

# Aktuel NATURVIDENSKAB

6 | DECEMBER | 2014

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

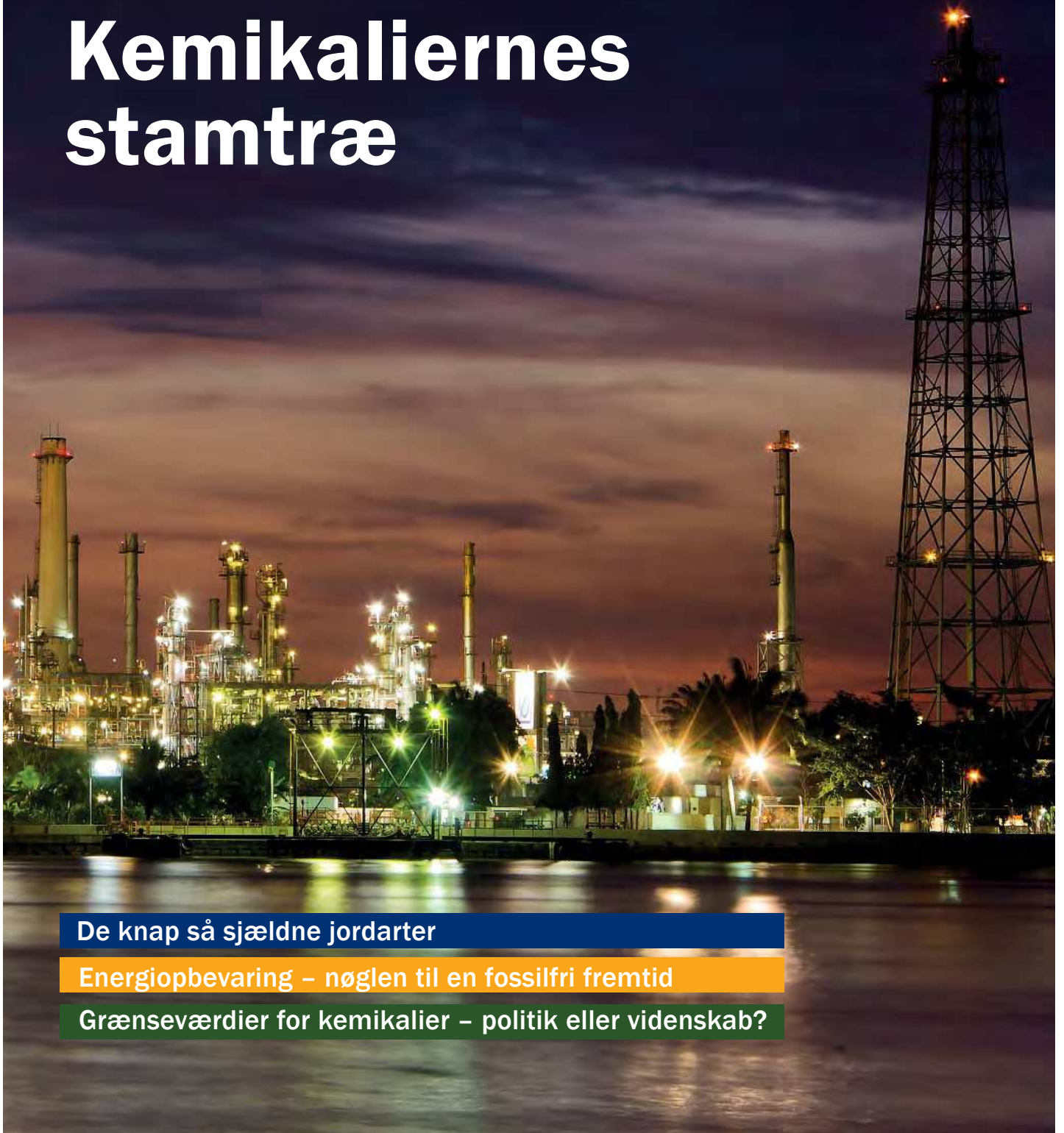
Pris kr. 50,00

## Kemikaliernes stamtræ

De knap så sjældne jordarter

Energiopbevaring – nøglen til en fossilfri fremtid

Grænseværdier for kemikalier – politik eller videnskab?



# Hype-indekset

**På trods af bred kritik er det personlige H-indeks blevet voldsomt afgørende for en forskers muligheder. Indekset er baseret på antallet af citationer af de publicerede artikler. Men giver det mening?**



Af Dean Jacobsen, lektor, ph.d. ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Biologisk institut, Københavns Universitet  
Djacobsen@bio.ku.dk

Nej, H'et står ikke for "hype", heller ikke for "hysteri", eller for "hyppede kartofler"-indeks. H'et er en forkortelse af Hirsch, efternavnet på den fysiker, der i 2005 lancerede indekset. H-indekset angiver antallet af publikationer, man har været medforfatter på med ligeså mange eller flere citationer. Altså, har man fx et H-indeks på 11, betyder det, at man har været medforfatter på 11 artikler, der alle har mindst 11 citationer. Da indekset er baseret på summen af citationer gennem tiden, er det afhængig af "forskeralder" – det kan kun stige eller stagnere, selv ved ophørt produktion. Omvendt har det den egenskab, at en produktionsmæssig svag periode i en forskers liv i princippet er uoprettelig. Det svarer til, at straffeattesten hos politiet aldrig bliver slettet.

Allerede her vil mange læsere måske tænke: "Åh nej, ikke endnu en problematisering af H-indekset. Selv på Wikipedia er der en lang liste med velkendte kritikpunkter og alternativer"! Ja, men H-indeksets betydning for forskningsbevillinger, ansættelser og fyringer har vist aldrig været større. Forklaringen er formentlig flersidig. Dels har indekset været belejligt for "bureaukratiske typer", der gerne vil have enkle metoder til at bedømme forskere på, dels angiver de fleste forskere det nu som en selvfølgelig information i CV'et. Derudover holder forskerne gryden i kog på grund af en udbredt konkurrenceånd.

### Videnskabelige citationer og YouTube-visninger

Den mest kritiserede egenskab ved indekset er, at det ikke tager højde for personligt bidrag til de citerede artikler, altså for det reelt udførte arbejde. Man kan med fordel generere et flot H-indeks uden at have skrevet ret meget selv, men i stedet gøre sig populær i mange og store forskergrupper, der kaster medforfatterskaber af sig. Der er altså i høj grad tale om et "netværks-indeks" eller "guttermands-indeks". En anden fin strategi til at puste sit H-indeks op er at skrive brede artikler. Det er imidlertid den helt grundliggende logik i brugen af citationer som faktor, jeg vil diskutere her.

Da H-indekset er baseret på det samlede antal citationer, er det et mål for andres interesse for de publicerede artikler, altså en form for "impact" af egen og medforfatteres arbejde. Det antages implicit samtidig at udtrykke produktivitet og kvalitet. Men det svarer faktisk til at vurdere musi-

kals kvalitet på baggrund af antallet af visninger på YouTube. Fx har den mest sete video med Richard Ragnvald, hvor han synger *Kære lille mormor*, pt ca. 125.000 visninger, mens Savage Roses *What do you do now* pt har ca. det halve med 68.000 visninger (de omtalte videoer er uploadet ca. samtidig). Tænk hvis man fordelte statslige kulturstøttemidler efter antallet af visninger på YouTube! Jeg kan tilføje, at Miley Cyrus' *Wrecking Ball* pt har 719.000.000 visninger, en af de mest sete musikvideoer nogensinde. Den er bestemt seværdig (af flere årsager), men selv om den her og nu genererer stor interesse, tror jeg ikke den vil afstedkomme et musikalsk paradigmeskift. Samtidig medfører en spirende interesse for noget ofte positiv feedback, således at antal af visninger pludselig følger en kædereaktion.

Ligeledes er det med antallet af videnskabelige citationer: De måler også kun den tidligere og aktuelle interesse, en artikel har tiltrukket sig. Og kom ikke og sig, at der ikke er mode i videnskaben, eller at seriøse forskere er hævet over den. En eventuel fremtidig betydning (efter forfatteren er blevet pensioneret eller død) kan selvsagt ikke måles og bliver således irrelevant. Det er en her-og-nu "hype-impact", der kvantificeres.

### Tilbage til en nuanceret bedømmelse

Ligesom sælgeren i en butikskæde for hårde hvidevarer bliver bedømt på, hvor mange køleskabe og mikrobølgeovne, han sælger, så skal en forsker også bedømmes på, og evt. have bevillinger efter, om han, imod al forventning, laver noget, og om det giver mening for andre end ham selv. Fair nok! Men at gøre det på baggrund af ét tal, og så H-indekset – det er simpelthen evnesvagt. For nogle forekommer det fikst at rangordne forskere på denne måde. Imidlertid vil intet enkelt indeks kunne udtrykke kvantitet og kvalitet i videnskabelig produktion på en bare tilnærmelsesvis fornuftig facon. Den voldsomme fokus på forskeres H-indeks er ikke blot ligegyldig, den er direkte skadelig ved at overblænde en mere nuanceret vurdering af forskeres virke og ved at være adfærdsregulerende til skade for forskningen. Det er opmuntrende, at mange af selv de mest succesfulde forskere, altså dem med de højeste H-indeks, også signalerer, at nu må dette tossede H-indeks-hysteri stoppe. Det var rigtig sjovt for en tid, men nu må vi se at komme videre! ■

## 8 De knap så sjældne jordarter

57	58	59	60	61	62	63	64	65
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tm
89	90	91	92	93	94	95	96	97
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk

Gruppen af grundstoffer i det periodiske system, der kaldes de sjældne jordarter, er uundværlige i det moderne samfund. På trods af, at de bruges i et hav af teknologiske produkter, er der stadig meget kemikere ikke ved om disse fascinerende grundstoffer, der slet ikke er så sjældne som navnet antyder.

## 14 Kemikaliernes stamtræ

Alle ved, at den moderne verden er afhængig af olie som brændstof. Men olie er samtidig råstoffet, som hele den kemiske industri bygger på. Olie er således udgangspunktet for en perlerække af produkter fra kunststoffer til LCD-displays og lægemidler.



# Indhold

## FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
De knap så sjældne jordarter.....	8
Kemikaliernes stamtræ.....	14
Energiopbevaring – nøglen til en fossilfri fremtid....	20
Hvad vil vi acceptere af kemikalier i drikkevand og fødevarer?.....	26
Værdifulde alger.....	32
Vejen til et bæredygtigt samfund.....	38
Prisværdige algoritmer.....	43

## PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Hype-indekset.....	2
Fremtidsteknologi (ud)danner mennesker.....	44
Enhed gør stærk!.....	48
Bagsiden: Tusindben-bolognese.....	52



## 26

### Hvad vil vi acceptere af kemikalier i drikkevand og fødevarer?

Verden omkring os, vores mad og vi selv består af kemikalier. Nogle af disse kemikalier er reguleret af lovgivningen, andre er ikke, og baggrunden for dette virker ikke altid helt logisk. Professor Nina Cedergren efterlyser en mere saglig debat om, hvad vi vil acceptere af kemikalier i fx vore fødevarer og drikkevand.

## Brændselsceller kigges i kortene



Foto: DTU og Sees Media

Rasmus Rode Mosbæk ved sit udstyr.

I takt med at kvaliteten og levetiden af keramiske brændselsceller nærmer sig et kommercielt niveau, stiger interessen for nye og hurtigere metoder til at definere helbredstilstanden på stakke af brændselsceller.

Ph.d.-studerende Rasmus Rode Mosbæk på DTU Energi har udviklet nyt måleudstyr og nye målemetoder til at måle impedans (dvs. den frekvensafhængige elektriske modstand) i brændselsceller, så det nu er muligt at måle på både individuelle og hele stakke af brændselsceller på én gang og få markant bedre data. Det nye udstyr og målemetoden blev præsenteret ved brændselscellebranchens konference, Euro-

pean SOFC and SOE Forum i Lucerne, Schweiz, og vakte stor opmærksomhed hos såvel forskere som stakproducenter fra hele verden, der alle kan se metodens og udstyrets store potentiale indenfor branchen. Tidligere har måleudstyr kun kunnet måle på en celle ad gangen, og cellen skulle helst ikke være for stor. Nu har han gjort det muligt at måle på 90 cm<sup>2</sup> celler, hvor man før målte på 16 cm<sup>2</sup> og helst på 1 cm<sup>2</sup> celler.

I samarbejde med en kollega har han derudover udviklet databehandlingsprogrammer, der er i stand til at håndtere de enorme mængder af data, der pludselig bliver til rådighed for forskerne.

»Det drejer sig i bund og grund om bedre udstyr og ændret målegeometri«, siger Rasmus Rode Mosbæk. Udover at optimere målemetoden har det nye måle-set-up også formindsket måletiden.

»Tidligere tog det 13 timer at måle på alle cellerne i en stak, fordi man målte på en celle ad gangen. Det har afholdt nogen fra at teste alle cellerne og i stedet kun teste tre-fire celler. Med det nye måleudstyr kan jeg måle 16 celler og hele stakken samtidig, dvs. 17 målinger på en halv time«, siger Rasmus Rode Mosbæk.

Ud over de indlysende fordele rent ressourcemæssigt, åbner det markant lavere tidsforbrug også for mere præcise måledata, idet temperatur og mængden af brændstof varierer mindre på en halv end på 13 timer. Det tog Rasmus Rode Mosbæk over tre år og adskillige forsøgspstillinger at udvikle testudstyret, der indtil videre kun findes i en enkel testopstilling på DTU Energi.

Kasper Hagen Skovse, DTU Energi

## Fremtidens grise skal spise natur- og biogas

Ca. 40 procent af verdens areal bliver i dag opdyrket – og tallet stiger. Det giver en kæmpe udfordring for miljøet, da omlægningen af natur til landbrug allerede nu står for 10 procent af verdens samlede CO<sub>2</sub>-udledning. Derfor er det vigtigt at finde alternative foderprodukter, så vi ikke er nødt til at bruge jorden som foderkammer til dyr. Denne udfordring har forskere fra bl.a. Syddansk Universitet taget op ved at finde nye former for foder til grise. Målet er at udskifte grisenes traditionelle menu, der består af sojamel, rapsfrømel og solsikkemel, med proteiner fra naturgas eller biogas.

Forskerne bruger en metan-spisende bakterie, *Methylococcus capsulatus*, som de fodrer med metan fra naturgas eller biogas. Efter gæring og tørring høster forskerne bakterierne. Udfordringen er nu, om bakterien har udviklet de livsnødvendige aminosyrer, som i sidste ende er afgørende for grisenes udbytte af foderet.

»Lige nu kigger vi på proteinet med naturgas som råmateriale, men råmaterialet kan også være biometan fra biogas. Det er jo et fantastisk perspektiv. Ringen ville være sluttet, hvis gyllen i biogasanlægget i sidste ende ender med at blive spist af grisene«, siger adjunkt Lorie Hamelin fra Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi på Syddansk Universitet.



Foto: Colourbox.

Sammen med sine kolleger skal hun til at lave en livscyklusanalyse for at fastlægge, hvor gavnligt et grisefoderprotein fra naturgas vil være for miljøet. De ser på forskellige scenarier, som følger grisen fra jord til bord. Eksempelvis undersøger forskerne, hvordan produktionen af grise påvirker miljøet, når de spiser sojabaserede proteiner i forhold til, hvis grisene spiste proteiner fra naturgas eller biogas.

Projektet er et samarbejde mellem virksomheden UniBio A/S, DTU, Syddansk Universitet, Aarhus Universitet og Vestjyllands Andel.

Af Mette Christina Møller Andersen, Kommunikationsmedarbejder, SDU

# Maskinerne kan bruge det gamle mobilnet

Det aldrende GSM-mobilnet kan gå en spændende pensionisttid i møde som leverandør af beskeder fra intelligente apparater og smarte målere. Det mener netværksforskere på Aalborg Universitet, som har fået global opmærksomhed for forslaget.

GSM-standarden blev udviklet på europæisk initiativ i 1980'erne, og den kommercielle drift i Danmark begyndte i 1992. Antallet af GSM-brugere passerede to milliarder i 2006 og tre milliarder i 2008. Men i takt med at afløserne 3G og 4G er blevet rullet ud, er selskaber og myndigheder flere steder i verden begyndt at overveje at slukke for GSM og bruge frekvenserne til noget andet.

Det vil dog være dumt, lyder advarslen fra forskerne fra Aalborg Universitet. Kommunikation fra maskine-til-maskine (M2M) vokser eksplosivt de kommende år. Ifølge prognoser vil der i 2020 være over 50 milliarder trådløse enheder med behov for kommunikation til forbrugsmåling og kon-

trol af boliger, industri, e-sundhed og en hel masse andet. GSM er interessant i den sammenhæng, fordi teknologien netop er meget moden, og dækningen er god og pålidelig. Til gengæld falder GSM igennem i løsninger, hvor der er krav om høj hastighed eller lav forsinkelsestid, men der har vi 3G, 4G og i fremtiden også 5G.

Et af argumenterne for at lukke GSM-nettet er, at der er brug for dets reserverede del af radiofrekvensbåndet til de nye generationers netværk. Men forskerne i Aalborg vurderer, at GSM kan ændres, så det i stedet bruger frekvenserne dynamisk i stil med den måde, trådløs WiFi-teknologi fungerer på.

Forslaget om at holde liv i GSM-nettet udspringer af forskning, som er støttet af Det Frie Forskningsråd.

*Carsten Nielsen, Videnskabsjournalist, Aalborg Universitet*

Kilde: Reengineering GSM/GPRS Towards a Dedicated Network for Massive Smart Metering af Germán Corrales Madueño, Cedomir Stefanovic og Petar Popovski fra Institut for Elektroniske Systemer.



Foto: Colourbox

## Hvilken Higgs?

Begejstringen var stor, da forskere tilknyttet det fælleseuropæiske partikelfysiklaboratorium CERN sidste år kunne annoncere, at man nu endegyldigt havde målt den længe søgte Higgs-partikel. Eller sådan blev nyheden i hvert fald udlagt i verdenspressen.

Fysikere er enige om, at man fandt en ny partikel, som man ikke har set før. Og mange data indikerer, at det var den berømte Higgs-partikel i Standard Modellen for elementarpartikler, der blev opdaget i CERNs partikelaccelerator LHC. Men det er ikke sikkert, at det er netop Higgs-partiklen, mener et internationalt forskerhold, bestående af bl.a. Mads Toudal Frandsen, der er lektor ved Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci på Syddansk Universitet.

»Vi har analyseret de data, som viser eksistensen af en ny partikel, og som almindeligvis tages som bevis for, at det er Higgs-partiklen fra Standard Modellen, der er fundet. Det er rigtigt, at vi ville se de data, hvis Higgs-partiklen findes. Men vi ville også kunne få disse data fra andre partikler«, forklarer Mads Toudal Frandsen.

Forskernes gennemgang afliver ikke muligheden for, at CERN har opdaget Higgs-partiklen.



Illustration: CERN

Var det nu også den klassiske Higgs-partikel, som forskere ved CERN målte sidste år? Illustrationen er simulerede data fra CMS-detektoren, der viser en "Higgs-begivenhed".

Det er stadig sandsynligt – men det er også sandsynligt, at der er tale om en anden partikel.

»Det kan være en såkaldt Techni-Higgs-partikel. Den minder på nogle måder om Higgs-partiklen – deraf halvdelen af navnet«. Selvom Techni-Higgs-partiklen og Higgs-partiklen umiddelbart kan forveksles i eksperimenter, er der tale om to forskellige partikler, som tilhører to helt forskellige teorier for, hvordan universet er skruet sammen.

Higgs-partiklen er den manglende brik i den teori, der kaldes Standard Modellen og som beskriver de kendte elementarpartikler og deres vekselvirkninger. Men den kan fx ikke forklare, hvad mørkt stof er.

En Techni-Higgs-partikel er en helt anden stør-

relse, hvis den findes:

»En Techni-Higgs-partikel er ikke en elementarpartikel. I stedet består den af såkaldte techni-kvarker, som vi mener er elementære. Techni-kvarker kan binde sig sammen på forskellige måder og danne fx Techni-Higgs-partikler, men andre kombinationer kan fx udgøre det mørke stof.«

Den sammensatte Techni-Higgs partikel er ifølge Mads Toudal Frandsen en matematisk langt mere tilfredsstillende forklaring af Higgs-mekanismen end den elementære Higgs-partikel. »Men det er naturligvis en delvis subjektiv vurdering«, tilføjer han.

*Birgitte Svennevig, kom.-medarbejder, SDU.*

*Kilde: Phys. Rev. D 90, 035012, 2014.*

## Forskere laver ny type is

Når vand fryser, bliver det til is, og så er den potte ude, skulle man mene. Men is er ikke bare is. For nylig kunne tyske forskere i tidskriftet *Nature* rapportere, at de har produceret en ny type, kaldet is-XVI. Man kender nu 17 forskellige faser af is, hvor den nye fase, som forskerne fra universitetet i Göttingen og Institut Laue Langevin har lavet, har den hidtil laveste massefylde. Den nye is har en burlignende struktur, hvori andre molekyler kan være indespærret. Sådanne is-strukturer er kendt som klatrater, og de vides at binde enorme mængder methan og andre gasser i områder med permafrost såvel som i tykke lag af sedimenter på havbunden.

Forskernes nye klatrat er specielt ved, at det er lykkedes dem at "tømme" det for indespærrede molekyler, så kun den skrøbelige isstruktur står tilbage. Det har de opnået ved at danne et klatrat fyldt med neongas, som de efterfølgende fjernede igen ved forsigtigt at udsætte strukturen for vakuum ved lave temperaturer.

At det er lykkedes forskerne at skabe et tomt klatrat giver nu mulighed for at udforske denne type struktur i langt større detalje. Klatrater har også stor økonomisk betyd-

ning i den forstand, at de kan dannes i rørledninger, hvor gas transporteres ved højt tryk og lav temperatur. Det kan føre til blokering af rørene,

hvilket er anslået at koste flere milliarder kr. årligt at forebygge.

CRK, Kilde: *Nature* 14014, DOI: 10.1038

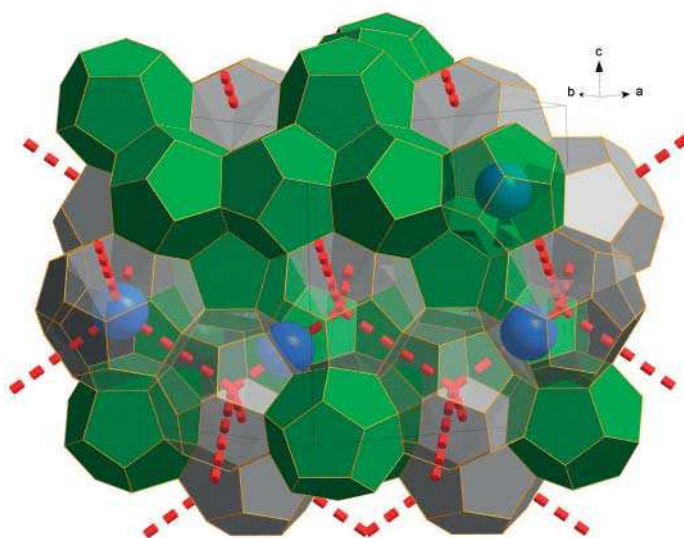


Illustration: Nature and Falenty et al

Grå og grønne figurer repræsenterer hhv. store og små bure i forskernes klatrat. I de store bure er vandatomerne arrangeret således, at de danner både femkantede og sekskantede "facetter", og neonatomer kan let passere gennem de sekskantede ringe af vand (vist med rød stiplede linje). At fjerne neonatomer fra de små bure kræver, at der mangler et vandmolekyle, så der populært sagt er "hul" i buret.

## Plastikædende bakterier

Vi mennesker producerer store mængder plastik-affald hver eneste dag. Som affald er plastik desværre langtidsholdbart, hvorfor det hober sig op i naturen og i verdenshavene. Fx har man længe anset den mest udbredte type plastik, polyethylen, for ikke at være bionedbrydeligt, om end der i litteraturen findes spredte beskrivelser af, at visse bakteriekulturer i et vist omfang kan nedbryde polyethylen.

Nu har kinesiske forskere beskrevet, at larverne (kaldet voksorm) fra en bestemt type møl, er i stand til at æde polyethylen-film (som vi kender det fra almindelig køkkenfilm til at pakke madvarer ind i). Ved at studere larverne nærmere fandt forskerne i larvernes tarmsystem mindst to stammer af bakterier, som er i stand til at nedbryde polyethylen uden forudgående behandling af plastikken.

Det peger på, at der faktisk kan finde en bionedbrydning af polyethylen sted i naturen, og at det måske kan udnyttes til at udvikle metoder, der kan hjælpe os med at komme af med plastikaffald på en bæredygtig måde. Der produceres på verdensplan årligt ca. 140 millioner tons polyethylen, så der er nok at tage fat på for de sultne plastikædende bakterier.

CRK, Kilder: *Sciencedaily.com* og *Environmental Science & Technology*, 2014; 48 (23).



Foto: American Chemical Society

De plastikædende "voksorm" har bakterier i deres tarmssystem, der kan nedbryde polyethylen.

## Den enes død...

Da dinosaurerne forsvandt, kunne pattedyrene endelig komme til og udvikle sig til den dominerende dyregruppe på jorden. Nogenlunde sådan lyder den klassiske fortælling om den store katastrofe – formentlig et meteoritnedslag – der ramte Jorden for 66 millioner år siden og som udryddede en meget stor del af livet på jorden.

I en ny review-artikel i tidsskriftet *Zookeys* viser Thomas E. Williamson fra New Mexico Museum of Natural History og kolleger, at pattedyrene har deres egen lidelseshistorie på Kridt-Palæogen-grænsen, som tidspunktet for den store katastrofe formelt kaldes.

Gennem kridttiden var metatherier (uddøde slægtninge til nutidens pungdyr) en udbredt og divers gruppe pattedyr. Netop metatherierne blev hårdt ramt af katastrofen – fx ser man et fald i antallet af fossile arter af metatherier fra 11 til 1 hen over grænsen i de berømte aflejringer ved Hell Creek i Nordamerika. Det lykkedes aldrig denne gruppe af pattedyr at genvinde fordums udbredelse og diversitet efter katastrofen. Derfor er pungdyr i dag forholdsvis sjældne og begrænset til mere usædvanlige miljøer i Australien og Sydamerika. Til gengæld udnyttede de placentale pattedyr (som i modsætning til pungdyrene føder fuldt udviklede unger) mulighederne og spredte sig som den dominerende



De fossile rester af en metaterie (*Asiatherium reshetovi*). Skalaen er 1 cm.

