

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur* VIDENSKAB

ISOTOPER AFSLØRER OM KARTOFLEN ER ØKOLOGISK

Matematiske modeller – vejledende eller vildledende?
Da Solen var tæt på at udløse dommedag
Opskrift på at spise mere grønt:
Tilsæt naturvidenskab

11.258 forskere kan godt tage fejl

Må forskere deltage i den offentlige debat og samtidig udtrykke en personlig holdning?

Danske retningslinjer for god forskningskommunikation er uklare, og der er mange gråzoner for de forskere, der gerne vil engagere sig ud over deres faglighed.

Alle ved, den er gal med klimaet. Der går sjældent mere end nogle få dage, før nye alarmerende rapporter om konsekvenserne ved klimaforandringerne dukker op. Som regel går det upåagtet hen som en fjern buldren i horisonten.

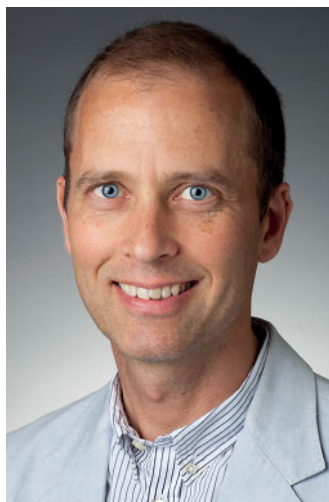
Da 11.000 forskere i begyndelsen af november måned hævdede, at klimakrisen truer menneskeheden og selve livet på jorden, var der alligevel flere, der tog lidt mere notits. Blandt andet blev det bemærket, at ikke bare Dumbledore fra troldmandsskolen Hogwarts og Mickey Mouse fra Institute of the Blind i Namibia, men også forskere, der ikke selv havde forsket i klima, stod blandt underskriverne.

Andre forskere kritiserede underskriftsindsamlingen for at være politisk og ikke videnskabelig. Professor Kirsten Halsnæs fra DTU sagde til Kristeligt Dagblad: »Som forskere bør vi holde os på dydens smalle sti, hvor vi kun legitimerer det, vi selv har fagligt belæg for.«

Og dydens sti for forskere er faktisk ret smal, særligt hvis vi kigger på internationale retningslinjer. Det internationale kodeks for forskningsintegritet, den såkaldte Singapore Statement fra 2010, siger, at forskere bør begrænse deres udtalelser i offentligheden til de emner, hvorom de har fagligt anerkendt ekspertise. Forskere bør også gøre det klart, hvornår de udtaler sig som fagpersoner, og hvornår de udtaler sig på baggrund af deres personlige mening.

Når forskere udtaler sig i offentligheden

Det er en god og klar regel, men hvis den blev overholdt, ville det medføre markant færre eksperter i medierne. En undersøgelse foretaget i forbindelse med Magtudredningen fra 2013 konkluderede nemlig, at flertallet af



Kristian Hvidtfelt Nielsen er lektor og konstitueret centerleder ved Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet. Han forsker bl.a. i populærvidenskabens historie, dansk videnskabs- og teknologihistorie samt videnskabssociologi.
khn@css.au.dk

forskere, der optræder i landsdækkende aviser, udtaler sig om »noget, de ikke ved noget om,« som en af forskerne bag undersøgelsen, Erik Albæk, udtalte til DR.

Baggrunden for reglen er, at forskere, når de leverer et ekspertudsagn i den offentlige debat, trækker på forskningens troværdighed. Eftersom langt de fleste af os ikke selv kan vurdere de ekspertudsagn, vi møder, er vi i første omgang nødt til at tro på eksperten, som har brugt mange år af sit arbejdsliv på at opbygge den relevant ekspertise. Hvis det efterfølgende viser sig, at eksperten alligevel ikke er ekspert, som vi troede, kan det risikere at gå ud over andre eksperters og i sidste ende hele forskningens troværdighed.

Det danske kodeks for forskningsintegritet har ikke retningslinjer for forskere, der ud-

taler sig som ekspert i den brede offentlighed. Heraf fremgår det kun, at forskere har pligt og ret til at formidle deres resultater til samfundet som helhed – udover til forskningssamfundet og professionelle fagfolk. I Universitetsloven står der endvidere, at universiteter har til opgave at tilskynde medarbejderne til at deltage i den offentlige debat, men ikke et ord om, hvordan det bør foregå.

Sagen bliver yderligere kompliceret af, at det ikke altid er helt klart, hvornår forskere udtaler sig til andre forskere, til professionelle fagfolk og til samfundet som helhed. De godt 11.000 forskere – helt præcist 11.258 – havde skrevet under på underskriftsindsamling på nettet arrangeret af Alliance of World Scientists under ledelse af professor i økologi William Ripple. Ripple stod bag en tilsvarende underskriftsindsamling i november 2017.

I en gråzone

Teksten, som de mange forskere havde underskrevet, blev udgivet i *Bioscience*. I modsætning til, hvad langt de fleste danske medier skrev, er *Bioscience* ikke et almindeligt forskningstidsskrift, der udgiver ny forskning. *Bioscience* udgiver derimod oversigtsartikler om nyere biologisk forskning samt essays og debat om uddannelse, politik, historie, videnskabsteori og meget mere. Det retter sig mod en bredere målgruppe og minder dermed måske i virkeligheden mere om *Aktuel Naturvidenskab* end *Nature*. Den omtalte artikel var at finde i sektionen Viewpoints, og den befinder sig derfor som udgangspunkt i gråzonen mellem debatindlæg og ekspertudsagn.

Klimaadvarsler er der mange af, men vi er, som Mandag Morgens Tanja Nyrup Madsen skrev i en kommentar d. 1. december, tilsyneladende ramt af en »kollektiv apokalyptisk apati«. Vi har i den grad brug for den faglige ekspertise og dens troværdighed, ikke mindst når det gælder klimaforandringer. ■

indhold



Hvilken type gødning er anvendt til at dyrke kartoflen, og er der måske svindlet med den økologiske mærkning? Forskere bruger stabile isotoper til at besvare disse spørgsmål.

8



At skaffe sund, nærende og bæredygtig kost til 10 mia. mennesker i 2050 kan kun lade sig gøre, hvis vi spiser meget mere grønt. Skal vi lykkes med det, må den plantebaserede mad både være velsmagende og have den rette tekstur. Det kan naturvidenskaben hjælpe med.

18



Det vakte opsigt, da der på toppen af Grønlands Indlandsis blev målt flere varmerekorder i august 2019. De højest målte temperaturer viste sig dog ikke at holde vand. En meteorolog kigger på, hvordan temperaturmålinger kan gå galt i byen.

28



Flere af nutidens tekniske systemer er sårbare overfor påvirkninger fra soludbrud og solstørme. Det var de også under Den kolde Krig med potentielt katastrofale følger for planeten og menneskeheden.

36

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort nyt
- 8 Isotoper afslører om kartoflen er økologisk
- 12 Varmerekorderne på Summit
- 16 Fortsat insekttab
- 18 Opskrift på at spise mere Grønt: Tilsæt naturvidenskab
- 24 Hvordan skal de selvkørende biler indtage vejene?
- 28 Moderne bevaringsgenetik i en foranderlig verden

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 SYNSPUNKT:
11.258 forskere kan godt tage fejl
- 32 Matematiske modeller – vejledende eller vildledende?
- 36 Da solen var tæt på at udløse dommedag
- 40 BØGER
- 44 BAGSIDEN:
På med antennehatten

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



Kunstig intelligens som stormester

Allerede i slutningen af firserne kunne de mest avancerede skak-computere måle sig med de bedste menneskelige spillere. I 2016 fik maskinerne endnu en skalp, da det lykkedes en computer med kunstig intelligens at vinde over verdens bedste spiller i det endnu mere komplicerede japanske brætspil Go. Nu lader det til, at kunstig intelligens også er klar til at gå sin sejrsgang indenfor E-sporten. Ifølge en ny artikel i tidsskriftet *Nature* er det nemlig lykkedes Oriol Vinyals fra virksomheden DeepMind og kolleger at udvikle et program, AlphaStar, som har opnået titel af Grandmaster i computerspillet Starcraft II. Det betyder, at programmet hører til blandt de 0,2% bedste af alle aktive spillere. Starcraft er et populært strategispil udviklet af firmaet Blizzard, som handler om en intergalaktisk krig mellem tre



Screenshot fra spillet Starcraft II. Kilde: Blizzard

forskellige racer (zerg, protoss og terran). I spillet kontrollerer to hold af spillere hver sin race, som skal nedkæmpe hinanden. Til det formål skal man samle ressourcer, bygge bygninger, træne enheder og sende dem ud på missioner mv. Spillet er også en populær

disciplin som E-sport, især i Asien, hvor der spilles om store pengepræmier.

Starcraft er en stor udfordring for kunstig intelligens, fordi det både kræver langsigtet strategisk planlægning og løbende taktisk tilpasning til modstandernes handlinger. Samtidig må man – i modsætning til i skak og spillet Go – tage sine beslutninger på baggrund af ufuldstændig information. Disse vilkår minder mere om de vilkår, kunstig intelligens må operere under i "den virkelige verden", og derfor kan læringsalgoritmerne fra AlphaStar potentielt være anvendelige til vejrprognoser, sprogforståelse, personlige assistenter og selvkørende biler, mener forskerne.

CRK, Kilde: *Nature* vol. 575, nr. 7782.

Vejen til bæredygtigt flybrændstof

En rapport, som Syddansk Universitet har lavet sammen med Nordic Initiative for Sustainable Aviation (Nisa) og den rådgivende ingeniørvirksomhed Niras, konkluderer, at det allerede om få år er muligt at producere bæredygtige flybrændstoffer i Danmark og Norden fra biogas, CO₂ og brint. Forskerne vurderer, at det første anlæg til fremstilling af 100 procent grønt flybrændstof kan stå færdigt i 2025.



Foto: Colourbox.

Anlægget vil omdanne gassen fra den afgasning af gylle og madaffald, som foregår i biogasanlæg, til bæredygtige flybrændstoffer. Biogas består af methan og CO₂, og mens den rene methan ledes ud i naturgasnettet og varmer huse op, ryger CO₂'en i dag ud af skorstenen som et spilddprodukt.

» Vi vil udnytte denne CO₂. Metan fra afgasset gylle og halm er ikke nok til at dække vores brændstofbehov, men CO₂'en fra biogas-

sen kan komme til hjælp. Vi kan omdanne CO₂ til metan ved at tilføre brint produceret fra vind- og solenergi«, siger ph.d.-studerende og førsteforfatter på rapporten om grønt flybrændstof, Anders Winther Mortensen fra SDU Livscykluscenter.

»Og hvis det stadig ikke er nok, kan vi høste CO₂ fra andre steder, som affaldsforbrændingen eller direkte fra atmosfæren. Hvis vi høster CO₂ fra atmosfæren, har vi en uud-

tømmelig kilde, da brændstofferne udleder CO₂'en til atmosfæren igen, når de brændes«.

Når forskerne først har formået at fremskaffe nok methan til at dække behovet for klimavenlige brændstoffer, kan methangassen gennem en kemisk proces kaldet Fischer-Tropsch, omdannes til flydende brændstoffer, som man kan hælde direkte i flytanken.

»En del fossilt flybrændstof laves allerede gennem denne proces, men kemien og teknologien er den

samme for de grønne brændstoffer. Og så er det ikke kun flybrændstoffer, vi får ud af processen. Vi får også diesel, benzin og nafta, som vi kan bruge til fremstilling af plast,« forklarer Anders Winther Mortensen. »Benzin og diesel kan gøre nytte som brændstoffer til tung transport, som lastbiler og skibe. På den måde kan vi dække hele den tunge transport.«

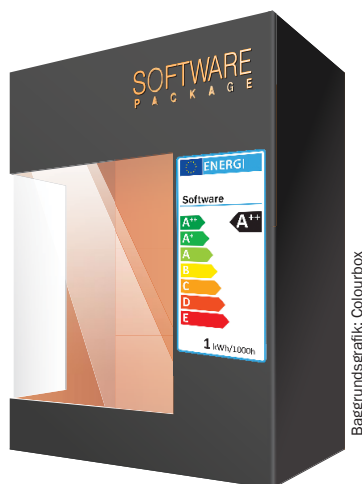
Birgitte Dalgaard, Syddansk Universitet

Software bør energimærkes

IT sluger i dag omkring ti procent af verdens samlede elektricitetsforbrug. Og skal man tro engelske *The Times* koster det lige så meget energi at se en film på Netflix, som det koster at koge vand til 60 kopper te. Spørger man Google, forbruger én googlesøgning den samme mængde energi som en 60W-pære, der står tændt i 17 sekunder.

Derfor skal energiforbrug og CO₂-aftryk være en parameter i fremtiden, når eksempelvis virksomheder og myndigheder skal anskaffe nye IT-systemer. I hvert fald hvis det står til IT-Brancheforeningen og en række medlemsvirksomheder, der har bedt forskere fra Aalborg Universitet om at kortlægge softwares energiforbrug, så man i sidste ende kan energimærke den, ligesom det i dag kendes fra hårde hvidevarer. Forskningsprojektet foregår i samarbejde med kolleger fra RUC og DTU.

Selvom software ikke i sig selv bruger energi, så gør den hardware, som softwaren kører på. Hardwaren drives af software, så i sidste ende er der en sammenhæng mellem software og energiforbrug, og derfor giver det mening at energimærke software.



»Det er en meget kompleks opgave, for vi skal i princippet have det hele med. Softwarens påvirkning af strømforbruget på den enkelte computer, på netværksdelen, måske på en lokal server og – når der er tale om de mere og mere gængse cloudservices – på serversiden i datacenteret, forklarer AAU-professor MSO Bent Thomsen.

Han sætter i øvrigt spørgsmålstegn ved nøjagtigheden af beregninger som de ovennævnte fra *The Times* og Google. I dag er man nemlig ikke i stand til at foretage en nøjagtig udregning af et givent IT-systems

energiforbrug. Udviklernes fokus har været rettet mod begreber som funktionalitet og hardwarestørrelse og ikke mod energiforbrug. Og at kunne beregne energiforbruget er første skridt i retning af overhovedet at kunne energimærke software.

Når metoden er på plads til at måle strømforbruget, og man i samarbejde med de rette instanser kan begynde at definere energimærkingen, vil et naturligt skridt være at se på, hvordan man fremadrettet kan reducere det strømforbrug, softwaren genererer. Et sted, hvor der virkelig er noget at hente, forklarer Bent Thomsen, er i programmeringssproget og i compileren, der oversætter programmeringssproget til maskinkode.

»De gængse programmeringssprog som C++ og C# opererer ikke med begrebet energiforbrug, og det gør det meget svært for programmørerne at adressere det i programmerne. Derfor er det nødvendigt at udvikle programmeringssprog, der adresserer energiforbrug, så programmørerne får bedre mulighed for at tage det med i deres udvikling af ny software«, siger han.

Nelly Sander, Aalborg Universitet

Et matematisk syn på parkering

To fysikere, Paul Krapivsky ved Boston University i Massachusetts og Sidney Redner fra Santa Fe Institute i New Mexico, har i tidsskriftet *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* undersøgt et yderst jordnært spørgsmål, nemlig den bedste strategi for at finde en parkeringsplads.

Forskerne modellerede en idealiseret parkeringsplads, hvor alle pladserne var i en lige linje mellem indkørslen og chaufførens endelige mål, som kan være en bygning eller lignende. Forskerne sammenlignede tre typiske strategier i dette scenarie, hvor andre randbetingelse var, at man ikke kan se pladser længere væk end den allerførste bil i rækken, og at enhver bil, der kører ind i parkeringsområdet



Hvilken strategi vælger du for at finde en parkeringsplads?
Foto: Colourbox

har fundet en plads, inden den næste bil ankommer. Den optimistiske strategi, som går ud på at minimere gåtiden fra bilen til destinationen, er at køre helt frem til destinationen

og så køre tilbage igen, indtil man finder en ledig plads.

Den stik modsatte pessimistiske strategi er at parkere på pladsen før den allerførste bil i rækken og på den måde minimere den tid, man kører rundt og leder. En mellemløsning – eller ”forsigtig” – strategi er at køre til den første ledige plads mellem to biler.

Forskernes beregninger viste, at den sidstnævnte forsigtige strategi gennemsnitligt er en smule mere effektiv end den optimistiske strategi målt på den tid, man samlet bruger på at køre og gå. Den pessimistiske strategi kommer ind på en klar sidsteplads i forskernes analyse.

CRK, Kilde: *J. Stat. Mech.* (2019) 093404.

Forskere laver selvlysende sølv

Et selvlysende miks af sølv og DNA kan måske gøre det nemmere at blive klogere på sygdomme. Forskere på Københavns Universitet har krystalliseret et stof med egenskaber, som kan gøre det til et effektivt værktøj i billeddannelse af væv og celler – og som muligvis kan være med til at afhjælpe verdens store efterspørgsel på flere farvestoffer. Ved at krystallisere stoffet har forskerne fået nøglen til stoffets struktur og egenskaber og til at lave nye og bedre udgaver.

Efterspørgslen på et større udvalg af farvestoffer er høj i forskningsverdenen, da de er blevet et vigtigt værktøj på flere og flere forskningsfelter.

»Folk bruger fluorescerende farvestoffer på hundredvis af områder. Hvis du for eksempel vil studere et specifikt protein i en celle, hæfter du et fluorescerende molekyle på det, og hvis du så belyser det, lyser proteinet op. Det gør det usynlige synligt,« siger Tom Vosch fra Kemisk Institut på Københavns Universitet.

Tom Vosch har specialiseret sig i at lave nye typer af selvlysende molekyler, der kan bru-



DNA-stabiliserede sølvnanoklynger. Foto: Cecilia Cerretani

ges som farvestoffer. Nu har han fremstillet et selvlysende molekyle, der består af den usædvanlige kombination af sølvatomer – som former en såkaldt nanoklynge – og DNA. Nanoklyngen er omviklet af to DNA-strenger, der bruges som et stillads til at stabilisere atomerne.

De bittesmå sølvklynger er biokompatible, vandopløselige og har fordelagtige fotofysiske egenskaber. Når man opererer i nano-størrelsesorden har mange materialer nogle særlige

egenskaber, som de ikke ellers har. I dette tilfælde bliver sølv således fluorescerende, når det har form som en nanoklynge.

»Nu, hvor vi kender strukturen, kan vi på en mere intelligent måde designe nye klynger i stedet for bare tilfældig prøven sig frem. Og det åbner op for enormt mange forskningsmuligheder, som vi ikke havde før,« pointerer Tom Vosch.

Maria Hornbek, Københavns Universitet

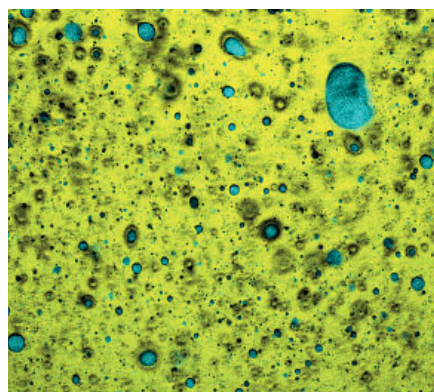
Salt i maden under lup

Hvor svært kan det være at salte fødevarer? I årtusinder har mennesket med succes saltet for at konservere og forbedre madvarer, så hvorfor går forskere i 2019 i laboratoriet for at blande salt i smør?

»Saltning kan faktisk være en utroligt kompleks opgave, for saltets mængde, opløsning og fordeling har stor betydning for fødevarens kvalitet, så det giver god mening at forske i det,« siger biofysiker og forskningsleder på SDU, Jonathan Brewer.

Han er ekspert i at tage avancerede mikroskopibilleder af fødevarer.

»Hidtil har man kun kunne lave bulkmålinger uden information om den rumlige fordeling af saltet. Vi har nu udviklet en metode til at måle saltkoncentration i fødevarer med rumlig opløsning ned til under en mikrometer.



Smør består af fedt og vand og ofte tilsættes salt. Gul er fedt og blå er vand. Foto: SDU

Den vil kunne bruges til kvalitetssikring og udvikling af nye produkter med bedre smag og/eller mindre salt.

Salts mængde og fordeling i smør (og andre fødevarer for den sags skyld) har betydning for tre forhold:

Smagen, som varierer efter, om saltet er tilsat som en jævn fordelt opløsning, som en ujævn fordelt opløsning eller som korn. En saltopløsning giver en jævn saltet smag, mens korn vil give en ujævn smag med peaks af saltsmag.

Holdbarheden, da salt hæmmer bakterievækst.

Sundheden, idet salt er et nødvendigt mineral, men er usundt i for store mængder.

»Man kan bruge salt til at skrue op og ned for de tre forhold. Det er interessant at undersøge, om man for eksempel kan bevare samme saltsmag med mindre saltindhold ved at tilsætte saltkorn i stedet for en saltopløsning. Og så skal man jo også se på, om man mister noget af holdbarheden, når der bruges mindre salt,« siger Jonathan Brewer.

Birgitte Svennevig, Syddansk Universitet.
Studiet er beskrevet i Food Science.

Sovjets kollaps sparede 7 mia. tons CO₂

Da Sovjetunionen faldt i 1991, faldt udledningen af drivhusgasser også. Dels fordi befolkningen begyndte at spise meget mindre kød, og dels fordi enorme landbrugsarealer blev forvandlet til et kulstoflager. Udledningen af drivhusgasser skrumpede således med mindst 7,61 milliarder tons CO₂-ækvivalenter fra 1992 til 2011. Det viser et nyt studie udført af et internationalt forskerhold – heriblandt lektor Alexander Prishchepov fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning på Københavns Universitet. Resultatet er publiceret i det videnskabelige tidsskrift *Environmental Research Letters*.

Efter Sovjets kollaps undergik den sovjetiske fødevarerindustri en drastisk omstrukturering. Man gik fra statsstyrede landbrug til markedsøkonomi, hvor tilskuddene til forbrug og produktion blev fjernet. Det resulterede i højere priser på kød, svagere købekraft hos befolkningen og en halvering



Forladt stald i Ryazan-provinsen i Rusland. Foto: Alexander Prishchepov

i antallet af husdyrsbedrifter.

Det førte til en massiv reduktion i udledningen af drivhusgasser på op mod 80 % af verdens samlede CO₂-udledning fra landbrug, skovbrug og anden slags arealanvendelse i 2010,” siger Alexander Prishchepov.

