Hu, H.; Kofoed, C.; Li, M.; Gonçalves, J.; Hansen, J.; Diness, F.; Schoffelen, S.; Meldal, M., Betabodies: Computational evolution of beta-hairpin peptides with antibody-like properties, *ACS Cent. Sci.* **2019** 5 (2), 259-269.
6. Zhang, Y., Borch, L.A., Fischer, N.H., Meldal, M. Hydrodynamic Control of Alzheimer A β -Fibrillation with Glucosaminic Acid Containing Click-Cyclized β -bodies, *J. Am. Chem. Soc.* **2024** 146 (4), 2654-2662.
7. Wolfram, M., Tiwari, M. K., Hassenkam, T., Li M., Bjerrum, M.J., Meldal, M., Cascade autohydrolysis of Alzheimer's A β peptides, *Chemical Science* **2023** 14, 4986-4996.

DTU Biosustain og The Cultivated B indgår samarbejde om bioreaktortechnologi

I et skridt mod teknologisk fremskridt og brugercentreret innovation har The Cultivated B (TCB) og Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability (DTU Biosustain) ved Danmarks Tekniske Universitet indgået et Memorandum of Understanding. Samarbejdet har til formål at validere TCB's bioreaktortechnologi og etablere nye industristandarder inden for bioprocessing.

Det strategiske partnerskab vil prioritere at forbedre funktionaliteten og anvendeligheden af TCB's AUXO V-bioreaktorer gennem grundig brugertestning og -evaluering.

Resultaterne af dette samarbejde forventes at få en betydelig indvirkning på udviklingen af bioreaktortechnologi og forbedre skalerbarheden,

■ Om Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability

Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability, DTU, blev etableret i 2011 og er verdensførende i at levere bioteknologiske løsninger, der kan hjælpe med at løse de globale udfordringer og udnytte kraften i mikrobiel bioteknologi til at muliggøre den grønne omstilling. Forskerne på centret studerer, konstruerer og bruger mikrober til at muliggøre opdagelse, udvikling og produktion af molekyler, der tjener som erstatning for oliebaseerede produkter, samt nye forbindelser til materialer. Centret, der har base på Danmarks Tekniske Universitet (DTU), var ved oprettelsen det første tværfaglige forskningscenter inden for bæredygtighed.



effektiviteten og den miljømæssige bæredygtighed i bioproduktionsprocesser.

TCB og DTU Biosustain vil arbejde tæt sammen for at indarbejde brugerfeedback fra driftspersonale i pilotfaciliteterne, ph.d.-studerende, akademiske forskere og startups i deres udviklingsproces, hvilket understreger begge parter dedikation til brugercentreret design og ekspertise.

Samarbejde mellem den akademiske verden og industrien om bioreaktordesign skaber transformative fremskridt

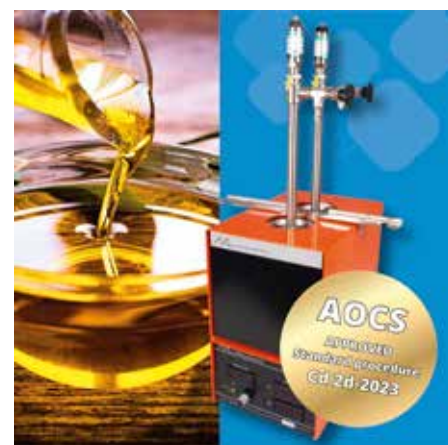
Når den akademiske verden og industrien går sammen om at fremme bioreaktordesign, bliver samarbejdet en stærk katalysator for innovation. DTU Biosustain-forskere trækker på årtiers kollektiv tværfaglig forskningserfaring inden for bæredygtighed og vil fungere som uafhængige bedømmere. Deres rolle indebærer evaluering af TCB's bioreaktors ydeevne på tværs af forskellige bioprocesser, indsamling af brugerfeedback og validering af resultaterne i forhold til etablerede markedsstandarder. TCB's hovedmål er at forbedre brugervenligheden og driftseffektiviteten af sin bioreaktorteknologi ved at udnytte indsigter fra praktiske brugererfaringer.

aktiviteten af sin bioreaktorteknologi ved at udnytte indsigter fra praktiske brugererfaringer.

