

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB



REJSEN UD I
RUMMET

Grønlands Indlandsis
Virtual reality i undervisningen
COVID-19-mørketallet og
de svære betingede sandsynligheder

NR.6 - 2020 DECEMBER: 50 KR.

NOTER

Quizen:

Hvad vil effekten på havniveauet omkring Danmark alt andet lige være, hvis Indlandsisen i Grønland smeltede helt bort?

Det vil stige cirka 7 meter

Det vil stige cirka 10 meter

Det vil stige cirka 58 meter

Find svaret i artiklen om Grønlands Indlandsis i dette nummer

Foto: Siddhesh Sawant/CC BY-SA 4.0

3 millioner...

Så mange år koster slangebider hvert år Indiens befolkning i tabt produktivitet og sundhed ifølge beregninger af forskere ved Institute for Health Metrics and Evaluation ved University of Washington, som blev præsenteret ved et møde i november.

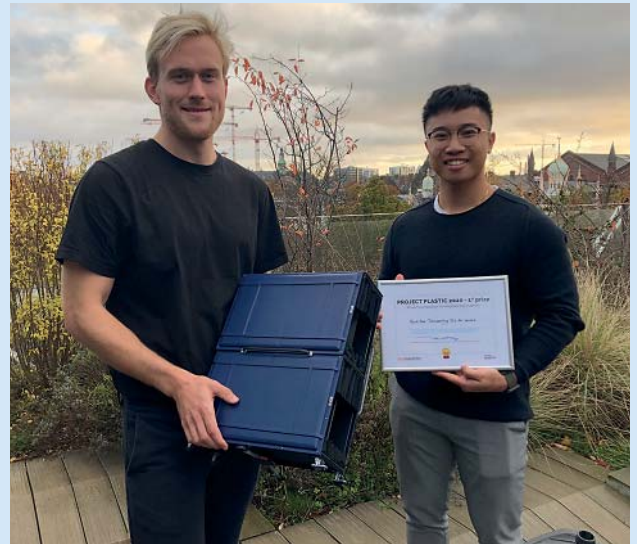


Kilde: Nature

Ny kvanterekord

Kinesiske forskere har for nylig rapporteret i tidsskriftet *Science*, at de ved hjælp af lyspartikler har udført en beregning på en kvante-computer, som i praksis er umulig at udføre på en traditionel computer. I modsætning til Googles demonstration af en tilsvarende kvanteberegning sidste år, skulle de kinesiske forskeres version være så godt som utilgængelig for nogen klassisk computer.

Kilde: Nature



Plastpris til studerende

Quang Tran og Anton Malmkjær Møller fra Industrielt Design på Aalborg Universitet har vundet førstepræmien i konkurrencen *Project Plastic 2020*, der er arrangeret af brancheorganisationen Plastindustrien. I deres speciale har de udviklet en transportkasse – kaldet RackBox – beregnet til at transportere TV'er til reparation – fx i store detailkæder. Ideen er, at det både minimerer brugen af engangsemballage og forbedrer arbejdsmiljøet.



Grundtanker – ny podcast

Videnskabernes Selskab lancerede i oktober måned en ny videnskabelig podcast kaldet GRUNDTANKER. Den tager for hvert afsnit udgangspunkt i en samtale med en fremtrædende dansk forsker, der fortæller om sit specifikke forskningsområde og om, hvad lige netop dén forskning har af bredere betydning i samfundet. Grundtanker er produceret af *Science Report* og kan findes på gængse platforme som Spotify og iTunes. Hver udsendelse varer 45-60 minutter.



Foto: Mario Roberto Durán Ortiz/CC BY-SA 4.0

Ikonisk teleskop kollapsede

Det store radioteleskop - Arecibo-teleskopet i Puerto Ricos jungle – kollapsede den 1. december i år. Teleskopet blev lukket tilbage i august måned, hvor et støttekabel til den tunge platform, der er ophængt over spejlet, rev sig løs og lavede et 30 meter stort hul i det 305 meter brede spejl. Dog håbede man, at det var muligt at redde teleskopet, men da endnu et støttekabel rev sig løs den 6. november var man klar over, at teleskopet var dødsdømt. Arecibo-teleskopet var verdens største radioteleskop frem til 2016, hvor Kina åbnede det større teleskop FAST.

Kilde: Ingeniøren

Forurening i dybden

Forurening med kviksølv i havet har længe været et kendt miljøproblem. Nu viser det sig, at ikke engang de dybeste dele af oceanerne er gået fri. Forskere har indsamlet marine organismer fra bunden af Marianergraven og fra Kermadec-graven nær New Zealand på dybder fra 6000 til 10.250 meters dybde. Det viste sig, at kviksølvniveauet i vævet disse organismer var tilsvarende det, forskerne kunne måle i organismer på kun 500 meters dybde.

Kilde: PNAS

indhold



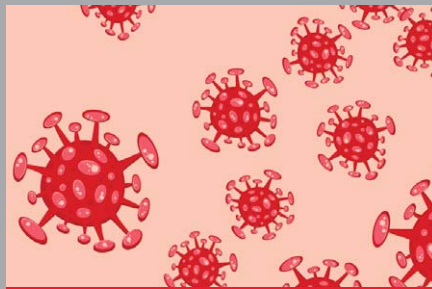
Rumforskning og rumrejser hænger uløseligt sammen. Raket- og rumteknologi sætter således grænserne for, hvad forskerne overhovedet kan undersøge, og rummissioner designes omvendt 100 % ud fra, hvilket formål de har. Aktuell Naturvidenskab har interviewet astrofysikeren Hans Kjeldsen om fascinationen ved rumfart.

14



Indlandsisen rummer potentialet til at få vandstanden i verdenshavene til at stige med syv meter og trække den Lune Golfstrøm væk fra Danmark, så det i fremtiden bliver hundekoldt her i landet. Derfor er det vigtigt, at forskere forstår både Indlandsisens nutid, fortid og fremtid.

20



Selv med en god test, der viser om man har antistoffer mod COVID-19-virus, er der ofte kun cirka 50 % chance for, at man reelt har haft sygdommen, selvom man tester positiv. Det får vi den matematiske forklaring på her.

26



Selvom en bestemt gruppe matematiske problemer i teorien måske er umulige at løse, finder praktiskere alligevel tilfredsstillende måder at løse disse problemer på. Matematikeren Jakob Nordström vil i sin forskning gerne binde teori og praksis bedre sammen.

36

FORSKNING OG NYHEDER

- 2 Noter
- 4 Kort nyt
- 8 Sådan gør vi mariehønen til en bedre dræber
- 12 Naturvidenskab til folket
- 14 Rejsen ud i rummet
- 20 Indlandsisens fortid og fremtid
- 26 Mørketallet og de svære betingede sandsynligheder
- 30 Nye virkeligheder i undervisningen
- 36 Løsningens kunst

PERSPEKTIV

- 42 SERVICE og Bøger
- 44 BAGSIDEN: Næse for virus

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Faculty of Natural Sciences og Faculty of Technical Sciences, 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, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), 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 NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



novo nordisk®

Træbyggeri kan spare CO₂

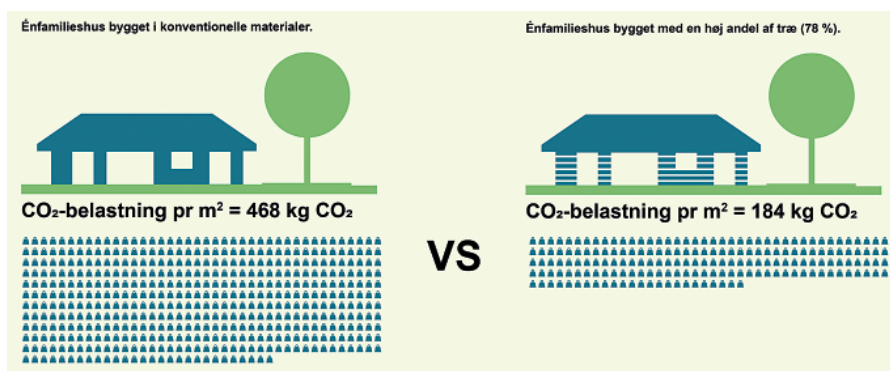
En ny forskningsrapport fra Aalborg

Universitet viser, at Danmark kan spare 800.000 ton CO₂ i 2030 ved at bygge boliger i træ frem for konventionelt byggeri. Rapporten samler eksisterende

viden om træbyggeri og estimerer potentialet for at øge brugen af træ i byggeriet for at fremme den bæredygtige omstilling af byggebranchen.

Som et led i kortlægningen har forskerne udarbejdet økonomiske modeller og livscyklusanalyser for træbyggeri i Danmark. Sammenholdt med viden fra konventionelt byggeri viser beregningerne, at klimaaftrykket fra dansk byggeri kan reduceres væsentligt ved at bygge flere huse i træ.

»Vores beregninger viser, at hvis vi bygger 6310 boliger i 2030 som træbyggeri i stedet for konventionelt tungt byggeri, kan vi om året fremadrettet spare 800.000 ton CO₂



i forhold til 2019,« siger Torben Valdbjørn Rasmussen, der er seniorforsker ved Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet.

Det særlige CO₂-besparende potentiale for byggematerialer af træ skyldes at:

- Træer optager CO₂ under væksten og omdanner det til ilt og kulstof, som bindes i vedet.
- Det oplagrede kulstof i træ bliver i træet, når det bruges i byggeriet.
- I byggeri kan træ erstatte andre byggematerialer med en større udledning af CO₂, hvorved det samlede CO₂-aftryk bliver mindre.

byggebranchen er barrierer, der skal overvindes for at udbrede træ som byggematerialer.

»Brand, lyd og udførelse var blandt de barrierer, vi blev gjort opmærksomme på i vores dialog med interessenterne fra branchen. Vi vurderer dog, at disse barrierer kan overvindes med forskellige tiltag, for eksempel ved at myndighederne gennemfører transparente fyrtårnsbyggerier i træ, hvor erfaringer om såvel økonomi, praktik, design og udførelse deles med byggebranchen,« siger Torben Valdbjørn Rasmussen.

Lise Jacobsen, BUILD, AAU. [Link til Rapporten: sbi.dk/pages/anvendelse-af-trae-i-byggeriet.aspx](https://sbi.dk/pages/anvendelse-af-trae-i-byggeriet.aspx)

Mangrove som dræn for plastik

Hvert år ender store mængder plastik i verdenshavene som forurening. Det problem har der været megen fokus på de senere år, og et af de spørgsmål, forskerne gerne vil besvare i den forbindelse, er, hvor de store mængder plastik forvinder hen. I overfladevandet finder man kun omkring 1 % af den forventede mængde plastik ud fra beregninger af, hvor meget der tilføres havet. Et oplagt sted, plastikken kan forsvinde hen, er indlejret i sedimenterne på bunden af havet.

Et internationalt forskerhold har for nylig bekræftet den formodning i tidsskriftet *Science Advances*. De har undersøgt borekerner indsamlet i Det Røde Hav og den Arabiske Golf og vist, at sediment



Udover at der indlejres store mængder plastik i sedimenterne under mangroven, så virker den også i sig selv som fanger af store stykker plastik, der skyller i land. Foto: Cecilia Martin

i kystområder og særligt i mangrove virker som dræn for plastikpartikler. Forskerne kunne vise, at mængden af plastikpartikler de-

poneret i mangrove-kystområder siden 1950'erne har fulgt den samme trend som udviklingen i den globale produktion af plastik. Og denne er steget eksponentielt i perioden. Det antyder, at en stor del af den plastik, man finder i mangrove-sedimenterne, har været indlejret der i årtier.

Selvom man næppe kan kalde det godt nyt, at der begravnes store mængder plastik i mangroven, så er der i det mindste den fordel, at plastikken dermed ikke kan skade følsomme organismer i havet. Det er nemlig en af de bekymringer, der knytter sig til plastikforurening i havet.

CRK, Kilde: *Science Advances*, vol. 6, no. 44, eaaz5593

Kunstig intelligens sorterer proteiner

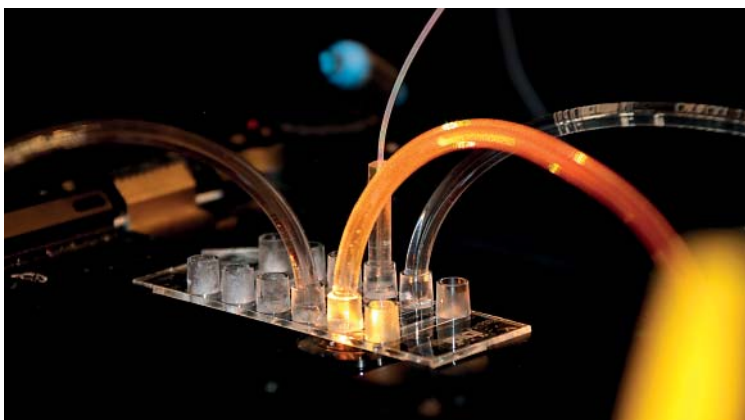
Med kunstig intelligens har forskere fra Københavns

Universitet fjernet en stopklods i proteinforskning. Det har nemlig været et tungt arbejde at analysere de kæmpe datamængder, som forskerne indsamler, når de via mikroskopi og teknikken FRET (som er en fluorescens-teknik) undersøger, hvordan proteiner bevæger sig og interagerer med

hinanden. Disse proteindynamikker er det afgørende at blive klogere på for fuldt ud at kunne udnytte CRISPR-teknologi og bedre at forstå sygdomme som cancer, Alzheimers og Parkinsons.

Forskerholdet har nu udviklet en machine learning-algoritme til at tage det tunge slæb.

»Før sad vi og sorterede data, indtil vi var ved at blive skøre. Nu trykker vi på en knap, og så er al vores data analyseret. Det frigiver ressourcer til, at vi kan optage endnu større datamængder end tidligere og hurtigere nå



Nærbillede af proteinprøve, der studeres med FRET-teknik. Foto: Shunliang Wu

resultater,« siger biofysiker Simon Bo Jensen fra Kemisk Institut og Nano-Science Center.

Algoritmen har lært at genkende mønstre i proteinernes bevægelser, så den på få sekunder kan klassificere datasæt, som det normalt kan tage eksperter flere dage at komme igennem.

»Vi har hidtil siddet med en masse rådata i form af tusindvis af mønstre, som vi har sorteret manuelt ét efter ét. Dermed blev vi flaskehalsen i vores egen forskning. Og selv

for eksperter er det svært at gøre arbejdet konsistent og nå samme konklusion hver gang, fordi vi jo bare er mennesker, der bliver trætte og laver fejl,« siger Simon Bo Jensen.

Allerede nu har adskillige forskergrupper i udlandet henvendt sig og udvist interesse i at bruge algoritmen.

»AI-værktøjet er et kæmpe plus for hele forskningsfeltet,

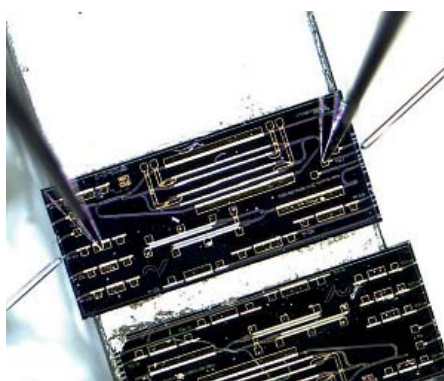
fordi det giver nogle fælles standarder, man ikke før har haft, når forskere verden over skal sammenligne data. Før var meget af analysen baseret på en subjektiv opfattelse af, hvilke mønstre, der var brugbare. Og det kan jo variere fra forskningsgruppe til forskningsgruppe. Nu har vi et værktøj, der kan sikre, at vi alle når de samme konklusioner,« siger forskningsleder og lektor Nikos Hatzakis fra Kemisk Institut og Novo Nordisk Foundation Center for Protein Research.

Maria Hornbek, KU, eLife, DOI: 10.7554/eLife.60404

Ny sensor mod luftforurening

Fotonik-forskere fra Aarhus Universitet og DTU har i samarbejde med kemikere og kemiingeniører udviklet et nyt sensorsystem, der har potentiale til at bidrage til en markant reduktion af luftforureningen i Danmark. Forskerne har udviklet en integreret optisk sensor, der er baseret på moderne telekommunikationsteknologi, der måler ammoniakindhold i luft ved hjælp af en laser, en gas-sensor og hule optiske fibre. Den nye sensor er beskrevet i det videnskabelige tidsskrift *MDPI Photonics*.

»Vores anordning demonstrerer, at det er muligt at udføre kontinuerlig ammoniakmonitorering for landbruget, og fordi det er baseret på moden telekommunikationsteknologi, kan systemet bygges med ganske lave omkostninger. Samtidig er systemet meget kompakt og opfylder dermed behovet for et bærbart,



Mikroskopbillede af det optisk integrerede kredsløb, der anvendes til ammoniakdetektoren. Chippen er omtrent 2×2,6 mm² i størrelse. Foto: Andreas Hänsel, AU.

pålideligt og frem for alt billigt system til detektion af ammoniak,« siger Andreas Hänsel, der er postdoc fra Aarhus Universitet og en del af forskningsgruppen Photonic Integrated Circuits.

Udviklingen af sensorteknologien pågår sta-

dig, og der skal blandt andet arbejdes med at øge følsomheden af udstyret. Samtidig slår Andreas Hänsel fast, at den nye sensor måske nok er udviklet til at detektere ammoniak, men ganske let kan konfigureres til at detektere en lang række andre gasarter, herunder eksempelvis drivhusgasser.

Den nye teknologi er udviklet som en del af projektet Ecometa, som er støttet af Innovationsfonden med 12,5 mio. kr.

Husdyrproduktion står i dag for en væsentlig del af luftforureningen i Danmark, og det er primært gasarten ammoniak, der er et af landbrugets største miljøproblemer. Men emissioner af ammoniak måles slet ikke i dag på bedriftsniveau, da sådanne målinger er ganske dyre.

Jesper Bruun, Inst. for Ingeniørvidenskab, AU

Mere sne i Arktis giver mere CO₂

FN's nyeste IPPC-klimarapport forudsiger øget snefald og øgede temperaturer i Arktis som følge af klimaforandringer. Nu viser forskere på Københavns Universitet i et feltstudie, at mere sne i Arktis giver en større netto CO₂-udledning. Det skyldes, at sneen er længere tid om at forsvinde, og vækstsæsonen dermed bliver forsinket, så planterne får kortere tid til at optage CO₂ fra atmosfæren. Samtidig viser feltstudiet, at der på grund af de stigende temperaturer bliver frigivet "gammelt" kulstof, som har været lagret i hundredvis af år i jorden.

Forskere fra Biologisk Institut og Center for Permafrost på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning har været på feltstudie i Grønland, hvor de over to år har lavet en række målinger og mikrosimuleringer. De har undersøgt, hvad der sker med økosystemets CO₂-balance, når der efter FN's prognoser falder mere sne end i dag, og temperaturen yderligere stiger.



Foto fra feltarbejdet i Grønland om sommeren. Det grønne net bagerst er et snehegn.
Foto: Nynne Ravn.

Det har de gjort ved at sætte snehegn op, som øger snedybden med ½ til 1 m på læsiden. De har også sat drivhusagtige kamre op på den grønlandske hede for at simulere temperaturstigninger.

»Vi har lavet simuleringer af, hvad der vil ske med CO₂-balancen i et økosystem i Grønland, når der falder mere sne om vinteren, og sommertemperaturerne samtidigt stiger«, siger postdoc Nynne Ravn fra Center for

Permafrost på Københavns Universitet og tilføjer: »Vi kan se, at den øgede CO₂-udledning viser sig med det samme efter kun en sæson med simuleringerne, og at den er additiv på den måde, at effekterne af temperaturstigninger og øget snedybde lægges oveni hinanden.«

Feltstudiet viser også, at grunden til, at det øgede snefald bidrager til øget CO₂-udledning er, at det forkorter planternes vækstperiode, fordi den øgede snemængde er længere tid om at forsvinde. Dermed har planterne kortere tid til at optage CO₂ fra atmosfæren.

Feltstudierne i Grønland viser udover en målbar forøgelse af økosystemets respiration, at de højere temperaturer i Arktis også kan føre til frigivelse af CO₂, som stammer fra gammelt organisk stof, som har været bundet i jorden i hundredvis af år. Studiet er publiceret i *Soil Biology and Biochemistry* og er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond og Danmarks Grundforskningsfond.

Katherina Killander, KU

Når muddervulkaner går i udbrud

Muddervulkaner er et fascinerende naturfænomen, hvor mudder eller andet finkornet mineralisk materiale fra undergrunden presses op til jordoverfladen af gasser og strømmer ud på overfladen. Selvom temperaturen i sådanne muddervulkaner er meget lavere end i deres ildsprudende slægtninge, kan de stadig være farlige. Således begravede muddervulkanen Lusi i Indonesien i 2006 nærliggende landsbyer i et tykt lag mudder. Der er observeret flere end 1000 muddervulkaner rundt om i verden – både til lands og til vands – og nu har franske forskere kigget nærmere på en af dem for at blive klogere på, hvordan et muddervulkanudbrud opstår. Den



Berca-muddervulkanen i Rumænien.
Foto: Diego Delso, delso.photo, CC-BY-SA 4.0

undersøgte findes i det Kaspiske Hav, som er et centrum for olie- og gas-efterforskning og som har den højeste koncentration af sådanne vulkaner noget sted i verden.

Forskerne simulerede, hvordan metan fanget i sedimenterne på stedet kunne fremprovokere ændringer i poretrykket, som får mudder til at dannes i en dybde af 3,5 kilometer og begynde at stige op mod overfladen. De beregnede, at det kan tage omkring 100 år for muddervulkanen om at nå op til overfladen og gå i udbrud.

Udover at muddervulkaner udgør en trussel for menneskeliv og infrastruktur, bidrager de også til den globale udledning af drivhusgasser til atmosfæren. Af disse grunde er det nyttigt at vide mere om deres dynamik for om muligt at blive bedre til at forudsige dem.

J. Geophys. Res./doi.org/10.1029/2020JF005623

Polarforskerens sidste timer

Jørgen Brønlund var en af deltagerne i den store Mylius Erichsens Danmarks-ekspedition til Grønland 1906-08. I 1907 omkom han af sult og forfrysninger, men inden gjorde han et sidste notat i sin dagbog:

»Omkom 79 Fjorden efter Forsøg hjemrejse over Indlandsisen, i November Maaned jeg kommer hertil i aftagende Maaneskin og kunde ikke videre af Forfrosninger i Fødderne og af Mørket.«

Ekspeditionen var året før draget til Nordøstgrønland for at kortlægge det allernordligste Grønland og for at afgøre, om det 50.000 kvadratkilometer store Peary Land var en halvø eller en ø. Hvis en ø, ville den tilfalde amerikanerne. Hvis en halvø, ville den høre med til dansk territorium.

Under dette forsøg omkom Brønlund og to øvrige deltagere på ekspeditionens slædehold 1.

