



BØRNE- OG
UNDERVISNINGSMINISTERIET



Naturvidenskabens ABC

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

Inspiration til undervisningen i naturfag i grundskolen og naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne

JUNI 2020





Naturvidenskabens ABC

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

Inspiration til undervisningen i naturfag i grundskolen og naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne
Juni 2020 (3. udgave)

Redaktion: Anja C. Andersen, formand for ekspertgruppen

Ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC:

Anja C. Andersen, Alexander von Oettingen, Claus Michelsen, Høgni Kalsø Hansen, Lene Lange, Lotte Bjerre Knudsen, Jane Hvolbæk Nielsen, Peter C. Kjærgaard

Bidrag til redaktionen af teksten:

Rasmus Vincentz, Habitats ApS,
Rebekka Johanne Knudsen,
Kile Kommunikation

Layout, illustrationer og infografik:

Tobias Scheel Mikkelsen / WhatWeDo

Grafisk opsætning:

Presse- og Kommunikationssekretariatet,
Børne- og Undervisningsministeriet

Fotos: iStock, Alamy Stock Photo, Allan Moe/Ritzau Scanpix, Københavns Universitet, Michael Shapiro/michaelshapiro.net, Joachim Adrian/Politiken/Ritzau Scanpix, Katie Hollamby / Pexels, CERN, Shutterstock, ESA/Hubble & NASA.

ISBN nr: 978-87-603-3261-6

Publikationen kan hentes på www.emu.dk

Naturvidenskabens ABC

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

Inspiration til undervisningen i naturfag i grundskolen og naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne

JUNI 2020

Indhold



FORORD

Om Naturvidenskabens ABC	6
--------------------------------	---

KAPITEL 1

Et solidt naturvidenskabeligt fundament.....	9
Naturvidenskab er almen dannelse.....	10
Naturvidenskab kan løse problemer i komplekse systemer og samfund	11
Metoder og principper i naturvidenskab	12
Dilemmaer, etik og æstetik er en integreret del af naturvidenskaben.....	15
Naturen skal observeres og måles, men også opleves og nydes.....	17

KAPITEL 2

Grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser.....	19
10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser.....	21

ERKENDELSE 1

Natur, mennesker og samfund påvirker hinanden gensidigt.....	23
--	----

ERKENDELSE 2

Jordens overflade og klima udgør et dynamisk system.....	33
--	----

ERKENDELSE 3

Jordens ressourcer er konstante og indgår i et kredsløb	43
---	----

ERKENDELSE 4

Naturen er rig på biodiversitet.....	53
--------------------------------------	----

ERKENDELSE 5

Alt liv har udviklet sig gennem evolution	63
---	----

ERKENDELSE 6

Organismer består af celler – generne i dem kan både nedarves og ændres.....	73
--	----

ERKENDELSE 7

Alt i universet er opbygget af små partikler.....	85
---	----

ERKENDELSE 8	
Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet	97
ERKENDELSE 9	
Energien i universet er bevaret, men kan ændres fra en form til en anden.....	107
ERKENDELSE 10	
Solsystemet er en meget lille del af en enkelt af milliarder af galakser i universet	117
KAPITEL 3	
Naturvidenskab er med til at forme fremtidens samfund.....	127
REDAKTION	
Medlemmer af ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC.....	148
Ekspertgruppens arbejdsproces	150
Ordforklaringsliste til Naturvidenskabens ABC.....	152

FORORD

Om Naturvidenskabens ABC

Naturvidenskab er både en måde at se verden på og en måde at arbejde med den på. Naturvidenskabelig viden er en vigtig del af vores almene dannelse og skolens dannelsesbidrag. Den gør os i stand til at reflektere over vores forhold til naturen, os selv, andre mennesker og til samfundet. På den måde er naturvidenskab på én gang et 'par briller' og et 'multiværktøj'. Med brillerne på og med værktøjet i hånden kan vi betragte, forstå og ændre verden. Fortællingerne om naturvidenskabelige opfindelser og landvindinger viser os samtidig, at der ligger slid, engagement og opfindsomhed i mange generationer forud for det liv, vi lever i dag.

Kort sagt: Naturvidenskaben gør os bevidste om vores ståsted og væren i verden, om hvilket ansvar vi har for, hvor vi står, og, ikke mindst, om vores ansvar for at handle ud fra disse ståsteder. Indsigt i grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser og metoder klæder os på til at træffe oplyste valg om vores fælles fremtid. Den ruster os til at udvikle ny viden, til at kunne genkende solid viden og til at tænke kritisk, når vi præsenteres for påstande og holdninger. Men vigtigst af alt er det, at naturvidenskab åbner op for en spændende og forunderlig verden, som børn og unge skal have mulighed for at få del i og undersøge.

Gennem historien har naturvidenskabens kvinder og mænd opdaget fantastiske skabninger og fænomener på hele kloden. De har skabt geniale opfindelser, der har ført til en bedre verden for mange mennesker, men som også i nogle tilfælde har medført forfærdelige hændelser, som eksempelvis atomulykker. De har været nysgerrige og har haft mod til at stille spørgsmål og foretage undersøgelser, som har været afgørende for, at vores samfund har kunnet udvikle sig til, hvad det er i dag. Ofte er udforskningen og naturvidenskabelige undersøgelser bundet i ren og skær nysgerrighed og en

drøm om at forstå noget bedre og se sammenhænge mellem forskellige naturfænomener. Nogle gange er der ikke anden drivkraft og formål end at blive klogere og opnå indsigt i et finurligt naturfænomen, og nogle gange er drivkraften at se sammenhænge, ingen har set før, så man som forsker kan dele ny viden og indsigt, som andre kan bygge videre på.

Med dette som udgangspunkt har Børne- og Undervisningsministeriet bedt en ekspertgruppe om forslag til en 'Naturvidenskabens ABC', som identificerer og formidler centrale, kernefaglige nedslagspunkter.

ABC'en skal fungere som én af flere mulige inspirationskilder for underviserne i grundskolen og på ungdomsuddannelserne. Væsentlige dele af det kernefaglige indhold i ABC'en vil være kendt stof for naturfaglærerne. Men ønsket er at vise eksempler på, hvordan naturvidenskabelig kernefaglighed, med udgangspunkt i udvalgte grundlæggende erkendelser, kan bindes sammen og præsenteres ind i en aktuel kontekst, der opleves som relevant for eleverne i deres hverdag. Den er altså både en introduktion til grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser og metoder og en samling af konkrete eksempler på, hvordan naturvidenskabelige gennembrud i dag former teknologier, virksomheder, politik og alle mulige andre aspekter af vores hverdag.

Ambitionen er, at ABC'en og de progressionsbeskrivelser, der udvikles til ABC'en, når ekspertgruppen har afsluttet sit arbejde, kan være med til at klæde lærerne på til at udvælge og sammenkæde indhold, der kan formidle udvalgte store naturvidenskabelige erkendelser og fortællinger til eleverne. Endelig giver ABC'en nogle kig ind i, hvor naturvidenskaben måske er på vej hen. ABC'en skal også være inspiration til, at naturfagsundervisningen kan leve op til folkeskolens formål om at udvikle arbejdsmetoder og skabe rammer for oplevelse,



Naturvidenskabens ABC skal give inspiration og bidrage til sammenhæng i undervisningen i naturfagene

fordybelse og virkelyst, så eleverne udvikler erkendelse og fantasi og får tillid til egne muligheder og baggrund for at tage stilling og handle.

Arbejdet for ekspertgruppen har taget afsæt i, at grundlæggende viden, forståelse og indsigt er forudsætningen for, og det, der fører til, en senere praktisk anvendelse. Naturvidenskabens ABC beskriver 10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser, der har haft stor betydning for udviklingen af naturvidenskaben som felt, og sætter disse erkendelser i relation til samfundets udvikling og teknologier i hverdagen. Disse erkendelser rummer de helt fundamentale principper, der ligger til grund for vores forståelse af naturen. Den viden, som principperne bygger på, er kommet til på baggrund af mange videnskabsfolks søgen og undren gennem tiden. Fælles for erkendelserne er, at ekspertgruppen bag Naturvidenskabens ABC har vurderet, at de står som grundpiller i naturvidenskaben.

LÆSEVEJLEDNING

Naturvidenskabens ABC er bygget op af tre kapitler. Kapitel 1 introducerer til den rolle, som naturvidenskab spiller i vores samfund og til naturvidenskabelig metode og praksis. Kapitlet skitserer også kort, hvordan naturvidenskab kan bidrage til at løse, men også til at skabe problemer. Dette afsnit er taget med for at vise den dobbelthed, der ligger i naturvidenskabelig viden, som i enhver anden viden.

Kapitel 2 har fokus på indholdet i naturfagene og præsenterer med udgangspunkt i de 10 grundlæggende erkendelser kernefaglige nedslag, som ekspertgruppen

har udvalgt som de væsentligste. I kapitel 2 præsenteres også vigtige personer for videnskaben samt cases, der skal bidrage til en forståelse for de grundlæggende erkendelser.

I kapitel 3 har ekspertgruppen præsenteret nogle af de ubesvarede naturvidenskabelige spørgsmål og højaktuelle problemstillinger, som kun kan løses, hvis vi gør brug af vores naturvidenskabelige viden og forståelse. Kapitel 3 er med til at understrege, at erkendelser ikke nødvendigvis er endelige, og at grænserne for, hvad vi ved, og hvad vi er nysgerrige på, hele tiden rykker sig. Endelig skitserer kapitlet nogle dilemmaer, som forskningen stiller os overfor.

Børne- og Undervisningsministeriet vil i den videre proces sikre, at der udarbejdes progressionsbeskrivelser. Det skal gøres tydeligt, hvordan faglige elementer og indsigter fra naturvidenskaben kan sammenkædes og bygge op til de større grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser. Det vil være forskellige delerkendelser, der kan indgå i undervisningen på de forskellige trinforløb i naturfagene i grundskolen og de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne.

Som opfølgning vil Børne- og Undervisningsministeriet udvikle egentlige forløb og inspirationsmateriale, der tager udgangspunkt i Naturvidenskabens ABC. Disse vil løbende blive udviklet i perioden 2020-2021. Ministeriet og ekspertgruppen bag ABC'en håber også, at forlag og andre, der udvikler læremidler, vil lade sig inspirere af Naturvidenskabens ABC i udviklingen af nye materialer til undervisningen i naturfagene i grundskolen og de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne.

KAPITEL 1

Et solidt naturvidenskabeligt fundament

De naturvidenskabelige fag har ført til erkendelser om alt fra livets opståen til universets uendelighed. Den præsenterer og beskriver vores til enhver tid bedste naturvidenskabelige forståelse af vores egen eksistens, af naturen og af, hvordan verden hænger sammen.

Samtidig bidrager naturvidenskab til samfundets fremgang og udvikling ved at opfinde teknologier, processer og metoder, som løser problemer – og i nogle tilfælde skaber nye. Naturvidenskab rummer både muligheder og begrænsninger, men uden viden om naturen i al dens mangfoldighed og om, hvordan vi udnytter og beskytter naturens ressourcer, ville vi ikke have udviklet det samfund, vi har i dag. Naturvidenskab er derfor ikke bare væsentlig for vores viden og erkendelse, men også for udviklingen af vores måde at leve på.

Naturvidenskab er almen dannelse

Naturvidenskab er en erkendelsesform og et værktøj, der gør os i stand til at tilfredsstille og udfordre vores nysgerrighed, i stand til at handle og i stand til at tage kvalificerede, vidensbaserede beslutninger om vores samtid og fremtid. Den hjælper os til at skelne mellem underbyggede udsagn og ubegrundede påstande, og styrker beredskabet over for udbredelsen af misinformation.

Naturvidenskab er en del af vores almene dannelse. Viden om naturvidenskab er, sammen med andre vidensformer som kulturel, humanistisk og samfundsvidenskabelig viden, forudsætningen for, at vi kan træde ind i en forståelse af vores fælles samfund – det almene – men samtidig også forstå vores egen individualitet som menneske. Som oplyste borgere i et demokratisk samfund har vi et handlingsansvar, fordi livet sammen med andre borgere rejser problemer, som skal løses af samfundslivet. Naturvidenskab som almen dannelse handler om at

etablere et naturvidenskabeligt baseret beredskab, så vi både kan handle i forhold til at løse de udfordringer eller problemer, vi møder, og til at kunne værdsætte og reflektere over naturvidenskabens og teknologiens rolle i samfundsudviklingen.

Opgaven for naturfagene i grundskolen og de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne er at stimulere elevernes interesse og nysgerrighed, så de får lyst til at lære mere, udvikle elevernes naturfaglige kompetencer og indføre eleverne i, hvordan fagene bidrager til vores forståelse af verden. Naturfagene skal også bidrage til at udvikle elevernes ansvarlighed over for, fascination af og kærlighed til naturen, og gøre dem i stand til at tage stilling i forhold til bæredygtig udvikling. Kort sagt skal en grundlæggende forståelse for naturvidenskaben gøre eleverne i stand til selv at anvende naturvidenskaben for at øge deres naturforståelse, omverdensforståelse og selvforståelse.

Zoologisk Museum, København



Naturvidenskab kan løse problemer i komplekse systemer og samfund

Formålet med undervisningen er at formidle grundlæggende viden om naturfag og naturvidenskabelige fag med henblik på at øge elevernes erkendelse, forståelse og nysgerrighed. Eleverne skal med den grundlæggende viden blive i stand til at forstå naturens betydning og mangfoldighed, identificere problemstillinger og se nye sammenhænge, der kan løse problemer.