- Vores samarbejde med DTU Biosustain afspejler vores dedikation til at flytte grænserne for bioteknologisk innovation ved at fokusere på håndgribelige fremskridt og praktisk implementering af brugerfeedback i udviklingscyklussen, siger Dr. Hamid Noori, CEO for The Cultivated B. I lighed med betatestning af software kan vi ved at samarbejde med et så erfarent team om denne detaljerede evaluering og feedback-loop sikre, at vores bioreaktorer ikke kun opfylder, men også foregriber og overgår brugernes skiftende behov.

- Vi ser frem til at samarbejde med The Cultivated B om at tage deres bioreaktorteknologi til det næste niveau til gavn for centrets forskning og for hele det bioteknologiske forsknings- og udviklingssamfund generelt. Samarbejde mellem den akademiske verden og industrien om design og drift af bioreaktorer fremskynder fremskridt, fremmer innovation og er til gavn for samfundet. Det kombinerer teoretisk ekspertise med praktisk indsigt, hvilket fremmer effektivitet, bæredygtighed og samfundsmæssig indflydelse, siger administrerende direktør for DTU Biosustain, Bo Skjold Larsen.

Kontakt: Katherina Killander,
katkil@biosustain.dtu.dk



AOCS-godkendt standard-procedure Cd-2d-2023

Mikrolab Aarhus A/S oplyser, at standardproceduren Cd 2d-2023 for accelereret oxidation test ved brug af Oxipres fra Mikrolab nu er blevet officielt godkendt og er tilgængelig for køb via AOCS' hjemmeside.

Accelereret oxidationstest er en kendt test inden for fødevarer- og foderbranchen til kvalitetskontrol af råvarer eller færdigvarer, med et højt indhold af umættede fedtsyrer. Med Oxipres kan man desuden estimere produktets holdbarhed markant hurtigere end ved sensorisk tekst.

Yderligere information:
Mikrolab Aarhus A/S, Brian Nyborg,
e-mail: bn@mikrolab.dk

Om The Cultivated B (TCB)

The Cultivated B er en multinational virksomhed, der er dedikeret til udvikling og anvendelse af banebrydende teknologier inden for cellulært landbrug, præcisionsfermentering og bioreaktorteknik for at muliggøre skalerbar kommercialisering af den cellulære landbrugsindustri. TCB betjener startups, virksomheder og akademiske forskningsinstitutioner inden for fødevarer-, pharma-, kosmetik- og personlig plejeindustrien med sine enestående evner. Virksomhedens grundlæggende engagement i at minimere de anvendte naturressourcer baner vejen for en bæredygtig fremtid, både lokalt, regionalt og globalt. TCB's forsknings- og udviklingsteam er baseret i Tyskland. PreFer Industries og n!Biomachines, der er baseret i Canada, er datterselskaber af TCB. For mere information, besøg <https://www.thecultivatedb.com> og følg virksomheden på LinkedIn.



HUSK

**Dansk Kemi
kan også
læses online**

Få besked hver gang
en ny udgave er
tilgængelig.

**Tilmeld dig på
[TechMedia.dk](https://www.techmedia.dk)**

Nyttig viden fra TechMedia

Datamangel hæmmer identifikation af hormonforstyrrende stoffer

Forskere fra DTU Fødevareinstituttet og Syddansk Universitet anbefaler, at informationskravene i EU-lovgivningen, REACH, opdateres.

Forskere fra DTU Fødevareinstituttet og Syddansk Universitet har for Miljøstyrelsen screenet den videnskabelige litteratur for at finde stoffer, som viser tegn på hormonforstyrrende egenskaber og derfor muligvis er skadelige for mennesker og/eller miljø. Resultaterne af undersøgelsen er publiceret i en ny rapport fra Center for Hormonforstyrrende Stoffer (CeHoS). I undersøgelsen har forskerne fundet en udbredt mangel på data, især når det gælder effekter i miljøet.

Data skal udnyttes optimalt

I EU er det højt prioriteret at minimere eksponering af mennesker og miljø for hormonforstyrrende stoffer. Data, som indberettes af virksomheder efter EU's lovgivning om industrikemikalier, REACH, indeholder dog sjældent information, som kan bruges til at vurdere, om stofferne er hormonforstyrrende i miljøet. For 70 procent af de mere end 26.000 industrikemikalier, der bruges i alle mulige forskellige produkter, er der heller ingen information, som kan bruges til at vurdere, om stofferne er hormonforstyrrende for mennesker.