Foto: Dr. Thomas Williamson

pattedyrgruppe på jorden. På den måde kan metatherierne skæbne lige så vel som dinosaurernes forsvinden anses som en af de "heldige" begivenheder i det store evolutionære lotteri, der har ført til udvikling af mennesket som en dominerende art på Jorden.

CRK, Kilde: *ZooKeys* 465: 1-76

## Hvordan Grønland fik sin is

Mens der har været megen opmærksomhed om den smeltende is på Grønland de senere år, er der nok knap så mange, der har spekuleret over de geologiske processer, som i første omgang har gjort Grønland til et yderst is-rigt land. Men det har Bernhard Steinberger og kolleger fra Deutsches GeoForschungsZentrum i Potsdam nu undersøgt nærmere.

For omkring 5 millioner år siden begyndte istider at præge den nordlige halvkugle med Grønland som en slags "pioner" i forhold til andre nordlige egne. Ifølge forskerne har der været tre afgørende processer på spil, der har understøttet opbygningen af en iskappe på Grønland.

Den første proces er serier af opstigende magma fra jordens kappe, der i første omgang for omkring 60 millioner år siden regionalt gjorde jordskorpen tyndere. Senere pulser af opstigende magma førte til en hævnning af dele af det østlige Grønland (som specielt gik hurtigt for omkring 5 mio. år siden) til mere end 3 km over havniveau. Som den anden proces viser modeller af fortidens pladetektonik en nordgående bevægelse af Grønland på 6° i forhold til den underliggende kappe. Og som den tredje proces har en nordlig rotation af hele kappen og jordskorpen mod polen forskubbet Grønland yderligere 12° mod nord. Tilsammen har disse storskala-processer gjort, at Grønland har fået en geografisk placering og højde over havet, så sne har kunnet akku-



Processer dybt i jordens inde har gjort Grønland til et isrigt land.

Foto: Colourbox

mulere i Grønland året rundt og opbygge en iskappe. Det understreger, hvordan processer dybt i jordens indre driver klimændringer på den helt lange bane.

CRK, Terra Nova <http://doi.org/w8q> (2014)

# De knap så sjældne jordarter

Gruppen af grundstoffer i det periodiske system, der kaldes de sjældne jordarter, er uundværlige i det moderne samfund. På trods af, at de bruges i et hav af teknologiske produkter, er der stadig meget kemikerne ikke ved om disse fascinerende grundstoffer, der slet ikke er så sjældne som navnet antyder.

## Forfatter



Thomas Just Sørensen er lektor ved Nano-Science Center & Kemisk Institut Københavns Universitet [tjs@chem.ku.dk](mailto:tjs@chem.ku.dk)

Det periodiske system er en af de mest fantastiske opdagelser fra det 18. århundrede. Det beskriver ikke kun den tilstand, man finder de rene grundstoffer i, men også den måde de kan udnyttes i materialer og omdannes til nyttige stoffer og legeringer. Det periodiske system går endnu videre og beskriver opbygningen af de enkelte grundstoffer, og hvordan elektronerne i de enkelte atomer opfører sig. Ud fra det periodiske system kan man forudsige, hvilke grundstoffer der kan eksistere, og derfor kender vi i dag til 118 grundstoffer. Generelt har vi styr på de kemiske egenskaber af de grundstoffer, der findes naturligt på vores planet. Der er dog en undtagelse: Den gruppe af grundstoffer, der

oftest vises i to rækker under det periodiske system, og som kaldes de sjældne jordarter. Selvom de på mange måder danner grundlaget for vores moderne samfund, er der stadig mange aspekter af disse grundstoffers kemi, som vi ikke forstår.

## De sjældne jordarter – ukendt land

De sjældne jordarter deles op i to grupper. Den ene gruppe (der står øverst) kaldes lanthaniderne efter rækkens første grundstof lanthan, mens den anden gruppe kaldes actiniderne efter actinium. Af actiniderne findes kun to naturligt: uran og thorium, og de er radioaktive. Normalt forbinder vi disse grundstoffer med atomkraft og bomber. Dog laves

## Det periodiske system over grundstofferne

IA		IIA												IIIA		IVA	VA	VIA		VIIA	VIIIA																		
1	H	2	He											3	B	4	C	5	N	6	O	7	F	8	Ne														
3	Li	4	Be											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar														
11	Na	12	Mg	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe				
55	Cs	56	Ba	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn						
87	Fr	88	Ra	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Uut	114	Uuq	115	Uup	116	Uuh	117	Uus	118	Uuo						
				57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu						
				89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr						

■ Ikke-metaller  
■ Alkalimetaller  
■ Jordalkalimetaller  
■ Overgangsmetaller  
■ Post-overgangsmetaller  
■ Halvmetaller  
■ Halogener  
■ Ædelgasser

Lanthanider  
Actinider

Grundstofferne vist i selve det periodiske system kender vi rigtig godt. De sjældne jordarter, lanthaniderne og actiniderne, er sædvanligvis placeret for sig selv nederst i det periodiske system, og disse grundstoffer forstår vi ikke til fulde. Især når det gælder kemien af disse grundstoffer i opløsning, er der mange uafklarede spørgsmål.





næsten alt den billige plastik vi kender fra flasker, poser og husholdningsfilm i en proces, hvor uran bruges til at mindske energiforbruget og øge kvaliteten af plasten.

Af lanthaniderne findes 14 af de 15 grundstoffer naturligt, og uden disse ville vores moderne samfund se noget anderledes ud. Moderne telekommunikation og alt datakommunikation baserer sig på teknologi, hvor lanthaniderne spiller en afgørende rolle. Moderne lyskilder, LED'er og lysstofrør, bruger lanthanider som kilde til det udsendte lys. Magneter i højttalere og harddiske er lavet fra lanthanider, og elektronik generelt bruger komponenter, hvor lanthaniderne er en nøglebestanddel. Og de kan ikke udskiftes med andre grundstoffer.

Heldigvis er de sjældne jordarter slet ikke sjældne. Faktisk er hver enkel af lanthaniderne omtrent lige så almindelige som grundstoffet tin, som bruges i bronze. Men til forskel fra tin, der kan udvindes med en flinteøkse og et bål, er det svært at isolere lanthaniderne. Det er derfor bekosteligt at udvinde enkelte lanthanider uden at have de rette mineraler. Desuden er der stor miljøbelastning forbundet med de processer, man bruger til at udvinde

og isolere lanthaniderne. Derfor produceres størstedelen af disse for øjeblikket i Kina. Politisk er denne afhængighed af Kina med hensyn til sjældne jordarter et problem, og derfor er der ved at blive åbnet/genåbnet store miner i resten af verden bl.a. Mountain Pass Rare Earth minen i USA.

For at forbedre udvindingen og oprensningen af lanthaniderne er det vigtigt at blive klogere på deres grundlæggende kemi i opløsning, da denne i stor udstrækning er ukendt. Der er så mange ting, vi ikke ved om lanthaniderne, at det for en naturvidenskabsmand svarer til at være opdagelsesrejsende på et nyt og uudforsket kontinent. Det er i sig selv motivation nok til et livslangt studium.

### Giftige og gavnlige

I mit arbejde undersøger jeg de kemiske egenskaber af de systemer med lanthanider, der bruges på hospitalerne i forbindelse med diagnostik af sygdomme. De magnetiske egenskaber af lanthaniderne gør, at de kan bruges som kontraststoffer i forbindelse med MR-skanning. Kontraststofferne er med til at gøre de fysiske manifestationer af fx hjertesygdomme og hjerneskader mere tydelige på MR-billederne.

Ytterby-minen i Sverige leverede den malm, hvorfra de første sjældne jordarter blev udvundet. Ytterby har lagt navn til flere af de sjældne jordarter: **Ytterbium, Terbium, Erbium og Yttrium.**

Foto: Svens Welt via Wikimedia Commons

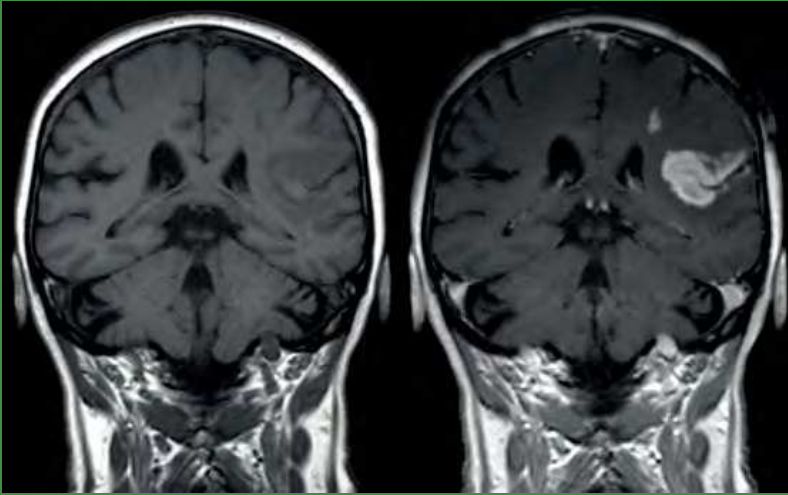


Foto: via Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

Billeder dannet med kernemagnetisk resonans i en MR-skanner. I billedet til venstre er der ikke tilført et kontraststof, hvor der i billedet til højre er tilført et kontraststof, der er lavet ud fra den sjældne jordart gadolinium. Billedet viser en patient, der har slået hul på den beskyttende barriere, der omgiver hjernen, hullets placering ses tydeligt ved tilførsel af kontraststof.

## Lanthanider og MR-skanning

Billeddannelse ved hjælp en MR-skanner baserer sig på kernemagnetiske egenskaber af de enkelte grundstoffer. Vores krop er fyldt med vand, derfor er det meget effektivt at lave kernemagnetiske billeder ved at måle på signaler fra brintatomerne i vand. MR fungerer ved at placere det emne, der skal tages et billede af, i et magnetfelt. Derved indstilles alle kernemagneterne (de enkelte atomers spin og magnetiske moment) i emnet, således at de peger mod nordpolen i magnetfeltet. Dernæst sendes en radiobølge ind i emnet, hvorved alle magneterne vendes så de peger mod syd, og MR-billedet skabes derefter ved at følge, hvor længe det tager for de enkelte kernemagneter igen at pege mod nord.

Når man bruger lanthanider som kontraststof virker de ikke ved selv at udsende et magnetisk signal, men derimod ved at ændre det signal, der udsendes fra brintatomerne i deres omgivelser. Lanthaniderne kan gøre to ting ved kernemagneterne i deres omgivelser: De kan enten få dem til at stå mod nord igen meget hurtigt, eller de kan ændre den type af radiobølger, der skal bruges for at vende dem. Begge giver en kraftigt øget kontrast i et MR-billede.

Det er dog meget vigtigt, at lanthaniderne, der sprøjtes ind i kroppen, er pakket rigtigt ind, da de frie metaller er meget giftige for vores krop. Denne indpakning er fleksibel – bl.a. kan der tilføres håndtag, der kan bruges til at styre stoffet mod en bestemt sygdom, og der kan indbygges funktioner, hvormed bestemte egenskaber kan rapporteres direkte i MR-billedet.

Et mål for forskningen er at kunne styre kontraststofferne direkte mod en bestemt sygdom fx kræft, så man derved kan finde og fjerne kræftkuder yderst effektivt, da de vil lyse op som et fyrtårn i et MR-billede. Det vil dog kræve store fremskridt i både detektion af kræftceller og i lanthanidkemien at nå dertil. Men lykkedes det, vil det være muligt at screene for kræft ved en simpel blodprøve.

Udover de magnetiske egenskaber har lanthaniderne også unikke optiske egenskaber. Det betyder, at de vekselvirker med den del af det elektromagnetiske spektrum, som vores øjne kan registrere. Faktisk vekselvirker lanthanidatomerne også med den del af spektrummet, vi kalder det nær-infrarøde område og som vi opfatter som varme. Teknologisk er det lanthaniderne, der gør fiberoptisk kommunikation muligt, idet deres vekselvirkning med lys bliver brugt til at omforme og forstærke lysbårne signaler. Selvom der forskes intenst i at gøre vores kommunikationsnetværk uafhængigt af lanthaniderne, så findes der p.t. ikke andre realiserede løs-

ninger. Al effektiv datatransport sker ved hjælp af vekselvirkningen mellem lanthanidatomer og lys. Den selvsamme vekselvirkning kan også bruges til at lave lasere, hvor lanthanidbaserede lasersystemer er yderst effektive og kan generere laserlys med meget høj intensitet.

### Lanthanidernes lys

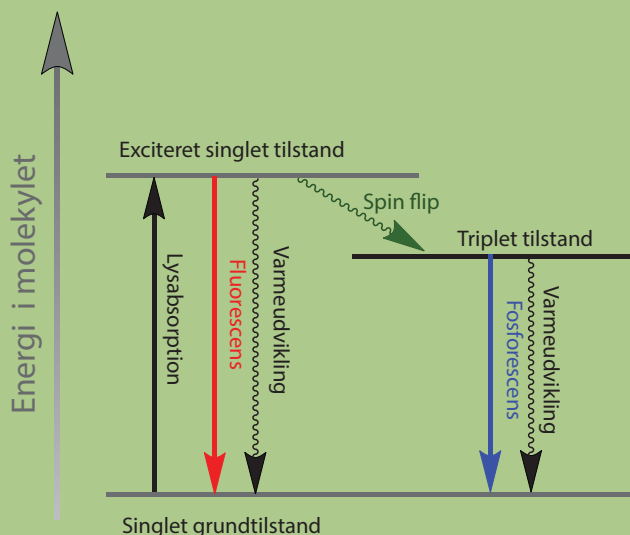
For mig er det mest fascinerende ved lanthaniderne deres evne til selv at udsende lys, når de er blevet lyst på – man siger i dagligsproget, at de er selvlysende. Den tekniske term for denne egenskab er luminiscens.

Det lys, lanthanidatomerne udsender, indeholder informationer om omgivelserne af det enkelte atom. Det i sig selv er enormt spændende, da det gør det muligt at studere de enkelte atomer, og hvordan de vekselvirker med deres omgivelser. Jeg kan således lyse på en opløsning, der indeholder lanthanidatomer, og det lys, der kommer fra opløsningen, kan fortælle mig om, hvad der sker med de enkelte lanthanidatomer i opløsningen. Men det stopper ikke der, for lyset indeholder også information om, hvad der sker i opløsningen og med selve opløsningsmidlet. Ved at studere lanthaniderne kan jeg altså blive klogere på mange forskellige kemiske fænomener. For at kunne afkode informationerne i lyset skal vi forstå, hvordan det enkelte lanthanid opfører sig i opløsning, og hvordan de enkelte ændringer i omgivelserne påvirker det udsendte lys. Det kræ-

## Luminiscens

Luminiscens beskriver lysudsendelse fra en molekylær struktur og relaterer til vekselvirkningen mellem lys og molekyler. Processen beskrives i et såkaldt Jablonski-diagram som vist i figuren. Molekylerne anslås fra deres grundtilstand, enten ved lysabsorption eller en kemisk reaktion, herved dannes en exciteret tilstand. Den exciterede tilstand dannes ved, at molekylet tilføres energi. Energien opbevares i molekylet ved, at en elektron ændrer bane og derved flyttes fra en lavenergimolekyleorbital til en højenergimolekyleorbital (orbital = bane).

Det anslåede molekyle findes kun kortvarigt, hvorefter energien frigives igen. Typisk vil energien omdannes til varme, men for specielle molekyler kan energien sendes ud som lys i en proces, der generelt kaldes for luminiscens. Man skelner mellem fluorescens og fosforescens, hvor forskellen beror på naturen af den exciterede tilstand (vist på figuren som "singlet tilstand" og "triplet tilstand", hvor forskellen har med elektronernes spin at gøre). I lanthanidatomer er ændringerne i elektronerne mellem grundtilstanden og den exciterede tilstand endnu mere kompliceret, så derfor snakker man blot



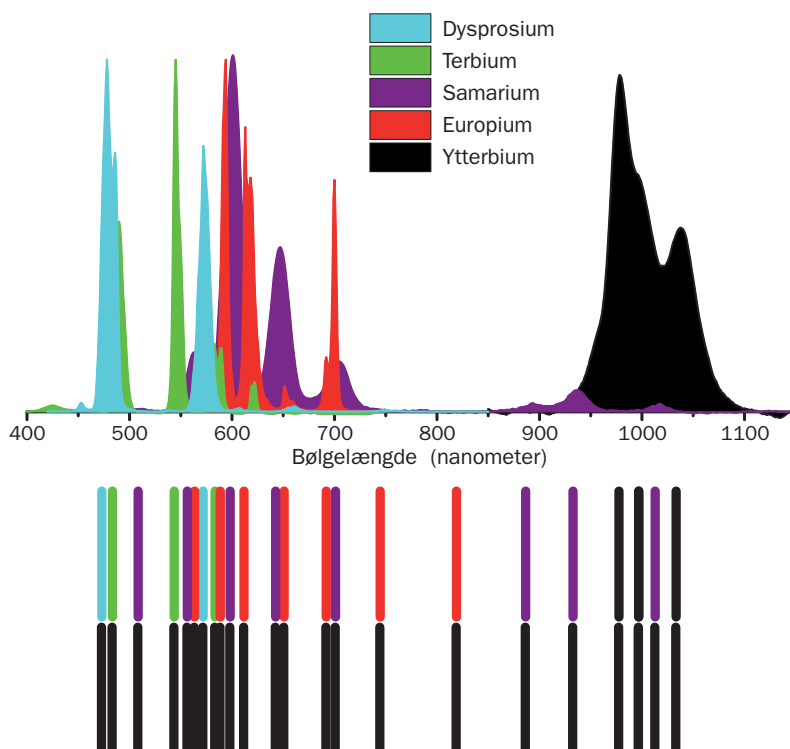
om luminiscens. Luminiscens måles i et spektrometer og vises i et spektrum med lysmængde eller lysintensitet som en funktion af bølgelængden,

ver et nærgående studie af lanthanidernes forofysik i opløsning. Vi forstår, hvordan de enkelte lanthanidatomer opfører sig, når de sidder låst i en stor krystal eller en anden låst struktur. Så der er et solidt fundament at arbejde videre på, når jeg prøver at forstå, hvad lanthaniderne fortæller mig i et dynamisk system, hvor alt er i bevægelse. Det er svært, hvilket gør det interessant. Det er brugbart og derfor værd at gøre.

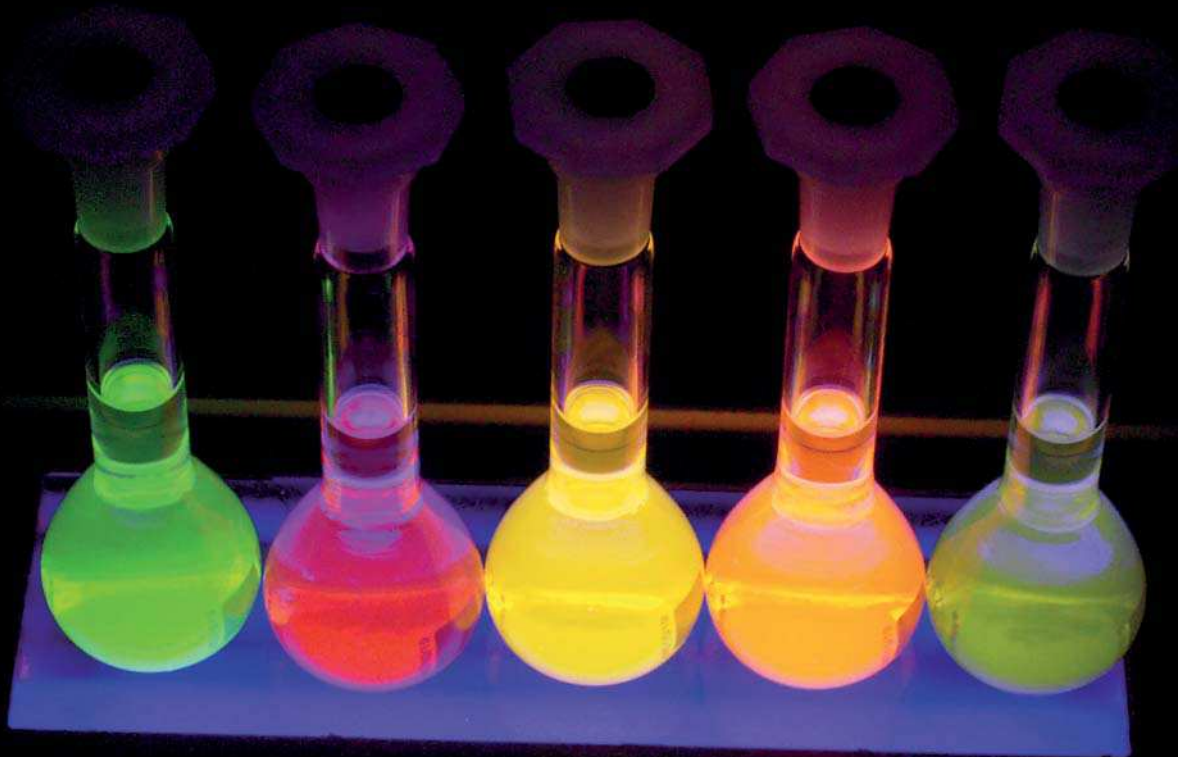
### En funktionel regnbuestregkode

Med det blotte øje ser vi de enkelte lanthanider lyse med en bestemt farve fx grøn for terbium og rød for europium. Et spektrometer ser derimod lyset som en serie af smalle bånd, der er forskellige for alle lanthaniderne. Det kan bruges som en regulær sort/hvid stregkode, hvor tilstedeværelsen eller fraværet af et enkelt bånd kan fortælle, hvorvidt et bestemt stof er i en prøve. Det kunne være en test for kokain, sprængstoffer eller giftige tilsætningsstoffer i mad. Der findes mange slags tests, der udnytter lanthaniderne på denne måde.

I mit arbejde har jeg opdaget to nye måder at anvende lanthanidernes stregkode på. Jeg har opdaget, at stregkoden kan bære information om begivenheder, der sker fjernt fra, hvor lanthanidet befinder sig. Fjernt skal her forstås sådan, at der ikke skal være berøring mellem begivenheden og lanthanidatomet. At kunne bestemme ændringer på afstand er interessant, da det gør det muligt at



Lys udsendt fra fem af de tretten fluorescerende lanthanider vist som lysmængde mod bølgelængde (se faktaboks). De smalle bånd er spedt ud over det synlige spektrum, og man kan vælge at se dem som en stregkode. En stregkode, der kan bruges til at identificere, om de enkelte lanthanider er til stede i en prøve eller til at bære kompliceret kemisk information.



Fluorescerende materialer udsender lys efter selv at have været udsat for lys. Her udsættes fem opløsninger af fluorescerende farvestoffer for blå lys, hvorefter de udsender lys i forskellige farver. Farven er bestemt af de fotofysiske egenskaber af farvestoffet, der igen er bestemt af farvestoffets kemiske opbygning.

Foto: Thomas Just Sørensen

#### Videre læsning

Om regnebuestregkode: Sørensen, T. J. et al: Preparation and study of an f,f,f',f'' covalently linked tetranuclear hetero-trimetallic complex - a europium, terbium, dysprosium triad. *Chem Commun (Camb)* 2013, 49 (8), 783-5.

Tropiano, M. et al: Using remote substituents to control solution structure and anion binding in lanthanide complexes. *Chem Eur J* 2013, 19 (49), 16566-71.

Om lanthanidkemi: Bünzli, J.-C. G., REVIEW: Lanthanide coordination chemistry: From old concepts to coordination polymers. *Journal of Coordination Chemistry* 2014, 1-45.

Om lanthaniders fotofysik: Hänninen, P.; Härmä, H., *Lanthanide Luminescence*. Springer: Heidelberg, 2011; Vol. 7.

undersøge fænomener uden at skulle forstyrre mere end højest nødvendigt.

Jeg har endvidere udviklet en metode, der udnytter, at de enkelte bånd i stregkoden indeholder informationer, der fortæller mere end, hvorvidt det enkelte lanthanid er til stede eller ej. En kombination af flere lanthanider udsender lys i en veritabel regnbuestregkode, men det enkelte lanthanid kan udsende sin helt egen stregkode. Tag europium som eksempel: Her ser vi det lys, der udsendes, som rødt, men lyset indeholder meget mere information end som så. I virkeligheden udsender europium lys i syv linjer, hvor hver linje bærer information om dels, hvor meget lys, der udsendes i denne linje, og dels i form af sin helt egen ministregkode. Hvis vi kan nå et punkt, hvor vi forstår, hvorfor lysmængden mellem de enkelte linjer ændres, og hvad ministregkoderne kan fortælle os, så kan lanthanidernes lys for alvor bruges som kilde til information om kemiske og biologiske processer. Det kan være processer, der foregår i vores krop, i en pakke hakket oksekød eller i et reagensglas. Dermed kan lanthanider afsløre tilstanden af et produkt, de kan informere os om detaljerne i en sygdoms indflydelse på en enkelt celle eller i en enkelt biologisk proces, eller de kan fortælle os om, hvorvidt et bestemt kemisk stof er til stede i en prøve.

#### Lanthaniderne i laboratoriet

I laboratoriet på Kemisk Institut, Københavns Universitet arbejder vi med at lave, forædle og forstå lanthanidforbindelser. Lanthaniderne kan købes som simple salte – køkkensalt, hvor natriumionen er udskiftet med en sjælden jordart. De hvide pulvere reageres med organiske molekyler, der er designet til at indkapsle lanthanidatomerne, så de nu kan betragtes som en del af en stabil kemisk forbindelse. Vores arbejde består i at lave de organiske molekyler samt at undersøge de stabile kemiske forbindelser, de danner med lanthaniderne. Vi forsker i, hvilke funktioner vi kan bygge ind i de organiske molekyler, også kaldet ligander, og hvilken betydning udformningen af liganderne har på egenskaberne af de enkelte grundstoffer, når de er bundet sammen i et kompleks. I et andet forskningsprojekt arbejder vi på at kunne lave kemi på de færdige lanthanidkomplekser og således bygge større, multifunktionelle molekyler.

Ved at indkapsle de enkelte lanthanider i et stabilt kompleks kan vi undersøge egenskaberne af de enkelte grundstoffer i opløsning, og dermed opdage nye anvendelsesmuligheder af de sjældne jordarter. Samtidig har vi kontrol over, hvad der er i vores kolber; vi ved, hvad der omgiver de enkelte lanthanidatomer og har derfor muligheden for at blive klogere på disse fantastiske grundstoffers kemi. ■

# DTU Challenge

- en del af konkurrencen Unge Forskere



Små fotos:  
Colourbox

Foto: Mikal  
Schlosser

## Løsninger søges på fremtidens udfordringer

Klimaforandringer, fattigdom og befolkningstilvækst! Store udfordringer ligger forude, hvis mennesket fortsat skal kunne leve - og leve godt - på jorden. Men umuligt er det ikke, og vi har først, at mennesket med kreativitet har fundet løsninger på væsentlige problemer.