Forbruget af især oksekød faldt. Hvor Sovjets indbyggere i starten af 1990'erne hver spiste 32 kilo oksekød om året, var det årlige forbrug nede på 14 kilo per indbygger i år 2000.

Den anden store faktor var de 62 mio. hektar landbrugsarealer i især Rusland og Kazakstan, der blev forladt mellem 1990 og 2011, da landbrugene bukkede under, og landbefolkningen flyttede til byerne. Det svarer til et areal, der er en del større end Frankrig. Vegetationen blev hurtigt gendannet på de kæmpemæssige jordarealer, som fik lov til at stå uberørte, og de begyndte at fungere som et gigantisk kulstoflager. Forskerne anslår, at kulstoflageret indeholder mindst 4,01 gigatons

CO₂-ækvivalenter og er dermed et af verdens allerstørste menneskeskabte kulstoflagre.

Forskerne har også kigget på, hvilken betydning importen af kød havde for klimaregnskabet. For da økonomierne i de tidligere sovjetlande havde stabiliseret sig i slutningen af 1990'erne, begyndte efterspørgslen på kød igen at stige, men uden at den hjemlige kødproduktion fulgte med.

Maria Hornbek, Københavns Universitet

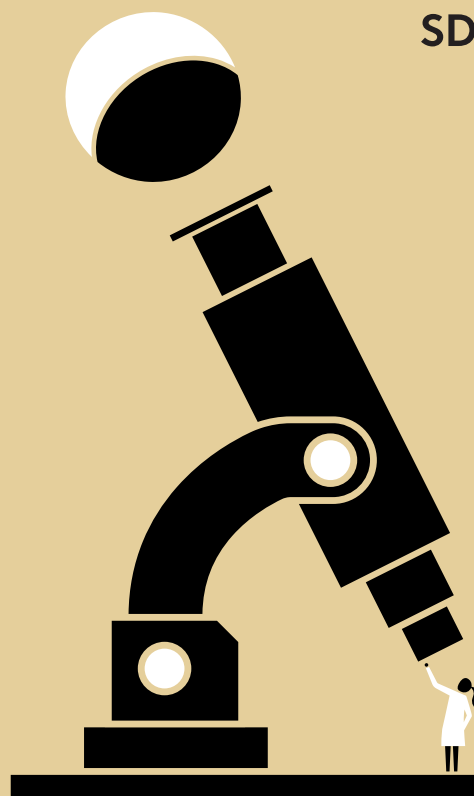
Tag på camp på SDU og kom tættere på dit studievalg

Camps er særligt tilrettelagt for 2. og 3. gymnasieår og dig, der holder sabbatår. Se program og tilmeld dig under den enkelte camp. Tilmelder du dig en to-dages camp, har du mulighed for gratis overnatning.

Alle camps er med gratis mad, drikke - og selvfølgelig hygge og sjov! Vi glæder os til at se dig i Odense.

Kemi Camp	29.02 - 01.03	sdu.dk/kemicamp
Datalogi Camp	29.02	sdu.dk/datalogicamp
Biotek Camp	29.02 - 01.03	sdu.dk/biotekcamp
Matematik Camp	01.03	sdu.dk/matematikcamp
IT Camp for piger	28.03 - 29.03	sdu.dk/itcampforpiger

SDU



ISOTOPER AFSLØRER OM KARTOFLEN ER ØKOLOGISK

Forfatterne



Maria Monrad Rieckmann er ph.d.-studerende og forsker i nye analytiske metoder til at undersøge næringsstoffer i jord og planter. mml@plen.ku.dk



Vlastimil Novák er ph.d.-studerende og forsker i nye analytiske metoder til at undersøge forskelle mellem økologiske og konventionelle grøntsager. vlno@plen.ku.dk



Kristian Holst Laursen er adjunkt og forskergruppeleder. Han forsker i plantænæringsstoffer, analytisk kemi og fødevarekvalitet. holst@plen.ku.dk

Alle 3 forskere er fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Sektion for Plante- og Jordvidenskab, Forskergruppen for Plantenæringsstoffer og Fødevarekvalitet

Hvilken type gødning er anvendt til at dyrke kartofflen, og er der måske svindlet med den økologiske mærkning? Forskere fra Københavns Universitet bruger stabile isotoper til at besvare disse spørgsmål.

Økologi er populært. Salget af økologiske fødevarer stiger i store dele af verden – især i Danmark, hvor vi har en af de højeste markedsandele. Den store efterspørgsel samt højere priser på økologiske produkter sammenlignet med konventionelle varer har betydet, at der ofte svindles med økologien. Adskillige skandaler i lande, hvorfra vi importerer betydelige mængder af økologiske fødevarer, har dokumenteret, at der er et behov for metoder til at afgøre, om en økologisk vare også er, hvad den giver sig ud for at være. I den økologiske planteproduktion er det hverken tilladt at anvende syntetisk fremstillede pesticider eller kunst-

gødning. De metoder, som i dag bruges til at afsløre svindel med økologiske grøntsager, undersøger dog primært indholdet af pesticidrester, og de kan derfor ikke afsløre, om de økologiske planter er gødsket korrekt. I vores forskergruppe arbejder vi på at udvikle analytiske metoder til netop dette – metoderne er baseret på analyse af forholdet mellem forskellige stabile isotoper i fødevarer.

Stabile isotoper

Langt de fleste grundstoffer i det periodiske system findes som flere stabile isotoper. Stabile isotoper er ikke-radioaktive variationer af samme grundstof med forskellig atommasse. Det vil sige, at grund-

stoffet er det samme, men antallet af neutroner i kernen er forskelligt. Nitrogen forekommer eksempelvis naturligt som enten ^{14}N eller ^{15}N . Disse betegnes som henholdsvis den lette eller tunge isotop af nitrogen. Begge isotoper består af 7 protoner og elektroner, men har desuden enten 7 eller 8 neutroner. Det betyder, at isotoperne for hvert grundstof kan adskilles med isotopratio-massespektrometri (IR-MS). De fleste grundstoffer eksisterer i naturen som et mix af "lette" og "tunge" isotoper. Oftest er der relativt meget mere af den lette isotop i forhold til den tunge. Adskillige kemiske, fysiske og biologiske processer skaber dog små forskydninger i ratioen mellem

Planters 17 byggesten

Af alle grundstofferne i det periodiske system, findes de 92 naturligt. I plantevidenskaben beskæftiger vi os især med 17 af dem. Det drejer sig om hydrogen, oxygen og carbon, makronæringsstofferne nitrogen, kalium, calcium, magnesium, fosfor og svovl (som oftest findes i koncentrationer over 0,1 % i plantetørstof) samt mikronæringsstofferne klor, jern, bor, mangan, zink, kobber, nikkel og molybdæn (der oftest findes i koncentrationer under 0,01 % i plantetørstof).

Alle disse grundstoffer har essentielle funktioner i plantemetabolismen, men indholdet i biologisk materiale er meget forskelligt. Om-

Nitrogen (2 %)

^{14}N 99,6 %	^{15}N 0,4 %
---------------------------	--------------------------

Hydrogen (6 %)

^1H 99,98 %	^2H 0,02 %
-------------------------	------------------------

Svovl (0,3 %)

^{32}S 95,0 %	^{33}S 0,75 %	^{34}S 4,2 %	^{36}S 0,015 %
---------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------

Carbon (43 %)

^{12}C 98,9 %	^{13}C 1,1 %
---------------------------	--------------------------

Andre (4,7 %)

Oxygen (44 %)

^{16}O 99,76 %	^{17}O 0,04 %	^{18}O 0,2 %
----------------------------	---------------------------	--------------------------

Den procentvise forekomst af de fem dominerende grundstoffer og deres stabile isotoper i en plante (for eksempel en tomat), hvis man fjerner vandet fra planten og laver en analyse af det tilbageværende tørstof.

kring 95 % af plantemateriale består således af hydrogen, oxygen, carbon, nitrogen og svovl. Disse findes som to eller flere stabile isoto-

per – netop dette udnytter vi til at afsløre, om økologiske grøntsager reelt også er dyrket økologisk.

Makronæringsstoffer:

Kvælstof (N), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Fosfor (P) og Svovl (S).

Mikronæringsstoffer: Klor (Cl), Jern (Fe), Bor (B), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kobber (Cu), Nikkel (Ni) og Molybdæn (Mo).

Stabile nitrogen-isotoper og deres forekomst i biologisk materiale

Nitrogen-isotoper

^{14}N

‘Let’ isotop
99,6 %

7 neutroner

7 protoner

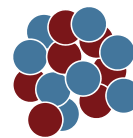


^{15}N

‘Tung’ isotop
0,4 %

8 neutroner

7 protoner



lette og tunge isotoper – det kaldes isotopfraktionering. Det er dette fænomen, som ligger bag vores metode til at analysere økologiske fødevarer.

Isotopfraktionering

De kemiske egenskaber for stabile isotoper af et givent grundstof er ens, men deres forskel i masse giver forskelle i reaktivitet og i bindingsstyrke til andre grundstoffer. Lette isotoper reagerer generelt hurtigere, mens tunge isotoper danner stærkere bindinger. Disse forskelle fører til fraktionering – det vil sige forskelle i isotopsignatur mellem substrat og produkt. Et populært eksempel er fordampning af vand, som fører til beriget

vand (mere ^{18}O) sammenlignet med vanddampen. Det vil sige, at man kan isotopberige en kop kaffe ved blot at lade den stå på skrivebordet og vente på, at vandet langsomt fordamper. Et andet eksempel er, når planter via fotosyntese optager CO_2 fra luften og fikserer carbon i kulhydrater – her “foretrækker” planten den lette isotop af carbon (^{12}C) på grund af ovennævnte faktorer. Derved fås et blad, som har mindre af den tunge isotop (^{13}C) sammenlignet med substratet (atmosfærisk CO_2).

Isotopfraktionering betyder, at stabile isotoper kan bruges til at undersøge forskellige biologiske, kemiske eller fysiske processer.

Isotopsammensætningen af mennesker, dyr og planter er altså ikke tilfældig, men fortæller en samlet historie om deres liv og omgivelser. For eksempel hvilken diæt mennesker og dyr har indtaget – eller hvilken type gødning planter er dyrket med.

Er der svindlet med dine økogrøntsager?

Ved at analysere stabile nitrogen-isotoper i planter kan man med stor sikkerhed måle, om en plante er gødsket med organisk gødning såsom husdyrmøg eller gylle. Disse gødningstyper skal omsættes i jorden, inden planten kan optage næringsstofferne. Under denne omsætning ændres



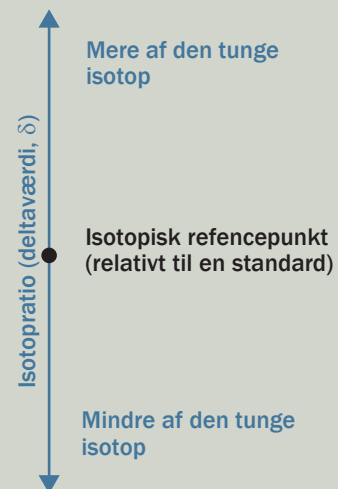
Isotopratio-analyse i laboratoriet på Frederiksberg. KU-arkivfoto.

Sådan måles isotopratioer

Forekomsten af stabile isotoper for grundstofferne hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen og svovl måles ofte ved en teknik kaldet isotopratio-massespektrometri (IR-MS). Med denne teknik kan der måles meget små forskelle i naturlig forekomst af stabile isotoper for grundstoffer, som effektivt kan omdannes til gasser. Nitrogen-isotoper måles eksempelvis som gassen N_2 og oxygen-isotoper som CO . Det vil sige, at analysen altid starter med, at grundstofferne i prøven (for eksempel pulveriseret kartoffel) omdannes til gasser. Herefter ioniseres gasserne, og en kraftig magnet adskiller isotoper-

ne, som til sidst bliver detekteret og kvantificeret. Derved får man ratioen mellem den tunge og den lette isotop af et grundstof, for eksempel ratioen $^{15}N/^{14}N$, i en prøve.

For at kunne sammenligne prøver og deres isotopsignaturer, er det hensigtsmæssigt at angive isotopratioer i deltaværdier (δ), som viser den relative forskel i isotopratioer i prøven i forhold til en kendt isotopstandard. Ved at bruge deltaværdier, kan man udlede om ens prøve har relativt mere eller mindre af den tunge isotop sammenlignet med den kendte standard (isotopisk referencepunkt).



forholdet mellem den tunge og lette nitrogen-isotop, da der primært tabes ^{14}N fra systemet ved processer som nitrifikation, denitrifikation, ammoniakfordampning mm. (jævnfør isotopfraktionering). Det betyder, at andelen af den tungere ^{15}N i forhold til ^{14}N øges i jordens plantetilgængelige nitrogen-pulje, hvilket kan måles i plantematerialet.

Hvis man i stedet anvender kunst-

gødning, som ofte bruges i konventionelt jordbrug, ændres ratioen mellem de to isotoper derimod ikke. Det skyldes, at kunstgødning er umiddelbart plantetilgængeligt og derfor ikke skal omsættes i jorden inden optagelse. Nitrogen i kunstgødning er desuden fikseret fra atmosfæren via den såkaldte Haber-Bosch proces. Det betyder, at forholdet mellem ^{15}N og ^{14}N i kunstgødning er identisk med det, vi finder i atmosfæren. Et tilsva-

rende forhold mellem ^{15}N og ^{14}N findes i bælgplanter, som er i stand til naturligt at fikse nitrogen fra atmosfæren via symbiose med bakterier. Bælgplanter anvendes ofte som grøngødning i økologisk planteproduktion. Vores forskning har vist, at brugen af bælgplanter som gødning gør det umuligt at anvende nitrogen-isotoper til at bestemme, om økologiske planter er gødsket efter reglerne. Vi har derfor udviklet nye og endnu mere



Foto: Colourbox



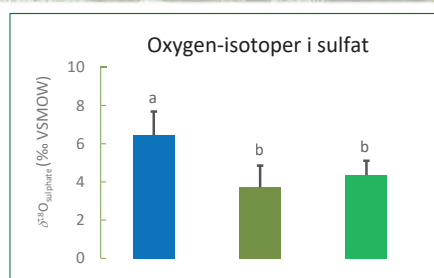
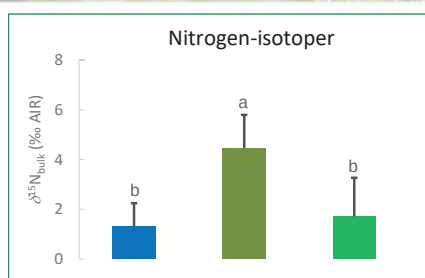
**Konventionel
Kunstgødning**



**Økologisk
Gylle**



**Økologisk
Grøngødning**



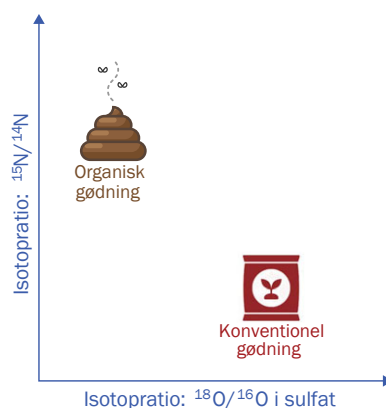
Nitrogen-isotoper kan bruges til at måle om planter er gødsket med organisk gødning. Gødskning med gylle førte til signifikant højere nitrogen-isotopratio i kartofler dyrket i flerårige markforsøg i Danmark. Det var dog ikke muligt at skelne kartofler dyrket med enten kunstgødning eller grøngødning fra

bælplanter. Ved i stedet at analysere oxygen-isotop-ratioen i sulfat var det muligt at adskille konventionelt og økologisk dyrkede kartofler. Y-akserne viser deltaværdier (isotopratioer) for henholdsvis nitrogen og oxygen i sulfat. Signifikante forskelle ($p < 0,05$) er vist med bogstaver over søjlerne ($n=12$).

følsomme metoder til at afsløre, om der er svindlet med økogrøntsagerne.

Oxygen-isotoper sladrer om gødskning

Analysen af oxygen-isotoper har i nye studier vist sig at være langt bedre til at bestemme, hvordan planter er gødsket – og dermed om grøntsagsproduktionen lever op til det økologiske regelsæt. Adskillige essentielle plantenæringsstoffer optages nemlig som oxy-anioner: Nitrogen optages eksempelvis som nitrat (NO_3^-) og svovl som sulfat (SO_4^{2-}). Ved at isolere disse kemiske forbindelser fra planter og analysere oxygen-isotoper ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), har vi vist, at man med langt højere nøjagtighed kan bestemme planterens dyrkningshistorie. Planter dyrket med økologiske gødninger inklusiv grøngødninger, har lavere værdier af forholdet mellem ^{18}O og ^{16}O i sulfat sammenlignet med planter



Ved at kombinere nitrogen-isotoper og oxygen-isotoper i sulfat kan man opnå et detaljeret indblik i, hvordan planter er gødsket. Grafik modificeret efter Colourbox.

dyrket med kunstgødning. Mekanismerne bag er endnu ikke klarlagt i alle detaljer. Indledende studier har dog vist, at omsætningen af økologiske gødninger i jord, inden planter optager næringsstofferne, giver unikke isotopsignaturer, som er påvirkede af oxygen-isotoperne i

vandet fra jorden. Ved at kombinere nitrogen-isotoper og oxygen-isotoper i sulfat kan man derved opnå et langt mere detaljeret indblik i, hvordan planter er gødsket – og dermed give et sikrere svar, hvis der er mistanke om økosvindel.

Isotoper i fremtidige studier

Undersøgelse af, om økologiske planter reelt er dyrket økologisk, er blot en af mange mulige anvendelser af isotopratio-analyse. Isotopfraktionering afsætter unikke signaturer i jord og planter og kan potentielt give os en langt bedre forståelse af biologiske, kemiske og fysiske processer.

En dybere indsigt i planterens byggesten er derfor vigtig, hvis vi skal sikre en mere bæredygtig udnyttelse af naturens ressourcer og opnå en mere effektiv produktion af plante-baserede fødevarer. Her kan stabile isotoper spille en vigtig rolle. ■

Videre læsning

Novak V, Adler J, Husted S, Fromberg A and Laursen KH (2019): *Authenticity testing of organically grown vegetables by stable isotope ratio analysis of oxygen in plant-derived sulphate*. Food Chemistry, 291: 59-67.

Laursen KH, Bontempo L, Camin F and Roßmann A (2016): *Advances in isotopic analysis for food authenticity testing*. In: *Advances in Food Authenticity Testing*. 227-252. Edited by Gerard Downey. Woodhead Publishing. Series in Food Science, Technology and Nutrition. ISBN: 9780081002209.

Laursen KH, Schjoerring JK, Kelly SD and Husted S (2014): *Review: Authentication of organically grown plants - advantages and limitations of atomic spectroscopy for multi-element and stable isotope analysis*. Trends in Analytical Chemistry, 59: 73-82.

Laursen KH et. al.: *Is it really organic? - multi-isotopic analysis as a tool to discriminate between organic and conventional plants*. Food Chemistry, 141: 2812-2820.

VARME- REKORDERNE PÅ SUMMIT

Det vakte opsigt, da der på toppen af Grønlands Indlandsis blev målt flere varmerekorder i august 2019. De højest målte temperaturer viste sig dog ikke at holde vand. Meteorolog Jesper Eriksen kigger her nærmere på, hvorfor temperaturmålinger kan gå galt i byen.

I starten af august 2019 blev der målt varmerekorder af flere vejrstationer på toppen af Grønlands Indlandsis (også kaldet summit). Blandt andet målte DMI's vejrstation den 2. august rekordhøje 4,7 graders varme – hvilket gav anledning til en del presseomtale. Netop denne måling blev dog få dage senere annulleret, da den ikke bestod den efterfølgende kvalitetskontrol. Men kan man stole på de øvrige rekordmålinger, hvor pålidelige er sådanne temperaturmålinger, og hvad kan forstyrre dem? Det undersøger jeg i denne artikel.

Kunstige overflader kan påvirke målinger

På Summit ligger der en amerikansk forskningsbase, som er beboet året rundt – dog kun med 4 personer om vinteren. Basen blev etableret i 1989, oprindeligt med det formål at lave iskerneboringer. Programmet er senere blevet udvidet med meget anden forskning og en masse meteorologisk udstyr.

På en menneskeskabt base er der kunstige overflader, der kan opvarmes med forskellig styrke af solens energi afhængig af, hvilket materiale de er lavet af, hvilken

farver de har, og hvordan de vender i forhold til verdenshjørnerne. Summit ligger nord for Polarcirklen og har derfor midnatssol om sommeren, men solen kommer ikke lige så højt på himlen som i Danmark. Det gør, at den maksimale globalstråling i princippet er mindre end i Danmark, men den sammenligning gælder kun, hvis man befinder sig i samme højde over havets overflade. Summit ligger lidt over 3200m over havniveau, hvor luften er noget tyndere, og desuden har sne og is en høj albedo (evne til at reflektere sollys). Derfor kan kunstige overflader på basen på Summit



Om forfatteren
Jesper Eriksen er uddannet meteorolog fra Københavns Universitet og DMI. Han har arbejdet på DMI med alt slags vejr i Rigsfælleskabet siden 2004. Denne artikel er dog skrevet helt i privat regi.
jespereriksen2@hotmail.com

← Den hvide bygning på billedet er Temporary Atmospheric Watch Observatory (TAWO). Foran bygningen ses en mast, og det er her NOAA's meteorologiske udstyr er monteret. Kilde: NASA/Cryosphere Science Research Portal

blive stærkt påvirket og opvarmet af solens stråler.

Blæser det, er der så meget omringning, at den opvarmende effekt fra de kunstige overflader hurtigt udtynnes i forhold til en temperaturmåling af luften tæt på den kunstige overflade. Men er der næsten ingen vind, kan de kunstige overflader faktisk påvirke målingen, hvis de er tæt på det sted, hvor målingen foretages.