Forskerne anbefaler derfor, at al tilgængelig information udnyttes bedst muligt ved hjælp af to tilgange:

1. Ved at vurdere stoffer, der ligner hinanden, som en samlet gruppe.
2. Ved at anvende viden om skadelige effekter på tværs af arter.

Ni stoffer med tegn på hormonforstyrrende egenskaber

Den nye undersøgelse bygger videre på en rapport fra CeHoS fra 2018, som udpegede en basisliste på 171 stoffer. I den nye undersøgelse bliver basislisten udvidet til 192 stoffer. De 192 stoffer bliver ved hjælp af en række udelukkelseskriterier filtreret til 97 fokusstoffer, hvoraf 10 er udvalgt til en litteraturscreening.

- I litteraturscreeningen finder vi tegn på hormonforstyrrende egenskaber for



Foto: Unsplash

ni ud af ti af stofferne. Spørgsmålet er, hvordan det ser ud for de resterende 87 fokusstoffer, siger Sofie Christiansen, seniorforsker ved DTU Fødevareinstituttet og medforfatter af rapporten.

Forskerne bag undersøgelsen understreger, at der kun er tale om en indledende screening af litteraturen, og at der er behov for en grundigere vurdering af de data, der foreligger, inden endelige konklusioner kan drages.

Viden på tværs af arter og gruppering af stoffer kan øge vores indsigt

Da manglen på data er så udbredt, skal de data, der foreligger for de enkelte kemikalier, udnyttes bedst muligt. Derfor sætter forskerne fra DTU Fødevareinstituttet og SDU fokus på, at vi bør bruge al viden, der eksisterer om stoffernes hormonforstyrrende egenskaber, uanset om det er mennesker, fisk, padder eller gnavere, der er undersøgt.

- Virkningerne i dyr og mennesker kan være forskellige, men de stammer fra den samme påvirkning af hormonsystemet, så de effekter vi for eksempel ser i fiskestudier, kan også være bekymrende for mennesker, siger Henrik Holbech,

lektor på Biologisk Institut på SDU og medforfatter af rapporten.

Ved brug af de nye tilgange undersøgte forskerne en gruppe af benzophenoner, som blandt andet anvendes som UV-filtre i kosmetik og solcremer. Forskerne lavede et såkaldt heatmap, der giver information om stoffernes potentielt hormonforstyrrende egenskaber på tværs af gruppen og på tværs af arter. Heatmappet kan både bruges til at vurdere, hvor der er behov for flere tests, og hvilke stoffer der ligner hinanden nok til, at de kan vurderes sammen.

- Ved at kigge på tværs når kemiske stoffer ligner hinanden og inkludere viden på tværs af arter, udnytter vi den tilgængelige information bedst muligt. Det er vigtigt, når vores undersøgelse samtidigt peger på, at der mangler viden om hormonforstyrrende egenskaber for langt de fleste stoffer omkring os, siger Marie Louise Holmer.

Kontakt:

Specialkonsulent Marie Louise Holmer:
mlou@food.dtu.dk

Seniorforsker Sofie Christiansen:
sochr@food.dtu.dk

Lektor Henrik Holbech:
hol@biology.sdu.dk

■ Center for Hormonforstyrrende Stoffer (CeHoS) er et center uden mure, som blev oprettet i 2008 for at opbygge viden om hormonforstyrrende stoffers effekter på mennesker og miljø, samt at vejlede myndighederne i deres forebyggende arbejde på området. Det er et samarbejde mellem Rigshospitalet, DTU og SDU. Med etableringen af centret er der bygget bro mellem forskningsmiljøerne og myndighederne, så nye forskningsresultater hurtigt kan blive omsat til viden.

Metanrenser til fjernelse af lavkoncentrations-metan

Ved brug af gasfasekemi har vi fundet en løsning, der kan være med til at nedbringe metanudledningerne fra punktkilder som stalde, rensningsanlæg og biogasanlæg.