Få dage før Brønlund døde, omkom de to andre; Mylius Erichsen og Niels Peter Høegh Hagen. Hverken deres lig eller dagbøger er



Den 3x3 mm store sorte plet fra Brønlunds dagbog.
Foto: Kaare Lund Rasmussen.

siden blevet fundet.

Det blev Brønlunds lig og hans dagbog imidlertid, og nu har kemikere fra SDU analyseret en ganske bestemt del af den; en lille sort klat under Brønlunds sidste signatur. Analyserne afslører, at klatten består af brændt gummi, forskellige olier, petroleum og afføring.

»Denne nye viden giver et enestående indblik i Brønlunds sidste timer«, siger professor i kemi, Kaare Lund Rasmussen, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci på Syddansk Universitet.

»Jeg kan næsten se for mig, hvordan han, svækket og med beskidte, rystende hænder, har forsøgt at få ild i en brænder, men at det er mislykkedes for ham«.

Brønlund var nået frem til et depot på Lamberts Land og havde til sin rådighed en LUX petroleumsbrænder, tændstikker og petroleum. Men ingen sprit til at forvarme brænderen med.

»Han har været nødt til at finde på noget for at få gang i brænderen. Man kan bruge papir eller olieret stof, men det er vanskeligt. Vi tror, at han har forsøgt sig med de fedtstoffer, han havde til rådighed, for den sorte plet indeholder spor af vegetabilsk olie og olier, der kan stamme fra fisk, dyr eller vokslys.«

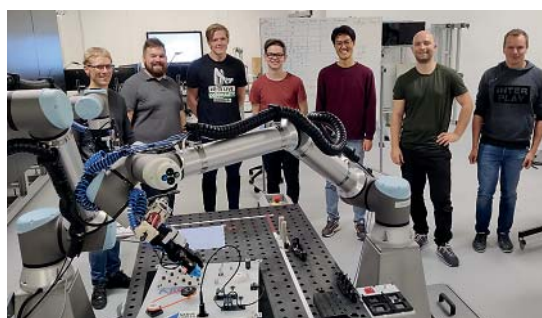
Det brændte gummi stammer formentlig fra en pakning i brænderen. Pakningen kan være blevet brændt længe før Brønlunds ophold i grotten, men det kan også være sket i forbindelse med hans sidste forgæves forsøg på at få tændt ild. Brønlunds lig og dagbog blev fundet fire måneder senere.

Af Birgitte Svennevig, SDU

Forskere vinder robotkonkurrence

Hvis man arbejder med robotter ved man godt, hvad IROS betyder: De fire bogstaver henviser til verdens førende akademiske robotkonference, hvor tusindvis af forskere fra hele verden årligt mødes. Med til konferencen hører en konkurrence, og i år blev den vundet af SDU Robotics, der hører under Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet på Syddansk Universitet. Sejren giver anerkendelse i både videnskabelige og industrielle miljøer, og den åbner dørene for nye måder at bruge robotter på, fortæller lektor Christoffer Sloth, der koordinerede det syv mand store SDU-hold under konkurrencen.

»IROS er kendt i hele det internationale robotmiljø, og det er en meget svær konkurrence. Vi er glade for, det lykkedes os at demonstre-



Vindergruppen fra SDU. Foto: SDU

re, at robotter ikke kun kan montere faste dele som skruer og plastiklåg, men også bøjelige dele som kabler og remme, for det kan bruges i mange sammenhænge fremadrettet,« forklarer han.

Konkurrencen gik ud på at få robotter til at løse nye typer automatiske samleopgaver

med relevans for industrien indenfor en tidsramme på to timer. Holdet skulle blandt andet få robotten til at montere skruer, kabler og remme på en 40 gange 40 centimeter stor plade, og det var en stor udfordring, særligt hvad angik manipulationen af de fleksible dele.

SDU-holdet valgte at bruge to robotter, hvor den ene robot er udstyret med et kamera til lokalisering af palden, og den anden med en programmerbar skruemaskine. Begge robotter har en parallelgriber monteret, og kunsten var så at få de to robotter til at samarbejde om at løse de komplekse problemstillinger. Det lykkedes så godt, at holdet som det første i konkurrencens historie opnåede det maksimale antal points og tilmed blev tildelt en tidsbonus.

Jane Callesen, Mærsk Mc-Kinney Møller Inst., SDU



SÅDAN GØR VI MARIEHØNEN TIL EN BEDRE DRÆBER

Forfatterne



Kim Jensen er seniorforsker ved Afdeling for Økologi, Tjekkisk Universitet for Livsvidenskaber Prag. Tidligere postdoc ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. kj@bios.au.dk



Jesper Givskov Sørensen er professor ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet. jesper.soerensen@bio.au.dk



Søren Toft er lektor emeritus ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet. soeren.toft@bio.au.dk



Martin Holmstrup er professor ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. martin.holmstrup@bios.au.dk

Skadedyrsbekæmpelse i afgrøder sker i stigende grad miljøvenligt ved hjælp af rovdyr frem for brug af pesticider. Ny forskning viser, at mariehøns, rovtæger og rovmidler kan gøre arbejdet mere effektivt, hvis de på forhånd tilvænnenes arbejdsmiljøet – for eksempel de temperaturer, de skal fungere under – eller ved genetisk forædling.

I det konventionelle landbrug og gartneri er der et stort forbrug af pesticider til bekæmpelse af skadedyr, som skaber problemer for både biodiversitet i miljøet og menneskers sundhed. Det har skabt en fornyet interesse for miljøsikre og ufarlige metoder til at bekæmpe skadedyr.

Den fornyede interesse får blandt andet opbakning i EU's direktiv om bæredygtig anvendelse af pesticider, hvor det understreges, at landmænd og gartnere er forpligtede til at bruge såkaldt integreret skadedyrsbekæmpelse, som kan være biologisk bekæmpelse ved hjælp af skadedyrenes naturlige fjender.

Udbredt metode i drivhuse

Biologisk bekæmpelse med rovdyr bruges ofte i drivhusgartneri, men bliver sjældent brugt på friland. Det skyldes ikke mindst, at miljøforholdene i drivhuse er langt mere stabile og optimale end de ukontrollerbare forhold i udendørs produktion.

Der er dog en stigende interesse for også at bruge rovdyr udendørs, hvilket skaber både muligheder og udfordringer. For eksempel vil rovdyr produceret under optimale og konstante temperaturforhold ikke nødvendigvis kunne fungere optimalt under lavere og hurtigt skiftende temperaturer på en åben mark.

I vores forskning har vi undersøgt mariehøns, rovtæger og rovmidler, som er eksempler på rovdyr, der angriber og æder skadedyrene på afgrøden. Vi har undersøgt, hvordan det er muligt at forbedre rovdyrenes effektivitet ved at tilvænne dem til arbejdstemperaturer og ved at træne dem til at spise bestemte former for bytte. Vi har også undersøgt muligheder for forbedring gennem genetisk forædling.

Tilvænnning til arbejdstemperatur

En metode til at forbedre rovdyrs ydeevne kan være at tilvænne individerne til de temperaturer, som de skal fungere under. For eksempel har den toplettede mariehøne (*Ada-*

lia bipunctata) højere prædationsrate, altså evne til at æde sit byttedyr, hvis den gennemgår sin udvikling ved den temperatur, hvor den senere skal udsættes (figur 1).

I vores udendørsklima er der generelt noget køligere end under de temperaturer, hvor rovdirene generelt klarer sig bedst og derfor også produceres. Ved at tilvænne rovdirene til lavere temperaturer kan man forøge deres kuldetolerance betragteligt (figur 2A). Dette kan hjælpe dem til for eksempel at modstå kolde nætter eller længere perioder med nedkøling.

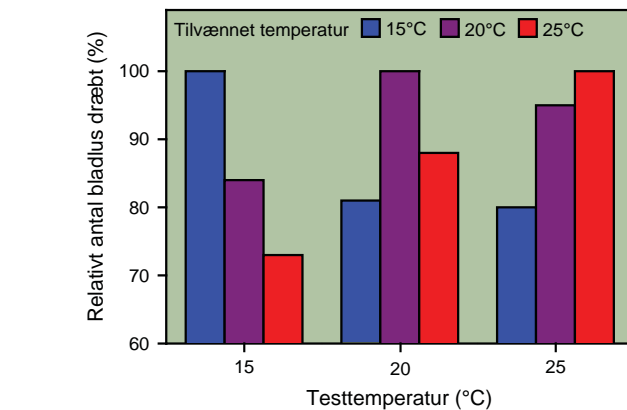
Vores forskning viser også, at rovdire udsat for kulde har højere sulttolerance (figur 2B). Det kan skyldes, at fedtdepoterne bliver fyldt, når de udsættes for kulde. Kuldetilvænnede rovdire er derfor bedre egnede til at udsætte i foråret, før skadedyrene ankommer, både fordi de bedre overlever kulde, og fordi de kan overleve længere uden bytte. Til gengæld viser vores forskning også, at kuldetilvænnede rovmider dræber færre byttedyr og lægger færre æg end varmetilvænnede.

Oplæring på bytte

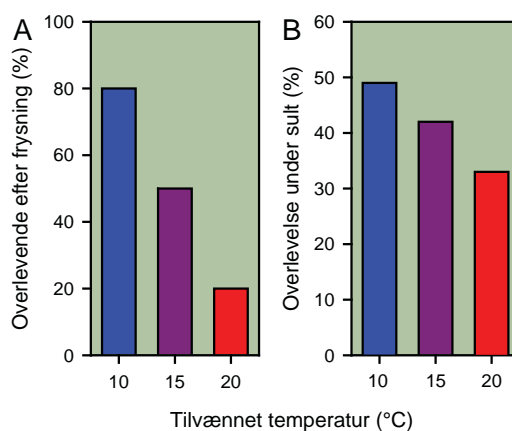
Når mariehøns eller rovtæger masseproduceres, fodres de ofte med et bytte, som er nemt at håndtere i produktionen og billigt i brug. Det er meget ofte ikke samme bytte, som rovdiret skal bekæmpe, når det udsættes i drivhus eller i marken.

Nogle undersøgelser har vist, at rovinsekter kan foretrække bytte, de er fortrolige med frem for et ukendt bytte. Det er derfor oplagt at oplære rovdirene til et bestemt byttedyr, men desværre er der også tilfælde, hvor erfaring med bytte viser sig at virke lige modsat.

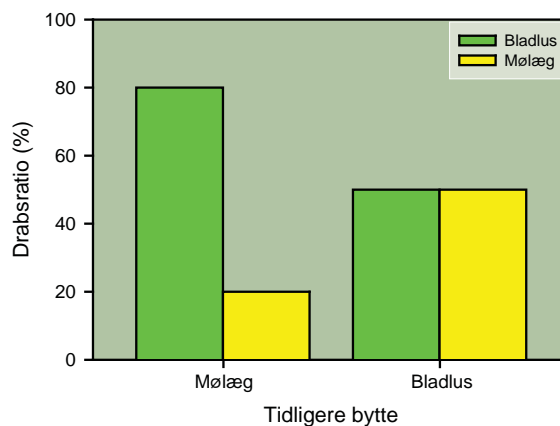
I vores forsøg med rovtæger var der ligefrem en negativ effekt på fangsten af bladlus, hvis tægerne var opfostret med bladlus som føde under produktionen (figur 3). Det skyldes formentlig, at bladlus har relativt lav ernæringsmæssig værdi. Er et skadeinsekt af høj fødekvalitet,



Figur 1. Relativt antal havrebladlus (*Rhopalosiphum padi*) dræbt af toplettede mariehøns (*Adalia bipunctata*) ved 15, 20 eller 25 °C, efter at mariehønsene har gennemgået deres udvikling til voksne ved hver af de tre temperaturer.



Figur 2. Effekten af 4 - 7 dages tilvæning ved 10, 15 eller 20 °C på overlevelsen af voksne hunrovmider (*Gaeolaelaps aculeifer*) efter (A) 24 timers eksponering til -2 °C eller (B) 37 dages sult ved 20 °C.



Figur 3. Valg af byttedyr hos rovtægen *Orius majusculus* efter opfostring på enten æg af melmøl (*Ephestria kuehniella*) eller på havrebladlus (*Rhopalosiphum padi*). Det ses, at der er en negativ effekt af at forsøge at tilvænne rovtæger til bladlus, idet de i mindre grad vælger bladlus som føde, hvis de er opfostret på bladlus end hvis de er opfostret på mølæg.

kan erfaringen øge rovdirets lyst til at spise det. Er det derimod af lav fødekvalitet, for eksempel på grund af indhold af giftige forsvarsstoffer, vil erfaringen i stedet lære rovdiret at holde sig fra dette bytte.

Tilsvarende har vores undersøgelser på rovmider vist nedsat præference for en skadedyrsspringhale, efter at miderne har været holdt på dette bytte og har gjort sig erfaringer med det. Denne springhale har

Rovdyr til biologisk kontrol af skadedyr i afgrøder

Rovdyr bruges i vidt omfang til biologisk bekæmpelse af skadedyr i drivhusafgrøder. Her giver vi et overblik over biologien og brugen af de tre aktivt jagende rovdyr, vi har brugt i artiklens undersøgelser. Alle stadier af de tre rovdyr kan bruges til udsætning på afgrøderne. På grund af deres forskellige biologi og byttepræferencer kan de tre arter med fordel kombineres i effektiv biologisk bekæmpelse. Alle tre arter bruges fortrinsvis i drivhuse, men kan

anvendes udendørs, da de alle er hjemmehørende i den danske natur.

Vores studier er foretaget med brug af dyr primært fra EWH BioProduction og ÖRE Bio-Protect. Studierne er foretaget i samarbejde med Torsten N. Kristensen (Aalborg Universitet, Institut for Kemi og Biovidenskab), Johannes Overgaard (Aarhus Universitet, Institut for Biologi), Lene Sigsgaard (Københavns Universitet, Institut for Plante- og Miljøvidenskab) og Erik W. Hansen (BioProduction).

Mariehønen *Adalia bipunctata* jager sit bytte direkte på afgrøderne. Den er specialist på bladlus og bruges derfor især imod disse. Den tager dog også æg af møl og sommerfugle. De er grådige rovdyr, der kan sætte mange byttedyr til livs og anvendes effektivt imod kraftige bladlusangreb. Voksne har en kropslængde på 4 til 5 mm. Arten bruges på afgrøder som krydderurter og diverse blomstrende planter.

Foto: CC by-SA 3.0



Rovtægen *Orius majusculus* jager sit bytte direkte på afgrøderne. Den er byttegeneralist og kan derfor anvendes imod en bred vifte af skadedyr. Arten bliver især brugt i bekæmpelsen af voksne stadier af trips og mellus, samt bladlus, skællus, spindemider og æg af møl og sommerfugle. Voksne har en kropslængde på 2 til 3 mm. Arten bruges på agurk og peber og på mange grøntsager og krydderurter.

Foto: Dick Belgers.



Rovmiden *Gaeolaelaps aculeifer* jager sit bytte i substratet omkring planternes rødder. Her jager den larver og pupper af skadedyr, især trips, mellus og sørgemyg, men også alle stadier af mider, nematoder og springhaler. Voksne hunner har en kropslængde på ca. 1 mm, mens hannerne kun er halvt så store. Arten bruges i beskyttelse af en lang række grøntsager og løgplanter og er populær i potteplanter.

Foto: Paul Henning Krogh.



høj næringsværdi for rovmiderne, men besidder en afskrækkende og potentielt dødelig forsvarsmekanisme. I begge tilfælde lærer rovdyrerne at nedprioritere disse byttetyper.

Genetisk forædling

Det er også muligt at optimere rovdyrerne genetisk, så de passer bedre til forholdene i marken. Både naturlig og kunstig udvælgelse (selektion) af individer med favorable træk kan være vigtig i avl og forædling. Vores studier viser, at der er variation

imellem rovinsekterne fra forskellige firmaer, og vi fandt derudover en højere genetisk diversitet i en indsamlet vild population end i nogen af firmaernes populationer.

Det betyder, at der er et genetisk grundlag for at tilpasse og forædle rovdyrerne, så de kan trives og er bedre rustede til at overleve og formere sig under forholdene i marken og dermed bedre kan bekæmpe skadedyrene.

Genetisk forædling kan for eksem-

pel fremme overlevelsen af rovdyrerne og dermed skadedyrsbekæmpelsen i marken under rigeligt kolde eller varme temperaturforhold, under høj fugtighed eller tørke, eller under let brug af pesticider.

På sigt kan man også forestille sig, at mere sulttolerante genotyper kan udvikles til udsætning, inden skadedyrene ankommer, og genotyper bedre tilpasset til et specifikt skadedyr kan udvælges. Der er med andre ord et stort potentiale i genetisk forbedring af rovdyr til biologisk kontrol. ■

Forskningen bag denne artikel er støttet af Danmarks Frie Forskningsfond, Teknologi og Produktion

Yderligere læsning

Jensen, K. et al (2017). Cold acclimation reduces predation rate and reproduction but increases cold- and starvation tolerance in the predatory mite *Gaeolaelaps aculeifer* Canestrini. *Biological Control* 114:150-157.

Jensen, K. et al (2018). Increased lipid accumulation but not reduced metabolism explains improved starvation tolerance in cold-acclimated arthropod predators. *The Science of Nature* 105:65.

Rasmussen, L.B. et al (2018). Are commercial stocks of biological control agents genetically depauperate? – A case study on the pirate bug *Orius majusculus* Reuter. *Biological Control* 127:31-38.

Sørensen, C.H., Toft, S., Kristensen, T.N. (2013). Cold-acclimation increases the predatory efficiency of the aphidophagous coccinellid *Adalia bipunctata*. *Biological Control* 65:87-94.

Toft, S., Jensen, K., Sørensen, J.G., Sigsgaard, L., Holmstrup, M. (2020). Food quality of *Ephesttia* eggs, the aphid *Rhopalosiphum padi* and mixed diet for *Orius majusculus*. *Journal of Applied Entomology* 144:251-262.



u-days

uddannelser med muligheder

Deltag digitalt og oplev din
kommende uddannelse på udays.dk

25., 26. og 27. februar 2021



AARHUS
UNIVERSITET

study
with
Aarhus

u-days

NATURVIDENSKAB TIL FOLKET



Foto: Martin Gravgaard

Foredragsrækken Offentlige foredrag i Naturvidenskab har fra sin spæde start i 2006 udviklet sig til et landsdækkende event, der samler fulde huse til livestream over hele landet.

En ambition om at tiltrække 10.000 tilhørere til et populærvidenskabeligt foredrag om kvantefysik eller molekylærbiologi ville i "gamle dage" have lydt som et rent fantasifoster, der ikke havde gang på jord. Men i dag er det den skinbarlige virkelighed. For når foredragsrækken

Offentlige foredrag i Naturvidenskab afvikler sit program hver forårs- og efterårssæson, kan der sagtens være 10.000 tilskuere en enkelt aften. De er blot ikke allesammen stuvet sammen i Søauditoriet på Aarhus Universitet, hvor foredraget rent fysisk finder sted, men sidder fordelt ud over hele landet i for eksempel

gymnasier, biografteater, biblioteker eller forsamlingshuse. Her kan publikum følge foredraget via livestream, og det er blevet en populær foreteelse mange steder i landet.

Successen med at livestream Offentlige foredrag i Naturvidenskab er et resultat af et dedikeret og målrettet udviklingsarbejde med formatet. Overordnet ansvarlig for foredragsrækken er chefkonsulent Jens Holbech, som også var den oprindelige idemand. Han fortæller, at arrangørgruppen gør rigtig meget ud af at planlægge med de forskere, der skal holde foredragene for at sikre et højt formidlingsmæssigt niveau. »Selvom foredragsholderne oftest er erfarne forskere, der har holdt masser af populære foredrag, kræver det trods alt lidt ekstra, når man adresserer op til 10.000 personer på én gang,« siger Jens Holbech. »Derfor skal forskerne også

Artikler i synergi med foredrag

Aktuel Naturvidenskab vil de kommende år bringe en række artikler, der knytter an til Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Artiklerne vil endvidere blive koblet med ekstramateriale, der skal gøre artiklerne og foredragene direkte relevante at inddrage i undervisningen i de naturvidenskabelige fag i gymnasiet. Det undervisningsrettede materiale skal laves af vores samarbejdspartnere på Viborg Gymnasium og Viborg Katedralskole. Projektet er blevet muligt takket være en bevilling fra Novo Nordisk Fonden.

De første to artikler om Rumrejser og Grønlands Indlandsis kan du finde i dette nummer. På AktuelNaturvidenskab.dk er der undervisningsmateriale og quizzet, der knytter an til disse artikler.

Af Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk

være indstillet på at bruge en del tid på at forberede deres foredrag i dialog med os arrangører.»

Over hele landet

Offentlige foredrag i Naturvidenskab blev lanceret tilbage i 2006 på Aarhus Universitet, og foredragene blev hurtigt en stor succes. Det betød, at man ikke kunne nøjes med det største auditorium i komplekset Søauditorierne, hvor foredragene rent fysisk finder sted. Man måtte også tage de fire øvrige auditorier i brug og koble dem på via videolink. Efterspørgslen var så stor, at der med tiden også måtte udvides med flere foredragsaftner til de enkelte foredrag, for at ikke for mange skulle gå forgæves efter en billet. I 2015 tog arrangørerne så konsekvensen af den store interesse og lancerede foredragene som en egentlig landsdækkende event ved hjælp af støtte fra Carlsbergfondet.

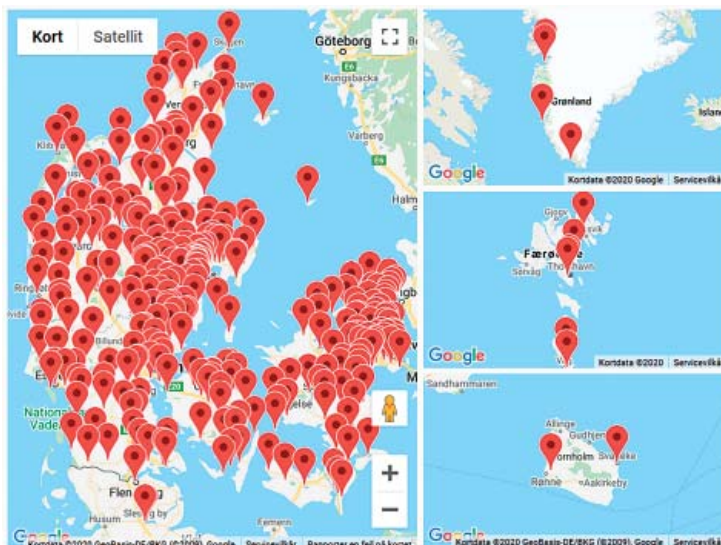
»Konceptet er, at man kan melde sig som vært for et lokal livestream-event og få adgang til signalet. Kravet til værterne er først og fremmest, at de skal give offentlig adgang til arrangementet og fri entre,« fortæller Jens Holbech.