Naturen, teknologien og samfundet er komplekse systemer, der hænger sammen på tværs af naturvidenskabens discipliner, men undervisningen i naturfag er ofte fagopdelt. Fagopdelingen er nødvendig for at skabe en stærk, grundlæggende forståelse af de enkelte discipliner. Med det kernefaglige fundament som udgangspunkt kan en interdisciplinær tilgang anvendes til at undersøge, perspektivere og handle.

Eksempler på den interdisciplinære tilgang er relativt nye fag som bioinformatik eller nanoteknologi, der kombinerer forskellige kerediscipliner for at finde nye svar på fortidens såvel som fremtidens spørgsmål. Interdisciplinaritet er dog ikke som sådan ny. For eksempel var Niels Bohr og H.C. Ørsted kendte for både solid kernefaglighed og en interdisciplinær tilgang.

De tre dimensioner (produkter, arbejdsprocesser, samfundsmæssig institution) opfordrer eleverne til at opnå indsigt i, hvordan de kan anvende naturvidenskabens arbejdsmåder og forståelse – eksempelvis i en personlig kontekst som sundhed og ernæring eller i en global kontekst som klima – hvordan de kan formulere og undersøge naturvidenskabelige problemstillinger, udarbejde naturvidenskabelige modeller, drage konklusioner og perspektivere, samt hvordan de kan kommunikere deres viden til andre. Den ambition kommer blandt andet til udtryk i udskolingen, hvor naturfagene skal samarbejde i fællesfaglige undervisningsforløb, der belyser en naturfaglig problemstilling.

Undervisningens tre dimensioner

NATURVIDENSKABENS PRODUKTER

Et kundskabssystem bestående af begreber som eksempelvis energi og celler, love som eksempelvis Newtons love og termodynamikkens hovedsætninger, modeller som eksempelvis økosystemer og evolution. Kundskabssystemet leverer redskaber til at analysere, forstå og påvirke naturen.

NATURVIDENSKABENS ARBEJDSPROCESSER

Den praksis, hvor der gennem naturvidenskabens metoder, teknikker og procedurer søges efter svar på nye spørgsmål om naturen. En integreret del af disse processer er det eksperimentelle arbejde, hvor undersøgelser og fejlslagne forsøg kan føre til nye erkendelser og gennembrud. Naturvidenskabens udvikler sig i kraft af disse processer, der resulterer i naturvidenskabens produkter. Vejen er ofte lang, og fyldt med fejlslagne idéer, undersøgelser og erkendelser. Men fejl og erkendelser fører løbende til indsigt og ny forståelse. At vide, hvad der ikke virker, og ikke mindst at forstå hvorfor, er meget vigtig viden.

NATURVIDENSKABEN SOM EN SAMFUNDSMÆSSIG INSTITUTION

Naturvidenskabens som en del af samfundet, kulturen og historien.

Metoder og principper i naturvidenskab

Historisk har skolens undervisning i naturfag haft et særligt fokus på naturvidenskabens produkter: Love, teorier og begreber. Naturvidenskabens arbejdsprocesser og metoder samt dens rolle i en historisk, filosofisk og samfundsmæssig kontekst har derimod indtaget en mindre rolle. I dag bliver eleverne imidlertid i meget højere grad end tidligere, blandt andet via medierne,

konfronteret med store mængder data og information, som de kun kan forholde sig kvalificeret til, hvis de kender til naturvidenskabens grundlæggende principper, metoder og arbejdsprocesser. Undervisningen er da også i dag orienteret mod at opbygge kompetencer i naturvidenskabelig metode.

Naturvidenskabens grundlæggende principper

VIDEN ER IKKE ABSOLUT

Vores viden om naturen og dens fænomener er et resultat af menneskelig aktivitet i en særlig social praksis, den naturvidenskabelige forskning. Denne praksis har til formål at frembringe udsagn om, hvordan ting opfører sig, og hvordan fænomener kan forklares. Naturvidenskaben beskriver det universelle og lovmæssige – det, som sker hver gang. Det er muligt at tolke den naturvidenskabelige erkendelse som et udtryk for naturen, omend ikke nødvendigvis en absolut gengivelse af disse forhold. Som al anden viden er naturvidenskabelig viden principielt foreløbig. Naturvidenskabelig viden kan ændres over tid, når vidensgrundlaget ændres, eller data og observationer giver ny erkendelse.

NATURVIDENSKABELIGE TEORIER OG MODELLER GIVER OS VIDEN OM OG INDSIGT I NATUREN

Naturvidenskabelig viden kan ændres over tid, når vidensgrundlaget ændres, eller data giver ny erkendelse. God videnskab handler om konstant at forstå og udvikle sine tanker og ideer, samt at afprøve tankernes holdbarhed ved at holde dem op mod egne og andres hypoteser og den på det aktuelle tidspunkt tilgængelige viden.

DET VIDENSKABELIGE ARBEJDE BØR VÆRE OBJEKTIVT

Det videnskabelige arbejde bør være objektivt, altså sagligt, uafhængigt og baseret på undersøgelser. Systematiske metoder og viden om alle aspekter af disse er med til at sikre så stor objektivitet som muligt på et givent tidspunkt.

BEVIDSTHED OM DE VIDENSKABELIGE VALG

Absolut objektivitet er meget svært at opnå. Et undersøgelsesdesign eller eksperiment vil altid være forbundet med en række subjektive valg, eller tilnærmelser, som skal repræsentere den ideelle situation.

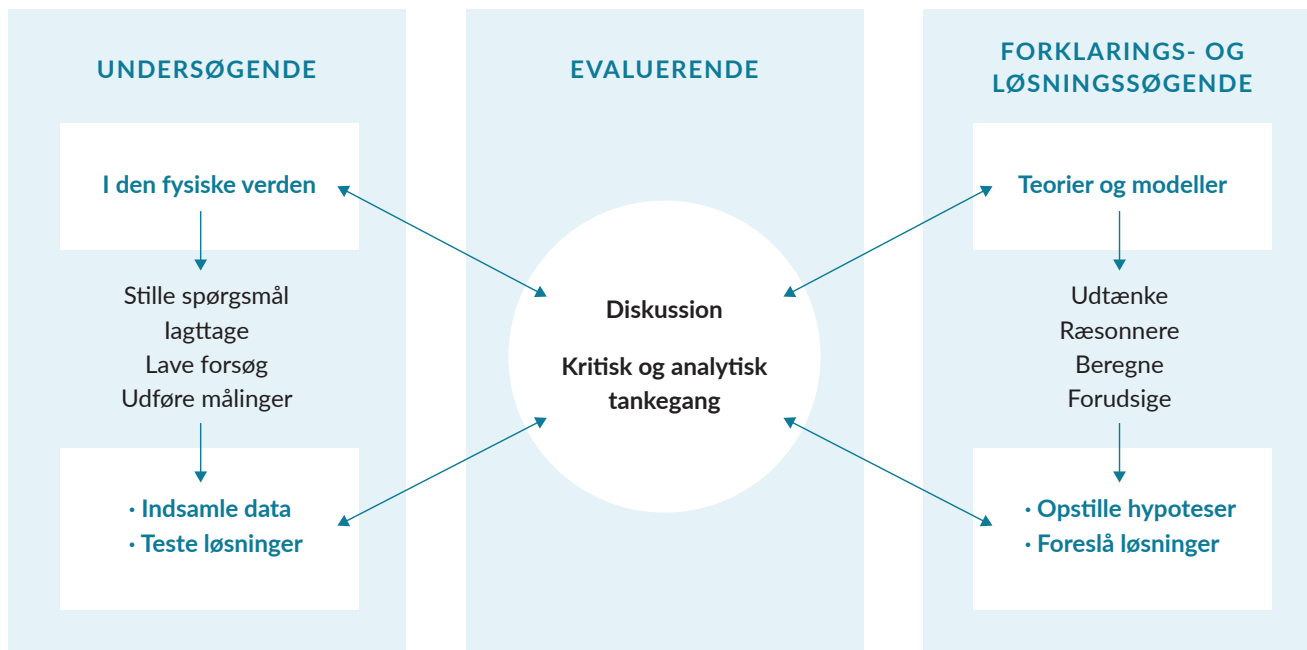


Illustration af hvordan en videnskabelig arbejdsmetode kan se ud. Model oversat fra "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas"

Viden om naturvidenskabelige metoder er vigtig både for at kunne forstå, hvordan den eksisterende viden er frembragt samt at eksperimentere med ny viden og erkendelser.

Evnen til selv at kunne anvende metoderne er også en forudsætning for at kunne analysere og forholde sig kritisk og kompetent til de store mængder data, informationer og historier om nye forskningsresultater, som vi dagligt konfronteres med.

Selvom der findes forskellige metodiske tilgange inden for naturvidenskaben, kan man tale om fælles træk ved naturvidenskabelig metode. Den er kendetegnet ved på den ene side indsamling af data gennem feltarbejde, observationer og eksperimenter, som i nogle tilfælde kan føre til formulering af 'lovmæssigheder' – og på den anden side opstilling af hypoteser, som herefter kan afprøves i virkeligheden.

Det er grundlæggende for naturvidenskabelige arbejdsmetoder at kunne stille spørgsmål og definere problemer. Når tilstrækkelig viden er tilgængelig, er det også grundlæggende at finde og opstille relevant teori. For at kunne svare på spørgsmål og løse problemer er det essentielt at kunne indsamle data systematisk, og for at gøre dette skal man kunne udvikle og anvende modeller samt planlægge og gennemføre undersøgelser. For at kunne forstå data må man kunne analysere og fortolke dem. Dette kræver et kendskab til matematik og datalogisk tænkning samt forståelse for, hvordan man

udvikler forklaringer og løsningsforslag. I den forbindelse har begrebet association stor betydning for evnen til at fortolke naturvidenskabelige data. Det er afgørende at kunne skelne mellem associationer, altså at noget sker samtidig med noget andet – for eksempel at et lands indtag af chokolader stiger samtidig med antallet af Nobelpris-modtagere – og årsagssammenhænge, altså en viden om, at chokoladespiseri ikke nødvendigvis er forklaringen på stigningen i Nobelpriser.

I Fælles Mål, som er læreplanerne for naturfagene i folkeskolen, er der opstillet fire kompetenceområder, som går på tværs af naturfagene. De naturfaglige kompetencer rummer blandt andet elementerne i de naturvidenskabelige arbejdsmetoder, som er vist i modellen ovenfor.



Undersøgelser udgør en vigtig brik i relation til udvikling af naturvidenskabelig kompetence.

De fire kompetenceområder i Fælles Mål for naturfagene i grundskolen

UNDERSØGELSE

En elev med undersøgelseskompetence vil kunne formulere spørgsmål, som kan undersøges naturvidenskabeligt. I forlængelse heraf vil eleven kunne vælge faglige undersøgelsesmåder, designe egne undersøgelser og indsamle data på naturvidenskabelig vis. Hvor det er relevant, vil eleven kunne medtænke og vurdere kvaliteten af undersøgelser, fx i form af undersøgelsessystematik, variabelkontrol og væsentlige fejlkilder.

Undersøgelseskompetence indbefatter også evnen til at finde mønstre i, fortolke og konkludere på data. Derudover er det en del af undersøgelseskompetencen at kunne forbinde egne undersøgelsesresultater med fagets forklaringer, modeller og måder at udvikle viden på.

MODELLERING

En elev med modelleringskompetence vil kunne bruge naturfaglige modeller til at forstå, forklare eller forudsige fænomener og systemers opførsel, kunne diskutere og forholde sig kritisk til modeller samt kunne revidere/konstruere modeller med afsæt i egne undersøgelser eller som en del af problemløsning.

PERSPEKTIVERING

En elev med perspektiveringskompetence vil kunne forbinde naturfaglig viden til sin egen hverdag og nære omverden. Eleven vil også kunne bruge sin naturfaglige viden til at belyse og forholde sig til samfundsmæssige problemstillinger med et naturfagligt indhold. Eleven vil tillige kunne beskrive naturfag og teknologis betydning for samfundsudviklingen, ligesom eleven vil kunne fortælle om udvikling af naturfaglig viden i en historisk og kulturel sammenhæng. Endelig vil eleven kunne bruge indsigter fra et naturfag til at belyse og udvide indsigter fra andre fag.

KOMMUNIKATION

En elev med kommunikationskompetence vil kunne bruge det naturfaglige sprog til både at beskrive og formidle naturfaglige fænomener og indsigter. Konkret betyder det, at eleven vil kunne læse og producere naturfaglige tekster samt diskutere og formidle et naturfagligt indhold med brug af fagsprog, naturfaglige modeller og have kendskab til teksttyper med naturfagligt indhold og naturfaglige skrivemåder. En elev med kommunikationskompetence vil samtidig kunne argumentere med naturfaglige belæg og forholde sig kritisk til argumentation med et naturfagligt islæt.

Beskrivelserne af de naturfaglige kompetencer er fra Fælles Mål – læseplanerne for de fire naturfag i grundskolen (august 2019).

Dilemmaer, etik og æstetik er en integreret del af naturvidenskaben



Muligheden for at inseminere kvinder med kunstigt befrugtede æg har skabt grobund for mange etiske diskussioner.

Som al anden videnskab kan naturvidenskaben både bruges og misbruges, og i visse historiske perioder har dens værdi været genstand for stor debat.

Naturvidenskab, som vi kender den i dag, tog sin begyndelse i midten af 1500-tallet, hvor Andreas Versal udgav værket "Om opbygningen af den menneskelige krop" og grundlagde den moderne anatomi, og Nicolaus Kopernikus udgav værket "Om de himmelske sfæres omdrejning" og dermed indledte et opgør mod overtro og mystik om naturens fænomener til fordel for en beskrivende og analyserende tilgang. Gennem oplysningstiden i 1700-tallet blev naturvidenskaben styrket, og der

stod respekt og beundring om de videnskabsmænd, der afdækkede og forklarede, hvordan 'Guds skaberværk' i virkeligheden var blevet til.