Af Morten Krogsbøll¹,
Hugo S. Russell^{1,2} og
Matthew S. Johnson^{1,3}

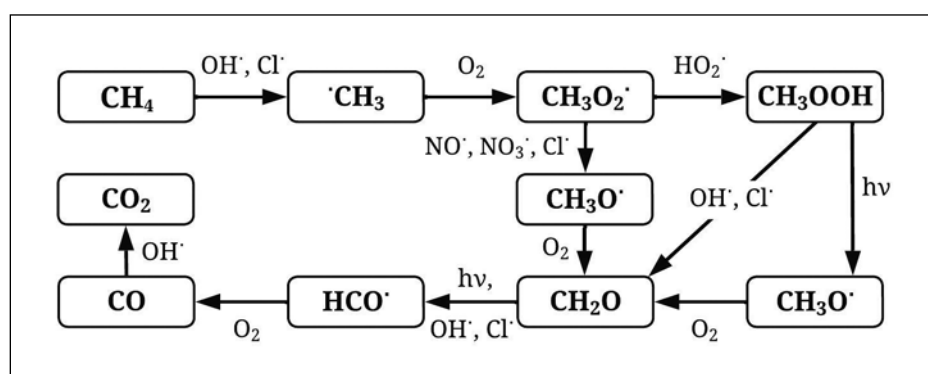
¹ Ambient Carbon ApS

² Institut for Miljøvidenskab
- mikrobiel økologi, Aarhus Universitet

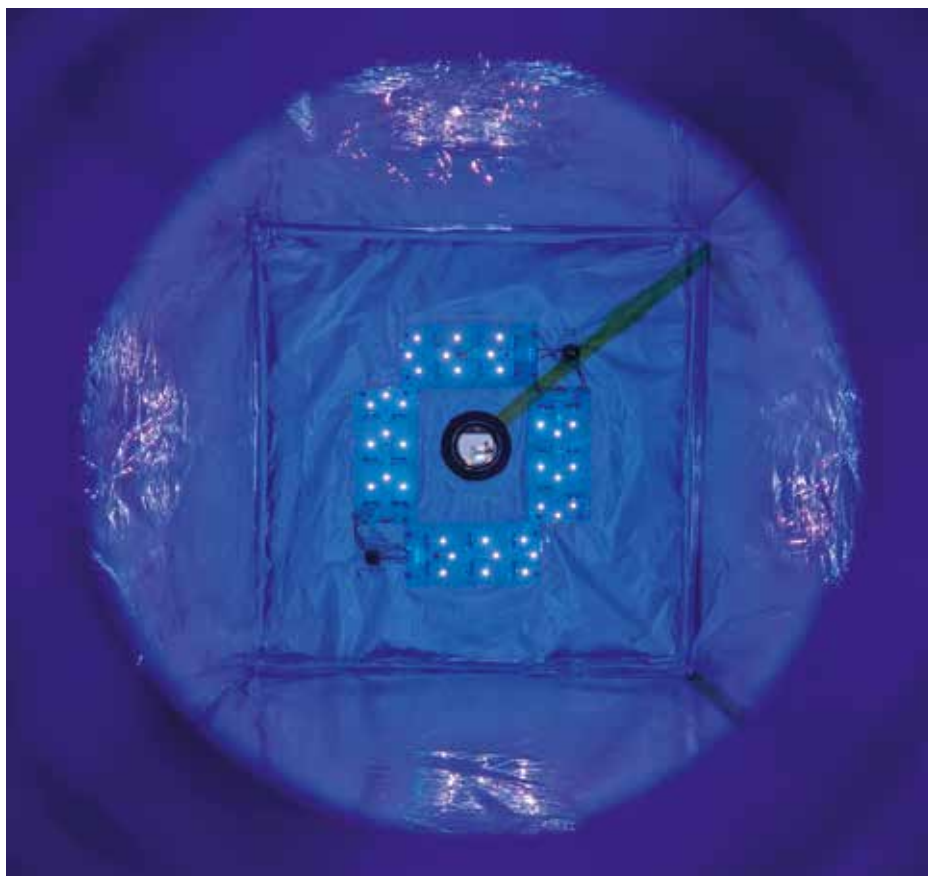
³ Kemisk Institut, København Universitet

Metankoncentrationen i atmosfæren er steget fra 730 ± 15 ppb [1] før den industrielle revolution til de nuværende 1.930 ppb [2], altså 2,5 gange så meget.