Interessen for at være vært for et livestreaming-arrangement er steget støt gennem tiden – og her i efterårssæsonen 2020 har foredragene kunnet opleves på flere end 200 lokationer over hele landet – mange steder med fulde huse.

Plads til flere

Selvom netværket af streaming-lokationer for Offentlige foredrag i Naturvidenskab efterhånden er meget fintmasket, er der ifølge Jens Holbech stadig ”hvide pletter” på landkortet, hvor man skal køre langt for at finde nærmeste vært. »Der er med andre ord stadig plads til flere,« siger han. »Der er ikke umiddelbart nogen teknisk øvre

Foto fra auditoriet i november: Fra venstre ses værten Jens Holbech og de to foredragsholdere: Nicolaj Krog Larsen og David Lundbek Egholm, som lige er blevet færdige med aftenens foredrag. Foto: Maiken Holme Pedersen.



Streaminglokationer i efteråret 2020. Også på Færøerne og Grønland blev foredragene vist. Se mere på ofn.au.dk

grænse for, hvor mange lokationer, der kan være med.« Konceptet med lokale værter for livestreaming er for Jens Holbech blevet en del af de Offentlige foredrag i Naturvidenskab DNA. »Vi mener, at der er en stor værdi i, at foredragene er en unik begivenhed, der skal opleves i fællesskab – både for publikum, værterne og os som arrangører.«

Ambitionen for fremtiden er at udvikle foredragene, så de når så bredt et publikum som overhove-

det muligt. »I princippet skal alle, der bare er det mindste interesserede i naturvidenskab, kunne få noget godt ud af en foredragsaften. Nogle vil måske sige, at en målgruppe, der spænder fra forsker til lægmand er en umulig opgave – men jeg mener, at erfaringen har vist, at hvis man arbejder nok med formatet, kan man formidle naturvidenskab på et langt højere niveau til en langt bredere kreds, end de fleste forestiller sig,« slutter Jens Holbech. ■



Den 30. juli 2020 blev Marsroveren Perseverance opsendt fra Cape Canaveral ombord på en Atlas V raket. Roveren er en del af NASA's Mars Exploration Program. Foto: NASA/Joel Kowskyab.



REJSEN UD I RUMMET

Af Carsten R. Kjaer, redaktør, Aktuel Naturvidenskab

Rumforskning og rumrejser hænger uløseligt sammen. Raket- og rumteknologi sætter således grænserne for, hvad forskerne overhovedet kan undersøge, og rummissioner designes omvendt 100 % ud fra, hvilket formål de har. Aktuel Naturvidenskab har interviewet astrofysikeren Hans Kjeldsen om fascinationen ved rumfart.



Om forskeren
Hans Kjeldsen er professor i astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.
hans@phys.au.dk

Den 5. december 2018 var en særlig dag for Hans Kjeldsen. Den dag blev den lille satellit Delphini-1 sendt op i rummet fra Kennedy Space Center i USA. Det var ikke fordi, at netop denne lille satellit skulle udføre noget særlig interessant sammenlignet med de rummissioner, Hans ellers har været involveret i. Nej, det var fordi, det var første gang, han havde været så dybt involveret i al det praktiske forbundet med at sende

en satellit ud i rummet og at kommunikere med den. For hele projektet med Delphini-1 var udtænkt og styret fra Aarhus Universitet, hvor Hans har sin daglige gang som professor.

Når man som Hans Kjeldsen forsker i astrofysik, sker det ofte i samspil med rummissioner – for eksempel har han været meget engageret i at finde planeter omkring andre stjerner, såkaldte exoplaneter, ved hjælp af NASA's Kepler- og

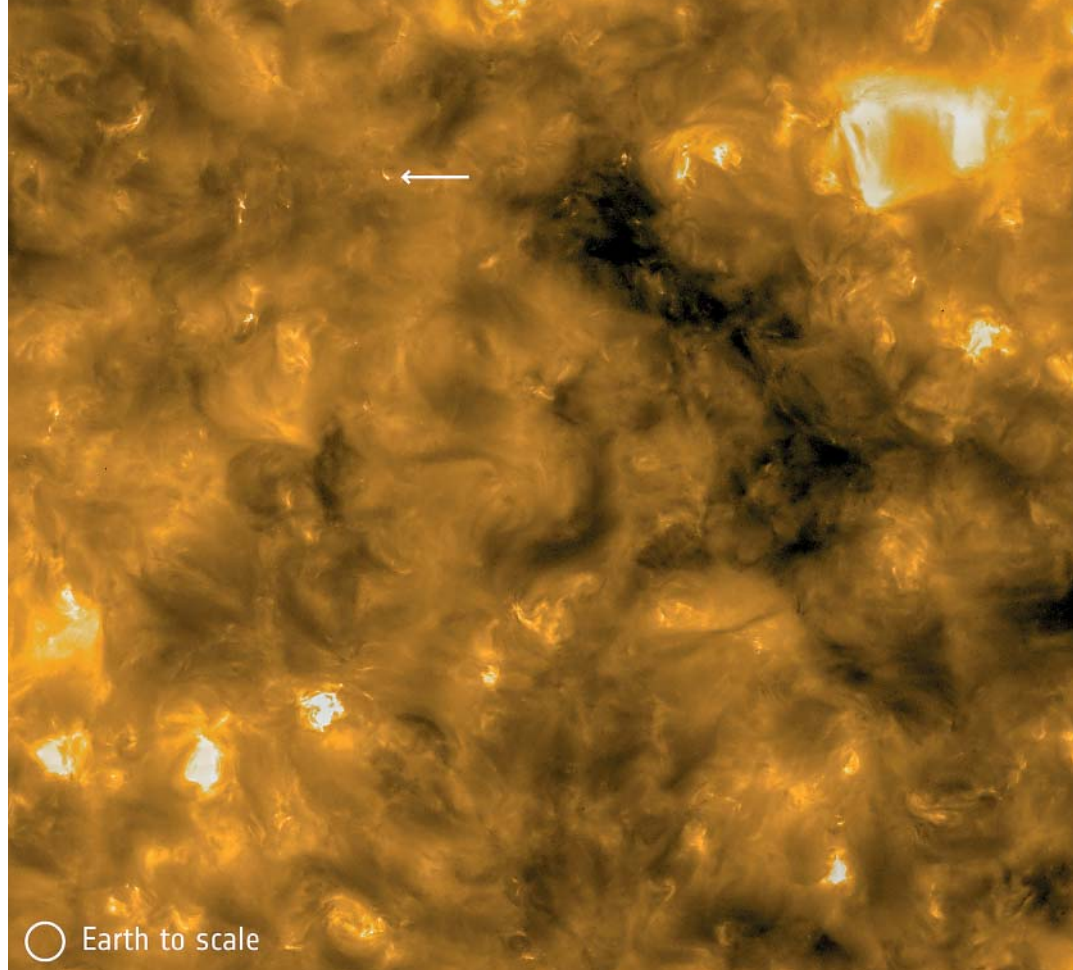
TESS-missioner. Derfor har han en naturlig interesse for al den teknologi og fysik, der ligger bag kunsten at sende en satellit i kredsløb om Jorden eller en rumsonde ud til andre planeter i vores Solsystem.

»Selvom vi astrofysikere sjældent arbejder direkte med "raketvidenskab" eller udvikler rumteknologi, spiller teknologien så stor en rolle for os, at vi bliver nødt til at vide en del om den. For teknologien sætter nemlig grænserne for, hvilke obser-

De første billeder fra rumsonden Solar orbiter kom i juli måned i år, og de rummede en videnskabelig overraskelse. Billederne viste nemlig et enormt antal små energjudladninger i Solens ydre atmosfære (kaldet coronaen), som forskerne har døbt lejrbål (camp-fires). Disse lejrbål er små slægtninge til de kæmpemæssige energjudladninger, man kan observere fra Jorden, men er millioner eller milliarder gange mindre.

Forskerne ved endnu ikke, om de blot er små udgaver af de store energjudladninger, eller om de er drevet af andre mekanismer. Hver især er de små lejrbål ubetydelige, men den kombinerede effekt af dem, kan muligvis være forklaringen på en af de største uløste gåder om Solen, nemlig opvarmningen af Solens corona.

Foto: Solar Orbiter/EUI Team/ESA & NASA



vationer vi overhovedet er i stand til at lave,« siger han.

Det var også en af grundene til, at Delphi-1-projektet blev til, da det giver de studerende "hands on" erfaring med teknologien i en rummission. Og det er også en af grundene til, at Hans blandt de mange foredrag, han holder hvert år, gerne fortæller om de helt basale principper i at opsende raketter og designe rummissioner, selvom det ikke nødvendigvis direkte handler om hans egen forskning.

»Raketvidenskab og rummissioner er bare spændende og derfor rigtig gode emner til at vække interesse for al den forskning, som teknologien baner vejen for,« siger han.

Ud i rummet

Rummissioner går hånd i hånd med forskningen, fordi missionerne designes 100 % efter, hvad man ønsker at opnå med dem – hvilket kan være vidt forskellige ting såsom at lede efter exoplaneter, studere Solen eller undersøge Mars.

»I nogle tilfælde vil man faktisk

kunne gøre de samme observationer fra jorden ved for eksempel at bygge et større teleskop. Så det er altid en overvejelse, om man ikke hellere burde gøre det, da rummissioner er ekstremt dyre«, fortæller Hans. »Men der er også masser af tilfælde, hvor det er helt nødvendigt at flytte instrumenterne udenfor Jordens atmosfære for overhovedet at kunne foretage de observationer, som man ønsker at gennemføre, ligesom der nogle gange ikke er nogen vej udenom at "tage ud og se efter"«.

Delphi-1 var som allerede antydnet ikke en mission drevet af et behov for at få bestemte forskningsdata, men en mission, der skulle give studerende og forskere ved Aarhus Universitet erfaringer med at gennemføre satellitmissioner og dermed bane vejen for mere avancerede rumaktiviteter ved universitetet.

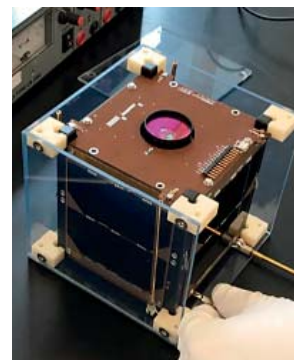
Delphi-1 er en såkaldt mikrosatellit, der ikke vejer mere end cirka et kilo og som derfor populært sagt kan medbringes som håndbagage, når en raket for eksempel

skal bringe udstyr og mandskab til den Internationale Rumstation. Men selv en så lille satellit giver adgang til, at studerende og forskere kan samarbejde om udviklingen af projektet og lære at styre og nedtage data. Satellitten er udstyret med et avanceret kamera, som kan bruges til at lave observationer af Jorden.

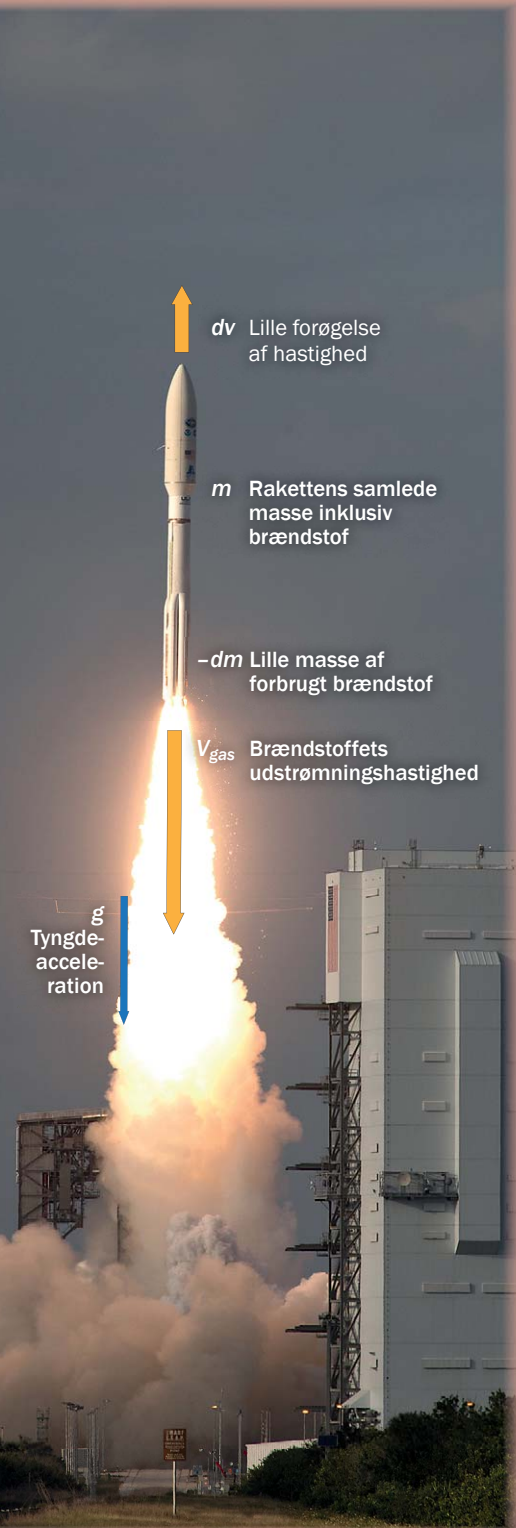
Hans Kjeldsen sender i den forbindelse et anerkendende nik i retning af Aalborg Universitet, hvor man har stor ekspertise i mikrosatellitmissioner, og hvor forskere og studerende selv har udviklet de mikro-satellitter, som er sendt i kredsløb. Virksomheden Gom Space, som har bygget komponenterne til Delphi-1, er således en spin off virksomhed af satellit-aktiviteterne på Aalborg Universitet.

Tæt på Solen

En langt mere kompleks mission end Delphi-1 er *Solar orbiter*, som Det Europæiske Rumagentur (ESA) står bag sammen med NASA. Missionen går ud på at studere Solen, og selvom det ikke er en mission, Hans er involveret i, synes han den



Delphi-1 i en acrylboks.



Baggrundsfoto: NASA

Ud i rummet

En rakets acceleration bygger på det fysiske princip, vi kalder bevarelse af bevægelsesmængden. I fysikken er bevægelsesmængden givet ved masse gange hastighed. Bevarelse af bevægelsesmængden betyder, at når raketten skyder en lille del af sit brændstof ud med stor fart, vil hele raketten bevæge sig i modsat retning og forøge sin hastighed svarende til den bevægelsesmængde, som skydes bagud.

Hvis vi kalder den lille mængde brændstof, som raketten skyder bagud og mister for $-dm$ (minus fordi raketten bliver lettere), og vi kalder brændstoffets hastighed for v_{gas} , vil det være i balance med rakettenes masse (inklusive alt det brændstof, som er tilbage), som vi kalder m og den lille hastighedsforøgelse, raketten oplever, som vi her kalder dv .

I fysikken opskrives vi dette som en matematisk ligning:

$$m \cdot dv = -dm \cdot v_{gas}$$

Denne kan let omskrives til:

$$dv = \frac{-dm}{m} \cdot v_{gas}$$

Denne ligning for en rakets bevægelse gælder kun, når raketten ikke er påvirket af tyngdeaccelerationen (for eksempel fra Jorden) og af luftmodstanden fra Jordens atmosfære.

For den masse m bliver mindre, når raketten afbrænder sit brændstof, vil det i praksis betyde, at hastighedsforøgelsen dv bliver større og større, efterhånden som raketten bruger mere og mere af sit brændstof. En raket vil derfor typisk accelerere mindst i starten, og mest når brændstoffet er næsten opbrugt. Den totale forøgelse af rakettenes hastighed, som vi kalder Δv , findes ved at lægge alle de små hastighedsændringer dv sammen, når der samtidigt tages højde for, at massen m bliver mindre og mindre, når raketten afbrænder sit brændstof.

Rent matematisk beregner vi den samlede hastighedsændring Δv fra starttidspunktet, hvor hastigheden er v_0 (typisk 0) til tidspunktet t , hvor hastigheden er v , ud fra et integral – summen over alle de små led – og den matematiske ligning, vi kan opstille, ser sådan ud:

$$\Delta v = \int_{v_0}^v dv = \int_{m_0}^m \frac{-dm}{m} \cdot v_{gas}$$

og løsningen til dette er:

$$\Delta v = \ln\left(\frac{m_0}{m}\right) \cdot v_{gas}$$

hvor m_0 er rakettenes samlede startmasse (inklusive brændstof), og m er den samlede masse af raketten (inklusive det tilbageværende brændstof), når raketmotoren slukkes (til tidspunktet t). \ln er en funktion kaldet den naturlige logaritme. Denne sidste ligning kaldes raketligningen.

Når man starter en rumrejse, eksempelvis fra Jordens overflade, må man tage højde for den måde, tyngdeaccelerationen bremser raketten. Det gøres ved at fratække den hastighed, som raketten mister, fordi tyngdeaccelerationen får raketten til at falde tilbage mod Jorden. Hvis vi kalder det lille tidsrum, hvor raketten afbrænder $-dm$ af brændstoffet, for dt , og vi kalder størrelsen af tyngdeaccelerationen for g , kan vi opstille følgende sammenhæng, hvor $g \cdot dt$ er den hastighed, som raketten taber på grund af tyngdeaccelerationen.

Hermed får vi:

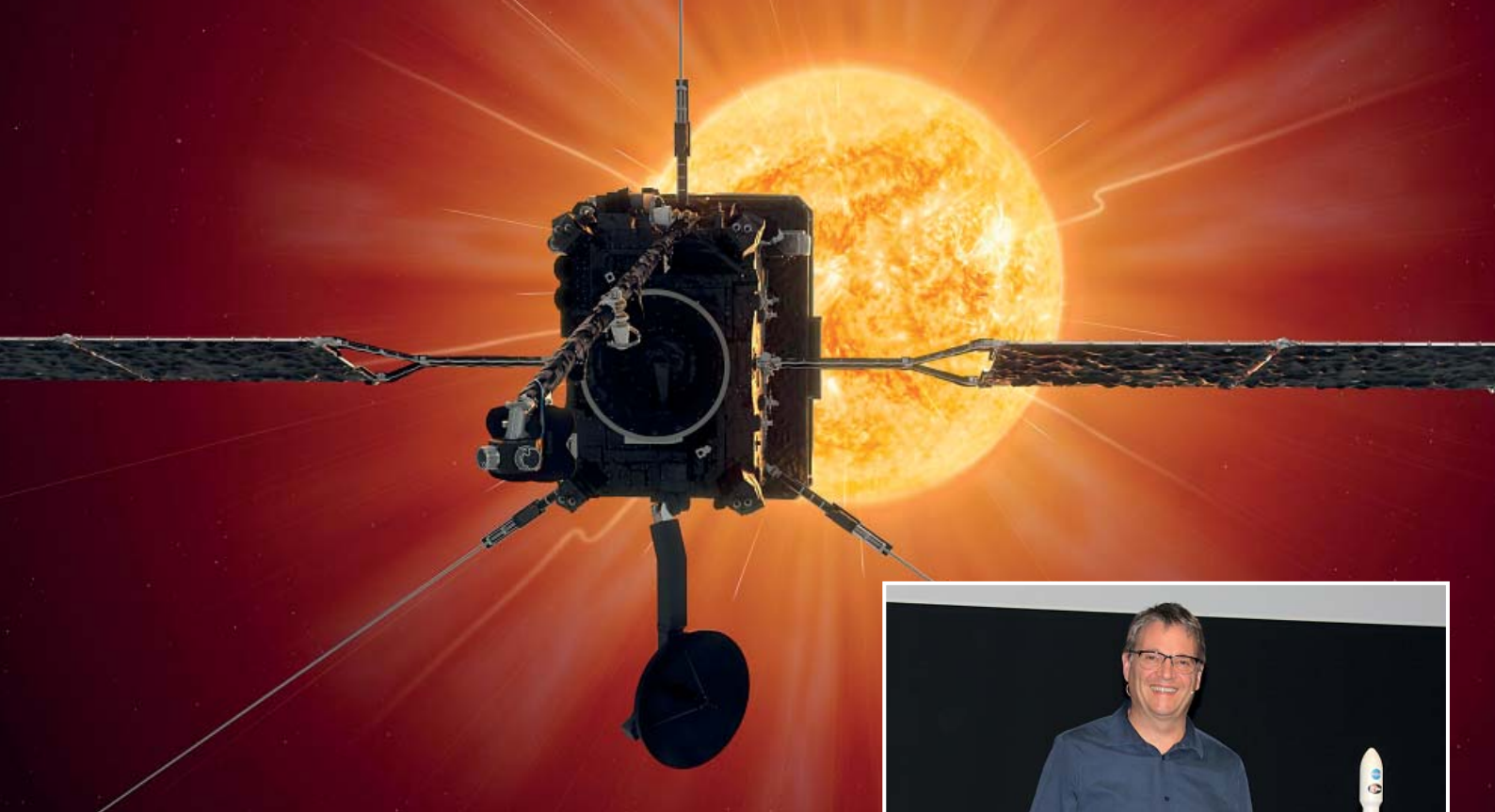
$$dv = \frac{-dm}{m} \cdot v_{gas} - g \cdot dt$$

og løses denne ligning finder vi:

$$\Delta v = \ln\left(\frac{m_0}{m}\right) \cdot v_{gas} - g \cdot \Delta t$$

hvor Δt er tidsrummet fra raketten startes til den slukkes.

Det kan ud fra denne matematiske sammenhæng ses, at for at få den størst mulige hastighedsændring Δv for raketten skal en raketdesigner gå efter at få mest muligt brændstof med ombord (så m_0 bliver så stor som muligt) og gå efter, at gassen skydes ud med så stor hastighed (v_{gas}) som muligt. Desuden er det en fordel, og også i mange tilfælde en forudsætning, at brændstoffet brændes af på så kort tid (Δt) som muligt (så raketten bremses mindst muligt af tyngdeaccelerationen).



er fagligt interessant, fordi han også selv beskæftiger sig med Sol- og stjernefysik.

Rumsonden blev opsendt i februar 2020, og den skal i et ellipseformet kredsløb om Solen, der vil bringe den tættere på Solen end nogen anden rumsonde har været før – nærmere betegnet ind til en afstand af cirka 42 millioner kilometer (Jorden befinder sig gennemsnitligt knap 150 millioner kilometer fra Solen). Herfra skal rumsonden blandt andet optage billeder og foretage målinger af sammensætningen af den tynde strøm af gas, der hele tidens udstødes fra Solens overflade – den såkaldte solvind – og knytte det til, hvor på Soloverfladen, solvinden kommer fra.

Forskerne håber, at disse observationer vil hjælpe med at besvare en række meget fundamentale spørgsmål om Solen såsom, hvad der driver 11-års cyklusen i Solens magnetiske aktivitet, hvad der opvarmer Solens øverste atmosfære (coronaen) til flere millioner grader celsius, og hvad der driver dannelsen af solvinden og accelererer den op til flere hundrede kilometer i sekundet.