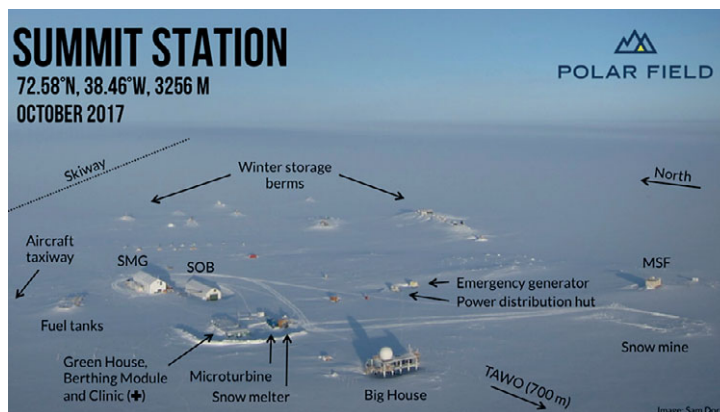
Betydningen af udstyr og placering

Kigger man generelt på, hvilket måleudstyr der er bedst egnet til klimatologiske analyser, skal man selvfølgelig se på kvaliteten af selve udstyret, men lige så vigtig er placeringen af vejrstationen. Man ønsker nemlig at måle et sted, hvor påvirkningen af lokale effekter er minimal. På Summit er terrænet ret ensartet uden lækroge, så de lokale effekter, der kan påvirke temperaturmålinger på Summit, vil være knyttet til de kunstige overflader på basen – og derudover har selve vejrstationen også sine egne kunstige overflader. En sidste ting, der har betydning for pålideligheden af målinger fra en vejrstation er, hvor gode mulighederne er for at vedligeholde og servicere vejrstationen. Her er muligheden for at yde service på det meteorologiske udstyr gode på Summit, da basen er bemanded året rundt.

På en forskningsbase som den på Summit må det forventes, at måleudstyret generelt har en ret høj kvalitet. Listen over meteorologisk udstyr på Summit er for lang til at komme ind på her, men man kan finde den på hjemmesiden: www.geosummit.org/instruments

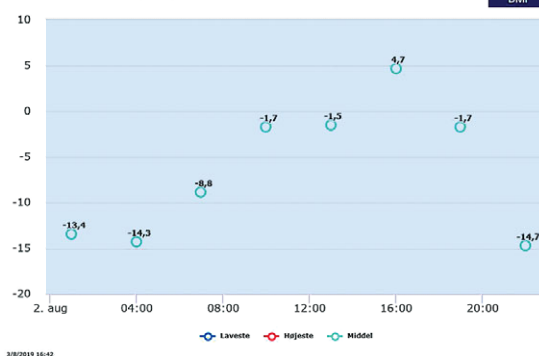
Ser man på, hvilken temperaturmåler der er mindst påvirket af lokale forhold, må det ud fra min personlige vurdering være den fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), af for mig lidt overraskende grunde, der vil blive belyst nærmere i næste afsnit.

NOAA's temperaturmåler på Sum-



Oversigtskort over forskningsbasen på Summit. I bunden ses en pil, der angiver, at der er 700 m til et sted kaldet "TAWO". Det er her NOAA's officielle vejrstation er placeret. Kilde: www.geosummit.org

Summit 2. august 2019
Temperatur (°C)



Målinger fra DMI's vejrstation (04416) på Summit den 2. august 2019. Stationen registrerer en værdi hver 3. time. Det fremgår, at der blev målt 4,7 graders varme kl. 16.00 lokal tid, men denne måling bestod ikke en efterfølgende kvalitetskontrol. Kilde: dmi.dk

mit er placeret i et tårn ved siden af en bygning, der udelukkende bruges til forskning kaldet The Temporary Atmospheric Watch Observatory (TAWO). Bygningen ligger lidt under 1 km syd for selve basen og er lavet af specielle materialer for at minimere indflydelsen på de målinger, der laves. TAWO blev flyttet til sin nuværende placering tilbage i 2010 og har derfor ikke ligget det samme sted hele tiden. Temperaturcensoren på tårnet er placeret 2 meter over sneoverfladen, som er den anbefalede højde for temperaturmålinger, og temperaturen måles hvert minut.

Jeg har været i kontakt med NOAA, som fortæller, at de én gang årligt justerer temperaturmåleren i forhold til den nye sneoverflade. Der kommer nemlig, ifølge Sam Dorsi, der er Summit Station Science Project Manager, i gennemsnit 0,65 m sne om året på Summit.

Ventilation er vigtigt for en temperaturmåling

Har man et termometer, er det selvfølgelig luftens temperatur, man vil måle. Derfor har man en strålings-skærm til at beskytte termometeret mod direkte sollys. Man er heller ikke interesseret i, at luften får lov at stå stille inde i strålingsskærmen. Derfor er de bygget, så luften kan passere igennem dem. Der findes mange forskellige strålings-skærme af forskellige kvalitet og pris, og det samme kan siges om selve termometrene, men det vil jeg ikke komme nærmere ind på i denne artikel.

Aftager den naturlige vind næsten helt en sommerdag, hvor solen skinner for fuldt blus på Summit, kan luften stå næsten stille inde i strålingsskærmene. Den samme situation ville i Danmark give anledning til lodrette luftbevægelser i form af termik og dermed ud-



Billede af vejrstationen på Summit, der er en del af Greenland Climate (GC) netværket. Billedet er taget af Konrad Steffen, og manden på billedet er hans søn. Sønnen er også klimaforsker.

skiftning af luften, men på toppen af Indlandsisen dannes der ikke termik. Termik kræver nemlig en uens solopvarmning af overfladen, hvorved luftbobler bestående af den varmeste luft i området kan opstå og drives til vejrs, ligesom sæbebobler undertiden gør på en varm sommerdag i Danmark. Men en iskappe er en ret ensartet overflade, der reflekterer det meste af solens lys, så derfor dannes der ikke termik over den.

Selvom strålingsskærmene er hvide/eller grå, så de absorberer mindst muligt varme, gør de specielle forhold med den tynde luft og den reflekterende overflade af sne og is, at mængden af sollys, der når strålingsskærmen, er så stor, at man ikke kan undgå, at den opvarmes lidt. Herved opnås en ekstra opvarmning af den lille luftlomme inde i strålingsskærmen. Er der nok naturlig vind, fortyndes effekten, og man kan se bort fra den. Men det kan man ikke, når det er næsten vindstille.

Derfor har NOAA's temperatur-måleudstyr på Summit tilknyttet en kunstig ventilation, så der til stadighed er omrøring på de næsten vindstille dage. Det er kun NOAA's vejrstationer, der har kunstig ventilation på Summit.

I en artikel i tidsskriftet JTECH sammenligner Leeper og kolleger kunstigt ventilerede temperaturmålinger med målinger, der kun har vindens naturlige ventilation. De finder, at de kunstige ventilerede vejrstationer i middel giver en lavere maksimumtemperatur og en højere minimumtemperatur, dog med stor variabilitet i forskellen afhængigt af hvilke vejrstationer (lokalområder), man kigger på. Der nævnes i middel kun forskelle på en $0,48^{\circ}\text{C}$ højere maksimumtemperatur og en $0,36^{\circ}\text{C}$ lavere minimumtemperatur. Disse tal gælder for USA, og man skal huske på, at der for Summit gælder helt specielle meteorologiske forhold.

En anden vejrstation på Summit, der er relevant for denne artikel, er en fra Greenland Climate Network (GC-nettet), som også er drevet af amerikanerne. Vejrstationen står ligesom NOAA's vejrstation lidt væk fra selve basen. Jeg har kommunikeret på email om denne vejrstation med Konrad Steffen, professor i Geografi med speciale inden for glaciologi. Han står for driften af de 20 vejrstationer, der er i GC-nettet, og han fortæller, at vejrstationen på Summit ikke har kunstig ventilation, og temperaturmålingen laves 3,4m over sneens overflade. Den foreta-

ger en måling af temperaturen hver 15. sekund, og hver time registreres den maksimale temperatur inden for den seneste time.

DMI har også en vejrstation på Summit (WMO nr. 04416). Den har ikke kunstig ventilation, og den registrerer en måling hver 3. time.

7 graders forskel mellem vejrstationer

Som nævnt målte DMI's vejrstation hele $4,7$ graders varme den 2. august 2019. Da målingen senere blev annulleret ved en kvalitetskontrol, var årsagen ifølge DMI, at målingen var kommet for tæt på sneoverfladen og derfor ikke var tilstrækkeligt ventileret. En overflade virker nemlig opbremsende på luftens bevægelse, og jo tættere, man kommer på overfladen, desto større bliver effekten.

Til sammenligning viste NOAA's temperaturmåling fra samme dag 2 graders frost som dagens højeste temperatur, altså en forskel på næsten 7 grader.

Men faktisk var der andre vejrstationer på Summit, der målte temperaturer over frysepunktet den 2. august – for eksempel vejrstationen "Greenhouse", der drives af Natio-

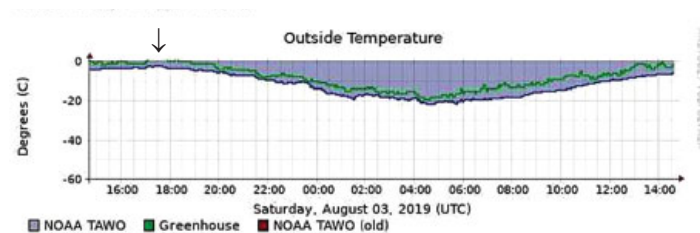
nal Science Foundation/Polar Field Services og som ikke har noget med NOAA at gøre. Temperaturkurven for denne vejrstation forsvinder således opad og ud af skalaen den 2. august, men da skalaen kun går op til frysepunktet, kan man ikke se, hvor meget over frysepunktet vejrstationen målte. Da målingen foretages lige uden for en gruppe bygninger, kan den være påvirket af solopvarmningen af de kunstige overflader.

Professor Konrad Steffen oplyser i en email, at den højeste temperatur opgivet fra stationen fra GC-nettet d. 2. august 2019 var på hele 3,6 graders varme. Dette er ifølge ham en ny varmere rekord for denne station. De 3,6 grader har været igennem et autokorrektionsfilter, fordi den reelle måling var helt oppe på omkring 5 grader. Man har lavet dette filter, fordi man erkender, at disse vejrstationer kan have problemer og derfor kan give for høje temperaturer, når vindstyrken er for lav, og der er masser af sollys. Og det var faktisk næsten vindstille den dag, hvor varmere rekorden blev målt. Så selvom DMI-stationen havde haft en bedre afstand til sneoverfladen, havde der stadigvæk ikke været meget ventilation. DMI-Vejrstation og den ufiltrerede måling fra GC-vejrstationen havde faktisk næsten samme værdi for den højest målte temperatur.

Ikke et generelt problem

NOAA's måling på omkring 2 grader frost må som sagt betragtes som det bedste bud på en officiel temperatur for den 2. august 2019 til brug i en klimatologisk database, fordi NOAA's målestation havde kunstig ventilation. Et faktum, der yderligere understøtter dette, er, at der ikke var registreret smeltning af overfladesneen på Summit den 2. august 2019 – det blev der derimod gjort flere gange tidligere på sommeren.

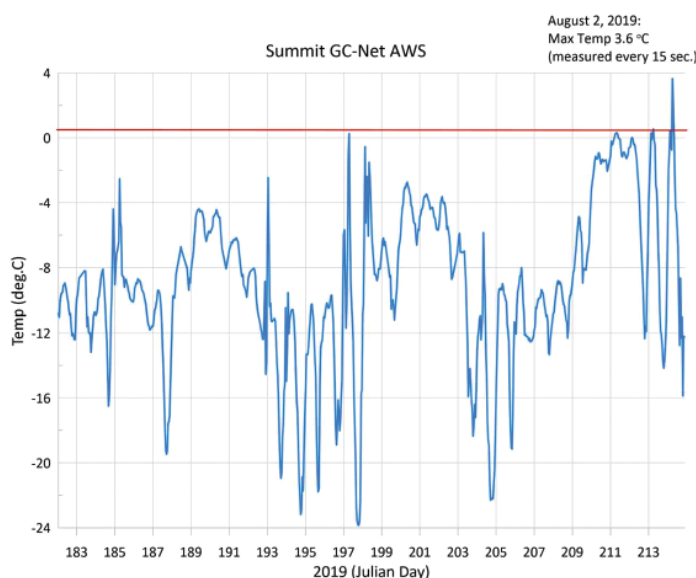
Det betyder dog ikke, at målinger fra DMI og GC-nettet var decideret forkerte. De bittesmå luftlommer fanget i strålingsskærmene på grund af manglen på ventilation er sikkert



Temperaturmålinger fra Summit for perioden 2. til 3. august 2019. Den sorte linje er NOAA's måling, og denne kom kun op på 2 grader frost den 2. august. Den grønne linje er en måling foretaget lige ved siden af en lille samling bygninger kaldet Greenhouse. Det fremgår, at den grønne linje hopper ud af skalaen den 2. august om eftermiddagen og derfor må have været over frysepunktet. Grafik: Screenshot.



Billedet af bygningerne, hvis kælenavn er "Greenhouse". Temperaturmålinger tæt ved disse bygninger kan forstyrres af de kunstige overflader. Kilde: www.geosummit.org



Temperaturmåling fra GC-vejrstationen på Summit. På x-aksen opgives dagens nummer på året, og på y-aksen temperaturen. Den 2. august er 3,6 grader opgivet som den højeste temperatur. De viste målinger har været gennem et autokorrektionsfilter – de rå målinger viste mere end 5 graders varme som højeste temperatur. Vejrstationen måler temperaturen hvert 15. sekund.

nået op på 4-5 graders varme, mens luften uden for skærmene generelt har været frostkold. Den store forskel i den målte temperatur mellem et termometer med og uden kunstig ventilation, må antageligt tilskrives de helt specielle forhold, der er på en iskappe, der rager op i tynd luft. Forskellen forventes endvidere kun at optræde i helt særlige vejsituati-

oner om sommeren, hvor der er fuld solskin og det samtidigt er vindstille. Derfor er det ikke et generelt problem, hvis et termometer ikke har kunstig ventilation. Jeg var faktisk ikke selv klar over, at fænomenet fandtes, før jeg skrev denne artikel. Stærk kulde kan i øvrigt også være drilsk at måle på, men det er en anden historie.

Kilder

Om basen og forskningen på Summit: www.geosummit.org

Liste over instrumenter på basen på Summit: www.geosummit.org/instruments

<https://neptune.gsfc.nasa.gov/csb/index.php?section=49>

Leeper et al, JTECH, 2015: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JTECH-D-14-00172.1>

Om overfladesmeltning på Summit 2019: www.geosummit.org/news/highlights-2019-summit

Om udfordringerne ved at måle stærke kuldegrader: Jesper Eriksen: Drilske kulderekorder. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2014.



FORTSAT INSEKTTAB

Små isolerede naturområder oplever den største tilbagegang i insekter – både i artstal, individtal og biomasse, viser det tyske studie.
Foto: Dr. Ulrike Garbe / Landesamt für Umwelt, Brandenburg

Tab af artsrigdom og biomasse af insekter har været meget i vælten det seneste par år. I oktober udkom et grundigt studie af ændringen i forekomsten af insekter i tre egne af Tyskland, undersøgt på de samme lokaliteter hvert år fra 2008 til 2017. Forskerne bag *Nature*-artiklen havde fanget insekter i både skov og græsland og havde så – for en række udvalgte insektfamilier – nøjsomt talt alle individer i prøverne og bestemt dem til art. Dermed kunne det nye studie svare på nogle af de spørgsmål, som blev ladt åbne af en tidligere artikel, der også fik meget opmærksomhed (og som jeg fortalte om i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3/2019). Det er ikke nogen nem opgave at undersøge biomasse og diversitet af en organismegruppe så mangfoldig på arter og livsformer som insekterne. Og det bliver ikke nemmere at dokumentere deres langtidsudvikling, når hver arts bestandsstørrelse og aktivitetsniveau – og dermed sandsynligheden for at fange dem – varierer med vejret, og når vejrliget varierer fra sommer til sommer.

Sjældne arter er hårdt ramt

En hovedkonklusion på studiet er, at der er sket en markant tilbagegang i den regionale artsrigdom over den undersøgte tiårsperiode. Det er gået særlig hårdt ud over de arter, der i forvejen var sjældne. Dette stemmer helt overens med, hvad nationale og regionale rødlistes, altså opgørelser over arter i så

kraftig tilbagegang, at de trues af uddøen, i forvejen fortæller.

En anden hovedkonklusion er, at den samlede insektbiomasse aftager. I de undersøgte skove er der ikke sket en ændring i det samlede antal individer. Når biomassen falder, må det indebære at store, tunge insektarter er gået tilbage, mens små arter er gået tilsvarende frem i antal. Store biller, der lever i skov og som kan fanges i den anvendte fældetype, er især knyttet til dødt ved, blomstrende buske, lort fra store pattedyr og andre kulstofkilder, som kun findes sparsomt i dyrket skov. På de undersøgte græslandslokaliteter er tilbagegangen mere jævnt fordelt på vægtklasser.

Selvom studiet understøtter den eksisterende evidens for tilbagegang for insekterne og bringer nye svar på visse spørgsmål, så er der også et *aberdabei* eller to. Forfatterens største problem er, at startåret i deres tidsserie – 2008 – var præget af forrygende sommervej og perfekte forhold for insektfangst, mens de følgende år alle var ringere. Forfatterne har naturligvis gjort alt, hvad de kunne for med avanceret statistisk modellering at korrigere for forskelle i vejrlig fra år til år. Alligevel forsvinder det meste af nedgangstendensen, hvis man udelader år 2008 af analysen. Der er altså fortsat usikkerhed, om nedgangen i insektbiomasse er reel, og hvor stor den i givet fald er.

Sammenhængende naturområder er vigtige

Studiet viser, at tab af insekter også sker i naturområder, som aldrig pløjes, tilsås, gødskes eller sprøjtes. Til gengæld kan det vise, at jo mere natur, der er i landskabet rundt om hver undersøgt lokalitet, jo mindre er tabet af insekter. Små isolerede naturområder i den intensivt dyrkede landskabsmatrix taber mest i både artstal, individtal og biomasse. Det resultat kan umiddelbart omsættes til handling, også i Danmark: Gennem udlæg af urørt skov og udtagning af landbrugsjord kan man sikre større sammenhængende naturområder, hvori nuværende små fragmenterede områder indgår som kerner i en skive vandmelon.

Desværre kan det nye studie, på trods af en imponerende arbejdsindsats, både med feltundersøgelser, artsbestemmelse og statistisk modellering, ikke rigtigt udpege årsagerne til insekttabet. Hvorfor bliver der for eksempel færre bladbiller, bredtæger og græshopper i græsland? De er vegetarer, og der er næppe blevet mindre planteføde på de ti år, snarere tværtimod. Er der i virkeligheden blot blevet mere dødt plantemateriale, altså noget der fortrinsvis ædes af snegle og bænkebidere, som jo ikke er insekter? Det vil nye studier i de kommende år forhåbentlig afklare. ■

Hans Henrik Bruun, lektor ved Biologisk Institut, Københavns Universitet. Kilde: Seibold et al: *Nature* vol. 574, pp671–674 (2019)



LÆS MATEMATIK PÅ AALBORG UNIVERSITET

Thea har arbejdet med den matematiske teori bag Secret Sharing, som handler om at fordele information om en hemmelighed, så den kun kan rekonstrueres i fællesskab.

THEA DIEMER PILGAARD, BACHELOR I MATEMATIK

Med afsæt i gruppearbejde og problembaserede projekter med autentiske udfordringer bliver du undervist lige der, hvor teori og praksis mødes og er med til at flytte, forandre og forandre både dig og verden. AAU bringer dig tættere på den virkelige verden. Og på et attraktivt job.

FÅ MERE AT VIDE OM THEAS UDDANNELSE PÅ MATEMATIK.AAU.DK

MAKE IT REAL



AALBORG UNIVERSITET

Tilsæt naturvidenskab

Foto: Jonas Drotner Mouritsen

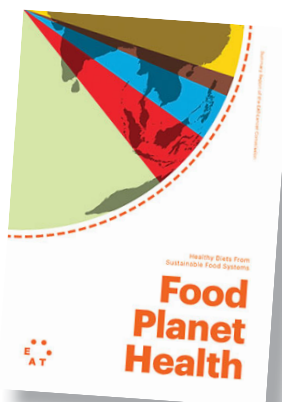
En international kommission af eksperter fra 16 forskellige lande (EAT-Lancet Commission 2019) har i en rapport om jordens fødevarer systemer i den såkaldt Antropocæne epoke fremlagt anbefaling af en kost, der både er sund og bæredygtig. Denne kost består overvejende af grøntsager, frugter, fuldkorn, bælgrugter, nødder og umættede fedtstoffer, kun moderate eller små mængder af fisk og fjerkræ og intet eller meget lidt rødt kød, forarbejdet kød, tilsat sukker, raffinerede cerealier og stivelsesholdige grøntsager.

Der er mange udfordringer, ikke mindst politiske, ved at følge rapportens anbefalinger. En af dem er, om vi virkelig kan spise så meget grønt? Smager det godt nok? Al erfaring tilsiger, at ligegyldig hvor sund, bæredygtig og i alle henseender fornuftig en kost end måtte være, så spiser vi den ikke i længden, hvis vi ikke synes om smagen. Løftede pegefingre virker ikke.

Så vi kommer ikke uden om smagen. Men her kan naturvidenskaben og specielt gastrofysik komme os til hjælp med at frembringe velsmag og foreslå tilberedninger af plantebaseret mad, så det får en ønsket tekstur. Når en sådan indsats fra videnskabens side kombineres med kokkekunst, godt håndværk, entreprenørskab og et bredt formidlingsarbejde over for ikke mindst børn og unge, har vi måske en chance for at komme i mål.

Problemet med grøntsager

Hvis der er et problem med grønt og grøntsager, kan man sige, at det skyldes, at det ikke er beregnet til at blive spist. Det er kun planternes modne frugter, der set fra planternes side skal spises for at sprede frø og sporer. Rødder og de grønne stængler og blade skal ikke spises, og derfor er disse plantedele ofte sure og bitre og i mange tilfælde giftige. Det er planternes form for kemisk krigsførelse, som er nødvendig, fordi planter i modsætning til dyr ikke kan løbe væk fra en fjende.



Selv om vi har forædlet mange kulturplanter, så de er ugiftige og mindre bitre end deres vilde slægtninge, så står det tilbage, at det grønne normalt hverken har sød smag eller umami-smag. Det er et problem, fordi mennesket som art gennem evolutionens forløb er udviklet til at søge føde, der smager sødt og umami. Sødt signalerer kalorier, og umami signalerer lettilgængelige proteiner, og begge dele er godt for overlevelse i evolutionær tidsskala. Modsat er bittert et signal til at spytte maden ud, fordi den kunne være giftig.