Globale metanudledninger har bidraget med 20-30 procent af den for-



Figur 2. Oxidationsskema for metan med tilføjelse af de reaktioner, klor bidrager til.



Figur 1. Indersiden af fotokammeret.

øgelse af temperaturen, vi har set siden præindustrielle temperaturer [3]. En ny metode er for nyligt blevet præsenteret, hvor man benytter reaktionen: $\text{Cl}^{\bullet} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HCl} + \text{CH}_3^{\bullet}$, til at oxidere metan. Reaktionen forekommer naturligt tæt på havoverfladen, hvor der er små mængder klor til stede grundet salt i vandet. Metoden har potentiale til at fjerne metanen fra mange punktkilder, der udleder metan ved forholdsvis lave koncentrationer, for eksempel stalde, rensningsanlæg eller biogasanlæg - kilder, hvor metanen er ved for lave koncentrationer til at kunne bruges til noget andet.

Hvordan virker det?

I en artikel udgivet i *Environmental Research Letters* (ERL) i december, præsenterede vi et system med navnet "Methane Eradication Photochemical System (MEPS)" [4]. MEPS gør brug af et 90 L fotokammer, hvori der bliver tilført en gasstrøm på 30 L/min., her blev der fjernet 58 procent af de 50 ppm metan, der var i gasstrømmen.

MEPS virker ved, at metan og klor bliver tilføjet til en gasstrøm i et mindre forkammer for at få stabile koncentrationer, inden det bliver ledt ind i reak-

tionskammeret. I reaktionskammeret bliver gassen belyst af LED-lys med en bølgelængde omkring 365 nm. 365 nm er inden for klors absorptionsspektrum, der gør, at kloren bliver fotolyseret til klorradikaler. Klorradikalerne kan så reagere med metanen og starte oxidationsprocessen, som ses i figur 2, side 27.

Både metan- og klorkoncentrationerne bliver målt både før og efter reaktionskammeret. Metanen bliver målt med en "Tunable Diode Laser Absorption Spectrometer" (TDLAS) fra Axetris. Kloren bliver målt med elektrokemiske sensorer (Membrapor Chlorine Gas Sensor Cl2/C-200). Både klor- og metanmålingerne bliver logget af et system fra Devlabs.

Hvad med klormetaner?

Der bliver holdt øje med mulighederne for produktion af klormetaner, der vil have en negativ effekt på klimaet. Vi har udarbejdet en model med fokus på udvikling af klormetaner, der viser, at disse ikke skulle blive produceret ved de forholdsvis lave klorkoncentrationer, vi bruger. Det har ligeledes ikke været muligt at detektere klormetan ved FTIR. Vi har for nyligt istandsat et samarbejde med Stanford University, hvor de vil kigge nærmere på andre potentielle biprodukter af reaktionerne.

Hvad er den nyeste udvikling?

Siden udgivelsen i ERL har vi udvidet størrelsen af systemet, så vi er gået fra 90 L til 250 L. Denne forøgelse har samtidig ført til en forbedret effektivitet fra 2,1 kWh/gCH₄ til 0,79 kWh/gCH₄, som ses i figur 3.

Den øgede effektivitet vil vi hovedsageligt tilskrive, at det øgede volumen giver en længere rækkevidde til fotonerne i reaktionskammeret. Vi mister fotoner hver gang, de skal reflektere på en side i kammeret, så et større kammer betyder flere fotoner absorberet af klor og færre absorberet af væggene i kammeret. Når flere fotoner bliver absorberet af klor, øges kvanteudbyttet. Kvanteudbyttet beskriver, hvor mange af de fotoner vi producerer, der fjerner ét metanmolekyle. Vi har set en forbedring fra 0,83 procent af fotonerne, der fjerner et metanmolekyle til 2,18 procent i vores seneste forsøg, som vist i figur 4.

Hvordan skal det implementeres i virkeligheden?

Det næste skridt bliver at udvide systemet til en prototype. Prototypen kommer til at blive bygget i containeren, der ses på figur 5. I prototypen bliver systemet udvidet, så det bliver testet på større

luftmængder, ligesom den skal testes på luft fra en stald. Containeren er sat op, så det er muligt at øge den mængde luft, vi behandler, i takt med at vi bliver klogere på, hvordan det skaleres.