Svært at flyve ind i Solen

»Når man vil undersøge Solen tæt på, er en af udfordringerne selvfølgelig, hvordan man undgår, at instrumenterne bliver ødelagt«, siger Hans

Den udfordring kan man håndtere ved at rette instrumenterne direkte mod Solen i relativt kort tid gennem et varmeskjold, og ved at udnytte tiden, hvor sonden er længere væk fra Solen i den elliptiske bane til at køle instrumenterne ned.

»De færreste vil nok tænke over, at det at sende en rumsonde til Solen i sig selv kan være en meget stor udfordring«, siger Hans. »Hvis vi havde ambitioner om at sende en rumsonde helt ind i Solen, ville det i praksis være næsten umuligt.«

Han forklarer, at dette er let nok at indse, når man har forstået sammenhængen mellem hastigheden i omløbsbanerne og afstanden til Solen. Langt ude i rummet bevæger alting sig langsomt om Solen, mens det omvendt går hurtigere og hurtigere i omløbsbanerne, jo tættere man kommer på Solen. Når vi sender en sonde ud i rummet her fra Jorden, vil den – hvis ikke vi gør andet end at få den ud i rummet



– blot følge med rundt i Jordens bane omkring Solen. Da Jorden jo ikke falder ind i Solen, skal vi altså af med hastighed, for at få den ind i en omløbsbane tættere på Solen. Og jo tættere, man ønsker at komme på Solen, jo mere skal man bremse for at komme tættere på.

»Hvis vi vil flyve helt ind i Solen, skal sonden bremses med ikke mindre end 107.200 km/t – det er helt vildt!«, siger Hans. »De fleste satellitter bevæger sig til sammenligning med en fart af cirka 7,7 km/s, dvs. 27.700 km/t.«

Et vilkår for rummissioner er, at den raketmotor, man har med, kræver meget brændstof for at ændre hastigheden – og den hastighedsændring, man kan lave, er givet ved den mængde brændstof, man har med. Den samme raketmotor vil dermed have vidt forskellig indflydelse, afhængig af, om man befinder sig langt ude i rummet

↑ Øverst: Et kunstnerisk indtryk af rumsonden Solar orbiter i færd med at undersøge Solen. Illustration: ESA/Medialab.

↑ Hans Kjeldsen på scenen ved de offentlige i Naturvidenskab. Foto: Michael B. Christiansen

I kredsløb

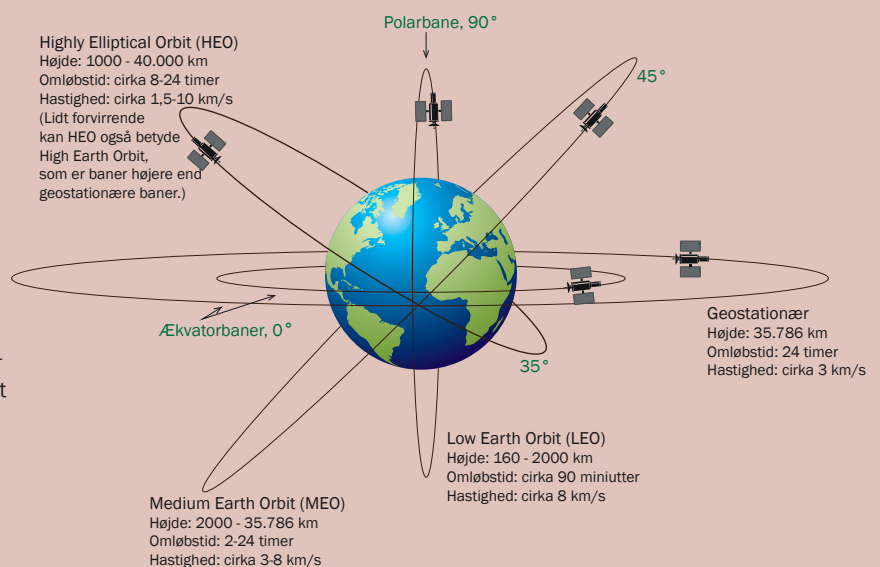
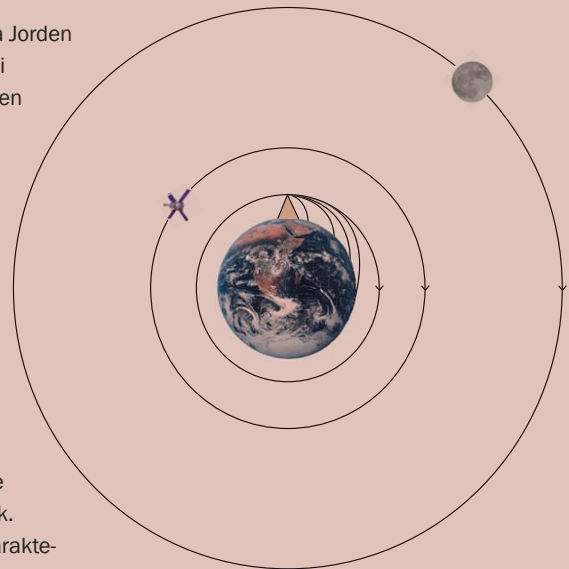
Videnskabsmanden Isaac Newton var den første til at forstå, at hvis man kaster et objekt ud fra et tilstrækkeligt højt bjerg med tilstrækkelig stor hastighed, vil det ikke ramme Jorden, men fortsætte sit fald i det uendelige (hvis man ser bort fra atmosfærens bremsende effekt). Når en satellit er i kredsløb om Jorden er den derfor i praksis i konstant frit fald, fordi dens fart præcist er balanceret med Jordens tyngdekraft i den givne højde.

Når man i dag beregner baner for satellitter i kredsløb om Jorden eller sender rumsonder på langfart i Solsystemet, er det grundlæggende stadig Newtons bevægelseslove, der regnes på i de avancerede computere.

Satellitbaner kan have forskellige banehældninger afhængig af, hvad satellitten skal bruges til. De to yderpunkter er ækvatorbaner, der ligger i Jordens ækvatorplan og polarbaner, som fører satellitten hen over Jordens syd- og nordpol. Satellitter i en polarbane vil "se" forskellige områder på Jorden for hvert omløb, da satellittens bane ikke følger Jordens rotationsretning.

Den geostationære bane gør det muligt at have satellitten placeret

over det samme punkt på Jorden hele tiden. For en satellit i denne bane er omløbstiden helt præcist 23 timer, 56 minutter og 4 sekunder (også kaldet et siderisk døgn), hvilket betyder at satellitten skal være i en højde af præcist 35.786 km over jordoverfladen. Satelliternes højde kan også være forskellig afhængig af formålet, og banen kan desuden være mere eller mindre elliptisk. Figuren nedenfor viser karakteristika for forskellige typer af baner.



eller tæt på Solen. Langt ude i rummet bevæger alting sig langsomt i banerne, og derude kan en lille hastighedsændring derfor have stor indflydelse på banen, mens det omvendt er meget svært at ændre noget tæt på Solen, fordi alting bevæger sig rasende hurtigt.

Man kan dog også komme af med hastighed ved at give lidt energi til eksempelvis Venus – altså det omvendte af, hvad man gør, når man "låner" ekstra fart fra de andre planeter, når man skal længere ud i Solsystemet. Solar Orbiters bane er designet sådan, at den jævnlige vil komme i nærheden af Venus' tyngdefelt, som sonden kan udnytte

til at ændre størrelsen af eller hældningen af rumsondens bane.

Landingens kunst

Når man ikke bare vil sende rumsonder til andre planeter, men også lande på dem, stiger kompleksiteten i missionerne. For der findes ikke en standardløsning på at lande et fartøj på et fremmed himmellegeme, så løsningen er helt og aldeles dikteret af det specifikke miljø, man skal lande i. At lande på Jorden er i den sammenhæng relativt enkelt, fortæller Hans.

»Man skal blot medbringe brændstof nok til, at man kan nå ned og ramme Jordens atmosfære, så

klarer den faktisk resten af arbejdet. Man skal blot huske også at medbringe et varmeskjold og en faldskærm til den sidste del af nedstigningen, hvis ikke landingen skal blive for hård!«, siger han.

At lande på Mars er til sammenligning en langt større udfordring, selvom Mars for en overfladisk betragtning ligner Jorden en del. At lande på Mars har man gjort mange gange – blandt andet med de to Mars-rovere *Opportunity* og *Spirit* i 2004. En ny og større rover – *Perseverance* – er i skrivende stund på vej til Mars. Den blev opsendt 30. juli 2020, og hvis alt går vel, lander den på Mars 18. februar 2021.



Illustration af den manøvre kaldet "sky crane", som bragte Marsroveren Curiosity sikkert ned på planeten i 2012. Den samme metode skal bruges til Perseverance, der når frem til Mars i februar 2021. Illustration: NASA/JPL-Caltech.

Når roveren er landet sikkert på Mars, skal den søge efter tegn på mikroskopisk liv på planeten og skal blandt andet også indsamle borekerner af klipper og sedimenter på Mars, der bliver opbevaret i forseglede rør i roveren med henblik på engang i fremtiden at blive fragtet tilbage til Jorden. Missionen medbringer også en lille helikopter (med navnet *Ingenuity*), som er et teknologiekperiment. Det er nemlig usikkert, om det giver mening at bruge helikoptere på Mars, da det svarer til at skulle flyve med en helikopter i 25 kilometers højde på Jorden. Og det kunne ingen ansvarlig helikopterpilot finde på!

Sky-kranen

Men hvordan lander man sikkert på Mars? Udfordringen er, at tætheden af Mars' atmosfære kun er cirka 1,5 % af, hvad den er på Jorden. Derfor virker den slet ikke opbremsende på samme måde som Jordens.

»Det er især den sidste del af nedstigningen, der er problematisk, for selvom man godt kan bruge en faldskærm på Mars, vil man smadre ind i planeten med omkring 300 kilometer i timen,« fortæller Hans.

Ved tidligere missioner til Mars har man brugt forskellige løsninger til at bringe fartøjerne intakt ned på overfladen: Man har brugt raketmotorer, "airbags" og en kombination af de to. Den nye rover *Perseverance*, der nu er på vej til Mars, skal landes med en metode, som også blev benyttet til at lande Mars-roveren *Curiosity* på Mars i august 2012. Landingsmanøveren inkluderer et særligt raketdrevet nedstigningsfartøj, en faldskærm og så til allersidst en helt speciel manøvre kaldet sky-crane, hvor selve roveren hejses ned i kabler under raketmotorerne. På den måde vil hele herligheden flyve det sidste stykke vej ned mod overfladen, mens hjul og andre dele af roveren folder sig ud. Så snart roveren får kontakt med overfladen, klippes kablerne, og raketten flyver væk.

»Når man hører om den landingsprocedure, tænker man umiddelbart: Det lyder da virkelig mere som fancy science fiction end som den mest smarte måde at lande et rumfartøj på. Men det er altså den bedste løsning, men har kunnet finde til at lande en så tung rover stabilt i dette miljø,« siger Hans.

Det hele skal samtidig være for-

programmeret, da afstanden til Mars gør, at der er en tidsdifferens på cirka 20 minutter. Så når vi sidder og ser manøveren "live" på computerskærmen, er det hele i virkeligheden overstået.

Fra første parket

En af de mest fascinerende sider af rumfart og rumforskning er alle de nye og spændende opdagelser, som gøres – enten ved observationer af objekter fjernt fra Solsystemet eller på de spændende rejser, som ubemandede rumsonder foretager i Solsystemet.

»Det er moderne opdagelsesrejser til nye og ukendte egne, men i modsætning til tidligere tiders opdagelsesrejser, hvor man måtte vente på nyheder og beretninger fra rejse til den opdagelsesrejsende var kommet sikkert hjem, kan vi følge med på første parket, når ESA eller NASA sender rumsonder og rovere ud i Solsystemet. Når *Perseverance*-roveren forhåbentlig lander på Mars torsdag den 18. februar 2021 kl. 21:30 om aftenen, vil vi alle kunne følge med direkte fra kontrolrummet i USA. Det bliver en utrolig spændende aften og også nervepirrende! For lykkes det?« spørger Hans. ■

Denne artikel bygger på foredraget *Rejsen ud i rummet*, som Hans Kjeldsen holdt i foredragsserien Offentlige foredrag i Naturvidenskab den 6. oktober 2020. På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside kan du finde undervisningsmateriale, der knytter an til emnet for foredraget og artiklen.

Artikel og undervisningsmateriale er lavet som led i projektet *Brobygning på første række*, finansieret af Novo Nordisk Fonden.

Videre læsning
Om Delphini-1
DELPHINI-1 – Aarhus Universitets første satellit. Aktuel Naturvidenskab nr. 1/2019.

Om Solar Orbiter
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Solar_Orbiter

Om Mars 2020
<https://mars.nasa.gov/mars2020/>

INDLANDSISENS FORTID OG FREMTID

Indlandsisen rummer potentialet til at få vandstanden i verdenshavene til at stige med syv meter og trække den lune Golfstrøm væk fra Danmark, så det i fremtiden bliver hundekoldt her i landet. Derfor er det vigtigt, at forskere forstår både Indlandsisens nutid, fortid og fremtid.



Af videnskabsjournalist
Kristian Sjøgren
ksjoegren@gmail.com

Hvis Grønlands Indlandsis en dag forsvinder helt, kan havniveauet i verdenshavene komme til at stige med op imod syv meter. Prøv selv at stille en tommestok i vandkanten på din lokale badestrand, og se så, hvor højt oppe havets overflade potentielt set kan komme. Du skal nok læne nakken tilbage. Læg dertil, at havet også udvider sig, når vandet bliver varmere, og det betyder, at vandstanden stiger endnu mere.

Når Indlandsisen smelter, har det desuden ikke kun betydning for vandstanden i verdenshavene. De enorme mængder ferskvand, som ligger bundet i isen, kan ændre på saltbalancen i den nordlige del af Atlanterhavet, og selvom det måske lyder som lidt tør forskersnak, kan resultatet blive, at Golfstrømmen ændrer sig og ikke længere sender varmt vand i retning af Danmark. Det vil med et hurtigt købmands-

overslag betyde, at gennemsnits-temperaturen i vores lille smørhul falder med syv til 10 grader.

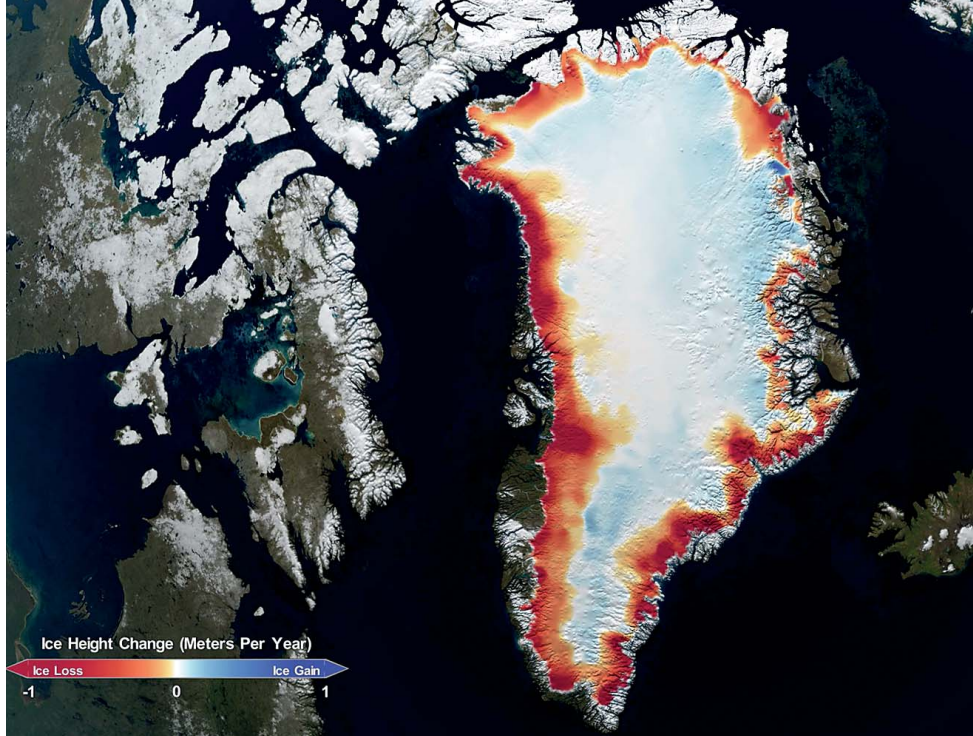
Der er altså rigtig mange både klimatiske, økologiske og samfundsrelaterede årsager til, at forskere er meget interesserede i at finde ud af, hvor hurtigt Indlandsisen i Grønland smelter, og hvad den umiddelbare effekt bliver for ikke bare Danmark, men faktisk for hele verden.

»Indlandsisen er særligt interessant i et klimaperspektiv, fordi den, hvis den smelter, kommer til at påvirke alt liv og alle mennesker på Jorden. Det gælder ikke bare i Nordatlanten, men i hele verden, hvor klimaet vil ændre sig til noget, som vi på nuværende tidspunkt ikke har det fulde overblik over. Nogle klimamodeller peger på, at det blandt andet kan betyde, at det bliver koldere og mere tørt i Europa, mens der falder mere regn i Nordafrika. Andre

modeller viser det modsatte, så vi ved det faktisk ikke, og derfor er vi nødt til at indsamle mere viden, så vores forudsigelser bliver bedre,« fortæller professor David Lundbek Egholm fra Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet.

Vil ramme hårdest syd for ækvator

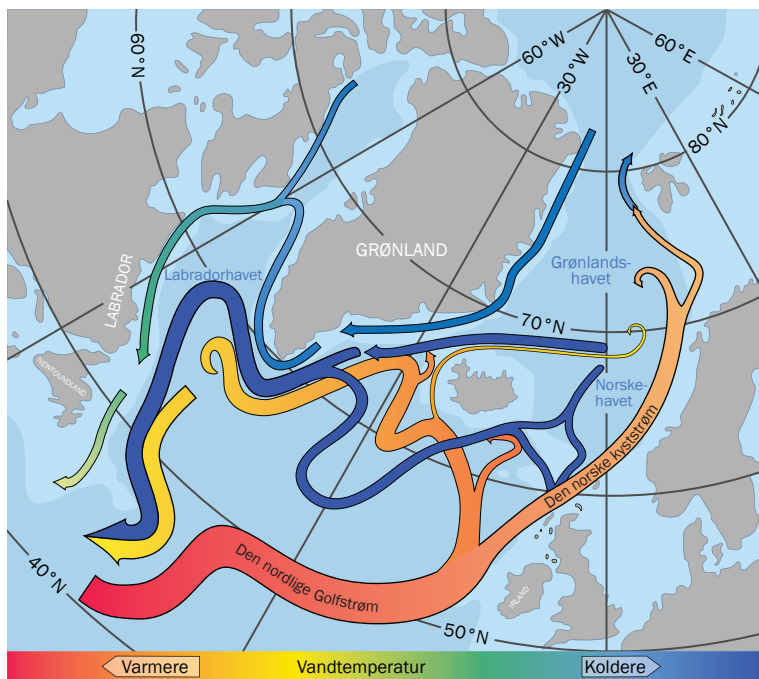
David Lundbek Egholm fortæller, at en kuriøs omstændighed ved den grønlandske Indlandsis er, at hvis den smelter, vil effekten på vandstanden faktisk ikke være størst i Danmark, selvom vi ligger så tæt på Grønland, som vi gør. Fordi Indlandsisen har en enorm masse, hvis massetilrækningskraft trækker i oceanerne og dermed får vandstanden til at stige i den nordlige del af Atlanterhavet, vil denne tilrækningskraft forsvinde, hvis isen smelter, og det vil til en vis grad udligne den potentielle vandstandsstigning, som den smeltende is afføder.



Figuren viser ændringer i istykkelsen af Grønlands Indlandsis målt over en 16 års periode (2003-2019) af NASA's satellit ICESat-2. Det fremgår, at der sker en kraftig udtynding i randen, mens isen bliver marginalt tykkere på midten.
Illustration: NASA's Goddard Space Flight Center

I stedet vil små øer syd for ækvator drukne i vand, der kommer til at række op over hustagene i østater som Vanuatu. Et land som Bangladesh hænger både billedligt og bogstaveligt talt med røven i vandskorpen, så her vil millioner af menneskers hjem blive slettet fra landkortet, hvis klima-udviklingen fortsætter.

Til gengæld kommer vi heroppe til at mærke effekten af, at Antarktis smelter, og mens Grønlands Indlandsis har potentialet til at sende syv meter ekstra havniveau i retning af den sydlige halvkugle, har Antarktis potentialet til at sende hele 58 ekstra meter havvand herop. Farvel til Rundetårn og for den sags skyld også til resten af Danmark, som vil blive reduceret til små atoller, der stikker op som græsklædte knolde i et koldt og ubarmhjertigt klima lige der, hvor Atlanterhavets rasende bølger rammer Østersøen.

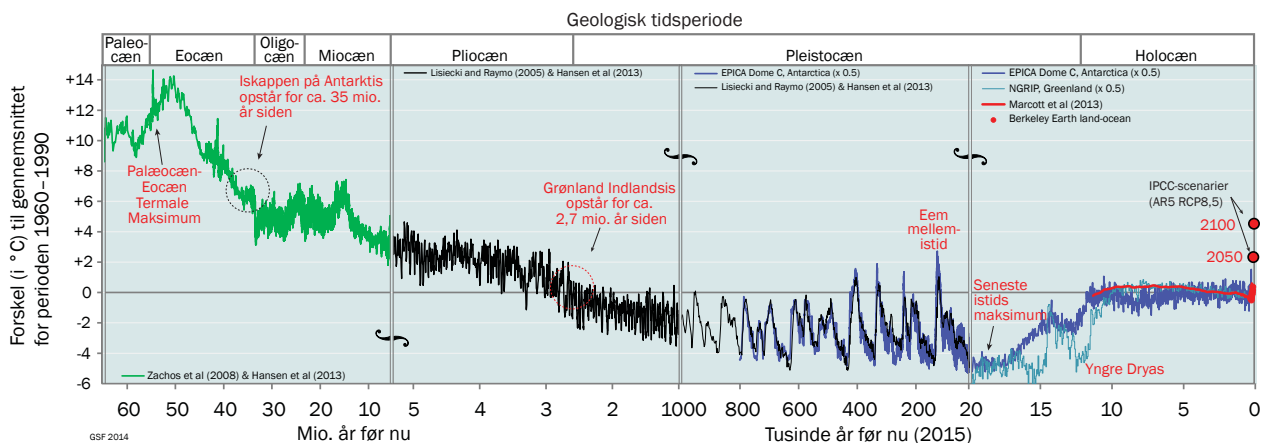


Havstrømme i Nordatlanten. Afkøling og nedsynkning af salt havvand er hovedmotoren for den termohaline cirkulation i verdens oceaner. Denne motor kan svækkes af store mængder fersk smeltvand fra Indlandsisen.
Kilde: Wikipedia & NASA, Goddard Space Flight Center.

