

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB

**HVILKEN NATUR KAN VI FÅ
VED AT GØRE LAVBUNDSJORDE
VÅDE IGEN?**

Mysteriet om Jordens kontinenter og pladetektonik
Sådan kan satellitter give globalt internet til alt og alle
Epigenetik: Hvordan små metylgrupper
kan påvirke vores aldring

NR.6 - 2021 DECEMBER: 50 KR.



Foto: Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet.

Fornem pris til bioinformatikforsker

Mads Albertsen, der er professor MSO ved Aalborg Universitet, har for nylig fået tildelt Grundfosprisen 2021 for sin forskning indenfor mikrobiologi og bioinformatik. Han har blandt andet bidraget til at udvikle metoder til at identificere enkelte mikroorganismer i komplekse mikrobielle samfund og opdaget comammox-bakterien, der er en hidtil ukendt og afgørende deltager i den globale kvælstofcyklus. Desuden har han ydet en stor indsats i forbindelse med den igangværende corona-pandemi, idet over 99% af al genomsekventering af positive COVID-19 prøver i Danmark frem til sommeren 2021 er foregået i Mads Albertsens laboratorium.

Kilde: Poul Due Jensens Fond

Portal med skred i

Er man interesseret i det danske landskab, kan man nu gå på opdagelse i en ny portal – landskredsportalen – som viser steder, hvor der er kortlagt strukturer i landskabet, der er dannet af landskred. Der er både tale om gamle skred, der kan være sket for hundreder eller tusinder år siden, samt skred, der er i aktiv bevægelse. Det er forskere fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Københavns Universitet, der har kortlagt de mere end 3200 landskred i Danmark.

Kilde: GEUS

Bohr til børn

I anledning af, at det i 2022 er 100 år siden Niels Bohr fik nobelprisen i fysik, er der blevet uddelt 70.000 bøger til danske børn i 4. klasse om Niels Bohr. Bøgerne er udgivet forlaget Epsilon i samarbejde med Niels Bohr Institutet med støtte fra Augustinus Fonden og Aage og Johanne Louis-Hansens Fond.



Udsnit af armene på en blæksprutte. Foto: Cogapp

Gå på opdagelse i museets gemmer

Statens Naturhistoriske Museum har nu lanceret en digital portal, hvor alle interesserede kan udforske museets samlinger hjemme på computeren. Digitaliseringsprojektet (som vi tidligere har omtalt i Aktuel Naturvidenskab) er et led i at understøtte bevægelsen for fri adgang til data, og formidlingen er i højsædet. Således kan man for eksempel søge på for eksempel "guldsmed" eller "ræv" uden at kende dyrenes videnskabelige navn og straks få billeder fra samlingen, data om dyrets udbredelse og oplysning om, hvorvidt det er truet. Besøg samlingsportalen på collections.snm.ku.dk

Kilde: Statens Naturhistoriske Museum

Quizzen

Hvad kan man overordnet sige om fordelingen af stof i Universet?

1. Det er helt ligeligt fordelt
2. Det er nogenlunde ligeligt fordelt
3. Det har en tendens til at klumpe sig sammen

Find svaret i artiklen om en ny kosmologisk model side 8



Foto: Wikimedia Commons/CCO 1.0

Lynspind

Darwins barkedderkop laver verdens stærkeste edderkoppesilke, hvilket den gør i et adstadigt tempo ligesom edderkopper flest. Nu har forskere opdaget, at zebra-springedderkoppen (*Salticus scenicus*) er i stand til at lave edderkoppesilke, der i styrke kun overgås af Darwins barkedderkop, men den gør det i en rasende fart på 500-700 mm per sekund. Den producerer denne silke samtidig med, at den hopper, og forskerne spekulerer, at trådens egenskaber netop hjælper edderkoppen med at kontrollere sine spring.

Kilde: *Curr. Biol.* 31, R1422-R1423 (2021).

indhold



Sådan kan satellitter give globalt internet til alt og alle

Behovet for adgang til internettet, uanset hvor du er på kloden, stiger, og det er særligt udviklingen af Internet of Things (IoT), der presser på. At etablere en reel global kommunikationsinfrastruktur kan formentlig kun lade sig gøre ved hjælp af såkaldte megakonstellationer af satellitter.

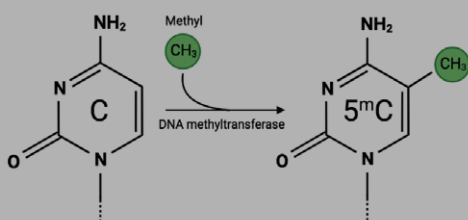
8



Hvilken natur kan vi få på våde lavbundslande?

Biodiversiteten er presset i bund på lavbundslande, der før var moser, kær og søer, men som tidligere generationer omdannede til gødede kornmarker. Hvilke forbedringer kan vi forvente i biodiversiteten, når disse lavbundslande atter bliver våde for at binde kulstof?

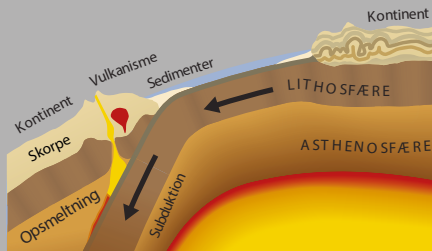
28



Epigenetik: Hvordan små metylgrupper kan påvirke aldring

Små kemiske modifikationer af vores DNA – såkaldte metyleringer – spiller en vigtig rolle for, hvordan generne kommer til udtryk gennem livet. Meget tyder på, at de dermed også er vigtige for, hvordan vi ældes.

18



Mysteriet om Jordens kontinenter og pladetektonik?

Hvornår startede pladetektonikken på Jorden egentlig? Den nyeste forskning peger på, at for 3,0 til 2,5 milliarder år siden opstod processer, som vi i dag mener er karakteristiske for pladetektonik, og at vand spillede en afgørende rolle for dannelsen af de første kontinenter.

34

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Satellit-konstellationer kan give globalt internet til alt og alle
- 12 Ny kosmologisk model skal medregne universets store strukturer
- 18 Epigenetik – Hvordan små metylgrupper kan påvirke vores aldring
- 24 På opdagelse i cellens calciumkanaler
- 28 Hvilken natur kan vi få på våde lavbundslande?
- 34 Mysteriet om Jordens kontinenter og pladetektonik
- 39 Bøger
- 40 Kropsreaktioner kan afsløre hadefulde ytringer
- 44 BAGSIDEN: Vi har brug for DIN hjælp!

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

David Lundbek Egholm, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjær og Jørgen Dahlggaard
Tlf.: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET TEKNISKE FAKULTET



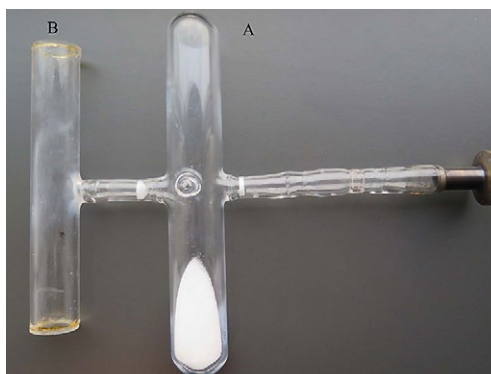
Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



Ryst sand og fjern drivhusgas

Der er stor interesse for metoder, der kan binde CO₂ og dermed reducere koncentrationen af CO₂ i atmosfæren. Sådanne metoder kan være at installere CO₂-bindende filtre i kulfyrede kraftværker eller at plante skov. En svaghed ved disse metoder er, at de udelukkende fjerner CO₂ og ikke metan og lattergas, der er endnu mere potente drivhusgasser end CO₂. En gruppe forskere ved Aarhus Universitet har for nylig i tidsskriftet *Chemical Physical Letters* beskrevet en metode, der kan fjerne alle tre drivhusgasser på en gang. Forskerne har opdaget, at man kan fjerne de tre drivhusgasser fra en jordlignende atmosfære ved at ryste kvartssand i et glasrør med en atmosfære, som indeholder disse gasser.



Forskerens forsøgsopstilling. Foto: Kai Finster

Drivhusgasserne fjernes fra atmosfæren, fordi de bindes til kvartskornenes overflade – for metans vedkommende starter det med, at metan oxideres til CO₂, som derefter

bindes til kvartskornene. Forskerne mener, at processen bunder i, at kornene bliver statisk elektriske ved kontakt med hinanden og glasoverfladen, når de rystes frem og tilbage i glasrøret, og at denne energi er stor nok til at ionisere gasserne i glasrøret. Bindningen af drivhusgasserne til sandkornene er stabil, idet forskerne fem dage efter at være ophørt med at ryste glasrøret ikke kunne måle nogen stigning i koncentrationen af de tre drivhusgasser i glasrørets atmosfære. Også når forskerne brugte ørkensand fra Oman, så de det samme resultat. Det interessante er nu at finde ud af, om metoden kan bruges i stor skala.

CRK, Kilde: *Chemical Physics Letters* 783 (2021) 139069

Hvordan påvirker algoritmer nyhedsudbuddet?

Når du skal vælge film eller musik på en streaming-tjeneste, bliver du typisk præsenteret for en række forslag, som er baseret på, hvilke film du tidligere har set, og hvilken musik du tidligere har lyttet til. En algoritme tilpasser automatisk udbuddet ud fra dit tidligere forbrug.

Flere nyhedsmedier i Danmark og i udlandet er begyndt at indføre en lignende model, hvor brugerne bliver præsenteret for nyheder, som de formodes at være interesserede i ud fra deres tidligere adfærd. Hvis de for eksempel tidligere har klikket på sportsnyheder, bliver de fremover præsenteret for flere sportsnyheder, mens de ikke i samme grad bliver præsenteret for nyheder om eksempelvis klima, fordi de ikke har klikket på den type artikler.

Spørgsmålet er, hvad de personaliserede nyheder betyder for vores nyhedsforbrug? Bliver vi præsenteret for mindre diversitet i nyhederne, og går nogle nyheder tabt, fordi vi blot får mere af det samme? Det skal forskningsprojektet *Safeguarding Diversity in News Recommendation* undersøge over de næste to år.



Foto: Colourbox.com

Professor Hua Lu fra Institut for Mennesker og Teknologi og lektor Jannie Møller Hartley fra Institut for Kommunikation og Humanistisk Videnskab på Roskilde Universitet skal stå i spidsen for projektet.

»Tidligere sikrede journalister og redaktører, at brugerne blev præsenteret for meget forskelligt indhold, også selvom få klikker på det. Men algoritmer har tendens til at være konservative, og projektet skal undersøge, hvordan de tendenser kan modvirkes inde fra algoritmen, så vi kan undgå at ende i filterbobler,« siger lektor på Journalistik Jannie Møller Hartley.

Forskerne i projektet skal undersøge, hvilken betydning og mulige konsekvenser den slags modeller til personalisering har for nyhedsudbuddet og diversitet i indholdet. Det skal de gøre ved at bygge en algoritme, der kan teste diversitet og andre journalistiske værdier i det indhold, brugeren tilbydes.

»Det er et ret unikt samarbejde mellem dataloger og journalistikforskere, og det bliver spændende at se, hvad vi kan udvikle, og hvad vi kan lære om algoritmers indbyggede værdier i processen. Værdier som diversitet i tema-

er, sproget, kilderne og mange andre faktorer kan være vigtige, men vi ved ikke, hvad der sker med nyhedsværdierne, når nyhedsmedier tilbyder deres indhold via personaliserede systemer,« siger lektor Jannie Møller Hartley.

VILLUM FONDEN har bevilget 3 millioner kroner til forskningsprojektet, hvor en tværfaglig gruppe af forskere indenfor felterne Journalistik og Computer Science samarbejder med nyhedsorganisationer. Projektet funderes i Roskilde Universitets Big Data Centre.

Eva Lykke Jørgensen, RUC Kommunikation & Presse

Forskere vil udvikle kloge batterier

» Jeg drømmer om, at elbiler om 10 år vil køre rundt med et display, hvor man kan se batteriets levetid alt efter forskellige faktorer som temperatur, chaufførens kørestil og trafikken.«

Sådan lyder en af visionerne for forskningsprojektet Smart Battery, som professor ved Energiteknik på Aalborg Universitet, Remus Teodorescu, netop har fået 28,5 millioner kroner til fra Villum Fonden. Dem skal han bruge på ved hjælp af kunstig intelligens at forbedre levetiden og pålideligheden af fremtidens batterier. Det skal ske ved at udvikle batteripakker, hvori battericellerne kan overvåges og styres individuelt. I dag holder en batteripakke op med at fungere, hvis én af dens celler løber tør for kapacitet. Det betyder, at de svageste celler bestemmer et batteris levetid. Det vil Smart Battery lave om på.

»Her vil vi gøre cellernes strømforbrug individuelt, så de kan tilpasse sig hinanden og lade batteriet leve længere. Samtidig vil vi gøre det muligt at vurdere batteriets kapacitet og levetid mere nøjagtigt,« siger Remus Teodorescu.



Foto: Shutterstock

Ifølge professoren vil de nye batteriers forbedrede levetid og pålidelighed kunne gavne den grønne omstilling på flere måder. Særligt kan det få indflydelse på fremtidens elbiler, som vil blive mere attraktive at vælge for køberne, fordi batterierne bliver bedre. Samtidig vil en elbil med et Smart Battery udlede mindre CO₂ end en bil med en konventionel batteripakke. Og så vil den nye teknologi gøre det nemmere at genanvende batterierne, når de har udtjent deres rolle i bilerne.

» Når en batteripakke i en bil er blevet opbrugt, har det cirka 80 % kapacitet tilbage. Så er det store spørgsmål: Hvornår vil det gå i stykker? Med et Smart Battery kan man vurdere og styre levetiden, så det kan bruges i mange år bagefter til andre ting – for eksempel i boligen,« siger han.

Som noget nyt vil forskerne bruge kunstig intelligens i udviklingen af de nye batterier. Det skyldes, at en almindelig computer ville skulle bruge en enorm regnekraft for at udregne levetiden på et lithium-batteri i realtid, fortæller professor Remus Teodorescu.

» Derfor skal vi bruge kunstig intelligens, som kan trænes til at vurdere levetiden. Det giver også den mulighed, at data fra forskellige batterier kan bruges til konstant at gentræne og forbedre udregningsmodellen. Det kan ske via en cloud-baseret opdateringsmodel, så modellerne konstant bliver mere præcise og tilpasset deres brugere,« siger Remus Teodorescu.

Mads Degn Gregersen, Aalborg Universitet

Dybhavsgrave bliver ved at overraske

D ybhavsgravene er de dybeste steder på Jorden, og man skulle tro, at livet ville have svært ved at eksistere i det mørke og kolde dyb, men der findes særlige organismer, som tåler det ekstreme tryk. Nu melder forskere fra Syddansk Universitet, at en bestemt type bakterie trives endog særligt godt.

» Det er anammox-bakterier, der tiltrækkes af kvælstof. Der er tale om deciderede hotspots med masser af aktivitet dernede,« forklarer biolog Bo Thamdrup.

Anammox er en forkortelse af ANaerobic AMMonium OXidation, som er en vigtig mikrobiel proces i klodens kvælstofcyklus. Anammox-bakterierne blev først opdaget i 1999, og det gik ret hurtigt op for forskerne, at de spiller en ekstremt vigtig rolle i klodens biokemiske liv.

»Nu ser vi, at de også er meget aktive i dybhavsgravene, hvor de udfører samme funk-



Foto: Danish Center for Hadal Research

tion, som vi ellers normalt ser meget højere oppe i vandsøjlen,« siger Bo Thamdrup.

Funktionen er – groft sagt – at anammox-bakterierne ”spiser” kvælstofforbindelser i form af ammonium (NH⁴⁺) og nitrit (NO²⁻) og omdanner disse til kvælstofgas, som er hovedbestanddelen i atmosfæren. Ammonium og nitrit er biotilgængelige kvælstofforbindelser, der kan udnyttes som næring (”gødning”) af for eksempel algerne i ocea-

nerne. Alger kan derimod ikke udnytte kvælstofgas. Det betyder, at anammox-bakterierne gennem deres livsstil fjerner næring fra havet og i sidste ende begrænser væksten af alger. Da algerne står for havets optag af CO₂, har anammox-bakterierne i sidste ende betydning for CO₂-kredsløbet. Det er derfor vigtigt at forstå deres aktivitet og udbredelse.

Anammox-bakterier er ellers hovedsageligt kendt fra kystnære farvande, så det var en stor overraskelse for forskerne at finde dem i stort tal i dybhavsgravene. En anden overraskelse var, at anammox-bakterierne dernede viste sig at være meget tæt beslægtet med dem, der kendes fra lavere vanddybder. Der findes altså ikke én særlig dybhavsvariant af anammox-bakterier. Dette tyder på, at bakterierne ikke har haft svært ved at tilpasse sig det høje tryk i dybhavsgravene.

Birgitte Svennevig, SDU. PNAS 2021 Vol. 118 No. 46 e2104529118

Røntgenmetode kommer skibsvrag til hjælp

Med en ny og avanceret røntgenmetode er forskere fra blandt andet Københavns Universitet i samarbejde med et engelsk museum lykkedes med at identificere mikroskopiske svovl- og zink-holdige stoffer, der stille er i gang med at æde sig gennem vraget af det 400 år gamle engelske krigsskib The Mary Rose. Ny information, som det indtil nu har været umuligt at få ud af træet.

Mary Rose var i 1500-tallet kronjuvelen i den engelske flåde under Henrik 8. og er i dag en uvurderlig kulturskat. Men bakterier og kemikalier æder hele tiden en lille smule af det 400 år gamle vrage, som i dag er udstillet på museum i Portsmouth Historic Dockyard. Men nu får konservatorerne en stor hjælpende hånd.

Forskerne har analyseret træet fra Mary Rose med en ny metode, der til dels kan sammenlignes med det, der sker i en

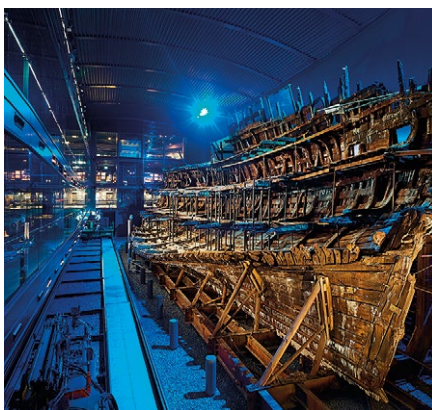


Foto: Mary Rose Museum

CT-scanner, som man kender fra hospitalerne. Forskellen er bare, at forskerne har kombineret CT-scanningen med såkaldt røntgenspredning, som kan bruges til at analysere materialers struktur på atomart niveau. På den måde har de kunnet opdage og kortlægge, hvilke skadelige stoffer der findes

i træet fra skibet, så man bedre kan bevare det i fremtiden.

Med den nye metode, der hedder x-ray computed tomography with pair distribution function analysis (ctPDF), er der fortsat håb for det gamle skib og andre fund fra fortiden verden over. Ved hjælp af metoden identificerede forskerne i projektet en række skadelige stoffer, som ødelægger træet, når de for eksempel tages op fra havet og udsættes for ilt, blandt andet zink-sulfider.

Mary Rose sank i 1543 under et søslag mod Frankrig og blev først bjærget i 1982 i det, der fortsat er verdens dyreste vragebærgning og som blev fulgt på live-TV af 60 millioner mennesker. 19.000 genstande fra Tudor-kongeriget blev dengang fisket op fra havet sammen med skibet.

Michael Skov Jensen, KU

Forskere opdager galakser skjult bag kosmisk støv

Forskere fra Niels Bohr Institutet har netop opdaget to hidtil usynlige galakser, som er 13 milliarder år gamle. De to galakser har ligget skjult for Hubble Rumteleskopets linse, omringet af et tykt lag stjernestøv, som vi kender det fra vores egen galakse Mælkevejen.

Men ved hjælp af radioteleskopet ALMA (Atacama Large Millimeter Array) i den chilenske ørken, som er i stand til at opfange radiobølger udsendt fra universets mørkeste og fjerneste afkroge, dukkede de to usynlige galakser pludselig op.

Den nye opdagelse åbner op for, at det tidlige univers, som blev dannet i tiden efter Big Bang, rummer langt flere galakser med stjerner end hidtil antaget. Galakser, som i dag ligger skjult af støv bestående af små partikler fra stjerner, men som fremover kan opdages ved hjælp af det meget følsomme



ALMA-teleskopet i Atacama-ørkenen i Chile består samlet af 66 antenner som dem på billedet, der kan benyttes som et samlet teleskop eller i mindre grupper. Foto: ESO/C. Malin

ALMA-teleskop og samme metode, som forskerne netop har anvendt.

Ved at sammenligne de to nye galakser med tidligere opdagede galakser i det tidlige univers for cirka 13 milliarder år siden, estimerer forskerne, at et sted mellem 10 og 20 procent af alle universets galakser i dag

gemmer sig bag et gardin af kosmisk støv.

Til at hjælpe med at finde og udforske de mange skjulte galakser har NASA, ESA og det canadiske rumagentur bygget et nyt superteleskop, James Webb Rumteleskopet, som forventes at blive sendt i kredsløb den 22. december 2021.

Teleskopet skal med sin styrke og forbedrede teknologi kigge endnu længere ud i universet og bidrage

med ny viden om, hvordan universet opstod. Det skal også hjælpe forskerne fra Cosmic Dawn-gruppen på Niels Bohr Institutet med at se igennem det kosmiske støv.

Studiet er netop udgivet i det videnskabelige tidsskrift *Nature*.

Michael Skov Jensen, KU

Er du højtuddannet?