Et århundrede senere blev den næsegrus beundring imidlertid blandet op med en kritisk tilgang fra de humanistiske videnskaber, som beskrev naturvidenskab som åndløs og naturvidenskabsmændene som barnlige væsener, der dissekerede naturen og gjorde vold på den for at tilfredsstille deres egen nysgerrighed.

De naturvidenskabelige fag er især blevet kritiseret for – gennem deres metoder – at reducere naturen og mennesket til genstande. De naturvidenskabelige meto-

der bygger på et grundlæggende princip om adskillelsen mellem subjektet, der iagttager verden, og verden, der iagttages og undersøges objektivt. Forskeren undersøger, eksperimenterer og iagttager verden gennem forskellige forskningsmetoder, men står selv uden for verden. Adskillelsen mellem subjektet, der erkender verden og objektet, der er i verden, er grunden til, at man – med rette og urette – har kritiseret naturvidenskaben for at af-fortrylle verden og naturen ved at sætte den på formler og årsags-virkningsforklaringer.

Naturvidenskaben finder via forskningen frem til ny viden, men kan samtidig skabe nye problemer som følge af den viden. Opfindelser og udvikling af ny teknologi har stort set altid en bagside, der kan medføre nye og endnu ukendte problemstillinger. Et velbeskrevet eksempel er opfindelsen af flyvemaskinen, som har revolutioneret vores bevægelsesmuligheder, men samtidig udleder CO₂ i et omfang, der gør flytrafikken til en af de helt store bidragsydere til globale temperaturstigninger. Et andet eksempel, som måske endda har lagt grunden til en fornyet skepsis over for naturvidenskaben i perioden efter 2. verdenskrig, er opdagelsen af atomkraft, som på den ene side giver adgang til effektiv produktion af CO₂-fri energi, men på den anden side indebærer risiko for forurening som følge af ulykker og udvikling af atomvåben.

Den nyeste naturvidenskabelige forskning og teknologiudvikling rummer også mange etiske problemstillinger, som kalder på en åben diskussion i samfundet i årene, der kommer. Den er derfor af relevans for skolens læringsmiljøer. Det kunne være etiske problemstillinger ift. den enkeltes interesse sammenholdt med samfundets interesser. Et andet eksempel er sprøjtning med pesticider i landbruget. På den ene side er det med til at øge afgrødeudbyttet og forbedre fødevarer sikkerheden for Jordens voksende befolkning. På den anden side kan pesticider give udfordringer ift. drikkevandet, og fund af pesticider er jævnlige årsag til lukning af drikkevandsboringer i Danmark.

Et tredje eksempel er brugen af antibiotika, som kan skabe antibiotikaresistens på sigt. Det kan medføre dødsfald, fordi vi ikke i samme grad som tidligere kan behandle sygdomme med antibiotika. Som følge heraf kan vi risikere, at mennesker, der har modtaget strålebehandling, kan overleve kræft, men dø af en infektion, der ikke kan behandles.

Netop på grund af den dobbelthed, som mange videnskaber rummer, indeholder kapitel 3 i Naturvidenskabens ABC eksempler på ny viden, etiske spørgsmål og dilemmaer omkring naturvidenskab og teknologi, som er relevante ift. de 10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser.

Naturen skal observeres og måles, men også opleves og nydes

Æstetiske kriterier som eksempelvis enhed, enkelthed og elegance i teoretiske forklaringer og troen på naturens orden og harmoni har ofte spillet en afgørende rolle i naturvidenskabelig erkendelse. Allerede for mere end 2.000 år siden udviklede pythagoræerne en filosofi baseret på, at universet var skabt så godt og smukt, dvs. harmonisk, som muligt. Derfor mente de, at Jorden var en kugle – den mest regelmæssige form, der fandtes, og de forestillede sig, at planeterne sad fast på ligeledes kugleformede skaller, der drejede omkring Jorden. Når de kæmpestore skaller, som planeterne sad på, roterede inde i hinanden, måtte der opstå lyd, "sfærernes musik". Den tyske naturforsker Alexander von Humboldt udgav i 1845 fembindsværket "Kosmos", der beskriver hele den materielle verden fra galakser til den enkelte planets



Den tyske naturvidenskabsmand Alexander von Humboldt (1769-1859) har været grundlæggende for den måde, vi forstår og beskriver naturen på i dag. Hans beskrivelser af naturen er sproglige mesterværker, der inspirerede store kunstnere. Ved lysfestivalen i Berlin i 2019 kunne man se Humboldt i en farverig lysinstallation på muren af Humboldt Universitetet.

geografi. I værket beskriver Humboldt sin søgen efter en enhed i naturen, hvor kosmos viser sig som et naturmaleri (Naturgemälde), der forener mennesket og naturen.

Selvom der gennem historien har været frugtbar vekselvirkning mellem naturvidenskab og æstetik, så er vores tid præget af en opdeling i en naturvidenskabelig og en humanistisk kultur. Mange oplever naturvidenskab som noget svært og verdensfjernt, der afmystificerer og giver rationelle forklaringer på naturen og dens fænomener. Således mente John Keats, der var en af de betydeligste digtere i den engelske romantik, at Newton fjernede regnbuens poesi ved at forklare oprindelsen af dens farver ved at sende hvidt lys gennem et prisme. Dette afviser den britiske evolutionsforsker Richard Dawkins i sin bog "Unweaving the Rainbow" fra 1998. Ifølge Dawkins understøtter forståelse af naturvidenskabens resultater vores undren over verden. Og naturens mysterier mister ikke deres poesi, fordi de er løst. Tværtimod, løsningen afslører ofte endnu dybere mysterier. For ganske vist forklarede Newton og andre regnbuen, men på et dybere niveau har vi stadig kvantemekanikens beskrivelse af lys som både partikel og bølge – og her er der stadig uafklarede spørgsmål.

Den æstetisk komponent af naturvidenskab kan gøre relationen mellem menneske og natur tydelig og åbne op for virkelighedens uendelighed af hemmeligheder. Naturfagsundervisningen skal derfor også give grobund for æstetiske oplevelser, der afspejler naturen, som noget vi kan forme, og ikke mindst som noget, der former os. Det handler om en afbalancering mellem det æstetiske og det nyttige. Og for så vidt at æstetik kan øge motivationen for eleverne, så behøver der ikke være nogen konflikt mellem egenværdi og nytteværdi af undervisningen.

KAPITEL 2

Grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

Naturvidenskaben bygger på en række erkendelser, der på tværs af videnskabelige discipliner udgør et fælles grundlag for vores naturforståelse. De er resultatet af mange århundreders videnskabeligt arbejde og bygger på en stræben efter indsigt i naturens rette sammenhæng, der går helt tilbage til Antikken. Naturvidenskabelig viden udvikler sig hele tiden. Det er i sig selv en vigtig erkendelse. Men noget af vores viden er blevet mere robust og har dermed fået en mere blivende karakter end andet. Den er blevet efterprøvet med alle metoder og praksisformer, der kendetegner moderne videnskab og har vist sit værd ved at være gyldig, uafhængigt af videnskabeligt fagområde. Det er i den sammenhæng, at vi taler om grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser.



Alle naturvidenskabelige erkendelser er gjort på baggrund af nogle fast etablerede og alment accepterede kriterier og værdier. Vi har altid en teoretisk forståelsesramme, der definerer, hvad vi kigger efter. Det skal være muligt at afprøve vores ideer og kontrollere deres rigtighed gennem gentagelse af forsøg. Og endelig skal det være muligt at kunne forudsige nye resultater. Det kræver præcision i formuleringen af videnskabelige spørgsmål og svar. Teori og metoder skal være sammenhængende og uden selvmodsigelser. Problemfeltet skal fastholdes gennem et klart fokus og være så simpelt, at kun det mest nødvendige er med. Teori og metode skal være frugtbare. De skal give resultater, udvikle teorier og hypoteser, og producere nye, succesfulde eksperimenter. Samtidig skal de give den mest sandsynlige løsning. Endelig er der krav om en omfattende forklaringsevne. De mest succesfulde videnskabelige ideer og teorier er dem, som evner at definere og forklare flere teoretiske og eksperimentelle problemer. Naturvidenskabelige grunderkendelser er kendetegnet ved samme grad af almenhed.

Ekspertgruppen bag Naturvidenskabens ABC har udvalgt 10 naturvidenskabelige erkendelser, som er grundlæggende for forståelse og anvendelse af naturvidenskab. Ekspertgruppen har blandt andet fundet inspi-

ration i publikationen "Big Ideas of Science Education" (Harlen, 2010), der er udarbejdet af en gruppe internationale forskere med baggrund i naturfagsundervisning, og det amerikanske "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas" (National Research Council, 2012).

De grundlæggende erkendelser i Naturvidenskabens ABC er tilpasset en dansk kontekst. Der er medtaget både danske og internationale cases og vigtige personer for videnskaben, som har betydning for forståelsen af erkendelserne. Det faglige indhold i ABC'en er ikke udtømmende og kunne være defineret anderledes, ligeså er der mange personer, der har haft stor betydning for videnskaben, som lige så vel kunne have været med i Naturvidenskabens ABC. Feltet af kernefaglige nedslag er enormt, og i Naturvidenskabens ABC er udvalgt en række nedslag og personligheder, der tilsammen skal give et indtryk af vores naturvidenskabelige grundlag.

De kernefaglige nedslagspunkter skal tjene som inspiration til en sammenhængende undervisning i naturfagene med både klassiske nedslag og nyere erkendelser. Præsentationen af de grundlæggende erkendelser skal også inspirere til en problemorienteret tænkning på tværs af fag og discipliner, der reflekterer videnskabelig praksis i det 21. århundrede og inspirerer til løsninger på store naturfaglige spørgsmål og globale udfordringer.

LITTERATUR

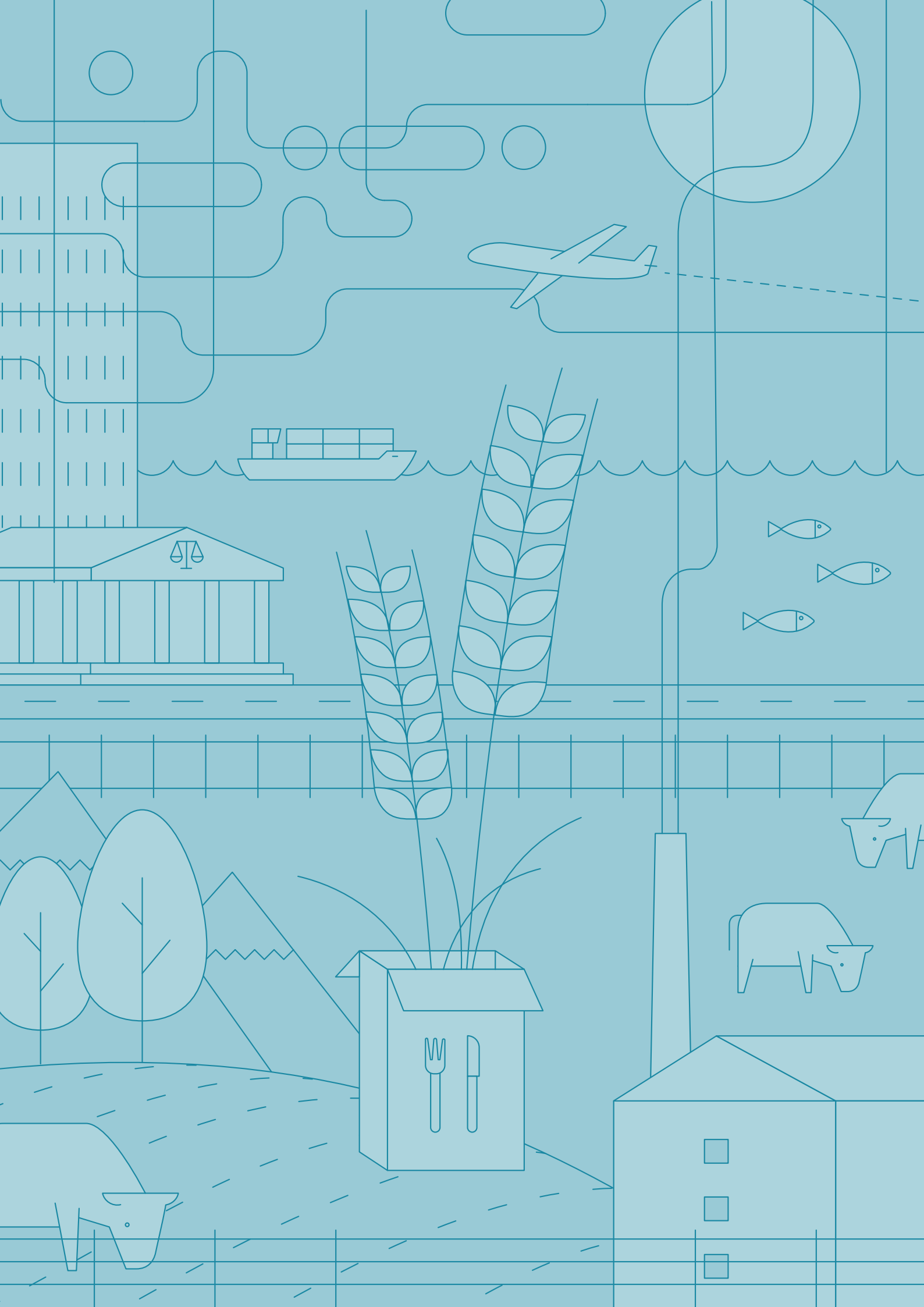
- Harlen, Wynne. Et al. (2010) 'Principles and big ideas of science education', hentet 25/02/20, <https://www.ase.org.uk/bigideas>
- National Research Council (2012) 'A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas', hentet 25/02/2020, https://sites.nationalacademies.org/dbasse/bose/framework_k12_science/index.htm

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

-
1. Natur, mennesker og samfund påvirker hinanden gensidigt
 2. Jordens overflade og klima udgør et dynamisk system
 3. Jordens ressourcer er konstante og indgår i et kredsløb
 4. Naturen er rig på biodiversitet
 5. Alt liv har udviklet sig gennem evolution
 6. Organismer består af celler – generne i dem kan både nedarves og ændres
 7. Alt i universet er opbygget af små partikler
 8. Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet
 9. Energien i universet er bevaret, og kan ændres fra en form til en anden
 10. Solsystemet er en meget lille del af en enkelt af milliarder af galakser i universet

De 10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser udgør et solidt fagligt afsæt for, hvad børn og unge vil have glæde af at vide i naturfagene i grundskolen og i de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne. Det er dermed et forslag til, hvad eleverne kan introduceres til i løbet af deres skolegang med henblik på at opnå en naturvidenskabelig grundforståelse og dannelse.