Kommer dette scenarie så til at udspille sig lige så dramatisk, som det er malet her? Og i så fald hvornår? Det prøver forskere som David Lundbek Egholm og professor Nicolaj Krog Larsen fra Københavns Universitet at svare på. Det hurtige svar er, at klimaforandringerne effekt på Indlandsisen – og isen på Antarktis – er betydeligt

langsommere om at udspille sig end effekten af udledning af iskoldt ferskvand i det nordlige Atlanterhav.

Når ferskvand strømmer ud fra Indlandsisen, ændrer det ved den såkaldte termohaline cirkulation i verdens oceaner. Hurtigt beskrevet flyder havstrømme i tre dimensioner og bevæger sig rundt om hele kloden i et

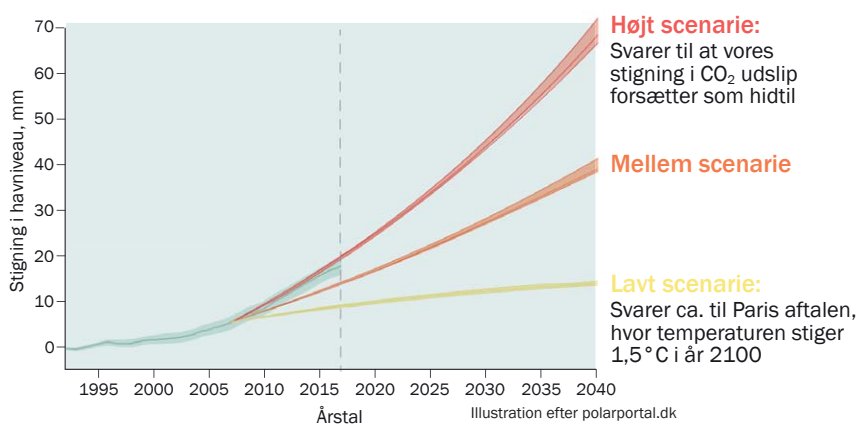


Rekonstrueret temperaturkurve for de seneste godt 60 millioner år af Jordens historie, hvor temperaturniveauet angives i forhold til et gennemsnit for perioden 1960-1990 (bemærk forskellen i tidsskala på x-aksen for de overordnede perioder). Temperaturniveauet er rekonstrueret ud fra såkaldte "proxy-data" – dvs. målbare fænomener som fordelingen af særlige isotoper i sedimenter eller iskerner.

Kilde: CC-BY-SA-3.0 commons.wikimedia.org

Den observerede og forventede havspejlsstigning på grund af afsmeltning fra Grønland og Antarktis ved forskellige klimascenarier. På trods af, at Antarktis rummer et meget større isvolumen (30,1 mio. km³) end Grønland (2,38 mio. km³), så har afsmeltningen fra Grønland hidtil stået for 2/3 af den observerede havspejlsstigning.

Afsmeltningen af Antarktis er dog ved at få momentum, og konsekvenserne af afsmeltning fra Antarktis forventes også at blive lang større i fremtiden, da den antarktiske is rummer en potentiel havspejlsstigning på hele 58 meter, mens Grønlands Indlandsis "kun" rummer 7,4 meter.



meget fastlåst mønster. Varmt vand fra troperne flyder mod nord, opvarmer blandt andet Danmark, før vandet afkøles, søger mod havbunden for derefter at forsvinde sydpå igen.

Indlagt i den dynamik er, at i Nordatlanten er den termohaline cirkulation til dels bestemt af den mængde ferskvand, som fosser ud fra Indlandsisen. Blicher den mængde større, mister det kolde vand ved Grønland delvist evnen til at synke, og det kan ændre ved dynamikken i havstrømmene. Så kan det i Nordatlanten være et farvel til Golfstrømmen med alt dens lune vand, som måske skifter bane og ikke længere flyder forbi Danmark.

»Mens vandstandsstigninger er langsommere og kommer til at foregå over mange hundrede eller endda tusinder af år, kan ændringer i den termohaline cirkulation godt komme til at ske hurtigere og inden

for århundreder eller måske endda årtier. Når Indlandsisen smelter, er der altså udsigter til ændringer i vandstandsstigninger og klima på både den korte og lange bane,« siger David Lundbek Egholm.

Fortiden skal gøre os klogere på fremtiden

For at blive klogere på, hvad vi har i udsigt over de kommende 30, 100 eller 1.000 år, kigger forskerne tilbage i tiden til perioder, hvor verdenstemperaturen har lignet den, vi har i dag eller er på vej mod.

For 120.000 år siden var verden ligesom nu i en såkaldt mellemistid, hvor temperaturen i perioder var ca. en grad højere end, hvad temperaturen har været de seneste 10.000 år – altså lige indtil industrialiseringen, hvor vi mennesker gennem massiv CO₂-udledning begyndte at sætte et stort aftryk på det globale klima. For 120.000 år siden var sid-

ste gang, at det var så varmt, som det er nu. Det kan forskere se ved blandt andet at kigge på udbredelsen af dyr og planter på forskellige kontinenter, hvor udbredelse af blandt andet skove afslører, hvor varmt det var i perioden.

Når forskerne ydermere kigger tilbage på, hvordan vandstanden i verdenshavene så ud dengang, ser de, at vandet stod seks til ni meter højere. Det kan man blandt andet se i kystområder, hvor det er tydeligt, at vandet har gnævet i kystlinjen i klipper, der i dag ligger langt over havets nuværende niveau.

»Vi kan se, at den temperatur, som vi har i dag, modsvarer en vandstandsstigning på yderligere seks til ni meter i forhold til det nuværende niveau. At vi alligevel ikke har det skyldes, at Indlandsisen og iskappen over Antarktis reagerer forholdsvis langsomt på klimafor-



Kosmiske stråler afslører, om der var is i Grønland

Når David Lundbek Egholm og Nicolaj Krog Larsen sammen med deres kollegaer skal afgøre, om der i et givent område af Grønland har været is i fortiden, indsamler forskerne først nogle prøver af klipper fra den store ø. Disse klippestykker kan komme fra eksempelvis de strømme, som leder smeltvand ud fra under Indlandsisen, eller hvis forskerne er rigtige heldige, kommer de fra borerer hele vejen ned gennem iskappen.

Prøverne knuser forskerne til et pulver, som de opløser i syre for at frigive alle de indlejrede grundstoffer. Specielt er forskerne interesserede i isotoper af grundstofferne Beryllium og Aluminium. Når disse to grundstoffer ligger blottede for verdensrummets kosmiske stråler, bliver en del af grundstofferne lavet om til isotoperne Beryllium-10 og Aluminium-26. Hvis der ligger en iskappe hen over klipperne, beskytter iskappen klipperne mod de kosmiske stråler, og så bliver forholdet mellem isotoperne forskudt, fordi de henfalder med forskellige halveringstider.

Når forskerne har knust og opløst deres prøver, kan

de analysere prøverne med massespektroskopi, som fortæller dem, hvor stor en del af de to grundstoffer der findes som Beryllium-10 og Aluminium-26. Det afslører over for forskerne, om der har været isdække i millioner af år, eller om isen har været forsvundet, og klipperne har været eksponeret.

Nogle af disse målinger fra det centrale Grønland viser, at der inden for de seneste to millioner år har været isfrit ad flere omgange. Det betyder dog ikke, at hele Grønland har været isfrit. David Lundbek Egholm fortæller, at den østlige del af Grønland er præget af høje bjerge, der kan have beskyttet en iskappe fra at smelte. Ligeledes kan der også have eksisteret iskapper mod nord og mod syd, selvom midten af Grønland var blotlagt.

»Ved at lave flere og flere af denne slags undersøgelser kan vi få en idé om udbredelsen af Indlandsisen i fortiden, og det vil give os en indikation af, hvad der kommer til at smelte i fremtiden, hvis ikke temperaturen falder,« siger David Lundbek Egholm.

ændringerne, så de har ikke endnu justeret ismængden til den nuværende temperatur. Men vi har med de menneskeskabte klimaforandringer lagt i kakkellovnen til, at vandet kan stige til de niveauer en dag om flere hundrede år. Derfor er det nødvendigt, at vi bringer atmosfærens CO₂-indhold ned igen inden da,« forklarer David Lundbek Egholm.

Angriber problemet fra flere vinkler

Når forskere som Nicolaj Krog Larsen og David Lundbek Egholm skal blive klogere på Indlandsisens

udbredelse under den seneste mellemistid, griber de fat i forskellige metoder til at belyse spørgsmålet. Blandt andet undersøger forskerne iskerneboringer for at finde ud af, om der overhovedet var is i Grønland for 120.000 år siden. Hvis der ikke var det, er det en indikator på, at vi er på vej mod et isfrit Grønland og syv meter højere verdenshave, hvis vi bibeholder den nuværende temperatur.

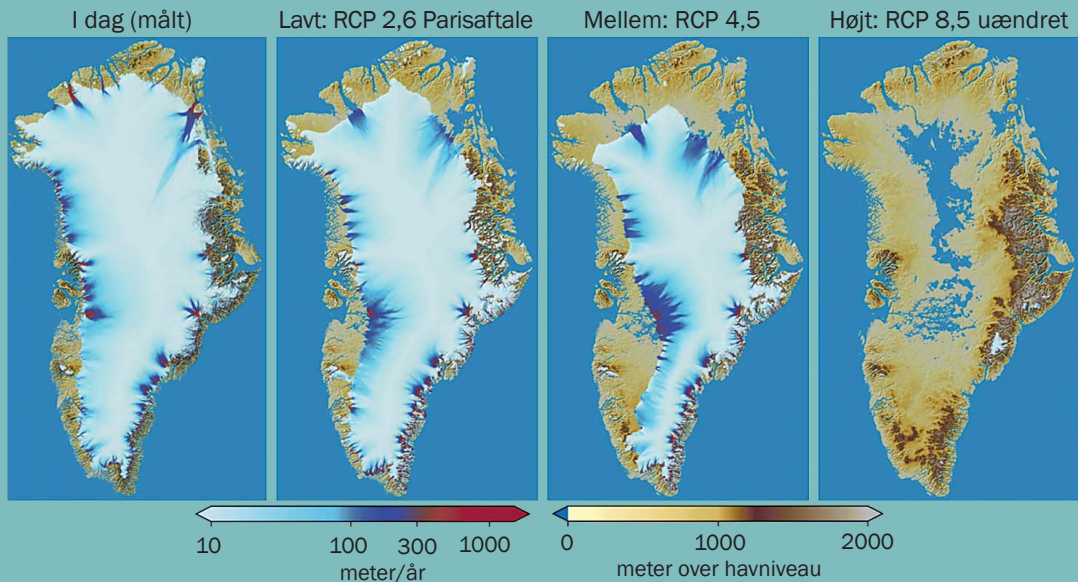
Når forskerne skal identificere, om der var is i Grønland i fortiden, borer de langt ned i iskappen og tæller meget simpelt antallet af

islag, som bliver dannet år for år. Her har danske forskere fra Københavns Universitet som eksempel fundet beviser for en iskappe over Grønland for 120.000 år siden, hvilket indikerer, at den nuværende temperatur i hvert fald ikke er høj nok til at få alt isen til at smelte.

Forskere kan også ved at analysere indholdet af forskellige isotoper i sten fra under iskappen bestemme, om der inden for de seneste par millioner år permanent har ligget is i et givent område, eller om der kan have været isfrit.

Figuren viser forskellige scenarier for Grønlands Indlandsis i fremtiden. Helt til venstre ses situationen i dag (2018), mens de øvrige er mulige scenarier om 3000 år ved forskellig klimapåvirkning. Scenariet RCP 2.6 er, hvis CO₂-udledning følger Paris-aftalen, mens RCP 8.5 er det såkaldte "Business as usual" – altså, at der ikke gøres noget for at begrænse CO₂-udledningen.

Illustration fra: Aschwanden, A. et al: Science Advances, Vol. 5, no. 6, eaav9396



Grønland kan blive til én stor sø af ferskvand

David Lundbek Egholms forskningsmæssige hjertebarn, når det kommer til den grønlandske Indlandsis, er ikke isen i sig selv, men landskabet nedenunder isen.

Inden for de seneste 10 år har forskere med hjælp fra avancerede radartechnikker fået et indblik i, hvordan jordoverfladen ser ud under Indlandsisen. Her har de blandt andet set, at der er store kløfter, som smeltvand har skabt i fortiden.

Et andet interessant perspektiv i den grønlandske undergrund er, at hele Grønland er trykket så meget ned af den kilometer tykke iskappe, at en stor del af den store ø faktisk ligger under havets overflade. Det betyder, at hvis man antager, at alt isen smelter, så vil en stor del af det faktisk ikke rende ud i havet med det samme, men vil i stedet danne en gigantisk ferskvandssø, hvor den nuværende grønlandske kyststrækning vil være søbredden. Denne sø vil langsomt dræne ud i havet, men det er muligt, at der i perioder kan

komme store skyl af ferskvand fra søen ud i havet, og det vil have katastrofale konsekvenser for havstrømme, havet, dyrene i det og det globale klima.

Når isen smelter, vil landjorden desuden begynde at hæve sig igen, så Grønland langsomt vil stige op af havet som et omvendt Atlantis. Denne proces er dog uhyggelig langsom, hvilket vi også kender til fra Danmark. For mere end 20.000 år siden var dele af Danmark også dækket af en kilometer tyk iskappe, som sidenhen smeltede. Iskappen trykkede vores landjord ned, og Danmark stiger stadig op af havet – dog ikke så hurtigt, som det har gjort tidligere.

»Det kan man blandt andet se ved, at vi i Nordjylland har havbund. Den stammer fra et tidspunkt, hvor Nordjylland endnu ikke var steget op over havets overflade, som det er nu. Sådan vil det også være i Grønland, hvis alt isen smelter. Så vil den fulde effekt også tage 10.000 til 20.000 år,« siger David Egholm.

Til sidst, men ikke mindst, prøver forskere også i borekerner, der går helt ned til jordoverfladen under Indlandsisen, at identificere spor efter planter og skove, som kun kan have vokset der, hvis der har været isfrit.

»Det gælder for os alle sammen om at finde ud af, hvor stor udbredelsen af Indlandsisen har været i sammenlignelige perioder med den, som vi lever i nu. Hvis vi kan identificere, hvor stor en del af isen, som

smeltede den gang, kan vi bruge det til at gøre vores modeller for fremtidens iskappedække endnu mere præcise og dermed også lave mere præcise beregninger af, hvordan klimaet og verden kommer til at se ud over de næste hundrede eller tusinde år,« siger David Egholm.

David Lundbek Egholm fortæller også, at forskere fra både den nordlige og sydlige halvkugle lige nu prøver at finde ud af, hvor meget Antarktis og Indlandsisen hver især

har bidraget til fortidens havniveau-stigninger. Her er der endnu ikke enighed.

»Forskere debatterer, hvor vandet kom fra: Antarktis eller Grønland? Forskere, der arbejder med Indlandsisen, mener, at det meste af vandstandsstigningerne måtte komme fra Antarktis, og forskere, der arbejder med Antarktis, mener, at hovedparten kom fra den Grønlandske Indlandsis. Det mangler vi også at få afklaret,« siger han. ■



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



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 lettere at vælge en naturvidenskabelig uddannelse. Du kan fx:

- Deltage i online Åbent Hus 3. – 5. marts 2021
- Prøve KU's online **uddannelsestjek**
- Blive "Studerende for en dag"

Læs om **uddannelsestjekket**
og besøgs mulighederne på

science.ku.dk/ba

MØRKETALLET OG DE SVÆRE BETINGEDE SANDSYNLIGHEDER

Selv med en god test, der viser om man har antistoffer mod COVID-19-virus, er der ofte kun cirka 50 % chance for, at man reelt har haft sygdommen, selvom man tester positiv. Det får vi den matematiske forklaring på her.

I gennem corona-krisen har vi ofte hørt om mørketal. Det henviser til alle de mennesker, der har været smittet med COVID-19, men som ikke optræder i statistikkerne, fordi de aldrig er testet positive - blandt andet på grund af manglen på testkapacitet i starten, eller fordi de ikke har haft symptomer. Vi ved derfor ikke, hvor stor en andel af befolkningen, der reelt har haft COVID-19, og derfor kan antages at være immune - det er et mørketal.

Hvorfor er det så vigtigt at kende mørketallet?

Fra en samfundsmæssig synsvinkel vil vi gerne kunne forudsige, hvor mange syge vi kan forvente i den kommende tid, og da er mørketallet vigtigt, fordi jo større andel af befolkningen, der er immune og ikke kan smitte videre, jo mindre spredning vil der være af sygdommen. Men også fra et personligt synspunkt vil vi gerne vide, om vi er immune og derfor ikke risikerer at blive syge eller at smitte andre.

Det viser sig imidlertid, at selvom vi kan lave pålidelige befolkningsundersøgelser, der kan estimere mørketallet, er det meget sværere at estimere nøjagtigt, hvem de immune personer er. Det skyldes

en kontraintuitiv effekt, når små sandsynligheder er i spil, der kan være svær at forstå. Denne artikel handler om disse sandsynligheder, og hvordan de spiller sammen.

Krav til en god antistoftest

Det er ikke kun mørketallet, vi ikke kender. Der er stadig mange ting, vi ikke ved om COVID-19. Vi ved for eksempel ikke, om man bliver immun, og i så fald, hvor længe man er immun. Der er rapporteret få tilfælde af personer, der er testet positiv for COVID-19 to gange. Men det skal det ikke handle om her.

Lad os for nu antage, at man bliver immun, i hvert fald for en tid, og vi derfor kan bruge mørketallet til at forudsige udviklingen i smitten i befolkningen. Statens Serum Institut har for nyligt igangsat et større studie af befolkningen i Danmark for at afdække mørketallet, *Vi tester Danmark*, hvor en halv million personer har fået tilbudt en antistoftest.

En COVID-19-antistoftest er en blodprøve, der kan påvise, om en person har antistoffer mod SARS-CoV-2, den virus, der giver COVID-19-infektion. Mange antistof-test er i øjeblikket under udvikling, og der er allerede mange gode test tilgængelige, hvor "god" betyder, at testen har en høj *sensitivitet* og en høj *specifцитet*. Sensitivitet er sandsynligheden for, at testen korrekt identificerer en person med antistoffer, også kendt som *den sande positivrate*.

En meget følsom test vil identificere de fleste mennesker, der har antistoffer, og kun en lille del af dem med antistoffer vil ikke blive fundet af testen, også kaldet *falske negativt*. Specifцитet er sandsynligheden for, at testen korrekt identificerer en person uden antistoffer. Dette er kendt som *den sande negativrate*. En test med høj specifцитet vil identificere de fleste mennesker uden antistoffer, og kun en lille del af dem uden antistoffer vil testen identificere som havende antistoffer, også kaldet *falske positive*.

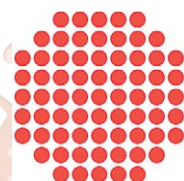
Bemærk, at vi vil gerne have en test, hvor begge disse sandsynligheder er høje. Vi kan altid lave en test med 100% sensitivitet, hvis vi



Foto: Lars Svahnjær

Forfatteren

Susanne Ditlevsen er professor ved Institut for Matematiske fag, Københavns Universitet. Hun forsker i statistisk analyse, stokastiske processer og matematiske modeller i biologi. susanne@math.ku.dk



Logoet for Vi tester Danmark.

**VI TESTER
DANMARK**

Epidemiologiske begreber

Figuren opsummerer mulighederne, når befolkningen testes for antistoffer mod SARS-CoV-2, den virus der giver COVID-19-infektion. Antag, at befolkningen består af N personer. Man kan da inddele dem i fire grupper givet ved, om deres test vil være positiv eller negativ, og givet ved, om de har antistoffer eller ej. Hvis personen har antistoffer, og testen er positiv, kaldes det en sand positiv, og på samme vis for de andre felter.

De epidemiologiske nøglebegreber, kan aflæses af figuren.

Prævalens (mørketal): andelen af befolkningen med en bestemt tilstand (Her er det andelen af befolkningen, der har antistoffer mod SARS-CoV-2). Mørketallet eller prævalensen kan findes ved n_{ja}/N i diagrammet.

Sensitivitet: Sandsynligheden for at en test er positiv givet, at personen, der testes, har det, der testes for (her antistoffer). Sensitiviteten kan findes ved n_{11}/n_{ja} i diagrammet.

Specificitet: Sandsynligheden for, at en test er negativ givet, at personen, der testes, ikke har det, der testes for, her antistoffer. Specificiteten kan findes ved n_{22}/n_{nej} i diagrammet.

Positiv prædiktiv værdi: sandsynligheden for, at en person har det, der testes for givet, at personen er testet positiv. I vores tilfælde er det sandsynligheden for at have antistoffer givet, at man er testet positiv. Den positive prædiktive værdi kan findes ved n_{11}/n_{pos} i diagrammet.

Sand positiv: Et positivt testresultat for en person, der har det, der testes for, her antistoffer.

Sand negativ: Et negativt testresultat for en person, der ikke har det, der testes for.

Falsk positiv: Et positivt testresultat selvom personen ikke har det, der testes for.

Falsk negativ: Et negativt testresultat selvom personen har det, der testes for.

Anti-stoffer	Ja	Nej	
Test			
Positiv	n_{11} Sand positiv	n_{12} Falsk positiv	n_{pos}
Negativ	n_{21} Falsk negativ	n_{22} Sand negativ	n_{neg}
	n_{ja}	n_{nej}	N

Rækkesummerne angiver antallet af positive henholdsvis negative tests, $n_{pos} = n_{11} + n_{12}$, og $n_{neg} = n_{21} + n_{22}$.

Søjlesummerne angiver antallet med og uden antistoffer

$$n_{ja} = n_{11} + n_{21} \text{ og } n_{nej} = n_{12} + n_{22}$$

Vi får således, at $n_{pos} + n_{neg} = n_{ja} + n_{nej} = N$.

er ligeglade med specificiteten – vi kan jo bare sige, at alle er positive! Men det er åbenlyst ikke brugbart. Der er allerede udviklet flere test med en sensitivitet på næsten 100% og også en høj specificitet på omkring 95-99%. Med så store sandsynligheder må vi da kunne stole på resultatet af testen! Men, desværre, sådan er det ikke. Lad os se, hvorfor det ikke er tilfældet.

Når mørketallet spiller ind

Sandsynligheden for, at personer med et positivt testresultat, virkelig har antistoffer kalder vi den *positive prædiktive værdi*. Det er altså den, vi er interesseret i, når vi bliver testet og vil vide, hvad sandsynligheden er for, at vi er immune, forudsat at testen er positiv. Men den positive prædiktive værdi er

ikke det samme som sensitiviteten, og det er derfor, det er så vanskeligt. Mens sensitiviteten kun afhænger af egenskaber ved testen, afhænger den positive prædiktive værdi nemlig også af mørketallet – det vil sige andelen af befolkningen, der har antistoffer i blodet på tidspunktet for testen. Den positive prædiktive værdi vil typisk være meget mindre end sensitiviteten, hvis der ikke er så mange, der har antistoffer.