Så har vi nok en gave til dig!

GRATIS
fagforening
i 3 måneder

+
et gavekort
på 500 kr.

Det
er **HELT**
uforpligtende

Der er
INTET
med småt

IDA er i 2021 blevet kåret til **Danmarks bedste fagforening**. Det fejrer vi ved at give endnu flere adgang til markedets bedste karriereudvikling og juridiske rådgivning. Og **landets nok billigste forsikringer i IDA Forsikring**.

Så har du gået på universitetet, CBS eller på en anden videregående uddannelse?

Så kan du nok også blive medlem af IDA og få alle fordelene. Og lige nu får du endda et

valgfrit gavekort med, når du prøver et IDA-medlemskab.

INTET med småt

Du får adgang til IDA-fordelene gratis i 3 måneder. Og du får samtidig et gavekort på 500 kr.

Det er helt uforpligtende – **hvis du ikke selv bekræfter, at du vil fortsætte dit medlemskab, bliver du automatisk meldt ud.**

> Vælg din gave nu på ida.dk/gave

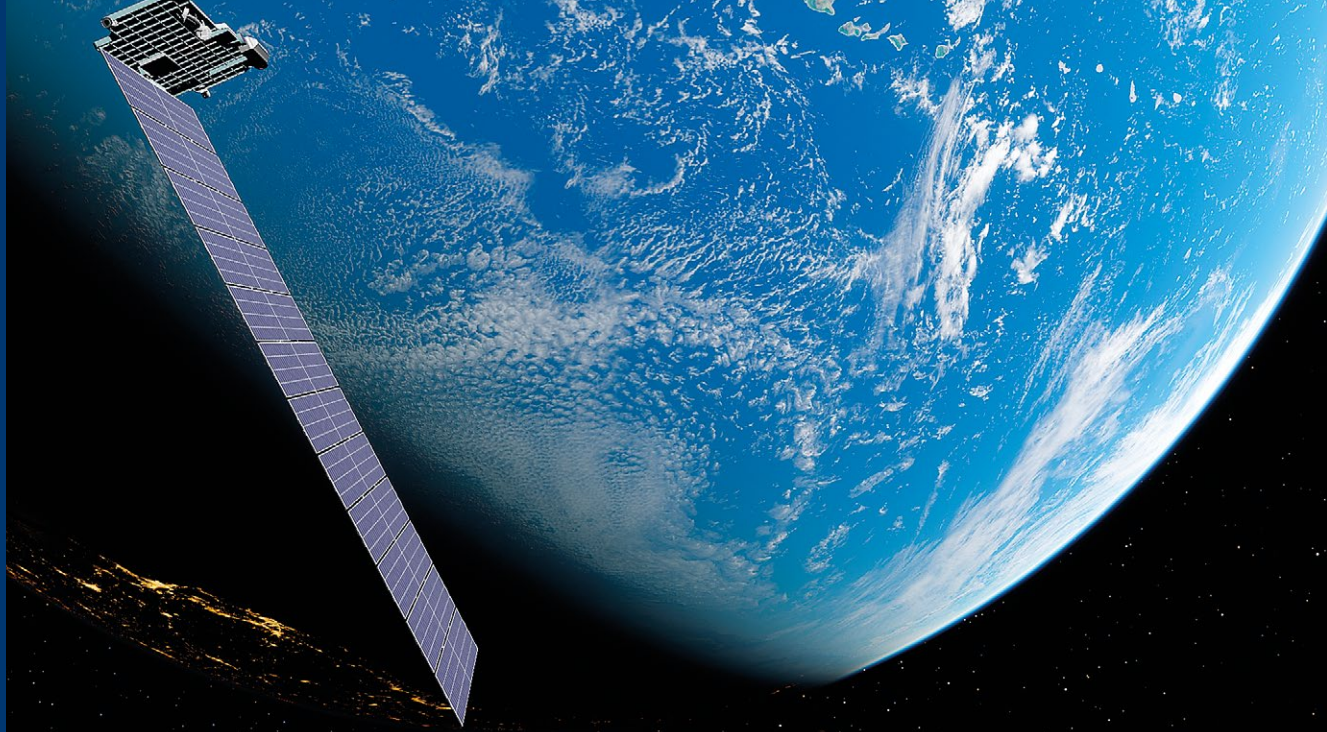


Skynd dig!
Tilbuddet
gælder kun til
31. december
2021



Mere end en fagforening

Illustration af en Starlink-satellit i rummet.
Foto: Shutterstock.



SATELLIT- KONSTELLATIONER

kan give globalt internet til alt og alle

Behovet for adgang til internettet, uanset hvor du er på kloden, stiger, og det er særligt udviklingen af Internet of Things (IoT), der presser på.

At etablere en reel global kommunikationsinfrastruktur
kan formentlig kun lade sig gøre ved hjælp af
såkaldte megakonstellationer af satellitter.

Forfatteren



Israel Leyva-Mayorga er adjunkt ved Institut for Elektroniske Systemer, Aalborg Universitet. Han arbejder aktuelt med metoder og teknologier til trådløs kommunikation, Internet of Things, satellit-netværk og den næste generation af kommunikations-systemer (6G).
ilm@es.aau.dk

Kravet om at kunne være "online" til enhver tid og på ethvert sted stiger konstant. Normalt bruger vi Internettet til at sende beskeder, mails, billeder og videoer, søge information, streame mv. Men det er ikke kun mennesker, der har brug for at være på nettet. Det kan også være sensorer, der måler temperatur, forurening, fugtighed, eller intelligente apparater som et køleskab, der giver besked, når du løber tør for mælk, eller cyklen der slår alarm, hvis den er blevet stjålet. Alt dette kaldes Internet of

Things – IoT – og det har potentiale til at revolutionere vores samfund på mange forskellige måder.

Der er så mange potentielt attraktive anvendelser af IoT indenfor så mange områder af samfundet – fra landbrug, til vandmålere og selvkørende biler – at det forventede antal IoT-enheder i 2023, altså om to år fra nu, er 14,7 milliarder. Det er næsten det dobbelte af verdens befolkning. Udfordringen i forhold til internettet er, at så stort et antal enheder kommer til at generere en vanvittigt stor mængde data. Data som skal på nettet.

Nye brugere på nettet

Når et nyt IoT-system sættes i drift, indeholder dette typisk et antal enheder fra 10-50 op til nogle titusinder, afhængig af applikationen – altså hvad enhederne konkret bruges til. De individuelle IoT-enheder er billige, små, batteridrevne og med en lille kapacitet for dataprocessering. Men mest vigtigt er, at de kræver adgang til et trådløst kommunikationsnetværk som 4G og 5G eller WiFi. Fra de trådløse net forbindes IoT-enheder og smartphones til det kablede netværk (også kaldet kernenet-

værket) for at opnå forbindelse til internettet.

For at have internet på din telefon, eller for at IoT kan fungere, er det altså nødvendigt at være tæt på en sendemast eller WiFi-router med internetforbindelse. Det er muligt de fleste steder, men er også en udfordring for bestemte regioner, landdistrikter og tyndt befolkede områder, hvor geografiske og økonomiske faktorer har hæmmet udviklingen af infrastruktur.

På den ene side vil operatørerne af de mobile netværk ikke finde det rentabelt at investere i sendemaster eller hundredvis af kilometer kabel af optisk fiber eller kobber for at dække et område, hvor der ikke bor ret mange mennesker. På den anden side er det at have internetforbindelse altid værdifuldt for slutbrugeren – dig og mig – uanset om vi er på trekning i vores fritid eller udfører spændende forskning i fjerne afkroge af verden. Udviklingen af IoT har kun gjort det endnu mere værdifuldt at have adgang til internet alle steder. For eksempel vil forbindelse til nettet gøre det muligt for forskere at indsamle aktuelle data fra polarområder og oceaner fra deres computer på kontoret.

Se mod himlen

Udfordringen er, hvordan der kan leveres global adgang til internettet på en rentabel måde. For at besvare det spørgsmål, skal vi se mod himlen.

De fleste kommunikationssatellitter befinder sig i en højde af 35.786 km over Jordens overflade. Her er de i en geostationær bane, hvilket vil sige, at de altid befinder sig over det samme punkt på Jordens overflade. Desværre kan man ikke bruge disse GEO-satellitter, som de kaldes, til IoT. For det første betyder afstanden til satellitterne, at selv om den elektromagnetiske kommunikation med satellitten foregår med lysets hastighed, tager det stadig mindst 0,11 sekunder hver vej, hvilket er for lang tid til nogle



En Falcon9-raket fra SpaceX affyres fra Cape Canaveral Air Force Station i Florida. Raketten medbringer 60 Starlink-satellitter, der sendes i omløb i en lav bane cirka 550 km over Jordens overflade.

Foto: SpaceX/CC BY-NC 2.0

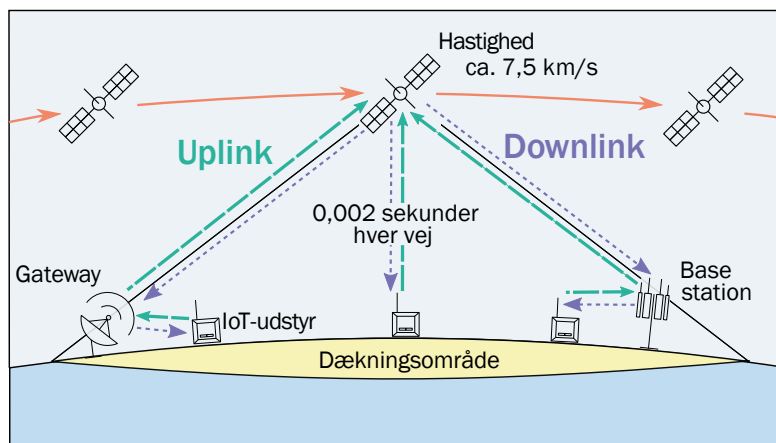


Illustration af princippet i at bruge Low Earth Orbit (LEO)-satellitter til Internet of Things.

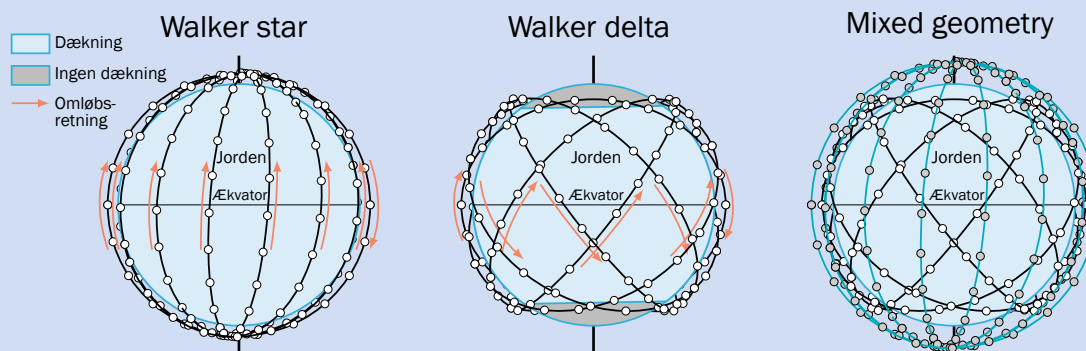
anvendelser. For det andet foregår transmissionen af data mest "uplink" – det vil sige fra enhed til satellit – og det er et problem, da små IoT-enheder typisk ikke har sendestyrke nok til at nå en GEO-satellit.

Derudover kan en enkelt GEO-satellit dække omkring en tredjedel af Jorden og vil derfor potentielt skulle koordinere kommunikationen af data fra et helt enormt antal IoT-enheder. For at give en ide om kompleksiteten af den opgave, så er et af de primære mål for 5G-netværket at være i stand til effektivt at koordinere kommunikationen af få tusinder IoT-enheder per basisstation.

Satellitter der er tættere på

En oplagt løsning er at bruge satellitter med en meget lavere bane. De såkaldte LEO-satellitter – hvor LEO står for Low Earth Orbit – opererer i en højde mellem 500 og 2000 km over Jordens overflade. Her tager kommunikation fra jordoverfladen til en satellit kun cirka to millisekunder, hvilket gør det brugbart til applikationer, der kræver hurtig reaktionstid – det vil sige, hvor data skal transmitteres med en hastighed under 100 millisekunder. Til gengæld dækker LEO-satellitter et meget mindre område og bevæger sig hurtigt i forhold til Jorden. Derfor kræver en global kommunikationsinfrastruktur i en lav bane omkring Jorden en større gruppe satellitter, som nøje er

Typer af satellitkonstellationer



Hvis en satellit-konstellation bestående af flere hundrede – eller måske tusinder – satellitter skal være håndterlig, må den være effektivt organiseret.

En gruppe satellitter, der bevæger sig i en række efter hinanden, siges at være i samme orbitale plan. Og satellitter, der befinder sig i distinkte orbitale planer, bevæger sig typisk enten i samme retning eller tilnærmelsesvist modsat retning.

For at kunne give internetforbindelse i polare egne, må satellitterne i en konstellation bevæge sig hen over polerne – det vil sige i en bane på 90° i forhold til Ækvatorplanet (det kaldes en polar bane). En satellitkonstellation, hvor satellitterne bevæger sig i polare baner med en ensartet afstand mellem de orbitale planer kaldes i fagjargon for Walker star. Mens denne type konstellation tilbyder maksimal dækning, så er konstellationer, hvor satellitterne bevæger sig i orbitale planer med en vinkel på cirka 60° , også en mulighed. Her vil satellitterne bevæge sig over størsteparten af de tæt befolkede områder på Jorden og kun efterlade få lande (undskyld Grønland!) uden dækning. Konstellationer med en ensartet afstand mellem sådanne skæve orbitale planer, kaldes Walker delta.

Walker star og Walker delta er de mest basale konstellations-geometrier, og de fleste kommercielle satellitkonstellationer hører enten til en af disse to eller en kombination heraf, bestående af flere orbitale skaller (det vil sige grupper af satellitter indsat i nogenlunde samme højde). Eksempelvis har satellitkonstellationen Starlink (som er opereret af SpaceX og som i skrivende stund tæller flere end 4000 satellitter) overvejet en blandet geometri med to Walker delta-skaller i 540 og 550 kilometers højde og to Walker star-skaller i 560 kilometers højde. Dette design vil give mulighed for internetdækning i polare egne, mens de fleste ressourcer vil være koncentreret i tæt befolkede områder.

Starlink-satellitkonstellation blev designet med henblik på bredbånds-Internet. Derfor kan den blive rigtig god til at se Netflix eller til videoopkald. Hvis det skal bruges til IoT, vil det kræve, at der placeres en parabolantenne tæt ved IoT-enheden, og det er ikke praktisk, da man helst vil undgå at være afhængig af strøm fra elnettet. Følgelig er Starlink ikke fleksibel nok til mange IoT-applikationer, for eksempel aktiv sporing. Den bedste løsning til IoT vil være direkte kommunikation med satellitter. Det vil være en stor milepæl med hensyn til at integrere rum- og terrestriske teknologier. Derfor arbejder mange forskere, virksomheder og organisationer nu med det.

organiseret til at opfylde bestemte formål. Sådanne grupper kaldes satellitkonstellationer.

Lige nu er private virksomheder som SpaceX, OneWeb, Amazon, Kepler, Telesat, Inmarsat og Iridium ved at designe og implementere satellitkonstellationer, hver med sine egne specifikke mål og applikationer i tankerne. Nogle af disse nye konstellationer indeholder et par hundrede eller endda tusinder af satellitter og falder derfor i kategorien megakonstellationer.

Flere veje fra satellit til nettet

At være i stand til at tilbyde global dækning er kun en af forudsætningerne for at tilbyde global forbindelse til internettet. Dækningen af en satellitkonstellation er normalt defineret som det område, hvor et apparat på Jorden kan kommunikere med en satellit. Men dette tager som sådan ikke hensyn til, hvor mange enheder, der kan understøttes af satellitterne – og mere vigtigt; heller ikke til, hvor meget data, konstellationen kan transmittere, og hvorhen det kan transmitteres uden at skulle

igennem infrastruktur på Jorden som kabler og basisstationer.

Hvis man for eksempel har en IoT-enhed, som sender data, der skal lagres i en cloudserver, som ikke er indenfor satellittens dækningsområde, er der forskellige ting, satellitten kan gøre for at levere disse data. Den kan for eksempel gemme data og vente, indtil destinationen er indenfor rækkevidde. Denne tilgang har den ulempe, at dataene skal gemmes i op til flere timer, før de kan leveres.



En anden mulighed er at overføre data til en nærliggende basisstation. Dette kræver et tæt netværk af jordbaseret infrastruktur, som muligvis ikke vil være tilgængelig i fjernliggende områder.

En tredje mulighed er at overføre dataene til andre satellitter i konstellationen, hvilket minimerer brugen af infrastruktur på Jorden med det mål at minimere leveringstiden. Teknologien til at transmittere data fra satellit til satellit er endnu ikke moden, men to realistiske muligheder er enten at benytte radiobølger i området 20 til 30 GHz eller optisk kommunikation ved hjælp af lasere. Bemærk, at kun ved at implementere direkte kommunikation mellem satellitter, vil man kunne opnå fuldt forbundne og autonome satellitkonstellationer, som vil kunne have samme egenskaber som et kernetværk på Jorden.

Masser af teknologiske udfordringer

Der er mange tekniske udfordringer, der skal løses for at opnå effektiv kommunikation med LEO-satellitter.

En af udfordringerne er, hvordan man bedst organiserer kommunikationsforbindelserne mellem de enkelte satellitter i konstellationen. Mens bevægelsen af konstellationen er helt forudsigelig, er der ikke noget enkelt svar på, hvilken konfi-

guration der er optimal på et givet tidspunkt. Og der findes i øvrigt heller ikke endnu en algoritme, der kan løse det problem. Derfor må vi for nuværende arbejde med ikke-optimale løsninger. Når først der er etableret links mellem satellitterne er det også en stor udfordring at finde ruter for strømmen af data.

En anden udfordring er, hvordan satellitterne skal kommunikere med IoT-enhederne. Selv med LEO-satellitter udgør den begrænsede sendekraft for IoT-enhederne et problem med at nå satellitterne. Det kan betyde, at ekstra udstyr bliver nødvendigt for enten at gøre forbindelsen mulig eller simpelt hen at reducere energiforbruget af IoT-enhederne.

En tredje udfordring er, hvilken antennteknologi satellitterne skal udstyres med. For at modvirke den lange sendefasthed, må de elektromagnetiske bølger fra en antenne koncentreres i den ønskede retning. Af samme grund må antenner også meget præcist pege i den rigtige retning – ligesom hvis det var en laser. Da satellitten bevæger sig med 7,5 km i sekundet i forhold til et punkt på jordoverfladen, må antennernes retning derfor konstant justeres i forhold til det korrekte punkt på jordoverfladen eller i forhold til an-

dre satellitter for at undgå at miste forbindelsen.

Et lokalt bidrag til det store puslespil

På grund af de mange teknologiske udfordringer med at etablere Internet of Things gennem satellitter, bliver det ofte fremhævet, at man skal foretrække jordbaserede WiFi- eller mobil-teknologier, når disse er til rådighed. Men det er vigtigt at forstå, at på nuværende tidspunkt udgør satellitkonstellationer den eneste realistiske mulighed for en reel global kommunikationsinfrastruktur.

På Aalborg Universitet arbejder vi i forskningsgruppen Connectivity (CNT) med forskellige aspekter af de nævnte udfordringer. For eksempel arbejder vi med at designe mekanismer, som kan udvælge de forbindelser mellem satellitterne, som må etableres for at maksimere den mængde data, der kan transmittes samtidig med, at transmissionstiden reduceres. Vi har også arbejdet med at sammenligne antennteknologier for forbindelserne mellem satellitterne og deres betydning for interferensfænomener, der hæmmer performance. Endelig arbejder vi også med, hvordan man udvælger den bedste rute for en datapakke, hvilket er ret kompliceret i netværk med størrelser som satellitkonstellationer. ■

Forskere, der arbejder i øde områder som i Arktis, vil kunne drage stor nytte af et reelt globalt internet, så man ved hjælp af Internet-of-things-enheder kunne lave målinger i felten, som man kunne følge i realtid hjemme på kontoret via internettet.

Foto: Colourbox

Videre læsning

Få opdateringer om forskningen ved CNT på Aalborg Universitet på vores LinkedIn-side: www.linkedin.com/company/connectivity-aau og se mere om samarbejder og projekter på: www.space.aau.dk

Når man kigger langt ud i universet, er det tydeligt, at det synlige stof ikke er jævnt fordelt, men samlet i markante klumper i form af galakser.

Foto: Hubble Ultra Deep Field 2014: credit: NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (ST-ScI), R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI)

NY KOSMOLOGISK MODEL skal medregne universets store strukturer

Om forfatteren
Af Henrik Bendix,
videnskabsjournalist.
bendix@vidmere.dk



**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 Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk

Universet er fyldt med strukturer af stof. Stjerner er samlet i galakser, og hobe af galakser ligger som perler på kosmiske tråde. Alligevel ignoreres strukturerne i den kosmologiske standardmodel, hvor udgangspunktet er et homogent univers. Det prøver forskeren Sofie Marie Koksbang at gøre op med.

Sofie Marie Koksbang har en mission. Hun vil finde ud af, om den nuværende model for universet er god nok, og hvordan den i modsat fald kan forbedres. Sagen er den, at den kosmologiske standardmodel ignorerer strukturer, som ellers er svære at komme uden om.

Universet kunne i princippet være ekstremt kedeligt. Hvis al stoffet i universet var helt ligeligt fordelt, ville der ikke findes stjerner eller galakser, og vi ville ikke eksistere. Universet ville blot være en uhyre

tynd suppe af elementarpartikler.