Bruger dine elever teknologi og naturvidenskab til at finde løsninger på fremtidens problemer i deres SRP, teknologiprojekt eller andet projektarbejde? Så fortæl dem om DTU Challenge - Engineer the Future, der er en del af konkurrencen Unge Forskere.

**Tilmeldingsfristen er 23. februar 2015.**

Læs mere på

[www.dtu.dk/dtuchallenge](http://www.dtu.dk/dtuchallenge)

Vinderen i senior-kategorien får mulighed for at præsentere sit projekt på Roskilde Festivalen 2015. Vinderen i junior-kategorien kan opleve fascinerende naturvidenskab helt tæt på, når DTU ScienceShow kommer på besøg i klassen.

# Kemikaliernes stamtræ

Alle ved, at den moderne verden er afhængig af olie som brændstof. Men olie er samtidig råstoffet, som hele den kemiske industri bygger på. Olie er således udgangspunktet for en perlerække af produkter fra kunststoffer til LCD-displays og lægemidler.

Forfatter



Amanda Sølvhøj,  
erhvervspostdoc  
Haldor Topsøe A/S  
åbis@topsoe.dk



Robert Madsen,  
professor  
DTU Kemi  
rm@kemi.dtu.dk



Esben Taarning, program-  
leder for Bio2Chem  
Haldor Topsøe A/S  
esta@topsoe.dk

Har du nogensinde tænkt over, hvor alle vore moderne bekvemmeligheder kommer fra? Fx emballagen rundt om dine madvarer, gødningen, som gør det muligt at gro maden, medicinen, du får, når du bliver syg, sæben, du vasker dig med, nylonen i dine strømper, malingen på væggen, stoffet på sæderne, smagen i slikket, dækene på bilerne – og skraldespanden, som du smider det hele ud i, når du er færdig med at bruge det. Alt det kommer fra olie (og naturgas), som er blevet forarbejdet af den kemiske industri. Med-

mindre produktet er lavet af metal, sten, ler eller glas eller har været levende (fx træ eller bomuld), er olie altså det råstof, som alle vore forbrugsgoder er lavet ud fra.

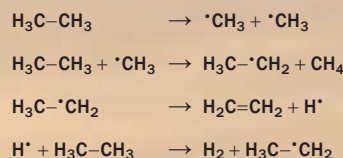
Overordnet går den kemiske industri ud på at omdanne olie til højt specialiserede molekyler. Først omdannes olien til basiskemikalier, som kan anvendes til at fremstille forskellige former for plastik og andre syntetiske materialer eller forædles videre til et væld af nye kemiske for-



Den kemiske industri omdanner samlet set råolie til over 70.000 forskellige kemikalier og produkter. Jo længere væk fra det oprindelige råstof produktet befinder sig, jo flere processer har det gennemgået og jo højere er prisen.

## Damp-krakning

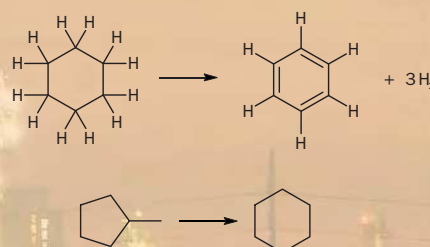
(Steam Cracking) er en proces til at behandle den petrokemiske fraktion kendt som let nafta (kulbrinter med 5-6 kulstofatomer). Naftaen varmes op til meget høje temperaturer (650-900 °C) i ganske kort tid (30-100 millisekunder) ved lavt tryk. Det partielle tryk af nafta-gassen holdes lavt ved at fortynde med vanddamp, heraf navnet. Ved processen dannes frie radikaler, der fx fraspalter et brint- eller methyl-radikal under dannelse af en dobbeltbinding. De primære produkter er olefiner med 2-4 kulstofatomer.



## Katalytisk omformning

(Catalytic Reforming) er en metode til at omdanne alifatiske forbindelser til aromatiske forbindelser (forbindelser, der indeholder en benzen-ring). Ved metoden ledes den tunge nafta (kulbrinter med 7-9 kulstofatomer) over en egnet katalysator, typisk platin eller rhenium, ved høj temperatur og højt tryk (400-500 °C og 25-35 bar). Herved kan der ske tre forskellige grundlæggende reaktioner:

1. Fraspaltning af brint (dehydrogenering), fx omdannelse af cyclohexan til benzen.
2. Isomerisering, dvs. omdannelse af en forbindelse til en anden med den samme sumformel, det kan fx være omlægning af methylcyclopentan til cyclohexan.
3. Hydrogenolyse, dvs. anvendelse af brint til at krakke tungere molekyler til mindre, lettere molekyler.



bindelser, der går under betegnelsen finkemikalier. Finkemikalierne udgør så at sige den værktøjskasse, man har til rådighed til kemisk forskning, og de anvendes bl.a. til at fremstille specialiserede kemikalier som fx overfladeaktive stoffer til brug i rengøringsmidler og sprøjtemidler til landbruget. Hertil kommer den farmaceutiske industri, som anvender alle de tilgængelige kemikalier til at udvikle og fremstille de meget specialiserede molekyler, der bruges som lægemidler.

## Kemikaliestamtræet

Forestil dig et stamtræ, hvor olie er stammen. Fra stammen udgår nogle hovedgrene, som hver repræsenterer et basiskemikalie. Disse kemikalier er ikke basiskemikalierne, fordi det er de eneste kemikalier, man kan lave fra olie, men fordi det er de billigste at fremstille, og derfor er det dem, der bliver lavet mest af. Man kan sige, at markedskræfterne styrer den kemiske evolution: De billigste kemikalier udgør grundlaget for hele den kemiske industri og definerer dermed, hvilke pro-

# De syv basiskemikalier

Fra de syv basiskemikalier *methan, ethylen, propylen, C<sub>4</sub>-olefiner, benzen, toluen og xylener* kan man fremstille stort set alle kemikalier i verden. Men basiskemikalierne anvendes også til at fremstille alle de mange forskellige syntetiske materialer og tekstiler, som vi benytter os af til daglig.



## Methan



anvendes i altoverskyggende grad til at fremstille syn-gas, som er en blanding af kulmonooxid (CO) og brint og som især anvendes til fremstilling af metanol og ammoniak. Ammoniak er uundværligt for at lave kunstgødning. Methanol kan oxideres til formaldehyd og eddikesyre eller omdannes til benzin, olefiner eller aromatiske forbindelser via katalytiske processer.

## Ethylen



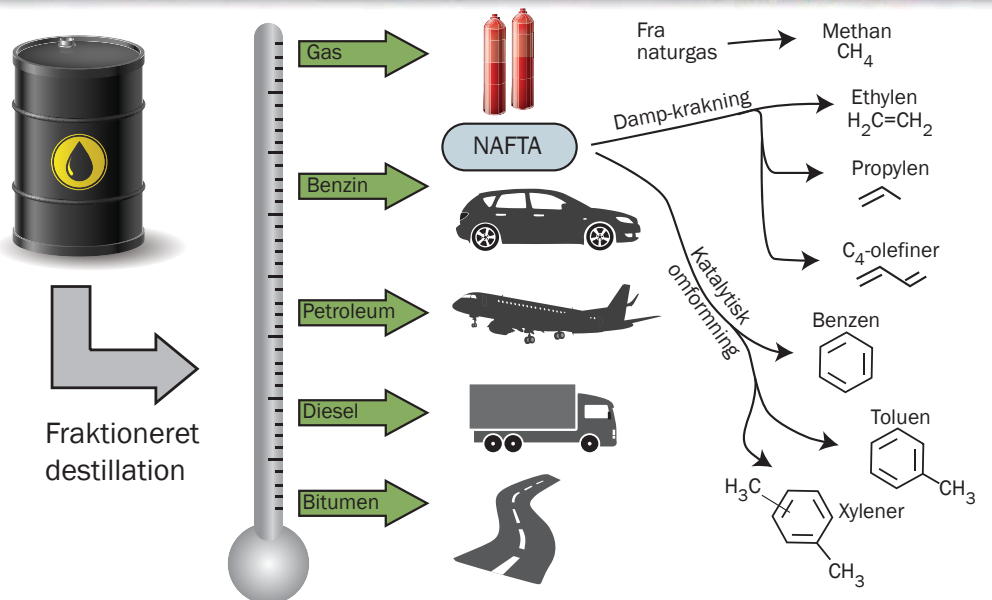
er det stof, der produceres aller mest af på verdensplan: Over 140 millioner ton i 2011, hvoraf ca. 80 % anvendes til fremstilling af forskellige typer plastik. Ethylen kan polymeriseres til polyethylen (PE plast), som er den mest anvendte type af plastik. PE-plast benyttes bl.a. til at fremstille forskellige former for emballage som poser, dunke, flasker og film. Ethylen omdannes også til vinylklorid, der anvendes som monomer til at producere polyvinylklorid (PVC plast). PVC benyttes især til at fremstille vand- og kloakrør og til medicinske formål som beholdere og slanger til opbevaring og transfusion af blod. Ethylen kan oxideres til ethylenoxid, som videre omdannes til ethylenglycol (EG). Ethylenglycol kan bl.a. co-polymeriseres med stoffet terephthalsyre, hvorved man får dannet polyethylen-terephthalat (PET plast). PET anvendes både til at spinde fibre til tekstiler (polyester) og til at fremstille sodavandsflasker og anden emballage, og den årlige produktion af PET er omkring 50 millioner ton.

## Propylen



kan oxideres til akrylsyre eller til akrylonitril, hvis der er ammoniak til stede. Fra akrylsyre danner man forskellige akrylater, der kan polymeriseres til polyakrylater, som anvendes til at lave akrylmaling. Langt det meste akrylonitril co-polymeriseres med fx methylakrylat for at lave fibre til strikkede tekstiler som strømper og sweatre eller med butadien og styren for at danne den utroligt brudstærke og resistente ABS-plast (Akrylonitril-Butadien-Styren), som bl.a. anvendes til at fremstille LEGO®-klodser. I lighed med ethylen kan propylen oxideres til propylenoxid. Størstedelen af propylenoxidet anvendes i fremstillingen af polyuretan (PU), som bl.a. anvendes til madrasser og polstring til møbler og bilsæder.

Den rå olie behandles på et raffinaderi, hvor den udsættes for en fraktioneret destillation, dvs. de forskellige komponenter i olien adskilles baseret på kogepunkt. Den lette nafta omdannes via damp-kraking til ethylen, propylen og C<sub>4</sub>-olefiner. Den tunge nafta omdannes via katalytisk omformning til benzen, toluen og xylener. Sammen med methan fra naturgas udgør disse forbindelser de syv basiskemikalier, som omkring 95 % af alle organiske kemikalier er lavet ud fra.





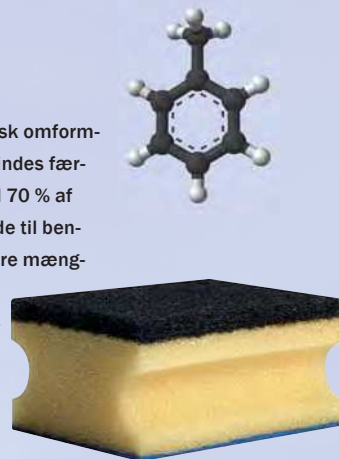
### C<sub>4</sub>-olefinerne

er en blanding af butadien, isobuten og n-butener. Langt det meste butadien (omkring 70 %) anvendes i gummiproduktion, enten som en homo-polymer af butadien eller som en co-polymer sammen med fx styren, hvorved man danner den syntetiske gummi, der bl.a. anvendes til bildæk. Butadien kan omdannes til chloropren, som polymeriseres til materialet neopren, der anvendes til fremstilling af vådragter. Butadien omdannes også til hexamethylen-diamin (HMDA), som sammen med adipinsyre bruges til at fremstille nylon.



### Toluen

er det stof, der dannes mest af ved katalytisk omformning. Samtidig er det den forbindelse, der findes færrest anvendelsesmuligheder for, så op mod 70 % af det dannede toluen omdannes efterfølgende til benzen og xylener. Herudover anvendes der store mængder toluen som opløsningsmiddel, især til lak og andre former for overfladebelægninger. Toluen kan også omdannes til toluendiisocyanat, som man anvender til at fremstille polyurethan.



### Benzen

Omkring halvdelen af det fremstillede benzen reageres med ethylen for at danne ethylbenzen, som efterfølgende dehydrogeneres til styren. Fra styren dannes polystyren, som nok er bedst kendt som polystyrenskum fra flamingokasser og engangskrus til kaffe.

Fra benzens reaktion med propylen får man stoffet cumen (isopropylbenzen), som kan oxideres til phenol og acetone. Phenol og acetone reageres i forholdet 2:1 under dannelse af stoffet bisphenol A, som videre omdannes til epoxyresiner eller polycarbonater. Phenol kan også omdannes til caprolactam, der anvendes til at fremstille nylon. En anden vigtig anvendelse af benzen er dets reduktion til cyclohexan, som efterfølgende oxideres til adipinsyre, der sammen med HMDA anvendes til at fremstille nylon.



### Xylen

er trivialnavnet for dimethylbenzen, som findes i både en ortho-, meta- og para-isomer. Para-xylen er uden tvivl den mest interessante, fordi den kan oxideres til terephthalsyre, som anvendes til at fremstille PET-plast. Ortho-xylen omdannes primært til phthalsyreanhydrid, hvorfra man fremstiller phthalater, der anvendes som blødgørende midler i mange former for plastik. Meta-xylen omdannes primært til isophthalsyre, som har mange af de samme anvendelser som phthalsyreanhydrid eller terephthalsyre.



dukter der i dag er tilgængelige. Opfindelsen af en forbedret proces til en af omdannelserne, vil gøre netop dette kemikalie endnu billigere og dermed forøge anvendelsen af de produkter, der er afledt deraf. Fordi de indledende omdannelser af olie til basiskemikalier foretages på så umådeligt stor skala, bliver prisen for processen meget lav sammenlignet med prisen på den rå olie. Prisen for basiskemikalierne er derfor i høj grad defineret af prisen på råstoffet.

Basiskemikalierne omdannes gradvist til mere og mere komplekse molekyler. På stamtræet vil vi se det som en masse mindre grene og kviste, der går ud fra de syv hovedgrene. Grundessensen af kemi er at omdanne et molekyle til et andet, og kemi-

keren har ufatteligt mange metoder til rådighed, så i princippet kan man fremstille alle tænkelige molekyler ud fra basiskemikalierne – det er bare et spørgsmål om, hvor mange trin man skal gå igennem først. Hver enkelt proces koster – ikke kun driftsomkostningerne til fabrikkerne, men også de kemikalier, der er nødvendige for at få processen til at forløbe, de arbejdere, der skal drive værket, og ikke mindst de forskere, der skal udtænke og udvikle metoderne. For hvert trin, et kemikalie bevæger sig væk fra olien, des dyrere bliver det, og dets pris vil i højere grad være defineret af processen frem for prisen på det oprindelige råstof.

Yderst på stamtræet har vi alle bladene. Det er alle de højt specialiserede molekyler, der findes.

Fotos: Colourbox

Videre læsning  
Wittcoff, Reuben & Plotkin (2013): *Industrial Organic Chemicals*, 3rd Edition, Wiley Inter-science.

Dam, Taarning, Jensen & Madsen (2007): *Industrial Organisk Kemi*, Kapitel 6 i bogen "Nye Kemiske Horisonter", DTU.

Forfatterne arbejder sammen på forskningsprojektet: Anvendelse af biprodukt til fremstilling af højværdi biokemikalier, som er et samarbejde mellem Haldor Topsøe A/S og DTU Kemi, støttet af Innovationsfonden.

Det kunne være lægemidler eller farvestoffer eller andre komplekse forbindelser, der tjener et helt bestemt formål – fx til at opfange solens energi i solceller eller som komponenter i nanoteknologi. Det er avancerede strukturer, som har været igennem mange trin. De skal udtænkes, designes og fremstilles ud fra finkemikalierne. Det er mange processer, der skal udføres, og der vil ofte være et stort spild. Værdien af disse kemikalier er enormt høj, men omvendt behøver man heller ikke fremstille dem i særligt store mængder for at tjene penge på dem.

### Fra olie til kemikalier

For at forstå hele forløbet må vi starte med olien, der pumpes op fra undergrunden. Den er en tyktflydende, ildelugtende, sort substans, der består af en blanding af forskellige kulbrinter, altså molekyler der kun består af kulstof og brint. Den rå olie udsættes for en fraktioneret destillation, dvs. de forskellige komponenter i olien adskilles baseret på kogepunkt.

Den lavest kogende fraktion består af gasser, primært methan, ethan, propan og butaner, der enten anvendes som brændstof eller omdannes til andre kemikalier. I den anden ende af skalaen findes bitumen, der er en slags tjære, der bl.a. anvendes i asfalt. Midt imellem findes en del forskellige fraktioner, fx. dieselolie, petroleum og benzin, som også kaldes nafta. Nafta er en blanding af kulbrinter med fem til ni kulstofatomer og omdannes via en række trin til størstedelen af de kemikalier, industrien anvender.

Der er mange måder at omdanne naftaen på, og man skelner også mellem let og tung nafta. De to vigtigste processer kaldes *damp-krakning* og *katalytisk omformning*. Ved damp-krakning omdannes den lette nafta til umættede kulbrinter (olefiner), primært ethylen, propylen og C<sub>4</sub>-olefiner. Ved katalytisk omformning omdannes den tunge nafta til forskellige aromatiske forbindelser, primært benzen, toluen og xylener (samlet kaldet BTX). Sammen med methan fra naturgas udgør disse forbindelser de syv basiskemikalier, som omkring 95 % af alle organiske kemikalier er lavet ud fra.

De sidste 5 % kommer i høj grad fra kul, og i mindre udstrækning fra forskellige former for biomasse. Fra kul får man især syn-gas, som er en blanding af kulmonoxid og brint, og acetylen. Biomassen er primært naturligt forekommende fedtstoffer og olier samt kulhydrater, dvs. stivelse, cellulose og sukker.

En forsvindende lille del udgøres af naturstoffer, dvs. kemiske forbindelser, som produceres af levende organismer. Set i forhold til den samlede

kemiske industri er deres mængde og økonomiske værdi negligerbar, men de udgør en gruppe af forbindelser, som er uerstattelige som lægemidler, duft- og smagsstoffer.

### Alternative råstoffer

Olie er som bekendt en begrænset ressource. Hvis vi fortsætter med at forbruge olie med samme tempo, som vi gør i dag, er de tilgængelige reserver i undergrunden estimeret til at kunne vare omkring 50 år mere. Da der ikke er tegn på, at forbruget er dalende, bliver der naturligvis spekuleret i brugen af alternative råstoffer.

Én mulighed er at anvende kul. Historisk set har kul været vigtig for den kemiske industri, men brugen af kul som råmateriale til at fremstille kemikalier dalede drastisk i takt med, at olieindustrien voksede. Verdens kulreserver er dog langt større end oliereserverne, og når prisen på olie bliver høj nok, vil det blive økonomisk rentabelt at erstatte de oliebaseerede processer med kulbaseerede i det omfang, det er muligt.

En anden mulighed er at anvende biomasse. I dag udgør kemikalier fra biomasse som nævnt kun nogle få procent af den samlede mængde kemikalier baseret på vægt. Der er en stigende interesse i fremstilling af biobaseerede kemikalier, altså organiske kemikalier fremstillet fra biomasse frem for olie, men det er svært at konkurrere prismæssigt med kemikalierne fra den konventionelle produktion – i hvert fald hvis man skal fremstille de samme produkter.

Som nævnt er den kemiske industri baseret på de syv basiskemikalier, fordi det er nemt og billigt at fremstille dem ud fra olie, og det har så defineret, hvilke produkter vi har til vores rådighed. Men skal man lave biobaseerede kemikalier giver det ikke meget mening at fremstille de samme syv basiskemikalier. Ganske vist kan man i princippet fremstille et hvilket som helst kemikalie ud fra et hvilket som helst udgangsstof, men det kan let gå hen og blive dyrt og besværligt. I stedet bliver man nødt til at gentænke, hvad det er for nogle produkter, man vil fremstille. En biobaseret kemikaliestrøm vil have et helt andet stamtræ end den oliebaseerede kemikaliestrøm. Og selv om de to træer måske filtrer grenene sammen nogle steder, vil kemikalier, som er billige og let tilgængelige fra stammen på det ene træ, givetvis ikke være det fra den anden og vice versa.

Fra biomasse vil man derfor også have adgang til nogle helt nye kemikalier, som hidtil har været svært tilgængelige i konventionel produktion og hvis potentiale derfor ikke er udforsket – endnu. ■

# FLYT VERDEN FRA TEORI TIL TEKNOLOGI

## LÆS FYSIK OG NANOTEKNOLOGI

Fysik og Nanoteknologi handler om, hvordan verden er skruet sammen. Du zoomer ind på grundlæggende problemstillinger og sætter fokus på moderne forskning og teknologi. Fordyber dig, eksperimenterer og ser tingene i et større perspektiv. Konstruerer nye materialer med unikke egenskaber i nanoskala. Du forandrer verden.

Du skaber overblikket og vælger retningen på

[WWW.FLYTVERDEN.DK](http://WWW.FLYTVERDEN.DK)



AALBORG UNIVERSITET  
AALBORG · ESBJERG · KØBENHAVN

# Energiopbevaring

– nøglen til en fossilfri fremtid

I Danmark har vi sandsynligvis tilstrækkelig vedvarende energi til at kunne undvære fossilt brændsel. Men det kræver, at vi kan opbevare enorme mængder energi. Hydrogen kan være nøglen til at opnå netop det.

# H

HYDROGEN

## Forfatterne



Lars Haahr Jepsen,  
ph.d.-studerende  
larsj@chem.au.dk



Torben R. Jensen, lektor  
trj@chem.au.dk

Begge ved iNANO og  
Institut for Kemi  
Aarhus Universitet

Bekymringen for at menneskeheden vil løbe tør for fossile brændsler, har fyldt en del gennem tiden. Men der findes stadig store mængder fossilt brændsel i jordskorpen, måske nok til at dække vores energiforbrug helt eller delvist i mere end 100 år ud i fremtiden. Til gengæld bekymrer vi os i stigende omfang for, at afbrændingen af kul, olie og naturgas er skyld i klimaændringer. Det er i dag den primære årsag til interessen for et vedvarende energisystem. Problemet er derfor ikke *mangel* på fossilt brændstof, men at vi har *for meget* af det.

Det har været karakteristisk for menneskets brug af fossilt brændstof, at forbruget har accelereret, hver gang vi har fundet en ny og mere effektiv måde at anvende det på – tænk blot på da dampmaskinen og forbrændingsmotoren blev opfundet. Økonomer har igennem mere end 100 år peget på, at jo mere effektivt, vi bruger energi, des mere vil forbruget stige. Derfor er mere effektiv udnyttelse af fossilt brændstof ikke en mulig global løsning på stigende

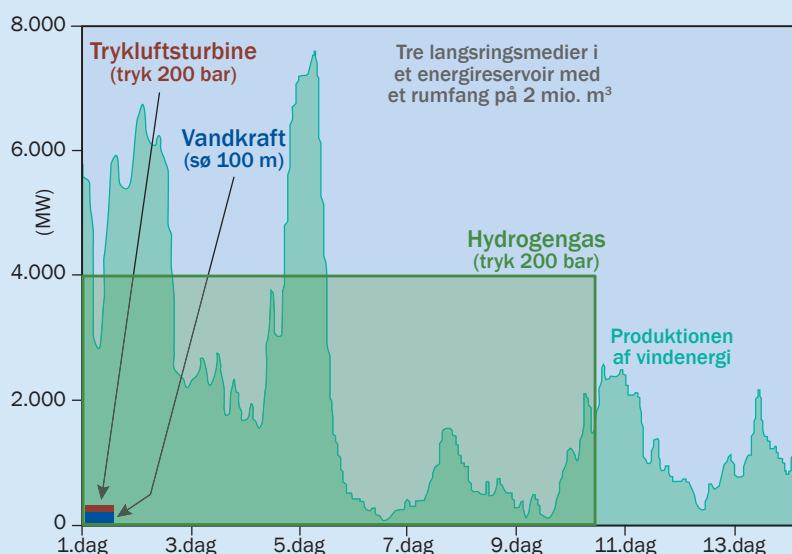
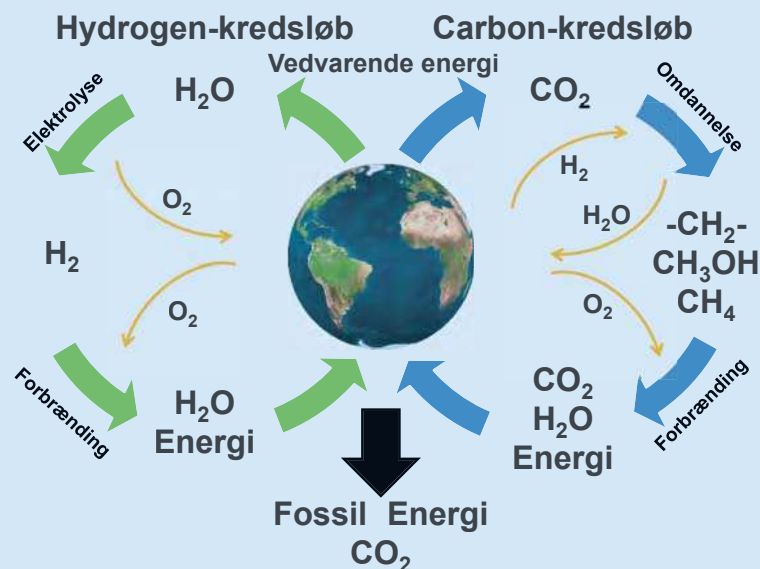
forurening og mængden af carbondioxid, CO<sub>2</sub>, i atmosfæren. Danmark har haft et næsten konstant energiforbrug igennem årtier, hvor verdens energiforbrug samtidig er forøget. At vores energiforbrug ikke er steget i denne periode skyldes til dels, at vi i samme periode har flyttet en del industriel produktion ud af landet. Som enkeltpersoner tænker vi ofte på at spare på energien ved at vælge mere energieffektive hårde hvidevarer, elpærer, fjernsyn mv., men samtidig får hver husstand ofte flere og flere elektriske apparater.