For hver af de 10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser er der udvalgt nogle kernefaglige nedslagspunkter, relevante og vigtige personer for videnskaben; og cases, der kan understøtte forståelsen af den grundlæggende erkendelse og tydeliggøre erkendelsens relevans.



ERKENDELSE 1

Natur, mennesker og samfund påvirker hinanden gensidigt

Hvad er natur egentlig, og hvad er menneskets forhold til naturen? Det er klassiske spørgsmål, som mennesket har søgt svar på over flere tusind år. Fra Aristoteles i det antikke Grækenland over Leonardo Da Vinci i renæssancen, via Alexander von Humboldt i 1800-tallet til den moderne bølge af nationale og internationale miljøbevægelser, der for alvor fik fart fra starten af 1970'erne.

Parallelt har naturvidenskab gennem årtusinder spillet en nøglerolle i, at mennesket er blevet dygtigere til at udnytte naturen og forbedre sine levevilkår. Det gælder blandt andet ved at øge høstudbytter gennem anvendelse af vandingssystemer, brug af gødning og sprøjtegifte og ved opdyrkning af stadig større arealer, ved forædling af planter med højere udbytte og større resistens overfor

eksempelvis svampesygdomme eller ved udnyttelse af ressourcer og energi.

I dag, i en verden med en befolkning på mere end syv milliarder mennesker, og stigende mod 9-10 milliarder inden for få årtier, samt med en hastig teknologisk udvikling, er spørgsmålet om samspillet mellem mennesker og natur mere aktuelt end nogensinde. For, som den svenske klimaforsker Johan Rockström siger det, er vi gået fra "at være små samfund på en stor planet til at være et stort samfund på en lille planet."

Det er derfor vigtigt både at samle ældre forskning og tanker om menneskets afhængighed af naturen, og stadig fortsætte med at forske og opnå ny viden for at kunne sikre et godt grundlag for menneskets og samfundets eksistens.

ERKENDELSE 1

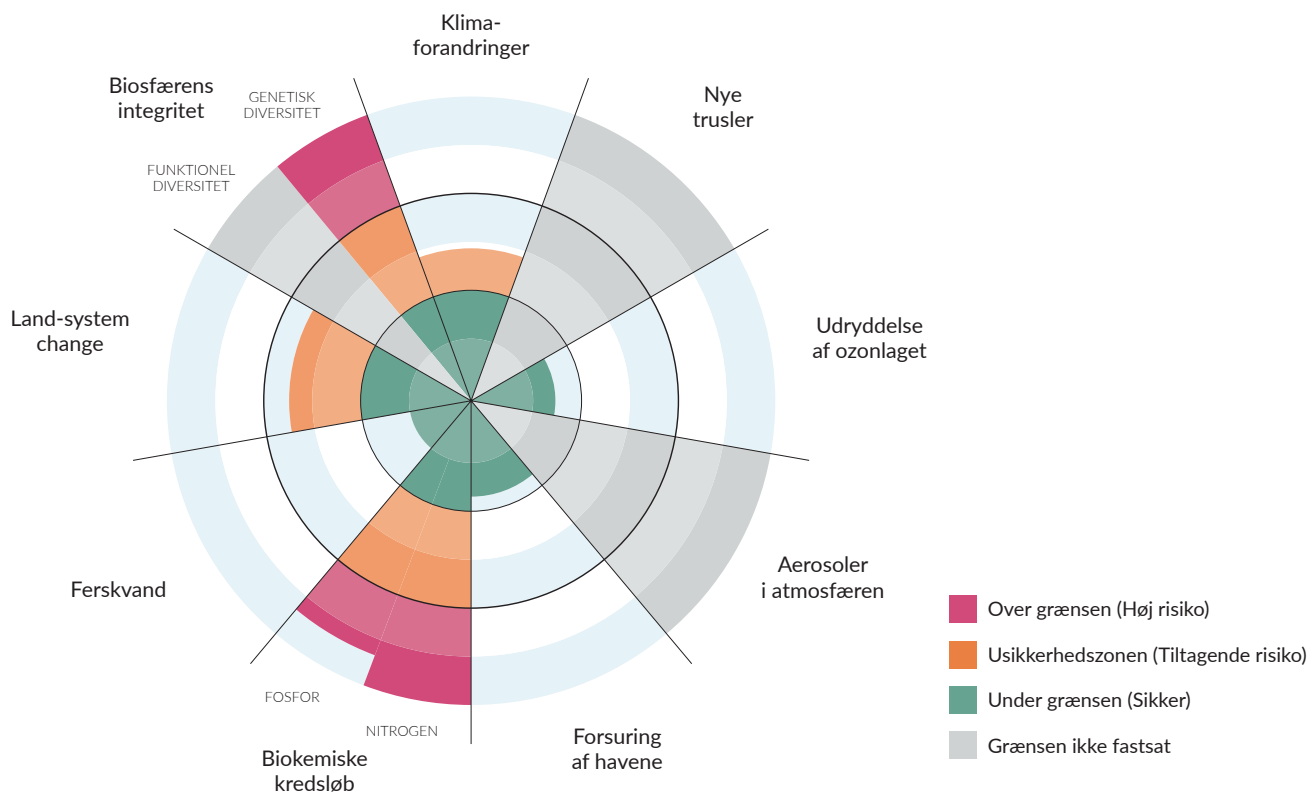
Kernefaglige nedslagspunkter

GRÆNSER FOR MENNESKETS AKTIVITETER OG VÆKSTEN I SAMFUNDET

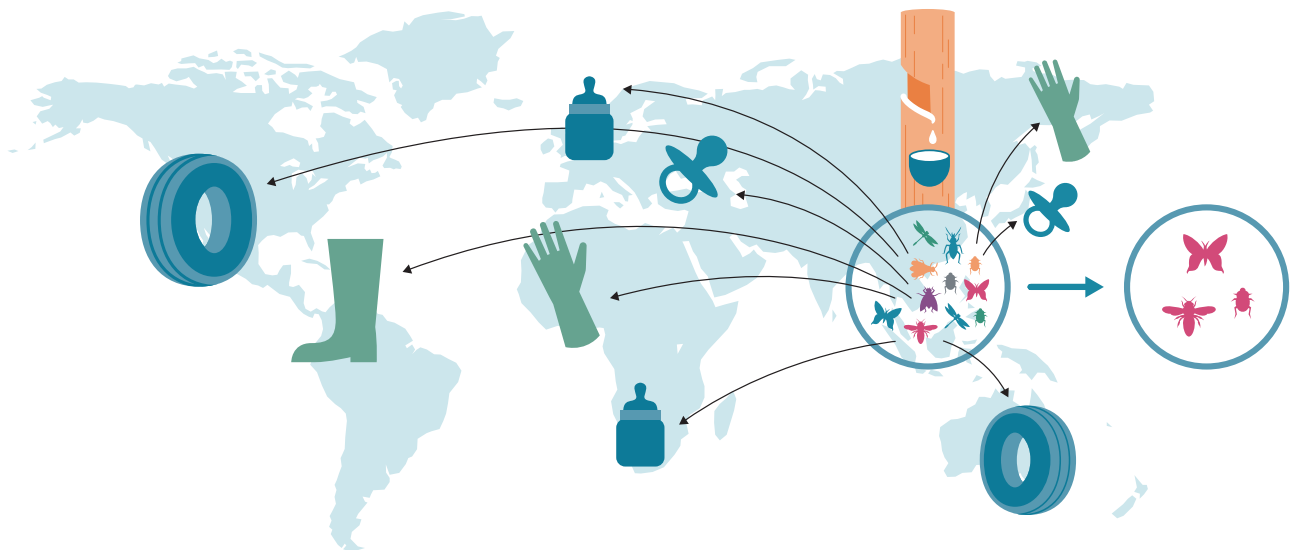
I 1972 udgav Rom-klubben rapporten "Grænser for Vækst" (Meadows et al., 2018). Rapporten fokuserede på forskellige scenarier for menneskets samspil med naturen og konsekvenserne heraf. De indbyrdes sammenhænge mellem befolkningstilvækst, fødevarerproduktion, industrialisering, udtømmning af naturgivne ressourcer og forurening blev undersøgt. Konklusionerne var, at hvis den nuværende udvikling fortsatte i alle fem faktorer, ville verden hurtigt ramme grænserne for stabil vækst.

Men også at det var muligt at ændre denne udvikling ved at skabe økologisk og økonomisk stabilitet.

I 2009 udviklede en gruppe internationale forskere konceptet "Planetære Grænser", som oplister ni områder, der hver især er afgørende for menneskets liv på Jorden (Steffen et al., 2015). I de Planetære Grænser indgår kvantificering af, hvor grænserne er for den menneskelige aktivitet og påvirkning af kloden uden at skabe uoverskuelige globale problemer. Konceptet om de planetære grænser blev opdateret i 2015, og er i dag ved at vinde indpas som referenceramme for diskussioner og beslutninger om menneskets samspil med naturen.



De planetære grænser foreslået af Johan Rockström fra Stockholm Resilience Centre er et udtryk for menneskets påvirkning af klodens klima og økosystemer.



Global efterspørgsel på rågummi har ført til omlægning af store skov- og landbrugsarealer i Sydøstasien med fald i biodiversiteten til følge.

MENNESKESKABTE KLIMAFORANDRINGER OG DRIVHUSGASSERNES EFFEKT

Et af de mest aktuelle og udfordrende spørgsmål vedrørende menneskets relation til naturen handler om vores påvirkning af klimaet. Der er i dag videnskabelig vished for, at klimaet ændrer sig hurtigere som følge af menneskeskabt udledning af drivhusgasser (Allen et al., 2018). Drivhusgasser (særligt CO₂ og metan) begrænser udstråling af langbølgede varmestråler grundet deres molekylestruktur. Den menneskeskabte udledning af drivhusgasser stammer primært fra afbrænding af fossile energikilder, men en del stammer også fra ændringer i landskabet grundet afskovning og dræning af vådområder samt optøning af jorde med permafrost som følge af temperaturstigninger.

I midten af 1800-tallet var Eunice N. Foote den første til at definere en drivhuseffekt i klodens klima ved at studere, hvordan solstråling interagerede med forskellige gasarter (McNeill, 2016). Senere viste Svante Arrhenius i 1896, at det menneskelige udslip af CO₂ er stort nok til at påvirke klimaet. Nyere forskning peger på, at det nuværende niveau af udledninger vil resultere i et klima med gennemsnitstemperaturer på 2 til 3 grader over de nuværende (Allen et al., 2018). Sådanne ændringer vil påvirke klimaet i retning af en øget forsurening af verdenshavene samt mere ekstremt vejr med regn, tørke og storme, som vil påvirke biodiversiteten og produktionen af fødevarer betydeligt.

GLOBALISERING OG LOKALT AFTRYK

Selvom globalisering ikke er et nyt fænomen, har ændringer i blandt andet transportteknologier gjort det muligt at efterspørge varer fra en langt større del af verden end tidligere. Ligeledes er afsætning af varer til globale markeder blevet en mulighed for eksempelvis småbønder, som indtil for få årtier siden var isoleret fra de globale markeder. For os som forbrugere betyder det adgang til eksempelvis frisk frugt hele året rundt, men vores forbrugsmønstre har også konsekvenser for arealanvendelsen i andre dele af verden. Efterspørgsel på avokadoer og mandler resulterer i omlægning af store landbrugsarealer i dele af USA. Omlægningen mistænkes for at medvirke til tørkedannelse og faldende frugtbarhed af landbrugsjorde (Buchanan et al., 2015).

På samme måde har nyere studier vist, at stigende priser på rågummi i starten af 2000'erne medførte, at store arealer landbrugsjord og skov i Sydøstasien blev omlagt til gummitræsplantager (Grogan et al., 2019). Sådanne omlægninger til eksportbaseret arealanvendelse kan have betydelige miljømæssige konsekvenser for de områder, hvor produktion omlægges, i form af fald i biodiversitet eller påvirkning af den lokale vandbalance. Samtidig kan satsninger på eksportafgrøder føre til store økonomiske usikkerheder for de lokale økonomier og fødevarer sikkerhed for lokale husholdninger.