Men heldigvis har stoffet en tendens til at klumpe sig sammen og danne en mangfoldighed af strukturer. Når vi kigger ud i universet, kan vi for eksempel se, hvordan galakser har organiseret sig i hobe, der ligger som dugdråber i vævet af et kosmisk, tredimensionelt edderkoppespind.

Men strukturer som disse optræder ikke i de ligninger, som fysikere bruger til at regne på universet som helhed. Det vil Sofie Marie Koks-

bang, der er ansat som postdoc ved forskningscenteret CP3-Origins, gerne lave om på:

»Jeg prøver at finde ud af, om man kan finde en effekt af strukturerne på den helt store skala, og hvordan eventuelle effekter kan påvirke astronomiske observationer.«

CP3-Origins er en forkortelse for Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology, der hører under Institut for Fysik, Kemi og Farmaci på Syddansk Universitet. Her arbejder forskerne på at forstå,

hvordan vores univers kom til at se ud, som det gør – hvordan det almindelige og det mørke stof blev dannet, og hvordan universet har udviklet sig, siden det var helt lille.

Einsteins ligninger bruges på hele universet

For kosmologer som Sofie Marie Koksbang er udgangspunktet Einsteins almene relativitetsteori, som han præsenterede 25. november 1915. Selv om teorien nu har mere end et århundrede på bagen, er den stadig i fremragende form. Den har modstået alle angreb og har vist sig at være en uovertruffen teori for den kraft, vi kalder tyngdekraften.

Ifølge relativitetsteorien kan tyngdekraften bedst beskrives geometrisk, idet den kan forstås som en krumning af rumtiden forårsaget af det stof – eller mere generelt den energi – der er til stede. Eller som fysikeren John Archibald Wheeler formulerede det: "Rumtiden fortæller stof, hvordan det skal bevæge sig; stof fortæller rumtiden, hvordan den skal krumme".

Det lyder forholdsvis simpelt, men det er ikke nemt at regne på. Selv om Einsteins feltligninger ofte præsenteres i en kompakt version som en enkelt ligning med masse og energi på den ene side og rumtidens krumning på den anden, er der i virkeligheden tale om et system af 10 koblede, ikke-lineære partielle differentilligninger, som det er svært at finde eksakte løsninger på – faktisk så svært, at Einstein selv tvivlede på, at det kunne lade sig gøre.

Det viste sig dog hurtigt, at det ikke er helt umuligt. Et par måneder efter offentliggørelsen af den almene relativitetsteori fandt den tyske astronom og fysiker Karl Schwarzschild frem til en løsning, der beskriver den ekstreme krumning af rumtiden, vi i dag kalder et sort hul.

Andre fysikere som Alexander Friedmann, Georges Lemaître, Howard

Om forskeren

Sofie Marie Koksbang har en kandidat- og ph.d.-grad i fysik fra Aarhus Universitet. I forbindelse med sin kandidatuddannelse tog hun et semester på University of Texas i Austin og siden var hun på forskningsophold på University of Texas i Dallas som led i sin ph.d.

Efter sin ph.d. fik hun en postdoc på Helsinki Universitet via en bevilling fra Danmarks Frie forskningsfond (DFF), hvorefter hun i 2020 fik en ny postdoc på Center for Cosmology and Particle Physics Phenomenology (CP3) ved Syddansk Universitet via en bevilling fra Carlsbergfondet.

Forskningen beskrevet i denne artikel er for en stor del finansieret af Danmarks Frie forskningsfond.



Foto: AU

P. Robertson og Arthur Geoffrey Walker var mere interesserede i, hvordan Einsteins ligninger kunne bruges på hele universet.

Ud fra den antagelse (nu kaldet det kosmologiske princip), at universet er homogent og isotropt, altså at stoffet er jævnt fordelt, og at universet ser ens ud i alle retninger, fandt de en eksakt løsning på Einsteins feltligninger, der beskriver et dynamisk univers, der enten udvider sig eller trækker sig sammen.

Allerede i 1927 formåede den belgiske præst, matematiker, fysiker og astronom George Lemaître at kombinere Einsteins teori med nye astronomiske målinger, der viste en sammenhæng mellem afstanden til en galakse og dens hastighed væk fra os – en sammenhæng, vi i dag kender som Hubbles lov, men som mere korrekt hedder Hubble-Lemaîtres lov. Lemaître forstod, at de astronomiske observationer viser, at universet udvider sig, og i 1931 kom han frem til den konklusion, at universet engang har været ganske lille og har udvidet sig lige siden. Her var startskuddet til big bang-teorien.

Universet er mest mørkt

Vil man beskrive universets udvikling er det afgørende, at man har styr på, hvad det indeholder. Det er fysikere og astronomer da også blevet meget klogere på i det forløbne århundrede, så vi i dag ved, at universet rummer meget mere stof end det, vi kender som almindeligt, baryonisk stof. Langt størstedelen af stoffet er mørkt – vi ved endnu ikke, hvad det består af.

Mørkt stof er dog ikke nok til at forklare de astronomiske observationer. I 1998 kunne to forskerhold uafhængigt af hinanden fremlægge observationer, som tyder på, at universet udvider sig stadig hurtigere. Effekten tilskrives en "mørk energi", der fungerer som en slags negativt tryk, der får selve rummet til at blive større hurtigere og hurtigere.

Efter opdagelsen af mørkt stof og siden mørk energi har fysikerne udviklet en kosmologisk standardmodel, der kaldes Λ CDM (udtales lambda-CDM, da Λ står for det græske bogstav lambda). Det er stadig Einsteins ligninger, der udgør essensen i modellen, hvor Λ repræsenterer mørk energi, mens CDM står for

Universer skabes i supercomputere

I naturvidenskaben er forsøg uundværlige, når teorier skal testes. Men kosmologer har den udfordring, at det ikke er muligt at proppe hele universer ned i petriskåle, så de må nøjes med at holde observationer af det virkelige univers op imod computermodeller, hvor universer og deres udvikling simuleres.

Udgangspunktet for simuleringerne er oftest den kosmologiske standardmodel kombineret med observationer, der har givet os viden om universet indhold. Den hidtil største og mest detaljerede simulering hedder Uchuu, som er japansk for det ydre rum eller universet. Den blev præsenteret 10. september 2021. Her har en supercomputer tygget på 2,1 billioner mørkt stof-partikler i et tredimensionalt modelunivers, der måler 9,63 milliarder lysår på hver led, og som har samme fordeling af stof og mørk energi, som i 2015 kunne udregnes på baggrund af data fra Planck-satellitten.

De stadig mere detaljerede modeller giver et billede af, hvordan universet er kommet til at se ud, som det gør, med et kosmisk net af galaksehobe, der omgiver store tomrum. Men modellerne kan altid blive bedre – de kunne for eksempel inkludere den effekt, som tilstedeværelsen af strukturerne har for universets udvidelse og vores observationer af det.

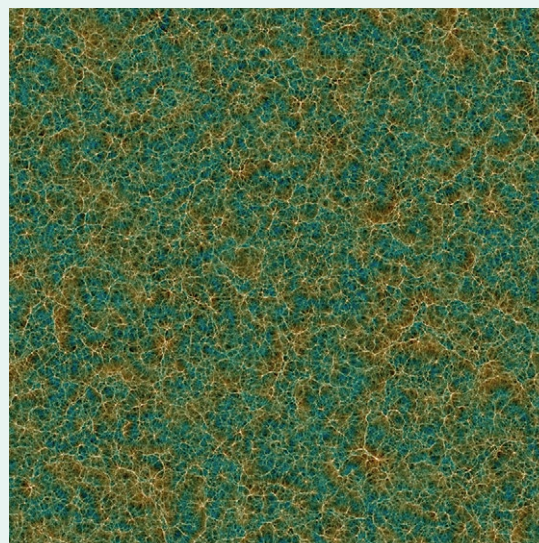
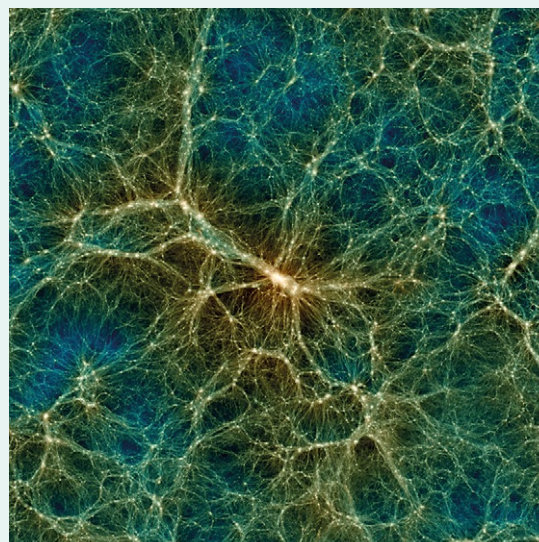
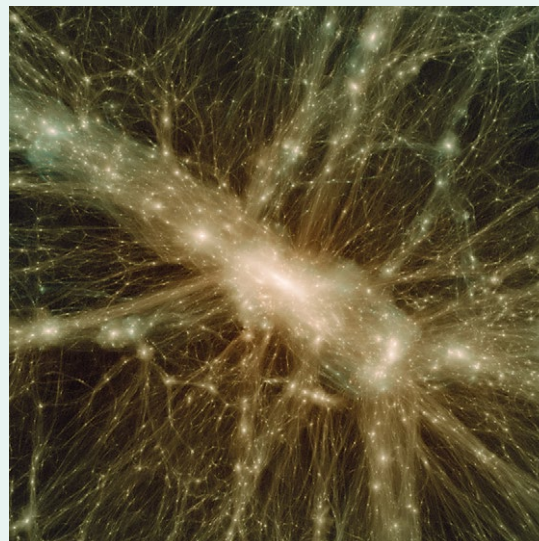
Her løber fysikerne dog hurtigt hovedet mod en mur, for så snart man bevæger sig lidt væk fra den forholdsvis simple kosmologiske standardmodel, som forudsætter et homogent univers, bliver Einsteins ligninger uhyre svære at arbejde med rent matematisk. I stedet for at arbejde med eksakte løsninger forsøger forskerne sig med numeriske metoder, så “numerisk relativitet” er et voksende felt inden for kosmologien. Så kan modeller som Uchuu blive lidt mere realistiske end i dag, hvor det i bund og grund er newtonsk dynamik, der er udgangspunktet.

Fysikerne er langt fra at lave en model, der er fuldstændig realistisk i forhold til den observerede fordeling af stof og energi i universet, specielt hvis strukturerne rotationer og vridninger af rummet skal inkluderes.

Selv ikke den kraftigste supercomputer kan regne på et realistisk univers, så Sofie Marie Koksang må nøjes med at simulere universer med en simplere fordeling af stoffet og derudfra få en idé om, hvordan de stofflige strukturer påvirker universets udvikling – og hvordan denne påvirkning kan observeres.

Eksempler på computersimuleringer

Illustrationerne viser computersimuleringer med Uchuu. I en sådan simulering ser man på et udsnit af et univers og fordeler stoffet i et eller andet antal legemer, helst så stort som muligt. Legemerne får lov til at vekselvirke under almindelig Newtonsk tyngdekraft, men man tager højde for den væsentligste effekt fra generel relativitetsteori ved at lade det simulerede område udvide sig ifølge generel relativitetsteori. Man starter så simuleringen med legemerne nogenlunde jævnt fordelt i hele kassen, og man kan så observere, hvordan tyngdekraften får legemerne til at hobe sig sammen i strukturer. Det resulterende netværk af strukturer passer nogenlunde med det, man observerer i virkeligheden, men kun hvis man bruger den “rigtige”



Illustrationer: IAA-CSIC/www.skiesanduniverses.org

udvidelseshastighed igennem alle de milliarder af år, simuleringen dækker over. Derfor kan man ved at sammenligne den observerede mængde strukturdannelse i universet med det, man får fra sådanne simuleringer lære om, hvad den “rigtige” udvidelseshastighed er.



Cold Dark Matter, koldt mørkt stof. Med koldt menes egentlig bare, at det bevæger sig meget langsommere end lys.

Som modellens navn understreger, er universets udvikling først og fremmest dikteret af mørk energi og mørkt stof. Da det almindelige, velkendte stof kun udgør knap fem procent af universets indhold, spiller det ikke den helt store rolle i kosmologien.

Universets indhold af stof og energi bestemmer, hvor hurtigt det udvider sig, og hvordan udvidelseshastigheden har varieret igennem tiden. Stoffet bremser udvidelsen, mens den mørke energi – som vokser i takt med universets størrelse – sætter turbo på. Når man kender de parametre, kan man også give et bud på universets alder, hvor det seneste lyder på 13,8 milliarder år.

»Så vi har standardmodellen for kosmologi baseret på den generelle relativitetsteori og nogle antagelser, blandt andet antagelsen om, at vi

med rimelighed kan beskrive universet som fuldstændig homogent og isotropt,« siger Sofie Marie Koksang og fortsætter:

»Men det er en antagelse, og hvis man kigger på Einsteins ligninger og så sætter et inhomogent univers ind – et univers med strukturer som det, vi lever i – så kommer der ekstra led med, selv når man går til store skalaer, hvor strukturerne udviskes, og universet ser ud til at være homogent og isotropt. Spørgsmålet er så, om de ekstra led på en eller anden mystisk måde går ud, så de bliver negligeble i vores univers, eller om de ikke gør det.«

Måske findes mørk energi ikke

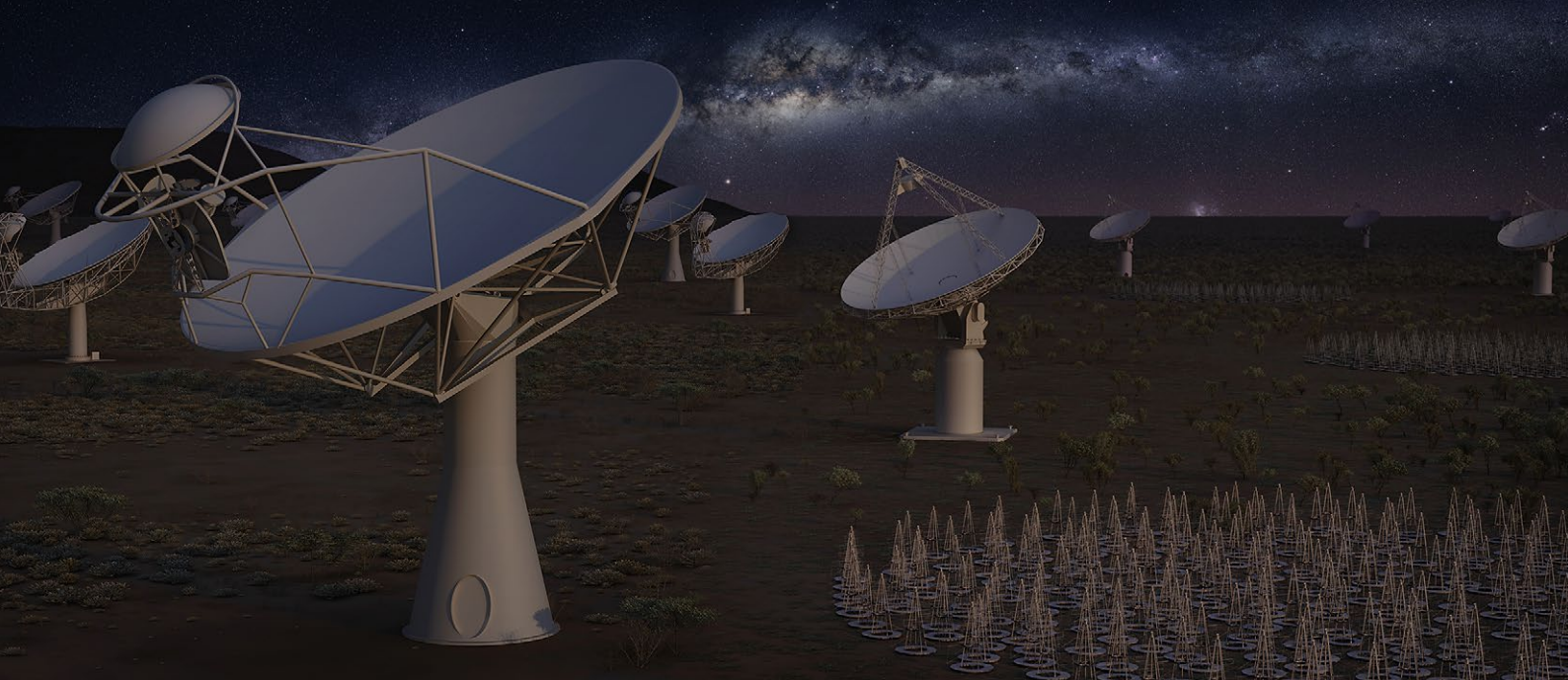
Den kosmologiske standardmodel, der er bygget på den løsning af Einsteins ligninger, som Friedmann, Le-maitre, Robertson og Walker fandt frem til, forudsætter et homogent univers, og Sofie Marie Koksangs pointe er, at den forudsætning måske fører til en model, der er lige simpel nok. Universet er nemlig

tydeligvis ikke homogent – det er præget af storstrukturer af galaksehobe adskilt af store tomrum. Når de medregnes, kan de måske have en effekt, som fysikerne kalder backreaction, forklarer hun:

»Et univers, der på små skalaer har strukturer, men på meget store skalaer ser ud til at være isotropt og inhomogent, opfører sig anderledes end et univers, der også på små skalaer er isotropt og homogent. Det er her, forskellen på backreaction og lambda-CDM er, for lambda-CDM-modellen er baseret på at antage, at der ikke er forskel på de to situationer. Derfor beskriver ligningerne i lambda-CDM-modellen et univers, der

Når Extremely Large Telescope står klar i 2027, kan astrofysikerne begynde at måle, hvordan rødforskydningen af lyset fra fjerne galakser ændrer sig med tiden. Sådanne målinger kan revolutionere kosmologien. Indsat foto: Status på byggeriet.

Illustration: ESO
Foto: H. Millar/MCTCI, Chile



Det enorme radioteleskop Square Kilometer Array vil også kunne måle, om rødforskydninger bliver større som forudsagt af lambda-CDM-modellen eller ej.

Illustration: SKA Observatory.

Videre læsning

Universet har vokseværk. Aktuell Naturvidenskab nr. 2/2021

selv på lille skala er homogent og isotropt.«

»I backreaction-scenarier tager man højde for strukturerne på lille skala, hvilket genererer ekstra led i ligningerne, der beskriver universet på store skalaer, hvor det formentlig kan beskrives som homogent og isotropt.«

Så Sofie Marie Koksang regner på, om en mere kompleks kosmologisk model, hvor strukturer indgår, kan føre til andre forudsigelser end den nuværende model. Rent matematisk bør de ekstra led være der, men det er muligt, at de ikke betyder noget, når observationer skal fortolkes. Omvendt kan det også være, at de har ganske stor betydning, fortæller hun:

»I princippet kan de ekstra led give en tilsyneladende accelereret ekspansion af universet, så universet ser ud til at udvide sig hurtigere og hurtigere, selvom det i virkeligheden ikke gør det nogen steder lokalt.«

En accelereret udvidelse af universet lyder jo præcis som det fænomen, der i dag tilskrives mørk energi. De forskere, der beskæftiger sig med inhomogen kosmologi, leger da også med tanken om, at der slet ikke findes mørk energi. Måske kan de observationer, der peger i retning af en accelererende udvidelse af uni-

verset, forklares med backreaction, altså effekten af strukturerne i universet.

Teorien kan testes med nye teleskoper

Heldigvis findes der en måde, hvorpå man kan skelne mellem mørk energi og backreaction – en "smoking gun", som Sofie Marie Koksang kalder det:

»Jeg har fundet frem til, at man kan kigge på det, der hedder redshift drift. I et univers med egentlig accelereret ekspansion forårsaget af mørk energi, ville dette redshift drift blive positiv, men ellers bliver det negativt – også hvis vi lever i et univers, der på grund af backreaction bare ser ud til at have en accelereret ekspansion.«

I dag ved vi, at universet udvider sig, for vi kan observere, hvordan lyset fra fjerne galakser er forskudt mod det røde område af spektret. Rødforskydningen er en konsekvens af universets udvidelse, idet lysbølgerne er blevet trukket ud og har fået længere bølgelængde i takt med udvidelsen. I et univers, som udvider sig stadig hurtigere, bliver rødforskydningen gradvist større og større, og det kaldes redshift drift – at rødforskydningen rykker sig.

Denne langsomme ændring af størrelsen af rødforskydningen er desværre uhyre svær at måle, og teknologien til at gøre det indenfor

en overskuelig årrække findes endnu ikke. Men det kan ændre sig. Forskerne sætter specielt deres lid til et instrument kaldet HRES (High Resolution Spectrograph), en spektrograf med ekstrem høj opløsning designet til superteleskopet Extremely Large Telescope (ELT), der er ved at blive bygget på en bjergtop i Chile.

ELT, der får et hovedspejl med en diameter på 39 meter, kan stå klar i 2027, og få år efter vil et andet superteleskop kaldet Square Kilometer Array (SKA) være bygget færdig. SKA bliver et enormt radioteleskop bestående af tusindvis af sammenkoblede radioantenner placeret i Sydafrika og Australien, og med det vil astronomerne også blive i stand til at måle, hvordan rødforskydningen flytter sig.

»Redshift drift kan bruges som smoking gun for, om der er mørk energi i det hele taget, og sammenholder vi med målinger af Hubble-parametret, kan vi finde ud af, om vi er i standardmodel-scenariet med mørk energi som kosmologisk konstant, om vi har en anden type mørk energi, eller om vi har backreaction – eller en blanding,« siger Sofie Marie Koksang.