Kun visse plantedele, især frugter som modne tomater og grønne ærter, har pæne mængder af det stof, glutamat, som giver såkaldt basal umami. Glutamat er saltet af aminosyren glutaminsyre. Umami-smag kan forstærkes af en anden slags stoffer, der giver såkaldt synergistisk umami. Disse stoffer er nedbrydningsprodukter af nukleinsyrer, såkaldte nukleotider, specielt inosinat (som især findes i fisk, skaldyr og kød), guanylat (som især findes i svampe) og adenylat (som især findes i skaldyr og tomater).

Kød og fisk kan have store mængder af inosinat, fordi det fremkommer ved nedbrydning af ATP, som er energikilden til musklernes bevægelse. Da planter ikke har

muskler, er der ikke meget synergistisk umami at hente i det grønne. Derimod har visse svampe, især shiitake, store mængder af guanylat. Derfor er svampe meget brugte i det vegetariske køkken til at give umami-smag.

For at give grønt og især grøntsager sødme og umami skal der arbejdes med dem i køkkenet. Nogle grøntsager, for eksempel gulerødder og kartofler, bliver mere søde ved opvarmning, og i nogle tilfælde kan bitterstoffer i for eksempel kål udskilles ved kogning. Men de mest effektive måder at give sødme og umami på er at tilføje ingredienser, der i sig selv er søde og har umami som sukker, tomat og fermenterede produkter, eller at nedbryde planternes makromolekyler, dvs. kulhydrater, proteiner og nukleinsyrer, i sukre, aminosyrer, små peptider og nukleotider. Disse små molekyllære nedbrydningsprodukter kan have sød smag og umami-smag i modsætning til de store makromolekyler, som vi ikke kan smage. Nedbrydningen kan foregå ved forskellige former for fermentering under medvirken af mikroorganismer som svampe og bakterier eller direkte ved hjælp af enzymer.

“Umamificering” af grønt

Der findes en række nemme metoder til at give umami til grøntsager uden direkte at nedbryde planterne ved fermentering, som vi kommer tilbage til senere. Nogle af disse metoder kendes fra det traditionelle danske køkken, hvor man har brugt kogevandet fra kartofler, som har pæne mængder af glutamat, til at lave saucer og til at dampe grøntsager i. Men der er også andre nemme løsninger, som vi umiddel-



Forfatteren

Ole G. Mouritsen er dr. scient. og professor i gastrofysik og kulinarisk fødevarerinnovation ved Institut for Fødevarer videnskab på Københavns Universitet og leder af Smag for Livet. Arbejder i øjeblikket på en bog sammen med kokken Klavs Styrbæk om grønt.
ole.mouritsen@food.ku.dk

Hvad spiser du?

Omnivor: du spiser alt

Vegetar: du spiser ikke kød og fisk, men dog mælkeprodukter og æg

Fleksitar: du spiser overvejende plantebaseret kost, men også små mængder af animalske produkter

Pescetar: du er vegetar, men kan supplere kosten med fisk og skaldyr

Veganer: du spiser ikke animalske produkter



Rapport på en dyster baggrund

Rapporten fra EAT-Lancet Commission er blevet til på en dyster baggrund. Fødevarereproduktion er den væsentligste årsag til ændringer i jordens økosystemer, herunder klimaændringer. Det gælder både landbruget, som er ansvarlig for brug af 40 % af landjorden, 30 % af udledningen af drivhusgasser og 70 % af brugen af ferskvand, og det gælder fiskeriet, hvor 60 % af havenes fiskebestande er fuldt udnyttet og 30 % overfisket, foruden at fangsten har været for nedadgående de seneste par årtier. Omkostningerne ved denne fødevarereproduktion har ført til stort tab af biodiversitet, overforbrug af ferskvand, ødelæggelse af økosystemer og udledning af et overskud af næringsstoffer og drivhusgasser. Jordens kredsløb af vigtige stoffer som kulstof, phosphor og kvælstof er blevet forstyrret. Dette system er ikke bæredygtigt.

Hertil kommer så, at selv om dette ikke-bæredygtige fødevarer-system frembringer nok kalorier til jordens nuværende befolkning, især når man medregner fødevarer-

respild, og selv om ressourcerne er ulige fordelt og 820 millioner mennesker sultar, så er kostbetingende sygdomme, for eksempel diabetes, hjerte-karsygdomme, forhøjet blodtryk, cancer mm, vokset med galoperende hast. Den nuværende kost er altså globalt set hverken bæredygtig eller sund.

Den konkrete anbefaling fra EAT-Lancet Commission foreskriver 300 g grøntsager og 200 g frugt om dagen, svarende til fem portioner. Hertil kommer omkring 230 g fuldkorn (ris, hvede, majs), svarende til maksimalt 60 % af kalorieindtaget, foruden 50 g stivelsesholdige grøntsager (for eksempel kartofler og cassava). Rapporten fastslår ved detaljerede beregninger, at med denne anbefaling skulle det netop være muligt at opfylde FN's Verdensmål for bæredygtig udvikling med hensyn til en sund kost, der er produceret og forbrugt bæredygtigt. Men beregningerne viser også, at denne løsning er skrøbelig, og blot en lille vækst i forbruget af rødt kød og mejeriprodukter kan få katastrofale følger.

Foto: Jonas Drotner Mouritsen

bart kan hente hjem til vores eget køkken fra madkulturer, der bygger på en overvejende vegetarisk eller vegansk kost, for eksempel i Østen.

Det drejer sig om at tilføje umami med ekstrakter af smagsstoffer fra for eksempel tang og svampe og ved tilsætning af fermenterede vegetabiliske produkter som miso og soyasauce. For vegetarer er der også mulighed at tilføre umami via æg og fermenterede mælkeprodukter (ost og surmælksprodukter). For veganere er udfordringen straks mere vanskelig, og her må man ty til svampe og gærprodukter. Fleksitarer har straks mange flere muligheder, for eksempel forskellige fermenterede marine produkter som tørret fisk, fiske- og blækspruttesauce, ansjospasta og forskellige bouilloner lavet på kød og ben, der alle giver kraftig umami og umamisynergi.

Kokumi

Det er i de senere år blevet klart, at der er et særligt smagsindtryk, som har fået navnet *kokumi*. *Kokumi*, som betyder noget i retning af kontinuitet og mundfylde og spiller godt sammen med umami, forbindes

normalt med fødevarer af animalsk oprindelse, særligt kammuslinger, fiskesauce og fermenterede rejer. Men fermenterede bønner i form af sojasauce tillægges også *kokumi*, ligesom ekstrakter af hvidløg fremkalder *kokumi* sammen med andre fødevarer. Et af de stoffer, der findes i disse fødevarer, er stoffet glutathion, som fornylig også er fundet i store mængder i visse svampe, især karl Johan. *Kokumi* er også en vej til at give velsmag til grønt.

Fermentering af grøntsager

Mange af de traditionelle sylteteknikker indebærer fermentering som en måde at konservere grøntsager på og gøre næringsstofferne mere tilgængelige. Samtidig udvikles aromaer og smagsindtryk, som vi har lært at sætte pris på. Mælkesyregæring med mælkesyrebakterier er nok den mest velkendte. Men der findes en lang række andre mikroorganismer, som udnyttes ved tilberedning af grøntsager, ikke mindst soyabønner, for eksempel til fremstilling af soyasauce, miso og tempeh. Alle disse produkter har kraftig umami-smag med masser af glutamat. I princippet kan man

bruge alle slags råvarer, som indeholder proteiner, for eksempel kornsorter som byg, hvede og ris, samt bælgfrugter som ærter, bønner og linser, til ved fermentering at frigive umami-smag.

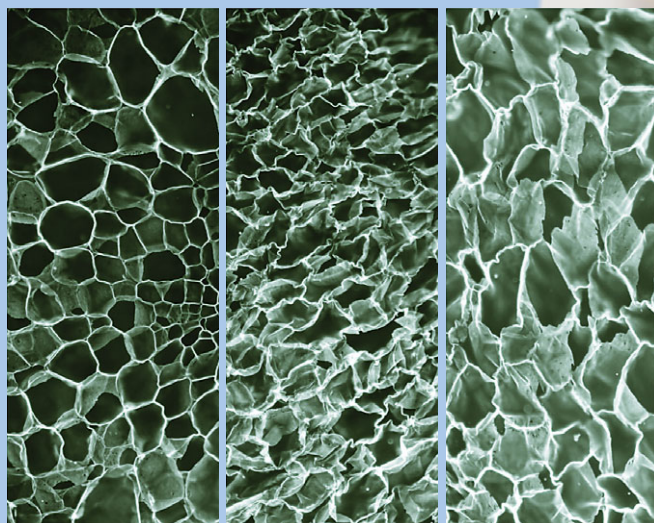
Koji er ren magi

Som et eksempel på en fermentering, man let selv kan lave i sit eget køkken, men som også har stor industriel betydning, vil vi se på *koji*. *Koji* er det japanske udtryk for en svampekultur af en mikroskopisk svamp, *Aspergillus oryzae*. Svampen bruges til fremstilling af soyasauce, miso og sake, men den har også en fantastisk virkning på grøntsager.

Grunden hertil er, at svampens enzymer nedbryder grøntsagernes kulhydrater til søde sukker og proteinerne til frie aminosyrer, som har sødme og umami-smag. Så vi får i ét hug netop de grundsmage, som det grønne mangler. Selv om der produceres sukker, forøger det ikke madens kalorieindhold, fordi kulhydraterne alligevel ville blive nedbrudt til sukker i vores mavesystem.

Knasende sprøde grøntsager

→ Kinaradise tilberedt som *tsukemono*. Radisen er først tørret, derefter skåret i skiver og dernæst nedlagt i en marinade med salt, sukker og tilført umami-smag fra tang. Foto: Jonas Drotner Mouritsen

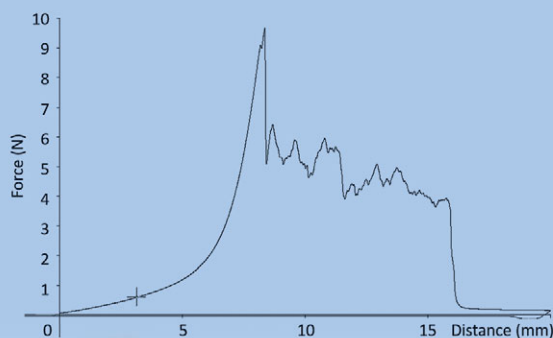


Cellestrukturen i en radise: frisk (til venstre), tørret (i midten) og rehydreret (til højre). Ved tørringen skrumpes cellerne, og netværket af de ellers stive cellevægge bliver krøllet og mere fleksibelt. Ved rehydreringen optager cellerne igen vand, men netværket af cellevægge forbliver irregulært og fleksibelt, hvilket bevirker, at radisen både er fleksibel, men samtidig virker knasende sprød. Billederne svarer til 0,6 mm × 1,6 mm.

Mikroskopi: Mathias Porsmose Clausen

Kvantitativ måling af teksturen på et stykke *tsukemono* af kinaradise. Målingen indebærer tryk med en probe på radisen, og resultatet er en kurve, der viser kraften som funktion af probens position. Det ses, at radisen giver efter i begyndelsen, og kraften vokser op til et maksimum, hvorefter den falder i en række hak, for til sidst at bryde sammen. Disse hak er, hvad der mellem tænderne vil opleves som en sprødhed, og det tilhørende auditive respons svarer til en knasen.

Teksturanalyse: Mathias Porsmose Clausen



Eksempel på brug af knasende sprød kinaradise-*tsukemono*, som giver en spændende sprød kontrast til bløde og melede, kogte nyrebønner.

Foto: Jonas Drotner Mouritsen



Ved produktion af sødme og umami-smag opnår man samtidig den bonus, at bitre grøntsager kommer til at smage mindre bittert. Hvis man dertil bemærker, at man på den måde kan lave velsmagende grøntsager uden fedtstof, er det klart, at *kaji* er noget af et mirakelmiddel, der kan hjælpe os til at spise mere grønt. Min påstand er, at med *kaji* kan man få børn til at spise broccoli.

Det kan være lidt indviklet at bruge selve den levende *Aspergillus oryzae*-kultur i et hjemmekøkken, men det er der råd for, fordi vi har kun brug for svampens enzymer til at udføre miraklet. Der findes nu et kommercielt produkt kaldet *shio-kaji* alene med enzymerne i en saltopløsning (*shio* betyder salt). Dette produkt har lang holdbarhed og kan nemt anvendes, og man behøver ikke at forholde sig til en levende kultur.

Teksturen er vigtig

Smag er vigtig for vores accept af det grønne, men mundfølelsen er ofte mindst lige så vigtig. Mundfølelse kaldes også for tekstur, som teknisk set defineres som den del af madens struktur, som vores taktile sans i mundhulen kan opfange. Mundfølelse er altså ikke smag i streng forstand, men alligevel en vigtig del af smagsoplevelsen. Vi bruger forskellige sproglige udtryk

Undervisningsmateriale
Du kan finde et arbejdsark til denne artikel, på Aktuel Naturvidenskabshjemmeside. Arbejdsarket indeholder også supplerende materiale om umami og kokumi.

Yderligere læsning

Faxholm, P.L., C.V. Schmidt, L.B. Brønnum, Y.-T. Sun, M.P. Clausen, R. Flore, K. Olsen & O.G. Mouritsen) Squids of the North: gastronomy and gastrophysics of Danish squid. *Int. J. Gast. Food. Sci.* 14, 66-76 (2018).

Mouritsen, O.G. & K. Styrbæk. *Tsukemono: Sprøde grøntsager på japansk*. Gyldendal, København (2017).

Mouritsen, O.G., L. Duelund, G. Calleja & M. B. Frøst. Flavour of fermented fish, insect, game, and pea sauces: garum revisited. *Int. J. Gastronomy Food Sci.* 9, 16-28 (2017).

Mouritsen, O.G. *Tsukemono - crunchy pickled foods from Japan: a case study of food design by gastrophysics and nature*. *Int. J. Food Design* 3, 103-124 (2018).

Mouritsen, O.G. & K. Styrbæk. Grøntsager vil ikke spises. *Weekendavisen* 27, 5. juli, Ideer s. 13 (2019).

Mouritsen, O.G., L. Duelund, M.A. Petersen, A.L. Hartmann & M.B. Frøst. Umami taste, free amino acid composition, and volatile compounds of brown seaweeds. *J. Appl. Phycol.* 31, 1213-1232 (2019).

Willet, W. m.fl. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 393, 447-492 (2019.)

for mundfølelse, for eksempel hård, blød, saftig, sprød, knasende, klistret, melet, osv. Mundfølelse er derfor mere et spørgsmål om fysik end kemi, og i nogle tilfælde kan vi udføre kvantitative målinger af fysiske parametre, der er med til at karakterisere mundfølelsen.

Grøntsager og frugt afvises ofte, ikke mindst af børn, fordi tekturen ikke er indbydende eller som forventet. Et eksempel er grøntsager, der er kogt for bløde, eller et æble som er for hårdt eller for melet.

De fleste foretrækker grøntsager, som er knasende og sprøde. Vi har arbejdet en del med at undersøge, hvordan man kan lave sprøde grøntsager, som holder sig knasende sprøde i lang tid, og som samtidig har fået tilført umami-smag. Igen kan man her trække på en japansk tradition, *tsukemono*, som betyder "syltede sager". *Tsukemono* indebærer behandling af grøntsager med salt, sukker, syre og forskellige mikroorganismer. I alle tilfælde svarer tilberedningsteknikkerne til, at man ændrer vandets kemiske potential i grøntsagerne og dermed også celledstrukturen og tekturen.

En særlig effektiv, men også overraskende metode til at fremstille knasende grøntsager benytter sig af tørring og derefter marinering i lager, som indeholder meget umami-smag, for eksempel fra tang, soyasauce, gærrester og bærme fra bryggerier eller eventuelt et stænk af fiskesauce. Vi har fornylig fastlagt umami-potentialet for en lang række danske og udenlandske tangarter for at kunne optimere umami-smagen i marinaden. Ved tørringen mister grøntsagerne 2/3-dele af deres vægt, og ved rehydreringen i marinaden optager de noget af denne væske igen, men celledstrukturen er mere slap end i den friske grøntsag, men alligevel meget knasende.

Grøntsager behandlet som *tsukemono* kan med fordel bruges til at skabe interessante teksturkontraster i retter med andre grøntsager,



Foto: Jonas Drother Mouritsen

som kræver noget modspil, for eksempel kogte bønner, grøntsagsmos eller en kedelig grøn salat. Med fokus på den sprøde tekstur er der dermed basis for at gøre det mere indbydende at spise mere grønt, og desuden bringer *tsukemono* også umami på bordet.

Uudnyttede råvarer og sidestrømme

Et vigtigt led i *EAT-Lancet Commission*-rapporten er en 50 % reduktion i spild af fødevarer og mad. Hertil kan tilføjes bedre udnyttelse af sidestrømme og "affald" fra fødevarerproduktion til menneskeføde. Et eksempel er mask, der er restproduktet fra ølproduktion, efter urten er kogt af. Der foregår i dag forskning med henblik på at udnytte dette affaldsprodukt, for eksempel i bagerier eller som råvare til sekundær fermentering.

Et andet eksempel er fiskeaffald, som kan fermenteres til fiskesaucer med stort umami-potentiale og derfor blive smags giver til en grøn kost. Man kan også forestille sig, at insekter og invasive arter som sortmundet kutling og stillehavsøsters kan anvendes på samme måde. Vores forskning viser, at fermentering af forskellige danske fisk, insekter og bælgfrugter giver saucer, der er meget delikate og har stort umami-potentiale.

Havet er på den ene side en overudnyttet ressource, når det drejer sig om mange konsumfisk, som er overfisket eller ligefrem truet. På den anden side er der uudnyttede ressourcer i form af blæksprutter, som er i global vækst. Vores forskning viser, at danske tiarmede blæksprutter har et betydeligt umami-potentiale. Desuden findes

der en række fiskearter, som kaldes skidtfisk, for eksempel brisling, som vi bare ikke har tradition for at spise, men i stedet anvender som fiskemel til dyrefoder med stort tab af næringsstoffer til følge. Disse marine produkter kan alle hjælpe til at tilføre den umami-smag, som vi mangler i en grønnere kost.

Formidling er vigtig

Forskning i fødevarer er afgørende for, at vi kan gøre os forhåbninger om fremover at kunne spise både sundt og bæredygtigt med basis i en mere plantebaseret, grøn kost. Der er meget, den enkelte kan gøre i sit eget køkken, men en større indsats nationalt og globalt vil kræve mere viden og mere fødevarer videnskabelig forskning. Desuden vil implementeringen af nye tilgange kræve et tæt samarbejde mellem forskere fra forskellige fagområder, kokke, fødevarerproducenter, innovationsfolk og fødevarerindustri.

Men det kræver også noget helt andet og mere komplekst, som handler om at påvirke og ændre smagspræferencer, herunder vores madmod og smagsmod. Den enkeltes smagspræferencer afhænger af mange forskellige forhold som alder, opvækst, madkultur og tradition. Her starter det med børnene, og vejen frem er en satsning på et massivt formidlingsarbejde, som starter med at give børnene ejerskab til deres egne sanser. Man kan få børn til at udvikle mere ejerskab til deres egne sanser ved at lave eksperimenter med, hvordan man bruger alle fem sanser til at smage på råvarer og mad og bedømme, om man kan lide det eller ej. Ejerskabet forstærkes af sprogligt at kunne sætte ord på, hvad man sanser. Gennem sanserne vil børn dermed lære om sig selv og deres omverden ikke mindst i skolen. Med den ballast vil de blive smagskompetente og smagsmodige og dermed forhåbentlig selv i stand til at navigere indsigtsfuldt i et komplekst fødevarerlandskab. Det er den mission, det nationale forsknings- og formidlingscenter Smag for Livet (smagforlivet.dk) er på. ■

Oplev din kommende uddannelse



Vi slår dørene op på Aarhus Universitet

27., 28. og 29. februar 2020

TAG DINE ELEVER MED TIL U-DAYS

u-days tilbyder at betale 8.000 kr. til betaling af en bus, hvis I på egen hånd for jeres klasse eller for en større gruppe elever arrangerer bustransporten.

Ønsker I at benytte jer af muligheden for transportstøtte til og fra u-days, skal I blot sende en mail til udays@au.dk. Midlerne fordeles efter kriterierne: "først-til-mølle", afstand fra Aarhus og antal elever.



AARHUS
UNIVERSITET

study
with
Aarhus

u-days.dk



HVORDAN SKAL DE SELVKØRENDE BILER INDTAGE VEJENE?

Om forfatteren



Torben Esbo Agergaard
Videnskabelig assistent
Center for Videnskabs-
studier, Institut for
Matematik, Aarhus
Universitetet
ta@css.au.dk

Denne artikel udløber af
et projekt, der er blevet
til i samarbejde med
lektor Klaus B. Bærent-
sen og ekstern lektor
Johan Trettvik, begge
fra Psykologisk Institut,
Aarhus Universitetet.

Lige nu kæmper tech-industriens tunge drenge som Tesla og Waymo om pole position i ræset om at sende de første selvkørende biler på gaden. Imidlertid er der flere forskellige veje mod den selvkørende fremtid og alle har de både muligheder og udfordringer, som vi bør diskutere.

Det er svært at finde hoved og hale i mængden af meninger om selvkørende biler. Specielt på internettet eksisterer løfter og hype side om side med pessimisme og nervøsitet. Det kan derfor være svært for den almene internet-bruger at danne sig et overblik og gøre sig begreb om, hvad tech- og bilindustrien lige nu har i støbeskeen, mens de fortæller os, at de selvkørende biler snart indtager vores veje.

Og det er ikke så underligt.

For hvordan "indtoget" skal foregå er langt fra givet. Faktisk er der lige nu flere veje, vi kan tage, før vi kommer til det punkt, hvor chauffører i almindelige biler er overflødiggjort. Og alle disse veje har deres muligheder og udfordringer.

Hvilke veje, der bliver farbare, er imidlertid ikke blot et spørgsmål om, hvad der er muligt set fra et teknologisk synspunkt. For den teknologiske udvikling har også en menneskelig side, der giver sig til udtryk i forskellige typer af nødvendige spørgsmål og overvejelser.

Det er dem psykologer, filosoffer og forskere fra andre fagfelter undersøger og forsøger at diskutere med eksempelvis ingeniører og programmører.