## Hydrogen til opbevaring af vedvarende energi

Hvis vi formår at opsamle den tilgængelige vedvarende energi til rådighed i Danmark i form af fx sol, vind og biomasse, er denne tilstrækkelig til at dække hele vores energiforbrug. Det store problem er, at sol- og vindenergi er meget varierende energistrømme – tænk fx på vindstille nætter, hvor hverken solceller eller vindmøller producerer strøm. Desuden kan vi kun forudsige vejret få

Materialer og råstoffers kredsløb skal være lukkede for at være bæredygtige, dvs. alt skal genbruges. Det skal også gælde vores energisystem. Carbon-kredsløbet (blå pile) er et alternativ til hydrogen-kredsløbet (grønne pile), hvor vedvarende energi kan bruges til at indfange carbondioxid fra luften og producere "bæredygtig" benzin. Den sorte pil illustrerer problemet ved fossilt brændstof, nemlig at denne CO<sub>2</sub>-produktion ikke er et lukket kredsløb, men fører til stigende mængder CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

Figur modificeret efter M. B. Ley et al. Mater. Today, 2014, 17, 122–128.



Figuren viser hvor voldsomt vindenergiproduktion kan variere over tid fra en vindmøllepark samt mulige energioptageringsmetoder. Vindenergien kan opbevares ved at komprimere luft, pumpe vand op i en højtbeliggende sø eller ved at producere hydrogen. Hvis vi betragter et rumfang på 2 mio. m<sup>3</sup> som et hul i jorden eller en højt beliggende sø, kan der opbevares mere end 1.500 gange så meget energi ved at fylde hullet med hydrogen (200 bar) (grøn boks) sammenlignet med at pumpe 2 mio. m<sup>3</sup> vand 100 m op i en sø (blå boks), som igen indeholder mere energi end trykluft (200 bar) (rødbrun boks). Det er nødvendigt, at kunne opbevare ekstreme mængder af energi for at gøre et vedvarende energisystem til en realistisk afløser for vores nuværende forbrug af fossilt brændstof. Udregningen viser, at hydrogen måske er vores eneste reelle mulighed til opbevaring af store mængder vedvarende energi.

Vindproduktionstal modificeret efter U. Eberle and D. R. von Helmolt (2010).

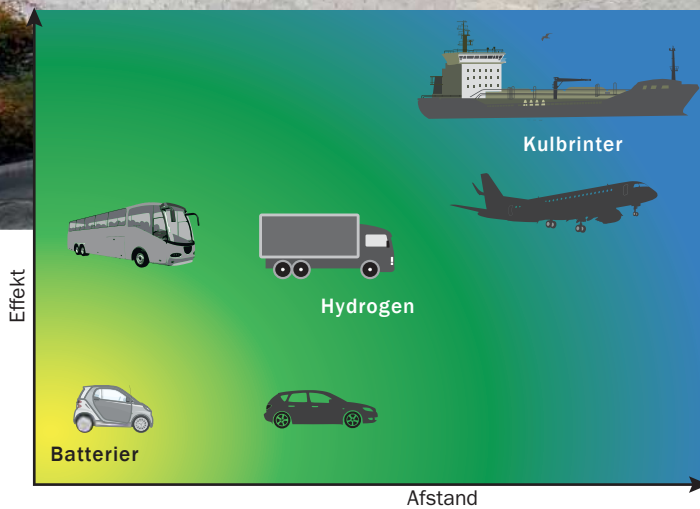
dage ud i fremtiden. Derfor er det altafgørende, at vi kan opbevare energien effektivt og i store mængder, der kan dække landets energibehov i dage, uger og måske måneder. Det er her hydrogen (brint, H<sub>2</sub>) kommer ind i billedet. Hydrogen kan fremstilles ved spaltning af vand med vedvarende energi, hvorved der også produceres oxygen (ilt, O<sub>2</sub>). Energien kan frigives igen, når hydrogen på et senere tidspunkt og måske et andet sted reageres med oxygen.

Hydrogen er carbon-frit og ugiftigt, og reaktionen med oxygen ved forbrænding eller elektrolyse i en brændselscelle giver energi og vand og ingen skadelige affaldsstoffer. Hydrogen er det letteste grundstof, og H<sub>2</sub> er den kemiske forbindelse af alle, der har det højeste vægtmæssige energiindhold, og det bruges derfor til raketbrændstof. Hydrogen skal fremstilles fra vand ved at tilføje energi, og H<sub>2</sub> siges derfor at være en *energibærer* og ikke en *energekilde*. Det kan udgøre en risiko, at hydrogen kan brænde i blandingsforholdet 4-75 % med luft, hvil-

ket er markant større end forholdet for benzin. Til gengæld er H<sub>2</sub> det mindste molekyle af alle og diffunderer derfor ekstremt hurtigt i luft, ca. 70 km/time. Derfor vil et udslip af hydrogen hurtigt spredes i modsætning til benzin, der spredes meget langsomt. Både teoretiske og praktiske studier peger på, at hydrogendrevne køretøjer er mindre brandfarlige end tilsvarende benzinkøretøjer.

### Vedvarende energi i transportsektoren

Omkring 1/3 af det totale energiforbrug i Danmark går til transport, mens det er 2/3 i USA. Derfor er det vigtigt at få anvendelse af vedvarende energi implementeret i biler. Her kan hydrogen spille en vigtig rolle. Herning-virksomheden H2 Logic A/S er i dag en af verdens førende inden for hydrogenoptankning og har været i konstant vækst siden starten i 2003. I dag er der tre hydrogenpåfyldningsstationer i drift i Danmark, mens otte er under opførelse eller planlagt. Så allerede i dag kan man køre rundt i hele landet på hydrogen. Der



↑ En tankstation med brint i Holstebro, hvor en brintbil af mærket Hyundai ix35 er ved blive tanket.

Batteridrevne køretøjer er velegnede til korte afstande, men kræver lang genopladningstid (i størrelsesordenen timer). Hydrogenbaserede køretøjer har længere rækkevidde og markant kortere genopladningstid (~3 min) og har været anvendt til forskellige typer transportmidler som busser, biler, både og fly. Carbon-baseret brændstof fremstillet fra vedvarende energi kan være et bæredygtigt alternativ for langtrækkende fly og skibe.

er også H<sub>2</sub>-fyldestationer i vore nabolande, Norge, Tyskland, England og Holland. Hyundai har som den første bilproducent åbnet for salget af deres ix35 brintbil i Danmark i 2014 og leverede i 2013 adskillige brintbiler til Københavns Kommune.

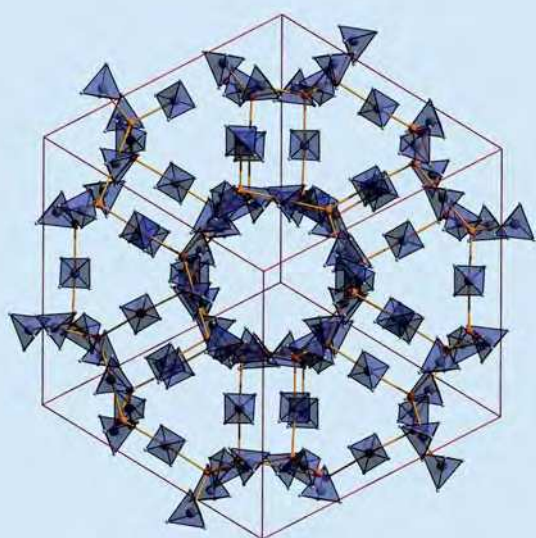
Hyundai ix35 på hydrogen er identisk med sin søster på benzin og præsterer en rækkevidde på mere end 500 km på én optankning (5 kg H<sub>2</sub> ved 700 bar), som kun tager tre minutter. Fremdriften er elektrisk og næsten lydløs, idet hydrogen omdannes til strøm og varme i en brændselscelle, og med vand som eneste udstødningsgas. Brændselscellen kan omdanne måske halvdelen af den kemiske energi i hydrogen til strøm og fremdrift, og resten kan blive til varme i køretøjet. Et tilsvarende batteridrevet køretøj vil om vinteren miste noget af sin energi til fremdrift, hvis noget strøm skal bruges til at opvarme køretøjet. Tilsvarende planlægger Toyota at markedsføre hydrogenbaserede biler i 2015 i Danmark, England og Tyskland, hvor man regnes for at være langt fremme med hydrogeninfrastruktur.

Planen er, at der skal være 10 hydrogentankstationer i Danmark i 2016. Og med en investering på ca. 2 mia. kroner kan der opføres yderligere 200 rundt i landet, som forhåbentlig fører til op i mod 100.000 hydrogenbaserede køretøjer på de danske veje i 2025, vurderer H2 Logic A/S i Herning. Måske kan det få interessen til at stige, så der på sigt måske er 1.000 påfyldningsstationer i landet, og at ca. 50 % af alle biler er drevet af strøm fra en brændselscelle.

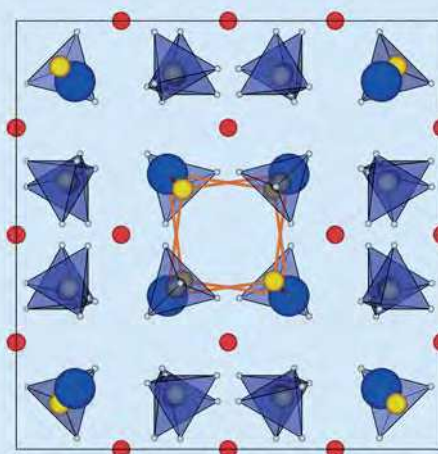
Det Strategiske forskningsråd støtter et større Dansk forskningsprojekt, *HyFillFast*, som har til formål at designe et helt nyt koncept, hvor hydrogen opbevares både som gas ved højt tryk (700 bar) og i et fast stof. I dette projekt skal der også udvikles nye metoder til hydrogenkomprimering, som er mere energieffektive og som ikke opvarmer gassen så meget som i dag. Forskningen foregår i et forpligtende interdisciplinært samarbejde mellem Aarhus Universitet, DTU, H2 Logic A/S og internationale samarbejdspartnere og i tæt sparring med verdens førende bilproducenter.

Kemisk forbindelse	Hydrogen- og Energi-tæthed		pr. masse		Temperatur for H <sub>2</sub> afgivelse (°C)
	(g H <sub>2</sub> /L)	(MJ/L)	(vægt% H <sub>2</sub> )	(MJ/kg)	
LiBH <sub>4</sub>	123	14,7	18,5	22,2	380
γ-Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	82	9,9	14,9	17,9	250
δ-Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	147	17,6	14,9	17,9	250
NaAlH <sub>4</sub>	94	11,3	7,5	9,0	210
Li <sub>2</sub> Al(BH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> ·6NH <sub>3</sub>	151	18,1	17,6	21,1	75
NH <sub>4</sub> BH <sub>4</sub>	151	18,1	24,5	29,4	85
Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> BH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	137	16,4	17,4	20,9	75
Tryktank, p(H <sub>2</sub> ) = 700 bar*	~28	~3,4	~3	~3,6	25
Benzin	-	32,0	-	43,9	-

Tabel med hydrogen- og energitætheder og temperaturer for hydrogenafgivelse for udvalgte metalhydrider sammenlignet med hydrogen i en tryktank og benzin. Nogle metalhydrider indeholder store mængder hydrogen pr. rumfang og pr. masse og er derfor et kompakt alternativ at opbevare hydrogen på.  
(\* Værdier angivet inkluderer rumfang og masse af tryktanken).



Krystalstruktur af det første nanoporøse metalhydrid, γ-Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. På billedet er Mg vist som en orange kugle, mens BH<sub>4</sub><sup>-</sup> anionen er mørkeblå.



Strukturen af en ny litiumionleder, LiCe(BH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl (venstre), der indeholder isolerede komplekse anioner [Ce<sub>4</sub>Cl<sub>4</sub>(BH<sub>4</sub>)<sub>12</sub>]<sup>4-</sup> (højre), der bliver ladningsbalanceret af Li<sup>+</sup>-kationer. Li, Ce og Cl er vist som hhv. røde, blå og gule kugler, mens BH<sub>4</sub><sup>-</sup> er mørkeblå. Positionerne, hvor Li<sup>+</sup> er placeret, er kun 2/3 fyldte, hvilket medfører at Li<sup>+</sup> kan "hoppe" rundt i strukturen, som derfor har en meget høj ledningsevne selv ved stuetemperatur.

## Nye materialer til opbevaring af hydrogen

Ved Center for Materiale Krystallografi, tilknyttet Institut for Kemi og Interdisciplinært Nanoscience Center ved Aarhus Universitet, forsker vi intenst i fremstilling af nye hydrogenholdige materialer. Hydrogen har en mangfoldig kemi, som har ført til opdagelsen af en række nye kemiske forbindelser de seneste år.

Siden slutning af 1990'erne har komplekse metalhydrider været undersøgt som potentielle hydrogenopbevaringsmaterialer, da de ofte har høj hydrogentæthed både pr. rumfang og pr. masse (se tabel). I disse forbindelse er hydrogen typisk kovalent bundet til grundstoffer som bor, nitrogen eller aluminium. Mange af de nye materialer er for stabile og skal opvarmes til for høje temperaturer for at frigive hydrogen, og det er vanskeligt at få dem til at optage H<sub>2</sub> igen. Vi har fundet forskellige metoder til at sænke denne temperatur, eksempelvis ved at tilsætte katalysatorer eller andre metalhydrider, så der sker en favorabel kemisk reaktion. I forbindelse med et EU-

støttet forskningsprojekt, *Bor4store*, er vi ved at lave en demonstrationsenhed bestående af en metalhydrid-tank med blandingen 2LiBH<sub>4</sub>-MgH<sub>2</sub> og en brændselscelle. Denne blanding kan opbevare 11 vægtprocent H<sub>2</sub>, som afgives og optages ved ca. 350 °C.

Det første nanoporøse metalhydrid, γ-Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, blev opdaget på Aarhus Universitet. Stoffet har 30 % hulrum i strukturen og kan absorbere forskellige små molekyler, bl.a. hydrogen, og derved danne forbindelsen, γ-Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>, som har et ekstremt højt hydrogenindhold på 20 vægtprocent. Udsættes forbindelsen for højt tryk, kollapser strukturen til en ny variant, δ-Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, med et ekstremt rumfangsmæssigt hydrogenindhold på 147 g H<sub>2</sub>/L. Det er mere end dobbelt så meget som flydende hydrogen, der har en densitet på 71 g H<sub>2</sub>/L. Det viser, at der er meget stort perspektiv i at undersøge mulighederne for opbevaring af hydrogen på fast form.

Hvis vi forestiller os, at en bil skal bruge 5 kg hydrogen for at opnå en rækkevide på 500 km, vil denne

## Nye anvendelser af metalhydrider

(A) Magnesiumhydrid anvendes allerede i dag til faststof-hydrogen-opbevaring på stor skala.

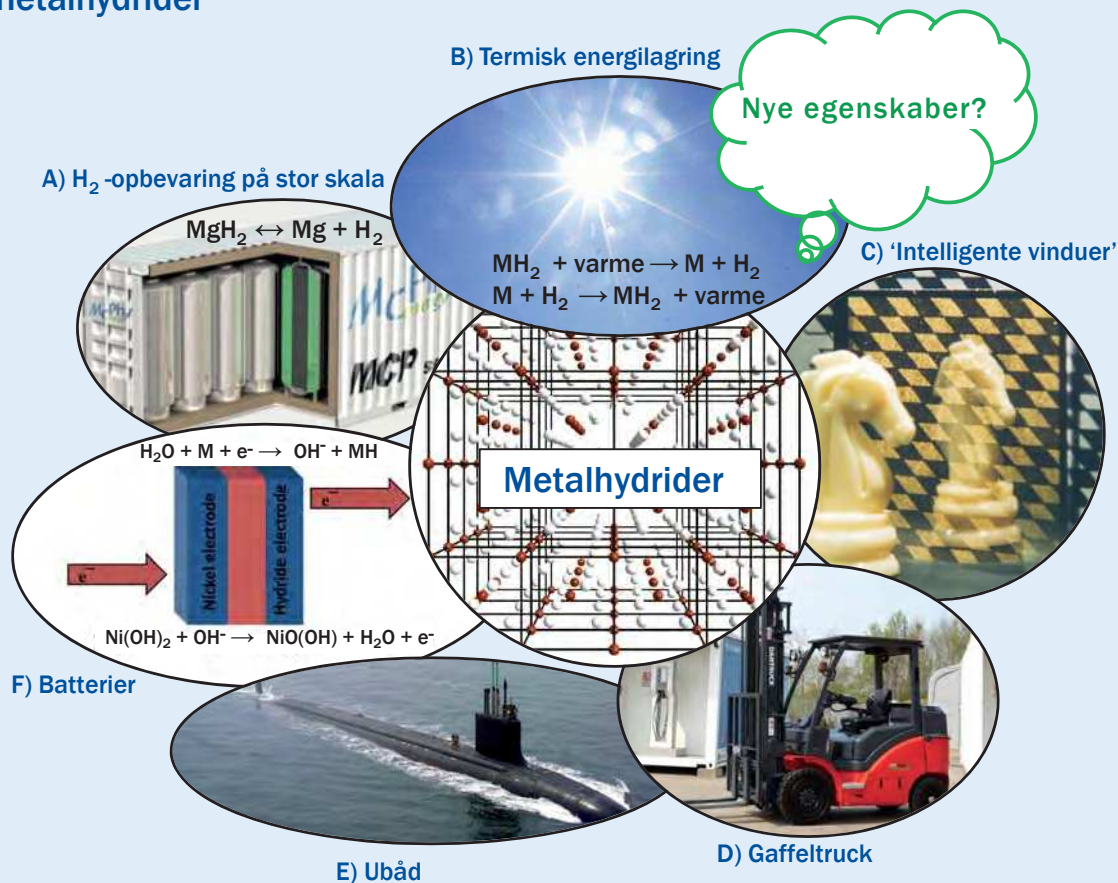
(B) Den store varmeudveksling under hydrogenfrigivelse og -optagelse kan benyttes til lagring af varme fra solfangere.

(C) Nogle metalhydrider skifter mellem at være gennemsigtige og reflekterende afhængig af hydrogenindholdet, hvilket kan anvendes i "intelligente vinduer", der kan mørklægges ved at tilføje lidt hydrogen.

(D) Nogle metalhydrider virker fortræffeligt til brintopbevaring, men med den eneste ulempe, at de er for tunge. Dette kan udnyttes som modvægt i gaffeltrucks

(E) Faststof-hydrogenopbevaring kombineret med en brændselscelle anvendes også i ubådsmotorer, da det tillader lange operationer under vand, der tilmed er lydløse.

(F) Metalhydrid-batterier er kommercielle i dag.



Figur modificeret efter M. B. Ley et al. Mater. Today, 2014, 17, 122–128.

mængde fylde  $60 \text{ m}^3$  hydrogengas ved stuetemperatur og trykket 1 bar, svarende til en ballon med en diameter på 5 m. Den samme mængde hydrogen vil kun fylde 34 L og have en vægt på 34 kg, hvis den bliver opbevaret i det nye stof  $\delta\text{-Mg(BH}_4)_2$ .

### Mange anvendelser

Mange af de nye komplekse metalhydrider, som man oprindeligt har fremstillet med hydrogenopbevaring for øje, har vist sig at have andre fascinerende egenskaber. Eksempelvis kan nogle metalhydrider transportere litium-ioner og derfor bruges i batterier, mens andre kan skifte mellem at være transparente og reflekterende, hvilket kan bruges i moderne sensorer eller i "intelligente vinduer". Ved Aarhus Universitet har vi fremstillet en ny type litium-ionleder baseret på sjældne jordarter,  $\text{LiM(BH}_4)_3\text{Cl}$  (hvor  $M$  kan være de sjældne jordarter La, Gd og Ce). På grund af krystalstrukturen har materialet en meget høj ledningsevne selv ved stuetemperatur.

Forskningen i hydrogenholdige forbindelser har også ført til opdagelsen af en række helt nye "perovskit-type-forbindelser". Perovskit henviser til krystalstrukturen og er navngivet efter et mineral. Forbindelser med perovskit-strukturer kan have grundlaget for en lang række vigtige materialeegenskaber. Det kan fx være piezoelektricitet (hvor en meka-

nisk påvirkning kan danne en elektrisk strøm, hvilket anvendes i nogle engangsligter), superledning (hvor elektrisk strøm kan passere nærmest uden modstand) og optiske egenskaber som lysudsendende dioder med forskellige farver.

De nye hydrogenholdige perovskit-materialer har stor strukturel fleksibilitet, og egenskaberne kan designes ved valget af grundstoffer. Den nye forskning giver muligheder for kontrolleret at designe nye forbindelser med ønskede forbedrede egenskaber, hvilket er et stort gennembrud inden for materialeforskning.

Der er ingen tvivl om, at energiopbevaring er alt afgørende i et fremtidigt energisystem baseret på varierende mængder af vedvarende energi. Hydrogen er måske den eneste løsning til at opbevare de store mængder energi, der kræves. Og det virker. I to mindre demonstrationsbyer i Japan er 150 huse installeret med brændselsceller, der producerer strøm og varme, mens biler, scootere og busser kan tanke hydrogen på tankstationerne. Resultater peger på, at energieffektiviteten er ca. dobbelt så stor både for produktion af strøm i biler (~40 %) og for varme- og strømproduktion i folks huse (~70-80 %) sammenlignet med konventionelle metoder. Der er også forsøgshuse i Danmark, som forsynes med strøm og varme fra hydrogen og brændselsceller. ■

### Videre læsning

Sustainable Energy – without the hot air, David JC MacKay, UIT, CAMBRIDGE. (Frit tilgængelig på [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com)).

M. B. Ley, L. H. Jepsen, Y.-S. Lee, Y. W. Cho, J. M. Bellosta von Colbe, M. Dornheim, M. Rokni, J. O. Jensen, M. Sloth, Y. Filinchuk, J. E. Jørgensen, F. Besenbacher and T. R. Jensen, Mater. Today, 2014, 17, 122–128.

L. Schlapbach, Nature, 2009, 460, 809–811

U. Eberle and D. R. von Helmolt, Energy Environ. Sci., 2010, 3, 689–699.



**yourniversity**



**#yourniversity  
#aarhusuni  
#auringeniør**

## **Your life. Your choice. Yourniversity.dk**

Diplom- eller civilingeniør?  
Vælg imellem 21 uddannelser  
[ingenior.au.dk](http://ingenior.au.dk)



AARHUS UNIVERSITET



Verden omkring os, vores mad og vi selv består af kemikalier. Nogle af disse kemikalier er reguleret af lovgivningen, andre er ikke, og baggrunden for dette virker ikke altid helt logisk. Forfatteren efterlyser en mere saglig debat om, hvad vi vil acceptere af kemikalier i fx vore fødevarer og drikkevand.

# Hvad vil vi acceptere af kemikalier i drikkevand og fødevarer?



**Om forfatteren**

Nina Cedergren er professor  
Institut for Plante og Miljøvidenskab,  
Københavns Universitet  
[n cf@plen.ku.dk](mailto:n cf@plen.ku.dk)

Frem til 1960'erne var så godt som ingen kemikalier reguleret. Virksomheder kunne udlede, hvad de ville, og folk kunne bruge alle mulige produkter uden viden om, hvad der var i dem. Og det gjorde de. To hændelser satte imidlertid fokus på nødvendigheden af at vide, hvad der sker med kemikalier i miljøet, og hvilken virkning de har på mennesker og miljø. Den ene hændelse gik under navnet Minimata-sygen. Den opstod i 1956 i den japanske fiskerby Minimata, hvor folk fik motoriske forstyrrelser, og kvinderne fødte voldsomt hjerneskadede børn. Det viste sig, at symptomerne skyldtes methyl-kviksølv udledt med spildevandet fra en nærliggende industri til havet, hvor det akkumulerede op gennem fødekæden og endte i de fisk, som befolkningen spiste.

Den anden hændelse var, da man blev opmærksom på miljøvirkningerne af den voldsomme brug af insektmidler som fx DDT efter anden verdenskrig. Det blev i 1962 malende beskrevet af Rachel Carson i bogen *The Silent Spring*, hvor forfatteren undrede sig over, hvor lydene af svirrende insekter og syngende fugle var blevet af.

Til sammen skabte disse begivenheder en vældig global debat omkring de negative virkninger af menneskeskabte kemikalier. En debat, der dannede grobund for den regulering, vi i dag har af primært industrielt producerede kemikalier.

### Hvilke kemikalier bliver reguleret?

Man regner med, at der i Europa anvendes omkring 100.000 forskellige menneskeskabte kemikalier i forskellige produkter. Der findes i EU specielle lovgivninger for grupper af kemikalier, som man antager potentielt udgør den største risiko for mennesker og miljø, nemlig medicin, fødevarer, kosmetik, biocider og pesticider. De resterende menneskeskabte kemikalier bliver reguleret via den europæiske kemikalielovgivning REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals), som er under indfasning.

Det er imidlertid ikke kun menneskeskabte kemikalier, der kan være potentielt farlige. Nogle af de mest potente giftstoffer, man kender, stammer fra naturlige kilder, hvorfor man også regulerer eksempelvis naturligt forekommende svampetoksiner i vores fødevarer. Ligeledes var der i julen 2013 en debat om, hvorvidt man skulle regulere indtaget af det naturligt forekommende stof kumarin, som bl.a. findes i kanel, og som i for store mængder kan være kræftfremkaldende. Andre naturlige giftstoffer som alkohol, koffein og nikotin har man valgt ikke at regulere.

### Principper for regulering

Kemikalier er grundlæggende reguleret ud fra et eller flere af tre principper: 1) risikoen for at stoffet kan forårsage en uønsket virkning, 2) stoffets

iboende egenskaber eller 3) politiske principper. Nogle gange hører man om "forsigtighedsprincippet" i forbindelse med kemikaliregulering. Forsigtighedsprincippet er et retsligt princip, der gør det muligt at handle, selvom man ikke har de nødvendige videnskabelige data, hvis truslen for mennesker og miljø er tilstrækkeligt stor. En anvendelse af forsigtighedsprincippet kræver derfor, at man vurderer, at der er en stor trussel for mennesker og/eller miljø.

Nogle grupper af kemikalier, fx medicin, kosmetik og fødevarer, er udelukkende reguleret på baggrund af en risikovurdering. En risikovurdering er meget omfattende og kræver store mængder af data omkring stoffernes giftighed og menneskers eksponering til stofferne. Andre stoffer, fx pesticider, bliver i nogle sammenhænge vurderet på baggrund af risiko og i andre sammenhænge på baggrund af politiske principper. Det sidste gælder fx for indholdet af pesticider i drikkevand og fødevarer, hvor man har et princip om, at stofferne ikke må findes. Grænseværdierne for pesticider i drikkevand i EU er derfor 0,1 µg/L, da det var den værdi, man kunne måle i 1980'erne, da loven blev indført.