Men hun må væbne sig med tålmodighed, for selv med ELT og SKA vil det sandsynligvis kræve et par årtiers målinger at få overbevisende data om rødforskydningens eventuelle ændring med tiden. ■



IT Camp

for piger

5.- 6. februar 2022

Er du vild med matematik?

- så er IT Camp for piger på SDU i Odense måske noget for dig?

På IT Camp for piger får du fingrene i brugerdrevet app-design og programmering i Python. Du får indblik i algoritmer, analyse af Big Data, Deep Learning og kunstig intelligens. Du vil møde færdiguddannede, som er i gang med deres karriere og hører om, hvordan man tænker innovativt med IT-teknologier.

IT Camp for piger er for elever, der er på 2. eller 3. årgang på HHX, STX, HTX, HF, EUX eller har sabbatår. Du behøver ikke kunne programmere for at deltage. Du skal blot medbringe egen computer og masser af nysgerrighed.

SDU byder på overnatning, mad og drikke, og det hele er gratis.

Campen finder sted lørdag den 5. februar 2022 kl. 10.30 til søndag den 6. februar 2022 kl. 16.00 på SDU i Odense.

Tilmelding: www.sdu.dk/itcampforpiger

EPIGENETIK

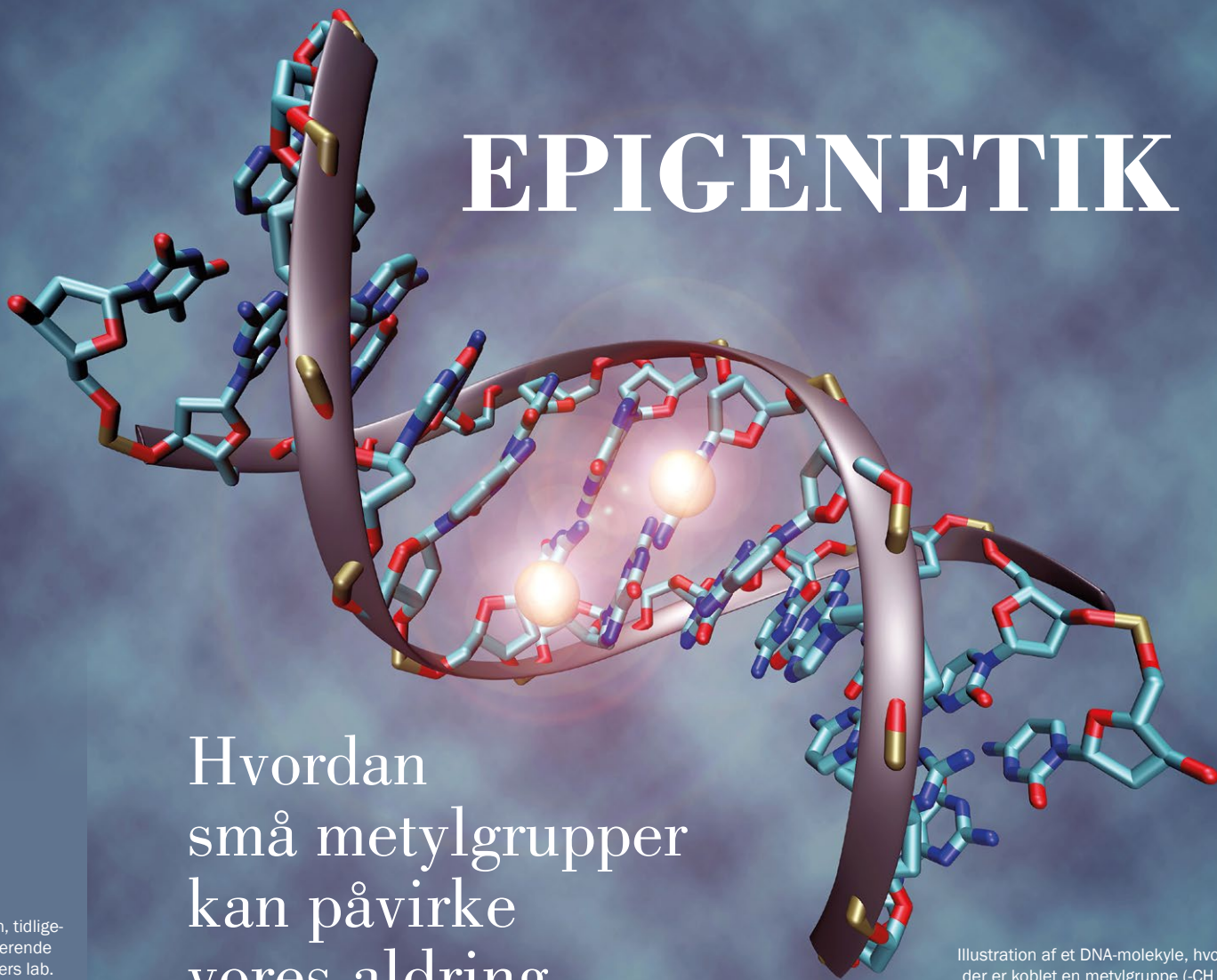


Illustration af et DNA-molekyle, hvor der er koblet en metylgruppe (-CH₃) på begge DNA-strengene.

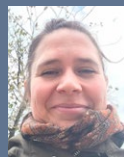
Illustration: Christoph Bock, Max Planck Institute for Informatics.

Om forfatterne



Stine Asmussen, tidligere specialestuderende i Tinna Stevnsners lab. for DNA Reparation og Aldring, ved Institut for Molekylærbiologi og Genetik, Aarhus Univ.

Hvordan små metylgrupper kan påvirke vores aldring



Mette Sørensen Thinggaard, lektor i aldringens molekylære epidemiologi ved, Forskningsenheden for Epidemiologi, Biostatistik og Biodemografi/ Det Danske Tvillingregister ved Institut for Sundhedstjenesteforskning, SDU



Tinna Stevnsner, professor i aldringens molekylærbiologi, leder af Lab. for DNA Reparation og Aldring, ved Institut for Molekylærbiologi og Genetik, Aarhus Univ.

Små kemiske modifikationer af vores DNA – såkaldte metylinger – spiller en vigtig rolle for, hvordan generne kommer til udtryk gennem livet. Meget tyder på, at de dermed også er vigtige for, hvordan vi ældes. Det er interessant, da en metylering ikke nødvendigvis er en permanent ændring.

At vi ældes er en uundgåelig kendsgerning, men *hvordan* vi ældes varierer i høj grad fra person til person. Det store spørgsmål er, hvad der ligger bag denne store variation, som kommer til udtryk som store forskelle i livslængde samt fysisk og psykisk velvære, når man kommer op i årene.

En del af forklaringen skal findes i variationer – og i nogle tilfælde mutationer – i vores DNA, som kan

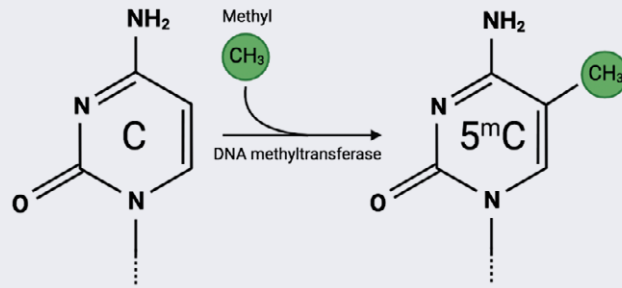
være enten medfødte eller erhvervet i løbet af livet. Variationerne kan komme til udtryk som en disposition for at udvikle aldersrelaterede sygdomme som kræft eller som en disposition for førtidige aldrings-symptomer. Men det handler ikke kun om, hvilke gener vi er udstyret med – det handler også om, hvordan genernes aktivitet ændrer sig med alderen. Forandringer i genaktiviteten kan for eksempel skyldes såkaldte epigenetiske forandringer. Epigenetiske forandringer ændrer

ikke selve DNA-opskriften, men de kan modulere, hvor effektivt gener udtrykkes. Derfor kan indsigt i epigenetik og epigenetiske forandringer bidrage til vores forståelse af den store variation i, hvordan vi ældes samt udviklingen af aldersrelaterede sygdomme.

Epigenetikens overordnede rolle

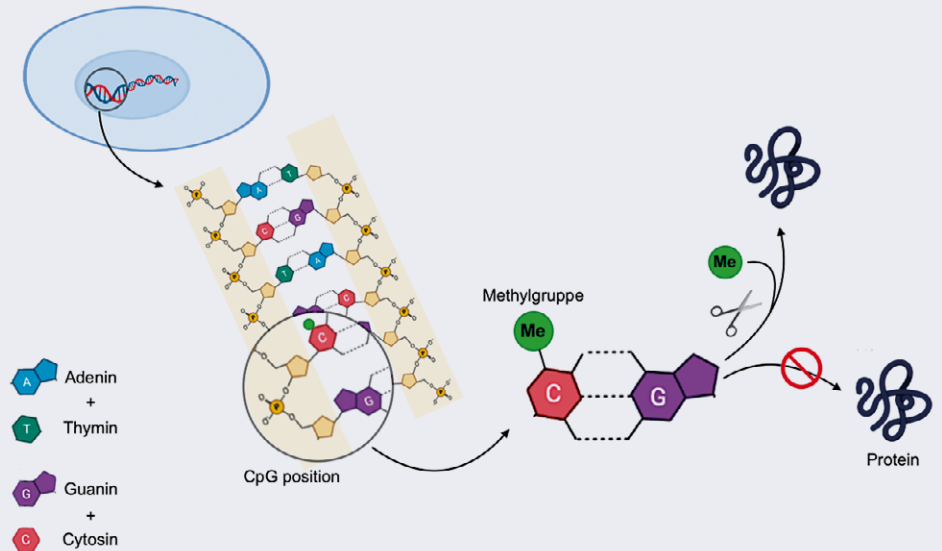
“Epi” stammer fra græsk og betyder “på”. Epigenetik handler altså om forandringer oven på selve DNA-se-

Enzymer kaldet DNA-metyltransferaser kan sætte en metylgruppe på det femte atom i ringen (som er carbon) regnet fra nitrogenatomet nederst, som er position 1. Den modificerede cytosin kaldes nu 5-metylcytosin (5^mC).

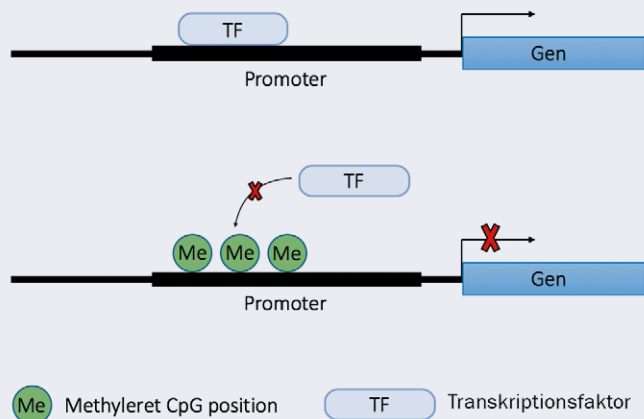


Metylering

Hver cellekerne i kroppen indeholder identiske kopier af DNA. DNA har form som en snoet dobbeltstreng, hvor hver streng er opbygget af såkaldte nukleotider med fire forskellige baser: adenin (A), thymin (T), guanin (G) og cytosin (C). Menneskets genom består af cirka 6 milliarder baser, og baserne på de to strenger sidder overfor hinanden i bestemte par, således at adenin altid er parret med thymin på den modstående streng, og guanin altid er parret med cytosin.



Basen cytosin kan metyleres ved, at der sættes en metylgruppe (CH₃) på den. Cirka 1% af alle DNA-baser i genomet er metylerede cytosiner. Metyleringer ses i forbindelse med en CpG-position, altså når cytosin efterfølges af guanin på DNA-strengen. Regulerende områder af DNA'et (såkaldte promotere), som er med til at styre, hvor meget et gen udtrykkes, indeholder ofte mange CpG-positioner. Metylering af en CpG-position i et sådant regulerende område medfører, at såkaldte transskriptionsfaktorer ikke kan binde til sekvensen, hvilket betyder at aflæsningen af genet blokeres, så det ikke kan komme til udtryk. Hvis metylgruppen fjernes, tillader det modsat aflæsning, så det protein, som genet koder for, kan udtrykkes.



kvensen. Det involverer forskellige kemiske modifikationer af DNA'et, som kan slukke eller tænde, altså inaktivere eller aktivere, vores gener. Modulering af geners aktivitet bidrager til, at vores krops celler kan påtage sig vidt forskellige opgaver – lige fra at være en levercelle til en hudcelle eller en hjernecelle. Alle celler har den samme opskrift, men epigenetikken bidrager væsentligt til, at kroppens celler i al deres diversitet læser og fortolker DNA'et forskelligt.

En meget almindelig epigenetisk modifikation er, at der kobles en metylgruppe (den kemiske gruppe CH₃) til basen cytosin. Dette kaldes en metylering. Disse ses hovedsageligt, når cytosin (C) efterfølges af basen guanin (G) i DNA'et, og det kalder man for en CpG-position. Enzymer kaldet DNA-metyltransferaser sørger for at sætte metylgrupper på cytosiner. Flere og flere undersøgelser peger på, at et gen inaktiveres, hvis der er metyleringer i det gen-regulerende område kaldet genets

promoter, som bestemmer, hvor aktivt et gen er.

DNA-metylering spiller altså en væsentlig rolle i regulering af gener livet igennem – lige fra man er et foster i sin mors mave, til man er fuldt udviklet som et voksent menneske. Hvis DNA-metyleringerne af en eller anden grund bliver unormale, risikerer de at bidrage til udviklingen af sygdomme og/eller nedsættelse af den kognitive og fysiske kunnen.



Stine i gang med at forberede opformering af DNA fra musehjerner til undersøgelse af metyleringsmønstret. Foto: Tinna Stevnsner

Hvis man ser på den totale mængde af cytosin-metyleringer, falder den med alderen. Men når man kigger mere lokalt i DNA'et, for eksempel i promotorer, ser man et forøget antal cytosin-metyleringer med alderen. Metylering i promotorer leder til forstyrrelse af det normale udtryk af de givne gener og dermed mængden af det protein, som de koder for. Metyleringer kan nemlig blokere adgangen for transskriptionsfaktorer – proteiner der binder til promotorer og dermed bidrager til at regulere udtrykket af et specifikt gen. Hvis udtrykket af genet er vigtigt for, hvorvidt man risikerer at udvikle en alvorlig sygdom, kan ændringer i gen-promotorens metylering altså få alvorlige konsekvenser.

Som vi skal se senere, kan både alder og miljø bidrage til forandringer i det epigenetiske mønster.

Men det er vigtigt at bemærke, at metyleringer og andre epigenetiske ændringer er reversible – det er altså ikke nødvendigvis permanente ændringer.

Epigenetik og den aldrende hjerne

Hjernen har en relativt stor iltomsætning, og en konsekvens heraf er, at der produceres en stor mængde reaktive iltforbindelser, som blandt andet fører til oxidativ beskadigelse af hjernecellernes DNA. Effektive DNA-reparationsprocesser i cellen sørger normalt for at fjerne langt de fleste af disse skader, men der sker dog alligevel en vis ophobning med alderen. For at få bedre indsigt i, hvorledes reparationen af oxidative DNA-skader i hjernen reguleres, er der blandt andet brug for detaljerede undersøgelser af forekomsten af epigene-

tiske forandringer i promotoren for de forskellige gener, der koder for reparationsproteinerne. Man har for nyligt kunne vise, at promotorer for en række gener, der er involveret i reparation af oxidative DNA-skader, er mere metylerede hos ældre individer. Det ændrede metyleringsmønster stemmer overens med, at man har set nedsat udtryk af visse DNA-reparationsgener. I forbindelse med et forskningsprojekt på Aarhus Universitet har Stine Asmussen og Tinna Stevnsner sammen med nogle af deres kollegaer blandt andet undersøgt metyleringen af CpG-positioner i promotoren for et stort antal gener, som koder for proteiner involveret i reparationen af oxidative DNA-skader. De foreløbige resultater har vist, at de vigtige CpG-positioner i promotoren for disse gener er metylerede i ældre mus, og at det medfører en nedsat binding af transskriptionsfaktoren CREB. Denne transkriptionsfaktor er central for regulering af udtrykket af en hel række gener inklusiv gener, som koder for proteinerne, der reparerer de oxidative DNA-skader. Det er derfor sandsynligt, at når de vigtige CpG-positioner er metylerede i ældre mus, så binder CREB i mindre grad, og derfor bliver DNA-reparationsgenerne mindre aktive. Der vil derfor blive lavet færre DNA-reparationsproteiner, og kroppens evne til at reparere skader i DNA'et vil blive nedsat. Konsekvensen er, at DNA-skaderne ophobes med alderen og indvirker negativt på hjernens funktion.

Disse mekanismer kan også tænkes at være relevante for en række neurodegenerative sygdomme hos mennesket. Eksempelvis har epigenetiske forandringer været fremført som centrale for Alzheimers sygdom, hvor flere studier har fundet epigenetiske forskelle i hjernevæv fra individer med Alzheimers sygdom sammenlignet med raske kontrol-individer. Andre studier har fundet et forøget niveau af oxidative DNA-skader i hjerner fra individer med Alzheimers sygdom sammenlignet med raske personer på samme alder. Dog er studier,

som undersøger både niveauet af DNA-skader og metylering i de samme mennesker relativt sjældne, hvilket gør det vanskeligt at etablere en direkte forbindelse. Der mangler derfor mere forskning på området.

Tvillingestudier belyser betydning af epigenetiske forandringer

Der er forholdsvis store individuelle forskelle på, hvordan metyleringsmønstret ændrer sig med alderen. Det skyldes blandt andet påvirkning fra nogle af de mange miljøfaktorer, man udsættes for dagligt. Det kan man blandt andet se, når man undersøger enæggede tvillinger, som med alderen bliver indbyrdes mere og mere forskellige i deres epigenetiske mønster. Ved at undersøge forskelle imellem enæggede tvillingers epigenetiske forandringer kan man udelukke den indflydelse, som den genetiske baggrund måtte have på epigenetikken. De epigenetiske forskelle, man ser hos de enæggede tvillinger, kan derfor antages at skyldes forskelle i livsstil og andre påvirkninger fra det omgivende miljø, som de to tvillinger hver især har gennemlevet.

Mette Sørensen Thinggaard og hendes kollegaer ved SDU har ved hjælp af tvillingestudier blandt andet fundet korrelationer imellem fysisk styrke i alderdommen og epigenetisk variation i gener, der er involveret i immunologiske processer og gig. De har også fundet korrelationer imellem hjernens kognitive funktion i alderdommen og epigenetisk variation i gener involveret i eksempelvis signalering i hjernen samt Alzheimers sygdom. Der arbejdes i skrivende stund videre med disse analyser, for eksempel med henblik på at bekræfte fundene i andre tvillinger.

Epigenetik og effekten af cancerbehandling

Mange kemoterapeutika virker ved, at de introducerer skader i kræftcellernes DNA. For at opnå en god effekt af behandlingen er det derfor vigtigt, at kræftcellerne ikke har en særlig stor kapacitet

Tvillingestudier og aldringsprocessen

Enæggede tvillinger er resultatet af et enkelt æg befrugtet af en sædcelle, hvorimod tveæggede tvillinger er resultatet af to forskellige æg befrugtet med hver sin sædcelle. Derfor er enæggede tvillinger genetisk set identiske, imens de tveæggede i gennemsnit deler halvdelen af den genetiske kode ligesom ethvert andet søskende-par. På grund af denne forskel i genetisk lighed har tvillinger bidraget betydeligt til genetisk epidemiologisk forskning i årtier. Man har ved sammenligning af lighed i fænotyper (dvs. ydre fremtoning, fysiologi, egenskaber og sygdomme) indenfor tvillingeparrene kunnet beregne, hvor meget af variationen i en fænotype, der skyldes genetik, og hvor meget der skyldes miljø. Hvis to enæggede tvillinger eksempelvis forbliver mere ens med hensyn til en given fænotype i løbet af livet end to tveæggede tvillinger gør, så skyldes variationen i fænotypen først og fremmest gener og i mindre grad forskelle i miljø og livsstil.

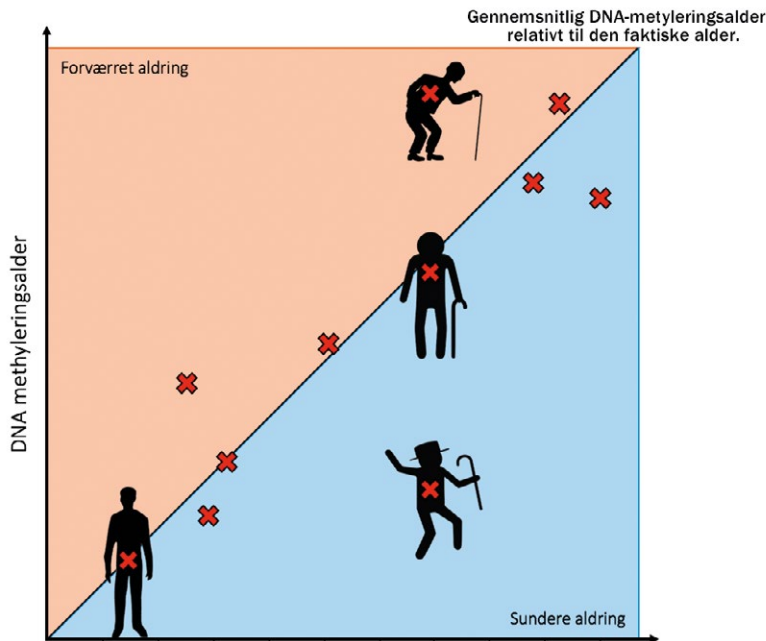
Ved at undersøge forskelle i fænotyper indenfor enæggede tvillingepar kan man finde biologiske markører, herunder epigenetiske forskelle, der bidrager til variationen af fænotypen. Den teknologiske udvikling har i de seneste par årtier endda gjort det muligt at undersøge mange biologiske markører på én gang via såkaldt array-teknik, som efterfølgende kan benyttes til statistisk analyse på tværs af hele genomet. Sådanne arrays benyttes nu om dage til at undersøge både genetisk variation (i DNA'et), epigenetisk variation (CpG-positioner), gen-ekspression (udtrykket af de enkelte gener) og protein-forekomst (gen-produktet). Forskningsresultater for tvillinger anses også for at være gældende for enkeltfødte individer. For selvom tvillinger har et lidt anderledes miljø i moders mave sammenlignet med enkeltfødte, har klassiske epidemiologiske studier vist, at tvillingers helbred og liv minder meget om enkeltfødte individer, fraregnet en lidt højere dødelighed i de første par uger lige efter fødslen samt lidt lavere selvmordsrater og skilsmisserater i voksenlivet.