Det er målet, at teknologien kan implementeres ved tilføjelse til eksisterende udluftning eller ventiler. I mange ko- og svinestalde er der allerede ventilation for at opretholde dyrevelfærd. Det kan ligeledes kobles til udluftningen fra rensningsanlæg eller biogas-anlæg. Afhængigt af de koncentrationer og mængden af luft, der skal behandles, kan systemet nemt ændres i størrelse, da det er lavet til at være modulært, bygget op af containere.

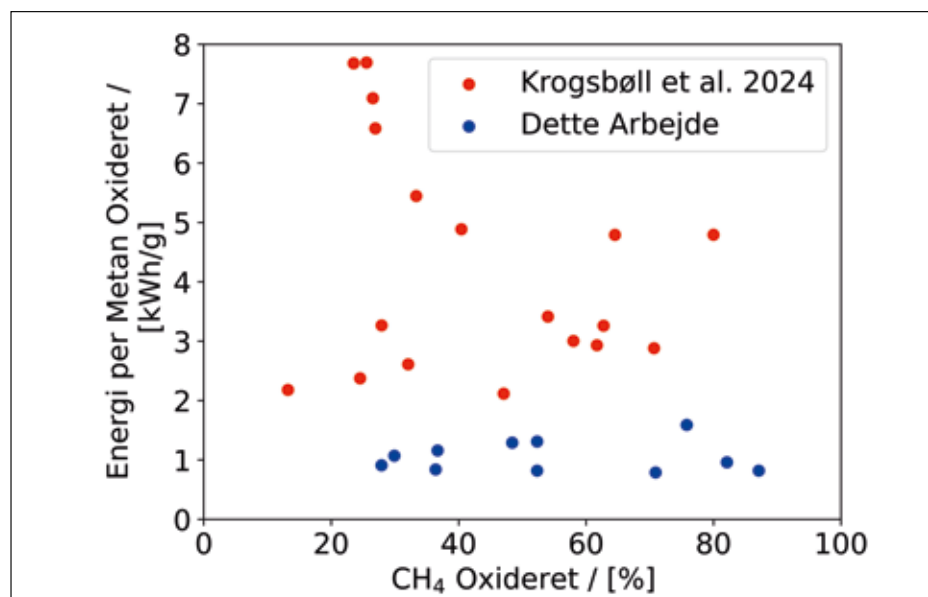
Ved at tilkoble MEPS til det eksisterende ventilationssystem, vil det være

muligt at holde implementeringsomkostninger nede og have den bedste overgang til en verden med færre metanudledninger.

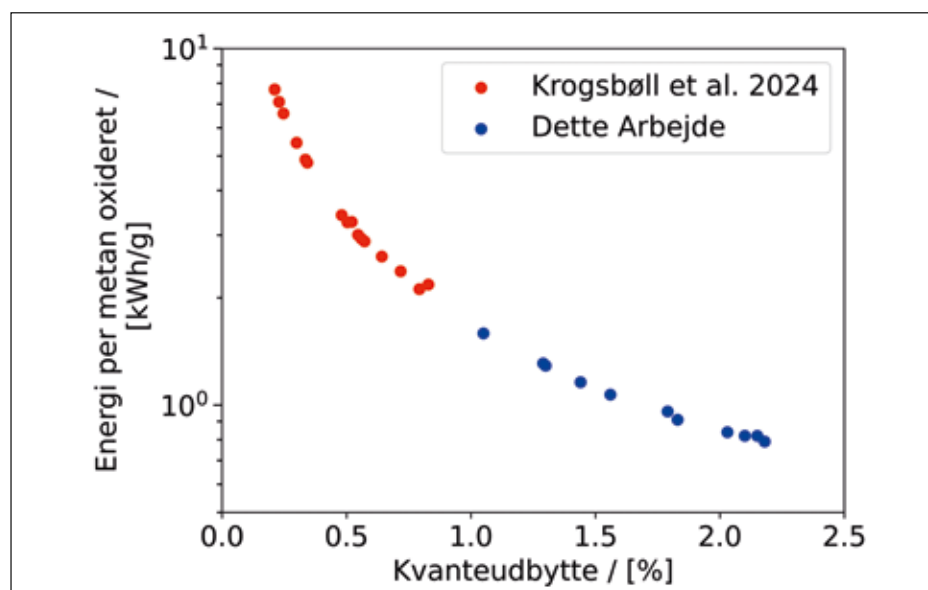
Hvordan kom nogen på den idé?