Stigende vandstand giver store udfordringer med kystsikring.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Migration grundet klimaændringer og fattigdom
- Havstigninger og risiko for oversvømmelser
- Optøning af permafrostjorde og øget vegetationsdække
- Udslip af metangas
- Klimaforandringer og fødevarerproduktion
- Urbaniseringens konsekvenser for urbane såvel som rurale områder
- Byers betydning for ressourceefterspørgsel
- Global efterspørgsel på fødevarer
- Fremtidens arealanvendelse
- Økosystemtjenester

PLANLÆGNING OG FORVALTNING

Vi lever af og med naturen. Den amerikanske geografiprofessor Jared Diamond har i sine studier peget på sammenhængen mellem samfunds evne til at overleve, og hvordan de reagerer på politiske, sociale, økonomiske og miljømæssige ændringer (Diamond, 2005). Mennesker har altid bosat sig nær kyster og floder med adgang til fiskeri og transport. Men at bygge i nærhed af vand er ikke uproblematisk, fordi naturprocesser konstant påvirker det bebyggede land. Eksempelvis skaber erosion af kyster risiko for, at bygninger styrter i havet, storme og kraftige regnskyl skaber oversvømmelser, og jordskælv får bygninger og infrastruktur til at kollapse. Det moderne samfund må derfor stadig forholde sig til naturens kræfter, når vi planlægger de byer, vi lever i. Hvor skal vi eksempelvis kystsikre, hvilke konsekvenser har kystsikring, når man bevæger sig længere ned ad kysten? Hvordan bygger vi huse, der kan modstå rystelser fra jordskælv, og hvordan dimensionerer vi kloakering, der kan håndtere ekstreme regnskyl?

ERKENDELSE 1

Cases

OZONLAGET KAN ØDELÆGGES, MEN IND- SATSER HAR GJORT EN POSITIV FORSKEL

Ozonlaget er både enormt vigtigt for livet på Jorden, og rummer en inspirerende historie i forhold til menneskets påvirkning af naturen. Ozonlaget er i Jordens stratosfære 17 km oppe og består af en udveksling af oxygenmolekyler (O_2), der, når de rammes af solens stråler, brydes op og danner ozon (O_3), som igen nedbrydes af strålerne. Ozonlaget beskytter Jorden mod størstedelen af den ultraviolette stråling fra solen og er meget vigtigt for livet på Jorden, da den direkte stråling blandt andet kan give kræft og skade planterne (Jønch-Sørensen, 2018). I 1976 opdagede en række forskere, at ozonlaget blev nedbrudt som følge af kontakten med menneskeskabte CFC-gasser (chlor-fluor-carbon), der dengang blev brugt som kølemidler og i spraydåser (National Geographic Denmark, 2013). Op igennem 1980'erne kom der øget fokus på problemet med nedbrydningen af ozonlaget, og diskussionerne tog for alvor fart, da en række forskere, med J. Shakhin og J. Farman fra British Antarctic Survey i spidsen, tydeligt kunne konstatere et hul i ozonlaget over Antarktis (Farman et al., 1985).

Problemet med ozonlaget blev taget op i FN, og det førte til Montreal-Protokollen, der trådte i kraft i januar 1989. Protokollen forpligtede medlemslandene til betydelige reduktioner i udslip af gasser, der er skadelige for ozonlaget. Forskere fra NASA har nu registreret, at hullet i ozonlaget er blevet formindsket med omkring 20 % (Reiny, 2018). Det er, ifølge blandt andre FN's tidligere generalsekretær Kofi Annan, et eksempel på en succes for international miljøpolitik, der viser, at en samlet indsats fra blandt andet forskere og politikere kan virke (Globalnyt, 2017).



Opfindelsen af kunstgødning har været en revolution for vores fødevareproduktion.

KEMISK GENNEMBRUD MED BETYDNING FOR FØDEVAREPRODUKTIONEN

Kunstgødning spiller i dag en stor rolle i verdens fødevareproduktion. Kunstgødning er baseret på videnskabelige gennembrud fra starten af 1900-tallet, hvor den tyske kemiker Fritz Haber udviklede en proces, der er grundlaget for produktionen af kunstgødning. Det var en kemisk proces, hvor atmosfærisk nitrogen omdannes til ammoniak. En anden tysk kemiker, Carl Bosch, bidrog til den nye teknologi ved at opskalere Habers proces til industriel produktion. Metoden, som vi i dag bruger til fremstilling af kunstgødning, kaldes for Haber Bosch-processen (Kragh, 2014).

Haber Bosch-processen er et gennembrud inden for kemien, som har fået stor betydning ift. fødevareforsyningen. Det globale forbrug af kunstgødning beregnes til at være tæt på 200 millioner tons om året – med en stigning på omkring 20 % de sidste ti år (FAO, 2017). Men teknologien er også kontroversiel, blandt andet fordi menneskers brug af kunstgødning påvirker omgivelserne.



Gamle malerier viser at Nordeuropas floder ofte frøs til om vinteren i 1600-tallet. (Thomas Heeremans, 1641-1691)

FNS VERDENSMÅL – FRA VIDEN TIL POLITIK OG ØKONOMI

Vores verden har nu et fælles sprog og en fælles referenceramme til at diskutere og prioritere verdens bæredygtige udvikling. Det er de såkaldte Verdensmål, eller på engelsk Sustainable Development Goals (SDG) (Mellemfolkeligt Samvirke, 2018). Tilsammen er de civilsamfundets og den politiske verdens svar på, hvordan der kan sikres et balanceret samspil mellem mennesker og natur. Verdensmålene blev vedtaget på FN's generalforsamling i september 2015, og består af 17 forskellige mål og 169 delmål samlet i dokumentet "Transforming Our World". Verdensmålene udgør en samlet målsætning for de globale problemer, der skal være løst inden år 2030. Verdensmålene tager over efter de otte såkaldte Millennium Development Goals, der blev opsat ved årtusindskiftet, og som blandt andet rummede mål for halvering af sult og hungersnød samt reduktion af dødelighed blandt mødre og børn (Sachs, 2012). De nye Verdensmål udmærker sig, i modsætning til Millennium-målene, ved at være universelle. Det vil sige, at de gælder for både udviklingslande og industrialiserede lande. Desuden er Verdensmålene 'transformative', fordi de betoner vigtigheden af grundlæggende strukturelle ændringer i samfundet fremfor blot justeringer af det eksisterende. Endelig er de baseret på et princip om 'leave no-one behind'. Det betyder, at det ikke er nok, at blot nogle lande lever op til målene. Alle landene er forpligtede til at sørge for, at alle kommer med. Verdensmålene er baseret på videnskabelige erkendelser og anbefalinger samt på en proces med høring af mere end 8 millioner borgere i lande over hele verden.

DEN LILLE ISTID

Et meget konkret eksempel på de nære sammenhænge mellem mennesker og natur er fra den såkaldte 'lille istid', som fandt sted i perioden cirka 1550-1800, hvor der, særligt i Europa og Nordamerika, i en række år var markant koldere klima. I 2008 fremhævede de to forskere Richard Nevle og Dennis Bird, at der kan have været en tæt sammenhæng mellem europæernes udryddelse af de oprindelige befolkninger i Nord- og Sydamerika, via drab og med smitte via sygdomme, og så den lille istid. Med europæernes ankomst til Nord- og Sydamerika døde en stor del af de mennesker, der havde dyrket jorden eller holdt kvæg, der græssede på den. Det førte til store ændringer i landskabet: Store arealer sprang i skov. Det trak en meget stor mængde CO₂ ud af atmosfæren, som igen førte til fald i temperaturen. Denne forskning viser altså nogle sammenhænge mellem menneskets aktiviteter i en del af verden, og så ændringer i klimaet i en anden del af verden.

ERKENDELSE 1

Vigtige personer for videnskaben

Eunice N. Foote (1819-1888)

Amerikansk forsker i atmosfærisk kemi og ligestillingsfortaler. Gennem studier af solstrålingsreaktioner i forskellige gasformer konstaterede hun, at ændringer af CO₂ i atmosfæren ville kunne ændre Jordens temperatur. Det gjorde hun i en videnskabelig artikel med titlen "On the Heat in the Sun's Ray" fra 1856. Således har Footes opdagelser skabt grundlaget for senere forskning og teoretisering om sammenhæng mellem udslip af CO₂ og klimaændringer. Footes arbejde blev glemt, men er inden for de senere år blevet genbesøgt af forskere, der samtidig anerkender hendes arbejde for at være det første, der påpegede disse sammenhænge.

Jared Diamond (1937-)

Amerikansk professor i geografi på University of California, Los Angeles (UCLA) og er blandt andet forfatter til bogen "Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed" (2005), som undersøger en række tidligere samfund i et forsøg på at forstå, hvorfor de enten kollapsede eller overlevede og udviklede sig. Diamond argumenterer for, at en af de vigtigste årsager til tidligere samfunds kollaps skal findes i tilgangen til og brugen af økologien. Diamond rejser spørgsmålet om, hvorfor nogle samfund tager katastrofale beslutninger, der blandt andet indebærer, at store virksomheder får lov til at påvirke miljøet i en skadelig retning.

Fritz Haber (1868-1934)

Tysk kemiker, der i 1918 modtog Nobelprisen i kemi. Haber er i dag mest kendt for sit bidrag til at udvikle Haber Bosch-processen, der er grundlaget for produktionen af kunstgødning. Haber er en kontroversiel person, fordi hans opfindelser også kan bruges i krigssammenhænge,



Jared Diamond

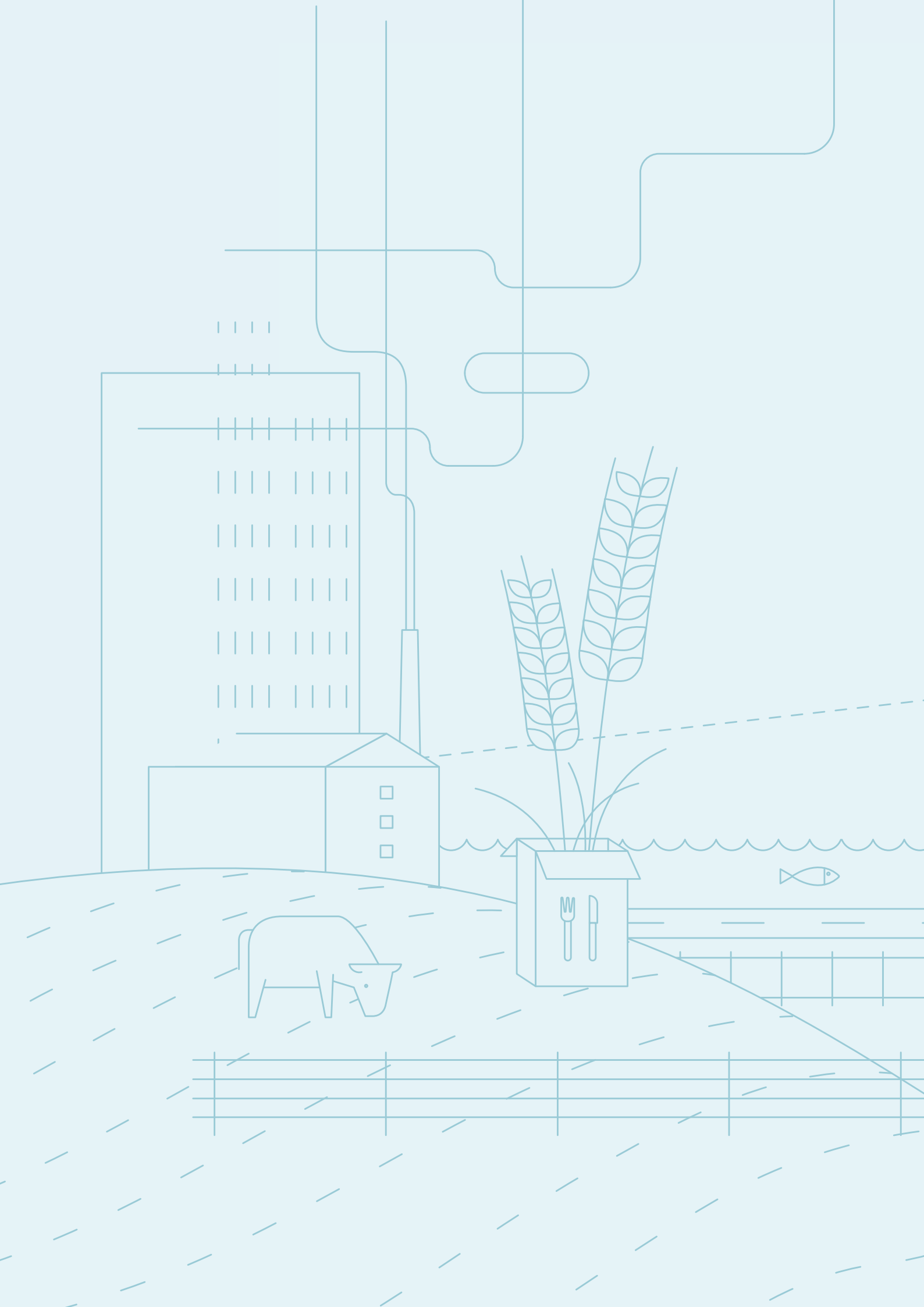
og han bidrog aktivt til udviklingen af kemiske våben under 1. verdenskrig.

Walter Christaller (1893-1969)

Tysk geograf, der udviklede en teori kaldet Central Place, som dannede grundlag for forståelsen af, at byers lokalisering kunne forstås ud fra et funktionssystem. Baseret på simpel matematisk modellering argumenterede Christaller for, at byers økonomiske aktiviteter var afhængige af, hvor de var placeret i et sekskantet mønster. Jo mere central placering, desto flere centrale funktioner ville de indeholde. Eksempelvis er adgangen til en købmand et hverdagsbehov, hvorfor købmænd kan findes i stort set alle byer, sygehuse placeres i de centrale byer – byer, der er tilgængelige for det største opland. Central Place-teorien er en planlægnings teori udviklet i et homogent landskab. Landskaber er i virkeligheden heterogene, og derfor er der langt fra Christallers teoretiske tanker om byplanlægning og virkelighedens byplanlægning, men alligevel har Christallers tanker om at sammentænke centralitet og funktioner spillet en stor rolle i den strategiske by- og regionalplanlægning.