Fædres fedme kan påvirke deres ufødte børn

Børn af overvægtige mænd har øget disponering for at blive overvægtige. Umiddelbart vil man tro, at dette enten skyldes en genetisk disponering for at blive overvægtig eller en påvirkning med uheldige spisevaner eller en kombination heraf. Men måske er der også epigenetik på spil. Professor Romain Barrés og hans kollegaer fra Novo Nordisk Foundation Center for Basic Metabolic Research ved Københavns Universitet har sammenlignet sædceller fra overvægtige og slanke mænd og afsløret, at deres sædceller ser epigenetisk forskellige ud. Ændringerne var fremtrædende på gener, som blandt andet styrer appetitten. Det er derfor muligt, at faderens epigenetik påvirker børnenes regulering af appetit. Disse studier antyder altså, at vordende forældres livsstil i et eller andet omfang kan nedarves. De overvægtige fædre kan potentielt også give en øget risiko for autisme videre på samme måde, da de epigenetiske ændringer i sædcellerne også involverer gener, der er vigtige for hjernens udvikling.

for at reparere DNA. Et af de reparationsproteiner, som kræftceller bruger til at reparere DNA-skader, som visse kemoterapeutika påfører kræftcellerne, kaldes MGMT (der står for O6-metylguanin-DNA

metyltransferase). Faktisk bruger man ligefrem metyleringsniveauet i promotoren for genet, der koder for MGMT som en klinisk markør for potentiel effekt af kemoterapi i forbindelse med behandling af en



Steve Horvaths aldersforudsigende model. Modellen er baseret på metyleringen af 353 CpG-positioner. "DNA metyleringsalderen" er den alder, som modellen forudsiger. Tre individer af samme faktiske alder fremstår med vidt forskellig funktionel kunnen reflekteret i deres DNA-metyleringsalder. Det er derfor blevet foreslået, at modellen kan bruges som et mål for sund aldring.

DNA-metyleringsalder end den faktiske alder for individet. Det kan betegnes som alders-acceleration – vedkommende eller vævet fremstår ældre end forventet.

Kræftceller adskiller sig blandt andet fra andre celler ved, at de deler sig uhæmmet. Epigenetiske forandringer spiller muligvis en rolle i den proces, idet det som nævnt er epigenetikken, der dirigerer cellerne til at indtage deres specifikke roller til de forskellige væv i kroppen – og denne differentieringsproces menes at være forstyrret i kræftceller, hvilket blandt andet betyder, at kræftceller bibeholder evnen til at dele sig uhæmmet. En dybere forståelse af, hvordan epigenetiske forandringer kan ændre måden, cellerne opfører sig og spiller sammen på, kan derfor hjælpe til forståelsen af kræftudvikling og dermed give ideer til nye strategier for behandling af kræft.

Videre læsning

Videnskabelige artikler:

Garm, C. et al (2013): *Genetic and Environmental Influence on DNA Strand Break Repair: A Twin Study*. *Environ Mol Mutagen*. 2013 Jul; 54(6): 414–420.

Sørensen, M. et al (2020): *A Genome-Wide Integrative Association Study of DNA Methylation and Gene Expression Data and Later Life Cognitive Functioning in Monozygotic Twins*. *Front. Neurosci.*, 09 April 2020.

Populært om epigenetik

Fra genetik til epigenetik. *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 3/2014.

Tobias Wang: *Epigenetik – arvelige påvirkninger og forandringer*. I 50 opdagelser – højdepunkter i Naturvidenskab. Aarhus Universitetsforlag 2013.

sciencenews.dk/da/epigenetisk-test-kan-forudsige-respons-paa-metforminbehandling

www.carlsbergfondet.dk/da/Nyheder/Formidling/Vi-fortaeller-naturvidenskabens-forfra/Du-bliver-hele-tiden-taendt-og-slukket

specifik type hjerne cancer (glioblastoma). Man har nemlig observeret, at når MGMT-promotoren ikke er metyleret (og MGMT-genet derfor kan aflæses effektivt), er kemoterapi-behandling ikke særlig effektiv i modsætning til, når MGMT-promoteren er metyleret (og MGMT-genet ikke kan aflæses). Mette Sørensen Thinggaard og hendes kollegaer ved SDU studerer i øjeblikket de mere generelle metyleringsmønstre i MGMT-genet i relation til ikke blot hjerne cancer men også forskellige typer af aldersrelateret cancer.

Hvad er din metyleringsalder?

Vi har alle oplevet, at nogle mennesker virker ældre eller yngre end de egentlig er. En del af forklaringen kan som allerede antydnet ligge i epigenetikken og forskellige metyleringsmønstre, som kan give ophav til varierende aldringstegn. Aldringsforskeren Steve Horvath har ligefrem udviklet en model, som kan forudsige en persons alder ud fra vedkommendes metyleringsmønstre. Han udviklede modellen ud fra studier af 8000 metyleringsprøver fra 51 raske vævs- og celle-typer, og hver af disse prøver blev undersøgt

for 480.000 CpG-positioner. Han søgte efter et sæt af CpG-positioner, der statistisk korrelerede stærkt med personernes faktiske alder. Modellen, som han kom frem til, er baseret på metyleringen af ikke mindre end 353 CpG-specifikke positioner. Status for disse positioner definerer en "DNA-metyleringsalder". Forskellen mellem DNA-metyleringsalderen og en persons faktiske alder kan derfor fungere som et mål for, hvor sund personens aldring er. Det vil sige, at hvis en person er ældre end personens metyleringsstatus beregnes til, så er der tale om sund aldring.

Studier af Horvaths DNA-metyleringsalder og lignende metyleringsalder udviklet af andre forskere har efterfølgende kunne påvise statistiske korrelationer imellem høj DNA-metyleringsalder og flere forskellige aldersrelaterede sygdomme, førtidige aldringssyndromer samt livslængde.

Modellen har også vist sig nyttig i forhold til at identificere sygdomspræget væv. Eksempelvis viser vævsprøver med kræft højere



UNDERVISNING ON DEMAND

Tag universitetsforskning med ind i din undervisning

På AAU's streamingunivers AAU Play finder du korte videoforelæsninger med forskere fra AAU og tilhørende opgavesæt til en lang række gymnasiefag – du kan bruge materialet, som det passer ind i din undervisning.

Universet bliver løbende udvidet, men allerede nu er der 41 videoer online, som bl.a. handler om konkrete emner inden for biologi, innovation, medier, teknologi, kemi, fysik, bæredygtighed, matematik og meget mere!

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

AAU PLAY

Integrér AAU-forskere
i din undervisning



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

PÅ OPDAGELSE I CELLENS CALCIUMKANALER

Calciumkanaler i hjernens neuroner er afgørende for, at nervesignaler kan sendes fra den ene celle til den anden. Udover den fundamentale biologiske betydning er forskerne også interesseret i disse ionkanaler, fordi de kan være et mål for antidepressiv medicin.

Forfatter:

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab, crk@aktuel-naturvidenskab.dk

Proteiner i form af ionpumper og ionkanaler, der sidder indlejret i membranen på kroppens celler, spiller en helt afgørende rolle for at organismen kan fungere. Mange fundamentale livsprocesser som nervesignaler og muskelsammentrækning bygger på, at der over cellemembranen er en iongradient betinget af forskellige koncentrationer af bestemte ioner udenfor og indeni cellen. Ionpumperne – hvor natrium-kalium-pumpen er det mest markante eksempel – holder disse iongradienter ved lige, mens ionkanalerne udnytter gradienten til at åbne eller lukke for indstrømning af ioner til cellen og dermed påvirke processer i cellen.

Danske forskere har gennem tiden udmærket sig med flere vigtige opdagelser vedrørende disse livsvigtige proteiner, og hvordan de virker. Højdepunktet var en Nobelpris i Kemi til Jens-Christian Schou i 1997 for netop opdagelsen af natrium-kalium-pumpen tilbage i 1950'erne.

Hanne Poulsen er lektor ved Institut for Molekylærbiologi og Genetik på Aarhus Universitet, og hun er en af de mange forskere, der i sin karriere har bygget videre på blandt andet Schous pionerarbejde med kroppens iongradienter. Således var hun tilbage i 2010 med til at afsløre, hvordan fejl i natrium-kalium-pumpen kan medføre visse sygdomme.

Calcium-kanaler under luppen

I dag er Hanne Poulsen særligt optaget af ionkanaler med det knap så mundrette navn NMDA-receptorer, hvor NMDA er en forkortelse for N-methyl-D-aspartat, som er det syntetiske molekyle, der blev brugt til at opdage denne ionkanal. Disse NMDA-receptorer (som der findes flere forskellige typer af) sidder indlejret i cellemembranen på hjernens neuroner, hvor de fungerer som kanaler for calcium-ioner.

»Calciumkoncentrationen i vores celler er ekstremt fint reguleret, da mange proteiner i cellen er "opmærksomme" på koncentrationen af calcium og reagerer på den mindste forøgelse«, fortæller Hanne.

Calcium-kanalerne har en meget stor gradient at arbejde med, idet koncentrationen af calcium udenfor cellen er cirka 20.000 gange højere end indeni cellerne. Til sammenligning er koncentrationen af natrium, som natrium-kalium-pumpen arbejder med, kun cirka 10 gange højere udenfor cellen end indeni.

»Calcium-ioner er en vigtig intern budbringer i den proces, hvor nervesignaler sendes fra en nervecelle til en anden, og på den måde indtager

Om forskeren



Hanne Poulsen er lektor ved Institut for Molekylærbiologi og Genetik på Aarhus Universitet, hvor hun også er tilknyttet forskningscenteret DAN-DRITE, der beskæftiger sig med grundforskning relateret til hjernen og nervesystemet. I sin forskning fokuserer hun på at forstå ionpumper og -kanaler, der er vigtige i nervecellernes kommunikation.

Den 23. november i år holdt Hanne Poulsen foredrag om cellernes saltbalance i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Artiklen er lavet som led i projektet Brobygning på forreste række, finansieret af Novo Nordisk Fonden. På Aktuel Naturvidenskabets hjemmeside kan du finde undervisningsmaterialer, der knytter an til emnet for dette foredrag og artiklen her.

To receptorer i cellemembranen

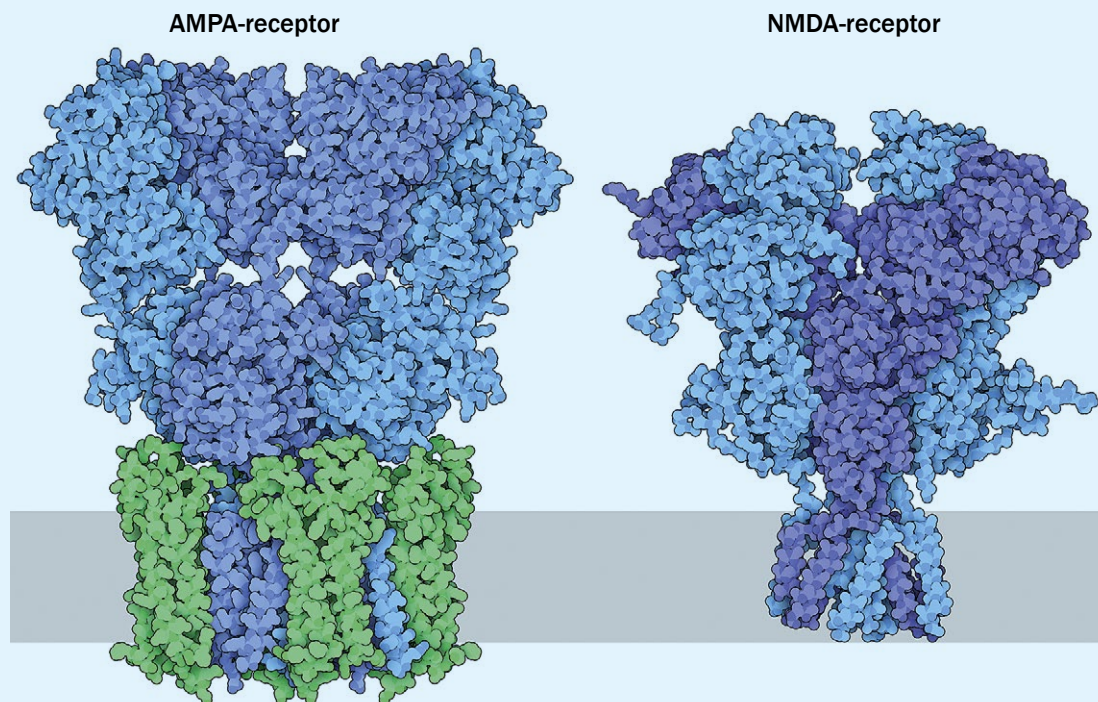


Illustration: David S. Goodsell/doi:10.2210/rcsb_pdb/mom_2019_7

Hjernens nerveceller kommunikerer med hinanden ved hjælp af små signalmolekyler (neurotransmittere), som kan optræde i mange former og størrelser, for eksempel acetylcholin, serotonin og endorfiner. Variationen gør det muligt at forme den måde, neuronerne "taler" med hinanden. Aminosyren glutamat er det mest almindelige signalstof, som fremmer nervesignalerne (man skelner mellem fremmende og hæmmende nerveforbindelser). Det frigives af neuronerne i synapserne – det vil sige mellemrummet i kontaktfladen mellem to neuroner – hvor det stimulerer naboneuronen ved at binde sig til glutamat-specifikke receptorer.

Den mest almindelige glutamatreceptor er AMPA, som i cellemembranen sidder sammen med NMDA-receptoren. De dele, der rager op over cellemembranen er selve receptor-delen, der genkender og binder glutamat, mens de dele, der sidder i selve cellemembranen fungerer som en ionkanal – for NMDA's vedkommende for calcium-ioner. Cirka en tredjedel af NMDA befinder sig indeni cellen, men denne hale har ikke nogen fast struktur og er derfor ikke vist på denne illustration.

calciumkanaler en central rolle i nervesignalerne,« siger Hanne. »NMDA-receptorerne er afgørende for, at nerveceller styrker og svækker deres forbindelser og dermed kan oplagre information. De er med andre ord en forudsætning for både indlæring og hukommelse.«

En NMDA-receptor aktiveres, når den genkender signalstoffet glutamat, som er det mest udbredte signalstof i hjernen. Der er flere forskellige ionkanaler, der aktiveres af glutamat. Således sidder NMDA-receptorerne sammen med en anden ionkanal kaldet AMPA, som lukker natrium ind i cellen, når den genkender glutamat. Hvis denne indstrømning af natrium får spændingsforskellen over cellemembranen (det

såkaldte membranpotentiale) til at stige tilstrækkeligt, kan NMDA-receptoren også åbne og lade calcium strømme ind i cellen. På den måde er de to ionkanaler tæt koblet.

Protein med uordentlig hale

En af de ting, der i Hannes øjne, gør det interessant at forske i NMDA-receptorer er, at det er et delvist uordnet protein. Den traditionelle opfattelse af et protein er, at dets funktion i høj grad er dikteret af dets 3-dimensionelle struktur, og at proteinerne derfor er strukturelt meget velordnede molekyler. Men det har de seneste tiår vist sig, at mange proteiner i kroppen ikke lever op til dette ideal og i stedet optræder som mere eller mindre uordnede molekyler.

»Hvis man ser på NMDA-receptoren som helhed sidder cirka 2/3 af den udenfor cellen og i membranen, og den er velordnet som et traditionelt protein. Den sidste tredjedel indeni cellen er derimod en rodet hale uden nogen fast struktur,« fortæller Hanne.

Når et protein er uordnet, er det ikke muligt at afsløre dets atomare struktur med de traditionelle metoder, man bruger i proteinforskningen som røntgenkrystallografi. I stedet forsøger Hanne og hendes kolleger at afsløre, hvilken funktion denne del af proteinet har. Det gør de ved at undersøge, hvordan den uordnede del påvirker selve kanalfunktionen, og hvordan stoffer modulerer den.



Illustration: David S. Goodsell. doi: 10.2210/rcsb_pdb/goodsell-gallery-016/CC-BY-4.0

Maleri af en synapse – det vil sige kontaktflade mellem to nerveceller – udført af molekylærbiologen David S. Goodsell. Der vises en situation, hvor synapsen er "fremmede", det vil sige, hvor nervesignaleringen stimuleres. Det foregår helt overordnet ved, at glutamat (de små gule kugler inde i store runde strukturer) transporteres til nervecellens membran inde i såkaldte vesikler.

Her frigives glutamat i mellemrummet mellem de to nerveceller (det er i praksis dette mellemrum, der kaldes synapsen) og bindes herefter til glutamatreceptorer på nabocellen (de lyserøde udvækster i nabocellens membran). Dette stimulerer dannelse af nerveimpulser (aktionspotentialer) i nabocellen.

Videre læsning:

Læs om Natrium-kalium-pumpen og, hvordan fejl i denne kan medføre sygdomme: Hanne Poulsen og Michael Jacob Clausen: Når kroppens vitale pumper svigter; *Aktuel Naturvidenskab* nr. 5/2010.

»Vi har på den måde fundet ud af, at den uordnede del af proteinet er vigtig for, om kanalen åbner eller lukker, når den binder bestemte modulatorer«, siger Hanne

En gammel nyhed mod depression

Hanne Poulsen og hendes kollegers interesse for netop NMDA-receptorer er også boostet af, at disse ionkanaler måske kan være et mål for antidepressive lægemidler.

»Lægemidlet ketamin blev oprindeligt markedsført som bedøvelsesmiddel i 1960'erne, men det har vist sig, at det også har en effekt mod depressioner, der er svære at behandle på anden måde. Det interessante i denne sammenhæng er, at ketamin ret specifikt blokerer netop NMDA-receptorer,« siger Hanne.

Ketamin udmærker sig ved, at dets antidepressive effekt kan indtræffe allerede få timer, efter at stoffet er indtaget. Traditionelle midler mod depression (såsom de såkaldte SSRI-præparater) kræver oftest flere ugers behandling, før man kan observere en effekt.

Hanne fortæller, at mens ketamin som nævnt ret specifikt blokerer NMDA-receptorer, er det ikke selektivt med hensyn til, præcis hvilken type NMDA-receptor, det virker på. I sin forskning arbejder Hanne med sine kolleger derfor med et andet stof – pregnenolonsulfat – der mere specifikt kan ramme bestemte NMDA-receptorer.

»Dette stof kan både have en hæmmende og fremmede virkning på NMDA-kanalerne – altså om der lukkes calcium ind eller ej – og det har vist sig, at balancen i, om det går den ene eller anden vej afhænger af proteinets uordnede hale. Hvis vi kan blive klogere på den mekanisme, vil vi måske kunne justere på det kemiske stof, så det specifikt styrker enten den hæmmende eller fremmede effekt og dermed undgå de bivirkninger, det har, hvis man bredt rammer NMDA-receptorerne,« slutter Hanne. ■



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



Dit online privatliv er beskyttet af kryptering.
Fx når du er på nettet, taster passwords, bruger
NemID eller betaler med mobil eller kort.
Kryptering bygger på matematik og bliver hele
tiden forbedret af matematikere, så du er sikret
mod hacker-angreb og identitetstyveri.

ÅBENT HUS 2. OG 4. MARTS KØBENHAVNS UNIVERSITET

Mød studerende på de
naturvidenskabelige uddannelser.
Få hjælp og vejledning
til dit studievalg.

aabenthus.ku.dk

HVILKEN NATUR KAN VI FÅ PÅ VÅDE LAVBUNDSJORDE?