Idéen blev først udviklet af Matthew Johnson, Silvia Pugliese og Johan Schmidt på Københavns Universitet [5].

Teknikken blev første gang demonstreret af Polat et al. [6] til at fjerne metan i prøver fra iskerneboringer. Metan forstyrrede målinger af isotopspecifik N₂O, så klor blev brugt til at fjerne metanen, hvor det lykkedes at fjerne 97 procent og dermed undgå den interferens, så det var muligt at se de isotopspecifikke dele af



Figur 3. Energibehovet for MEPS sammenlignet med, hvor meget metan der bliver fjernet. Rød: Resultatet præsenteret af Krogshøj et. al 2024 [4]. Blå: Dette arbejde.



Figur 4. Energibehovet sammenlignet med kvanteudbyttet af fotoner.



Figur 5. MEPS prototypecontainer placeret ved H.C. Ørsted Institutet i København.

N₂O-målingerne.

Den seneste udvikling er kommet efter en bevilling fra Innovationsfonden til projektet PERMA som en del af AgriFoodTure, et samarbejde imellem Ambient Carbon, Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Arla og Skov. Målet med projektet er udvikling af teknologien til et niveau, hvor implementering er mulig.

E-mail:

Morten Krogsbøll:

Morten@ambientcarbon.com

Matthew S. Johnson: msj@chem.ku.dk

Referencer

1. Arias P.A., Bellouin N., Coppola E., Jones R.G., Krinner G., Marotzke J., Naik V., Palmer M.D., Plattner G.K., Rogelj J. et al. **2021** Technical Summary, IPCC AR6 WGI p. 69, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
2. Lan X., Thoning K.W., and Dlugokencky E.J.: **2024** Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2024-04, <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>.
3. Arias P.A., Bellouin N., Coppola E., Jones R.G., Krinner G., Marotzke J., Naik V., Palmer M.D., Plattner G.K., Rogelj J. et al. **2021** Technical Summary, IPCC AR6 WGI p. 92, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.

4. Krogsbøll M., Russell H.S., and Johnson M.S.: **2024** A high efficiency gas phase photoreactor for eradication of methane from low-concentration sources, *Environ. Res. Lett.* **19** 014017, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad0e33>.
5. Johnson M.S., Schmidt J.A. and Pugliese S., **2022** World Intellectual Property Organization, WO2022053603A1.
6. Polat M., Liisberg J.B., Krogsbøll M., Blunier T., and Johnson M.S.: **2021** Photochemical method for removing methane interference for improved gas analysis, *Atmos. Meas. Tech.*, **14**, 8041-8067, <https://doi.org/10.5194/amt-14-8041-2021>.

SIKKERHEDSFOKUS



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

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

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

ELEKTRONIK**FOKUS** EMBALLAGE**FOKUS** FOODPROCES**FOKUS** KEMIF**FOKUS**
KLIMA**FOKUS** HVAC**FOKUS** TEKNISK**FOKUS** FØDEVARE**FOKUS** ELF**FOKUS**

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

Annual meeting of the Danish chemical society

August 15th 2024

General session - Oticon hall, DTU

- 10.00-10.50 To be announced
- 11.00-11.40 **Prof. Jin-Chong Tan**, Professor of Engineering Science, Fellow of Balliol College, Department of Engineering Science, University of Oxford, UK
- 11.50-12.40 **Maksym V. Kovalenko**, Professor of inorganic chemistry, Functional Inorganic Materials group, ETH Zurich, Switzerland

Section for organic chemistry - S09, Meeting Center, DTU

- 14.10-14.35 **Thomas Poulsen**, Professor, Aarhus University, Denmark
- 14.40-15.05 **Mads Clausen**, Professor, DTU, Denmark

Coffee break and posters

- 15.30-15.55 **Emilie Lassen**, Industrial PhD, Novo Nordisk/DTU Chemistry, Denmark
- 16.00-16.40 **Peter Chen**, Professor, ETH Zurich, Switzerland
- 16.50-17.15 PhD prize winner 2023