LITTERATUR

- Allen, M. R., O. P. Dube og W. Solecki. 2018. 'IPCC 2018 Report: Global Warming of 1.5 oC.' i *Global Warming of 1,5 C Chapter I*.
- Buchanan, L., J. Keller og H. Park. 2015. Your Contribution to the California Drought: New York Times, hentet 20/02/20, <https://www.nytimes.com/interactive/2015/05/21/us/your-contribution-to-the-california-drought.html>
- Diamond, J. 2005. *Collapse: How States Choose to Fail or Succeed*. London: Penguin Group.
- FAO. 2017. World fertilizer trends and outlook to 2020: Food and Agriculture Organization of the United Nations, hentet 24/02/20, <http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf>.
- Farman, J. C., B. G. Gardiner og J. D. Shanklin. 1985. 'Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction', *Nature*. (315): 207-210.
- Globalnyt. 2017. Succeshistorie for det globale samarbejde fylder rundt: Globalnyt, 2017. på <https://globalnyt.dk/content/succeshistorie-det-globale-samarbejde-fylder-rundt>.
- Grogan, K. et al. 2019. 'Unravelling the link between global rubber price and tropical deforestation in Cambodia', *Nature Plants* 5 (1): 47-53.
- Jønch-Sørensen, H. 2018. 'Ozonhul.' Danmarks Meteorologiske Institut, hentet 24/02/20, <https://www.dmi.dk/vejr-og-atmosfare/temaforaside-ozonlaget-og-uv-straling/ozonhul/>
- Kragh, H. 2014. 'Store opdagelser: Fikseringen af luftens kvælstof.' Videnskab.dk, hentet 19/02/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-fikseringen-af-luftens-kvaelstof>.
- McNeill, L. 2016. 'This Lady Scientist Defined the Greenhouse Effect But Didn't Get the Credit, Because Sexism.' *Smithsonian Magazine*, hentet 19/02/20, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/lady-scientist-helped-revolutionize-climate-science-didnt-get-credit-180961291/>
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers og W. W. Behrens 2015. 'The limits to growth', i *Green Planet Blues: Critical Perspectives on Global Environmental Politics*, K. Conca og G. D. Dabelko (red.), 25-29, 5. udg. New York, Routledge.
- Mellempøkeligt Samvirke. 2019. 'Sæt verdensmålene på skoleskemaet' FN's Verdensmål, hentet 19/02/20, <https://www.verdensmaalene.dk/>.
- National Geographic Denmark. 2013. Ozonaftale? har sikret færre CFC-gasser: National Geographic, 2013, hentet 19/02/20, <https://natgeo.dk/natur/klimaforandringer/ozonaftale-har-sikret-faerre-cfc-gasser>.
- Nevle, R. J. og D. K. Bird. 2008. 'Effects of syn-pandemic fire reduction and reforestation in the tropical Americas on atmospheric CO₂ during European conquest', *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 264 (1-2): 25-38.
- Nobel Media AB. 2019. 'MLA style: Svante Arrhenius – Biographical.' NobelPrize.org, hentet 24/02/20, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1903/arrhenius/biographical/>
- Sachs, J. D. 2012. 'From millennium development goals to sustainable development goals', *The Lancet*, 379 (9832), 2206–2211.
- Reiny, Samson. 2018. 'NASA Study: First Direct Proof of Ozone Hole Recovery Due to Chemicals Ban.' National Aeronautics and Space Administration, hentet 19/02/20, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasa-study-first-direct-proof-of-ozone-hole-recovery-due-to-chemicals-ban>
- Steffen, W. m.fl. 2015. 'Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet', *Science*, 347 (6223): 1259855.





ERKENDELSE 2

Jordens overflade og klima udgør et dynamisk system

Jordens overflade er under konstant forandring. Nogle af forandringerne opleves, når de sker, mens andre sker over lang tid og først erkendes, når man gennem indsamling af data og via videnskabeligt arbejde kan måle forandringen.

De landskabsdannende processer omfatter is og gletsjere, hævnning og sænkning af land, bølgers påvirkning af kystdannelse, vind, der skaber klitter og ørkenspredning, regn, vandløb og floder samt geologiske processer, der omfatter kontinentalpladers forskydninger og vulkansk aktivitet. Dertil kommer organiske processer, der danner og former muld, jord, kul, olie, gas og sedimentære bjergarter.

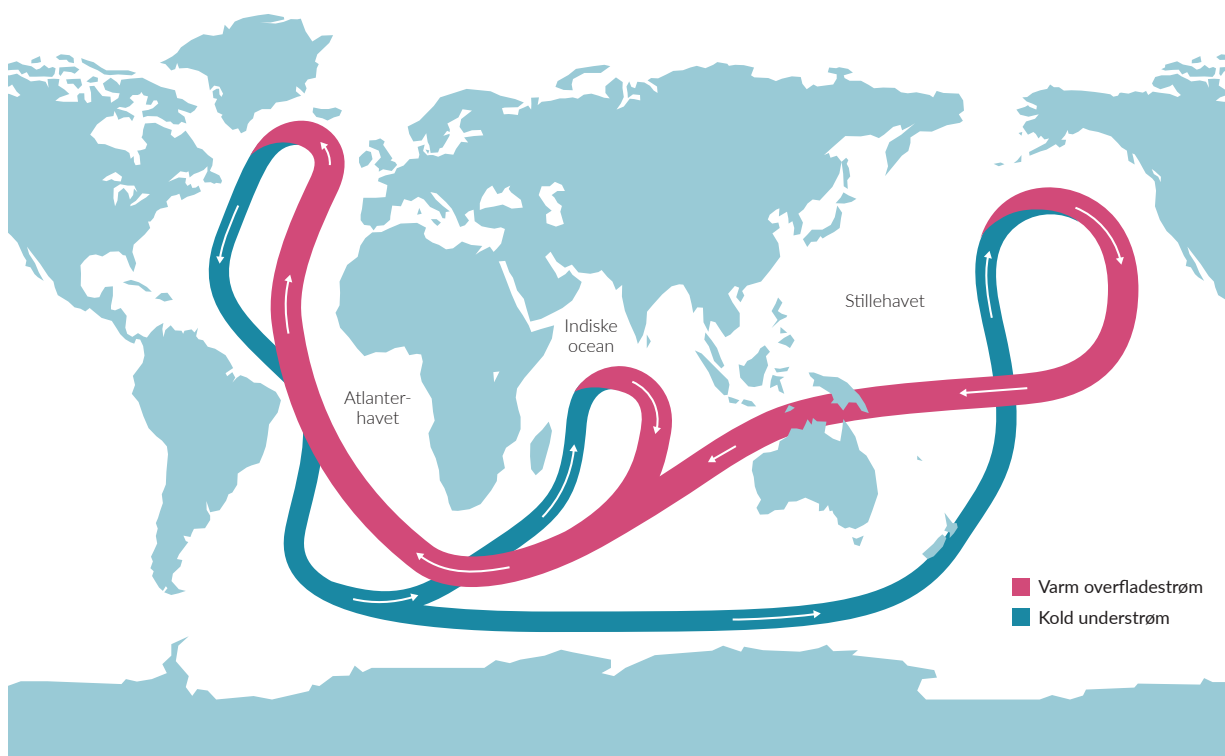
Planter, dyr, svampe og bakterier har også indflydelse på Jordens overflade, da de bidrager med at danne og omdanne organisk materiale i jordoverfladen. Planter kan eksempelvis holde på næringsstoffer og modvirke erosion. Det samme gør dyr som eksempelvis springhaler og myrer, når de mere eller mindre skjult arbejder overalt med at forme deres omgivelser – godt hjulpet af bakterier og svampe.

Mennesket påvirker også Jorden på linje med naturens kræfter. For eksempel flytter mennesket nu mere jord om året end kloden selv, og hvis man tager alt det beton, der er produceret i verden, så dækker det hele planeten i et lag på to millimeter (Lewis et al., 2018).

Jordens klimasystem er dynamisk og under stadig forandring. Fordelt over Jorden er der klimazoner og plantebælter, hvilket Alexander von Humboldt og senere klimatologen Wladimir Köppen har beskrevet og sat i system ("Humboldts legacy", 2019). Klimazonerne fremkommer af den ubalance, der skabes, fordi solens opvarmning er størst ved ækvator og mindst ved polerne. Det resulterer i kold og varm luft, der påvirker havstrømme, vinde og vejrsystemer. Selv om variationerne i klimasystemet er velkendte, har de seneste generationers udslip af CO₂ påvirket klimaet så meget, at forskningen nu klart viser, at der er tale om menneskeskabte klimaændringer. En del af denne forskning er samlet og sat i system af organisationen IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), som i 2007 blev tildelt Nobels fredspris.

ERKENDELSE 2

Kernefaglige nedslagspunkter

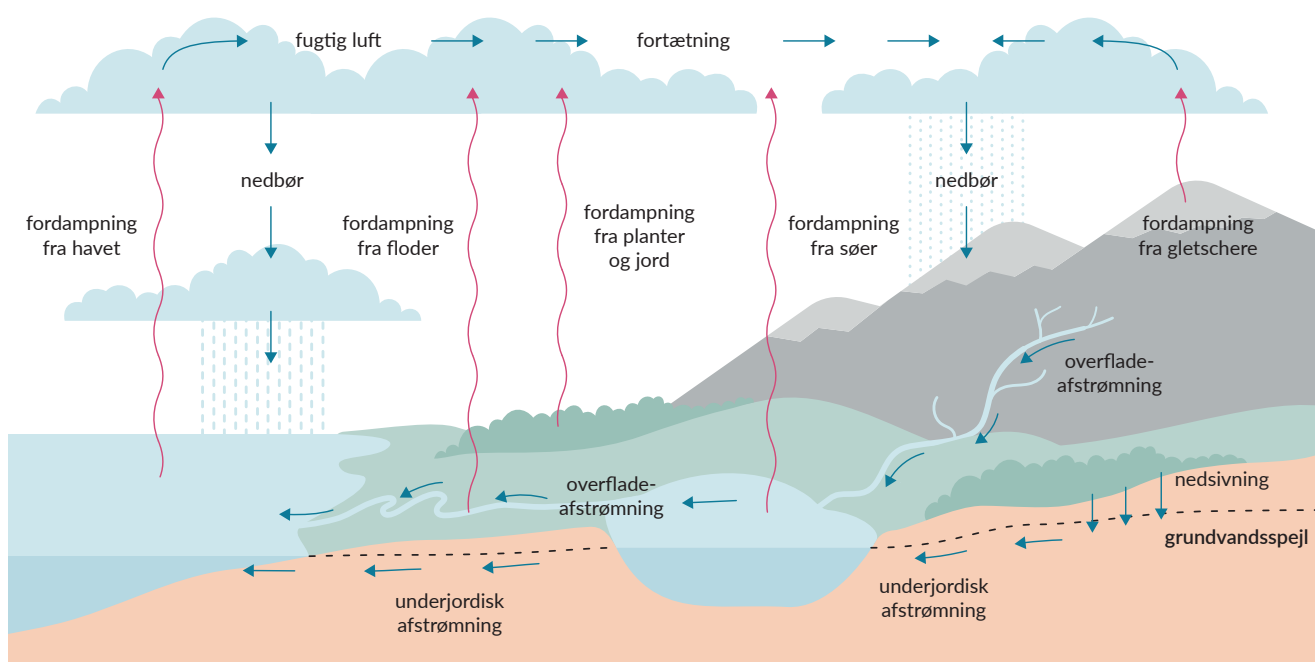


De globale havstrømme har stor betydning for Jordens klima.

GLOBALLE HAVSTRØMME

I havene findes dominerende havstrømme, der har stor betydning for Jordens klima. Den termohaline cirkulation er havstrømme, der udgør et globalt kredsløb. Kredsløbet drives af forskelle i saltindhold, temperatur samt vind og corioliskraften, der skabes af Jordens rotation. Golfstrømmen og Den Nordatlantiske Strøm er dele af det termohaline kredsløb og påvirker det vesteuropæiske klima. Golfstrømmens bevægelse mod nord resulterer i varmeafgivelse og fordampning i Nordvesteuropa. Fordampningen og afkølingen øger densiteten af havvandet. Når vandet når området sydøst for Grønland,

er det blevet så koldt, at det synker til bunds i det, man betegner som "Grønlandspumpen". Et tilsvarende system findes ved Antarktis. Oceanernes dybvand dannes i disse områder. Dybvandsdannelsen er en af de drivende kræfter for de globale havstrømme, der fordeler varme fra ækvatoregnene til polerne. Hvis disse havstrømme ændres, påvirker det omgående lokale klimaforhold og dermed livsbetingelser for dyr og planter. Klimaforandringer kan påvirke havstrømmene, og det kan have stor effekt på det forholdsvis varme vejr i Nordeuropa, hvis Golfstrømmen svækkes (Caesar et al., 2018).