Forfatterne



Prof. Kaj Sand-Jensen,



ph.d.-studerende
Marta Baumane

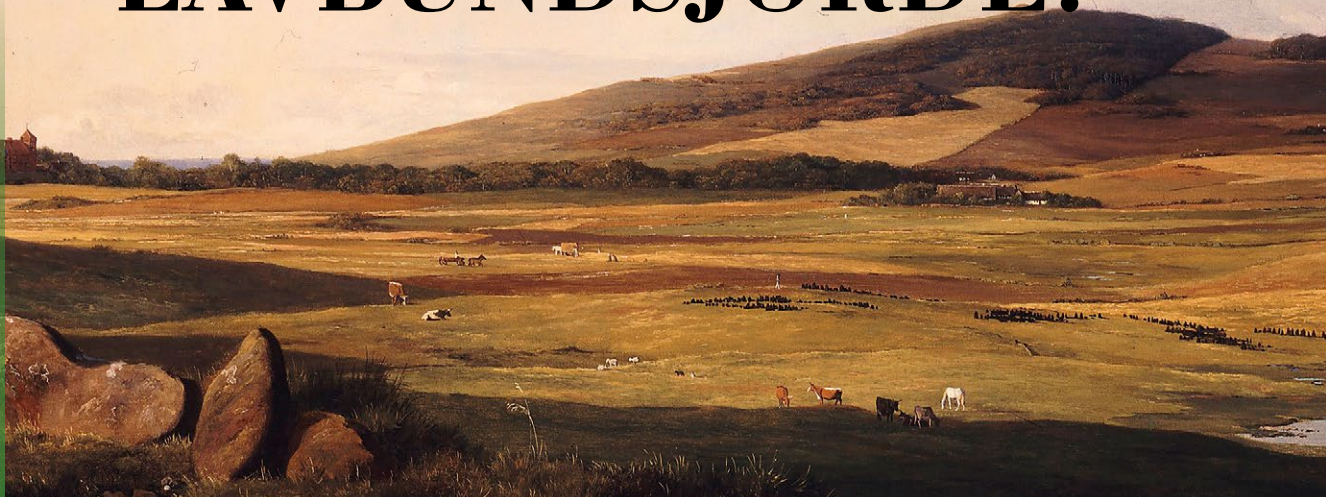


Adjunkt Lars Båstrup-
Spohr, alle tre er ved
Ferskvandsbiologisk
Sektion



Lektor Hans-Henrik
Bruun ved Sektion for
Økologi og Evolution,
Biologisk Institut,
Københavns Universitet.

Alle fire forfattere er støttet af Det Frie Forskningsråd til at studere sammenhænge mellem hydrologi, biodiversitet og klimagasudledning i ådale.



Biodiversiteten er presset i bund på lavbundsJORDE, der før var moser, kær og søer, men som tidligere generationer omdannede til gødede kornmarker. Hvilke forbedringer kan vi forvente i biodiversiteten, når disse lavbundsJORDE atter bliver våde for at binde kulstof?

Kulstofrige jorder findes overalt i verden, hvor plantevæksten bygger biomasse op, mens nedbrydningen af det organiske stof hæmmes af høj vandstand og dermed iltfattige forhold. Men de er særligt fremherskende i tempererede og kolde egne. Fra naturens hånd findes der i Danmark levesteder som enge, moser og kær. Ud over at akkumulere kulstof i jorden er de også levesteder for mange arter af planter, svampe og dyr.

LavbundsJORDE havde også en glørværdig plads i det blandede kultur- og naturlandskab, der udviklede sig fra Jernalderen og frem. Mosernes tørv blev udnyttet til brændsel. Engene blev udvidet og anvendt til høslæt for at skaffe vinterfoder til husdyrene. Staldgødningen blev så efterfølgende brugt til at gøde markerne. Engtørv blev skrællet

af og udnyttet til brændsel eller staldstrøelse. Hvor hederne blev udpint af de mange århundreders brug, blev engenes næringskapital opretholdt ved oversvømmelse med åens vand.

En systematisk engdrift fik et opsving herhjemme i løbet af 1800-tallet, da afvanding af fjordvige, moser og søer kraftigt øgede arealet med enge, der leverede foder til køerne og det øgede mejeribrug. Men op gennem 1900-tallet blev engene drænet bort og omlagt til kunstgødede marker med korn eller kulturgræsser.

De første danske opmålinger af lavbundsarealer anslår, at moserne dækkede 234.000 hektar i slutningen af 1700-tallet, mens engarealet var på 239.000 hektar i 1860'erne – tilsammen 11 % af landarealet. I begyndelse af 1990'erne var mo-

searealet skrumpet ind til 90.000 og engarealet til 104.000 hektar. I dag omfatter ugødede naturenge små parceller og skønsmæssigt blot omkring 50.000 hektar, eller en femtedel af arealet i 1860'erne.

Den historiske udvikling førte til et omfattende tab af biodiversitet blandt de mange fugle, planter og insekter, der førhen levede i enge, moser og lavvandede søer. Men hvor stort var tabet undervejs, og hvilken natur og biodiversitet kan vi forvente, hvis lavbundsJORDE atter vådlægges? Klimabalancen har politisk været i fokus, men muligheder for ny natur på vådlagte lavbundsarealer er vigtig, fordi biodiversiteten her er presset i bund. Vi vurderer naturpotentialet i lyset af de nyeste studier og den stopklods for etablering af sjældne, truede arter, som den udbredte høje næringsbelastning udgør. De igangværende



En enkelt skruer af engtørv stabled op til tørring. Det er rækker af sådanne tørvskruer som ses på Lundbyes maleri. Foto af O. Højrup, Nationalmuseet, fra Tårup sogn ved Viborg, 1957.

Omfattende skrælning af engtørv ses som mørke tandrækker i mellemgrunden på det kendte guldaldermaleri "Sjællandsk Landskab" af Johan Th. Lundbye (1840). Ny Carlsberg Glyptotek.

undersøgelser skal afklare naturmulighederne i ådale med forskellig jordbund fra øst til vest i landet.

Fuglerigdom i fordums vådområder

Engfuglene opnåede høj artsrigdom og store bestande i 1800-tallet. Hvide storke spankulerede rundt i engene og fangede insekter til 8-10.000 ynglepar, mens storkeparrene i dag kan tælles på én hånd. Op mod 1 million Viber ynglede tidligere, men efter 1945 gik de tilbage sammen med engarealet. I dag er der blot 25.500 par tilbage, og de skaffer sig føden på strandenge langs kysten og på søbredder. Brushane, Engryle og Engsnare talte 10.000-100.000 ynglepar i 1800-tallet. Bestandene gik tilbage efter år 1900, og i dag er der blot 100-200 ynglepar tilbage. Generelt har fjorten arter af engfugle oplevet en tilbagegang af ynglepar på mellem 10 og 1000 gange, mens blot én enkelt art har uændret hyppighed.

Udtagning og vådlægning af lavbundjorden vil potentielt kunne begrænse både de nævnte fuglearter

fra lavtvoksende enge, rørsumpene fuglearter, som Rørdrum og Skægmejse, og sumpskovenes fuglearter som Nattergal, Pungmejse og spætter. Ingen af disse artsgrupper er specielt følsomme for næringsbelastning af arealerne. Det varmere klima har sandsynligvis også bragt nye arter til, for eksempel Sydlig Blåhals, ligesom reduceret jagttryk og vintergrønne marker har givet store opture for Trane, Grågås og Knopsvane.

Plantearter forsvundet fra enge og moser

Artsrigdommen af planter knyttet til naturlige ferske enge og kær er usædvanligt høj. Den høje artsrigdom er betinget af ret lav næringsstilgængelighed og af konstant forstyrrelse, det vil sige høslæt eller græsning. Artspuljen af urter knyttet til naturenge og moser er omkring 270 arter. På en næringskala foretrækker 120 arter ud af de 270 de næringsfattige jorde på den nedre tredjedel af skalaen. Disse nøjsomme arter findes stadig i landet, men mange er på det nærmeste helt forsvundet fra det danske landskab siden 1800-tallet i takt med

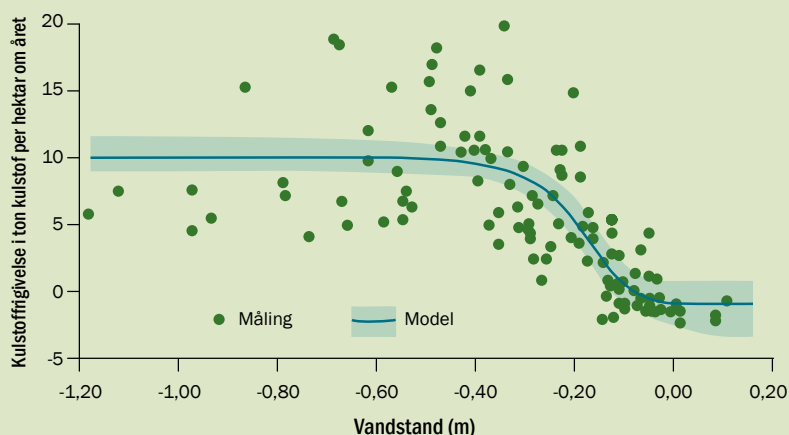
dræning, gødskning og opdyrkning. Eksempelvis forsvandt mindst 24 små og nøjsomme arter fra engene omkring Vilsted Sø syd for Løgstør. De tabte arter bærer eksotiske navne som Sort Skæne, Fin Kæruld, Dværgulvefod og Mygblomst.

Sammenligning af fjorten egnsfloraer på Øerne og i Sydjylland omkring 1870 med floraen i nutiden understreger den generelle udvikling. At især de nøjsomme arter er blevet sjældne, og arter, som allerede var fåtallige i 1870, nu ofte er helt forsvundet fra egnen. En senere analyse af enge og moser på Fyn i perioden 1970-2000 afslører tab af 20 ud af 46 rødlistede arter på grund af høj næringstilførsel, utilstrækkelig græsning og dermed kvælende tilgroning med konkurrenceplanter, både kulturgræsser, høje stauder og buske.

Udviklingen i moser og lavvandede søer

I næringsfattige moser og lavvandede søer er billedet det samme. Mange tidligere levesteder blev afvandet, drænet og opdyrket, mens resten modtog flere næringsstoffer

Klimagasser og vådlægning af lavbundslande



Kulstofrigivelsen fra organiske, tyske lavbundslande som funktion af vandstanden under jordoverfladen. Frigivelsen er i ton kulstof per hektar om året. På x-aksen er jorden fuld vandmættet ved 0, mens vandspejlet (den vandmættede zone) står under jordoverfladen ved negative værdier. Tiemeyer *et al.* (2020).

Den globale opvarmning skyldes især et stigende CO_2 -indhold i atmosfæren, men metan og lattergas øger også drivhuseffekten. Disse har per vægtmængde henholdsvis en 28 og 265 gange højere opvarmningseffekt end CO_2 i et tidsperspektiv på 100 år. Da metan og lattergas nedbrydes i atmosfæren, falder deres effekt over tid.

Danmarks samlede klimapåvirkning set over 100 år vurderes lige nu til årligt 55,1 millioner ton CO_2 -ækvivalenter (forkortet Mt CO_2 -ækv), hvoraf landbrugets påvirkning udgør 17,4 Mt CO_2 -ækv (31,5 %). Den animalske produktions bidrag er omkring 15,5 Mt CO_2 -ækv.

Tyske studier viser årlige CO_2 -tab til luften på i gennemsnit 9,5 tons kulstof per hektar fra drænedes, kulstofrige marker. Vådlægges de, optages i gennemsnit 0,4 tons kulstof per hektar. Da den våde jord er uden ilt, og metan dannes under iltfrie forhold, stiger metanfrigivelsen til gengæld, mens udslippet af lattergas falder, da den især stammer fra nedbrydning af nitrat fra gødskningen. Den samlede effekt af alle tre klimagasser ved vådlægning svarer til en årlig nettonedgang i klimaaftrykket omregnet til CO_2 -ækvivalenter på 35 ton per hektar.

Herhjemme har man vurderet arealet af kulstofrige, dyrkede lavbundslande og deres potentiale for at reducere klimapåvirkningen, hvis dræning og dyrkning indstilles. Klimarådet regner med 171.000 hektar og en årlig klimareduktion på 4,1 Mt CO_2 -ækv (6 Mt ifølge tyske tal).

Fødevareministeriet vurderer dog, at færre lavbundslande kan udtages og over en lang tidshorison. Det mindre areal skyldes, at der allerede foreligger fredningsklausuler, er rejst skov, vandstanden er høj på visser arealer, eller dyrkningstekniske problemer opstår på naboarealer, hvis vandstanden hæves. Endelig har mange lodsejere ofte modstridende interesser.

I Landbrugsforliget opereres med vådlægning af beskedne 22.000 hektar frem til 2030. Selve vådlægningen kan med Klimarådets tal skønsmæssigt reducere klimapåvirkningen med blot 0,53 Mt CO_2 -ækv (3 % af landbrugets påvirkning).

fra de omgivende marker. Selv de bedst beskyttede områder oplever næringsstilførsler, der overstiger tærsklen for sikring af deres oprindelige næringsfattige præg. På højmoserne er de tre kødædende Soldug-arter påvirket af den mere næringsrige nedbør, der fjerner fordele af at kunne fange insekter på de klæbrige blade som supplement til røddernes optagelse af næringsstoffer fra mosetørv.

I de næringsfattige søer i klit- og sandområder er en lang række små nøjsomme arter forsvundet. Strandbo voksede tidligere mange steder på Fyn og Sjælland, men har blot overlevet et enkelt sted. Den lille Sylblad er ikke set herhjemme siden 2012.

I de seneste årtier har der dog været visse fremskridt. Rensning af hus- og industrispildevandet for næringsstoffer betød, at forurenede søer nær byerne, der tidligere havde en grøn suppe af planktonalger, opnåede mere klart vand, hvorved bundplanter igen kunne indvandre. Men de mest næringsfattige søer, der modtager næringsstoffer med nedbøren og grundvandet, og huser de sjældne nøjsomme arter, har ikke fået det bedre. Tilførslerne ligger fortsat over søernes tålegrænser for at opnå meget klart vand og en artsrig plantevækst.

Kan vådlægning genoprette tidligere biodiversitet?

Når dyrkning af lavbundsarealer opgives, og arealerne vådlægges, vil de udvikle sig hen imod en ny og mere naturlig tilstand. Men arealerne vil i mange årtier frem være fanget i en tilstand af høj næringsbelastning. Denne tilstand vil blive fastholdt længere, hvis der ledes drænvand til fra omgivende marker, og hvis de oversvømmes med næringsbelastet åvand. Om et område vil udvikle sig mod eng, sumpskov eller sø, afhænger af hydrologien, og hvilken grad af forstyrrelse man udsætter det for. Men uanset hvilken habitattype udviklingen går imod, vil den næringskapital, som byerne og landbrugsdriften har



Våd, ugødsket og artsrig natureng for 100 år siden (tv) og samme sted i dag som drænet, gødsket græsmark, besået med kulturgræsser og høstet til wrapballer (th). Akvareller af J. Chr. Schou.

efterladt og den fortsatte tilførsel, være en stopklods for artsrige plante- og insektsamfund.

Selv om naturen under alle omstændigheder bliver rigere lokalt, sammenlignet med intensivt dyrkede marker, når lavbundsarealer tages ud af drift, så er vejen tilbage mod en mere naturlig tilstand med store forhindringer. Der er kun ringe udsigt til, at nationalt truede plantearter vil kunne finde levesteder på vådlagte lavbundsarealer. Bedst er udsigterne mod vest, hvor de sandede jorder nemmere udvaskes for næringsstoffer, hvor der i mindre grad ledes drænvand ud på lavbundsarealer, og hvor oversvømmende åvand er mindre næringsbelastet. Men selv hvis mindre næringsbelastede levestedsforhold opstår, er udsigten til, at de oprindelige arter kommer tilbage efter mange årtier ringe, fordi de fleste er forsvundet fra landskabet, fra hele omegnen eller fra hele landet.

Efter den 1.000 hektar store Filsø ved Varde blev genetableret i 2012, efter 60 år som dyrket og gødet landbrugsjord, rykkede mange fugle, pattedyr, fisk og planter næsten umiddelbart ind i søen og på de bare sandede søbredde. Rekruttering af arter skete fra nærliggende gode naturområder ved Vestkysten. Nu 10 år senere er udfordringen at forhindre tilgroning med høje planter og buske overalt på søens bred-

der ved brug af intensiv græsning eller mekanisk forstyrrelse. Der tilføres nemlig mange næringsstoffer med vandløbet fra 100.000 hektar intensivt udnyttet landbrugsland.

Udfordringen er endnu større på genslyngede strækninger langs Odense Å. Op mod 17 år efter dyrkingen blev indstillet, har en høj biodiversitet af planter ikke indfundet sig på arealerne. Der var heller ingen forbedringer at spore over de seneste 10 år. Jordens næringspulje på lerjordene er fortsat alt for høj, flere steder flyder næringsrigt vand til fra dyrkede marker, så vidt udbredte næringselskende planter dominerer. Her er det ekstra svært at rekruttere sjældne nøjsomme arter fra landskabet omkring åen, fordi disse arter næsten er forsvundet. De nyetablerede naturområder overtages derfor af ensartede bestande af meterhøje næringselskende Tagrør, Rørgræs og Lådden Dueurt, som i forvejen dominerer i det fynske landskab.

Den samme udvikling som ved Odense Å, har man set på genoprettede arealer på Skjern Enge og omkring Vildsted Sø. Vandfugle er til stede i meget stort tal, Odder er kommet til, men tidligere engfugle og nøjsomme engplanter er ikke rykket ind. Man håbede på flere Engryler, Kobbersnepper og sjældne blomster og tilknyttede sommerfugle i landskabet, men de har ikke

kunnet benytte de genoprettede enge som levested.

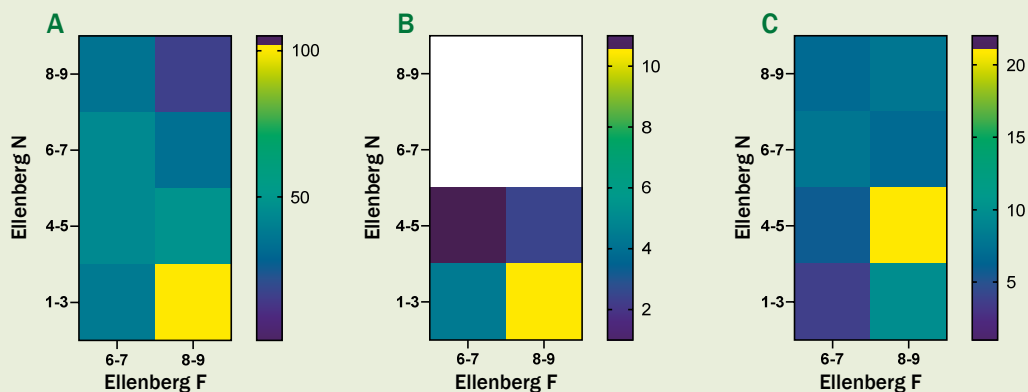
Biodiversitet i sumpskove

Hvis vegetationen ikke bliver slået eller græsset på vådlagte jorde, udvikles der efterhånden sumpskov. Først indvandrer høje urter og spredte buske. Senere opstår tættere pilekrat og sumpskov. Hvor jorden er sur udvikles birkemoser med tørvemos i bunden. Er jorden basisk og gerne med væld opstår askemoser og ellesumpe med mange følgearter. I fugtige lavninger opstår skovdamme.

Sumpskove kan være artsrige, især for insekter, svampe og fugle. Artsantallet blandt udvalgte grupper af natsommerfugle og biller knyttet til pil, birk og eg er omtrent fire gange højere end antal arter knyttet til Rødgran og Bøg. Op mod 750 lamelsvampe lever i sumpskove, og forskellige arter er knyttet til de forskellige træer. Rød-el har mange svampearter, der nedbryder visne blade og dødt ved. Dun-birk har mange storsvampe i symbiose med træroddeerne.

Naturlige sumpskove er ret lysåbne og kan rumme mange forskellige træarter samt sjældne mosser og svampe. Et studium ud over landet af prøvelfelter i 27 ellesumpe indeholdt i alt næsten 170 vedboende svampe og 290 plantearter. En tilsvarende undersøgelse af 31 bir-

Planter i enge og moser



Fordelingen af samtlige danske eng- og moseplanter (A) i forhold til næringskrav (y-aksen, Ellenberg N) i fugtighedsbåndet mellem 5 og 9 (x-aksen). B viser fordelingen af danske eng- og mosearter i tilbagegang i løbet af de seneste 150 år. C viser fordelingen af arternes krav på restaurerede lavbundsarealer langs Odense Å. De små søjler viser antal arter i hvert studium.

De danske planters krav til jordens næringsindhold er vurderet på en skala (Ellenberg N) fra 1 til 9 med 1 som de mest nøjsomme arter og 9 som de mest næringskrævende. Planternes krav til fugtighed er vurderet på en skala (Ellenberg F) fra 1 til 12 med tørbundsplanter på de laveste trin og egentlige vandplanter på trinene 10-12. Vi vurderer udelukkende lyskrævende eng- og moseplanter på en fugtighedsskala 5-9. Opdelingerne giver mulighed for at vurdere, hvilke artstyper ud af samtlige danske arter, der historisk især er gået tilbage i løbet af de seneste 150 år, og hvilke artstyper der dukker op på restaurerede lavbundsarealer.

Panel A for samtlige danske eng- og moseplanterarter viser, at de fleste tilhører næringskategorierne 1-7 og allerflest mellem 1 og 3.

Panel B viser, at de mest nøjsomme arter (Ellenberg N 1-3) historisk er gået mest tilbage (gul markering) i de seneste 150 år; herefter følger arter af middel nøjsomhed (4-5). Ingen næringskrævende arter i kategorierne 6-9 er gået tilbage.

Panel C viser kravene hos arterne på de restaurerede lavbundsarealer langs Odense Å. De fleste arter har middelhøje næringskrav (Ellenberg N 4-7), men en del er



Artsfattig flora domineret af høje stauder på restaurerede strækninger langs tilløb til Odense Å. Foto Marta Baumane.

egentlige næringselskende arter. Derimod er der meget få nøjsomme arter sammenlignet med fordelingen blandt samtlige danske arter (panel A) og især i forhold til de mange nøjsomme arter, som historisk er gået tilbage (panel B).

kemoser indeholdt 230 plantearter og 180 vedboende plus jordboende svampe. Artstallene er høje set i forhold til, at den oprindelige danske flora rummer omkring 1500 arter af karplanter. Sumpskovene har været oversete, men de rummer altså høj biodiversitet af træer, urter, mosser og svampe; og så har vi ikke talt insekter og fugle med. Det omtalte studium viste også, at artsrigdommen steg med sumpskovens alder og urørthed. Der var flere vedboen-

de svampe desto flere døde træer, især løvtræer, der lå på skovbunden. Omvendt faldt antal sjældne plantearter med øget næringsindhold. Vi mangler imidlertid stadig et billede af, hvordan den samlede biodiversitet af forskellige artsgrupper udvikler sig i sumpskove, især på næringsrig bund.