Sensitiviteten og den positive prædiktive værdi er kun de samme, hvis sandsynligheden for, at en person har antistoffer, er den samme som sandsynligheden for, at testen er positiv. Det kræver, at sensitiviteten og specificiteten er 100%, men det sker kun meget

sjældent (hvis nogensinde!) for hvilken som helst test. Faktisk er de meget forskellige, hvis mørketallet er lavt, som det nok er de fleste steder på dette tidspunkt i pandemien. Det er nemlig sådan, at jo lavere mørketallet er, desto lavere er den positive prædiktive værdi. Det betyder, at en COVID-19-antistof-test, selv med høj sensitivitet og specificitet, der anvendes i områder, hvor mørketallet er lavt, vil have en lavere positiv prædiktiv værdi end i et område, hvor mørketallet er højere. Mørketallet varierer formentlig meget fra område til område, men de fleste steder i Danmark er et skøn på 2-5% nok ikke langt fra sandheden i skrivende stund.

Lad os antage en test med sen-

Betingede sandsynligheder og Bayes' formel

En *betinget sandsynlighed* er sandsynligheden for, at en bestemt hændelse indtræffer givet, at en anden hændelse er indtruffet. Lad os definere to hændelser A og B. Da betegnes den betingede sandsynlighed for, at A indtræffer givet, at B er indtruffet, for $P(A|B)$, der læses "sandsynligheden for A, givet B".

Eksempel: lad hændelserne A og B være

A: en person har antistoffer

B: personen har et positivt testresultat

Sandsynligheden $P(A)$ er mørketallet, og $P(B)$ er sandsynligheden for, at testen er positiv for en tilfældigt udvalgt person. Da kan sensitiviteten skrives som den betingede sandsynlighed

$$P(B|A)$$

og den positive prædiktive værdi kan skrives som

$$P(A|B).$$

De er ikke det samme! Bayes' formel fortæller os, hvad forholdet er mellem de to betingede sandsynligheder. Bayes' formel siger, at

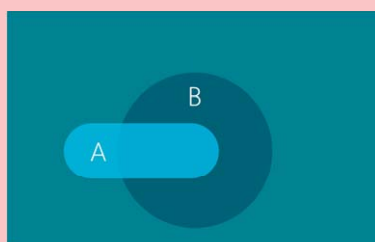
$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

hvor vi antager, at $P(B) > 0$. Vi ser således, at de to betingede sandsynligheder kun er det samme, hvis $P(A) = P(B)$. Her er $P(A)$ og $P(B)$ *marginale* sandsynligheder, dvs. sandsynligheder for enkelthændelser uden at inddrage eventuelle sammenhænge med andre hændelser. Sandsynligheden $P(B)$ kan findes ved loven om total sandsynlighed, hvor man opdeler efter, om personen har antistoffer eller ej,

$$\begin{aligned} P(B) &= P(B|A)P(A) + P(B|\text{ikke } A)P(\text{ikke } A) \\ &= \text{sensitivitet} \times \text{prævalens} + \\ &\quad (1 - \text{specificitet}) \times (1 - \text{prævalens}). \end{aligned}$$

Her har vi brugt, at $P(\text{ikke } A) = 1 - P(A)$ og $P(B|\text{ikke } A) = 1 - P(\text{ikke } B|\text{ikke } A)$, hvor $P(\text{ikke } B|\text{ikke } A)$ er lig med specificiteten.

Illustration af de betingede sandsynligheder. Hele firkanten symboliserer hele befolkningen, og arealet af mængderne A og B er proportionale med sandsynligheden for hændelserne. Fællesmængden for A og B er repræsenteret ved overlappet mellem de to mængder, og arealet er proportional med sandsynligheden for at begge hændelser sker.



$$\begin{aligned} P(A) &= \frac{\text{area af A}}{\text{area af firkant}} & P(A|B) &= \frac{\text{area af overlap}}{\text{area af B}} \\ P(B|A) &= \frac{\text{area af overlap}}{\text{area af A}} \end{aligned}$$

sitivitet på 100% og specificitet på 98%, der bruges i et område, hvor mørketallet er 2%. Så er den positive prædiktive værdi lig med 0,5 (se Faktaboks 3). Selv med så god en test er sandsynligheden for at have haft COVID-19 altså kun fifty-fifty, selvom du tester positiv for antistoffer!

Usandsynlige hændelser i spil

Årsagen er, at der er to usandsynlige hændelser i spil: sandsynligheden for, at du er immun (en lille sandsynlighed givet ved mørketallet), og derfor testes positiv (med stor sandsynlighed, i eksemplet ovenfor med sandsynlighed en) – eller sandsynligheden for, at du vil

blive testet positiv, selvom du ikke har antistoffer (en lille sandsynlighed), men mange mennesker uden antistoffer vil blive testet (fordi mørketallet er lille), og dermed vil antallet af falsk positive være stort.

Hvorfor dette er så kontraintuitivt forklares smukt i den stærkt anbefalelsesværdige bog af nobelpriserinder Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*, der viser, hvordan vi psykologisk har tendens til at glemme eller ignorere forekomsten af det, vi undersøger (mørketallet) i lyset af yderligere information (resultatet af testen).

En lav positiv prædiktiv værdi betyder, at flere individer får et falsk positivt resultat, hvilket er farligt, da et positivt testresultat sandsynligvis vil gøre os mere afslappede og måske ændre adfærd, fordi vi ikke er bange for at blive smittet eller at smitte andre. I dette specielle eksempel kan vi være sikre på, at vi ikke har antistoffer, hvis vi får et negativt resultat, da sensitiviteten er 100%, så der er ingen falske negative.

Et aktuelt eksempel

Lad os lave udregningerne for den antistoftest, der er blevet tilbudt et stort udsnit af den danske befolkning i kampagnen *Vi tester Danmark*. Her er sensitiviteten omkring 93% og specificiteten 98%. Testen er altså ikke lige så god som de bedste test, man kan få. Hvis mørketallet er 2%, da bliver den positive prædiktive værdi lig med 0,49. Det gør altså ikke den store forskel for den positive prædiktive værdi, at sensitiviteten er så meget lavere. Det er fordi, den største fejlkilde er falsk positive (og ikke falsk negative).

Formentlig er mørketallet højere visse steder, for eksempel i København, og det gør faktisk en stor forskel. Lad os antage, at den er 5%, da får vi, at den positive prædiktive værdi er lig med 0,71. Den positive prædiktive værdi stiger altså fra omkring 50% til omkring

Udregning af den positive prædiktive værdi

Den positive prædiktive værdi er givet ved udtrykket:

$$\frac{\text{sensitivitet} \times \text{prævalens}}{\text{sensitivitet} \times \text{prævalens} + (1 - \text{specificitet}) \times (1 - \text{prævalens})}$$

Lad os antage en test med sensitivitet på 100% og specificitet på 98%, der bruges i et område med prævalens på 2%. Så er den positive prædiktive værdi:

$$\frac{1 \cdot 0,02}{1 \cdot 0,02 + (1 - 0,98)(1 - 0,02)} = 0,5.$$

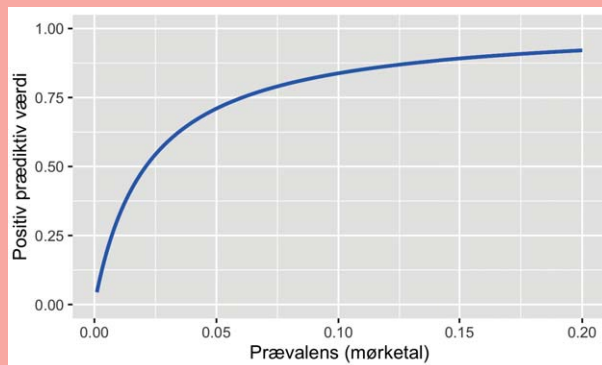
Mange af de tests, der bruges nu, har så høj sensitivitet og specificitet (dog nok ikke dem, man kan købe på apoteket).

Lad os regne nogle eksempler med de tests, der benyttes i det store danske studie *Vi tester Danmark*. Her er sensitiviteten omkring 93% og specificiteten 98%. Hvis prævalensen er 2%, da bliver den positive prædiktive værdi lig med:

$$\frac{0,93 \cdot 0,02}{0,93 \cdot 0,02 + (1 - 0,98)(1 - 0,02)} = 0,49.$$

Hvis prævalensen er 5%, da får vi:

$$\frac{0,93 \cdot 0,05}{0,93 \cdot 0,05 + (1 - 0,98)(1 - 0,05)} = 0,71.$$



I figuren er den positive prædiktive værdi afbildet som funktion af prævalensen for en test med sensitivitet på 93% og specificitet på 98%.

70%, blot fordi mørketallet stiger fra 2 til 5%.

Selvom det er svært at identificere de specifikke personer, der har antistoffer, kan vi stadig bruge testene til at opnå gode estimater af

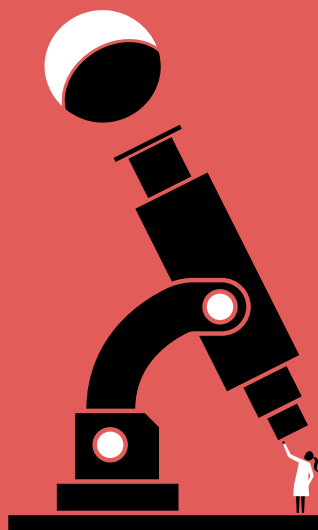
mørketallet. Hvis vi tester mange, kan vi korrigere for det forventede antal falske positive og falske negative. Vi kan derfor få rimelige befolkningsestimater, selvom de individuelle estimater ikke er gode. ■

Litteratur

Statens Serum Institut, Vi tester Danmark. www.vitesterdanmark.dk.
Statens Serum Institut, Fokus på mørketallet for COVID-19. www.ssi.dk/aktuelt/nyheder/2020/fokus-pa-morketallet-for-covid-19.
FDA U.S. Food & Drug Administration. EUA Authorized Serology Test Performance. www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-disease-2019-covid-19-emergency-use-authorizations-medical-devices/eua-authorized-serology-test-performance. Retrieved on September 9, 2020.
D. Kahneman. (2020). *Thinking, Fast and Slow*. Penguin Books. 2011

Tag på camp på SDU

Kom tættere på dit studievalg



- **Fysik & Astronomi Camp 6.-7. marts 2021**
sdu.dk/fysikcamp
- **Kemi Camp 6.-7. marts 2021**
sdu.dk/kemicamp
- **Datalogi Camp 6. marts 2021**
sdu.dk/datalogicamp
- **Matematik Camp 7. marts 2021**
sdu.dk/matematikcamp
- **Biotek Camp 6.-7. marts 2021**
sdu.dk/biotekcamp
- **IT Camp for Piger 20.-21. marts 2021**
sdu.dk/itcampforpiger

NYE VIRKELIGHEDER I UNDERVISNINGEN

Teknologier til at skabe virtuelle verdener eller blande virkelighed og virtuel verden er vidt udbredt i dag. På Syddansk Universitet undersøger forskere, hvordan man kan udnytte disse teknologier til undervisning og træning.



Af Gunver Majgaard som er lektor ved Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet samt SDU Game Development and Learning Technology. gum@mmmi.sdu.dk

Masser af danskere bruger i dag teknologierne Virtual Reality (VR) og Augmented Reality (AR) med den største selvfølghed. Virtual Reality betegner som bekendt en virtuel verden, mens Augmented Reality blander det fysiske og virtuelle miljø – de mest kendte eksempler er nok spillet Pokemon Go og Snapchat. Begge applikationer kombinerer smartphonekamera og grafik i samme visning.

Vi er nu ved at undersøge, om teknologien er moden nok til at kunne anvendes med lige så stor selvfølghed til undervisning og træning, og hvordan man bedst bruger den til disse formål. Umiddelbart har Extended Reality, som er en samlebetegnelse for VR og AR, en række egenskaber, som virker oplagte at udnytte i undervisnings- og læringssituationer:

- Det giver mulighed for statisk og dynamisk visualisering af 2D- og 3D-systemer
- Det kan give intense oplevelser (som at være der selv)
- Det giver mulighed for at interagere med det virtuelle system

I undervisningssammenhænge bliver alle disse elementer ofte udnyttet i kombination.



Foto: Patricia Lyk

Situation fra spillet VR-festLAB, hvor man er til VR-fest og skal vælge mellem sodavand og alkohol-typer. Øverst kan man se, hvor meget alkohol man har drukket. Hvis den gule bar bliver helt fuld slutter festen før tid.

I denne artikel vil jeg introducere teknologierne og præsentere en række konkrete eksempler på, hvordan teknologierne er anvendt i læringssammenhænge i folkeskolen, gymnasiet, universitetet og på sundhedsområdet.

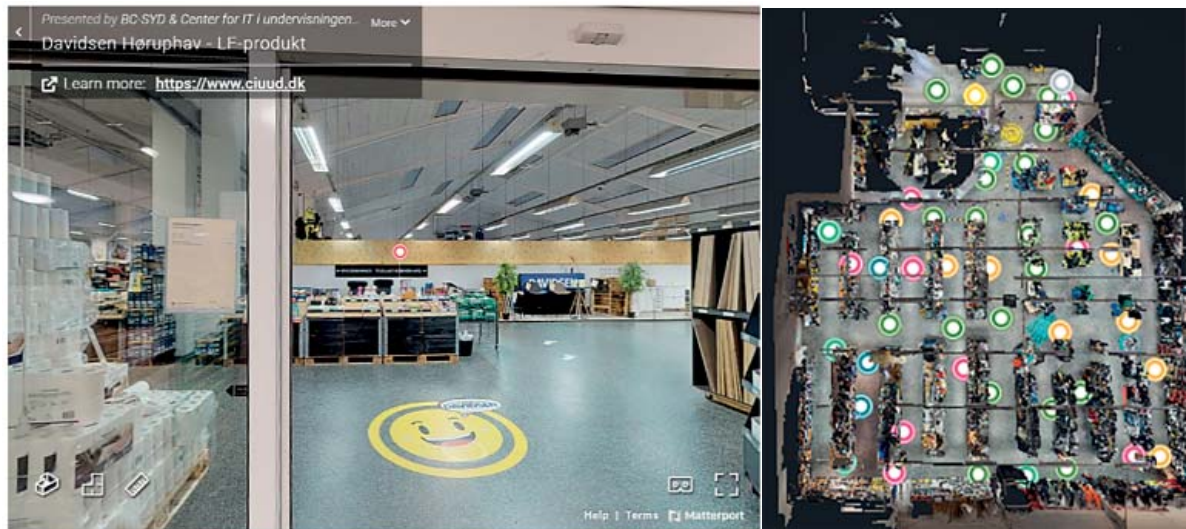
På druk med VR

Spillet VR FestLab er et eksempel på et interaktivt 360° VR spil, hvor man kan eksperimentere med at drikke forskellige mængder af alkohol i VR og opleve effekterne. Målgruppen er unge i 8.- 10. klasse, som snart skal skifte til ungdomsuddannelse. Ideen er, at de unge i en virtuel verden skal opleve alkohols virkning og lære at identificere og imødegå gruppepres. I spillet er man først til en forfest og derefter til en større fest. Til festen

kan man flirte, gå i baren og danse. Man kan også opleve en ven, der bliver fuld og kaster op og vælge at hjælpe ham. Jo mere, man vælger at drikke i simulationen, des sværere bliver det at styre simulationen, og man risikerer også, at festen slutter for tidligt med et blackout. I øjeblikket bliver det testet, om spillet har en forebyggende effekt på alkoholindtaget hos målgruppen. Spillet er udviklet i et samarbejde mellem Syddansk Universitet, SSP, Trykfonten og Askov høj- og efterskole. Vi skal netop til at gå i gang med at udvikle en tysk version af spillet.

Digitale tvillinger

En digital tvilling er en digital kopi af et fysisk objekt eller område – det kan for eksempel være en forret-



Digital tvilling af byggemarked, som kan anvendes fx af HHX. Man kan bevæge sig rundt i butikken ved at klikke på de runder markeringer, se figuren herunder. Man kan også se butikken fra oven eller måle områder butikken.

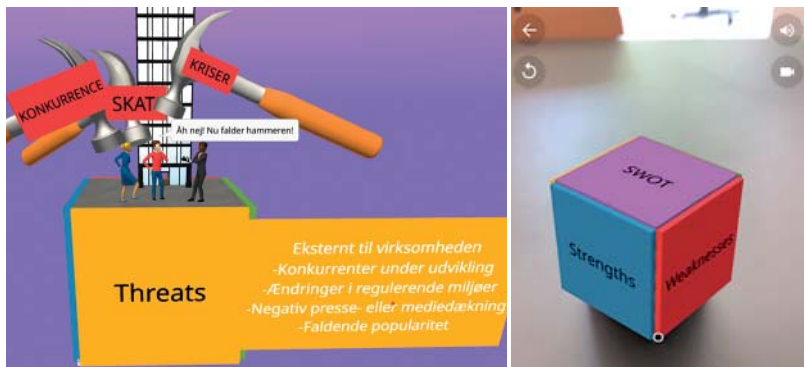
Illustrationer fra ciuud.dk

ning som et byggemarked, hvor Det Blå Gymnasium i Sønderborg og CIU har arbejdet med Davidsens byggemarked, som er fotograferet med et særligt 360°-kamera. Den digitale tvilling af byggemarkedet kan besøges med en VR-briller eller fra en computer. I en undervisnings-sammenhæng kan man eksempelvis først besøge byggemarkedet med VR-brillen for den mere intense oplevelses skyld og derefter genbesøge simulationen på computeren for at kunne analysere setuppet. Digitale tvillinger af forretninger kan bruges i forbindelse med undervisning af handelsskoleelever, som skal lære at analysere produktet, placering, iøjnefaldende områder, kundestrømme og butikslayout.

CIU Center for IT i Undervisningen er et nationalt center, som understøtter brug af IT på erhvervsskolerne, og de arbejder i øjeblikket med at udvikle undervisnings-scenarier og optagelser med denne type teknologi. I industrien har for eksempel Grundfos med succes udviklet digitale tvillinger til træning af nye medarbejdere til montage af vandpumper. Digitale tvillinger spås at have et stort potentiale til teknisk salg, træning og læring.

Digital produktion på ungdomsuddannelserne

I projektet Arducation.dk, arbejder partnerne på at udvikle undervisningsforløb, der inddrager VR og AR



Cospaces til konstruktion af AR simulationer vha. drag and drop og blokprogrammering.

Illustrationer: Gunver Møjlgaard

i ungdomsuddannelserne (specifikt inden for handel og teknik, dvs. EUD og HHX/HTX/EUX).

Et af de værktøjer, vi arbejder med i projektet, er Cospaces, hvor man med drag and drop i kombination med blokprogrammering kan opbygge simulationer i VR og AR fra et browservindue. Simulationen kan så testes på en nyere smartphone. Man kan arbejde med produktet både i udskolingen og på ungdoms-

uddannelserne. Første undervisningsforløb var et introforløb til cospaces, hvor de faglige mål var knyttet til konstruktion af IT-systemer i informatikfaget på HHX. 26 elever udviklede på 80 minutter en simulation af en mand, som kører på cykel i AR. I øjeblikket afprøver underviserne selv værktøjet og udtænker undervisningsforløb for eksempel arbejder Det Blå Gymnasium Vestfyn med visualisering af SWOT-modellen (en model til at



VR-brille. Med sensorer registrerer brillerne hovedbevægelser, og helt nye briller kan også registrere pupillerne og dermed, hvor man kigger hen. Ofte vil der være kontrollere til interaktion.

Om Extended Reality

Augmented Reality (AR) og Virtual Reality (VR) er nye teknologier, der bruger mobile enheder såsom smarte headset, smartphones og tablets. Hvor VR finder sted i et virtuelt miljø, blander AR det fysiske og virtuelle miljø. Denne blanding kan illustreres som et kontinuum mellem de fysiske omgivelser og det virtuelle miljø (se figur).

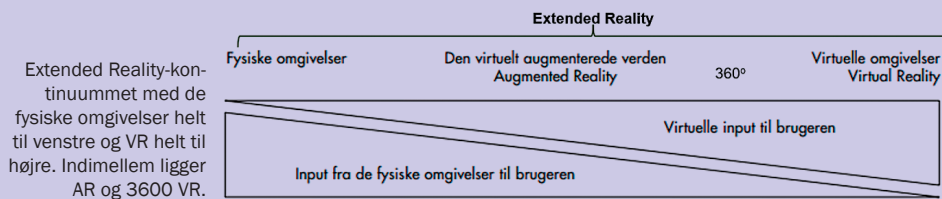
VR er en computergenereret grafisk simulering til at skabe illusionen om deltagelse i et virtuelt tredimensionelt syntetisk miljø. Den virtuelle oplevelse præsenteres stereoskopisk i en hovedmonteret lukket brille med to skærme, der registrerer hovedbevægelser.

Når man bevæger hovedet i en vilkårlig retning i VR, bevæger simulationen sig tilsvarende. Hvis der er lidt forsinkelse mellem hovedbevægelser og simulationens bevægelser, kan det give brugeren kvalme og ubehag, der minder om køresyge.

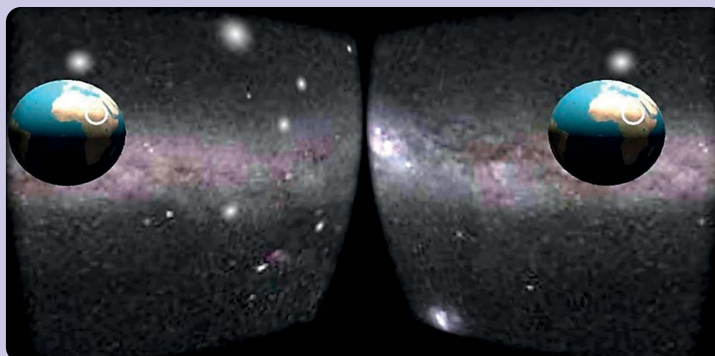
Det kan også opstå, hvis man i VR kører i rutsjebane eller går rundt, selvom man i den fysiske verden sidder helt stille. Når man udvikler nye VR-programmer, skal man derfor designe, så brugerne ikke bliver syge med mindre det er meningen (i rutsjebane- og flyvespil vil man eksempelvis gerne påføre brugeren milde symptomer på bevægelses-syge).

VR forbindes ofte med begrebet immersion, som dækker over intense oplevelser, der er meget tæt på. Selvom man har store tunge briller på og kigger på en grovkornet simulation, så narres ens sanser, så man føler, at man er der.

Hvor VR finder sted i en virtuel verden, blander AR det fysiske og virtuelle miljø. De mest kendte eksempel på AR er måske spillet Pokémon GO og Snapchat. I begge applikationer kombineres smartphonekamera og grafik i samme visning.