Det er ikke altid, at spørgsmålene finder et endegyldigt svar med den viden, der er til rådighed. Alligevel leder de os hen mod forskellige typer af diskussioner, der er nødvendige at tage, for at den teknologiske udvikling kan blive såvel mulig som gunstig. Vi ser her nærmere på nogle af de spørgsmål og diskussioner, to af de konkurrerende tilgange til

← Den hidtidige forskning giver tvetydige resultater omkring menneskets evne til at overvåge køretøjer på autopilot. Nogle forskere har kigget på, hvor hurtigt bilister reagerer, når autopiloten beder dem om at overtage kontrollen. Andre har undersøgt, hvor gode forsøgspersoner er til at overvåge og identificere faremomenter på en computerskærm i simulatorer af selvkørende biler. Resultaterne viser gerne store udsving mellem de enkelte forsøgspersoners overvågenhed. Fælles for forsøgene er dog, at deltagerne ofte klager over, at overvågningsopgaven er både kedelig og vanskelig.

Foto: Ian Maddox/CC By-SA 4.0



udviklingen af den selvkørende bil hver især fører med sig.

Gradvis automatisering med føreren bag rattet

En mulig tilgang, der helt bogstaveligt skal bane vejen for at bilister kan slippe rattet for bestandigt, er repræsenteret af elbilmastodonten Tesla og deres karismatiske direktør Elon Musk. Tesla har i dag gjort deres autopilotssystem til standardudstyr i de fleste af deres biler. Kameraer, radar-systemer og sensorer hjælper føreren med blandt andet parkering og vognbaneskit på motorveje. Føreren kan derfor overlade flere opgaver til bilen, men Tesla beder stadig deres kunder om at være opmærksomme og holde hænderne på rattet. Musk og kompagni mener imidlertid, at hardwaren i sig selv har potentialet til at gøre bilen fuldt ud selvkørende, og at det kun er et spørgsmål om den rigtige software-pakke, før rat, speeder og bremses er fortid.

Tesla tager altså sine kunder med på rejsen mod drømmen om fuld automatisering. Undervejs i denne udvikling må bilisten påtage sig opgaven som overvåger og tilse, at bilen gør, hvad den er blevet bedt om. Bilisten må desuden være klar til at overtage styringen i de situationer, som bilen endnu ikke kan håndtere.

Denne type af arbejdsdeling mellem mennesket og maskinen har igennem de seneste mange årtier vundet udbredelse inden for områder som flytrafik, hvor styringen i højere og højere grad er overladt til auto-

piloter, og industrien, hvor maskiner varetager stadig flere arbejdsopgaver. Erfaringerne herfra viser, hvordan fordelene og udfordringerne ved automatisering er to sider af samme sag. På den ene side mister maskinen, modsat mennesket, ikke så let koncentrationen og begår derfor sjældent fejl, når den udfører de opgaver, som programmører og ingeniører har taget højde for,

På den anden side stiller overvågningsopgaven alligevel krav til menneskets koncentration og handlekraft. For når maskinen agerer uhensigtsmæssigt eller giver fortabt, skal operatøren ofte reagere indsigtsfuldt og hurtigt for at overtage kontrollen og korrigere eventuelle fejl. Automatisering kan derfor undertiden gøre arbejdsopgaver sværere og mere krævende for operatøren, selv om den var stillet imod at gøre opgaverne lettere. Denne paradoksale situation kalder psykologer for "automatiserings ironi".

Kunsten for de bilfabrikanter, der arbejder hen mod den fuldstændige automatisering af biler, bliver dermed at sørge for, at teknologien assisterer bilisten og ikke omvendt. At overlade kedelige og til tider vanskelige opgaver som parkering til teknologien synes i de fleste tilfælde at være meningsfuldt. Imidlertid taler eksperter i automatisering ofte om det frygtede stadie, hvor maskinen pålægger mennesket opgaver, der er både kedeligere og vanskeligere end dem, den selv løser. Hvordan automatiseringen af

biler manøvrerer uden om dette stadie er lige nu det store hovedbrud for Tesla og deres konkurrenter.

Når din taxachauffør bliver en robot

Netop derfor har tech-giganten Googles søsterselskab Waymo LLC på lige fod med flere af Teslas øvrige konkurrenter valgt en anden strategi. Faktisk har Waymo i en længere årrække haft deres biler på vejene i flere stater i USA; biler som efter firmaets eget udsagn kan betegnes som selvkørende.

Almindelige bilejere må dog væbne sig med god tålmodighed, hvis de drømmer om at eje en Waymo-bil. Overdragelsen af den nye teknologi skal nemlig i første omgang ske igennem taxa-ordninger. Og for at gøre brugerne trygge ved teknologien vil bilerne i første omgang til stadighed have en trænet testkører plantet i førersædet. Waymo og Tesla har dermed to meget forskelligartede tilgange til, hvordan brugeren skal vænne sig til den nye teknologi. Hos Tesla sker tilvænningen som sagt gradvist og i brugerens egen bil. Waymo forsøger derimod at vinde brugerens accept af teknologien ved at indfase den i de situationer, hvor brugeren i forvejen har givet kontrollen fra sig til en chauffør.

Et spørgsmål om sikkerhed og ansvar

Selv om "robotchauffører" kan lyde som et fremtidsfænomen, har de i virkeligheden eksisteret længe. Mange etagebyggerier er udstyret

I Aalborg Kommune gør de sig lige nu klar til at lancere selvkørende busser på en 2,1 km. strækning i Aalborg Øst. For at vænne aalborgenserne til den nye teknologi vil bussen i første omgang være bemanded af en operatør og desuden ikke overstige en topfart på 18 km/t. Lanceringsdatoen er stadig ukendt. Foto: Aalborg Kommune.

Videre læsning:

Claybrook, J., & Kildare, S. (2018). Autonomous vehicles: No driver... no regulation? *Science* (New York, N.Y.), 361(6397), 36-37.

Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, 77, 167-181.

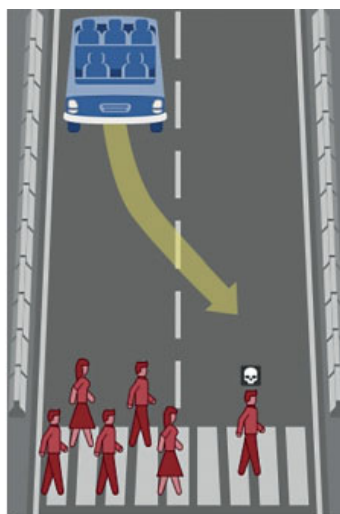
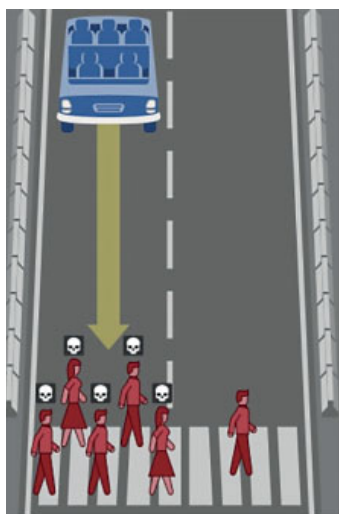
Kyriakidis, M., Happee, R., & de Winter, J. C. F. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127-140.

Læsere, der er interesseret i at dykke ned i problemstillinger omkring "automatiseringens ironi" kan passende starte med denne klassiske tekst: Bainbridge, L. (1983). IRONIES OF AUTOMATION. *Automatica*, 19(6), 775-779.

At problematikken omkring automatiseringens ironi også er relevant, når det kommer til automatiseringen af biler, er vist i dette studie: Greenlee, E. T., DeLucia, P. R., & Newton, D. C. (2019). Driver Vigilance in Automated Vehicles: Effects of Demands on Hazard Detection Performance. *Human Factors*, 61(3), 474-487.



Waymo One er Waymos selvkørende taxa-service, der foreløbig har sendt biler på vejene i en forstad til Phoenix, Arizona. De rejsende bliver dog stadig ledsaget af trænede operatører, der overvåger bilerne. Foto: Waymo



Hvem skal bilen slå ihjel? De fem uopmærksomme fodgængere eller den tilfældigt forbipasserende? Sådanne dilemmaer repræsenterer endnu en type af etiske overvejelser omkring at indfase selvkørende biler. Og selv om scenarierne i disse dilemmaer kan virke urealistiske, er det stadig nødvendigt at overveje, om vi i fremtiden vil lade mennesket eller maskinen foretage sådanne etiske valg. Illustration: MIT Media Lab

med automatiske elevatorer, og i den københavnske undergrund har der siden 2002 kørt førerløse metrotog. Selv når vi tilbagelægger en halv jordklode i 10.000 meters højde foregår det meste af flyveturen på autopilot.

Set i dette lys virker det som en naturlig forlængelse af denne udvikling, at taxa- og buschauffører bliver erstattet af robotter. For robotterne kommer med løftet om at gøre hverdagens rutinemæssige transporttaper både billigere, hurtigere og mere bekvemme. Passagerne slipper nemlig ikke blot for at skulle lønne chauffører. Tech-giganternes vision er også at gøre bilerne

i stand til at kunne kommunikere med lysreguleringer og de øvrige biler for at få trafikken til at forløbe mere effektivt.

Selv om potentielle brugere, herunder specielt dem i de større byer, imødeser disse forbedringer med spænding, tilkendegiver de også bekymringer, der rækker ud over robotternes køretekniske formåen. Der er efterhånden lavet flere større, internationale undersøgelser af offentlighedens holdninger til selvkørende biler. På tværs af undersøgelserne er det gennemgående, at folk placerer problemstillinger omkring sikkerhed, ansvar og juridiske forpligtelser på de øverste

pladser på listen over bekymringer ved at indfase selvkørende trafik.

Kravene om afklaring af sikkerheds- og ansvarsspørgsmål kan vi i udgangspunktet sammenligne med nogle af de krav, vi i forvejen stiller til chauffører, piloter, trafikselskaber og offentlige transportmyndigheder. Som passagerer kræver vi først og fremmest, at vi kommer sikkert frem – og helst også til den aftalte tid. Hvis disse krav ikke bliver honoreret, kræver vi, at chaufføren, trafikselskabet eller myndigheder træder ind på scenen og tager ansvar for systemets fejl med henblik på fremtidige udbedringer.

Hvem tager ansvar?

Også når robotterne tager styringen, forventer vi, at mennesker i sidste ende tager ansvar for både sikkerhed og drift. Når vi stiger ombord på charterflyet, sætter vi vores lid til, at piloten er i stand til at overtage i de situationer, autopiloten ikke håndterer. Det endelige ansvar for at bringe os frem er dermed ikke autopilotens. Det er delt mellem flypersonalet, lufthavnens kontrolenheder, flyselskabet samt fabrikanten, der har fremstillet flyet. Også når vi kører med metroen, forventer vi, at metroselskabet tager ansvar for, at vi kommer frem. Af samme grund er der oprettet kontrolcentre, hvorfra operatører styrer og overvåger togdriften i undergrunden.

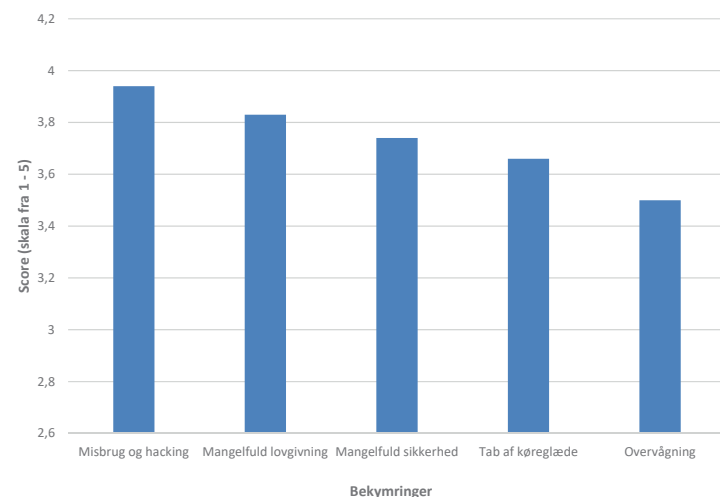
Hvem overdrager vi imidlertid ansvaret til, når vi sætter os ind i en selvkørende bil? Dette spørgsmål kan give en hver jurist hovedbrud. For det er et bredt spørgsmål, der berører såvel etiske- som praktiske forhold. På det praktiske niveau må samfundet forholde sig til, hvordan den daglige drift skal forvaltes, så trafikkanter kan satse på at nå vigtige aftaler til tiden. Skal der for eksempel oprettes kontrolenheder, der overvåger driften? Og hvem skal i så fald administrere dem, når vejnettet vrirler med både Waymo-biler, Teslaer og andre biltyper?

På det etiske niveau ligger der blandt andet en væsentlig diskus-

sion omkring, hvordan vi besvarer forskellige typer af skyldsspørgsmål, når uheldet er ude. For i forhold til elevatorer, metrotog og fly vil robotterne i de selvkørende taxaer skulle navigere i et langt mere åbent miljø og interagere med vejenes øvrige trafikanter. Dette vil give anledning til et væld af situationer, der er svære for programmøren at tage højde for på forhånd. Væsentlige diskussioner går derfor på, i hvor høj grad programmører kan stå til regnskab, hvis hendes program er skyld i fatale hændelser. Andre går på, hvorvidt vi i en eller anden udstrækning skal kunne stille taxapassagerer til ansvar, hvis de kunne have forhindret ulykker ved at udvise større opmærksomhed og gribe ind i tide.

Nødvendige spørgsmål

Spørgsmål, der adresserer automatiseringens ironi, ansvar og etik, omhandler alle den menneskelige side af teknologien. Og netop fordi de ikke udelukkende handler om teknologien i sig selv, er det nemt at komme til at afskrive dem ved at påstå, at de blot trækker den teknologiske udvikling i langdrag.



Der er efterhånden lavet mange studier, der undersøger bilisters holdning til den stigende grad af automatisering af biler. I en international undersøgelse fra 2015 har 4886 personer blandt andet vurderet ovenstående bekymringer på en skala fra et til fem. I lighed med resultaterne fra andre undersøgelser scorer bekymringer omkring hacking, mangelfuld lovgivning og ditto ansvar højest. Illustration efter Kyriakidis, Happee og de Winter (2015).

Men i virkeligheden er de konstruktive i den forstand, at de er med til at afgøre, hvad der er muligt og umuligt, og hvad der er gunstigt og ugunstigt. Det er svært at spå om fremtiden for de selvkørende biler, specielt når flere veje er åbne. Dog må vi løbende forholde os til spørgsmål som: Hvor sikre

skal de selvkørende biler være, før vi betragter dem som "sikre nok"? Hvem skal administrere den daglige drift af bilerne? Og bør vi stadig efterlade en hvis grad af kontrol til bilister? For sådanne spørgsmål kan være med til at påvirke, hvordan den selvkørende fremtid skal se ud. ■

Study Mathematical Bioscience

Roskilde University offers a unique integrated master's programme for students with a deep interest in mathematics and biology.

Specialize in mathematical modeling of health and disease developments, ecology, or mathematical methods.

→ **Mathematical Bioscience**

ruc.dk/en/master/programmes



RUC

MODERNE BEVARINGSGENETIK I EN FORANDERLIG VERDEN

Hvis en art skal kunne tilpasse sig, når miljøet ændrer sig, skal der være tilstrækkelig genetisk variation i populationen. Moderne genetiske metoder kan hjælpe med at identificere de populationer af truede dyr og planter, der har størst chance for at klare sig på den lange bane.

Om forfatterne:



Michael Ørsted er post-doc og forsker i hvordan arter tilpasses og økosystemer ændres i takt med miljøændringer. moer@bio.aau.dk



Torsten Nygaard Kristensen er professor og arbejder med evolutionsbiologi med fokus på at forstå den genetiske baggrund for komplekse træk og organismers tilpasninger til ekstreme miljøer. tnk@bio.aau.dk

Begge er ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet

Menneskelig aktivitet har i nyere tid bidraget til en meget hurtig ændring i miljøet for verdens dyre- og plantearter. Det sker primært på grund af tab af levesteder, forurening, jagt og fiskeri, spredning af sygdomme og invasive arter og globale klimaforandringer. Det har bidraget til, at mange arter uddør. Men der er faktisk flere eksempler på arter, som hurtigt tilpasser sig evolutionært til drastiske forandringer i deres levesteder og som derfor overlever. Det kræver dog én meget vigtig forudsætning, nemlig at der er genetisk variation til stede, da det populært sagt er evolutionens råstof. Det er dog ikke altid tilfældet, at der er tilstrækkelig genetisk variation mellem individer indenfor en art. Problemet for mange arter er, at de på grund af menneskets tilstedeværelse, lever i færre og mindre områder. Disse levesteder er ofte også fragmenterede på grund af naturlige eller menneskeskabte barrierer i landskabet i form af skovrydning, veje, byer m.m. Det gør det vanskeligt for individer at migrere mellem populationerne, hvilket hindrer udveksling af gener populationerne imellem. I

populationer bestående af relativt få individer med begrænset input af nyt genetisk materiale vil der hyppigt foregå indavl – parring mellem nært beslægtede individer – hvilket kan føre til såkaldt indavlsdepression i form af for eksempel nedsat overlevelses- og forplantningsevne. Et andet problem er, at der i små populationer hurtigt mistes genetisk variation i en proces kaldet genetisk drift, som er tilfældige ændringer i gensammensætningen i populationen fra generation til generation.

Mange små og truede populationer af dyr og planter har af en eller flere omgange gennemgået en kraftig reduktion i antal individer for eksempel som en konsekvens af jagt eller ødelæggelse og fragmentering af levesteder. I sådanne tilfælde siger man, at de har været igennem en genetisk flaskehals, hvilket reducerer den samlede genetiske variation i populationen. Uanset hvor stor populationen efterfølgende har vokset sig, hvis for eksempel jagten er ophørt, er der stadig kun den oprindelige genetiske variation at arbejde med, da alle individer stammer fra den oprindelige lille population.

Den genetiske variation kan dog øges igen, enten som et resultat af mutationer, hvilket er en proces, der sker i begrænset omfang og over lang tid, eller ved, at nye genvarianter introduceres fra nabopopulationer. Det sidste er ofte vanskeligt i fragmenterede landskaber.

Evolutionært potentiale

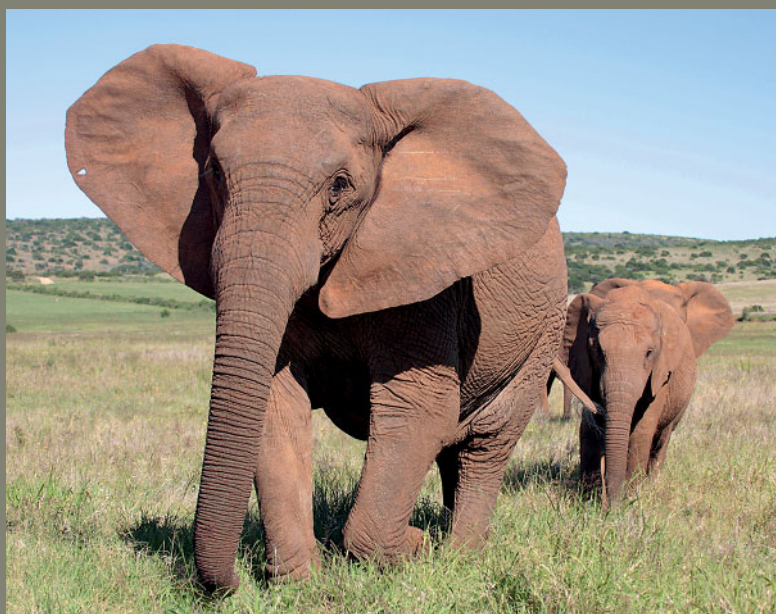
Man har i lang tid antaget, at der er en sammenhæng mellem, hvor mange individer en population har været nede på i løbet af en sådan genetisk flaskehals, hvor lang tid populationen har været lille i antal og den generelle demografiske udvikling for populationen. Det kan udtrykkes ved den såkaldte effektive populationsstørrelse, og desto lavere, den er, desto mindre genetisk variation indenfor og mellem individer vil man forvente i en population. Vi ved, at genetiske flaskehalse er hyppigt forekommet i dyr og planter, der har etableret en ny population, som er startet op fra meget få individer langt fra deres primære levested. Det er for eksempel sket med de populationer af moskusoksen, som lever i det østlige Grønland. Den oprindelige population af moskusoksen lever

Hurtige evolutionære tilpasninger

Amerikanske stensvaler udgør et eksempel på, hvor hurtigt evolution kan foregå som reaktion på menneskelig aktivitet. For denne art har man set en stigende dødelighed på grund af kollisioner med køretøjer over en 30 årig periode. I samme periode har man observeret, at svalernes vinger er blevet gradvist kortere. Dette menes at øge deres manøvredegygtighed i luften. Det har resulteret i, at der sammenlignet med tidligere er færre stensvaler, der oplever fatale sammenstød med trafikken, og de overlevende svaler giver dermed de gener, der bidrager til korte vinger og dermed højere chance for overlevelse, videre til nye generationer.

Et andet eksempel er, at krybskytteri på afrikanske elefanter i nogle af de mest plagede områder har medført, at stødtænder hos elefanter født efter 1995 i gennemsnit er 30 % mindre sammenlignet med nulevende elefanter født i 1970'erne. Andre steder fødes nogle elefanter endda helt uden stødtænder. Dette sker naturligt på grund af en mutation i 4 % af alle afrikanske elefanter, men selektiv krybskytteri har medført en kraftig stigning i forekomsten af denne mutation, og i nogle områder fødes nu op mod 33 % af elefanterne uden stødtænder. Jagten kan siges at have skabt en målrettet selektion, som favoriserer elefanter med mindre eller slet ingen stødtænder.

Stensvaler og Afrikanske elefanter udgør eksempler på arter, som på meget kort tid har tilpasset sig evolutionært som respons til selektion forårsaget af menneskelig aktivitet.
Foto: stensvale: Foto: Don deBold/CC BY-SA 2.0
Foto: elefanter - shutterstock



på det canadiske fastland, men små udbrydergrupper har skilt sig ud herfra og har gradvist bevæget sig længere mod nordøst, indtil de nåede Østgrønland, og har derfor gennemgået gentagne flaskehalse. I den proces er genpuljen så at sige blevet fortyndet, hver gang en lille gruppe individer har bevæget sig videre. Det har den konsekvens, at de østgrønlandske moskusokser har en meget lav genetisk diversitet – så lav, at nogle forskere mener, at de allerede burde være uddøde. I Arktis sker klimaforandringerne med en højere hastighed end noget andet sted på kloden, så man kan frygte, at moskusoksen – med dens lave genetiske diversitet – ikke vil kunne nå at tilpasse sig forandringerne i miljøet hurtigt nok til, at den kan overleve i længden.