Biodiversitet i søerne

Vi ved ganske meget om biodiversiteten i nye søer. Fuglene og fiskene

leverer altid. I de første år, mens søbredderne er uden større bevoksning, har nye søer en højere artsrigdom og bestandsstørrelse af fugle, især vadefugle og vandfugle, end gamle naturlige søer. Det skyldes mere tilgængelig føde til fuglene i vandet og i søbunden. Men efter nogle få år konkurrerer fiskene effektivt med fuglene om føden, og de åbne søbredder vokser efterhånden til. Vadefuglene går tilbage og andre, men færre fuglearter ind-

Sumpskove er artsrige

Sumpskove er få herhjemme og deres biodiversitet er noget overset. Imidlertid viser undersøgelser af omkring 30 lokaliteter ud over landet, at såvel ellesumpe og birkemoser er artsrige lokaliteter.

	Karplanter	Mosser	Svampe
Ellesumpe	25-33	10	9
Birkemose	12	10	15

Tabel. I 135 prøvefelter på hver 225 m² i ellesumpe og 155 prøvefelter på hver 78 m² i birkemoser på tørvebund fandt forskerne følgende omtrentlige artstal af karplanter, mosser og svampe i gennemsnit per prøvefelt. Efter Aude *et al.* (2006 og 2013).



Væltede træer skaber stor strukturel variation og lysindfald til bregner og blomstrende urter i urørt sumpskov. Foto: Jacob Heilmann-Clausen.

vandrer i rørskoven, som vokser op omkring søen. Holdes søbredderne visse steder uden vegetation, kan den høje fuglerigdom fastholdes. Ellers kommer fuglelivet til at ligne de naturlige søers.

Store bestande af vandfugle tager ophold på søerne under forårs- og efterårstrækket, eller kommer på kortvarige besøg. I perioder fouragerer store bestande af Krikænder, Pibeænder, Skestorke og Skarver ved Filsø. Mange vandfugle overvintrer på søerne. Faktisk er bestandene større uden for sommerens ynglesæson. Nye søer understøtter på den måde nordeuropæiske fuglebestande.

Bundplanterne kræver både lys og vand. Men skal søen være klar, kræver det et lavt næringsindhold.

Det er selvsagt en udfordring, hvis nye søer opstår ved at oversvømme lavbundsarealer, der har været intensivt dyrket og gødet i mange år. Det er muligt at begrave den næringsrige overfladejord ved dybdepløjning, før der fyldes vand på. Dybere huller i søen, hvor næringsstofferne naturligt aflejres, kan også etableres. Er tilløbene næringsfattige, vil søvandet også blive fattigt efter nogle år og skabe en rig undervandsvegetation med mange tilknyttede smådyr og fisk.

Vejen frem

Danmark har tradition for retablering af vådområder. Men vi må finde en bedre vej til at opnå, at arealerne bidrager med levesteder for sjældne arter og dermed medvirker til at indfri målsætningen om at standse tabet af

biodiversitet på national skala. Størst effekt er der udsigt til, hvis vi fokuserer på områder, hvor næringsindholdet i jorderne er relativt lavt og tilførslerne små, og hvor høj biodiversitet eksisterer i nærheden. Græssende dyr med adgang til store sammenhængende arealer vil tillade en mosaik af lav eng, rørsump, pilekrat og sumpskov at udvikle sig, til glæde for mange forskellige artsgrupper. Er næringsindholdet højt, kan næringsrige søer levere mange fisk og vandfugle, mens næringsrige jorde næppe kan sikre overlevelse af sjældne truede plantearter. Næringsrige jorder tjener måske bedst som pilekrat og sumpskov, rige på vedboende svampe og biller, på spætter og andre fugle med en artssammensætning og tidsudvikling, vi knapt kan forudsige. ■

Litteratur

Aude E. *et al.* 2006. Er urørthed en trussel mod naturen i ellesumpe. HabitatVision, Rapport 06-02-2006.

Aude E. *et al.* 2013. Skovbevokset tørvemose. HabitatVision, Rapport 13-01-2013.

Baumane M. *et al.* 2021. Danish wetlands remained poor with plant species 17-years after restoration. *Science of the Total Environment* 798:149146.

Meltofte H. *et al.* 2021. Danmarks fugle gennem de århundreder. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift*, 115: nr 1.

Finderup Nielsen, T. *et al.* 2019. More is less: net gain in species richness, but biotic homogenization over 140 years. *Ecology Letters* 22:1650-1657.

Finderup Nielsen, T. *et al.* 2021. Drier, darker and more fertile: 140 years of plant habitat change driven by land-use intensification. *Journal of Vegetation Science* 32:e13066.

Tiemeyer B. *et al.* 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109: 105838.

MYSTERIET OM JORDENS KONTINENTER OG PLADETEKTONIK



Kristoffer Szilas på feltarbejde i Grønland. De gul-grønne klipper er peridotit, som er den bjergart der udgør Jordens kappe. De mørke lag er kromoxid med et meget højt indhold af det sjældne grundstof ruthenium. De lyse klipper i baggrunden er 3,8 milliarder år gammelt grundfjeld.

Foto: Tomoaki Morishita.

Forfatteren

Kristoffer Szilas er lektor i geologi ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. Han har tidligere være postdoc ved Columbia University og Stanford University i USA.

Kristoffer har udført feltarbejde i Grønland i 13 somre og er dermed en af de førende eksperter i verden, når det kommer til at forstå Jordens tidlige geologiske udvikling med udgangspunkt i bjergarter fra Grønland.

Hans forskning er støttet af Villum Fonden og Carlsbergfondet. Desuden fik han i 2020 en Sapere Aude-bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond til at undersøge, hvad bjergarten anortosit fra Sydvestgrønland kan fortælle os om pladetektonikkens opståen her på Jorden.

krsz@ign.ku.dk

Hvornår startede pladetektonikken på Jorden egentlig?

Det er et af geologiens store spørgsmål. Den nyeste forskning peger på, at for 3,0 til 2,5 milliarder år siden opstod processer, som vi i dag mener er karakteristiske for pladetektonik, og at vand spillede en afgørende rolle for dannelsen af de første kontinenter.

Vores planet er unik på mange måder: Først og fremmest myldrer det med liv, atmosfæren indeholder store mængder fri ilt, størstedelen af planetens overflade er dækket af oceaner, og vi har kontinenter, der hovedsageligt er opbygget af granit. Sidst men ikke mindst har vi pladetektonik, hvilket vil sige at Jordens yderste lag, kaldet litosfæren, er brudt op i store plader, der er i konstant bevægelse. Pladetektonikken sørger for, at Jordens overflade kontinuerligt fornyes

ved, at materiale fra undergrunden konstant kommer op til overfladen. Det medfører kemiske uligevægte, som er drivkraften for al liv. Desuden fungerer den konstante eksponering af nye mineraler som en termostat for klimaet via erosionsprocesser, der binder mere eller mindre kuldioxid fra atmosfæren afhængigt af overfladetemperaturen og dermed reaktionshastigheden. På den måde har Jordens klima holdt sig nogenlunde stabilt på trods af Solens stigende aktivitet over geologisk tid.

Disse unikke kendetegn for Jorden er primært resultatet af to egenskaber.

Den ene er Jordens størrelse, hvilket medfører en relativt langsom afkøling af planeten sammenlignet med mindre planeter såsom Mars og Merkur. Disse har en større overflade per masse-enhed og afkølede derfor hurtigt, så de nu er tektonisk inaktive. Det er varmeafgivelsen fra Jordens indre, blandt andet fra radioaktive henfald, som driver de tektoniske processer via konvektion i Jordens kappe.

Den anden vigtige egenskab er Jordens kraftige magnetfelt, som induceres af den flydende ydre kerne. Magnetfeltet skærmer imod, at der tabes hydrogen fra atmosfæren, og dermed har Jorden undgået at miste sit vand over tid, som det for eksempel er tilfældet på Venus. Netop evnen til at fastholde vand over milliarder af år, har været afgørende for, at Jorden fremstår som den frodige planet, vi har i dag.

Et af geologiens store uløste problemer

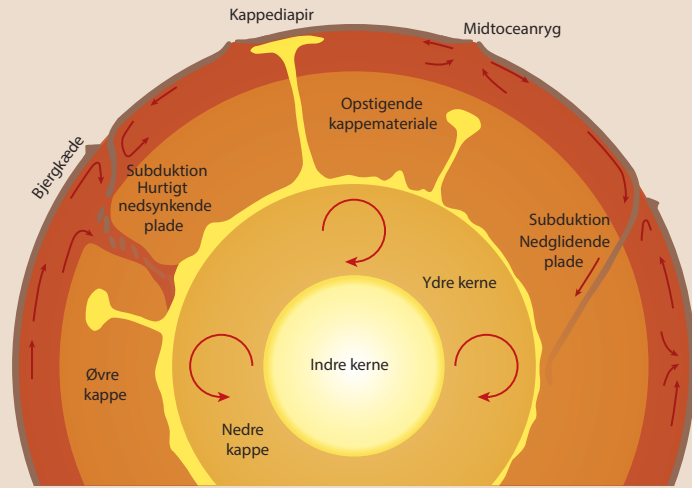
På trods af pladetektonikkens afgørende betydning for liv og Jordens udvikling samt det faktum, at denne geologiske proces, så vidt vi ved, er unik for vores planet, er der ingen konsensus om, hvornår pladetektonik opstod. Faktisk strækker estimaterne sig fra helt tilbage for over 4 milliarder år siden og frem til for omkring 1 milliard år siden.

Det må siges at være en betydelig usikkerhed, selv for geologer der er vant til at arbejde med lange tidsskalaer. Man anser derfor spørgsmålet om pladetektonikkens opståen som et af det mest fundamentale uløste problemer indenfor geologien. Interessen for at finde et præcist svar er ikke blevet mindre i takt med, at der til stadighed opdages nye planeter omkring andre stjerner i Mælkevejen. For hvordan kan vi tolke observationerne af fremmede planeter og deres geologiske evolutionstrin, når vi dårligt nok forstår vores egen planets geologiske udvikling?

Fysiske beviser er ikke bevaret

Vi ved, at der ikke kunne eksistere stabile litosfæreplader, som kunne skabe pladetektonik, i Jordens tidlige fase for 4,5 til 4,0 milliarder år siden, fordi Jordens kappe (det vil sige Jordens midterste lag) dengang var betydeligt varmere.

Jordskorpen var derfor ganske enkelt for varm og dermed deformbar, og den højere temperatur gav desuden for meget opdrift til, at litosfærepladerne kunne skubbes ind under hinanden og



Tegning: Carsten E. Thuesen, GEUS. Kilde: E. Schou Jensen, Geologisk Museum.

Vigtige begreber indenfor pladetektonik

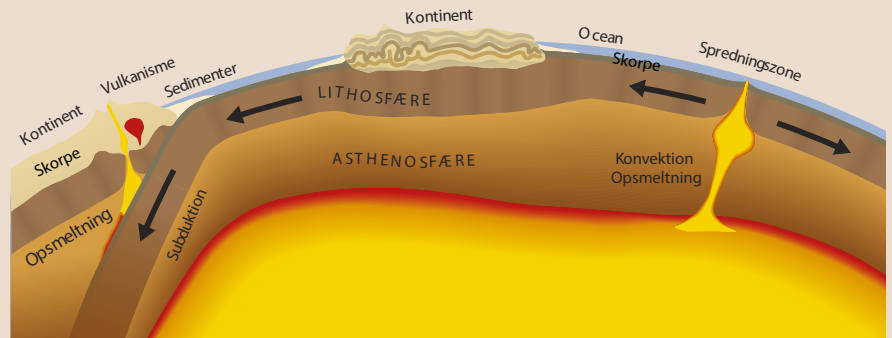
Jorden er helt overordnet opbygget af tre lag.

Kernen findes inderst i Jorden og består hovedsageligt af jern.

Kappen er Jordens midterste lag, og det udgør over 80 % af Jordens volumen. Kappen består af bjergarten peridotit, som er domineret af mineralerne olivin og pyroxen.

Skorpen er Jordens yderste lag. **Kontinentalskorpe** består primært af granit og kan have varierende indhold af mineralerne kvarts, plagioklas og alkalifeldspat. **Oceanbundsskorpe** består af bjergarten basalt, der primært er opbygget af mineralerne plagioklas, pyroxen og olivin.

Litosfæren er en samlet betegnelse for jordskorpen plus den øverste kolde del af kappen, som udgør en stabil plade, der kan bevæge sig som en samlet enhed ovenpå den varme og deformerbare kappe (kaldet astenosfæren).



Modificeret. Originaltegning: Carsten E. Thuesen, GEUS. Kilde: Niels Henriksen, Grønlands Geologiske udvikling, GEUS.

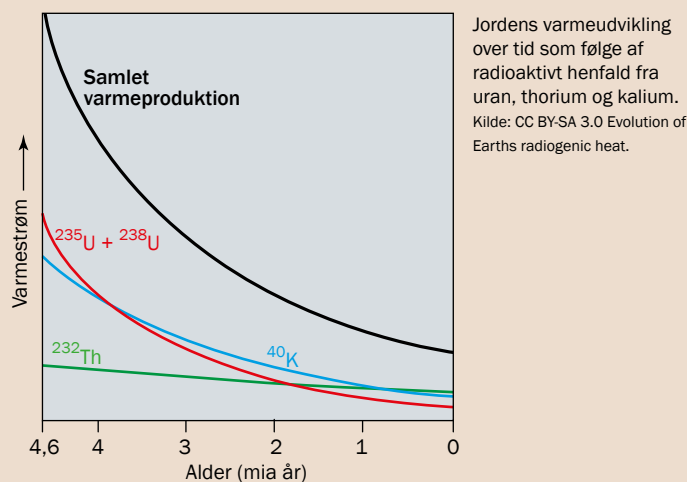
Pladetektonik er den teori, der beskriver litosfære-pladernes bevægelse imod, forbi eller bort fra hinanden.

Subduktion er den proces, hvor to litosfære-plader kolliderer og den ene plade skubbes under den anden. Dette medfører vulkanisme med en karakteristisk lava, som man kalder andesit (opkaldt efter Andesbjergene).

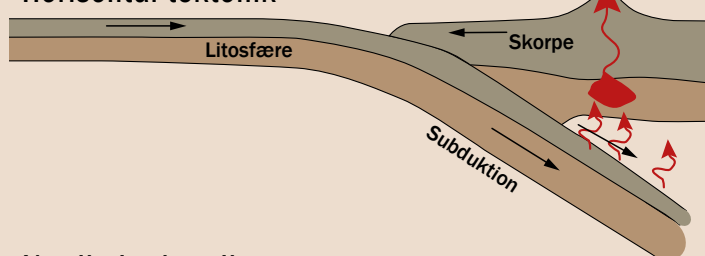
Basalt er den bjergart, der udgør oceanbundsskorpen. Ved subduktion af basaltisk skorpe transformeres den først til blåskifer (domineret af det blå mineral glaukofan) og derefter bliver den til eklogit (der består af mineralerne granat og pyroxen).

Arkæikum er navnet på det Arkæiske æon, der startede for 4,0 og sluttede for 2,5 milliarder år siden.

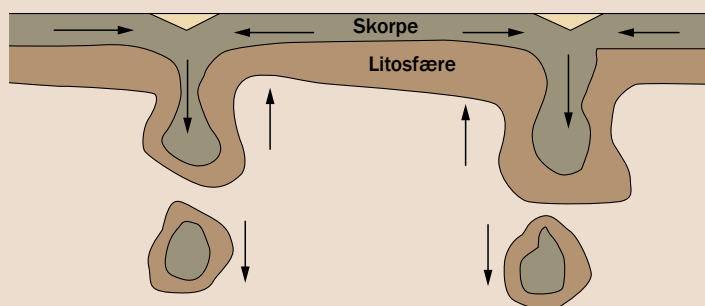
Kraton er en stabil litosfærisk enhed med tyk kontinentalskorpe og meget dyb litosfærisk kappe, der typisk er dannet tilbage i Arkæikum og kan opnå en samlet tykkelse på op til 250 km.



Horisontal tektonik



Vertikal tektonik



Figurerne illustrer forskellen på vertikal tektonik i Jordens tidlige og varme fase ift. horisontal (plade)tektonik. Efter en vis grad af afkøling af Jordens kappe og skorpe, blev det muligt at have stabile litosfæriske plader og dermed subduktionszoner, hvor kolliderende plader kan forskydes under hinanden.

Figur efter <https://speakingofgeoscience.org/2013/04/28/when-did-plate-tectonics-begin-on-earth-and-what-came-before/>



Bjergarten basalt (til venstre) er den mest udbredte bjergart på Jordens overflade, og oceanbundensskorpen under lagene af sediment, der er aflejret i havet i tidens løb, består af basalt. Det er en mørk bjergart, der primært er opbygget af silikatminerallerne plagioklas, pyroxen og olivin. Kontinenterne består derimod primært af bjergarten granit (til højre), som kan optræde i mange forskellige farvenuancer afhængig af sammensætning af mineraler. Granit er primært opbygget af silikatminerallerne kvarts, plagioklas og alkalifeldspat.

Foto af basalt: James St. John/CC BY 2.0, Foto af granit: Colourbox.

ned i Jordens kappe, sådan som det foregår i de såkaldte subduktionszoner, som er et af de mest karakteristiske træk ved pladetektonik (se faktaboks). I stedet har der været en form for vertikal tektonik, der mindede om det, man ser i en lavalampe, hvor varme dele stiger op og relativt koldere dele synker direkte ned.

Desuden viser geodynamisk (numerisk) modellering os, at overgangen til pladetektonik var en gradvis proces, hvor svage og deformerbare plader begyndte at synke ned i kappen, men knækkede efter kort tid og lukkede ned for subduktionsprocessen igen. Usikkerheden i tidspunktet for pladetektonikkens begyndelse skyldes dog også til dels, at det ikke er helt let at finde fysisk evidens i form af diagnostiske bjergarter som eklogit og blåskifer, der kun dannes ved kombinationen af højt tryk og relativt lav temperatur, som netop er karakteristisk for subduktionszoner og dermed pladetektonik. Højtryksmineraller har nemlig et meget dårligt bevaringspotentiale i jordskorpens øvre dele og omdannes derfor let til andre mineraler, der er mere stabile ved det lavere tryk. Dette kan forklare, hvorfor man ikke finder eklogit, der er ældre end 2,1 milliarder år og kun finder blåskifer for de seneste 900 millioner år.

Dannelsen af de første kontinenter

Traditionelt har man i geologien antaget, at Jordens granitiske kontinenter blev dannet som konsekvens af pladetektonik, fordi kontinenternes kemiske sammensætning i høj grad minder om den type lava (kaldet andesit), som man finder i vulkaner over subduktionszoner, hvor de tektoniske plader kolliderer. Det har dog vist sig, at de første kontinenter på Jorden formentlig blev dannet uden involvering af overfladenære materialer og bjergarter. De blev i stedet dannet med udgangspunkt i tyk skorpe af bjergarten basalt, som delvist smeltede i en dybde af 20-35 km og dermed gav ophav



Kristoffer Szilas peger på en tre milliarder år gammel granitisk åre, som er dannet ved delvis opsmeltning af en basaltisk bjergart i forbindelse med en proces, der ikke krævede pladetektonik. Foto: Kent Pørksen.

til en smeltemasse med en anden kemisk sammensætning end den oprindelige basalt, nemlig granit. Denne form for destilleringsproces kaldes i geologien for differentiering eller fraktionering. Ved at undersøge isotopsammensætningen af ilt i mineralet zirkon fra den ældste kontinental-skorpe i Australien (det 3,45 milliarder år gamle Pilbarakraton), er det for nyligt blevet vist, at dannelsen af granitisk materiale ikke kræver atmosfærisk ilt, havvand eller overfladenære processer. Et lignende resultat har man fundet for den ældste kontinentalskorpe i Grønland (den over 3,6 milliarder år gamle Itsaq gnejs), hvor man via isotopsammensætningen af grundstoffet bor kunne vise, at der ikke har været havvand involveret. Dermed kræves heller ingen overfladenære bjergarter i dannelsen af den tidlige granitiske skorpe i Grønland.