Section for inorganic chemistry - S10, Meeting Center, DTU

- 14.10-14.40 **Maja A. Dunstan**, Postdoc, DTU, Denmark
- 14.40-15.10 **Joseph McPeak**, Specialkonsulent, DTU, Denmark

Coffee break and posters

- 15.40-16.10 **Sara López Paz**, Assistant Professor, KU, Denmark

Section for molecular spectroscopy - S02, Meeting Center, DTU

- 14.10-14.35 **Jeppe Kjædegaard Christensen**, PhD student, Aarhus University, Denmark
- 14.40-15.05 **Fábio Maia Neto**, Post Doc, Institut for Kemi, Aarhus University, Denmark

Coffee break and posters

- 15.30-15.55 **Casper Vindahl Jensen**, PhD student, KU, Denmark "Gas-Phase Equilibrium Constants of Methanol Dimer, Trimer and Tetramer by Infrared Spectroscopy"
- 16.00-16.30 **Poul Erik Hansen**, Prof. emeritus, Department of Science and Environment, RUC, Denmark "A multitool approach to the study of hydrogen bonding or tautomerism in the liquid and solid state studied by NMR, X-ray and DFT calculations"



KEMISK FORENING

Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

www.chemsoc.dk

The Danish Chemical Society
Founded 1879

Section for history of chemistry - S04, Meeting Center, DTU

- 14.10-14.40 **Børge Riis Larsen**, Lektor, Slagelse Gymnasium, Denmark "Fra Havrebjerg til Carlsberg. Om S.P.L. Sørensen og pH".
- 14.40-15.10 **Jens Ulstrup**, Prof. emeritus, DTU, Denmark "Acids, bases, and acid/base catalysis one hundred years - The Brønsted-Lowry concept from < 1923 and onwards".

Coffee break and posters

- 15.30-16.00 **Ture Damhus**, Senior Scientist, Novozymes, **Asbjørn Petersen**, Lecturer, Enghøj Gymnasium, "Ole Bostrup - historisk kemiker, gymnasieinspektør, lærebogsforfatter og redaktør af Kemiske Småforsøg i 3 årtier".

Section for theoretical chemistry - S04, Meeting Center, DTU

- 16.15-16.40 **Kasper Tolborg**, Assist. Professor, AAU, Denmark
- 16.40-17.10 **Karl Michael Ziems**, Postdoc, DTU, Denmark
- 17.10-17.40 **Andreas Erbs Hillers-Bendtsen**, Postdoc, KU, Denmark

Section for medicinal chemistry and chemical biology - M2, Meeting Center, DTU

- 14.10-14.40 **Jacob Kofoed**, Principal Scientist, Novo Nordisk Research Chemistry, Denmark "Oral Administration of Novel GLP-1 Analogues"
- 14.45-15.15 **Matthias Herth**, Professor, KU, Denmark "In vivo Pretargeted Imaging and Therapy - Applied Bioorthogonal Chemistry"

Coffee break and posters

- 15.35-16.15 **Stefan Vogel**, Associate Professor, SDU, Denmark "Lipidated Oligonucleotides and Lipid nanoparticle delivery"

Dansk Selskab for Historisk Kemi sælger ved årsmødet deres skriftserie til fordelagtige årsmødepriser.

Se titler på https://www.historisk-kemi.dk/?page_id=2.

Sommerudflugt

Dansk Selskab for Historisk Kemi inviterer medlemmer med ledsager til årets sommerudflugt, der går til *Hauchs Physiske Cabinet* i Sorø **lørdag den 28. september 2024** om formiddagen. Detaljer oplyses senere på selskabets hjemmeside (www.historisk-kemi.dk) og i augustnummeret af *Dansk Kemi*.

Besøget vil omfatte en omvisning i de kemirelaterede dele af samlingen, hvorefter deltagerne frit kan bese de øvrige dele af samlingen.

Traditionelt afsluttes Selskabets sommerudflugt med et besøg på et lokalt spisested. Det vil nok også ske denne gang.

Hauchs Physiske Cabinet indeholder fysiske og kemiske instrumenter fra tiden omkring 1800. Det er en af Europas største samlinger af sin art.

Bestyrelsen



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



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



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



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

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

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

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

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