Extended Reality-kontinuumet med de fysiske omgivelser helt til venstre og VR helt til højre. Indimellem ligger AR og 360 VR.



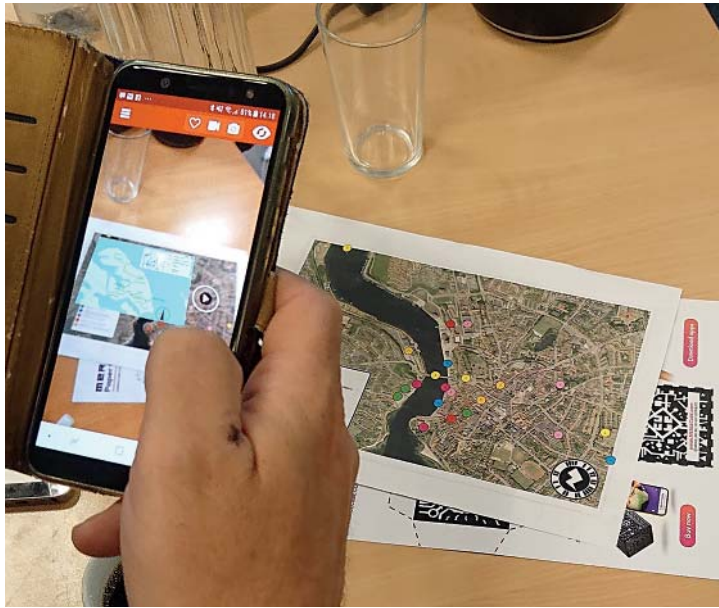
Det indvendige af brillerne er delt op i to dele, så man kan understøtte dybdevisning – eller det stereoskopiske perspektiv. Jorden vises lidt forskudt på de to skærme.

Foto: Stig Strøsig



Eksempler på AR i Pokémon GO og Snapchat





Illustrationer: Gunver Mejlgaard

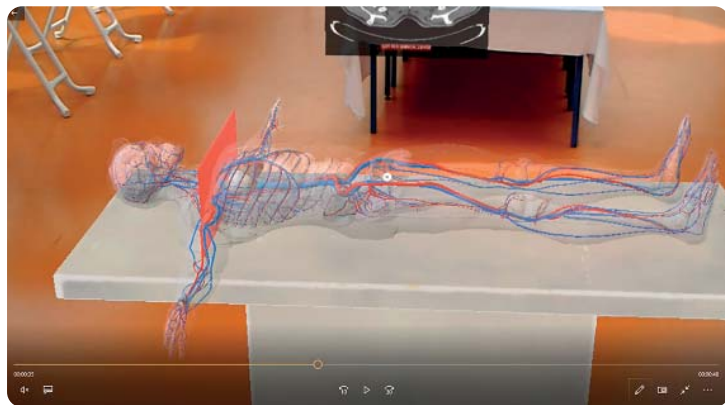
Kort over Sønderborg med farvede prikker som triggerpunkter. Når smartphonen bevæger sig henover et triggerpunkt aktiveres en video, fotos eller grafik udarbejdet af eleverne. HoloLens er en AR-brille.

analysere styrker, svagheder, muligheder og trusler i et projekt) vha. af en fysisk terning. Eleverne får med Cospaces erfaring med at udvikle AR- og VR-programmer i informatikfagene.

HHX 1.g fra DBG i Sønderborg har for nyligt gennemført temaugle med værktøjet Zapworks AR (som minder om Cospaces), som kombinerede samfundsfag, matematik og informatik. Forløbet kredsede om Sønderborgs byudvikling, hvor eleverne udarbejdede regressionsanalyse over befolkningstilvæksten, som kombineredes med gamle bykort. Zapwork blev anvendt til visualisering af særlige nedslagspunkter i byudviklingen, som har haft betydning for kultur, økonomi, politik, geografi, teknologi, endog udvandring.

Hjælp til tolkning af scanningsbilleder

Det er en kompliceret opgave for medicinstuderende at fortolke og relatere 2D-billeder til den tredimensionale krop. Vi har udviklet en applikation, som kan hjælpe medicinstuderende med at fortolke todimensionale CT-scanningsbilleder (computer tomografi). Applikationen er baseret på en teknologi kaldet HoloLens, som er en AR-brille, hvor



Hologrammand i 3D og CT-skanning i 2D.

man kan se sine fysiske omgivelser, samtidig med at man får projekteret grafik op på indersiden af brillen. Vi ønskede i projektet at undersøge styrker og svagheder ved HoloLens-teknologien i forhold til at bruge den til undervisning og læring.

I AR-verdenen ser man et standardiseret hologram af en mandlig krop kombineret med udvalgte billeder fra et CT-billede. CT-billederne præsenteres i de rette rumlige positioner som skiver i hologramkroppen. Man kan så vælge, hvilke strukturer der vises på kroppen (for eksempel hud, vaskulært system osv.). Man kan gå rundt om hologramkroppen, se detaljer tæt på og sammenligne den samtidige præsentation med de forskellige CT-billeder.

At arbejde med Hologrammer kan syntes besnærende, men i praksis er teknologien ikke helt moden endnu. Eksempelvis er det temmelig indviklet at interagere med håndtegn eller talegenkendelse. Man skal tit forsøge sig flere gange, før det virker. Men om et par år kan det være, at der kommer et godt og billigere produkt på markedet, som vi kan eksperimentere med.

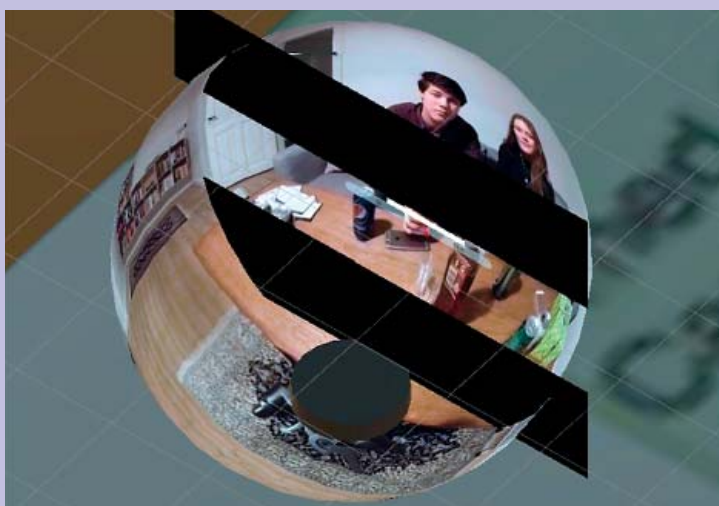
Kognitiv træning og læring på sundhedsområdet

I et andet projekt indenfor sundhedsområdet har vi kombineret interaktive 360°-videoer og 3D-grafik til træning af indlagte patienter med spiseforstyrrelser. Formålet er at gøre patienterne bedre til at handle dagligvare som en del af at

360° VR

En af de nyeste VR-trends er 360°-teknologi. Der optages videoer eller stillbilleder med 360-kamera, der som oftest består af to ultra-vidvinkel fiskeøjelinsler. De to 180°-billeder bliver så klistret sammen i software. For at videosekvenser eller stillbilleder kan opleves i VR-briller, skal de placeres på indersiden af en kugleskal. Brugeren står i centrum, se billederne. Man kan anvende den dansk udviklede spilmotor Unity til at udvikle sekvenser af kugleskaller, interaktivitet og spilelementer.

360° videoer er en billig måde at skabe indhold til en VR-oplevelse.



Kugleskal med 360°-video klistret på indersiden. De sorte rektangler er dialogbokse.

Illustrationer: Gunver Mølggaard

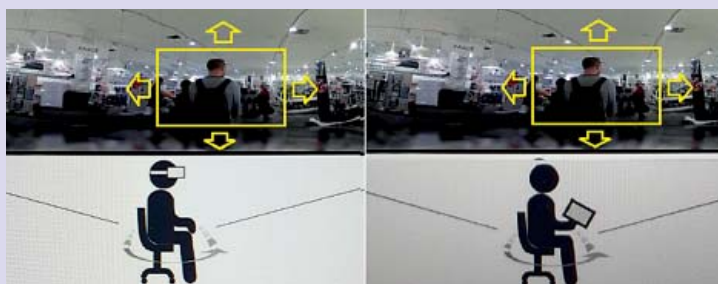
Kameraer fås fra under 2000,- kroner. I en undervisningssituation kan man på denne måde besøge virk-

somheder i Kina eller steder, som det ellers ikke er nemt at komme, for eksempel Keopspyramiden.

Immersive vs non-immersive visning

VR- og 360°-oplevelser kan opdeles i to kategorier: immersive, som opleves igennem en VR-brille, og non-immersive, som opleves på en desktop, tablet eller smartphone. Det kan være den samme applikation. Vi kender især non-immersive 360°-visning fra Google Maps street-view.

I en undervisningssammenhæng er det ofte nemmere at arbejde med non-immersive visning, idet det ikke kræver særligt udstyr udover



Eksempel på immersive visning til venstre og non-immersive visning til højre.

adgang til en web-browser. Flere elever kan også samtidig dele oplevelser og evt. sammen arbejde med

undervisningsaktiviteter. Non-immersive oplevelser er dog ikke så intense følelsesmæssige oplevelser.

kunne leve et normalt liv. I samspil med terapeuten løser patienten de problemer, som kan opstå, hvis butikken er løbet tør for en konkret type madvare, og støtter patienten i at vælge et alternativ. Rent teknisk er der scannet brød og frugt ind med en 3D-scanner, og disse objekter er så herefter placeret i softwarescenen og gjort interaktive. Det giver en mere direkte interaktivitet med objekter i simulationen, og det giver også en bedre tredimensionel oplevelse.

Et andet eksempel, hvor 360°-VR vinder udbredelse, er interaktive eksponeringsvideoer til at understøt-

te kognitiv adfærdsterapi til behandling af patienter med social angst. Ideen er at træne patienterne i at være i sociale situationer og leve et mere normalt liv uden for hjemmet, for eksempel køre bus, sidde på en bænk med en fremmed, tale i store forsamlings, spise i kantinen på arbejde eller handle ind i et storcenter. 360°-scenarierne anvendes som en del af terapien under vejledning af en terapeut. Vi deltager i øjeblikket i et forsøg, hvor vi sideløbende med eksponeringen måler biometriske data, for eksempel sved, pupil og puls. Disse ekstra data bruges i terapien til at guide graden af eksponering. Projektet er i sin begyn-

delse, men vi har allerede en første version af et scenarie, som foregår på en bænk, hvor der sidder en person. Situationen vil for de fleste mennesker se meget uskyldig ud, men hvis man lider af social angst kan det trigge angsten at skulle sætte sig ved siden af en fremmed. Samarbejdspartnere i projektet er Trygfonden, I-motion, Telepsykiatrisk Center og Syddansk Universitet.

Nye muligheder i undervisningen

I en terapeutisk sammenhæng er man nu sine steder så langt, at VR- og AR-teknologien skal tænkes sammen med den normalt tilbudte



Indscannet brød og frugt løftes fra reol ned i indkøbskurven.

terapi. Til gengæld er det helt nyt at arbejde med teknologien på ungdomsuddannelserne, og det tager tid at udvikle relevante undervisningsforløb. Og undervisningsforløbene skal også kunne noget andet og mere end de traditionelle undervisningsmidler for at vinde indpas. Derfor er det vigtigt, at undervisere selv er nøglepersoner i udviklingen af undervisningsforløbene, således de har ejerskab og selv kan optimere didaktik, elevaktiviteter mv.

I denne artikel har jeg igennem eksempler peget på noget af det unikke ved disse nye teknologier. Det er særligt den intense oplevelse (på fagsproget kaldet "immersion"), at opleve noget, der ellers ikke er tilgængeligt, og koblingen af 2D- og 3D-verdener, som er det unikke. Derudover bliver de unge



Eksempel på eksponeringsterapi med 360°-simulation. Scenariet har titlen "Kvinden på bænken" – patienten kan ved at trykke på den grønne knap sætte sig ved siden af kvinden. Man skal så blive siddende, selvom hun taler i telefon og endda taler til en.

på uddannelserne bedre forberedt på vores fælles digitale muligheder og fremtid. Da flere af teknologierne som nævnt endnu ikke er helt

modne, kan vi forvente, at mulighederne bliver flere og prisen lavere i takt med at teknologien udvikler sig yderligere. ■

Videre læsning
videnscenterportalen.dk/ciu/katalog/paa-tur-i-et-byg-gemarked-bring-praksis-ind-i-klasselokalet-med-3d-360-graders-miljoeer/

arducation.dk/swot-analyse-med-ar/

arducation.dk/hhx-sonderborg-byudvikling/

portal.findresearcher.sdu.dk/da/publications/1%C3%A6ring-af-anatomi-med-augmented-reality-optimering-af-1%C3%A6ring-genn

Nørgaard, C., Dyhrberg O'Neill, L., Chemnitz, J., & Majgaard, G. (2019). Learning Anatomy with Augmented Reality: – learning design and app design for optimal learning. Læring og Medier (LOM), 12(20). doi.org/10.7146/lom.v12i20.109569.

sdu.dk/ing #sduing



Savner du nye input til din undervisning?

Gør din undervisning mere levende med workshops eller oplæg fra Det Tekniske Fakultet på SDU. Med workshoppen 'Sensorer i teori og praksis' lærer eleverne via praktiske øvelser med sensorer.

Workshoppen starter med, at eleverne får en grundlæggende introduktion til sensorer, herunder deres opbygning og om anvendelsen af forskellige typer af sensorer.

Den praktiske del består i at eleverne foretager en række målinger på en sensor, for derved at kunne beregne eksempelvis temperaturen i rummet. Målingerne noteres til senere databehandling.

Workshoppen kan foregå på gymnasiet eller på SDU i Sønderborg og varer 2-6 timer afhængigt af jeres ønsker.

Book sensor workshoppen eller se vores mange andre workshops og oplæg her: sdu.dk/moedteknik

Vil du vide mere?

Skriv til engineeringsonderborg@tek.sdu.dk eller ring på **6550 1651**.

Pakkeudbringning er et af de forretningsområder, hvor *the traveling salesman's* problemet er mest velkendt. Der skal ikke ret mange pakker til, før det bliver praktisk umuligt at udregne den optimale rute.

Foto: Shutterstock



Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjogren@gmail.com



DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Aarhus Universitet, Michael Møller Hansen. Læs mere på www.dff.dk

LØSNINGENS KUNST

Selvom en bestemt gruppe matematiske problemer i teorien måske er umulige at løse, finder praktikere alligevel tilfredsstillende måder at løse disse problemer på. Matematikeren Jakob Nordström vil i sin forskning gerne binde teori og praksis bedre sammen.

Lad os starte med et spørgsmål: Forestil dig, at du skal regne ud, hvad den optimale rute skal være for at levere 10 pakker på 10 forskellige adresser i København. Hvordan kan du gøre det med færrest muligt kørte kilometer?

Den letteste måde at løse det problem på er ved at prøve sig frem

mellem de 3.628.800 forskellige muligheder. Det kommer givetvis til at tage noget tid, men det er alligevel muligt.

Nu er problemet bare, at udbringningsfirmaer sjældent skal uddele 10 pakker i København om dagen, men måske nærmere i omegnen af 10.000. Her er det umuligt at tjekke alle muligheder selv. Tallet er sim-

pelthen for stort. For at være mere præcis er tallet i omegnen af 35.000 cifre langt, hvilket på et A4-ark med skriftstørrelse 11 svarer til omkring 10 sider. Det er et enormt tal!

Den naturlige tanke vil for de fleste af os derfor være at få en algoritme i en god computer til at regne det ud for os. Algoritmer, eksempelvis dem bag Googles internetsøgning-

ger, kan trods alt filtrere mellem milliarder og atter af milliarder af søgeresultater og komme med lige netop det svar, som du skal bruge, inden for under en tiendedel af ét sekund. En lignende algoritme kan vel udregne, hvordan man hurtigst muligt får leveret en ladning pakker i hovedstaden?

Så let er det dog ikke, fortæller professor Jakob Nordström fra Datalogisk Institut ved Københavns Universitet. Problemet er, at computeren skal lave så vanvittigt mange beregninger, at tid bliver en faktor.

Uddybning: Én milliard milliarder fylder i tal i omegnen af en halv linje på et A4-ark. Tallet for mulige postruter gennem København er meget, meget, meget... .. meget større.

»Det er tal i en helt anden størrelsesorden. Lad os antage, at en algoritme skulle udregne den hurtigst mulige rute til at bringe 1.000 pakker ud. Så vil det tage en hurtig computer mellem 10 og 100 år at regne det ud, fordi den skal igennem så mange beregninger. Taler vi om 10.000 pakker eller måske 100.000 pakker, vil det tage endnu længere tid. Selv hvis hvert eneste atom i universet var en moderne supercomputer, som havde regnet på det her problem siden universets fødsel for 13 mia. år siden, ville de stadig kun have udregnet en fraktion af en fraktion af løsningen,« fortæller Jakob Nordström.

Jakob Nordström arbejder netop på at forstå lignende problemer og udvikle algoritmer, som kan løse dem.

Nogle problemer er meget svære at løse matematisk

Problemet med at udregne den optimale rute i forhold til at levere pakker kaldes for *the travelling salesman's problem* inden for matematik og den teoretiske computervidenskab.

Det er et problem, som der meget tydeligt er en helt klar løsning på

The travelling salesman problem

The travelling salesman problem stiller det meget simple spørgsmål: Hvad er den korteste rute mellem en række byer, når man kender til afstanden mellem alle byerne, man kun må besøge byerne én gang, og man skal vende tilbage til den oprindelige by til sidst. Det er ikke svært at forestille sig, at mange fragtfirmaer, postomdelere osv. er interesserede i at finde det svar, fordi de på den måde kan spare på både tid og penge til benzin ved at benytte den korteste rute, når de skal bringe ud.

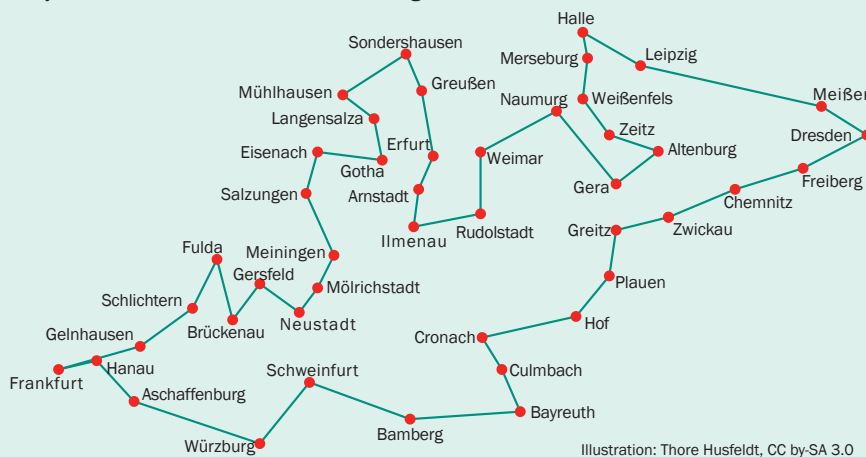


Illustration: Thore Husfeldt, CC by-SA 3.0

Skal man bringe ud til fire byer, kan man hurtigt regne sig frem til, hvad den hurtigste rute skal være. Sværere ser det dog ud, når vi snakker om tusindvis eller millioner af byer. Så står selv moderne supercomputere af i beregningerne. Alligevel findes der algoritmer, som sjusser sig frem til et svar, der ligger inden for én procent af det optimale.

Problemet har eksisteret siden 1832, hvor det blev beskrevet i en håndbog for handelsrejsende. Heri blev problemet eksemplificeret ved rejser gennem Tyskland og Schweiz. Problemet blev dog først formuleret matematisk i 1930 af Merrill M. Flood, der ledte efter løsninger til at organisere skolebussers ruter.

I 1990'erne udviklede fire matematikere et computerprogram, som nøjagtigt kunne udregne den optimale rute gennem et stigende antal byer. I 2006 slog computeren rekorden ved at beregne den optimale rute gennem 85.900 byer.

The travelling salesman problem er samme type problem som andre P vs. NP-problemer, der er et af de store matematiske problemer for det nye årtusinde. Kan en algoritme løse the travelling salesman-problem, kan den også effektivt løse andre P vs. NP-problemer.

– altså at finde den optimale rute
– men matematikere har endnu ikke været i stand til at udvikle den algoritme, som kan gøre det, uden at tid bliver et problem.

Umiddelbart er det let nok at udvikle en algoritme, som kan finde en løsning, hvis tid ikke er en faktor, men hverken Postnord, DHL eller DAO har tid til at vente til universets

undergang med at få leveret folks indkøb fra Wish.com eller julegaven fra møster Oda. De skal ud med pakkerne i dag og har brug for lige nu og her at vide, hvordan de kan gøre det hurtigst muligt.

Problemet er heller ikke isoleret til pakkeudbringning. Et lignende problem står flyselskaber med, når de skal lave planer for

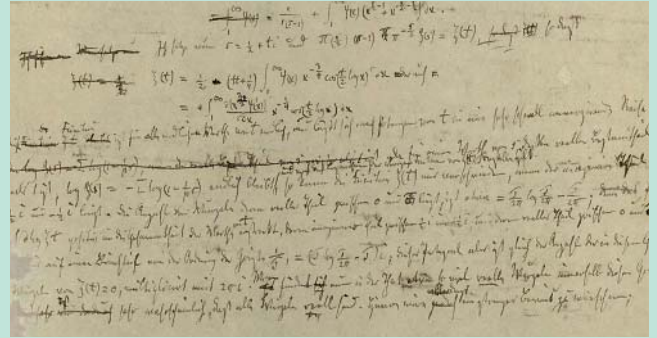


Millenniumproblemerne

Millenniumproblemerne er syv matematiske problemer, der i 2000 blev listet af Clay Mathematical Institute som problemer, som matematikere skulle forsøge at løse i det nye årtusinde. Enhver løsning til et af disse problemer udløser en præmie på en million dollar til den matematiker, som står bag løsningen.

Indtil videre er kun ét af problemerne blevet løst.