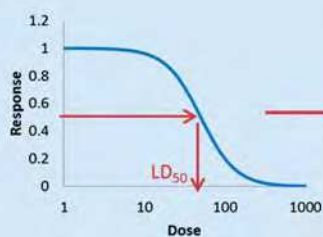
Grænseværdierne for pesticider i fødevarer, kaldet MRL (Maximum Residue Levels), er også generelt baseret på princippet om, at hvis man kan måle dem, er der for meget. Undtagelsen er nogle af de pesticider, der er godkendt til brug tæt på høst eller som overfladekonserverende på fx citrusfrugter. For disse pesticider er grænserne baseret på den mindste dosering, der kan give en god kontrol med den sygdom eller de skadedyr, der skal kontrolleres under god jordbrugspraksis. MRL-værdien skal selvfølgelig være mindre end den maksimale værdi, der på baggrund af en risikovurdering er uskadelig. I modsætning til grænseværdien for pesticider bliver grænseværdierne i drikkevand og fødevarer for potentielt giftige kemikalier såsom PAH'er, dioxiner, nitrat, nitrit og diverse metaller, fastsat på baggrund af en risikovurdering.

Den sidste revision af den europæiske pesticidlovgivning har nu også inkluderet stoffets iboende egenskaber som faktorer, der kan forårsage et forbud mod eller restriktioner i brugen af et pesticid. Også selvom risikovurderingen viser, at den reelle risiko ved en bestemt anvendelse er minimal.

### Når gode intentioner får det modsatte udfald

Et eksempel på brug af forsigtighedsprincippet i EU var, da EU-kommissionen vedtog et 2-års forbud (trådt i kraft i 2014) mod at bruge en gruppe insektmidler, neonikotenoiderne, til bejdsning af frø fra blomstrende planter. Det blev gjort på baggrund af en bekymring for, hvorvidt disse insekt-

## Risikovurderinger



En risikovurdering af et kemikalie beskriver sandsynligheden for, at et kemikalie er til stede i en mængde, der kan have en negativ virkning for mennesker eller natur. En risikovurdering kræver derfor adgang til to typer af information:

- 1) Hvilken mængde af kemikaliet giver en negativ virkning?
- 2) Hvor stor er sandsynligheden for, at mennesker eller miljø bliver udsat for kemikaliet? Og i hvilke mængder?

Information om giftigheden får man fra forsøg på mikroorganismer, planter og dyr, som man udsætter for stigende mængder af kemikaliet, mens man måler på parametre som organismernes vækst, reproduktion og overlevelse eller på

deres adfærd, sygdomsudvikling etc. Denne type forsøg giver såkaldte dosis-respons-kurver (se figuren), hvor man kan aflæse den mængde af kemikalie, der skal til for at give fx 50 % virkning på den parameter, man måler på. Hvis man måler på overlevelse, kalder man en 50 % virkning for  $LD_{50}$ .

Information om eksponering kan man få på to måder: Man kan enten måle mængden af kemikaliet i dyr, mennesker eller i miljøet (hvilket man typisk gør med kemikalier, der allerede er i miljøet), eller man kan anvende computermodeller, der kan estimere, hvordan et kemikalie vil opføre sig i miljøet (typisk i forbindelse med godkendelser af kemikalier, fx pesticider).



Risikoen ved en gruppe potentielt giftige kemikalier afhænger af, hvilken sammenhæng de indgår i. Det er her illustreret for polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er), hvoraf nogle er kræftfremkaldende. PAH'er indgår bl.a. i asfalt, hvor de sidder rigtig godt fast. Risikoen for, at de frigives til miljøet og ender i mennesker, er derfor meget lille. De samme stoffer kan også findes i fødevarer, bl.a. røgede produkter og fisk. Her er risikoen for, at mennesker bliver udsat for stofferne større, og man har derfor fastsat grænseværdier for specifikke PAH'er i fødevarer og drikkevand. PAH'er forekommer

også i tobaksrøg. Her er risikoen for, at mennesker, der indånder tobaksrøg, bliver udsat for kræftfremkaldende PAH'ere meget stor. I dette tilfælde har man dog valgt kun at lovgive om, *hvor* man må ryge, men ikke *om* man må ryge. Man har i stedet valgt at advare om tobaksrøgens giftighed på pakkerne.

En risikovurdering er altså baseret på videnskabelige data, men måden, hvorpå man vælger at håndtere denne risiko, er en politisk beslutning.

midler kunne findes i planternes nektar og pollen i mængder, der kunne være skadelige for honningbier og andre bestøvende insekter. Eksperterne i det Europæiske Agentur for Fødevarsikkerhed (EFSA) udarbejdede en rapport, der sagde, at man ikke med nuværende data kunne belyse den fulde risiko. Det blev derfor besluttet, at man over en 2-årig periode skulle skaffe flere data.

Når man bejdsrer frø, tilsætter man svampe- og insektmidler til en tynd skal, der ligger omkring frøet. Disse midler beskytter selve frøet og i tilfældet med neonikotenoide bliver insektmidlet desuden optaget af planten, når den spirer og beskytter

dermed de små planter mod insektangreb. Bejdsning af frø er generelt set en meget skånsom måde at tilføre pesticider: Dels er den anvendte dosis meget lav sammenlignet med midler, der sprøjtes på afgrøden, dels er det kun de skadedyr, der spiser af afgrøden, der bliver påvirkede, mens nyttedyr som rovmidler, edderkopper og rovbiller går fri.

Konsekvensen af det midlertidige forbud mod neonikotenoide i bl.a. bejdsning af rapsfrø betyder, at landmændene i stedet sprøjter op til flere gange med de langt mere miljøskadelige insektmidler pyrethroider. Sprøjtning med pyrethroiderne slår også nyttedyr ihjel, og den større frekvens af sprøjt-



## Toksicitetsværdier og grænseværdier

	Toksicitetsværdier		Grænseværdier		
	LD <sub>50</sub> (mg/kg kropsvægt)	ADI (µg/kg kropsvægt)	MRL (µg/kg fødevarer)	Drikkevand, EU (µg/L)	Drikkevand, WHO (µg/L)
Aflatoxiner (naturlige svampetoksiner)	0,5-10	0,05-2	0,0001-0,015	-	-
Glycosinolater (naturlig metabolit i bl.a. kål, radisser og peberrod)	180	-	1-4 mio.	-	-
Koffein (naturlig metabolit i bl.a. kaffe)	192	-	0,4-2 mio.	0,2-1,2	-
Cypermethrin (pyrethroid-insektmiddel)	250	50	0,05-2	0,1	300
Imidacloprid (neonikotenoïd-insektmiddel)	450	60	0,05-1	0,1	-
Solanin (naturlig metabolit i bl.a. kartofler)	590	-	50-250	-	-
2,6-dichlorobenzamide (BAM) (undersøgt pesticidmetabolit)	1.470	100	-	0,1 (Danmark)	-
Prosulfocarb (ukrudsmiddel)	1.820	20	0,01-0,02	0,1	-
NaCl (køkkensalt)	3.000	-	-	-	-
Azoxystrobin (svampemiddel)	>5.000	200	0,05-15	0,1	-
Metsulfuron-methyl (ukrudsmiddel)	>5.000	220	0,05	0,1	-
Glyphosate (ukrudsmiddel)	5.600	1.000	0,1-0,5	0,1	700 (USA)

Tabel med toksicitetsværdier og grænseværdier for udvalgte kemikalier. Værdierne LD<sub>50</sub> er baseret på rotteforsøg, mens ADI angiver Acceptabelt Dagligt Indtag. Grænseværdierne i højre del af tabellen er dels for fødevarer (MRL = Maximum Residue Levels), dels for drikkevand i EU og fastsat af Verdenssundhedsorganisationen (WHO). Køkkensalt er taget med i tabellen for sammenligningens skyld.

For plantetoksinerne/-metabolitterne solanin, glycosinolat og koffein findes grænseværdier for fødevarer ikke. I stedet er

angivet de koncentrationer, der naturligt findes i fx kartofler, kål og brygget kaffe, og som er fundet i grundvand (fed skrift).

Farverne angiver toksicitetsværdier baseret på forsøg (blå), grænseværdier baseret på en risikovurdering (grøn) og grænseværdier baseret på politiske principper (orange). Intervalterne for MRL-værdierne repræsenterer detektionsgrænsen (lav værdi) og den mængde, der må findes, hvis afgrøderne er behandlet efter god jordbrugspraksis (høj værdi).

(se også onlinemateriale for en version af tabellen med kildehenvisninger).

ninger vil uundgåeligt også føre til en større risiko for, at pyrethroiderne ender andre steder i miljøet, hvor de kan gøre skade. Hvis intentionen med forbuddet mod neonikotenoïder på frø var at beskytte miljøet mod negative virkninger af insektmidler, er resultatet (i mine øjne) blevet det modsatte.

### Risikohåndtering

Eksemplet med neonikotenoïderne illustrerer to ting meget godt:

For det første, at forskere ikke altid er enige om, hvor stor en given risiko er (og nul-risiko findes ikke, da der altid vil være ting, man ikke har målt

på). Man kan derfor som forsker altid med rette sige, at der er ting, man ikke har undersøgt.

For det andet, at den politiske håndtering af risiko, og hvordan den evt. skal udmøntes i lovgivning, er en fin balanceakt, hvor både fordele og ulemper ved et forbud ideelt set bør indgå. Dertil kommer, at både forskere og politikere, den implicerede industri og eventuelle interesseorganisationer ofte kan have personlige interesser i at dreje en debat i en bestemt retning. Forskere vil ofte fokusere på risikoen, da en potentiel risiko kan føre til, at der vil blive tilført området flere forskningsmidler. Politikerne vil som regel gerne vælges igen til

Omfanget af information, som skal foreligge i forbindelse med registreringen af et pesticid i EU. Her er det for registrering af insektmidlet chlorantraniliprole, hvor resultaterne af 450 undersøgelser af alt fra analyse-metoder til skæbne og virkning på mennesker og miljø dokumenteres på 60.000 sider.

Foto: Hans-Jürgen Barth, DuPont.



#### Videre læsning:

Du kan finde mere materiale online til denne artikel via denne side: [aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2014/](http://aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2014/) Her kan du læse mere om de tre principper, man regulerer kemikalier efter og du kan finde kildehenvisninger til tallene i tabellen.

Lone Mikkelsen: "Kemikalier i politik og hverdag - EU's kemikaliepolitik REACH, hormonforstyrrende stoffer, nanomaterialer og cocktaileffekter", Det Økologiske Råd, Kbh. 2013 (Kan hentes gratis på nettet)

Guidelines for drinking water quality, World Health Organisation. Bogen kan downloades fra: [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/gdwq-3rev/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq-3rev/en/)

Giftighed og indtag af koffein <http://foodsafety.govt.nz/elibrary/industry/caffeine-info-sheet.pdf> <http://www.caffeineinformer.com/caffeine-safe-limits>

Björklund E, Styrishave B, Anskjær GG, Hansen M og Halling-Sørensen B (2011) Dichlobenil and 2,6-dichlorobenzamide (BAM) in the environment: What are the risks to humans and biota?

næste valg, og er derfor følsomme overfor stemningen i befolkningen. Og industrien vil ofte fokusere på de samfundsmæssige fordele ved deres produkter. Pressen ender ofte med at være den primære formidler af risikoen ved kemikalier til den brede befolkning, og den vil så godt som altid fokusere på risiko og farer, da sådanne historier "sælger" bedst. Befolkningen får derfor let et fordrejet og følelsesladet billede af den reelle risiko ved at anvende forskellige kemikalier.

Når man tager det store vue udover viften af kemikalier og de principper, de er reguleret på baggrund af, kan man finde masser af eksempler på inkonsistens. Fx er koffein ikke reguleret, selvom det er mere giftigt overfor rotter end selv de mest giftige insektmidler, vi bruger i Danmark. Og koffein registreres både i overfladevand og grundvand, når man måler efter den. Også i koncentrationer over de grænseværdier, vi bruger for pesticider.

Svampegifte, som dannes naturligt af svampesyddomme i fx. korn, er reguleret ud fra deres sundhedsrisiko, hvorimod indholdet af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i både afgrøder og i drikkevand, som nævnt, alle næsten udelukkende er reguleret ud fra politiske principper om, at de ikke er ønsket. Sådanne politiske principper er på sin vis rigtig fine, for man skal ikke sprede flere potentielle giftstoffer i naturen end absolut nødvendigt. På den anden side er det også vigtigt, at man åbent kan debattere rimeligheden i disse politiske principper i de situationer, hvor de kan føre til et forbud af pesticider, der ellers vil kunne bidrage til sunde (svampesyddomsfri) afgrøder og højere udbytter på den dyrkede jord.

Ukrudtsmidler som metsulfuron-methyl og lignende produkter risikerer fx at blive reguleret på baggrund af, at deres nedbrydningsprodukter sammenlagt potentielt kan overskride den politisk satte grænse på 0,1 µg/L. Moderstoffet er i sig selv

mindre giftigt end køkkensalt, og selvom der er undtagelser, gælder det generelt, at nedbrydningsprodukter er mindre giftige end deres bioaktive moderstoffer. På den anden side er naturlige planteholdsstoffer i de grøntsager, vi spiser, som solanin i kartofler eller glycosinolater i kål, radisser og peberrod ikke reguleret, selvom de er betydeligt mere giftige end nogle af de ukrudtsmidler, vi har på markedet i Danmark, og selvom de findes i vores grøntsager i temmeligt høje koncentrationer.

#### Regulering af kemikalier i fremtiden

Når man ser på resultaterne af reguleringen af kemikalier gennem det seneste halve århundrede, er der sket rigtigt meget positivt. Vi har fået udfaset de meget giftige pesticider og en række andre industrikemikalier, så rovfugle og insekter er vendt tilbage. Vi har fået forbudt en lang række af de meget svært nedbrydelige stoffer, som akkumulerer i miljøet, og deres forekomst i miljøet er nu for nedadgående, selvom det går langsomt. På trods af denne positive udvikling, får man i pressen ofte indtryk af, at vi bør være mere bekymrede end nogensinde.

Der ligger en udfordring i at håndtere det faktum, at vi med forbedrede analyseteknikker vil være i stand til at måle kemikalier i lavere og lavere koncentrationer, men at de forbedrede metoder samtidig skaber større og større bekymringer blandt folk. Vi finder nu kemikalier i miljøet og i mennesker, som vi ikke fandt for nogle årtier siden, selvom vi målte efter dem; men det sker af den simple grund, at det først er nu, vi faktisk er i stand til at måle dem. Andre kemikalier har man ikke målt efter før, og de "dukker" så pludselig op, når man begynder at måle efter dem.

Vi må derfor vænne os til, at vi lever i en verden af kemikalier. Det bør derfor være den samlede mængde kombineret med stoffernes giftighed, som afgør, om de udgør en risiko og derfor bør reguleres – ikke alene det faktum, at kemikalierne kan måles i miljøet.

Jeg mener det er vigtigt, at vi kan få en saglig og fakta-baseret debat om reguleringen af kemikalier, hvor både fordelene og ulemperne bliver opvejet mod hinanden. Og hvor vi ser på alle kemikalier, både de menneskeskabte og de naturlige, og laver en samlet vurdering af, hvor samfundets ressourcer skal bruges. Målet må være at vi monitorer og regulerer de kemikalier, der udgør den største risiko, og ikke kun dem, der er tradition for at monitorer og regulere.

Metoderne til at finde de kemikalier, der udgør den største risiko findes eller kan udvikles, hvis den politiske vilje er til stede. ■

## Gråsæler på marsvinejagt

Hollandske forskere har været på jagt efter "gerningsmændene" bag en lang række lemlæstede marsvin, der er skyllet op på de hollandske strande det seneste tiår. Dødsfaldene har givet anledning til debat mellem forskere, fiskeindustrien og miljøforkæmpere, som har været uenige om årsagen.

For nylig har forskere fundet DNA fra gråsæl i bidmærker på tre marsvin, ligesom der også er gjort direkte observationer af gråsæl, der har overfaldet marsvin, hvilket peger på gråsæler som den sandsynlige synd. Mardik F. Leopold og kolleger gennemgik med denne viden fotografier af mere end 1.000 marsvin, som var strandet i perioden 2003-2013 og som efterfølgende var blevet obduceret. Af disse var 271 tilstrækkeligt friske ved strandingen til, at der ud fra fotografierne kunne laves en sikker sammenligning af deres sår med de kendte sælofre. På 25 % af disse fandt forskerne sår og kradsemærker, der var magen til, hvad man havde observeret på de tre marsvin, der var testet positive for sæl-DNA. Marsvine-ofrene var primært unge individer, der havde et tykt spæklag og som havde spist for nylig.

Forskerne konkluderer, at hovedparten af de lemlæstede marsvin skyllet op på de hollandske strande har været ofre for gråsæl-angreb, og at gråsæler i det hele taget er en af hovedårsagerne til dødsfald blandt marsvin i hollandske farvande. De spekulerer også over, om det stigende antal marsvin, der fanges og drukner i fiskenet, kan have været medvirkende til, at sæler har udviklet smag for marsvin, i første omgang som ådselædere.

CRK, Kilde: *Proceedings of the Royal Society B*:  
DOI: 10.1098/rspb.2014.2429



Fotografier af skader på de marsvin, der er "testet positive" for gråsæl-DNA.

Leopold, M. F., et al/Proceedings of the Royal Society B.



## Naturvidenskab på Roskilde Universitet

- Undervisning af forskere fra første dag
- Engageret studiemiljø
- Socialt studieliv
- Ny state-of-the-art laboratoriebygning

Mød os på  naturvidenskab på RUC  nat på RUC



# Værdifulde alger

Verden skriger på biomasse til foder, bio-kemikalier og bio-energi. Når vi løber tør for landbrugsjord, må vi dyrke i vand. Alger kan bruges til produktion af foder, ingredienser og fødevarer, og algerne kan rense spildevand for kvælstof og fosfor.

Foto: Teis Bøderskov, Hjørnø Havbrug.

Dansk tang i store mængder og høj kvalitet kan være den næste store eksportartikel. I slutningen af maj 2014 var seks danske tangekspertes i Kina for at promovere salg af dansk tang. Målet var at sælge tangen uforarbejdet og salgsargumentet var den gode smag og "fødevarer sikkerhed", fordi dansk tang er dyrket i rent vand og er håndteret hygiejnisk.

Der er en stigende interesse i at dyrke alger, fordi trykket på landbrugsjorden øges som følge af befolkningsekspllosion, global vækst i middelstanden med stigende krav til kvalitet af fødevarer, og fordi jord tages ud af fødevarerproduktion for at dyrke energi-afgrøder. Jord er en begrænset ressource, og der er stærke fortalere for at undgå at drive rovdrift på naturlige skove, hvilket giver en yderligere reduktion i det areal, som kan inddrages til planteproduktion. Et alternativ til at dyrke på land er at dyrke i vand.

Makroalger eller tang dyrkes typisk i havet og ofte nær kysten. I Asien er der en lang tradition for at dyrke og spise tang, og i Europa har man længe høstet naturligt voksende tang og anvendt det til produktion af alginat (fortykkelsesmiddel). Man har udviklet bioreaktorer og algedamme til produktion af mikro-alger, som indeholder en række olier og farvestoffer af høj værdi. Udover at de høstede makro- og mikro-alger ved videre forarbejdning bliver til et højværdiprodukt, så vil dyrkningen også bidrage til et bedre vandmiljø, fordi algerne optager planteneringsstoffer, som udledes med spildevand og drænvand. Algerne bidrager også til at reducere vores "kulstof-fodaftryk" (carbon footprint) ved at optage kuldioxid, og fordi alge-biomassen kan omdannes til olie, bioethanol og biogas og dermed fortrænger brugen af fossilt brændstof. Dyrkning af makro-alger reducerer også presset på vandressourcerne, fordi de ikke skal vandes.

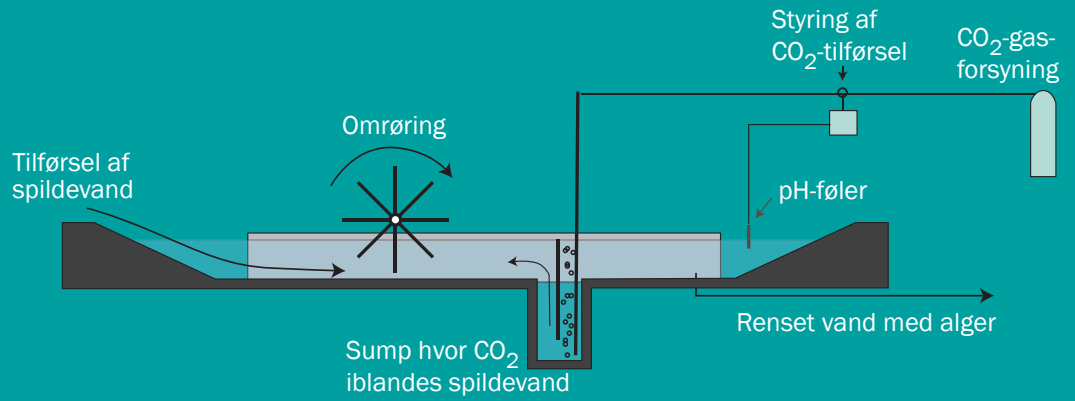
#### Om forfatterne

Forskere og studerende ved det Tekniske Fakultet, Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Syddansk Universitet. Kontakt: Professor Sven G. Sommer sgs@kbn.sdu.dk

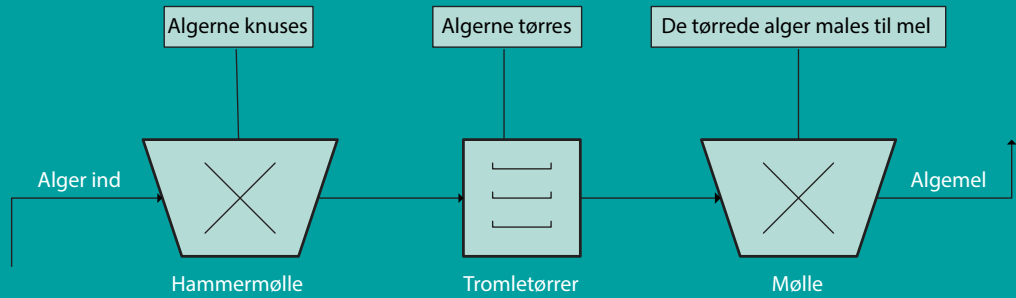


Illustration af et rensningsanlæg til spildevand indeholdende fosfor, hvor der også produceres alger. Det var planen at bygge et sådant i Christchurch (New Zealand) før jordskælvet i 2010. Vandet ledes med omrører rundt i anlægget, der er elliptisk som en hestevæddeløbsbane.

Figur modificeret efter Park et al (2011).

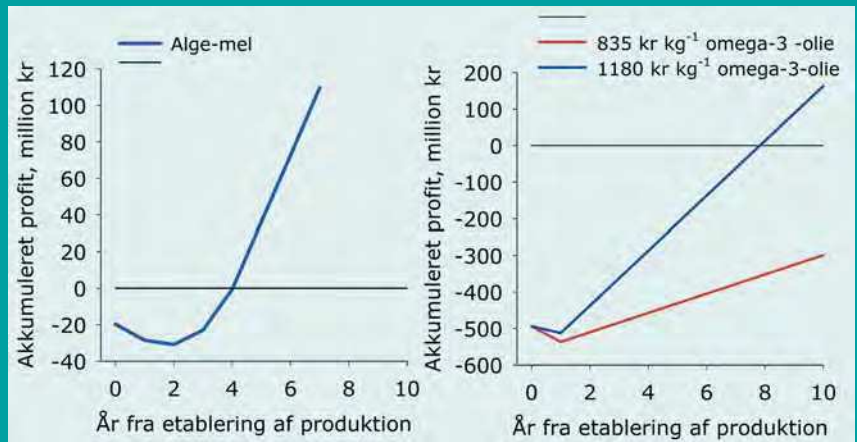


De tre procestrin ved produktion af algemel; knusning i en hammermølle, tørring og formaling.



Forrentning af den investerede kapital ved driften af anlæg til produktion og bearbejdning af algebiomasse. Venstre figur viser produktion af algemel produceret ved tørring og formaling af makroalger. Det antages her, at algerne er et affaldsprodukt fra rensning af havet omkring havdambrug.

Figuren til højre viser produktion af omega-3-fedtsyrer ved ekstraktion af fedtsyrerne fra mikroalger, hvor omkostninger til produktion af algerne indgår i beregning af profitabilitet.



I et projekt ved det Tekniske Fakultet ved Syddansk Universitet har vi set på mulighederne for at anvende makro- og mikro-alger til at tilbageholde fosfor fra spildevand og dræn, til produktion af proteinfoder til svin og fisk og til produktion af omega-3-fedtsyrer. Vi har også i projektet vurderet økonomien i processerne, som jo er altafgørende for, at der kan komme en produktion i gang.

### Bedre miljø med mikroalger

Alger optager kulstof, kvælstof og fosfor fra vandet, de vokser i, og næringsstofferne indgår i dannelse af algebiomasse. Hvis algerne ikke høstes, vil biomassen indgå i det store næringsstofkredsløb, og i somre med stille og solrigt vejr har nedbrydningen af algerne medført iltsvind og fiskedød. Hvis algerne derimod høstes overføres biomassen til det antropologiske "stofkredsløb", hvor den kan bidrage som føde, foder, råvare ved biproduktion og ved energiproduktion.

Mikroalger dyrkes i damme eller i bioreaktorer. Mikroalger er meget effektive til at optage fosfor ved meget lave koncentrationer og kan hente næringsstof i spildevand eller vand fra dræn, kulstof fra kuldioxid og energi fra solen. Dybden af dammen er 0,3-0,5 m for at sikre lys til alle lag. I Danmark vil de korte dage om vinteren være en begrænsende faktor, som evt. kunne overkommes ved at anvende LED-lamper, der kan producere fotosynteseaktivt lys ved lavt energiforbrug.

Produktion af mikroalger kræver effektiv styring af kuldioxid-tilførslen for at sikre nok i dag-perioden, hvor algerne optager kuldioxid og undgå tilførsel om natten, hvor algerne afgiver kuldioxid. Denne styring kan foregå ved måling af pH. Tilførslen af kuldioxid skal begrænses, når pH er lavt, fordi kuldioxid bliver til kulsyre, og der tilsættes kuldioxid, når algerne optagelse af kuldioxid har øget pH.