Granitiske kontinenter kan altså opstå uafhængigt af, om der er pla-

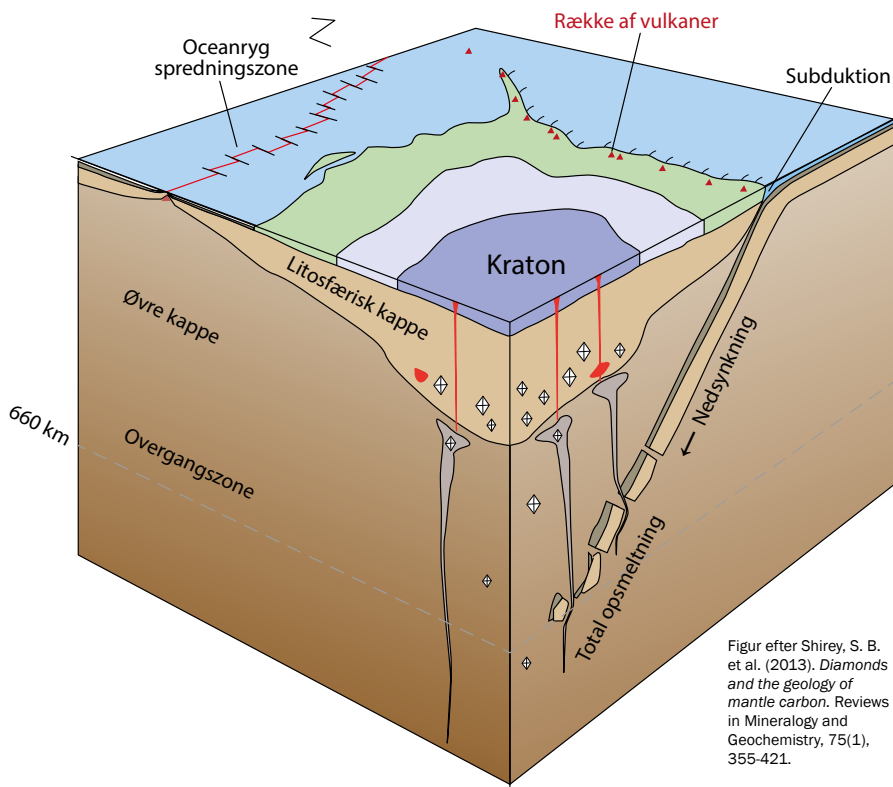
detektonik eller ej. Jordens tidlige varme fase var som nævnt karakteriseret af vertikal tektonik efter samme princip som en lavalampe, og det var derfor i et sådant miljø, at de første kontinenter opstod.

Påvirkede liv den geologiske udvikling?

Det kan synes oplagt, at der er en sammenhæng mellem tilstedeværelsen af liv, vand, kontinenter og pladetektonik, fordi alle disse fænomener er unikke for vores planet. Professor Minik Rosing og kolleger lancerede i 2006 i tidsskriftet *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* den idé, at liv spillede en væsentlig rolle for dannelsen af Jordens tidlige kontinenter. Argumentet lyder, at fotosyntese indfanger mere energi fra sollys end det varmetab, som genereres fra Jordens indre og må derfor have en indflydelse på den geokemiske cyklus og derigennem dannelsen af kontinenterne. Denne hypotese

nævnes ofte, når forskningsemnet præsenteres i populærvidenskabelig sammenhæng her i Danmark. Men i det internationale, videnskabelige miljø er ideen ikke slået an. Den nævnes således stort set ikke i den nyeste internationale litteratur på området og bringes aldrig på banen som en faktor for dannelsen af de tidlige kontinenter.

Evidensen fra isotopundersøgelserne nævnt ovenfor argumenterer også imod, at overfladenære materialer har været involveret i dannelsen af de tidlige kontinenter. Desuden er det vurderet, at op imod 75 % af kontinenternes nuværende volumen allerede var dannet for mere end 2,5 milliarder år siden. Dermed også sagt, at de vertikale tektoniske processer, som har fundet sted i tiden forud, tilsyneladende har været meget effektive til at opsmelte jordskorpe af basalt og herudfra danne kontinentalskorpe af granit. Det var ligeledes



Figur efter Shirey, S. B. et al. (2013). *Diamonds and the geology of mantle carbon*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 75(1), 355-421.

Illustration af et kraton, som udover gammel stabil granitisk kontinentalskorpe har et robust fundament af subkontinental litosfærisk kappe. Den subducerende litosfærisk plade viser dels den mekanisme, som har samlet og fortykket den litosfæriske kappe via horisontal kompression, men det er også den måde, hvorpå eklogit og sedimentært kulstof er bragt ned under kratonet til dybder, hvor der dannes diamanter.

først efter dette tidspunkt, at der blev akkumuleret større mængde ilt i atmosfæren. Det faktum, at granitisk kontinentalskorpe allerede blev dannet fra omkring 4 milliarder år siden (Acasta-gnejsen i Canada), og dermed længe før, at der har været nævneværdigt liv eller ilt på Jorden, betyder, at liv ikke har været en afgørende ingrediens i dannelsen af kontinenter.

Hvis liv havde spillet en rolle i dannelsen af kontinenterne, vil man desuden forvente, at man kunne observere en øget rate i dannelsen af kontinenter over tid, fordi der konstant er kommet mere liv til. Det passer dårligt med, at størstedelen faktisk blev dannet før 2,5 milliarder år siden. Hypotesen om livs rolle for dannelsen af kontinenterne kan derfor efter min mening afvises, hvilket også afspejles i den nyeste litteratur på området. I stedet er det sandsynligt, at liv er en konsekvens af planetens evne til at holde på vand over lange tidsrum, og at kontinenterne og pladetekto-

nik er grundlaget for, at komplekst liv kunne udvikle sig med tiden.

Vand som forudsætning for kontinenter

I modsætning til liv eller ilt, så spiller vand en afgørende rolle for dannelsen af granitiske kontinenter. Vand findes som OH-grupper i hydrerede mineralers struktur og optræder først som frit vand ved dehydrering af disse mineraler omkring smeltepunktet for bjergarten. Vandet har den kritiske egenskab, at det sænker smeltepunktet for bjergarter betydeligt. For eksempel vil en basalt i tør tilstand først begynde at smelte ved 1100 °C, men hvis der er vand til stede, kan den smelte ved 650 °C i 30 kilometers dybde. Vand gør det dermed lettere at danne granitiske kontinenter med udgangspunkt i den oprindelige basaltiske skorpe via delvis opsmeltning. Dette er bekræftet både eksperimentelt og ved termodynamisk modellering. Man ser et markant skifte i typen og den kemiske sammensætning af granitisk

kontinentalskorpe igennem det Archaiske æon (4,0 til 2,5 milliarder år før nu). Dette falder sammen med dannelsen af stabile kontinenter, der var underlagt af tyk litosfærisk kappe, hvilket som enhed kaldes for kratoner.

Jeg har selv været involveret i et studie, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *Nature*, som sammenfatter den eksisterende viden om dannelsen af den kolde litosfæriske del af kappen og dens betydning for stabiliseringen af kratoner. Vi konkluderede, at denne type kappe primært blev dannet for omkring 2,5 milliarder år siden ved relativt lavt tryk og efterfølgende blev bragt til større dybde via kompressive kræfter, hvilke krævede tilstedeværelsen af horisontal tektonik. Konsekvensen af dette er derfor, at kratonerne først blev dannet, efter at pladetektonik opstod her på Jorden.

Diamanter indeholder svaret

I samme forbindelse viser det sig, at noget af den stærkeste og helt uafhængige evidens for, at pladetektonik opstod for omkring 3 milliarder år siden, kommer fra den type af mineraler, man finder som mikroskopiske indeslutninger i diamanter. Fragmenter af oceanbundsskorpe i form af bjergarten eklogit (der dannes ud fra basalt i subduktionszoner) ses ikke i diamanter før for 3 milliarder år siden.

Dette underbygges yderligere af diamanter isotopsammensætning af kulstof, nitrogen og bor, fordi disse viser en stor variation op til for 3 milliarder år siden. Dette tolkes som et bidrag fra havvand, sediment og eventuelt biologisk fraktioneret kulstof, der via subduktionszoner blev bragt fra Jordens overflade og ned til dybder på omkring 200-250 km, hvor kulstoffet transformerede til diamanter, hvilket indbyggede disse kemiske signaturer. Det indebærer altså, at subduktionszoner og dermed pladetektonik opstod for omkring 3 milliarder år siden. Det understøttes desuden af et væld af forskellige geokemiske studier, der tyder på, at jordskorpens sammen-



Kristoffer Szilas og specialestuderende Will Hyde indsamler prøver af peridotit i sydvestgrønland. Foto: Kent Pørksen.

sætning ændrede sig fra omkring dette tidspunkt og frem til for omkring 2,5 milliarder år siden.

Den nye forskning peger altså på, at der ikke krævedes ilt eller biologisk aktivitet, men derimod vand, for at danne de tidlige kontinenter. Desuden er der ingen direkte kobling mellem pladetektonik og dannelsen af kontinenterne, fordi sidstnævnte

sker som følge af delvis opsmeltning af basaltisk materiale ved tilstedeværelse af vand, uanset det tektoniske miljø.

Hvad angår spørgsmålet om, hvornår pladetektonikken helt præcis opstod, så er der som nævnt mange kilder af geologisk evidens, der tyder på, at der imod slutningen af Arkæikum for omkring 3,0

til 2,5 milliarder år siden opstod processer, der minder om den type pladetektonik, vi kender fra Himalaya og Andesbjergene i dag. Denne tektoniske overgang og stabiliseringen af kratonerne havde desuden betydning for bjergkædedannelse og erosionsrater og havde derigennem konsekvenser for atmosfærens sammensætning og livets videre udvikling. ■

Videre læsning

Johnson, T. E., et al (2017): Earth's first stable continents did not form by subduction. *Nature*, 543(7644), 239-242.

Palin, R. M., et al (2020): Secular change and the onset of plate tectonics on Earth. *Earth-Science Reviews*, 207, 103172.

Pearson, D. G., et al (2021): Deep continental roots and cratons. *Nature*, 596(7871), 199-210.

Rosing, M. T., et al (2006): The rise of continents—an essay on the geologic consequences of photosynthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 232(2-4), 99-113.

Shirey, S. B., & Richardson, S. H. (2011): Start of the Wilson cycle at 3 Ga shown by diamonds from subcontinental mantle. *Science*, 333(6041), 434-436.

FAKTA

Johanne Pontopidan Tuxen og Mikkel Vuorela: *Naturvidenskaben genfortalt*. Informations forlag 2021. 422 sider, 399,95 kr.



Naturvidenskaben genfortalt

I hele 2021 har dagbladet Information sat fokus på naturvidenskaben i artikel- og podcastserien *Vi fortæller naturvidenskaben forfra*. Serien er støttet af Carlsbergfondet, og som en del af projektet er nu også udkommet bogen *Naturvidenskaben genfortalt*. Bogen er en indføring i naturvidenskaben og dens erkendelsesrejse. I selskab med en lang række naturvidenskabelige forskere tilbyder de en grundlæggende forståelse af naturens komplicerede sammenhænge – og et udgangspunkt for at forstå vores tids største udfordringer.

FAKTA

Eskild Dohn, Sigurd

Barrett: *Sigurd fortæller om naturvidenskab*.

Illustreret ved Jørgen Eivind Hansen. Politikens forlag 2021. 352 sider, 300 kr.



Sigurd fortæller om naturvidenskab

Entertaineren Sigurd Barrett er nu aktuell med projektet *Sigurd fortæller om naturvidenskab*, som består af en bog, hvori Sigurd forklarer alt, hvad vi ved om vores verden, en aktivitetsbog med sjove opgaver og eksperimenter for hele familien samt et brætspil, der inviterer deltagerne på en spændende rejse ind i naturvidenskabens verden. Sigurd tager desuden på en omfattende turné på 100 koncerter rundt i hele landet.

KROPSREAKTIONER KAN AFSLØRE HADEFULDE YTRINGER

Et hold forskere fra Danmark og Tyskland undersøger kulturelle forskelle på, hvordan folk opfatter hadefulde ytringer på internettet. Det kan medvirke til at gøre beslutningstagere bedre til at definere, hvad hadefulde ytringer er, og gøre algoritmer bedre til at spotte dem på sociale medier.

Facebooks algoritmer fjernede 27 millioner hadefulde beskeder alene i løbet af de sidste tre måneder af 2020. Kunstig intelligens med en politihat på er en smart og hurtig måde at eliminere betændte debatter og ytringer på, men det er langt fra en ufejlbarlig metode. Det siger Olivier Niebuhr, som er lektor ved Center for Industriel Elektronik på Syddansk Universitet i Sønderborg.

»Digitale algoritmer kan spotte hadefulde kommentarer på Facebook og andre sociale medier, men algoritmerne fokuserer ofte kun på specifikke nøgleord og har ikke modtageren for øje. Derfor har vi forsket i hadefulde ytringer ud fra kulturelle forskelle, så det i sidste ende bliver muligt at designe systemer, der træffer mere oplyste og bedre beslutninger.«

Hvad er hadefulde ytringer?

En rapport udarbejdet af Institut for Menneskerettigheder define-



Foto: Colourbox

rede i 2017 hadefulde beskeder som "Stigmatiserende, nedsættende, krænkende, chikanerende og truende ytringer, der fremsættes offentligt mod et individ eller en gruppe baseret på individets eller gruppens køn, etnicitet, religion, handicap, seksuelle orientering, alder, politiske observans eller sociale status."

Problemet er bare, at vi opfatter disse ting forskelligt. Oliver Niebuhrs forskning viser, at der er stor forskel på, hvad vi opfatter som "et sprogligt angreb" alt efter, hvor vi kommer fra eller hvilken uddannelse eller job vi har. For

eksempel er der forskel på, hvad danskere og tyskere opfatter som stærkt stigmatiserende, krænkende, nedsættende eller truende.

»Hvis vi kigger på afsenderne, så har tyskere stor berøringsangst i forhold til emner som muslimer og ikke mindst Holocaust. I forhold

til disse emner, holder danskerne sig ikke tilbage på helt samme måde.«

Oliver Niebuhr fortæller videre, at hans forskning til gengæld viser, at når det kommer til "udlændinge" generelt, så har tyskerne færre forbehold med hensyn til, hvor krast man kan formulere sig.

»Vi har også fundet andre kulturelle forskelle i forhold til, hvad danskere og tyskere lægger vægt på i forhold til deres definition af, hvad der er hadefulde beskeder, og hvad der ikke er. Det er absolut "no-go" for danskere at sammenligne personer



Oliver Niebuhr og hans forskning er en del af det dansk/tyske XPEROHS-projekt, som er støttet af Villum Fonden. En del af projektets partnere rådgiver tyske beslutningstagere i forbindelse med hadefulde ytringer. Foto: Sune Holst

med et dyr, for eksempel at sige, at "Han er en stor gris!" Det har tyskerne ikke helt samme tilbageholdenhed i forhold til sammenlignet med danskere.«

Kulturelle forskelle er vigtige at holde sig for øje

Oliver Niebuhr mener, at det er essentielt ikke blot at have fokus på specifikke nøgleord, når det kommer til definition af hadefulde ytringer, men i lige så høj grad på modtageren.

»Det er vigtigt at analysere den indre stemme. Det er umuligt at læse en tekst uden, at sætningens melodi spiller i dit hoved. Og den melodi – eller indre stemme – gør en enorm forskel.«

SDU-forskeren forklarer, at den indre stemme faktisk kan forvandle noget, som umiddelbart virker til at være en hadefuld ytring til noget helt andet. Det handler om betoning. Hvis du læser en tekst på en ironisk eller sarkastisk måde, så tager det brodden af de værste og modtageren opfatter det knapt så krænkende, nedsættende eller truende.

»Hvis vi vil give politiske beslutningstagere guidelines til at definere, hvad der er hadefulde ytringer, og hvad der ikke er, så kan vi ikke ignorere faktorer som sætningens melodi og den indre stemme.«

Fysiologiske signaler lyver ikke

Forskerholdet har i forbindelse med deres undersøgelse målt deltageres fysiologiske reaktioner, når de læser hadefulde ytringer.

Som de første i verden har forskerne monitoreret, hvordan hjernebølger og vejrtrækningsmønster ændrer sig, når forsøgspersonerne læser en hadefuld besked op. Bliver hænderne svedige, stiger pulsen og udvider pupillerne sig?

»Det er interessant, for vi kan se, at der er forskel på, hvad folk siger og hvordan deres krop reagerer.«

Oliver Niebuhr fortæller, at forskerne fandt en korrelation imellem, hvad der kom ud af forsøgspersonernes mund, og hvad deres kroppe fortalte i forbindelse med specifikke sætningsstrukturer.

»Det bonede specielt ud i forbindelse med det, vi har valgt at kalde "indirekte hadefulde ytringer". Det kunne være en sætning, som begynder med: "Jeg har intet imod muslimer, men.....". Sætninger som disse bliver ikke ratet specielt hadefulde af forsøgspersonerne, men de reagerer fysiologisk på dem.«

Forskeren mener derfor, at det giver mening at kigge på de fysiologiske signaler, da de er direkte indikatorer, som ikke er underlagt et socialt filter.

»Jeg vurderer, at det er et mere præcist svar du får.«

Håber på en fremtid uden had på sociale medier

Målet med forskningen er at assistere politiske beslutningstagere og sociale medier med at bekæmpe hadefulde ytringer på nettet.

»Konklusionen er, at det simpelthen ikke er nok at kigge på specifikke nøgleord. Det giver ikke en fyldestgørende evaluering. Du bliver nødt til at kigge på modtageren og konteksten.« ■

u-days

uddannelser med
muligheder



Kom og oplev din kommende
uddannelse til u-days 2022

24., 25. og 26. februar 2022



Undervisningsmaterialer

Find dem på AktuelNaturvidenskab.dk

Nyt arbejdsark om Natrium-kalium-pumpen

På hjemmesiden kan du finde et arbejdsark om Natrium-Kalium ATPase subunit alpha-3 til brug i undervisningen i gymnasiet i Bioteknologi A (kernestof) og Biologi A. Arbejdsarket knytter emnemæssigt an til artiklerne *Når kroppens vitale pumper svigter* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2010 og *På opdagelse i cellens calciumkanaler* (i dette nummer).

Emner: Proteinstruktur og funktion; Proteinsyntese; splicing og alternativ splicing; Bioinformatik; protein alignment, membranprocesser mm.

Quizzer

Der er også en undervisningsquiz, der tager udgangspunkt i 5 forskellige artikler fra Aktuel Naturvidenskab, der alle berører emnet Na/K-pumpen, der er et obligatorisk emne i både Biologi B, Biologi

A og Bioteknologi A, og som det også kan være relevant at inddrage i kemi på B eller A-niveau.

Prøv også den nye quiz, der knytter an til artiklen om kosmologiske modeller i dette nummer.

Forløb om jordskælv og bølger

Undervisningsmateriale til et forløb om jordskælv og bølger med udgangspunkt i udvalgte artikler fra Aktuel Naturvidenskab. Materialet er tænkt til brug i et samarbejde mellem fagene naturgeografi C/B og fysik C, men elementerne kan naturligvis udvælges, så de passer ind i hvert af de to fag.

Undervisningsmateriale er lavet som led i projektet *Brobygning på første række*, der er et samarbejde mellem Aktuel Naturvidenskab og 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:

8715 2094 / 3036 0662

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
- **Jane Thoning Callesen**, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, kommunikationskonsulent, Roskilde Universitet
- **Mikkel Linnemann Johansson**, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **David Lundbek Egholm**, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, 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: 8.700



Redaktionsgruppe

- **Sune Holst**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, 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:

Telefon: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygning 1520, DK-8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Ellesump med frit vand. Svampen højtstående skælhat ses på stammen. Ulvshale Skov, Møn. Foto: Jacob Heilmann-Clausen.

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

Vi har brug for DIN hjælp!

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Jeg går ud fra, at den gennemsnitlige dansker i det herskende "evaluerings-samfund" har udviklet en ganske høj overtalelsestærskel med hensyn til opfordringer til at deltage i spørgeskemaundersøgelser. Alligevel håber vi her på Aktuel Naturvidenskab, at vi kan overtale lige netop DIG til at deltage i vores helt nye brugerundersøgelse! Vi tillader os derfor denne gang at bruge bagsiden på at fortælle lidt om den, selvom den slags "ananas i egen juice" ellers er noget, jeg plejer at være skeptisk overfor, når det optræder i andre medier. Især, hvis det sker i tide og utide.

Men nu har vi jo ikke ligefrem spammet vores læsere med tilfredshedsundersøgelser og kommunikation omkring disse i de flere end 20 år Aktuel Naturvidenskab er udkommet. Derfor satser vi på, at du faktisk ikke har noget i mod at få at vide, at der netop nu er mulighed for at give din mening til kende. For fungerer du ligesom jeg gør, deltager jeg gerne i undersøgelser, jeg synes har et nyttigt formål. Og vi håber selvfølgelig, at det at bidrage med input, som vi blandt andet kan bruge til at udvikle Aktuel Naturvidenskab og gøre det endnu bedre, falder i den nyttige kategori på din indre prioriteringsliste.

Hvad siger de unge?

Spørgeskemaundersøgelsen står i øvrigt ikke alene. Vi har således for nylig haft besøg af 12 friske gymnasieelever, der har givet os deres umiddelbare og uforbeholdne mening om Aktuel Naturvidenskab. Blot som eksempel syntes de stort set alle, at bagsiden slet ikke ligner en bagside, men noget, som dukker op, hvis man river den rigtige bagside af bladet. Alene af den grund kan der jo være grund til at prøve nye ideer af – som at bruge bagsiden på at reklamere for brugerundersøgelser.



Foto: Colourbox.com

Nå, men nu har jeg vidst også allerede brugt rigeligt af din tid allerede. I stedet for at bruge mere tid her, synes jeg bare, at du skal scanne QR-koden her på siden (eller gå ind på vores hjemmeside, hvor der er link til undersøgelsen) og bruge de 5-10 minutters tid ekstra, det tager faktisk at udfylde spørgeskemaet. Så lover vi til gengæld at undlade at tale en masse om os selv de kommende numre, men blot følge op med handling på undersøgelsen, hvor denne fortæller os, at der er noget, der kan forbedres.

Scan koden og deltag i Aktuel Naturvidenskab brugerundersøgelse. Vi trækker lod om fem årsabonnenementer blandt deltagerne! ■

Deltag i
brugerundersøgelsen:
kortlink.dk/2e3m3