- P vs. NP. Problemet kan formuleres som spørgsmålet, om der for alle problemer, hvor en algoritme kan verificere en løsning hurtigt, også findes en algoritme, der kan finde denne løsning hurtigt. Problemet er et af de vigtigste og åbne spørgsmål indenfor matematik og datalogi. Mange matematikere og dataloger forventer dog, at der ikke er en løsning på problemet, og at svaret på P vs. NP derfor er nej – de mangler bare at bevise det.
- Navier-Stokes' ligning beskriver bevægelsen af væsker under forskellige betingelser, eksempelvis i forhold til tyngdekraft, viskositet og tryk, men ligningen er ikke særligt velforstået, selvom den har mere end 200 år på bagen. Ingen af de nuværende matematiske værktøjer kan løse ligningen i alle tænkelige situationer, hvor blandt andet kaos ved opblanding af væsker spiller ind. Derfor ligger der en million dollar til den matematiker, som kan finde en måde at løse Navier-Stokes' ligningen på i alle tilfælde.
- Yang-Mills teori beskriver indenfor kvantemekanikken kvanteadfærd af elektromagnetisme og repræsenterer et af de store forståelsesspring inden for det subatomare. Alligevel har matematikere endnu ikke fået greb om matematikken bag teorien, selvom flere forsøg har vist, at teorien holder stik.
- Riemann-hypotesen. Man kan ikke sige matematik uden også at sige primtal, fordi de har fascineret matematikere siden tidernes morgen. Matematikere har længe interesseret sig for at finde ud af, hvordan primtallene er distribueret i talrækken, og



Uddrag af Riemanns manuskript fra 1859, hvor han fremsætter sin hypotese.

om der kan findes en formel for denne distribution. Riemann-hypotesen omhandler en bedre matematisk forståelse af, hvordan distributionen af primtallene er i talrækken. Der er en millenniumpris til den matematiker, som kan bevise hypotesen.

- Birch og Swinnerton-Dyers formodning behandler særlige typer ligninger, som definerer elliptiske kurver over rationale tal. Formodningen er, at der findes en simpel måde at afgøre, om ligningen har et endeligt eller uendeligt antal løsninger. Løsningen skal være simpel, men det er langt fra simpelt at finde frem til den.
- Hodges formodning antyder, at visse typer geometriske strukturer har et særligt nyttigt algebraisk modstykke, der kan bruges til bedre at studere og klassificere disse former. Find beviset for, at der findes disse særligt nyttige modstykker, og der ruller én mio. dollar ind på kontoen.
- Poincaréformodningen er det eneste af millenniumproblemerne, der er blevet løst. Det blev det i 2003 af den russiske matematiker Grigori Perelman (som dog afslog at modtage præmien på en million dollar). Formodningen gik på, at det også gælder for højere dimensioner, at en sfære med en todimensionel overflade er karakteriseret ved at være kompakt og have en enkelt sammenhængende mængde.

deres fly og besætning. Her findes der heller ingen algoritme til at udregne den optimale måde at sende sine fly på vingerne, når faktorer som arbejdstimer, tid på jorden, antal fly og destinationer tages i betragtning.

Proteinkemikere står med det samme problem, når de skal udregne den optimale rækkefølge i forhold til at designe og folde proteiner.

»Der findes nogle problemer, som vi er rigtig gode til at løse med algoritmer. Det gælder blandt andet søgninger og sorteringer, som vi kender det fra internetbrowsere. Der kan vores algoritmer filtrere i enorme mængder information og give os et svar med det samme. Så er der til gengæld problemer, som vi ikke er gode til at løse, når problemets størrelse vokser. Der har vi endnu ikke fundet gode algoritmer, og det er et

reelt praktisk problem for meget industri,« forklarer Jakob Nordström.

Let at kontrollere – svært at beregne

Et interessant aspekt ved udfordringen med at finde gode algoritmer til at udregne optimale ruter for udbringning eller lette- og landetider for rutefly er, at det faktisk er meget let at få en computer til at verificere en løsning.

Hvis en pakkeudbringer skal levere 1.000 pakker i København indenfor otte timer, og man præsenterer en computer for en mulig løsning, kan computeren på et øjeblik fortælle, om den foreslåede rute faktisk er i stand til at få pakkerne ud til tiden. Computeren kaster bare et blik på den tid, som det tager at rejse fra destination til destination, og svaret kommer den lynhurtigt med.

Selvfølgelig kan der være forskelle i trafik, stoplys osv., men lad os for lethedens skyld forestille os, at det altid tager den samme tid at køre de samme stræk gennem København.

»Vores udfordring inden for denne gren af matematikken er, at vi ikke forstår, om problemer med disse egenskaber – selvom de er lette at verificere en løsning på, hvis vi først får den givet – også kan løses effektivt eller ej. Vi har studeret disse problemer og deres egenskaber længe, men vi er stadig ikke i nærheden af at kunne svare på det spørgsmål,« siger Jakob Nordström.

Hører til de største uløste matematiske spørgsmål

Jakob Nordström er langt fra den første matematiker til at rive sig selv i håret over dette problem. Det har været studeret siden 1970'erne. Amerikanske matematikere fik øjnene op for det i 1971, og sovjetterne fulgte med i 1973.

Ved årtusindeskiftet fremsatte en af verdens fremmeligste matematiske institutioner, Clay Institute, syv såkaldte "Millennium Prize Problems" for det nye årtusinde. De syv Millennium Prize Problems er matematiske problemer, som alle matematikere kan stræbe efter at finde en løsning på. Det ene af disse problemer er det såkaldte P vs. NP-problem, som i lægmandstermer lyder således:

Kan alle algoritmer, hvis svar kan verificeres af en computer hurtigt, også løses af en computer hurtigt?

»Svaret på det spørgsmål kender vi



Foto: Erik Thor/Young Academy of Sweden

Om Jakob Nordström

Jakob Nordström er professor ved Datalogisk Institut på Københavns Universitet. Han er oprindeligt uddannet fra universitetet i Stockholm, hvor han tog sin kandidatgrad i computervidenskab og matematik i 2001. Han fik sin ph.d. fra KTH Royal Institute of Technology i 2008 og arbejdede derefter som postdoc ved Massachusetts Institute of Technology (MIT) fra 2008 til 2011. Efterfølgende vendte han tilbage til KTH Royal Institute of Technology og en stilling som lektor. I 2019 flyttede han til en stilling som professor ved Københavns Universitet. Han er også deltid på universitetet i Lund.

Jakob Nordström har vundet flere priser for sin forskning, men hans interesser går ud over forskningen til blandt andet sprog og musik. Han har blandt andet arbejdet som russisk oversætter for den svenske konge og Sveriges statsminister.

ikke endnu. Det kan være, at problemet slet ikke kan løses hurtigt af en computer, men det kan også være, at vi bare ikke har udviklet de rigtige algoritmer endnu. De fleste matematikere mener, at den første mulighed er den rigtige, men vi ved det simpelthen ikke,« siger Jakob Nordström.

Forskeren uddyber, at de forskellige problemers natur desuden er så ens, at hvis en matematiker finder en algoritme, som kan løse det ene af problemerne, eksempelvis det med rute-flyene, kan samme algoritme tilpasses til at kunne løse dem alle.

»Allerede for 50 år siden til foråret udkom den første videnskabelige artikel, som viste, at disse problemer var det samme problem, og at hvis en algoritme virker på det ene problem, virker den også på de andre. Siden er der publiceret hundredvis

af forskningsartikler om emnet,« fortæller Jakob Nordström.

Teori og praksis smelter sammen

Jakob Nordströms forskningsfelt hedder *Computational complexity theory* og handler i store træk om at finde ud af, hvordan komplekse beregninger kan løses af en computer, og hvorfor nogle problemer ikke kan.

Det lyder grangiveligt meget teoretisk, men lad dig ikke narre. Jakob Nordström praktiserer nemlig sammensmeltning af praksis og teori.

De to parallelle tilgange til at løse problemerne for flyselskaberne og pakkeudbringerne har nemlig været notorisk dårlige til at snakke samme i fortiden. Det er også meget tydeligt, når man forlader forelæsningsalen på universitet og træder ud i den virkelige verden.



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Videre læsning:

Læs mere om P vs NP problemet i Aktuel Naturvidenskab:

Kan computere gætte? Aktuel Naturvidenskab nr. 3/2001

Beviser og hæder: Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2010

»Når man sidder til forelæsninger i matematik og får præsenteret de her problemer, får man at vide, at de ikke kan løses, og at det hele er skidt. Men når man så kommer ud i den virkelige verden, er SAS stadig på vingerne, og pakkerne bliver stadig bragt ud. Ude i den virkelige verden lever matematiske praktkere nemlig rigtig godt af at udvikle algoritmer og finde løsninger på problemerne for de respektive firmaer, og de er rigtig gode til at komme meget tæt på at lave optimale ruter eller tidsskemaer. Det er på en måde absurd, at teoretikerne siger, at problemet ikke kan løses, og så løser praktikerne det alligevel på daglig basis,« siger Jakob Nordström.

Professoren uddyber, at der også er mange tilfælde, hvor problemer ikke kan løses, eller hvor det kan løses bedre, så der er behov for bedre algoritmer, så eksempelvis SAS kan lave endnu mere optimale planer for deres fly og mandskab og på den måde spare flere penge i driften.

»Der er mange nuancer her, og det er vigtigt at forstå, er det ikke er sort-hvidt det hele, men at der er en masse gråt også. Teoretikerne siger, at problemerne ikke kan løses, men praktikerne finder hele tiden eksempler på reelle problemer, der alligevel kan. Der ligger dog 50 års arbejde med disse algoritmer bag for at komme til det punkt, og der er stadig et incitament for at videreudvikle algoritmerne for at gøre dem bedre, eller så de kan løse problemer, som ikke kan løses med de nuværende metoder,« siger han.

Vil finde ud af, hvorfor nogle algoritmer virker

Jakob Nordström forklarer, at tilgangen til at lave gode algoritmer er, hvad der adskiller teoretikerne fra praktikerne. Teoretikerne siger, at det ikke kan lade sig gøre, men praktikerne finder på alle mulige krumspring for alligevel at komme frem med gode løsninger. De slår løs på problemet og prøver sig frem, indtil de har fundet løsninger, som virker i op til 99 procent af tilfæl-

dene, eller løsninger, der rammer rigtigt inden for en fejlmargen af én procent. Løsningerne er altså gode, de er bare ikke optimale, og det er godt nok i mange tilfælde.

»Praktikerne udnytter egenskaber ved problemer fra "den virkelige verden" til at finde på smutveje eller smarte tricks, der ofte virker i praksis. Hvis sådan et trick eller en smutvej virker i 90 procent af tilfældene i praksis, er det en rimelig god løsning. Men teoretikerne leder efter algoritmer, der garanteret virker altid og er hurtige, og så kan de ikke bruge et trick, der kun virker i 90 procent af tilfældene,« siger Jakob Nordström.

En hjørnesteen i Jakob Nordströms forskningsarbejde er netop at danne bro mellem teoretikerne og praktikerne. Et element i den brobygning er at undersøge, hvorfor praktikerne algoritmer virker og finde ud af, hvad deres begrænsninger er, og hvordan de kan videreudvikles til at blive endnu bedre. Teorien skal assistere praksis med at forstå, hvorfor en algoritme kan være god, selvom den ikke er optimal, samtidig med at praksis kan hjælpe teoretikerne med at stille interessante teoretiske spørgsmål, som kan hjælpe teoretikerne med at finde nye interessante retninger at arbejde i.

»Hvis vi skal lave fremskridt, er vi nødt til at forstå, hvorfor disse algoritmer virker, og hvordan vi kan forbedre dem. Jeg vil forstå, hvordan det er muligt, at disse algoritmer fungerer bedre, end teoretikerne mener, de bør gøre, og også hvorfor de så fejler, når de gør det,« siger Jakob Nordström.

Praktikere skal hjælpe teoretikere og omvendt

Denne del af Jakob Nordströms forskning skal man vist være matematiker for at forstå til bunds, men i store træk handler det om at analysere på strukturen af algoritmerne.

En algoritme til at løse et givet problem udnytter en eller anden meto-

de, hvor den gennemgår forskellige trin i beregningen. Bagved disse trin findes "noget", der guider disse trin og er årsagen til, at algoritmen virker, som den gør, når den arbejder sig gennem problemet.

Jakob Nordströms forskning går ud på at tage et skridt tilbage og de-stillere, hvordan denne analyse fungerer. Hvad er det, som algoritmen gør? Hvordan ræsonnerer den?

Når forskeren har en præcis matematisk beskrivelse af, hvad dette ræsonnement er, kan han studere det fra et matematisk synspunkt og benytte matematiske værktøjer til at få en tilbundsående forståelse af, hvor stærk eller svag en algoritme er, hvad den kan gøre, og hvad dens begrænsninger er. Ved at analysere på denne matematiske essens i algoritmerne kan Jakob Nordström eksempelvis afgøre, hvorfor en given algoritme kan løse den ene type problemer, men ikke den anden.

»Det handler ikke kun om, at praktikerne kan hjælpe teoretikerne med at komme tættere på en algoritme, som kan finde den optimale løsning. Det handler også om, hvordan man kan bruge matematisk teori til at hjælpe praktikerne med at designe bedre algoritmer. Ved at tage den teoretiske tilgang til at analysere på strukturen af en algoritme og identificere, hvor den er svag, eller hvor den fejler i forhold til at kunne løse givne problemer, kan jeg gå tilbage til praktikerne og fortælle dem, hvorfor deres algoritme er dårlig til at løse givne problemer. Det kan hjælpe dem til at lave endnu bedre algoritmer, ligesom det kan hjælpe mig til at finde ud af, hvad der gør en algoritme til denne type problemer stærk eller svag,« forklarer Jakob Nordström.

Jakob Nordström uddyber, at hans arbejde ikke kun ligger i at fortælle praktikerne, hvordan de skal gøre deres algoritmer bedre. Han arbejder også selv på at udvikle verdensklasse-algoritmer til at løse disse ekstremt svære problemer. ■



UNDERVISNING ON DEMAND

Få universitetsforskning ind i din undervisning

På AAU's nye streamingunivers finder du materiale, som du kan bruge i din undervisning. Du kan streame videoer og downloade opgavesæt til en lang række gymnasiefag.

Universet vil løbende blive udvidet, men allerede nu er der 29 film online, som bl.a. handler om biologi, innovation, teknologi, kemi, bæredygtighed, kunstig intelligens, matematik og meget mere!

BESØG OS PÅ [AAU.DK/AAU-PLAY](https://www.aau.dk/aau-play)

AAU PLAY

Integrér AAU-forskere
i din undervisning



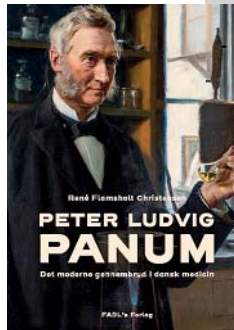
AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

BØGER

FAKTA

René Flamsholt

Christensen: Peter Ludvig Panum – Det moderne gennembrud i dansk medicin. FADL's forlag 2020. 352 sider, 299,95 kr.



Peter Ludvig Panum

En historisk biografi om manden, der opdagede den direkte sammenhæng mellem epidemiologi og mikrobiologi under mæslinge-epidemien på Færøerne i 1846. Panum opnåede verdensberømmelse i sin samtid for sin indsats, og han er stadig højaktuel her i 2020 under den nuværende epidemi med Covid-19, da hans forbilledige udredning af mæslingers sygdomsbillede i 1846 i dag udgør en del af fundamentet for epidemiologi og folkesundhed.

FAKTA

Jakob Eberhardt:

Verdenshistoriens største epidemier. FADL's forlag 2020. 352 sider, 329,95 kr.



Verdenshistoriens største epidemier

Epidemiske sygdomme har på forskellig vis været med til at forme vores verden og gør det stadig. I denne bog gennemgår Jakob Eberhardt verdenshistoriens største epidemier – fra pest til covid-19. Der er tale om en 2. udgave, hvor forfatteren har tilføjet to yderligere kapitler om SARS og covid-19 til bogens i forvejen 10 kapitler.

FAKTA

Marie Djernæs: Kakerlakker. Natur og Museum, 59. årgang, nr. 1, 2020. 35 sider, 68 kr. + forsendelse. Kan bestilles på Naturhistorisk Museums web-shop.



Kakerlakker

Det nye nummer af tidsskriftet *Natur og Museum* handler om kakerlakker, som for mange mennesker er indbegrebet af et skadedyr. Men faktisk er kun et fåtal af verdens knap 5000 kendte arter af kakerlakker skadedyr, og de indtager en bred vifte af økologiske nicher. I dette hæfte fortæller biologen Marie Djernæs om kakerlakkernes fascinerende liv. Der er også et kort afsnit om de 3 arter, som naturligt forekommer i Danmark.

FAKTA

Mogens Niss & Uffe Thomas

Jankvist (red): Matematikvejledning i gymnasiet. Frydenlund 2020. 220 sider, 249,- kr. (vejl.).



Matematikvejledning i gymnasiet

Hvordan gør man brug af matematikkens mange teorier i undervisningen? I Matematikvejledning i gymnasiet samler Mogens Niss og Uffe Thomas Jankvist en række cases fra deres studerende fra matematikvejlederuddannelsen for at illustrere, hvordan man nemt kan anvende sin teoretiske viden i praksis.



Undervisningsmateriale

Grønlands Indlandsis

På Aktuel Naturvidenskab's hjemmeside kan du finde et nyt undervisningsforløb om Grønlands Indlandsis. Forløbet knytter blandt andet an til artiklen i dette nummer om Grønlands Indlandsis, og det består af 10 arbejdsark med fokus på:

- Hvorfor temperaturstigningerne er så kraftige i Arktis
- Ændringer i havisens udbredelse
- Betydningen af tilsodningen af indlandsisen for afsmeltnings-hastigheden
- Hastigheden af afsmeltningen af indlandsisen i forhold til klima-ændringerne og de forskellige klimascenarier
- Mulige ændringer i havstrømmene, når havisens udbredelse bliver mindre, og indlandsisen smelter
- Indlandsisens fremtid og koblingen til havniveaustigninger i fremtiden

Forløbet forudsætter viden om strålingsregnskabet, den menneske-skabte drivhuseffekt og klimaet i geologisk perspektiv.

Målgruppe: Naturgeografi C/B.

Hiawatha-krateret - meteornedslag

Find også et forløb relateret til Hiawatha-krateret under indlandsisen, jf. artiklen *Meteorkrater i Grønland kan fortælle om klima* fra nr. 4.

Forløbet er bygget op som eksperimentelt arbejde om meteornedslag, som dækker over 2-3 moduler af 70 minutter. Eleverne skal arbejde med og måske finde svar på spørgsmål som:

- Hvilke faktorer kan have betydning for et kraters størrelse?
- Hvordan kan man undersøge forskellige størrelses betydning for et kraters diameter?
- Hvad forstår man ved en model, og hvordan kan man opstille modeller i naturvidenskab?
- Hvilken betydning kan et meteornedslag have på klimaet?

Målgruppe: Naturgeografi B/C samt Fysik

Undervisningsforløbene er lavet som en del af projektet *Brobygning på første række*, som knytter artikler og undervisningsmateriale til udvalgte foredrag i foredragsrækken Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Projektet er finansieret af Novo Nordisk Fonden.

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 intro-pakke 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 Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns 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: 10.000

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalggaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjær**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Katherina Killander**, Københavns Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **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: En Atlas V 541 raket letter fra Cape Canaveral den 30. juli 30, 2020, med NASA's Mars Perseverance rover og Ingenuity helikopter. Foto: NASA.



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

Næse for virus

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Hvad er ligheden mellem råddent kød og coronavirus? Begge dele stinker! Men hvis vi vil lugte os frem til coronavirus, har vi dog brug for en næse, der er mere fintfølelse end den, vi er udstyret med fra naturens side. Sådant en vil Roana Melina de Oliveira Hansen fra Syddansk Universitet gerne hjælpe os med at få adgang til. Hun er nemlig involveret i et projekt, der skal udvikle et mundbind, der både kan advare brugeren, når man kommer i kontakt med coronavirus og uskadeliggøre den uindbudte gæst.

Roana er med i projektet, fordi hun er ekspert i sensorer. Og her bliver koblingen til råddent kød meget relevant, idet hun tidligere har været med til at udvikle en sensor, der kan afsløre, om kød er blevet dårligt. Det sker ved at måle koncentrationen af det ildelugtende molekyle cadavarin, der dannes, når kød nedbrydes. Man kan dog ikke altid lugte, at kødet er blevet dårligt, men det kan sensoren ud fra fastsatte grænseværdier for cadavarin. Lige så vigtigt kan sensoren bruges til at "frikende" kød, der har overskredet sidste salgsdato. I mange tilfælde fejler det ikke noget, og dermed kan et stort madspild undgås, hvis man let og hurtigt kan kontrollere det.

Elektroniske "næser"

Roana kommer oprindeligt fra Brasilien, hvor man har oplevet store fødevareskandaler med dårligt kød. Derfor ved hun, hvor vigtigt det er, at man kan afsløre den slags svindel. Med sin baggrund som fysiker med speciale i mikroelektronik har hun haft gode forudsætninger for at kaste sig over sensor-området, som hun har beskæftiget sig med siden 2013.

»Jeg er meget inspireret og fascineret af naturens egne sensorer, som vores krop er udstyret med – tænk bare på næsen, øjnene, tungen, huden og ørene. Det er helt fantastisk, så meget information fra omverdenen, de kan opfange og sende videre til vores hjerne-computer. Man kan sige, at vi forsøger at udvikle simple, elektroniske udgaver af de menneskelige sensorer,« siger Roana.



Roana Melina de Oliveira Hansen i laboratoriet på SDU.

Foto: Suna Holst.

Hun fortæller, at der i dag findes mange nye, smarte materialer, der kan sende et kraftigt elektrisk eller optisk signal, når de kommer i kontakt med i kontakt med et givet mål. Og disse materialer kan man kombinere med mikro-sensorer, som er mindre en millimeter store. Hvis sensoren skal kunne kommunikere med omverdenen, skal den kobles med elektronik. Men det fylder i dag så lidt, at man sagtens kan bygge det ind i for eksempel et mundbind, så brugeren ikke mærker noget til det.

»For eksempel har virksomheden Abena, som vi samarbejder med i projektet, udviklet et bind beregnet til patienter, der har problemer med inkontinens. Når bindet bliver fugtigt, registrerer sensoren det, og via bluetooth kan man på mobiltelefonen få besked om, at bindet skal skiftes,« siger Roana.

Intelligente sensorer er fremtiden

I det nye mundbindsprojekt samarbejder Roana også med sin kollega på SDU, Yogendra Mishra, som arbejder med mikropartikler belagt med zinkoxid. Disse partikler kan binde sig til corona-virusets overfladeproteiner og dermed forhindre dem i at binde sig til celler i vores krop.

»Når virus binder til disse partikler, udsendes et elektrisk signal, og det skal sensoren kunne registrere« fortæller Roana. »Hvis partiklerne har de egenskaber, vi forventer, vil det kunne gøres til en billig pris.«

Uanset, om det corona-virus-neutraliserende mundbind bliver en realitet, er der mange perspektiver i denne form for intelligent sensorteknologi, mener Roana.

»Intelligente sensorer kan blive et vigtigt værktøj til at forebygge den næste pandemi, ligesom de kan hjælpe os i kampen mod forurening eller med at optimere industrielle processer. Når vi får kombineret sensorteknologi med kunstig intelligens, tror jeg der vil åbne sig uanede muligheder,« siger hun. ■