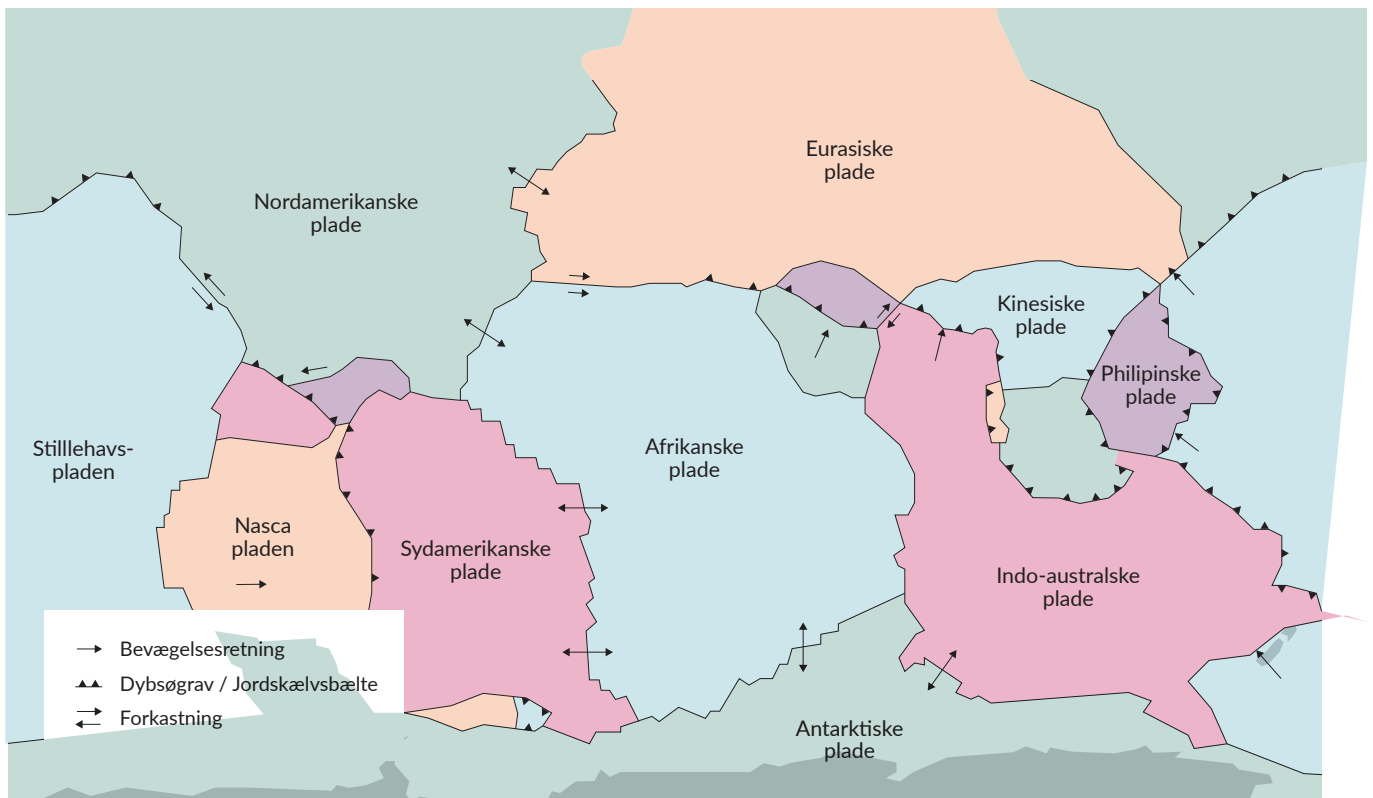


Vandets kredsløb er essentielt for livsbetingelserne på Jorden.

VANDETS KREDSLØB

Vand er grundlaget for liv og indgår i et kredsløb, der er essentielt for at forstå livsbetingelserne på Jorden. Vandets kredsløb består af nedbør, nedsivning i jorden, afstrømning til vandløb, søer eller hav og fordampning til atmosfæren, for på et senere tidspunkt at fortættes og falde mod jordoverfladen igen som nedbør. Nedbør, afstrømning og fordampning varierer fra måned til måned og fra år til år. Ud over temperaturen har jordbundstyper og vegetationsdække betydning for fordampning. Grundvand dannes ved, at regnvand på grund af tyng-

dekraften siver ned igennem jordlagene på dets vej mod grundvandsspejlet. Vand vandrer hurtigere igennem sandede jorde sammenlignet med lerede jorde. Det skyldes hovedsageligt, at porerne i grove materialer er større end i finkornede, hvilket gør, at vandet tilbageholdes mindre i sandede jorde. Menneskeskabte overfladebelægninger som asfalt og beton betyder, at overfladeafstrømningen mod havet efter et regnskyl vil stige og dermed reducere den mængde vand, der siver ned mod grundvandet. Vandets kvalitet afgøres af omgivelsernes kemiske, fysiske og biologiske egenskaber samt menneskelig påvirkning.



Vandets kredsløb er essentielt for livsbetingelserne på Jorden.

PLADETEKTONIK

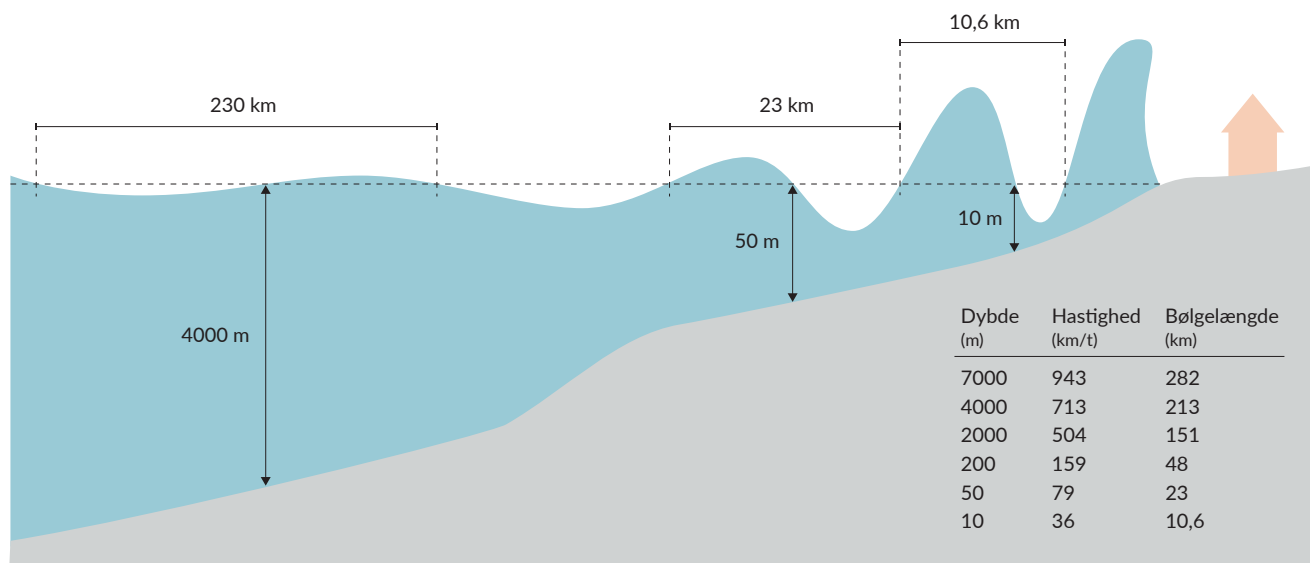
Med den viden, vi har i dag, er Jordens historie fastlagt til at være omkring 4,54 milliarder år gammel (Kragh, 2014). Jordens yderste lag er omkring 100 km tykt og kaldes lithosfæren. Den består af tektoniske plader. De bevæger sig imod, fra, nedenunder og langs hinanden. Disse bevægelser kalder vi kontinentaldrift. Hvor pladerne møder hinanden skabes bjergkæder, vulkaner og jordskælv. Tektoniske plader er stive og flyder oven på den varme og mere plastiske astenosfære. Pladerne bevæger sig langsomt (mm til cm/år). Flere gange i Jordens historie har kontinenter været samlet i superkontinenter. Et eksempel er Gondwana, der eksisterede fra 550-180 millioner år siden, og som sidenhen blev brudt op i de kontinenter, vi kender i dag (Jokat et al., 2003). Beviser på kontinentaldrift finder vi blandt andet i fossiler, hvor ensartede plante- og dyrefossiler er fundet på forskellige kontinenter. Andre beviser på kontinentaldrift er, at nogle af de sediment, der findes i de højeste bjergkæder, er marint aflejrede. Fund af tænder fra hajer i sedimentære bjergarter beviser, at tidligere havbund er blevet presset opad, således at det i dag udgør bjergkæder (Frisch et al., 2011).

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Vegetationsdækkets påvirkning af næringsindhold i jorde
- Ændret arealanvendelse og lokale klimaforhold
- Stigende havtemperaturers betydning for livet i havet og klimaet
- Jordens kerne
- Dannelse af bjergarter
- Istidens betydning for landskabets dannelse
- Ørkenspredning
- Geologisk kortlægning af undergrunden og dens mineraler

ERKENDELSE 2

Cases



Rystelser fra jordskælv kan føre til tsunamier.

JORDSKÆLVSBESKYTTELSE OG TSUNAMI-VARSLINGER

I takt med videnskabens udvikling har vi fået bedre muligheder for at forstå fænomener som jordskælv og tsunamier – og i nogen grad begrænse deres skadelige virkninger. Pladetektonisk aktivitet kan have store konsekvenser. Gennem historien er der mange eksempler på, at jordskælv har forvoldt stor skade på mennesker og samfund, størst i verdens fattige lande. Specielt i velstillede lande er det dog mange steder lykkedes at udvikle bygninger, der er bedre til at modstå de rystelser, som jordskælv bringer. Japan er et godt eksempel på et tæt beboet landområde, der ligger i en aktiv jordskælvszone, hvor bygningskonstruktioner reducerer materielle og menneskelige skader ved jordskælvsaktivitet. Jordskælv under vand kan frembringe kraftige bølger,

såkaldte tsunamier. Den 26. december 2004 skabte et jordskælv i Det Indiske Ocean en voldsom og meget ødelæggende tsunami. Den ramte kyststrækninger i Det Indiske Ocean med bølger på op til 10 meters højde. Denne tsunami alene kostede op mod 230.000 mennesker livet langs de asiatiske kyster og rakte helt til Østafrikas kyster. Værst gik det ud over Indonesien, hvor det anslås, at omkring 170.000 mistede livet på grund af bølgen og de ødelæggelser, der fulgte. Erfaringer fra blandt andet denne tsunami, kombineret med vores forståelse af pladetektonikken, har bidraget til at udvikle et varslingsystem, der går på tværs af lande. Det giver bedre mulighed for at varsle de områder, der kan blive berørt ved fremtidige tsunamier og dermed hjælpe til at bringe folk i sikkerhed, inden de ødelæggende bølger rammer kystområderne (Folger, 2018).



Plastaffald i verdenshavene er et stort problem for lokale øko-systemer. Viden om havstrømmene kan vise os, hvor problemet er størst.

VIDEN OM HAVSTRØMME VISER VEJEN TIL PLASTAFFALDET I HAVENE

I det moderne samfund er plastik et ofte anvendt materiale. Desværre viser historien, at vi ikke er gode til at indsamle og genbruge plastik i samme omfang, som vi bruger det. Megen af vores plastik finder vej til verdenshavene gennem floder og kloakker. Havstrømme fører plastikaffald med sig. "The Great Pacific Garbage Patch" er eksempelvis et område mellem Californien og Hawaii, som har en relativ høj koncentration af plastaffald, der har samlet sig i området, fordi havstrømmene har taget materiale med sig fra store dele af Stillehavets kyster (The Ocean Cleanup, 2019). Modsat hvad navnet antyder, er der hverken tale om en ø af affald eller koncentrationer, der er så store, at de kan ses på satellitbil-

leder. Det skyldes dels, at plastikken er bredt ud over et stort areal, dels at en del af plastikken optræder som mikroplast, det vil sige plastpartikler i den øverste del af vandsøjlen. Plastikkoncentrationen er dog så stor, at der de seneste år har været forsøgt igangsat initiativer, hvor man med skibe skal forsøge at indsamle de anslåede 80.000 tons plastik fordelt på et 1.600.000 km² stort havareal. The Great Pacific Garbage Patch tjener som et håndgribeligt eksempel på, at havstrømme bevæger sig over store afstande og med en styrke, der kan flytte blandt andet plastikaffald fra eksempelvis Asien mod det nordamerikanske kontinent. The Great Pacific Garbage Patch er samtidig et eksempel på, at et stort kendskab til havstrømme kan hjælpe os til at lede efter forurening de rigtige steder.



De klimamæssige eftervirkninger fra nedslaget efter meteoren Chicxulub førte til udryddelsen af dinosaurerne.

CHICXULUB-KRATERET: PLUDELIG KLIMA-ÆNDRING UDRYDDEDE DINOSAURERNE

Forskning i det dynamiske system, som Jordens overflade og klima udgør, har ført til ny viden om dinosaurernes uddøen – en begivenhed, som har været genstand for megen debat og mytedannelse. Videnskaben har udviklet mange teorier om, hvorfor og hvordan det skete. I dag er der ved at være videnskabelig konsensus om den forklaring, at et meteornedslag på Yucatan-halvøen i Mexico for cirka 66 millioner år siden har været afgørende (Schulte et al., 2010). På Yucatan opdagede forskere i 1991 et knap 200 km bredt meteorkrater. Meteoren, der havde en diameter på mellem 11 og 80 kilometer, fik navnet Chicxulub efter en lokal landsby. Det har krævet forskere med kendskab til blandt andet oceanografi, kemi, geologi, krater-fysik og modellering at få etableret det samlede scenarie, der ser nogenlunde sådan her ud:

Meteornedslaget var så kraftigt, at klippegrunden smeltede, og varmebølgen antændte alle planter og forbrændte dyr i en meget stor omkreds. Derefter skyllede en dødbringende tsunami på op til 300 meters højde afsted, efterfulgt af jordskælv kraftigere end nogensinde registreret af mennesker. Og så spredte et vindstød sig med en hastighed på næsten 1.000 kilometer i timen, der sendte partikler ud i atmosfæren og fik et halvmørke

til at sprede sig på hele planeten. En lang række følgevirkninger forstyrrede fotosyntesen, forårsagede syreholdig mudderregn, antændte skovbrande, der frigjorde giftstoffer med skadelig påvirkning af ozonlaget, for ikke at tale om de enorme mængder CO₂, svovlholdige forbindelser og metan, der blev udledt ved selve nedslaget.