Hjarnø Havbrug udvikler dyrkningssystemer af makroalgen sukkertang (*Saccharina latissima*), der bl.a. kan anvendes til produktion af foder til grise og fisk.

Foto: Teis Boderskov, Hjarnø Havbrug.

### Algeprojektet

Denne artikel bygger på et projekt, hvor forskere og studerende ved det Tekniske Fakultet ved Syddansk Universitet gennem et halvt år har studeret teknologier, som kan omdanne mikro- og makroalger til værdifulde produkter. De studerende, der har deltaget i projektet og som også har bidraget til at skrive denne artikel er: Simon Bornemann Baudtler, Alex Juhl Burchall, Rasmus Skammelsen Christensen, Jeanette Rolighed Schjøtz From, Thit Marie Buch Güllich, Marina Yovkova Linova, Maria Fredskov Munch og Morten Gildsig Poulsen.

Det rensede spildvand indeholder en høj koncentration af alger, som kan opkoncentreres med en efterklaringsstank, centrifuge eller filterpresse. Man skal sikre, at høsten af alger ikke medfører, at algepopulationen reduceres. Effekten er en reduktion i fosforindholdet på 98 % og kvælstofindholdet på over 90 %.

### Makroalger til fiske- og grisefoder

Hjarnø Havbrug udvikler dyrkningssystemer til dyrkning af makroalgen sukkertang (*Saccharina latissima*). Målet er at etablere algemarken rundt om havdambrug og derved mindske udledningen af næringsstoffer udskilt fra fiskene. Der arbejdes også på udvikling af høstteknologier og metoder til afvanding af tangen efter høst. Målet med en effektiv afvanding er at undgå tab af værdifulde organiske forbindelser og næringsstoffer i vandet, som presses ud af tangen.

En enkel og økonomisk forarbejdning af makroalgerne er at tørre og knuse dem. Det kan gøres ved først at køre algerne gennem en hammermølle, hvor de findes. Derpå ledes de knuste alger ind i en tørrerotmølle, hvor de tørres. Kunsten er her at undgå, at algerne, som følge af opvarmningen klæber sammen, så tromlen stopper til. Efter tørring har man et algemelprodukt, der er velegnet som foder til svin og fisk. Det er beregnet, at anlægget kan give overskud allerede efter fire år. Disse beregninger er baseret på, at algemelet kan sælges for 59 kr. kiloet, og der er ikke medregnet omkostninger til at dyrke algerne, da formålet med algeproduktionen er at rense vandet fra dambruget.

### Produktion af omega-3-fedtsyrer

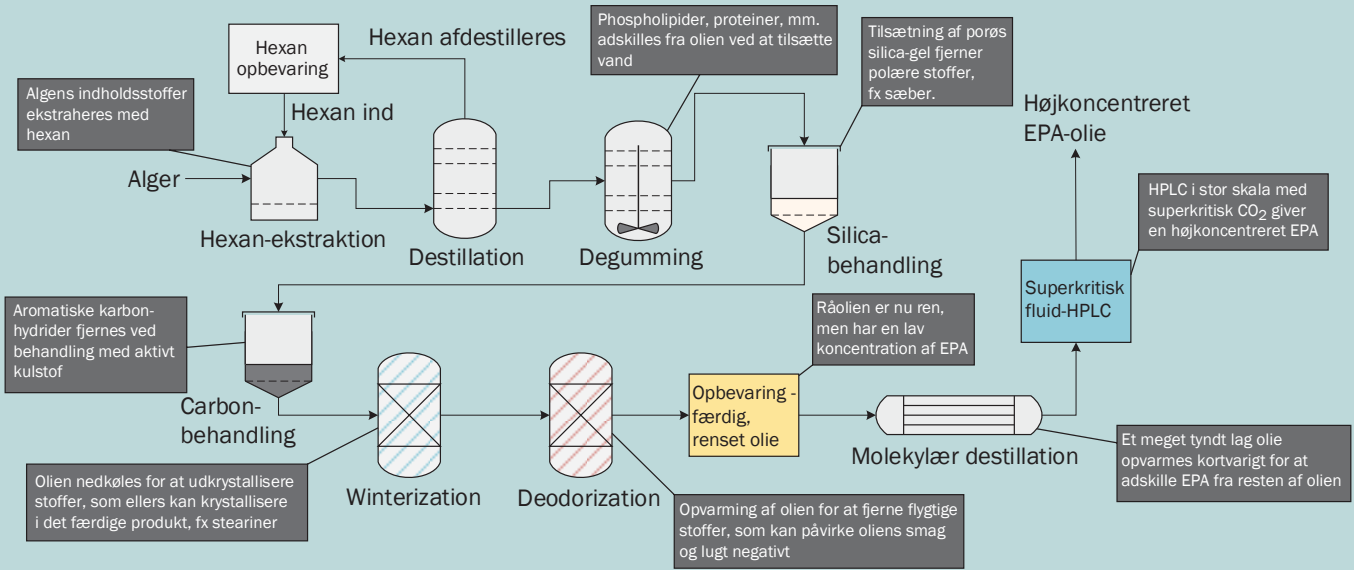
I stedet for at sælge algemel kan man udvinde højværdiprodukter af algerne. Alger indeholder omega-3-fedtsyrer (olier), som har et stort og stigende globalt markedspotentiale og sælges til en høj pris. I dag er markedet for omega-3-fedtsyrer fra fisk anslået til at være på ca. 150 milliarder kr.

Til den produktion kan man vælge at dyrke rødalgen søl (*palmaria palmata*), som har et højt indhold af omega-3-fedtsyren EPA (Eicosapentaen-syre) og som kan dyrkes under danske forhold. Algen høstes en gang om året, og produktionen af EPA skal være kontinuert over året for at være rentabel. Derfor skal algen tørres, så den kan opbevares på et lager. Er vandindholdet højere end 13-15 % vil svampe og bakterier begynde at omsætte materialet.

Udvinningen af olien er en kompliceret proces. Makroalgerne indeholder typisk mindre end 1 % EPA, og der er tab forbundet med de mange processtrin, hvor olien renses. Derfor skal der til en daglig produktion på 33 kg EPA bruges 3,8 ton algetørstof.

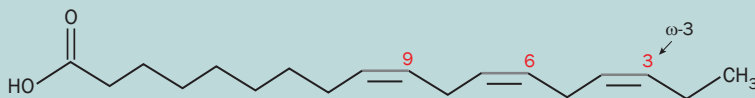
Produktionsomkostninger i anlægget er høje, og økonomien ved produktionen er ikke god. Der må forventes negativ tilbagebetaling af investeringen, selv hvis der ikke betales for algerne, som antages at være et spildprodukt ved rensning af havvand omkring havdambrug. Der er imidlertid et stort potentiale for at øge udbyttet ved at for-

# Produktion af omega-3-fedtsyrer



Figuren viser et flowskema for produktion af omega-3-fedtsyrer EPA. I det første procestrin blandes alge-melet med hexan, som opløser fedtsyrerne og dekanteres fra den øvrige ikke-opløselige biomasse, hvorefter hexanen destilleres fra olien. Olienen er ikke ren, så der skal fjernes proteiner og kulhydrater. Disse renses fra ved tilsætning af vand, fordi disse forbindelser er opløselige i vandet, og der dannes derved en gummiagtig substans, som kan fjernes. Derefter fjernes polære forbindelser, som syrer og baser, ved karbonatbehandling og filtrering med silica-gel. Med aktivt kulstof fjernes PAH, furan og dioxi-

ner og slutteligt fjernes steariner ved at køle olien. Næste trin i processen er at destillere olien ved lav temperatur for at øge koncentrationen af EPA. Destillatet bliver derpå ekstraheret med superkritisk kuldioxid for at få et helt rent produkt. Ved højt tryk og let øgede temperaturer får kuldioxid fantastisk gode separationsegenskaber, som effektivt opløser olien. Den superkritiske kuldioxid, der indeholder olien, ledes gennem en fast fase af silica-gel, der tilbageholder de forurenende forbindelser. Ved denne proces produceres en olie, som indeholder 95 % EPA.



Omega-3-fedtsyrer er flerumættede syrer, hvor kulstofatom nummer tre fra kulbrinteenden har en dobbeltbinding. Den position på kulbrintekæden kaldes ω-3 (omega-3). Omega-3-fedtsyrer er essentielle fedtsyrer, som mennesket ikke eller

kan danne og som vi derfor skal have ind med føden. Nogle vigtige omega-3-fedtsyrer, ernæringsmæssigt set, er alfa-linoleninsyre (ALA), eicosapentaensyre (EPA) og docosahexaensyre (DHA).

enkle processen og øge udbyttet ved den læringsproces, det er at have et anlæg kørende.

stisk i takt med at teknologierne til dyrkning og høst udvikles.

Den store udfordring for denne produktion er konkurrencen med fiskeindustrien. Fisk er på nuværende tidspunkt en billigere råvare end makroalgerne, samtidig med at de indeholder langt flere fedtsyrer. Men i takt med at befolkningen stiger og fiskekvoterne falder, må det forventes at brugen af fisk til fedtsyreproduktion vil begrænses. Her vil produktionen af fedtsyrer fra alger kunne konkurrere, da fedtsyrepriserne i så fald vil stige, hvilket vil forbedre muligheden for produktion af algefedtsyrer. Ydermere forventes råvareprisen for algerne at kunne reduceres dra-

**Økonomi og læring**  
Produktion af algemel er den mest enkle teknologi præsenteret her og den teknologi, som giver den bedste tilbagebetaling. Beregningen af økonomien ved produktion af algemel afhænger af salgsprisen, som på det internationale marked i høj grad afhænger af, hvilket segment, der sælges til. Prisen vil afhænge af mængden af den globale produktion, og både produktets kvalitet og tillid til kvaliteten. Et eksempel på tillid er, at danske landbrugsprodukter sælges i Kina til en meget høj pris, fordi danske madvarer vurderes at være af høj kvalitet, og fordi der er skarp kontrol med kva-



## Fedtsyrer fra mikroalger

↑ Starterkulturer af *nannochloropsis* kan købes kommercielt, så man kan starte sin egen algeproduktion.

Foto: Reefphyto.co.uk

I brødteksten er beskrevet, hvordan makroalger kan bruges til at producere fedtsyrer, men man kan også anvende mikroalger med et højt indhold af olie. I åbne produktionsdamme risikerer man, at mikroalgerne udkonkurreres af andre mikroorganismer, så derfor er det bedre at dyrke dem i foto-bioreaktorer, hvor miljøet kan styres.

Mikroalgen *nannochloropsis* sp. er et godt bud på en alge, der kan anvendes til produktion på denne måde. Energiforbruget kan reduceres væsentlig ved at dyrke algerne i Sydspanien, hvor der også om vinteren er tilstrækkelig lys til produktionen.

Målet er, at produktionen skal være enkel og teknologien skal udvikles med henblik på at reducere vand- og kuldioxidforbrug. Derfor benyttes alene et superkritisk procestrin med

kuldioxid til at ekstrahere omega-3-olier fra algemassen, så man undgår at benytte skadelige ekstraktionsmidler som hexan. Kuldioxid kan genbruges til algeproduktionen og til ekstraktion, og mest muligt vand kan renses og recirkuleres. For at kunne producere 1 ton alger om dagen skal bioreaktoren have en rørlængde på 1.000 m (diameter 0,64 m). Algerne producerer ilt, som skal udluftes for at undgå forgiftning. Vandet med alger ledes over i en centrifuge, som ved gravitation tilbageholder algerne, og vandet genbruges.

I eksemplet er valgt at opløse omega-3-fedtsyrerne med den flydende, tryksatte og varme (55°C) kuldioxid. Denne løsning kræver mere kuldioxid end teknologien anvendt ved oprensning af omega-3-fedtsyrer fra makro-alger, hvor der forbehandles med hexan.

### Yderligere læsning:

Ole G. Mouritsen (2009): Tang i menneskets tjeneste. *Aktuel Naturvidenskab* 6, 6-11.

Peter Daugbjerg Jensen og Annette Bruhn (2008): Den blå biomasse. *Aktuel Naturvidenskab* 6, 12-14.

Park, J. B. K., Craggs, R. J. & Shilton, N. (2011): Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bio-resour. Technol.* 102, 35-42.

liteten. Prisen på algemel er høj, fordi der er et stort og stigende marked for proteiner til fiske- og svinefarme, og i beregningerne her bidrager den høje pris til en god profit ved produktionen af algemel.

Økonomien ved produktion af højværdiprodukter er ringe, men må forventes at kunne forbedres, fordi de anvendte teknologier er nye, og der derfor helt sikkert er store muligheder for at reducere omkostningerne. Det er kendt, at de første anlæg og den første drift af en ny teknologi er væsentlig dyrere end etablering og drift af velafprøvede anlæg. Over tid sker en læringsproces, som reducerer prisen ved bygning af et nyt anlæg. Selve driften bliver også billigere over tid, fordi man bliver dygtigere

til at styre processerne, hvilket medfører et mindre spild ved produktionen og behov for færre ansatte.

Økonomien kan også forbedres ved at samtænke produktion af de forskellige produkter. Det kan være i anlæg, hvor man først fjerner proteiner og kulhydrater, og der produceres et alge-kulhydratprodukt, som kan sælges som foder. Derpå ekstraheres omega-3-fedtsyrer, som raffineres til et højværdiprodukt. Til slut er der et restprodukt af organiske forbindelser opløst i vand. Det restprodukt vil kunne anvendes til produktion af biogas eller bioethanol. Denne samtænkning går igen i rigtig mange forslag til bio-produktioner og er ofte afgørende for, at anlæggene kan blive profitable. ■

# Priser til beskyttet natur

Grenen ved Skagen er et af mere end 250 danske Natura-2000-områder.

Foto: Colourbox

I år lancerede Europa-kommissionen en "Natura-2000" pris for at skabe opmærksomhed om dette netværk af beskyttede naturområder, som er hjertet i EU's politik for natur og biodiversitet. Fem områder (dog ingen danske) blev i 2014 belønnet for ekstraordinær forvaltning i fem priskategorier. Frem til den 21. januar er der åbnet for ansøgning til næste runde af Natura-2000-priser, som vil blive uddelt ved en ceremoni i Bruxelles i maj måned 2015. Alle, der på den ene eller anden

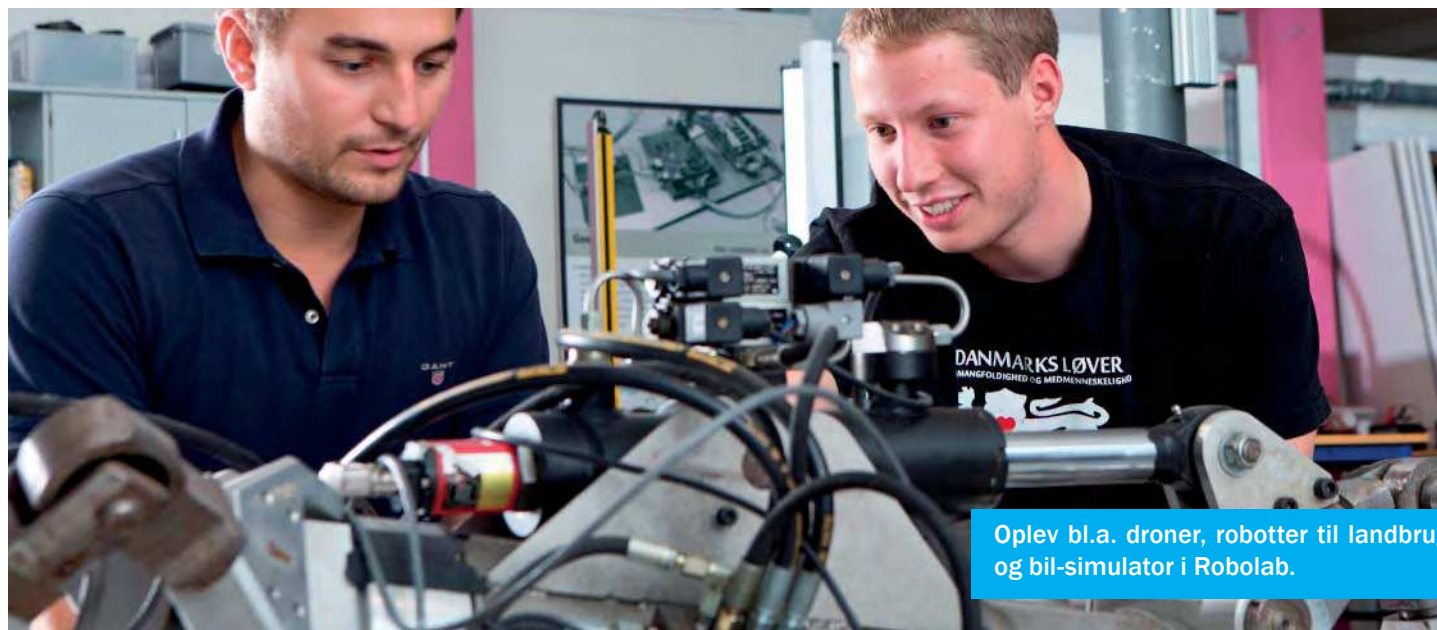
måde er involveret i Natura-2000-aktiviteter, kan indsende en ansøgning.

I Danmark har vi over 250 Natura-2000 områder (som både omfatter områder på land og til vands). Fx er Store Vildmose, Odense Fjord og Saltholm og omliggende hav alle Natura-2000-områder. Så der er nok at tage af, hvis vi gerne vil hente en af priserne hjem til en dansk lokalitet.

CRK, Læs mere om Natura 2000-prisen og ansøgningsprocessen på:

<http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/awards/>

## ANNONCE



Oplev bl.a. droner, robotter til landbruget og bil-simulator i Robolab.

## Besøg SDU's robotlaboratorium

Tag klassen med i SDU's robotlaboratorium Robolab i Odense og få nye perspektiver på din undervisning

En robotteknologi-studerende viser jer rundt og fortæller om de mange forskellige forskningsområder, der arbejdes med i moderne robotforskning. Fx droner, marksprøjte-robotter til landbruget, medicinske robotter, der kan tage blodprøver, robot-arme til

industrien og bil-simulatorer. Rundvisningen tager ca. en time og kan fx kombineres med et oplæg om 'gående robotter', en workshop, hvor I bygger robotter med Lego Mindstorm, eller et af vores andre forløb.

Find alle foredrag og brobygningstilbud på [www.sdu.dk/tek/brobygning](http://www.sdu.dk/tek/brobygning)

Kontakt os for nærmere information på 65 50 75 22 / [brobygning@tek.sdu.dk](mailto:brobygning@tek.sdu.dk)

# Vejen til et bæredygtigt samfund

Hvordan vurderer man, om et samfund er bæredygtigt? Forfatterne har udviklet et værktøj, der kan bruges til at opstille et bæredygtighedsregnskab for et samfund og vurdere, om samfundet over tid udvikler sig i en mere bæredygtig retning.

## Forfatterne



Søren Nors Nielsen,  
Center for Design, Innovation and Sustainable Transition (DIST)  
Department of Development and Planning,  
Aalborg University  
soerennorsnielsen@gmail.com



Sven Erik Jørgensen,  
professor emeritus,  
Københavns Universitet,  
Sundhedsvidenskabeligt fakultet, Institut for farmaci og analytisk kemi  
msijapan@hotmail.com

Hvis man i dag spørger en person om, hvad bæredygtighed er, vil langt de fleste formodentlig være i stand til at give et nogenlunde referat af Brundtland-rapportens udsagn herom. Bæredygtighed er noget med, at vi bevarer vort samfunds nuværende niveau for liv/eksistens, uden at vi ødelægger fremtidige generationers mulighed for at leve på samme niveau og med de samme muligheder, som vi har haft.

Dette er et meget vagt udsagn, og det er klart, at en sådan erklæring ikke kan stå alene. Det er simpelthen væsentligt at få givet en stærkere definition af, hvad bæredygtighed egentlig er. Selvom Brundtlandrapporten giver en række anvisninger på, hvordan man kan forbedre bæredygtigheden, rummer den ingen eksakt definition og giver derfor ikke mulighed for at give et kvantitativt mål for, hvor bæredygtigt et samfund er.

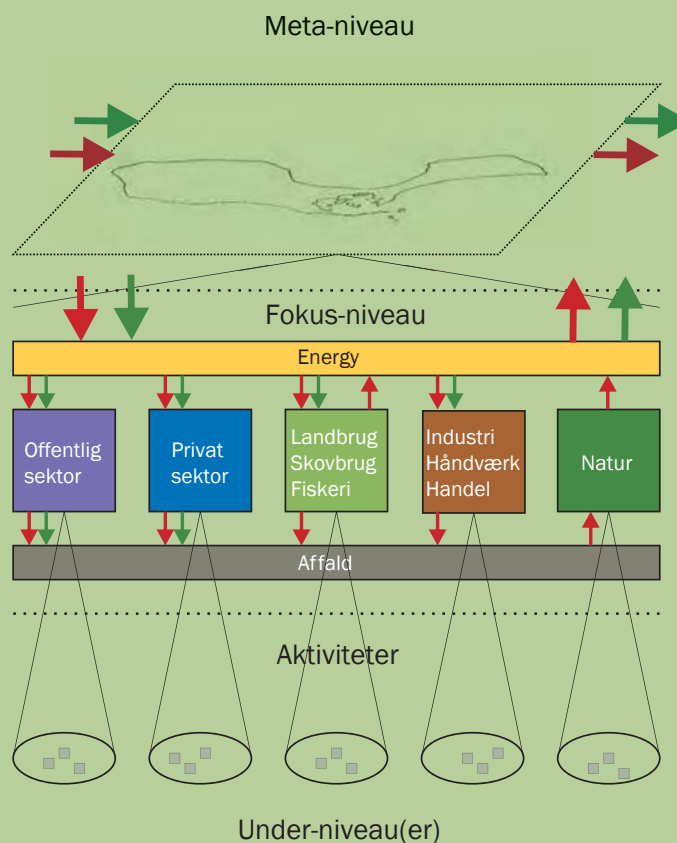
Hvis det er muligt at opstille og beregne et sådant mål for et samfund, vil det også være muligt at følge dette gennem tid og rum. Dermed kan man afgøre, hvorvidt et givet samfund er bæredygtigt eller om det bevæger sig i den rigtige retning, dvs.

mod større bæredygtighed. Ved opstilling af indikatorer vil det være muligt at afgøre 1) hvad der er væsentligt, 2) om eventuelle tiltag har bragt det i en retning mod større bæredygtighed eller 3) muliggøre beregning af konsekvensen af påtænkte tiltag.

## Bæredygtighedens dilemmaer

Bæredygtighed bliver ofte opdelt i fire typer: human, økologisk, social og økonomisk bæredygtighed. De fire typer rummer begreber af vidt forskellig karakter, der dog samtidig hænger så stærkt sammen, at det er umuligt at tænke på en type uden samtidig at skulle indtænke de andre typer for bæredygtighed. Uanset hvilken type af bæredygtighed, man tænker på, er det klart, at bæredygtighed forudsætter forekomst af det materielle grundlag for eksistens, nemlig solens energi og depoter af de (grund-)stoffer, som vor koldes jordlag indeholder. Den økologiske bæredygtighed kommer altså før alt andet. Uden den, ingen opretholdelse af mennesker og samfundet og altså heller ikke nogen sociologi eller økonomi.

Der er altså brug for at opstille et mål for bæredygtighed, der i så vid udstrækning som mulig kan tjene til at løse de problemer, der opstår ved



En opdeling af et samfund i sektorer, der rummer essentielle funktioner spændende fra energiforsyning og affaldsbortskaffelse til erhverv, håndværk og privat eksistens. Ved at opdele samfundet på denne måde, kan de forskellige sektorer forbrug af arbejdsenergi opgøres og vurderes. Grønne pile repræsenterer energi- eller stofstrømme, der er baseret på vedvarende ressourcer, røde pile repræsenterer samme, men består af ikke vedvarende eller tabte ressourcer.

at skulle sammenligne og forene så vidt forskellige typer af bæredygtighed som ovenstående. Ved sammenligning kommer man ofte til at skulle drage konklusioner på tværs af tilsyneladende uforenelige størrelser, fx energi, stof og penge. Det er som at sammenligne æbler, appelsiner og bananer.

### Begrebet arbejdsenergi

Imidlertid findes der indenfor fysikken et hidtil overset koncept, der gør det muligt at sammenligne energi og stof, nemlig begrebet "arbejdsenergi". Begrebet kan anvendes til opgørelse af både energi- og stofstrømme på den samme enhed, hvormed et væsentligt første trin til at finde en løsning på problemet er taget. Begrebet er desværre ikke umiddelbart tilgængeligt; men det vil på længere sigt være en fordel, hvis vi vænnede os til tanken om, at ikke al energi er lige god, og at energi bør udtrykkes ved og behandles ud fra dens kvalitet, nemlig dens evne til at udføre arbejde.

Samtidig rummer begrebet den fordel, at det rent semantisk sender et helt klart signal om, at det, vi skal fokusere på i forbindelse med omstilling af vort samfund til at være mere bæredygtigt, er de for-

skellige energi- og stofstrømmes evne til at kunne yde arbejde for os. Store, ens mængder af energi er ikke lige interessante. Hvis de har et lavt indhold af arbejdsenergi, må de anses for tabte og er dermed uinteressante, og vi kan så koncentrere os om at identificere andre energier med højt indhold af arbejdsenergi. Hvis man kunne udvikle en metode, der muliggør en økonomisk værdisætning, der knytter sig til energi- og stofstrømmes indhold af arbejdsenergi, vil man være nærmere et stærkt værktøj, der kan hjælpe med at identificere den nemmeste og mest effektive vej til bæredygtighed.

Tanken er så nærliggende, at vi har prøvet at formulere og udvikle en sådan metode til vurdering af bæredygtighed på grundlag af arbejdsenergi og samtidig gøre metoden anvendelig. Udvikling og testning af metoder er ingen simpel sag, hvorfor vi er startet med et meget simpelt og afgrænset system, der kan tjene som model for et samfund, nemlig Samsø.

### Samsøs bæredygtighed

Flere steder i Danmark og på Samsø især har man taget det første skridt mod et bæredygtigt samfund ved at gøre øens energiforsyning uafhængig af fos-

sile brændsler. Omstillingen er sket i forbindelse med, at Samsø i 1997 vandt en konkurrence om at skulle være "vedvarende energi ø". I 2001 påbegyndtes de første projekter, og siden 2005 har øen haft overskud i elproduktionen. Øens elektricitet produceres i dag af 21 vindmøller med en samlet kapacitet på 34 MW. Derudover bidrager afbrænding af halm, i nogle tilfælde kombineret med solvarmeanlæg, til øens varmforsyning.