Eksperimentel evolution

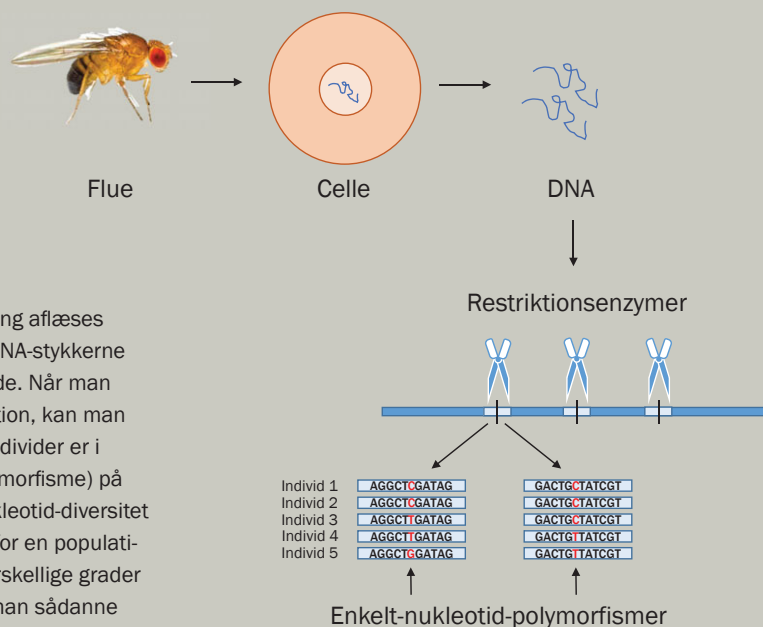
Ofte kender vi meget lidt til populationers demografiske udvikling, og selv når vi gør, kan vi ikke bestemme populationers genetiske variation ud fra teoretiske forventninger. Det skyldes blandt andet, at konsekvenser af genetiske flaskehalse er tilfældige. Det betyder, at vi fra teori ret præcist kan udtale os om tabet af genetisk variation som konsekvens af en flaskehals på tværs af mange populationer, men ikke for den enkelte population. Derudover er sammenhængen mellem genetisk variation i en population og hastigheden, hvormed evolution foregår, ikke særlig godt undersøgt eksperimentelt. Derfor er der et stort behov for studier, der undersøger denne sammenhæng, og for værktøjer, der kan benyttes til

at vurdere det evolutionære potentiale for en given population, som vi ønsker at bevare.

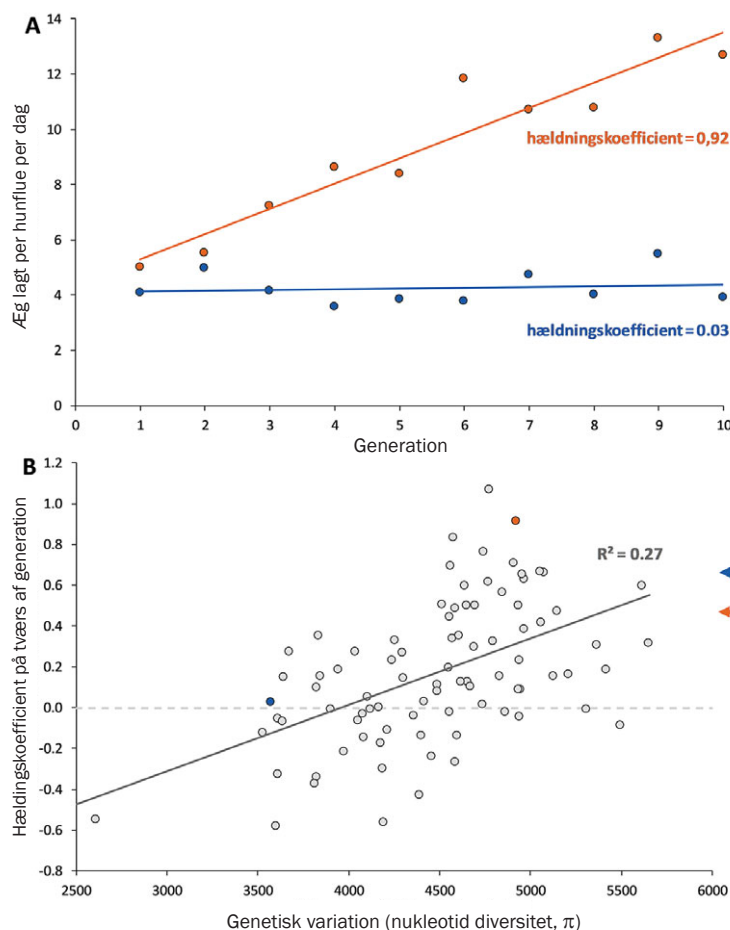
Sammen med australske forskere satte vi os ved Institut for Kemi og Biovidenskab ved Aalborg Universitet for at undersøge netop dette ved hjælp af bananfluen *Drosophila melanogaster*. Denne såkaldte modelorganisme er nyttig at bruge til denne type studie, fordi dens generationstid kun er to uger, og samtidig er de små og nemme at holde i laboratoriet, så vi kan kontrollere størrelsen af populationerne og dermed manipulere genetiske flaskehalse. Vi udsatte 120 populationer af fluer for forskellige grader af genetiske flaskehalse, hvorefter vi sekventerede hver populations genom, det vil sige aflæste rækkefølgen af baser i deres DNA.

Sekventering af flue-DNA

I vores eksperiment har vi undersøgt den genetiske variation ved brug af en sekventeringsmetode kaldet Genotyping-by-sequencing (GBS). Først ekstraheres DNA fra flueres celler, så klippes det i stykker af enzymer (restriktionsenzymer) for at opdele kromosomerne i mindre stykker. Ved hjælp af sekventering aflæses rækkefølgen af basepar (nukleotider) i DNA-stykkerne på hver side af det sted, enzymet klippede. Når man sekventerer flere individer fra en population, kan man bestemme, hvor forskellige de enkelte individer er i bestemte basepar (enkelt-nukleotid-polymorfisme) på tværs af hele genomet. Dette kaldes nukleotid-diversitet og er et mål for genetisk variation indenfor en population. Forskellige populationer kan have forskellige grader af nukleotid-diversitet. Tidligere lavede man sådanne undersøgelser ved at undersøge for genetisk variation i få områder af genomet – ofte blot 10-20 nedslag. Nu kan vi undersøge variation i hele eller store dele af genomet. Egenskaber af betydning for overlevelse og reproduktion påvirkes typisk af rigtig mange gener, som hver især kun har en lille indflydelse på disse egenskaber. Med moderne sekventeringsmetoder får vi informa-



tion om den genetiske variation i rigtig mange gener, og vi er derfor bedre i stand til at benytte denne enorme mængde information til for eksempel at sammenligne forskellige populationers evolutionære potentiale. Dette er udnyttet i vores undersøgelse med bananfluer.



A. Eksempler på to bananflue-populationer, som har udviklet sig i et stressende miljø i 10 generationer (x-akse), med deres reproduktion målt hver generation som gennemsnitlig antal æg lagt per hunflue per dag (y-akse). For hver population laves en lineær tendenslinje, som beskriver hældningen og skæringen med y-aksen. Hældningskoefficienten betragtes i dette tilfælde som et udtryk for den evolutionære respons for den givne population. Den orange population har i høj grad tilpasset sig i løbet af de 10 generationer, hvilket ses ved en øget reproduktion, mens den blå næsten er uændret over de 10 generationer og har en hældning tæt på 0.

B. Ved at tage hældningskoefficienter for alle 120 populationer (y-akse) kan man sammenholde den evolutionære respons med hver populations genetiske variation målt som nukleotid diversitet (x-akse). Den sorte linje angiver den lineære sammenhæng mellem nukleotid diversitet og evolutionær respons, og R^2 værdien er forklaringsgraden. Den orange og blå population fra panel A er vist i blandt de i alt 120 populationer i panel B.

Med disse metoder kunne vi bestemme genetisk variation for hver population med et mål, der kaldes nukleotid-diversitet, altså den gennemsnitlige parvise forskel mellem DNA-sekvenser i en given population. Disse 120 populationer af fluer lod vi derefter opvokse i et stressende miljø, der er drastisk anderledes end det, bananfluer normalt lever i, for at simulere et miljøskifte, som de måtte tilpasse sig til for ikke at uddø. I dette nye miljø levede de i 10 generationer, mens vi, i hver generation, målte fitness-relaterede træk som størrelse og hvor mange æg hver hunflue lægger per dag. En evolutionær tilpasning til miljøet betragtes som en stigning i "fitness" for hver generation, og vi kunne således sammenholde populationernes evne til tilpasning med deres genetiske variation. Ved at lave en lineær model for eksempelvis antal æg lagt per hunflue (y-variabel) imod generation (x-variabel), vil hældningskoefficienten være et udtryk for den evolutionære respons. For hver population får vi således én hældningskoefficient (120 i alt), som kan sammenlignes med populationens genetiske diversitet i form af nukleotid-diversitet.

Genetisk variation bestemmer evolutionær respons

Vores resultater viser en stærk positiv sammenhæng mellem genetisk variation og den evolutionære respons til det stressende miljø, målt som hældningskoefficienten. Det vil sige, at populationer, som har relativt høj genetisk variation, også er dem, som er bedst i stand til at tilpasse sig miljøet. Omvendt udviser populationer med lav genetisk diversitet ikke meget tilpasning i og med deres hældning er tæt på 0. I løbet af de 10 generationer så vi desuden, at flere af populationerne uddøde. Det er værd at bemærke, at nogle populationer har en negativ hældningskoefficient, hvilket betyder at de producerede gradvist færre og færre afkom, indtil populationen uddøde. De populationer, som uddøde, var typisk dem, som fra start havde den laveste genetiske diversitet.



Muskusokserne i det østlige Grønland kan være i stor risiko for at uddø pga. lav genetisk variation. Foto: Colourbox.

Samlet set giver vores undersøgelse de klare svar, at der er en stærk positiv sammenhæng mellem mængden af genetisk variation og evolutionært potentiale, og at populationer med lille genetisk variation har større risiko for at uddø. For at vende tilbage til muskusokserne i det østlige Grønland bekræfter vores data desværre, at disse vil få meget svært ved at tilpasse sig og dermed er i stor risiko for at uddø, hvis deres omgivelser ændres markant.

Så længe der er genetisk variation er der håb

Den positive side af vores resultater er, at det altså kan lade sig gøre for nogle populationer at tilpasse sig hurtige og til tider drastiske ændringer af miljøet. Det kræver dog, at man forsøger at opretholde en tilstrækkelig stor populationsstørrelse, så der ikke tabes genetisk variation. Samtidig er det også vigtigt at nedbryde menneskeskabte barrierer i landskabet og genetablelle korridorer mellem fragmenterede populationer af samme art, så de kan udveksle gener og reducere hastigheden, hvormed indavlen stiger i populationen. Flytning af dyr eller planter mellem populationer foranstaltet af mennesker kan også bidrage til at øge den genetiske variation indenfor en population.

Denne metode kaldes "genetisk redning" og har med stor succes været benyttet flere steder i verden. Der er således masser af muligheder for at bidrage til at bevare populationer for eftertiden. Hvor der hidtil været meget fokus på at bevare små populationer af dyr og planter uden at skele meget til, hvilke der ud fra et genetisk synspunkt har størst sandsynlighed for at overleve på sigt, skal vi til at tænke genetik mere ind i det moderne bevaringsarbejde. Man ser ofte, at en truet art optræder i et antal små isolerede populationer, og vi har derfor brug for en relativ nem måde at evaluere populationernes genetiske "sundhed" på. Man kunne forestille sig, at man tager en prøve fra et antal individer fra hver af de populationer, man er interesseret i, sekventerer deres DNA og bestemmer genetisk diversitet – for eksempel som nukleotid-diversitet. Denne information vil bidrage til at få et overblik over, hvilke populationer der er mest genetisk sunde og dermed vil have størst chance for at klare sig under for eksempel klimaforandringer. Den hurtige udvikling indenfor molekylærbiologiske teknikker muliggør dermed en helt ny måde at tænke aktiv naturforvaltning på, og det vil uden tvivl komme til at spille en stor rolle i fremtidens bevaring af truede dyr og planter. ■

Videre læsning

Ørsted, M., Hoffmann, A.A., Sverrisdóttir, E., Nielsen, K.L., og Kristensen, T.N. (2019) *Genomic variation predicts adaptive evolutionary responses better than population bottleneck history*. PLOS Genet. 15, e1008205.

Heller, R., og Siegmund, H.R. (2019). *Muskusoksen: Dyret, der ikke burde eksistere*. Artikel på Videnskab.dk, 19. februar 2019.

Otto S.P. (2018). *Adaptation, speciation and extinction in the Anthropocene*. Proc. R. Soc. B. 285, 20182047.

Frankham, R., Lees, K., Montgomery, M.E., England, P.R., Lowe, E.H., og Briscoe, D.A. (1999). *Do population size bottlenecks reduce evolutionary potential?* Anim. Conserv. 2, 255–260.

Kristensen, T.N., Noer, N.K., og Pertoldi, C. (2019). *Genetikken giver os nye muligheder for at redde truede arter*. Artikel på Videnskab.dk, 10. april 2019.

Schou, M. og Bechsgaard, J. (2017): *Flaskelhalse – når genetisk variation går tabt*. Aktuell Naturvidenskab, nr. 4-2017.



Foto: Shutterstock

MATEMATISKE MODELLER

– vejledende eller vildledende?

Nogle gange er matematiske modeller til at stole på – andre gange fungerer de som røgslør. Det er vigtigt, at undervisningssystemet klæder os bedre på til skelne mellem matematiske modellers forskelligartethed, og hvor forskelligt de fungerer, da verden i dag er fuld af dem.



Forfatteren

Jens Højgaard Jensen er lektor ved IMFUFA, Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet. Har siden 1972 deltaget i opbygningen af RUC, blandt andet som dekan for Det Naturvidenskabelige Hovedområde, prorektor og studieleder for Den Naturvidenskabelige Basisuddannelse. Hans faglige hovedinteresse er i de eksakte fags didaktik og videnskabsteori. E-mail: jhj@ruc.dk

Der ligger matematiske modeller til grund for GPS-systemerne. Ligeledes er klimamodeller baseret på matematisk modellering. Og det er Finansministeriets regnemodeller også. I det hele taget ligger der matematiske modeller bag både mange beslutninger og mange teknologier i samfundet, selvom det ikke er særlig tydeligt for de fleste.

Den skjulte og gennemtrængende eksistens af matematiske modeller i samfundet udgør et problem for demokratiet. Hvis man altid kunne stole på modellerne, ville det være en fordel for demokratiet, ved at modellerne leverede et oplyst grundlag for beslutninger.

Sådan er det med modellerne bag udviklingen af GPS-systemerne. Men i forhold til klimamodellerne er der mere plads til skepsis. Og skepsissen gælder i endnu højere grad i forhold til Finansministeriets regnemodeller.

Hvordan skal man da som almindelig borger forholde sig til resultaterne af matematiske modelberegninger? I almindelighed at stole på dem eller i almindelighed at være skeptisk rækker ikke. Hvordan da at skelne mellem troværdige og utroværdige modeller? At sætte sig ind i for eksempel GPS-systemernes, klimaberegningernes og økonomimodellernes omfattende, komplekse og avancerede modelberegninger er kun overkommeligt for involverede

specialister. Og de behersker hver for sig kun hjørner af modellerne. Det mere overkommelige er, at man som almindelig borger bliver hjulpet til dømmekraft om matematiske modellers forskelligartede karakter igennem uddannelsessystemet. Desværre sker det ikke i dag. Og det betyder, at de matematiske modellers forskellighed for de fleste borgere er kamoufleret af, at de tilsyneladende ser meget ens ud, fordi de er formuleret i et matematisk sprog.

I denne artikel vil jeg ved hjælp af pædagogisk valgte, enkle eksempler illustrere, hvordan vurderingen af troværdigheden af matematiske modeller afhænger af de indholdsmæssige udgangspunkter bag modellernes matematiske udseender.

Matematiske modellers grundlag

Nogle matematiske modeller er *teoriafledte*. Andre matematiske modeller er mere *ad hoc* prægede. Og teorierne kan være noget, vi tror *klippefast* på, eller de kan være *hypoteser*, hvis konsekvenser vi vil undersøge. Modellerne bag udviklingen af GPS-systemerne er eksempelvis afledt af geometri, Newtons mekanik, Einsteins specielle relativitetsteori og Einsteins generelle relativitetsteori. Det er teorier, som i mange sammenhænge har vist deres praktiske anvendelighed. Så dem tror vi klippefast på indenfor deres praktiske domæner.

Finansministeriets regnemodeller er også teoriafledte. Men her er der mere tale om teori i betydningen hypotese. Så her er der grund til at spørge til, om hypotesen ikke kunne erstattes af en anden med andre konsekvenser til følge. Herudover er finansministeriets regnemodeller tilføjet mange *ad hoc* antagelser, som ikke kan diskuteres i lyset af en teori, men alene retfærdiggøres empirisk. Hvad angår klimamodellerne, så indeholder de, som finansministeriets regnemodeller, en blanding af teoriafledte matematiske delmodeller og *ad hoc* matematiske modeller. Men teorierne, de matematiske delmodeller afledes fra, er ikke i samme grad hypotetiske, som de er i tilfældet Finansministeriets regnemodeller.

Med teoriafledte matematiske modeller mener jeg modeller, der er sammenvævede med eller udledt som specialanvendelse af en bredere funderet matematisk formuleret teori. I modsætning hertil tager *ad hoc* matematiske modeller udgangspunkt direkte i et foreliggende fænomen for at sammenfatte det i kompakt matematisk sprog. Hvor det empiriske belæg for *ad hoc* modellen hentes i den foreliggende situation, støtter den teoriafledte model sig indirekte til den bredere mængde empiri, som gennem hidtidige modelanvendelser af teorien har bidraget til teoriens konsolidering.



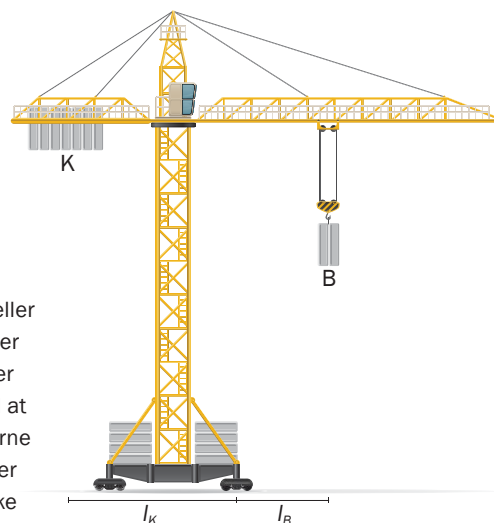
Illustration: Colourbox

Modellerne bag GPS-systemerne er afledt af geometri, Newtons mekanik, Einsteins specielle relativitetsteori og Einsteins generelle relativitetsteori. Det er teorier, som vi tror klippefast på indenfor deres praktiske domæner, så derfor har vi også stor tiltro til GPS-systemerne.

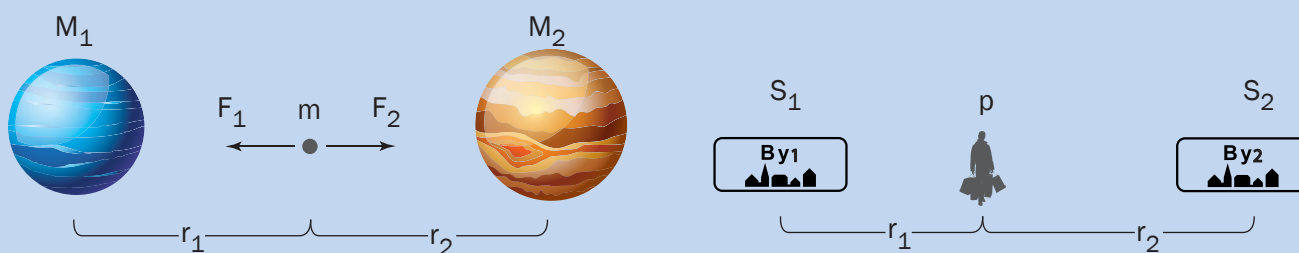
Teoretisk og empirisk kontrol af matematiske modeller

Den kvalitative forskel mellem teoriafledte matematiske modeller og *ad hoc* matematiske modeller ligger ikke i, at de teoriafledte er til at stole på, hvis teorien er til at stole på, mens *ad hoc* modellerne ikke er til at stole på. Så nemt er det desværre ikke. De teoretiske modeller kan uanset teoriernes troværdighed være bygget på så forsimpelende idealiseringer, at de er fejlvisende. Og *ad hoc* modeller kan være så rige på datainput, at de kan fungere som troværdig kortlægning.

Den kvalitative forskel mellem teoriafledte matematiske modeller og *ad hoc* matematiske modeller ligger i, hvordan deres troværdighed kan kontrolleres. Hvor teoriafledte matematiske modeller både kan underlægges teoretisk kontrol og empirisk kontrol, kan *ad hoc* matematiske modeller kun underlægges empirisk kontrol. Lad os illustrere med eksemplet en byggekran.



Vi kan spørge om, hvornår kranen tipper om sit forreste støttepunkt på jorden. Hvis kranen har en belastning B i afstanden l_B fra støttepunktet og en kontravægt K i afstanden l_K fra støttepunktet, tipper kranen, hvis B gange l_B er større end K gange l_K . Sådan er det ifølge den newtonske mekaniks vægtstangsprincipper. De gælder her, som de gælder for vipperne på legepladsen. Og dog. Vi har jo set bort fra kran-konstruktionens massefordeling og dens bidrag til vægtstangsregnestykkerne. Men det tror vi på, at en veluddannet bygningsingeniør kan tage højde for, så der kan udarbej-



Newtons gravitationslov siger, at massetiltrækningen i afstanden r fra en klode med massen M er proportional med M/r^2 . Det kan man eksakt bruge til at beregne, om et objekt placeret et sted mellem to kloder, vil bevæge sig mod den ene eller anden klode. Den såkaldte "gravi-

tationsmodel" inden for by-geografi siger tilsvarende, at en person tilnærmelsesvis vil handle i den by, hvor S/r^2 er størst for personen – hvor S står for et eller andet mål for størrelsen af byen. Selvom de to modeller matematisk set ligner hinanden, er de væsensforskellige.

des en sikkerhedsforskrift, der er til at stole på, ad teoretisk vej. Hvis bygningsingeniøren er sjusket, vil en anden bygningsingeniør kunne kontrollere beregningerne. Uden at vippe kraner. Der er tale om en rent teoretisk kontrol.