Det er helt klart nogle vigtige skridt, der allerede hermed er taget. Men der forbruges eksempelvis stadig en del fossile brændsler på øen i forbindelse med opvarmning og ikke mindst transport. Færgedrift er en nødvendighed for at bevare vore øsamfund. Varer, forbrugsgoder og mennesker skal transporteres til og fra og rundt på øen, og øboere har samme sociale og økonomiske behov og forhold som resten af befolkningen. Den altdominerende aktivitet for mange af vore øer er landbrug, der også danner baggrund for Samsøs eneste produktionsaktivitet.

Siden 1997 er der hvert andet år opstillet et energiregnskab for øen, hvilket er værdifuldt i forbindelse med opstilling af et arbejdsenergi-regnskab. Men regnskabet dækker altså kun energi, så spørgsmålet er hvordan et regnskab, der inkluderer både energi og stofstrømme tager sig ud.

### Samsøs bæredygtighed som eksempel

Vi besluttede at koncentrere os om en kortlægning af øen i seks sektorer: energisektoren, den offentlige sektor, den private sektor, landbruget, industri (incl. handel og håndværk) og naturen.

Ikke overraskende afgøres Samsøs bæredygtighed i dag af det overskud af el, der stammer fra de eksisterende vindmøller. Samsøs balance for arbejdsenergi er positiv (nettogevinst 193 TJ overfor et input på 1410 TJ), hvilket giver øen nogle store potentialer for en omstilling fremover. Regnskabet for øen domineres derudover af forbruget af arbejdsenergi til transport (offentlig såvel som privat), opvarmning og de ressourcer, der er forbundet med øens landbrug. Samtidig viser regnskabet, at en ganske betydelig mængde af forskellige ressourcer er bundet op i øens infrastruktur (fx veje), og at den nødvendige fornyelse af denne kan være problematisk på sigt.

Man kan så opstille et samlet regnskab for øen og beregne forskellige indikatorer for bæredygtighed. Hvor meget struktur skal opretholdes, og hvad er omkostningerne/investeringerne forbundet hermed? Hvordan er forholdet mellem mængderne af vedvarende og ikke vedvarende ressourcer? Hvad er arbejdsenergi-balancen, og hvad er forholdet mellem den arbejdsenergi, der skabes og forlader øen, og den arbejdsenergi, der bruges til at drive

øen? Metoden er udviklet og regnskabet opstillet på basis af året 2011, som er det seneste år for hvilket et energibudget er blevet udarbejdet. Med udgangspunkt i eksisterende ideer og planer for øens fremtid har det været muligt at undersøge, om de påtænkte initiativer også vil bringe øen i en mere bæredygtig retning samt i hvilken udstrækning en sådan udvikling vil afspejles i de opstillede indikatorer. Det har også været muligt at undersøge, hvordan det forholder sig med øens udledning af drivhusgasser og kulstofbalance, og hvordan disse vil ændres med de påtænkte initiativer.

### Samsøs kulstofregnskab

Samfundets udledning af kuldioxid er også vigtig at tage i betragtning, og derfor er der opstillet en model til beskrivelse af kulstofpuljerne og processerne på øen. For at gøre dette indeholder modellen beskrivelse af tre forskellige puljer af kulstof i jord, der nedbrydes med forskellig hastighed. Det er bl.a. forholdet mellem disse puljer, der påvirkes kraftigt gennem forskellige af landbrugets aktiviteter som fx jordbehandling.

Modellen gør det muligt, at man kan beregne landbrugets og naturens optag og udledning af kulstofbaserede drivhusgasser (kuldioxid og metan) samt opgøre udvekslinger af fast kulstof som resultat af import og eksport til og fra øen. Ved hjælp af modellen kan man kortlægge puljer og overførsler mellem dem, således at man kan opstille et kulstofregnskab for øen.

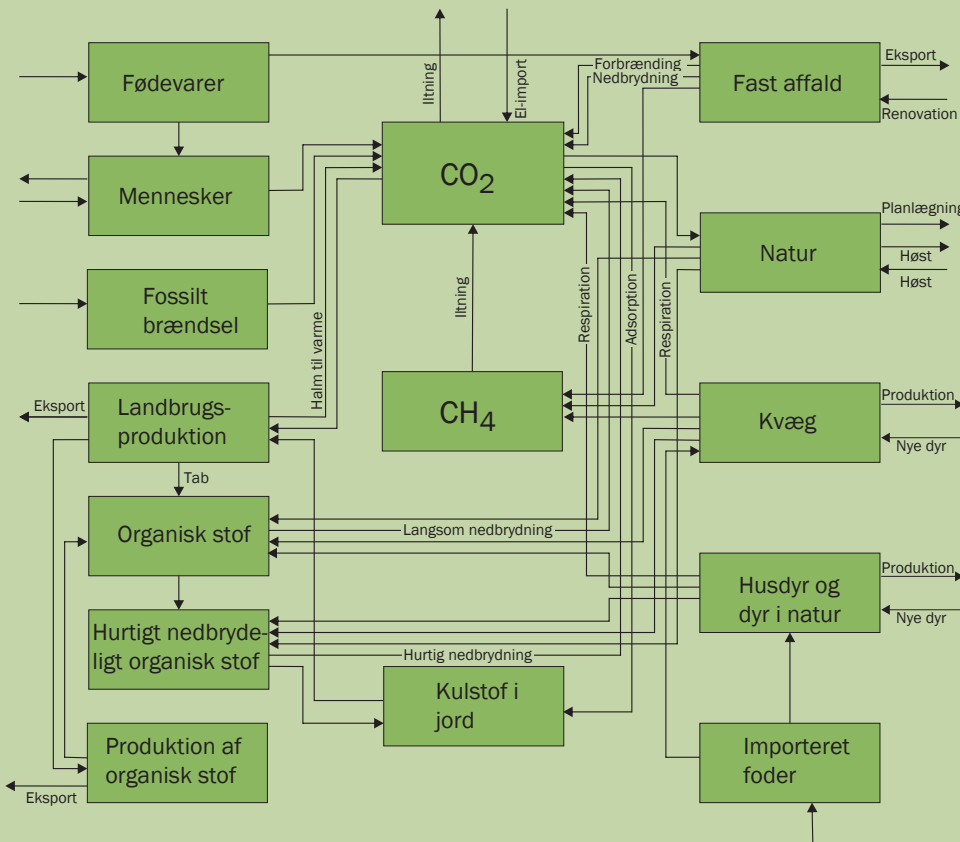
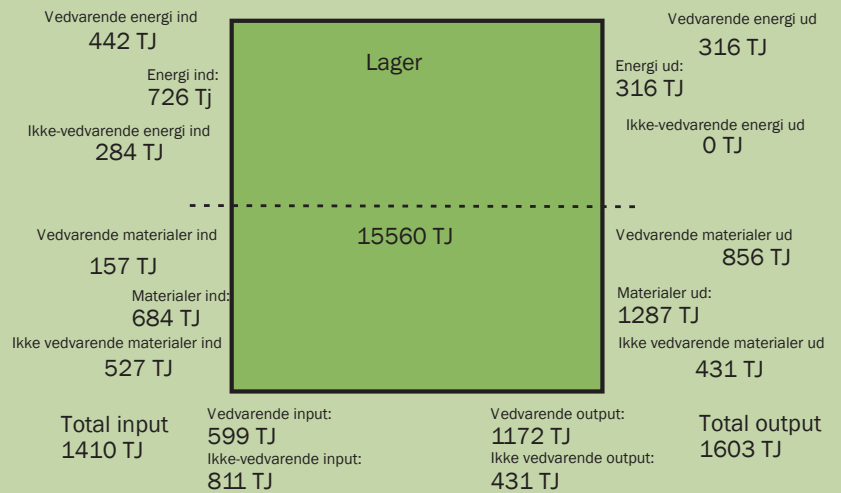
Anvender man modellen på de data, der blev udredt i forbindelse med bæredygtighedsanalysen, kan man se, hvordan balancen for øen er med hensyn til drivhusgasser. I bund og grund vil dette være forskellen mellem den mængde kuldioxid, der optages gennem fotosyntesen og den mængde, der udvikles ved respiration og afbrænding.

Samsøs balance med hensyn til drivhusgasser i 2011 er positiv, idet øen årligt netto optager knap 26.500 t kulstof fra atmosfæren svarende til ca. 232 t/km<sup>2</sup>. Denne balance er alene opnået ved omlægning af øens el-forbrug til at være baseret på el fra øens 21 vindmøller. Regner man tilbage til 1997 ved at gå ud fra energi-regnskabet for dette år, havde øen højst sandsynligt en negativ balance mht. drivhusgasser på omtrent 5.000 t kulstof pr. år.

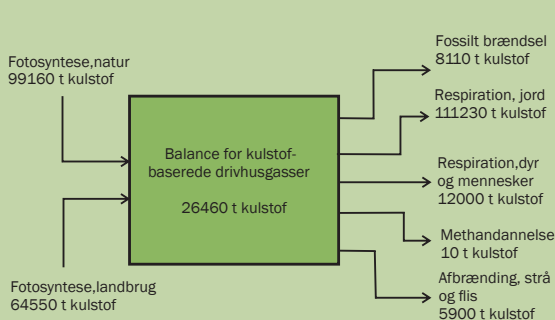
Kombineres ovenstående tal for balancen af drivhusgasser for 2011 med den anden del af kulstofkredsløbet, der udgøres af den kulstof, der er bundet i materialer, bliver regnskabet noget mindre nemlig små 2.000 t kulstof. Hvis man tager usikkerheden på beregningerne i betragtning, er dette tal næppe betydeligt forskelligt fra nul og øens kulstofbalance må i 2011 overordnet set betragtes som neutral.



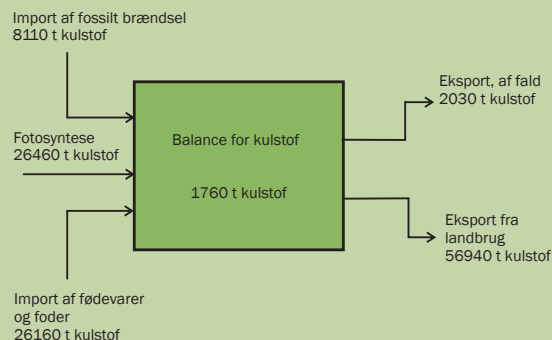
Det samlede budget for arbejdsenergi på Samsø opgjort for 2011. Figuren er opdelt i import og eksport af arbejdsenergi bundet i energi (øverste halvdel) og materialer (nederste halvdel). Arbejdsenergiene er desuden underopdelt i forhold til, hvorvidt de kan anses at stamme fra vedvarende eller ikke-vedvarende ressourcer. Samsø eksporterer mere arbejdsenergi end der importeres (ca. 193 TJ), hvoraf en stor del kan forklares ved eksport af elektricitet og fødevarer. Øen er stadig afhængig af arbejdsenergi hidrørende fra ikke-bæredygtige ressourcer, både i form af fossile brændsler og materialer. Desuden er en betragtelig mængde arbejdsenergi bundet op i samfundets infrastrukturer, fx veje og bygninger.



Diagrammet viser en forenklet udgave af en model udviklet til at simulere kulstofbudgetter for lokale samfund. Nederste del beskriver hovedsageligt puljer og strømme relateret til landbruget, mens den øverste del viser den resterende del af samfundet. En del af de viste puljer og aktiviteter giver anledning til udveksling af drivhusgasser (kulstofbaserede), kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og metan (CH<sub>4</sub>) med atmosfæren. Den mængde kulstof, der indbygges ved fotosyntesen kan ophobes, nedbrydes eller eksporteres.



Regnskabet for drivhusgasser viser, at fotosyntese i natur og landbrug giver anledning til binding af omkring 26.000 t kulstof på Samsø. Af den optagne mængde forsvinder dog mere end 2/3-dele ved respiration i jord.



Regnskabet for partikulært kulstof viser sig stort set at være i balance, da der eksporteres lige så mange tons kulstof fra landbruget som fødevarer, som der importeres i fossilt brændsel, fotosyntese og (re-)import af fødevarer til mennesker og foder til dyr.

## Indikatorer for bæredygtighed

Værdier på udvalgte indikatorer for bæredygtighed beregnet på grundlag af de opstillede regnskaber for arbejdsenergi bundet i både energi og stof for hele Samsø år 2011. Udviklingen i indikatorerne er samtidig beregnet for et hypotetisk scenarie, der tænkes realiseret i år 2020 i forbindelse med omstilling til et samfund uafhængigt af fossilt brændstof.

Med de første tiltag vil overskuddet i arbejdsenergi falde med ca. 40 TJ, men der refterer stadig et overskud på 153 TJ. Samtidig forandrer struktur-indikatoren (S/I) sig fra 11-12, en ganske beskedne ændring, der dog betyder, at den samme struktur opretholdes for lavere omkostninger. Forholdet mel-

lem vedvarende energi og ikke-vedvarende energi i driften af Samsø som samfund ændrer sig til at være større end en (1), hvilket også reflekteres i effektivitets-indikatoren. Den viser, at man vil opnå, at 51 % af øens arbejdsenergi dækkes af vedvarende former. Grunden til at medtage to tilsyneladende ens indikatorer er, at de forventes at have forskellig følsomhed over tid. Hermed vil de spille forskellige roller under forskellige faser af omstillingen. Effektivitets-indikatoren (O/I-indikatoren) er i begge tilfælde over en (1), hvilket skyldes eksporten af arbejdsenergi fra el-produktionen. I 2020 forudsiger modellen, at den er faldet en anelse i forhold til 2011, hvilket skyldes stigningen i intern anvendelse af overskuddet.

Indikator	2011 (seneste data)	2020 (overgang)	
Arbejdsenergi-balance (O minus I)	193	153	
Struktur-indikator (S/I)	11	12	
Vedvarende/Ikke vedvarende ratio	0,73	1,03	O = Eksporteret arbejdsenergi (Output)
Vedvarende effektivitet	0,43	0,51	I = Importeret arbejdsenergi (Input)
Effektivitets-indikator (O/I)	1,14	1,12	S = Arbejdsenergi indlejret i samfundets struktur (Storage)

## Arbejdsenergi

Alle materialer i strukturer og stofstrømme har et givet indhold af arbejdsenergi normalt angivet per masseenhed (m) og varierer med stof (i),  $\xi_{m,i}$  (normalt i enheden  $\text{kJ g}^{-1}$ ).

Mængden af arbejdsenergi,  $\Xi_{m,i}$  i massen m af et givet stof i,  $m_i$ , kan således beregnes som:

$$\Xi_{m,i} = \xi_{m,i} \cdot M_i$$

Indeholder en strukturel komponent, eksempelvis flere stoffer eller materialer (fx) bygninger, må den samlede arbejdsenergi beregnes ud fra summen

$$\Xi_{\text{total}} = \sum \Xi_{m,i}$$

Denne beregningsmetode betragter arbejdsenergi som en additiv størrelse, hvilket ikke er strengt korrekt, da den eksempelvis ikke medtager forøgelse i arbejdsenergi som følge af ændringer i struktur.

### Videre læsning

Jørgensen, S.E. og Nielsen, S.N., A carbon cycling model developed for the renewable Energy Danish Island, Samsø. Ecological Modelling, In Press, Corrected Proof, Available online at ScienceDirect on 2 July 2014.

Nielsen, S.N., Jørgensen, S.E., In Press, Sustainability Analysis of a Society based on Exergy Studies - A case study of the island of Samsø (Denmark). Jour. of Cleaner Production, Accepted Manus., Available online at ScienceDirect on 23 August 2014

Samsø Energiakademi, 2014. Bæredygtigheds-vurdering af Samsø år 2011 - med udgangspunkt i arbejdsenergi og kulstof-balance. Samsø Energiakademi/VELUX FONDEN, 30 pages. (<http://energiakademiet.dk/samsoes-kulstof-balance-er-positiv/>)

Projektet blev finansieret af VELUX-fonden og udført ved Energiakademiet Samsø med villig hjælp fra såvel denne institution som kommune og beboere, der forhåbentlig vil bruge resultaterne i den omstillingsproces, der vil foregå fremover.

Overgangen til et fuldt bæredygtigt samfund vil dog rumme en del aktiviteter, der forventes at ville forbedre denne balance betydeligt.

### Et fremtidsscenarie

Det er muligt at anvende både bæredygtighedsanalysen og kulstofmodellen til at anskueliggøre effekten af fremtidige tiltag. Samsø har allerede en betydelig overskudsproduktion af el, der kan anvendes til at gøre øen endnu mere bæredygtig i stedet for at eksporteres. Man kan således forestille sig, at man i årene frem til 2020 erstatter al det fossile brændstof til opvarmning og transport med elektricitet, dvs. udskifter eksisterende oliefyr med varmepumper og kun kører i elbiler. Desuden er der indregnet en stigning på 5 % i produktionen af el samt delvis ændring af en planlagt ny færge til at sejle på en kombineret el- og biobrændselsmotor.

Hvis man anvender mere af øens elproduktion i forbindelse med omstilling, kan man ikke samtidig eksportere så meget el fra øen som nu. Der vil

dog stadigvæk være et betydeligt overskud, der kan investeres i yderligere omstilling.

På samme tid vil man ved de hypotetiske tiltag samt en intensiveret dyrkning af efter- og mellem-afgrøder kunne ændre kulstofregnskabet til at være endog meget positivt. Således vil øen i år 2020 kunne optage i alt ca. 40.000 ton kulstof i form af kuldioxid om året og udvise en balance i det totale kulstofregnskab på omkring 30.000 ton kulstof.

Overordnet kan det konkluderes, at det er lykkedes at konstruere en nogenlunde enkel metode til opstilling af et bæredygtighedsregnskab for et samfund. Det er samtidig muligt at opstille en række indikatorer for bæredygtighed, som kan anvendes som målepunkter i forbindelse med en omstilling af et samfund til at være bæredygtigt. Beregningerne er samtidig baseret på data, der generelt er tilgængelige for alle kommuner i Danmark. Metoden kan således overføres til anvendelse på kommunalt og regionalt plan. ■

# Prisværdige algoritmer

Den 23. januar modtager Mikkel Thorup Danmarks største individuelle forskerpris: Villum Kann Rasmussens Årslegat til Teknisk og Naturvidenskabelig Forskning på 5 mio. kr. Mikkel Thorup er professor ved Datalogisk Institut, Københavns Universitet, og en af verdens førende eksperter inden for algoritmik og datastrukturer. Han får prisen som en anerkendelse af sine mange gennembrud inden for dette felt. I 2013 vendte han hjem til Danmark efter mange års forskning hos den amerikanske tele- og forskningsgigant AT&T Research med en bevilling fra Det Frie Forskningsråds Sapere Aude-program og leder nu forskningscenteret EADS (Center for effektive algoritmer og datastrukturer).

## Tilfældige funktioner

Tilfældighed spiller en stor rolle i Mikkel Thorups arbejde i den forstand, at tilfældige funktioner – såkaldte hash-funktioner – bruges i næsten al software. En hashfunktion er en særlig funktion, som bruges til at omdanne data fra normalt en stor definitions-mængde til en mindre billed-mængde. En god hash-funktion vil fordele sine resultater så ligeligt som muligt inden for billed-mængden. De tilfældige hash-funktioner bruges bl.a. til at fordele data i computeres lager og hurtigt finde frem til dem igen. Fordelen ved hash-funktionerne er i denne forbindelse, at uanset hvilke konkrete data, vi har fra den store definitions-mængde, så vil disse konkrete data med stor sandsynlighed blive jævnt fordelt i computerens lager, når de bliver tilfældigt placeret. Hash-funktionen foretager den samme udregning, når data skal placeres, og når de skal findes igen. Så ved at se på resultatet af udregningen ved computeren præcist, hvor den skal lede efter givne data – og fordi data er jævnt fordelt, er der ikke alt for mange data at lede igennem på de enkelte positioner, hvor data gemmes.

Et af Mikkel Thorups gennembrud inden for dette område er, at han for nylig fundet den allermest tilfældige hash-funktion, som det på nuværende tidspunkt er realistisk at implementere i computere.

At gemme data er dog kun en af de mange mulige anvendelser af hash-funktioner. De bruges fx også i forbindelse med kryptering, til at udregne statistik og til såkaldt "machine learning". Og som forsker er Mikkel Thorup i det hele taget mere interesseret i de basale matematiske teknikker og teorier end i helt konkrete anvendelser. Han har dog også været involveret i meget praktiske opgaver i sin



tid hos AT&T Research, hvor han bl.a. hjalp dem med at udvikle en ny meget hurtig korttidshukommelse, der kunne tjekke, om trafikken fra alle verdens iPhones kørte i ring. Han brugte samme matematik i et projekt omkring talegenkendelse, og for dette arbejde fik han virksomhedens højeste æresbevisning AT&T Fellow Honor.

## Stablede byggeklodser

Som et mere kuriøst eksempel på Mikkel Thorups forskning har han sammen med internationale kolleger været med til at løse et matematisk problem, der har optaget både fysikere og ingeniører siden midten af 1800-tallet – nemlig hvor langt det er muligt, at få en stabel identiske byggeklodser til at hænge ud over en bordkant. Det er et problem, der er relevant i forbindelse med bygningskonstruktioner, og allerede mayaerne havde nogle fine løsninger på det problem i deres religiøse portaler tilbage fra 900 f.kr. Fordi mayaerne ikke brugte såkaldte slutsten til at bygge stenbuer, blev deres portaler konstrueret ligesom to stabler af byggesten, der mødes.

Mikkel Thorup og kolleger fandt, at  $6N/3$  er den øvre grænse for, hvor langt et sådant udhæng kan række, hvor  $N$  er antallet af byggeklodser.

Resultatet blev fundet så interessant, at det udløste en Mathematical Association of Americas Robbins Prize, der er en matematikpris, der uddeles hvert 3. år inden for kombinatorik, algebra, og diskret matematik.

*CRK, Kilder: videnskab.dk og Science vol. 323, p975*

# Fremtidsteknologi (ud)danner mennesker

Mennesket skaber og skabes af redskaber også i tablet'ens og smartphonens tidsalder. Digitale redskaber (fremtidsteknologier) føjer nyt til historien om det redskabsbrugende menneske. Påvirker fremtidsteknologier os anderledes end tidligere tiders redskaber? Og vil fremtidsteknologi ændre interessen for naturvidenskab?

## Forfatterne



Theresa Schilhab, lektor  
tsc@edu.au.dk



Cathrine Hasse, <  
professor  
caha@edu.au.dk



Jamie Wallace, <<  
post.doc/adjunkt  
jw@edu.au.dk

Alle tilknyttet  
Forskningsprogrammet  
Fremtidsteknologi, Kultur  
og Læreprocesser  
Institut for Uddannelse  
og Pædagogik  
Aarhus Universitet

Forestil dig en verden uden menneskeskabte redskaber. Altså en verden uden cykler, hækkeklippere, elpiskere, kikkerteer, madkasser, biler eller gadelamper. Udover reduktionen af det mekaniske støjniveau, ville fraværet også have omfattende konsekvenser for menneskers måde at interagere med og i verden.

Vi taler om en verden befolket af *Homo habilis*'er, hvor redskaberne opstår af materialer som fx. flintesten og ben fra middagsbordet, der i hovedtræk bestemmer udfaldsrummet af slutproduktet og er begrænset til jagt, tilberedning af mad eller kropspynt.

Forestil dig nu en verden, som den vi kender, hvor redskaber i utallige variationer og til brug for alle tænkelige situationer på anderledes måde er medskabere af verden, vi lever i. Vi fødes ind i en verden fyldt med menneskeskabte genstande, som gæstole, hoppegynge, sutter, fjernsyn, ski, boremaskiner og hårtørre.

Hvad gør det ved mennesker? Virkningen afspejler sig i bevidste og ubevidste handlemåder, ligesom redskabsbrug har indflydelse på dybereliggende forestillinger. Hvordan skal det konkret forstås?

## Sko, fortove og videnskabelig erkendelse

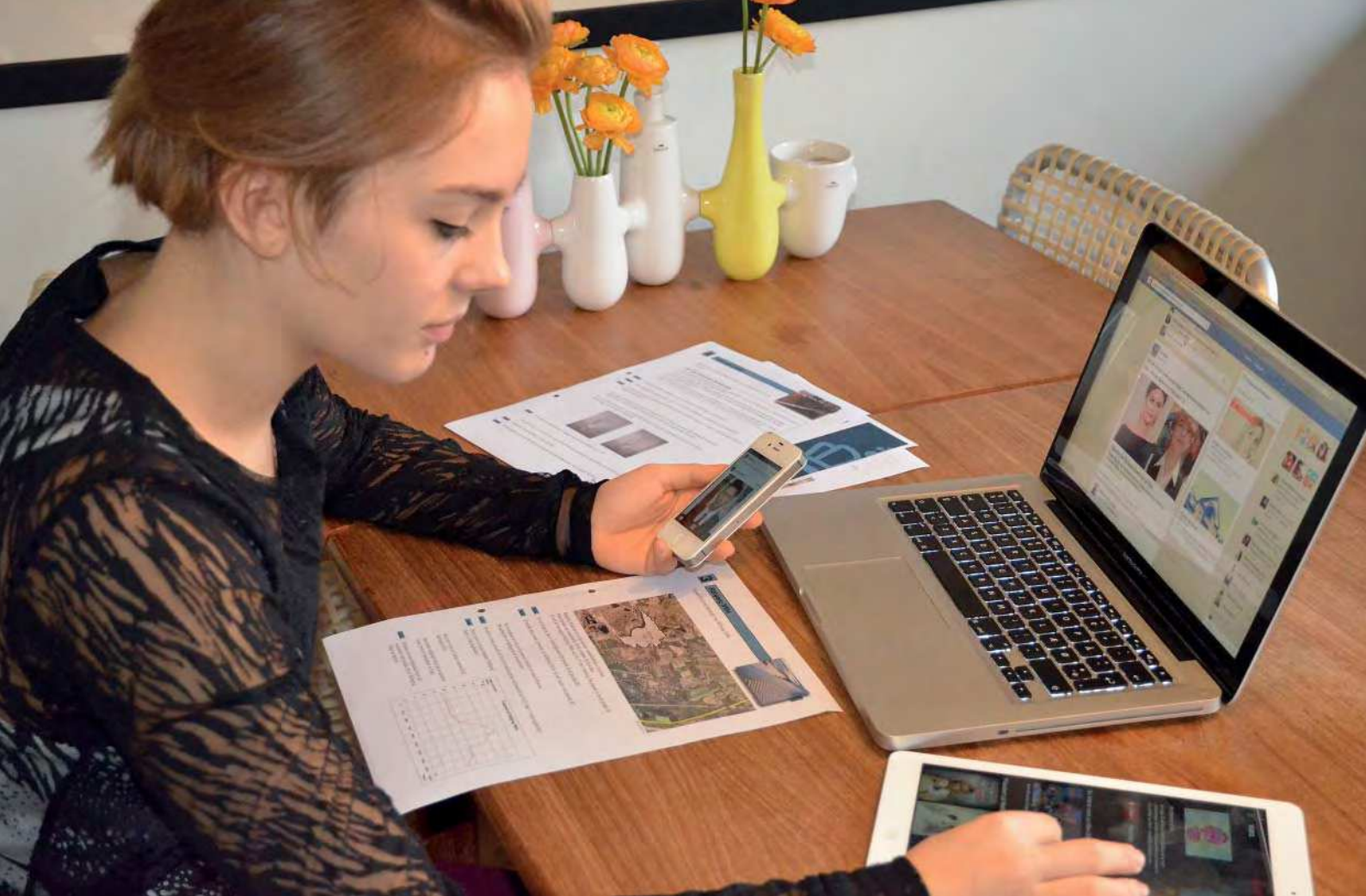
I sin bog fra 2011 *Being Alive* peger antropologen Tim Ingold på, at opfindelsen af sko og fortove ændrede menneskets gang. Den plane flade, i stedet

for det ujævne underlag, stiller færre fordringer til balancen og hæver ifølge Ingold middelaldermennesket fra Jorden også i overført betydning. Menneskeskabte redskaber har også haft direkte og betydelig indflydelse på videnskabelige erkendemuligheder. Med teleskopet udvidede Galileo Galilei verden ved sine observationer af fx Månens bjerge og bidrog dermed til nye astronomiske landvindinger og teorier, fordi han ikke kun forlod sig på erfaringer gjort med det blotte øje.

Videnskaben er fyldt med redskaber, der forstærker vores sanser og dermed indgår i erhvervelsen af viden. I den forstand er der tale om redskaber, som ifølge filosoferne Andy Clark og David Chalmers indgår i "the extended mind" dvs. "den udvidede bevidsthed". Det er redskaber, der som sko ikke nøjes med bare at omforme kroppen og heller ikke som fortove alene åbner de "veje", der er tilgængelige i det fysiske landskab. Der er derimod tale om redskaber, som "manipulerer" med, eller endda integreres i, vores måde at tænke på. I modsætning til i Pleistocæn-tiden er det redskaber, der ikke er udviklet, så de passer til vores behov og færdigheder, men redskaber, der skaber nye behov for færdigheder.

## Tablet'ens og smartphonens tidsalder

Denne type redskab er fremherskende i tablet'ens, smartphonens og computerens tidsalder. *Homo sapiens* har fået en helt ny type redskaber i hænderne, som kan noget andet end at forlænge san-



serne. Den digitale verden er interaktiv på en hidtil uset måde. Fremtidsteknologi giver løfte om en helt ny og afgørende måde at skabe verden på, som derfor også i disse år vinder frem som foretrukne redskaber i det danske skolevæsen. Flere og flere skoler anskaffer tablets (typisk iPad's) til både lærere, elever og pædagoger for at udnytte potentielle læringsmuligheder.

Det er helt givet, at den digitale verden åbner nye "veje" i "landskabet". Kan vi sige noget konkret om de "veje", fremtidsteknologien trækker? Det er helt åbenlyst, at menneskets kommunikative muligheder øges.

Børn i dag ser YouTube-videoer, læser Wikipedia og bliver vanvittigt belæste og "lærde" pga. af al den viden, de "får" af at kunne "tanke" information fra andre, der lægger videoer op af alt mellem himmel og jord. De lægger også selv billeder op, der både "dokumenterer" deres hverdag og bliver materielle beviser på deres særegne identitet. Det betyder, at de i stigende grad har trukket sig fra livet på gaden. Leg er ikke mere en udendørsaktivitet med dåseskjul, hinkesten, hjemmesnittede slangebøsser og mere løb og hopperi end gang og stillesiddende. Leg foregår nu på spillkonsoller, ofte som en interaktiv aktivitet, der både kan kombineres med Skype, med en eller flere deltagere helt andre steder og/eller sammen med kammerater under samme loft.

### Ekstension af bevidsthed

Pointen er imidlertid, at den digitale verden ikke bare er en ny teknologi som telefonen, bogtrykkeriet eller flyvemaskinen. Den er en udvidelse af vores bevidsthed og en verden, vi konkret tænker anderledes med. Hvordan skal det forstås? Et eksempel er, hvordan noteteknik ved hjælp af tastatur ændrer hukommelse om foredraget, noter blev til på. Forskerne Mueller og Oppenheimer undersøgte i et studie offentliggjort i 2014 studerende, der, samtidig med et foredrag, tog noter i hånden. Det viste sig, at de efterfølgende havde signifikant bedre hukommelse om foredragets indhold, end studerende, der tog noter ved at skrive ind på den bærbare og altså dermed gjorde brug af et tastatur. Ifølge forskerne kan forskellen bl.a. tilskrives den hastighed, man kan tage noter med, når man skriver på maskine. Det tager væsentligt længere tid at forme bogstaver i hånden, hvilket gør, at håndskrevne noter oftere må kondensere indholdet for at notetageren kan følge med i udviklingen af foredraget. Når forskerne sammenlignede noter skrevet på den bærbare computer med noter taget i hånden, var der væsentligt flere ordrette afskrivninger i noter fra tastatur end i noter skrevet i hånden. Håndskrevne noter ligger mere under for et tidspres, som dermed fører til, at notetageren forholder sig mere aktivt til det, der skrives. Med andre ord: Noter taget i hånden kræver omtanke og beror på mere dybdegående læreprocesser, mens noter skrevet på tastatur kan foregå automatisk og læringsmæssigt mere overfladisk.

Tablets udvider vores 'mind' (bevidsthed) på en måde, som notesblokke og skifertavler ikke magtede. Tablet'en multifunktionalitet skaber helt nye muligheder.

Foto: Carsten R. Kjær



Tablet- og smartphone-brug omdefinerer i nogen grad vores samværsformer. Vi sidder ved siden af hinanden, som i biografen, men ser oftest ikke på den samme skærm.

Foto: Colourbox

### Er det kommunikative centrum i fremtiden?

Den digitale verden er kommet for at blive. Og menneskearten tilpasser sig let. Med skoene på fødderne blev vi mere stolpende, som på styler, fordi vi mistede den kontinuerlige forhandling med underlaget, der viste sig overflødig i et plant terræn. Kan vi forudsige, hvad kontakten til cyberspace gør ved mennesket? Ved vi, hvad der kognitivt sker, hvis den digitale verden bliver hverdag fra en tidlig alder? Hvad betyder det for fremtidens voksne menneske, at han som 2-årig greb iPad'en og mobiltelefonen fremfor at køre med Brio-tog, plaske i vandpytter og lægge puslespil?

Det er klart, at optagetheden af skærmteknologier og de produkter, de leverer, systematisk stimulerer på andre måder end den konkrete verden, der var så rigeligt af til *Homo habilis*. Fra et naturvidenskabeligt perspektiv er det faktisk interessant at dvæle ved. Hvor afgørende er det for udviklingen af den enkeltes tænkning, at vi i den motorisk-eksplorative udforskning af verden ubevidst lærer om naturvidenskabelige fænomener, fordi det er barnligt sjovt at undersøge, hvad konkrete genstande gør under forskellige forhold? Kan oplevelser af, hvad der sker, når man trykker den luftfyldte gummiand ned under vandet og slipper, eller udforskningen af papirflyverens grad af strømlinehed, og hvilke sten det er bedst at slå smut med, skiftes ud med navigationen på tabletten uden effekter på tænkningen?

### Fremtidsmennesket som filminstruktør

Et muligt svar er, at børn i dag faktisk allerede er fremmede for gummiænder, papirflyvere og stensmut. Når de ikke bruger tid på at udfor-

ske den konkrete verden, hvor processer tager tid og har udstrækning i rum, forstår de den ikke og føler sig hverken tiltrukket af eller interesseret i den. Det er en verden, der ikke kan så meget andet end at kalde på tålmodigheden. Til gengæld har de en verden, der stimulerer med billeder og lyde og indbyder til egen-optagelser med billeder og lyde og til udvekslinger med kammerater, de ikke fysisk er sammen med. Børn i dag er producerer. De er mindre optaget af det materiale, verden leverer, og mere optaget af selv at producere. Her er mulighederne tilsyneladende ubegrænsede. Man kan flyve, dykke, flytte ubesværet rundt i tid og rum og tilsyneladende optræde på alle tænkelige måder, der strider mod naturvidenskabelige erkendelser.

Perspektivet på, hvad der findes i verden, synes at skifte fra at handle om vores faktiske erkendelser i tid og rum og fænomenerne i verden til at være viden om, hvordan man betjener virtuel tid og rum og deler andres oplevelser og kommunikation om, hvad man gør lige nu. Fremtidsteknologi indebærer et skred fra et liv, der kunne perspektiveres i naturfagene til et liv, der perspektiveres i oplevelsessfæren. Det mekaniske verdensbillede er blevet overtaget af det kommunikerende verdensbillede. I stedet for det heliocentriske verdensbillede, har vi i dag Facebook, Twitter, likes og followers.

### Fremtidens dannede menneske

Mennesker har bevæget sig langt fra *Homo habilis'* overlevelseskamp i en verden styret af naturvidenskaberne hen mod en virtuel verden styret af mennesket selv. I den proces har vi måske haft for lidt fokus på det menneske, der i sidste ende har skabt alle disse muligheder for sig selv. De nye generationer ved utroligt meget om at iscenesætte og bearbejde de tekniske muligheder, men de ved meget lidt om sig selv som mennesker. Hvordan vil det påvirke dem, at deres virtuelle verden ikke er styret af de naturvidenskabelige kræfter, men af de virtuelt-tekniske? Hvordan forandres vores kroppe, når bevægelse flyttes ind i virtuelle rum? Hvordan forandres kommunikation og sociale relationer, når den ikke handler om at skabe noget samme i verden, men i et virtuelt rum, hvor alt tilsyneladende kan lade sig gøre?

Vi er enige med fysikeren Stephen Hawking, når han i sin bog *Science in the Next Millennium* understreger, at i videnskabens fremtid vil vi få brug for langt mere viden om mennesket og dets kropslige væren i verden, og at science fiction er håbløst bagud i forhold til at forstå transformationer af mennesket i en transformeret teknisk verden. Vi har brug for mere viden, der forener de human- og naturvidenskabelige fagligheder for at forstå mennesket i den tekniske verden, det selv har skabt. ■

#### Yderligere læsning

Ingold, T. (2011). *Being Alive. Essays on Movement, Knowledge and Description*. New York, NY: Routledge.

Clark, Andy, and David J. Chalmers. (1998). The extended mind. *Analysis* 58: 7-19.

Hawking, Stephen (2000) *Science in the Next Millennium. Remarks by Stephen Hawking*. <http://clinton4.nara.gov/Initiatives/Millennium/shawking.html> [Retrieved 12.11.2014]

Mueller, P. A., & Oppenheimer, D. M. (2014). The Pen Is Mightier Than the Keyboard Advantages of Longhand Over Laptop Note Taking. *Psychological science*, 0956797614524581.

Greenfield, S. (2014). *Mind change. How digital technologies are leaving their mark on our brains*. London: ebook.



# VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE FOR DIG

På Københavns Universitet har du gode muligheder for at opleve vores 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser. Det giver dig optimale muligheder for at vælge den uddannelse, der bedst matcher dine ønsker. Du kan blandt andet:

- Komme til **Åbent Hus** den **25. og 27. februar**
- Blive **"Studerende for en dag"**
- Gå i **tre dages studiepraktik**
- **Besøge os med din klasse**

Læs mere og se film om vores uddannelser og dine mange muligheder på [science.ku.dk/ba](https://science.ku.dk/ba)



Like Facebook-siden **"Bliv studerende på Københavns Universitet"** og få studieinfo direkte på din væg.

## Oplev 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser på Københavns Universitet:

Biokemi \* Biologi \* Biologi-bioteknologi \* Datalogi \* Forsikringsmatematik \* De fysiske fag \* Fødevarer og ernæring \* Geografi og geoinformatik \* Geologi-geoscience \* Have- og parkingeniør \* Husdyrvidenskab \* Idræt \* Jordbrugsøkonomi \* Kemi \* Landskabsarkitektur \* Matematik \* Matematik-økonomi \* Molekylær biomedicin \* Nanoscience \* Naturressourcer \* Skov- og landskabsingeniør



# Enhed gør stærk!

En "gammel pedant" giver i denne klumme en håndsregning til læsere, der måtte kløjes i fysiske enheder.

## Forfatter



Af Carl-Erik Sølberg,  
Lic. Techn.  
cesolberg@webspeed.dk

Et emne, der volder mange mennesker problemer, er fysiske enheder. Og det gælder ikke kun for lægmænd, men så sandelig også for professionelle skribenter såsom journalister og forfattere af teknisk tekst som brugsanvisninger. Lægmandens brug af enhederne i talesprog lader sig jo ikke umiddelbart dokumentere, hvorimod skribenternes kan opspores i medierne. Et sted, hvor bommerterne jævnligt registreres med stor fryd og sarkasme er på bagsiden af fagbladet *Ingeniøren*, hvortil der henvises for eksempler. Et varmt emne er således fjernvarmeforsyningen, hvor kapaciteten af et givet anlæg for nylig angives at være 100 mW – der skulle nok havet stået 100 MW. Nu hører jeg læseren spørge: "Er der da forskel?" Ja det er der faktisk!

Når man har vendt øjne tilstrækkeligt længe over folks fejltagelser, kan den gamle pedant fremsætte konstruktive forslag til afhjælpning af situationen. Og hvad er mere oplagt end at foreslå at gribe PC'en og gå ind på den hjemmeside, som udgives af Patent- og Varemærkestyrelsen, og som googles under emnet: "Afløste SI enheder". Her finder man hele "enhedslisten", der er afløst af de

fem grundenheder i det internationale system (SI): Meter (m/meter), Masse (kg/kilogram), Tid (s/sekund), Elektrisk strømstyrke (A/Ampère), Termodynamisk temperatur (K/Kelvin), Stofmængde (mol/mol), Lysstyrke (cd/candela). Ligeledes finder man her en liste over præfikser, altså de "forstavelser" der angiver under- og overenheder af de direkte afledte enheder. Den grundidé, der kan forekomme vanskeligt at fange, er, at en fysisk størrelses talværdi, enhed og dens præfix optræder ligestillede, og at de er lige vigtige. Det betyder, at de indbyrdes kan multipliceres og divideres, samt at enheder af samme slags kan adderes og subtraheres. For at kunne operere med talværdi og enhed hver for sig indfører man to operatorer således:  $F = \{F\} [F]$ , hvor  $\{F\}$  er talværdien og  $[F]$  er enheden af den fysiske størrelse  $F$ .

## Hvordan gør man?

Lad mig vise med et eksempel hentet fra energibranchen, hvorledes disse regler bruges. Lad et kraftvarmeverk levere  $E_{el} = 150$  MWh (mega-watt-time) elektrisk energi og  $E_{term} = 570$  GJ (giga-joule) varme i form af fjernvarmevand og lad os først stille os den opgave at sammenligne de to energimængder:

$$E_{el} = 150 \text{ MWh} = 150 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{s}} 3600 \text{ s} = 540 \cdot 10^9 \text{ J} = 540 \text{ GJ}$$

$$\{E_{el}\} = 150 \quad \text{og} \quad [E_{el}] = \text{MWh}, \quad \text{hvor h står for hora, (time på latin).}$$

Den samlede leverede energimængde er altså 1110 GJ eller 1,1 TJ (tera-joule). Antag videre, at brænd-

værdien af den forbrugte olie er  $300 \cdot 10^9$  cal (Kalorier), der i SI-enheder bliver til:

$$E_{total} = 300 \cdot 10^9 \text{ cal} = 300 \cdot 10^9 \cdot 4,186 \text{ J} = 1256 \cdot 10^9 \text{ J} = 1,3 \text{ TJ}$$

Kalorien er en stadig brugt enhed for varmemængder, hvis værdi er 4,186 J med den forvirrende undtagelse,

at i ernærings sammenhæng mener man i virkeligheden kilokalorie (altså  $10^3$  cal), når man siger kalorie.

Den samlede virkningsgrad bliver:

$$\eta_{total} = \frac{1,1 \text{ TJ}}{1,3 \text{ TJ}} = 0,85 \frac{\text{TJ}}{\text{TJ}} = 0,85 = 85\%$$

og den elektriske tilsvarende:

$$\eta_{el} = \frac{540 \text{ GJ}}{1,3 \text{ TJ}} = \frac{540 \text{ GJ}}{1300 \text{ GJ}} = 0,42 \frac{\text{GJ}}{\text{GJ}} = 0,42 = 42\%$$

Som vi ser det i forbindelse med enhederne kalorie og time, findes der stadig enheder i brug den

dag i dag, der ikke er SI-enheder. Andre eksempler er effektenheden hestekraft, trykenheden mmHg,



fartenheden km/h, og etc. For at omsætte dem til det rationaliserede system fordres kendskab til de relevante omsætningsfaktorer.

Inden man begynder at regne med enhederne skal man selvfølgelig sikre sig, at man tilskriver de rette enheder til de aktuelle fysiske størrelser. Hvor tit har vi ikke set elektrisk spænding angivet i ampere i stedet for volt?

### Svært at være perfekt!

Vil man være perfekt i den rette brug af enheder, har man en livslang opgave foran sig. Nu bliver

opgaven jo heller ikke nemmere af, at de engelsksprogede lande bruger ejendommelige enheder, og at meget oversat skriftligt materiale netop stammer fra engelsk. I Danmark er brugen af *Système International d'Unités* vedtaget i 1907 og lovfæstet i 1976, men som man måske fornemmer af navnet, er grunden lagt i Frankrig og det allerede i 1797 – under revolutionen. ■

## Faldgruber ved brug af enheder

- Små og store bogstaver skal respekteres. Skriv således ikke automatisk "med stort" efter punktum.
- Selvom enhederne kan opfattes som en slags forkortelser skal de ikke afsluttes med punktum.
- Sammensatte præfikser må ikke bruges
- Brugen af ordet "kilo" for kg bør ophøre, når det er alvor.
- Forkortelsen "m" kan desværre både betyde meter og milli. Så pas på!
- En fælde har vi også i enheden "mm<sup>2</sup>", der betyder 10<sup>-6</sup>m<sup>2</sup> og ikke 10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>. Man skal altså forestille sig en parentes om "mm".

# Hvis du havde én dag.....

...som studerende på en naturvidenskabelig uddannelse

## Så kunne du

- Opleve studiemiljøet
- Snakke med en studerende
- Være med til undervisningen
- Prøve en helt almindelig dag på studiet



**Bliv studerende for en dag**

[WWW.SDU.DK/BROBYGNING](http://WWW.SDU.DK/BROBYGNING)

## Aktuel NATURVIDENSKAB

### Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Danmarks Tekniske Universitet
- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitetscenter
- Danmarks Meteorologiske Institut.

### Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joachim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Tine Kjær Hassager**, kommunikationschef, Danmarks Tekniske Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Elin Møller**, kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

### Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv**, Roskilde Universitet
- **Line Reeh**, DTU AQUA, Danmarks Tekniske Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet

Eftertryk kun efter aftale. Citat kun med tydelig kildeangivelse. Synspunkter, der fremføres i bladet, kan ikke generelt tages som udtryk for redaktionens holdning

### Ansvarshavende

Kommunikationschef Elin Møller

### Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer  
Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

### Abonnementspris 2014

294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

### Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

ISSN: 1399-2309 (papirudgaven), 1602-3544 (web)

Oplag: 8.400

### Omslag:

Raffinaderi. Foto: Colourbox.



## Fagpanel

Aktuel Naturvidenskab samarbejder med en bred skare af fagfolk, der stiller deres faglige viden til rådighed for bladet.

- **Katrine Krogh Andersen, ph.d.**, forsknings- og udviklingschef, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., bibliotekschef, Syddansk Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen**, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche**, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel**, professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen**, statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Palle Høj Jakobsen**, direktør, leder af R&D Academic Relations, Novo Nordisk A/S
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Glaciology and Climate Change Laboratory, Center for Scientific Studies/Centro de Estudios Científicos (CECs), Chile
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



## Tilbud



### Intropakken – en oplagt gaveide

Bestil en intropakke med de seneste otte numre samt abonnement i ét år (6 numre). Pris kun kr. 354,- inkl. moms, porto og ekspedition (merpris for udland).

Bestil via [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)  
[red@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:red@aktuelnaturvidenskab.dk)  
 eller på tf. 70 25 55 12.

## Abonnementsservice

Har du fået ny adresse eller ønsker du at bestille et gaveabonnement på bladet?

### Kontakt abonnementservice på

Telefon: 70 25 55 12

Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.  
[aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk](mailto:aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk)

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

### Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

## Adgang til pdf-udgave

Som noget nyt kan abonnenter nu hente artiklerne som pdf allerede på udgivelsesdagen via hjemmesiden:

Brugernavn: **aktuelnr6**

Kodeord: **dy48xbuu**

Du logger på via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk) hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (6-2014). Herefter kan du logge på i højre side.

## Tilbud til gymnasieskolen



Foto: Lars Kruse

# Ny inspiration til din undervisning?

Er du faglærer i naturvidenskab og teknik kan du få ny inspiration gennem *Aktuel Naturvidenskab*. Tidsskriftet er fyldt med dybdegående artikler skrevet af forskerne selv og udkommer seks gange om året.

- Din skole kan tegne et skoleabonnement med gode rabatter, så hele lærergruppen kan læse bladet.
- Et abonnement giver også adgang til alle artikler fra de tidligere numre.
- Der er mange eksempler på hvordan du kan bruge materialet i undervisningen.
- Helt oplagt i forbindelse med større skriftlige opgaver og temaundervisning.

### Se mere på: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

Her finder du et komplet artikelarkiv samt undervisningsmateriale til flere artikler

#### Priseksempel

Årsabonnement med 6 numre:  
 Pakke leveret til dit gymnasium med 20 numre koster 950 kr. inkl. fragt

Se flere tilbud på:  
<http://aktuelnaturvidenskab.dk/abonnement/>

# Tusindben-bolognese

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Småkravl har fyldt godt på årets bagsider, og vi slutter også årgang 2014 af med en historie om "kræ", nemlig tusindben. Den danske "mr. tusindben" hedder Henrik Enghoff, og han har sin daglige gang som forsker på Statens Naturhistoriske Museum, hvor han har speciale i de mangebenede kræ. Som dedikeret småkræforsker har Henrik altid et prøveglas på sig, hvis han skulle falde over et interessant tusindben på sine daglige gåture. Om dette kunne man læse sidste år i *Politiken*, hvor det blev beskrevet, hvordan han i en københavnsk baggård havde fundet et tusindben, der var angrebet af en interessant art af parasitiske svampe, som var ny for videnskaben.



Fotos: Somsak Panha



Henrik Enghoff studerer et eksemplar af "The shocking pink dragon millipede".

Hvad angår insekternes slægtninge tusindben er de dog ikke rigtig slået an som menneskeføde. Det kan bl.a. hænge sammen med, at de fleste arter af tusindben indeholder giftige og ildelugtende forsvarsstoffer som benzoquinoner og hydrogencyanid, som virker særdeles afskrækkende på sultne medskabninger. Flere arter af aber bruger også at gnide sig med de giftige tusindben, hvilket antages at holde antallet af lus o.l. nede samt at afskrække myg fra at stikke.

Københavnske baggårde er dog ikke Henrik Enghoffs foretrukne jagtmarker. Han har samlet tusindben mange steder i Verden, inklusive De Kanariske Øer, Madeira, Østafrika og Thailand. Alle steder har han fundet talrige nye arter, og han har foreløbig navngivet næsten 300 tusindben-arter.

»En af dem faldt jeg bogstaveligt over«, siger han. »I forbindelse med et møde i en lille by i Andalusien stod jeg og ventede på, at mødelokalet skulle blive låst op, og jeg benyttede ventetiden til at gå ned af en interessant udseende skrænt. Undervejs fik jeg overbalance og tumlede ned ad skrænten iført jakke, slips og bærbar computer – meget langt fra den sædvanlige feltpåklædning. Lettere forslået ved foden af skrænten vendte jeg en sten, og dér lå en ubeskrevet tusindben-art!«.

## Småkravl på menuen

I sin forskning er Henrik også optaget af, om tusindben kan blive til en værdifuld ernæringskilde for os mennesker. Det har han for nylig publiceret en videnskabelig afhandling om sammen med internationale kolleger. Prognoserne siger, at verdensbefolkningen vil være mindst 9 milliarder i år 2050. For at mætte de sultne munde bliver vi derfor nok nødt til at udvide menukortet med retter baseret på hidtil upåagtede medlemmer af dyreriget. Og småkravl er der jo nok af. Forskellige insekter er allerede på menuen rundt omkring i verden, om end kun undtagelsesvis i vores egen lille andedam.

## Tusindben i tomat

Henrik Enghoff og kolleger har opdaget, at Bobo-befolkningen i Burkina Faso (der er ivrige insekt-spisere) også spiser visse arter af tusindben, og det har vakt forskernes nysgerrighed for at lære af dette naturfolk. Indbyggere fra landsbyen Kou fortalte forskerne, at tusindbenene får en særlig behandling sammenlignet med spiselige insekter, der typisk blot bliver ristet. »De koger først tusindbenene kortvarigt og tørre dem derefter i 3 dage på et hustag. De tørrede tusindben puttes så i en tomatsovs sammen med en traditionel afrikansk sennep, smør fra sheanødder og en pasta lavet af durra-mel. I nogle måltider erstatter tusindben kød« fortæller Henrik Enghoff. Tusindben har et forkalket ydre skelet, lige som krebsdyr, og det antages at tusindbenene udgør en vigtig calcium-kilde for Bobo-folket. »Mere interessant er det, at både benzoquinoner og hydrogencyanid har vist sig at have en anti-malaria-effekt, men vi ved endnu ikke, om Bobo-folkets indtag af tusindben har betydning for hyppigheden af malaria«, siger han.

Men smager tusindben så godt? »Det ved jeg faktisk ikke«, siger Henrik Enghoff, for han har endnu ikke selv haft fornøjelsen af at sætte tænderne i et veltillberedt tusindben. »Men jeg regner med at blive ved med at jage tusindben rundt omkring i verden i mange år endnu, så måske får jeg chancen en dag«.