Vi kan også efterspørge sandsynligheden for, at kranen i det hele taget havarerer på grund af tipning eller af alle mulige andre grunde. Det kan vi imidlertid ikke svare på teoretisk. Der findes ikke nogen teori, der kan udpege alle tænkelige måder, en kran kan havare på. En matematisk model, der kan hjælpe for eksempel forsikringsselskaberne ved fastsættelse af forsikringspræmien i forhold til havari i mere generel forstand, må i fraværet af en indrammende teori alene bero på empirisk statistik vedrørende havarier.

Teoriafledte modelberegninger af tippeproblemet kan underlægges både teoretisk og empirisk kontrol. Ad hoc modelberegninger af havari-problemet kan kun underlægges empirisk kontrol.

Og forskellen betyder indirekte noget for troværdigheden af modellerne. Forskellen mellem vilkårene for at udøve empirisk kontrol (sammenligning med data) og teoretisk kontrol (sammenligning med teori) viser nemlig, at omstændighederne omkring brugen af de to typer matematiske modeller er sociologisk og politisk væsensforskellige. Empirisk

kontrol kræver adgang til data. Og denne adgang kan for eksempel monopoliseres af de, der har råd til at indsamle de ofte meget omfattende datamængder. Teoretisk kontrol af teoriafledte matematiske modeller kræver indsigt i teori. Denne indsigt er normalt forbeholdt særlige eksperter i kraft af deres uddannelser. Men uden stavnsbånd er det trods alt svært at forhindre, at nogle af de særligt uddannede kan optræde som modeksperter. Teoriafledte matematiske modeller er derfor alt andet lige mere tilgængelige for offentlig kritik end ad hoc matematiske modeller.

Forskelle tilslores af sprogbrug og udseende

Den væsensforskellige karakter af forskellige matematiske modeller er langt fra tydelig for den bredere offentlighed. Tværtimod vil den uindviede typisk opfatte dem som ret ens på grund af deres ensartede matematiske form. Og offentligheden får ikke megen hjælp til at erkende de forskelle, der ligger bag matematikken.

I gymnasiets fysikundervisning fremstår Ohms lov og Coulombs lov eksempelvis som to ens fungerende hovedhjørnestene i elektricitetslæren. De er på samme måde vigtige formler i formelsamlingen som udgangspunkt for at regne nogle af fysikopgaverne. Men de to love er væsensforskellige, selvom jo også sprogbrugen sidestiller de to "love". Hvor Ohms lov, at spæn-

dingsforskellen mellem to ender af en ledning er lig med den elektriske strømstyrke i ledningen gange ledningens modstand ($U = R \cdot I$), er en ad hoc model, er Coulombs lov for kraftpåvirkningen imellem to elektriske ladninger en teoriafledt model. Ohms lov er en tilnærmelse, der alt efter omstændighederne kan være mere eller mindre berettiget, hvorimod Coulombs lov er sammenvævet med den bredere elektrostatik. Ifølge Coulombs lov er ladningernes gensidige kraftpåvirkning omvendt proportional med afstanden imellem dem i anden potens. Og det er eksakt, da det logisk hænger sammen med, at rummet har tre dimensioner. Helt præcist, og ikke kun tilnærmelsesvist.

Et andet eksempel til illustration af tilsøring af den kvalitative forskel mellem en ad hoc matematisk model og en teoriafledt model, hentet, ikke fra gymnasiet, men fra universitetsverdenen, er den såkaldte "gravitationsmodel" inden for by-geografi til vurdering af handelsoplandet for en by. Ifølge modellen antages en person tilnærmelsesvis at handle i den by, hvor S/r^2 er størst for personen. S står for et eller andet mål for størrelsen af byen og r for personens afstand til byen. Når modellen kaldes gravitationsmodellen er det fordi, den minder om Newtons gravitationslov ifølge hvilken massetiltrækningen i afstanden r fra en klode med massen M er proportional med M/r^2 .

Der er ikke noget forkert i at sammenfatte nogle by-geografiske data i en matematisk formel. Det kan være både praktisk og overbliksgivende. Men det er vildledende, hvis nogen bringes til at tro, at der herved er etableret en beregnings-situation svarende til brugen af Newtons gravitationslov i astro-nomi, fordi de to formler udvendigt og formelt ligner hinanden. Den by-geografiske model har status som Ohms lov, den astronomiske som Coulombs lov. I by-geografien tilpasses formlerne løbende til data. For eksempel ved at ændre r^2 til $r^{1,8}$ el. lign. I Newtons gravitations-lov gælder totallet i r^2 eksakt. Det hænger som i Coulombs lov logisk tvingende sammen med, at rummet har tre dimensioner.

Pragmatisk troværdighed kontra ontologisk sandhed

En anden slags tilsløring end den, der skyldes udviskningen af den kvalitative forskel mellem ad hoc modeller og teorifledte modeller, skyldes den tvetydige brug af ordet "teori". For de fleste fysikere er de fleste fysiske teorier som dem, GPS-systemet baserer sig på, mere virkelige end facts. Facts kan være udtryk for tilfældige fremtrædelser af den bagvedliggende væsens-struktur, som er det, teorierne udtaler sig om. Det betyder ikke, at vi tror, at teorierne er *ontologisk sande*, dvs. universelle og evigtgyldige. Vilkårene for at komme frem til ontologiske sandheder har været diskuteret af forskellige filosoffer med forskellige synspunkter – for eksempel de logiske positivister, Karl Popper og Thomas Kuhn. Men det, fysikere typisk er interesserede i, når de udvikler teorifledte matematiske modeller, er, om teorierne er *pragmatisk sande*, dvs. om de er troværdige inden for givne rammer. Selvom Einsteins relativitetsteorier ontologisk set har falsificeret Newtons mekanik, har de pragmatisk set styrket Newtons mekanik ved at udstikke rammerne for dens gyldighed. Forvekslingen af filosofernes ontologisk rettede diskussion med diskussion af forskellige teories pragmatisk troværdighed har



desværre bidraget til at tilsløre den kvalitative forskel mellem matematiske modeller afledt fra pragmatisk set sikre teorier (som udviklingen af GPS-systemet) og matematiske modeller afledt fra hypotetisk teori (som Finansministeriets regnemodeller).

En opgave for uddannelses-systemet

Jeg tænker, at løbende teoretisk kontrol har været helt afgørende for udviklingen af de matematiske modeller, der ligger til grund for, at GPS-systemet virker. Jeg tænker, at det ikke er overraskende, at der i modsætning hertil har været rum for debat og uenigheder vedrørende klimamodellerne, fordi det kun er dele af dem, der kan underlægges teoretisk kontrol. Andre dele har karakter af ad hoc modeller på et usikkert empirisk grundlag. For eksempel må der være usikkerhed om optaget af varme fra atmosfæren i havene i betragtning af, at varmfylden af atmosfæren kun svarer til rundt regnet de øverste ti meter af verdenshavene. Optaget må derfor afhænge af måden havenes vand cirkulerer på, som – så vidt jeg ved – ikke er særlig godt kortlagt i dybden.

Om den slags matematiske modeller, Finansministeriet benytter, tænker jeg, at de svarer til at navigere ved hjælp af plangeometri, fordi Jorden er antaget flad. Teoretisk kontrol har her karakter af kontrol af intern konsistens i modellerne. Modellerne kan være nyttige til at

præcisere forskellige økonomiske tankegange i forhold til hinanden. Men jeg tænker ikke, at modellerens prognoser er realistiske.

Mine vurderinger er en amatør. Jeg har ikke specialistviden om hverken GPS-modeller, klimamodeller eller Finansministeriets regnemodeller. Men ved at være fysiker og have erfaringer med forskellige andre matematiske modeller af varierende karakter synes jeg, at jeg har udviklet nogen dømmekraft i forhold til matematiske modeller i almindelighed.

Da matematiske modeller har stigende betydning i samfundet, er det demokratisk vigtigt, at almen dømmekraft om deres forskelligartede karakter bliver mere udbredt end det er tilfældet. Det burde blandt andet være en opgave for gymnasiet. Jeg forestiller mig ikke, at undervisningen på uoverkommelig vis skal forsøge at trænge ind i GPS-modellerne, klimamodellerne eller Finansministeriets regnemodeller. Men at den gennem arbejde med nemmere forståelige eksempler i stil med dem, jeg har givet i denne artikel, skal opbygge mere almen dømmekraft.

Generelle filosofiske overvejelser eller analyser af interesseremod-sætninger er ikke tilstrækkelige udgangspunkter for dømmekraften. Eleverne må tilbydes konkrete sammenlignende, tværfaglige erfaringer med matematiske modeller. ■

Klimamodeller er eksempler på modeller, der delvist er teorifledte, delvist er ad hoc modeller, som kan hvile på usikkert empirisk grundlag, for eksempel usikkerhed om vandets cirkulation i verdenshavene. Derfor er det naturligt, at der kan være uenighed om dem. Foto: Colourbox

Videre læsning: Foredraget *Mathematical Modelling – Hiding or Guiding?* af Jens Højgaard Jensen er trykt i Proceedings of MACAS-2017 Symposium (2018). Foredraget kan også se på YouTube.

Artiklen og foredraget er en udvidet oversættelse til engelsk af *Matematiske modeller – vejledning eller vildledning?* II fra 1990, som kan findes ved at google IMFUFA tekster og gå til tekst nr. 199, s. 49-59. (<http://milne.ruc.dk/imfufatekster/pdf/199.pdf>).

DA SOLEN VAR TÆT PÅ AT UDLØSE DOMMEDAG

Flere af nutidens tekniske systemer er sårbare overfor påvirkninger fra soludbrud og solstørme. Det var de også under Den kolde Krig med potentielt katastrofale følger for planeten og menneskeheden.

I slutningen af maj 1967 kunne nattevågne danskere igennem flere nætter nyde en usædvanlig sjælden optræden af majestætisk flammende nordlys i forsommerens lyse nætter. Hvad ingen af de bjergtagede himmelkigere kunne vide var, at menneskeheden blot et par døgn forinden havde svævet på kanten af det ultimative atomare ragnarok. En alvorlig krisesituation, som først i de seneste år er blevet hevet ud af militærhemmelighedernes lukkede datacentre og arkiver. Blandt dramaets hovedrolleindehavere har vi Thule-radaren i det nordvestlige Grønland.

Om eftermiddagen den 23. maj 1967 blev Strategic Air Commands (SAC) flåde af brintbombe-bevæbnede B-52 bombefly sat i fuldt alarmberedskab. En del af disse bombefly var altid i luften med henblik på at kunne reagere prompte på et Sovjetisk angreb. Resten af flåden blev den dag kørt i stilling på landingsbanerne og stod klar til omgående at gå på vingerne med kurs mod deres prædefinerede mål i Østblokken. Det forudsigelige resultat? En nuklear udveksling,

der ifølge det amerikanske militærs konservative estimater ville udslette i omegnen af 600 millioner mennesker alene i Asien og Europa.

Alarmberedskabet var udløst af en chokerende melding fra USA's tre store BMEWS-radarfaciliteter, der alle på samme tid var blevet ramt af massive radiosignaler på deres operationelle frekvens (440 MHz, mikrobølgeområdet). Umiddelbart kunne det kun tolkes som et fjendtligt forsøg på at jamme en af det amerikanske forsvars nøglekomponenter, kendt som USA's "nordlige øjne", der skulle give det første varsel om et atomart missilangreb.

USA's nordlige øjne blindes

De tre gigantiske BMEWS-radarer (en forkortelse for Ballistic Missile Early Warning System) blev bygget fra 1959 til 1962 som modsvar på den voksende sovjetiske trussel med interkontinentale missiler. Placeret på strategisk fremskudte positioner i Clear (Alaska), Thule Air Base (Grønland) og Fylingdales Moor (England) kunne de herfra overvåge rummet over Sovjetunionen hen over polområdet.

Rækkevidden var op til 5500 km, og radaren kunne på en afstand af 2750 km opdage og følge objekter på størrelse med en dør. Vigtigst var uden tvivl Thule-radaren, der dækker den mest sandsynlige missilkorridor. Alle tre radarer blev opgraderet i midten af 1960'erne, og efter en intensiv testperiode den 15. maj 1967 erklæret fuldt operationelle.

Systemet gav amerikanerne 15 til 25 minutter til at iværksætte et modsvar på et sovjetisk missilangreb. Alle informationen fra BMEWS og mange andre radarfaciliteter blev samlet hos NORAD (North American Aerospace Defense Command), der holdt til i en atomsikret bunker dybt under Cheyenne Mountain i Colorado.

Den herskende strategiske doktrin var, at et sovjetisk angreb helst skulle kommes i forkøbet og ellers øjeblikkeligt gengældtes med maksimal styrke for derved at minimere muligheden for et opfølgende angreb – kendt som massiv gengældelse. Strategic Air Command og NORAD anså det for givet, at BMEWS ville være det

Forfatteren



Henrik Knudsen er cand. scient og ph.d. i videnskabs- og teknologihistorie fra Aarhus Universitet og nu seniorforsker ved Rigsarkivet. Han er forfatter og medforfatter til en række bøger og artikler om blandt andet dansk atomforskning, forskningspolitik og Grønland under Den kolde Krig.
E-mail: hkn@sa.dk

← Soludbrud skabes af magnetisk rekonfiguration omkring aktive solpletter nær solens overflade, hvorved store mængder ladede partikler accelereres til hastigheder nær lysets. Under soludbrud udsendes strålingsenergi i hele det elektromagnetiske spektrum fra gammastråling til radiobølger, der rammer jorden godt otte minutter senere. I nogle tilfælde udstødes der store skyer af plasma fra solens korona, en såkaldt koronal masseudkastning, der bevæger sig ud gennem solsystemet med sit eget magnetfelt. Jordens bane nås typisk efter 1-5 døgn, hvor plasmapartiklerne skaber geomagnetiske storme og nordlys i polområderne.
Illustration: NASA/GSFC/SDO, CC BY-SA 2.0

Det polprojicerede kort viser de amerikanske varslingsystemer i og omkring det arktiske område med de tre BMEWS-radarer strategisk placeret som nordlige observationsposter. Kilde: DUPI, Grønland under den kolde krig, 1997. →



Strategisk placeret på et stenet bjergplateau øst for Thule Basen i det nordvestlige Grønland ligger Thule-radaren med sine fire mægtige radar-skærme, der hver er på størrelse med en fodboldbane. De fire skærme fra 1960 blev i 1987 udfaset og erstattet med en mere moderne radar.
Foto: msgt Glen D. Plummer.
Kilde: Wikimedia Commons.

oplagte første mål som indledning til et atomangreb på USA. Et forsøg på at jamme disse radarfaciliteter blev derfor i sig selv betragtet som en krigshandling, som krævede et massivt nukleært modsvar inden for ganske få minutter.

Det var ikke første gang, at BMEWS havde givet uventede og endda falske signaler. Under testkørslerne i 1960 udløste Thule-radaren falsk alarm, da dens signal blev reflekteret af månens overflade. Året efter faldt signalet fra samme radar pludselig ud. Strategic Air Command og NORAD troede en overgang, at Thule Basen var blevet angrebet. En B-52'er i området kunne dog meddele, at basen stadig var intakt. Signalfejlen kunne senere henføres til en fejl i mikrobølgeforbindelsen til Thule, der blev drevet af telefonselskabet AT&T.

Det var altså ikke første gang, at NORAD skulle forholde sig til uventede signaler fra det nordlige varslingsystem. Mens Strategic Air Command i hast gjorde B-52'erne klar, blev der konfereret med generalerne i Pentagon og muligvis endda præsident Lyndon B. Johnson.

En helt tredje gruppe kom dog i disse hektiske minutter til at sætte en anden dagsorden, hvorved en potentiel katastrofe for hele menneskeheden blev afværget. Det drejer sig om en lille gruppe af militærets egne eksperter på et dengang nyt videnskabeligt område, som vi i dag kalder rumvej – eller *space weather*.

Militær forskning i space weather

Rumvej er i dag et etableret forskningsområde på universiteterne. Sådan var det ikke i 1960'erne, hvor feltets tilblivelse i høj grad var formet af militære behov for data og ekspertise.

En central aktør var det amerikanske luftvåbens meteorologiske service, Air Weather Service (AWS), som efter opsendelsen af Sputnik og med den hastigt tiltagende brug af satellitter i slutningen af 1950'erne begyndte at interessere sig for solens indflydelse på kommunikations- og radarsystemer på jorden og i den øvre atmosfære, herunder om mulighederne for at forudsige fremtidige kommunikationsforhold. Ustabile kommunikati-

onsforhold havde allerede kort efter Anden Verdenskrig bragt luftvåbnet på banen som enesponsor for Sacramento Peak solobservatorium i New Mexico, der åbnede dørene i 1952.

Air Weather Service sørgede for, at nogle af deres folk blev videreuddannet på højeste niveau inden for sol- og ionosfærefysik. Fra 1962 begyndte dette første kuld at lave forsøgsvise forudsigelser af solen. I 1965 etablerede Air Weather Service SOFNET (Solar Observing and Forecasting Network), der opererede globalt med solobservatorer udstationeret ikke bare i USA og Hawaii, men også i Grækenland og Filippinerne. Formålet var at understøtte NORAD og deres radarfaciliteter, der indimellem blev hæmmet af påvirkninger fra partikler og stråling fra solen. Forudsigelser blev nu dagligt udsendt af Solar Forecast Center på baggrund af data fra det globale solobservationsnetværk. Da NORAD i 1966 tog den atomsikre bunker i Cheyenne Mountain i brug, flyttede centret med ned under jorden for at være så tæt på de operationelle beslutningstagere som overhovedet muligt. Der blev



North American Aerospace Defense Command, NORAD's kontrolcenter som det tager sig ud i 1964. Billedet giver et sjældent kig ind i en ellers lukket verden. Militærets behov for computerkraft til for eksempel at samle information fra radarer og sensorer rundt om i verden i et samlet situationsbillede var en helt afgørende drivkraft i den digitale computers barndom. Men nogle gange er det vanskeligt at skelne mellem menneskeskabte og naturlige signalpåvirkninger. Kilde: Wikimedia Commons.

nu udsendt fire daglige varslinger. Fra dette tidspunkt kan man sige, at den moderne varsling af rumvej var på plads. Soleksperterne kunne derfor yde videnskabelig bistand i realtid.

Dette nye setup blev afgørende den 23. maj 1967, hvor der maksimalt var 25 minutter til at afgøre, om der var tale om sovjetisk jamming som ouverture til et atomangreb eller en naturlig påvirkning. Lederen af Solar Forecast Center, oberst Charles Anderson, og to medarbejdere er siden blevet krediteret for i det afgørende øjeblik at gyde olie på oprørte vande. De vidste fra dagene i forvejen, at solen var særdeles aktiv. Et stort aktivt solpletcenter havde været synligt siden den 18. maj, og det pegede i disse timer direkte mod jorden. Blandt andet på baggrund af data fra to solobservatorier kunne det sandsynliggøres, at der var tale om radiobølger fra et soludbrud, der interfererede med BMEWS-radarerne snarere end fjendtlig aktivitet. At solpletter kan udsende radiobølger, som blokerer radar, har været kendt siden Anden Verdenskrig. Der var tale om rudimentære data, men nok til, at Strategic Air Command i sidste ende valgte at afblæse alarmen. Dog først efter at have kørt på i fuldt beredskab.

Det står ikke skrevet i sten, at det skulle ende så uddramatisk. Strate-

gic Air Command rådede ikke som NORAD over ekspertise inden for space weather, og dets generaler har altid haft ry for at være enerådende og tilhængere af, at USA selv iværksatte et overraskelsesangreb på Sovjetunionen.

Tre store soludbrud på halvanden time

I dag ved vi, at det, der indtræf den 23. maj 1967, ikke bare var et, men tre store soludbrud (solar flares) indenfor kort tid, hvoraf de to sidste tilhørte den mest energirige klasse (X). Den første 18:17 UT (universaltid) svarer til en M-2, den næststørste kategori. Derefter fulgte 18:44 UT et monstrøst udbrud med en energi svarende til X-6. Godt en time senere (19:46 UT) fulgte endnu et udbrud med en energi svarende til X-2.

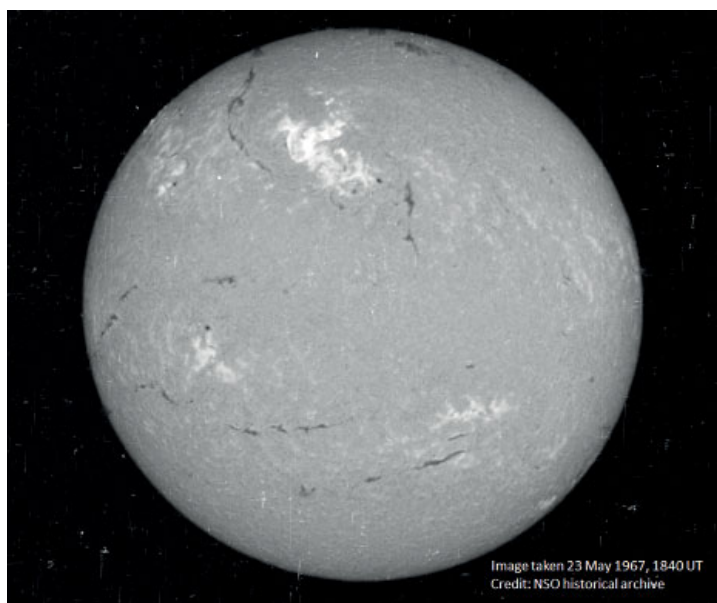
Specielt den sidste flare var bemærkelsesværdig, idet den udsendte radiobølger i mikrobølgeområdet i en hidtil uset grad. Målinger på enkelte frekvenser sprængte endog skalaen. Vi kender kun præcise tal fra enkelte bølgelængder. Tættest på BMEWS-radarens operationelle frekvens på 440 MHz er en måling på frekvensen 606 MHz. Et normalt udstrålningsniveau for solen for denne frekvens ligger omkring 40 SFU (solar flux units) målt på jordoverfladen. Radiostrålingen fra den tredje flare peakede på 370.000 SFU – et

niveau, der angiveligt ikke er målt højere siden. Vi ved ikke, hvad niveauet var for 440 MHz, men det har med sikkerhed været højt.

Dette massive mikrobølgebombardement lagde simpelthen BMEWS ned. Beregninger viser, at radar-skærme på alle tre BMEWS-stationer på dette tidspunkt stod i skudlinjen fra den nedadgående sol. De tre flares udsendte også store mængder ultraviolet- og røntgenstråling. Da strålingen ramte jordens dagside, ioniseredes atmosfæren i 90-400 km højde, hvilket fik elektrontætheden til at stige med op til 300 % i forhold til normalen. Når det sker, absorberes radiobølger i disse luftlag i stedet for at blive reflekteret tilbage mod jorden, hvilket viser sig som kommunikationsudfald ("radio-blackout"). Radio-blackout var dermed på samme tid en del af det problemkompleks, som de militære beslutningstagere kæmpede med.

Soludbruddet genererede samtidig to gigantiske koronale masseudkastninger (CME). Plasmapartiklerne herfra ramte jorden godt 40 timer senere og skabte geomagnetisk storm i de efterfølgende mange timer, hvor der blev observeret i nordlys så langt mod syd som i New Mexico. Radiokommunikation i polområderne var blokeret i adskillige dage.

Billedet viser solaktiviteten den 23. maj 1967 på bølgelængden H-alpha (656,28 nm). Midt på solens nordlige halvkugle ses som et lyst område et stort solplet-kompleks, hvorfra der inden for kort tid udgik tre store soludbrud. Billedkilde: National Solar Observatory Historical Archive.



Videre læsning:
Knipp, D. J., et al. (2016) "The May 1967 great storm and radio disruption event: Extreme space weather and extraordinary responses", *Space Weather*, 14, 614–633 (doi:10.1002/2016SW001423).

Knudsen, H. (2016) "Danske forskere på glatis – et transatlantisk forskningssamarbejde i Grønland under Den kolde Krig", *Siden Saxo*, 33:4, 40-49.

Poppe, B. B. (2006) *Sentinels of the Sun: Space Weather Forecasting*, Big Earth, Boulder, Colo.

Til det militære situationsbillede hører, at vi befinder os midt i en tid præget af international ustabilitet og konflikt. USA's krig i Vietnam var under optrapning. Der var uroligheder i Mellemøsten, som kort efter udløste seksdagskrigen mellem Israel og Egypten. Den 22. maj havde Egyptens præsident Nasser afspærret Tiranstrædet, der er Israels udfaldsvej til det Røde Hav.

Flere penge til forskning

Var de strategiske bombefly blevet sendt på vingerne hin dag, var det med en vis sandsynlighed endt i en eskalerende atomkrig. For det første ville Moskva automatisk opfatte manøvreren som en forberedelse af et angreb. Når bombeflyene var sendt afsted, ville det for det andet potentielt være umuligt at kalde dem tilbage via radio i det ekstremt udfordrede elektromagnetiske miljø, der herskede i disse timer, hvor dele af jordens dagside som sagt var plaget af radio-blackout.

At der var tale om en særdeles alvorlig situation fremgår klart af de efterfølgende dispositioner. Begivenheden katalyserede inden for kort tid en omfattende opgradering af Air Weather Service's aktiviteter inden for overvågning og varsling af rumvejr. Dette skete under et nyoprettet Space Environmental Support System (SESS), der skulle servicere

alle afdelinger under Pentagon.

Her kommer Grønland ind i historien igen. Ved årsskiftet 1968-9 etablerede Air Weather Service en direkte forbindelse fra NORAD til to danske ionosfærestationer i Godhavn og Narsarsuaq, som blev drevet af forskere fra Danmarks Meteorologiske Institut. Arrangementet skulle sikre overførsel af ionosfæriske måledata i "nær real tid". Da to danske forskere i december 1969 på en rundtur i luftvåbnets laboratorier også fik en guidet tur i NORAD's kommandocentral i Cheyenne Mountain, kunne de ved selvsyn se, hvordan deres egne data var tilgængelige for militære beslutningstagere.

Detaljerne er komplekse, men historien er måske simpel i sig selv. Man kan udlede en morale om den kølige videnskabelige indsigt og rationalitets sejr over det militære magtapparats automatlogik. Eller konkludere, at den videnskabelige ekspertises indlejring i militæret ikke per definition er en dårlig ting og ikke nødvendigvis fører ned ad den groteske glidebane, som vi kender fra Stanley Kubrick's mesterlige film *Dr. Strangelove*. I dette tilfælde fik koldblodige forskere på et kritisk tidspunkt bremset rutsjeturen mod dommedag. Der er altså håb for menneskeheden, så længe der er videnskab.

Historien illustrerer samtidig, hvor komplekst sammenvævet natur, teknologi og politik er. I et sådant perspektiv er Den kolde Krig ikke kun en politisk historie – en historie om ideologi, politik, militærmagt og våben – men også en historie om hyper-komplekse våbensystemers uforudsigelige interaktion med det naturlige miljø. En historie om teknologisk risiko i et miljø, hvis karakteristika og kapabilitet kun til en vis grad er kendt og forudsigelig. De komplekse systemer, der skal øge vores sikkerhed, er i sig selv med til at undergrave sikkerheden ved at skabe nye former for risici.

Kan det ske igen? Måske ikke på præcis samme måde. Men det nye under solen er desværre, at der nu er næsten dobbelt så mange atomvåbenstater i verden – helt præcist 9 mod 5 i 1967. Kina er lige nu ved at opbygge et avanceret ballistisk missilvarslingssystem på linje med USA og Rusland. Så sent som i januar 2018 blev der på Hawaii udsendt en falsk atomraketalarm, netop som Donald Trump og Nordkoreas Kim Jong Un på twitter skændtes om, hvem der havde den største "knap". Mange civile systemer er også i dag sårbare overfor påvirkninger fra soludbrud og solstorme. Det gælder for eksempel det elektriske transmissionsnet og GPS-systemet. ■

BØGER

FAKTA

Bill Bryson: *Kroppen – en guide til indehavere.* På dansk ved Lotte Follin. Gyldendal 2019. 512 sider, 349,95 kr.

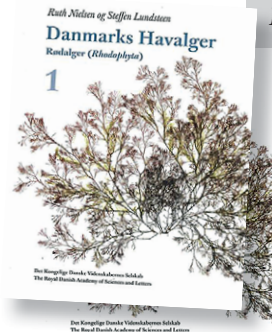


Kroppen – en guide til indehavere

Vi går gennem hele livet i en og samme krop, og alligevel ved de fleste af os ganske lidt om, hvordan deres krop fungerer, og hvad der sker inden i os. Det gør videnskabsformidleren og forfatteren til bestselleren *En kort historie om næsten alt* noget ved i sin nye bog. Her tager han læseren med på en fascinerende rejse fra top til tå – startende med de 59 grundstoffer, der skal til at bygge et menneske. Herefter går turen videre til afsnit om hud og hår, hjernen, munden, blodet og hjertet, immunsystemet, lungerne, tarmene og meget mere.

FAKTA

Ruth Nielsen og Steffen Lundsteen: *Danmarks Havalger*. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Scientia Danica. Series B, Biologica, vol. 7. 392 sider (bind 1) og 476 sider (bind 2). De to bind sælges samlet for 500 kr.



Danmarks havalger

Danmarks Havalger er den mest omfattende danske algeflore til dato. Værket, der er i to bind, indeholder beskrivelser af alle de 373 marine makroskopiske alger, der er fundet i danske farvande. I bind 1 omtales de 165 rødalger (Rhodophyta), og i bind 2 de 125 brunalger (Phaeophyceae) og 83 grønalger (Chlorophyta). Bøgerne kan bruges som opslagsværk til søgning af oplysninger om enkelte arter. De kan også anvendes mere generelt til at blade i, og i det rigtige billedmateriale kan man blive inspireret og glæde sig over algernes skønhed.

FAKTA

Holger Bech



Nielsen og Jonas Kuld Rathje: *Teorien om alt.* Gyldendal 2019. 269 sider, 299,95 kr.

Vores forfædres fortælling

Der er masser af huller i vores viden om, hvordan verden hænger sammen, og hvordan universet er bygget op. Og det generer fysikeren Holger Bech Nielsen, der har brugt det meste af sit liv på at lede efter "Teorien om alt". Om dette og hans liv ind i fysikken fortæller han til journalisten Jonas Kuld Rathje i denne nye bog.

FAKTA

Jan Faye (red.):



Klimaet under forandring – og hvad så? Frydenlund 2019. 229 sider, 249,- kr.

Klimaet under forandring – og hvad så?

Hvad skal der til, for at vi mennesker tager vores ansvar for jordens fremtid alvorligt? Det giver en gruppe danske filosoffer deres bud på i bogen *Klimaet under forandring*. Den handler om, hvorfor vi skal handle og hvad der eventuelt hindrer os i at handle. Ifølge forfatterne kalder klimaudfordringerne ikke kun på en forståelse for videnskabelige kendsgerninger, men også på en helt ny tilgang til global retfærdighed.

FAKTA

Kaj Sand-Jensen og



Jens Christian Schou: *Så forandret – Danmarks natur gennem 200 år.* BFNs forlag 2019. 276 sider, 250,- kr.

Så forandret

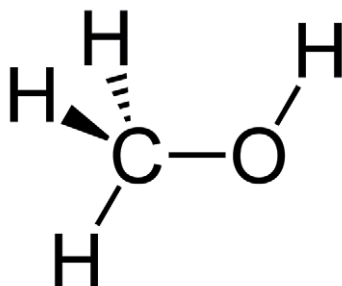
Igennem blandt andet talrige gamle og nye fotografier samt kort og illustrationer dokumenterer professor ved Københavns Universitet Kaj Sand-Jensen og naturfotograf og illustratør Jens Christian Schou, hvordan den danske natur er blevet radikalt forandret gennem de seneste 200 år. Forandringer, som til tider har slået forfatterne med forundring, andre gange med rædsel og andre gange igen med glæde.

Forskere vil lave grøn methanol

Intet-må-gå-til-spilde-teknologi. Nogenlunde sådan kan man karakterisere det nye udviklingsprojekt med det mundrette navn eSMR-MeOH, som er blevet støttet af Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram, EUDP, med knap 38 mio. kr.

Projektet, der ledes af katalysevirksomheden Haldor Topsøe og blandt andet involverer Aarhus Universitet, DTU og Aalborg Universitet, har til formål at udvikle og bygge et demonstrationsanlæg, der kan lave biogas fra husdyrgødning og biomateriale om til ren, grøn methanol ved udelukkende at tilsætte vedvarende energi.

»Kort fortalt handler projektet om at lave methanol ud af biogas og grøn strøm. Det er et kvantespring i forhold til i dag, hvor processen er kulsort, og en fantastisk elegant måde at skabe højværdiprodukter ud af de mest tarvelige og beskidte restprodukter fra vores samfund,« siger professor Lars Ottosen fra Institut for Ingeniørviden-



skab, der leder Aarhus Universitets indsats i projektet.

Methanol, som er en organisk forbindelse klassificeret som alkohol, benyttes i dag til en lang række formål. Blandt andet som brændstof og opløsningsmiddel og som et yderst vigtigt platformskemikalie, der kan bruges i produktionen af en lang række andre kemikalier.

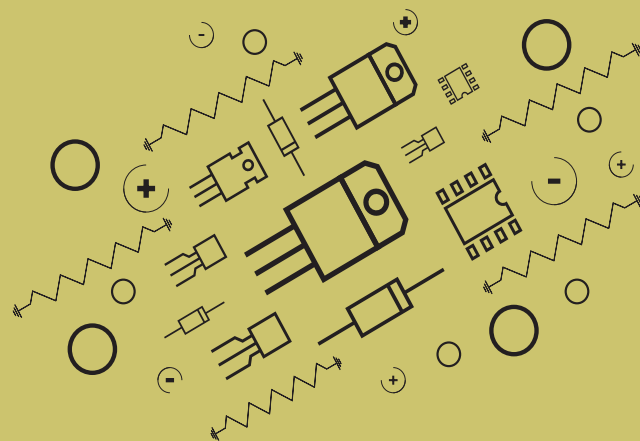
Væsken syntetiseres i dag oftest fra fossil naturgas. Man splitter metan i brint og

kulmonoxid ved at tilføre en del af gassen som energiinput. Hele processen er således afhængig af fossile brændsler og energikilder, og det er her, det nye projekt vil gøre tingene væsentligt anderledes.

I eSMR-MeOH-projektet er planen således at splitte biogas ad ved hjælp af en elektrisk drevet katalysator og med yderligere energitilskud fra brint produceret med elektrolyseteknologi, for derved at omdanne biogas til methanol.

En af de forsknings- og udviklingsmæssige udfordringer, der skal løses i projektet er, hvordan man kobler et sådan anlæg med en vedvarende energikilde, typisk vind, som i sagens natur ikke er konstant. Ved Aarhus Universitets forskningscenter i Foulum skal der bygges et pilotanlæg i stor skala, hvorfra erfaringen og den udviklede teknologi umiddelbart kan omsættes til et industri-system.

Jesper Bruun, Aarhus Universitet



Electronics Camp 2020

En tur rundt i elektronikingeniørernes verden i et par dage fyldt med læring og inspiration.

På campen får man fingrene i det en ingeniør indenfor Elektronik laver. Man kommer til at sidde i et af vores laboratorier, hvor man skal arbejde med at samle elektriske kredsløb, så de får en funktion. Campen består af praktiske øvelser, workshops og korte forelæsninger ved studerende og undervisere fra SDU.

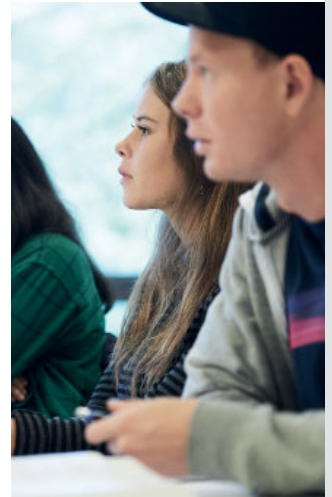
Electronics Camp er for elever, der er på 2. eller 3. årgang på HHX, STX, HTX, EUX, EUD, HF eller har sabbatår. Man behøver ikke kunne alt inden for elektronik og el for at deltage. Man skal medbringe sin egen computer, nysgerrighed og energi.

SDU byder på overnatning, mad og drikke, og det hele er gratis. Campen afholdes 28-29. februar 2020 på SDU, Alsion 2, 6400 Sønderborg.

For mere information og tilmelding: www.sdu.dk/da/electronicscamp

Se Ingeniøruddannelsernes store udvalg af tilbud til gymnasieklasser på: www.sdu.dk/tek/brobygning

DET RIGTIGE STUDIEVALG TAGER TID



Brug tiden på at sætte dig godt ind i de uddannelser, du overvejer. På Københavns Universitet har vi gjort det lidt lettere at vælge en naturvidenskabelig uddannelse. Du kan fx:

- » Komme til Åbent Hus 26. – 28. februar
- » Prøve KU's online **uddannelsestjek**
- » Blive "Studerende for en dag"
- » Besøge os med din klasse

Læs mere om uddannelsestjekket og besøgs mulighederne på science.ku.dk/ba

SCIENCE Kommunikation

science.ku.dk/ba



KØBENHAVNS UNIVERSITET



Nye undervisningsmaterialer

For dig, der underviser, er der inspiration at hente på hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Matematiske modeller

Til artiklen *Matematiske modeller – vejledende eller vildledende* i dette nummer, er der lavet et arbejdsark med opgaver beregnet på gymnasieundervisningen. Formålet er at arbejde med teoretisk og empirisk kontrol af matematiske modeller igennem tre simple eksempler: Rabat før moms eller moms før rabat, Hvor langt væk er horisonten? og Indkøbscentres opland.

Opgaverne lægger op til, at eleverne arbejde i grupper med dem og diskuterer resultaterne i plenum.

Arbejdsark om smagen af grøn mad

Arbejdsarket tager udgangspunkt i artiklen *Opskrift på at spise mere grønt: tilsæt naturvidenskab* i dette nummer. I arbejdsarket

findes også supplerende tekst om Umani og kokumi, der understøtter artiklen. Arbejdsarket består af arbejdspørgsmål til artiklen og forslag til køkkeneksperimenter.

Artiklen kan fx anvendes i et tematisk forløb i kemi A eller bioteknologi A med titlen molekylær gastronomi sammen med andre artikler fra Aktuel Naturvidenskab.

Quiz

Prøv den nye quiz om datering ved hjælp af uran, som bygger på artiklen *Uran sladrer om alt fra Solsystemets fødsel til dinosaurernes uddøen* fra nr. 5/2019.

Både artikler og undervisningsmaterialerne er frit tilgængelige.

ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.
Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Til nye abonnenter:

Bestil en intropakke med otte helt nye numre plus abonnement i et år (6 numre) for kun 354,- kr. inkl. porto & ekspedition.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- Birgitte Lyhne, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Jens D. Holbech, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- Mette Christina Møller Andersen, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Niels Kring, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Sanne Holm Nielsen, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- Søren Rud Keiding, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 6.000

Redaktionsgruppe

- Birgitte Dalggaard, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjaer, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet
- Signe Hansen, Viborg Gymnasium og HF
- Nanna Birk Jensen, Københavns Universitet
- Torben Jarl Jørgensen, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,

Ny Munkegade 120, Bygning 1520, DK-8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Isotopratio-analyser kan fx vise om planter er dyrket økologisk. Foto: Colourbox.



Al henvendelse til:
 Aktuel Naturvidenskab,
 Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
 E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
 T: 87152094

På med antennehatten

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Nå, er antennehatte den nyeste mode i teknikverdenen? Det var min første indskydelse, da jeg så et billede i Ingeniøren, hvor en fyr poserer iført en sikkerhedshjelm, der er forsynet med en paddehatformet antenne. Men antennehatten er nærmere et resultat af dovenskab, fortæller Henrik Nørgaard mig over telefonen fra Foulum – det er nemlig ham, der optræder på billedet. Til dagligt arbejder han som landmålingstekniker ved institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, og han har et motto: »Jeg gider ikke gøre noget på en besværlig måde, hvis man kan gøre det nemt i stedet for«, siger han. Den filosofi til arbejdet har gennem tiden inspireret ham til at udvikle flere små anordninger, som kunne gøre livet nemmere for ham og hans kolleger i hverdagen. Det sidste skud på stammen er netop antennehatten.

Landmåling på mobilen

Når Henrik Nørgaards arbejde bliver nemmere med en antennehat på hovedet, skyldes det, at han meget ofte har brug for at måle sin position – ja, det ligger jo lidt i landmålings-metieren. »På den måde behøver jeg ikke bære rundt med en antennestok i hånden, og jeg har begge hænder frie til at tage prøver, notater eller rode med andet udstyr, hvis der er brug for det«, fortæller han. Lige nu er Henrik blandt andet optaget af udviklingen og binding af landsdækkende målinger af kulstof og fosfor i jorden, som er et hot emne for tiden, særlig på lavbundsjordene.

Når man måler i felten, er en nøjagtig position ofte en vigtig del af målingerne. I dag bruger landmålere GPS til at måle positioner, og faktisk har de ligesom mange andre faggrupper oplevet, at denne centrale del af deres arbejde de senere år i høj grad er rykket over på deres mobiltelefon eller tablet.

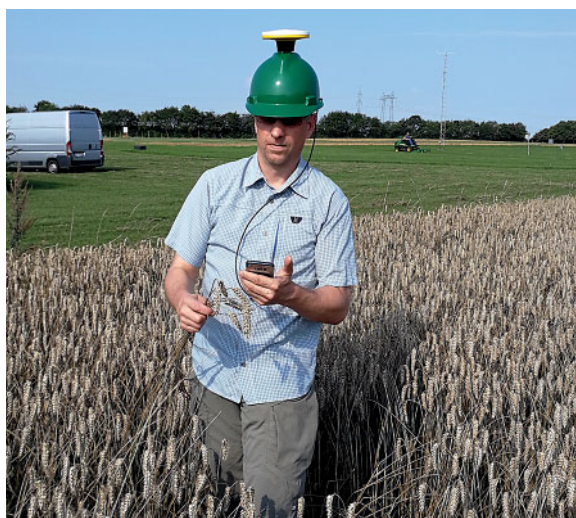


Foto: Rasmus Holtegaard Laursen

»For få år siden var professionelt GPS-udstyr til landmåling noget, der nemt kunne koste 50-100.000 kr., men i dag kan hardwaredelen af udstyret anskaffes til nogle få tusinde kroner i form af en håndholdt antenne, der kan kobles til en god mobiltelefon«, fortæller Henrik. Hvis der skal meget god nøjagtighed til – det vil sige helt ned på nogle få centimeter – skal antennen dog kobles til jordbaserede netværk af referencestationer, der leverer præcise korrektionsdata. Men det er noget, man betaler for i et abonnement, så det kan man vælge til og fra afhængig af behovet.

På vej mod antennehat 2.0

»Til mange formål kan antennen sammen med mobiltelefonen faktisk være nøjagtig nok,« fortæller Henrik. Det var netop mens han eksperimenterede med at sammenligne nøjagtigheden af GPS'en i sin mobiltelefon med og uden den eksterne antenne tilkoblet, at han blev træt af at bøvle rundt med antennen i den ene hånd, mens han skulle betjene mobilen med den anden. Og da antennen trods alt har en størrelse, der ikke lige gør den velegnet at putte i lommen, hvilket også

vil dæmpe signalet fra satellitterne, var den mest naturlige ide at få den op på hovedet. »Måske ville det have set mere tjekket ud, hvis jeg havde brugt en cowboyhat«, siger Henrik. »Men jeg fandt hurtigt ud af, at en sikkerhedshjelm var det rigtige valg, da den er stiv, så der kan skrues en antenne fast på den, uden at den deformeres – og så er den billig!«

Henrik har allerede overvejelse om en antennehat version 2.0, som kobler antenne og mobiltelefon trådløst sammen via bluetooth. »For kabler er helt generelt noget møg, når man er på feltarbejde«, siger han. Det kræver dog, at der også skal bygges et batteri ind i hatten, og at han kan skaffe et stik, der knækker 90 grader til at sætte på antennen – hvilket har vist sig ikke ligefrem at være en lagervarer de steder, hvor Henrik normalt skaffer sine dimser. Men hvis Henrik synes det i længden bliver for besværligt med sin kablede udgave af antennehatten, skal han helt sikkert nok få løst de tekniske problemer. For dovenskab kan være en vældig drivkraft!