Det var ikke kun størrelsen og kraften på meteoren, men også det helt særlige sted, den landede, der førte til så omfattende ødelæggelser og sænkede Jordens temperatur med op til 10 grader i flere årtier. Det førte til, at samlet set omkring 80 % af Jordens liv uddøde, herunder dinosaurerne, der ikke kunne klare sig under de nye betingelser. Flere fuglearter overlevede dog. De er i dag dinosaurernes nærmeste nulevende slægtninge (Padian et al., 1998).

På Stevns Klint, der er optaget på UNESCO's liste over verdensarv, findes der håndgribelige beviser, der støtter op om teorien om det store meteornedslag. På klinten kan man se et tyndt, mørkt lag af såkaldt fiskeler, der er cirka 66 millioner år gammelt. Lerlaget sættes direkte i forbindelse med det store meteornedslag, da det har et tilsvarende højt indhold af metallet iridium, som er sjældent på Jordens overflade, men forekommer i større mængder i visse meteoritter og i forbindelse med nogle typer af vulkanudbrud (Alvarez et al., 1980).

ERKENDELSE 2

Vigtige personer for videnskaben

Inge Lehmann (1888-1993)

Dansk seismolog. Lehmann er i dag kendt for, som den første, at have påvist, at Jordens kerne ikke bare er flydende, men at den har en fast kerne. Hun blev sent i sin karriere en meget anerkendt kapacitet på sit felt og modtog flere internationale priser.

Alfred L. Wegener (1880-1930)

Tysk geofysiker, meteorolog og polarforsker. Wegener er i dag bedst kendt for sin, dengang stærkt kontroversielle, teori om, at kontinentalpladerne bevæger sig. Med sine studier af fossiler og mineraler fra særligt den østlige del af Sydamerika og vestlige del af Afrika udviklede Wegener en teori om kontinenternes drift. Teorien udkom som bogen "Kontinenternes og Oceanernes Opståen" i 1912, hvorved han lagde grunden til nutidens studier af pladetektonikken, omend det tog en del årtier, før teorien blev anerkendt. Det var også Wegener, der navngav superkontinentet Pangea, der for omkring 335 millioner år siden bestod af alle de nuværende kontinenter, indtil det brød op for omkring 175 millioner år siden.

Alexander von Humboldt (1769-1859)

Preussisk videnskabsmand og opdagelsesrejsende, som efter en rejse i Sydamerika i 1799-1804 udgav en lang række bøger og spillede en nøglerolle i samtidens videnskabelige miljø. Humboldt har bidraget til videnskaben med opdagelser af blandt andet Jordens klimabælter og isotermene. Hans største bidrag er dog hans metodiske tilgang til at se alt i naturen i sammenhænge, og derigennem grundlagde han blandt andet det, vi i dag kalder plantegeografi og økologi.



Inge Lehmann

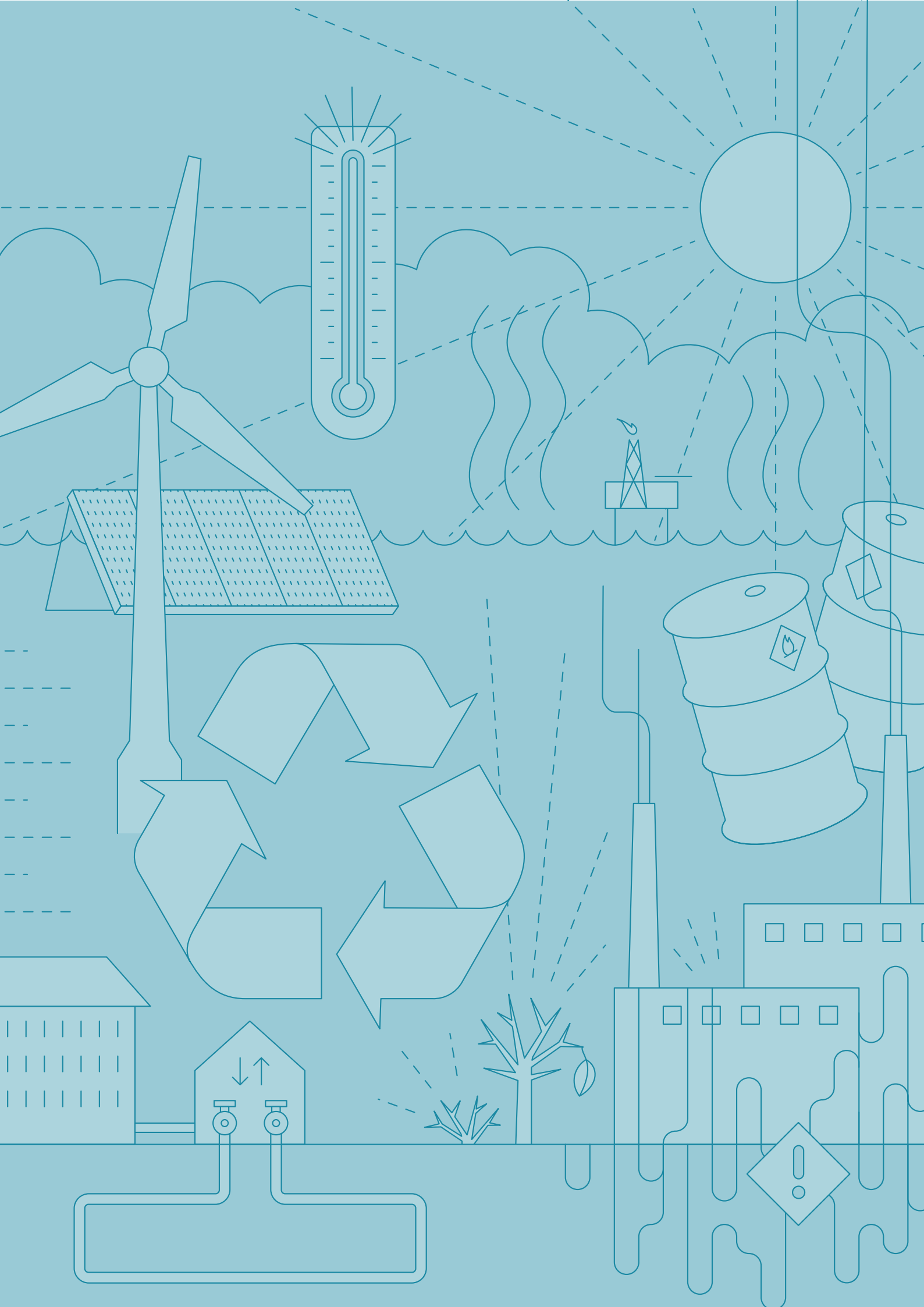
Niels Steensen (1638-1686)

Også kendt som Nicolaus Steno

Dansk videnskabsmand, der virkede inden for både anatomi og geologi, og som i sidste del af sit liv var katolsk biskop. Steensen er i dag især kendt som en af grundlæggerne af geologien, hvilket han gjorde med udgangspunkt i blandt andet fossile hjætænder fundet i bjergene i Norditalien. Derfra udviklede han en forståelse af, hvordan landskaber bliver skabt over lang tid og udviklede "superpositionsprincippet", der slår fast, at de geologiske formationer (jordlag) har forskellige aldre (de nedre er ældre end de øvre). Princippet bruges stadig i geologien i dag.

LITTERATUR

- Alvarez, L. W., W. Alvarez, F. Asaro og H. V. Michel. 1980. 'Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction', *Science* 208 (448): 1095-1108.
- Caesar, L., S. Sahmstorf, A. Robinson, G. Feulner og V. Saba. 2018. 'Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation', *Nature*.(556): 191-196.
- Folger, T. 2018. Will Indonesia Be Ready for the Next Tsunami?. *National Geographic*, hentet 20/02/20, <https://www.nationalgeographic.com/news/2018/9/141226-tsunami-indonesia-catastrophe-banda-aceh-warning-science/>
- Frisch, W., M. Meschede og R. Blakey. 2011. Plate tectonics: *Continental drift and mountain building*, *Plate Tectonics: Continental Drift and Mountain Building*. Springer: Berlin, Heidelberg
- 'Humboldt's legacy'. 2019. *Nature Ecology and Evolution*, 3 (9): 1265–1266.
- Jokat, W., T. Boebel, M. König og U. Meyer. 2003. 'Timing and geometry of early Gondwana breakup', *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 108 (B9): 2428.
- Kragh, Helge. 2014. Store opdagelser: Jordens alder: Videnskab.dk, hentet 20/02/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-jordens-alder>.
- Lewis, S. L. og M. A. Maslin. 2018. 'Welcome to the anthropocene', *IPPR Progressive Review*.
- Padian, K. og L. M. Chiappe. 1998. 'The origin and early evolution of birds', *Biological Reviews* 73 (1): 1-42.
- Schulte, P. m.fl. 2010. 'The chicxulub asteroid impact and mass extinction at the cretaceous-paleogene boundary.' *Science* 327 (5970): 1214-1218.
- The Nobel Prize. 2019. 'The Nobel Peace Prize 2007.' The Nobel Prize, hentet 20/02/20, <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/summary/>
- The Ocean Cleanup. 2019. 'THE GREAT PACIFIC GARBAGE PATCH.' The Ocean Cleanup, hentet 20/02/20, <https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/>.



ERKENDELSE 3

Jordens ressourcer er konstante og indgår i et kredsløb

Vi har inden for de sidste årtier erkendt, at vores brug af fossile ressourcer som kul, olie og gas i energiproduktion også medfører stærkt stigende mængder af drivhusgasser, der ender i atmosfæren og herved ændrer grundlaget for alt liv på jorden. Det gælder mennesker, dyr, planter, svampe, alger, bakterier og arke-bakterier. Ændringerne af det klimatiske betingede livsgrundlag går så hurtigt, at mange dyr og planter ikke kan nå at tilpasse sig. Evolutionen kan ikke følge med hastigheden i ændringerne. Denne samfundsmæssigt væsentlige erkendelse afledes af en lang række naturvidenskabelige undersøgelser, der viser, at Jorden fungerer som ét system; et system, hvor fysiske, kemiske, biologiske og menneskelige processer tilsammen påvirker og danner systemets tilstand. Erkendelsen er, at det er interaktionen mellem disse forskellige typer processer, der danner verden, som vi kender den.

På basis af denne erkendelse er der genereret omfattende ny naturvidenskabelig viden sat i system i

den nye tværdisciplinære videnskabelige disciplin, Earth System Science. Ud fra denne integrerede analyse er der udviklet en bred vifte af 'grønne' teknologier, der skal mitigere, forsinke, formindske og forhindre klimaforandringer. Et skift til nye måder at bruge Jordens ressourcer kræver ændret adfærd og samtænkning af naturvidenskabelige og samfundsvidenskabelige metoder og viden.

Med viden- og teknologibaserede virksomheder står Danmark stærkt og kan bidrage betydeligt til udvikling inden for ressource- og klimaområdet. Det kan f.eks. være udvikling af nye produkter, der bidrager til øget cirkularitet i ressourceanvendelsen.

Andre eksempler på, at vores brug af teknologier og forbrug af ressourcer påvirker Jorden på globalt plan, er ozonhullet, kemisk forurening, der rækker Jorden rundt, og mikroplastik. Dokumentationen af den antropocæne acceleration er omfattende og spænder vidt fra socio-økonomiske trends til Earth System trends.

ERKENDELSE 3

Kernefaglige nedslagspunkter

UNDERSØGELSER, DER FØRTE TIL ERKENDELSE AF KLIMAFORANDRINGEN

Det arktiske område kom tidligt i centrum for klima-, is-, hav- og miljøstudier. Studier af, hvordan CO₂-mængden i atmosfæren har ændret sig over tid har vist, at historisk tilstedeværelse af CO₂ kan måles ved at undersøge de forskellige tidslag i en borekerne gennem Grønlands indlandsis. Herved har forskere påvist store ændringer gennem tiden samtidig med, at det kunne måles, at væksten i CO₂, specielt siden starten af den fossilt-baserede industrialisering, har været uset stor (Augustin et al., 2004; Pedro et al., 2019; Lamarche-Gagnon et al., 2019). Målinger af den grønlandske indlandsis og polarkappen har vist stor nedgang i udbredelse og tykkelse (Lamarche-Gagnon et al., 2019, Hohnen, 2019). Havforskning har påvist stigende temperaturer i verdenshavene, fulgt af forsurening og ændring af havets strømme og biologi med nedsat planktonmængde og mindre areal med tangskove (Richardson et al., 2006; Cael et al., 2017, Raven et al., 2005; The Economist, 2019). Målinger af klodens kapacitet til at binde CO₂ har påvist nedgang i både havenes og skovenes evne til at afbalancere de stigende mængder af CO₂. Forskning har vist, at klimaforandringerne har ført til global opvarmning, omend ikke



Iskerneboring ved Combatant Col, British Columbia, Canada.

ensartet og entydigt kun til højere temperaturer (Allen et al., 2018). Klimaændringerne er gået mod vildere vejr: varmere perioder, men også koldere; flere og stærkere storme; større problemer med tørke samtidig med, at der også hyppigere opstår oversvømmelser med store mængder nedbør på kort tid.

NY NATURVIDENSKABELIG VIDEN OG TEKNOLOGI KAN REDUCERE UDLEDNINGER OG GIVE MERE LIGE ADGANG

I løbet af de sidste 20-30 år er der på basis af naturvidenskabelig viden inden for fysik, kemi, matematik, geografi, geologi og biologi udviklet en hel række teknologier, der kan danne basis for, at vi kan udvikle nye løsninger på de globale udfordringer. Naturvidenskabelige gennembrud skaber fundament for at erstatte fossilt baserede produkter med biobaserede og udvikle eksempelvis grønnere teknologier som vedvarende energi baseret på vind, sol og geotermi samt at udvikle metoder til cirkulær genanvendelse af materialer. Genbrug og opgradering af, hvad der nu går til spilde, er muligt. Tilsvarende kan ny brug af fornybare ressourcer føre til, at verdens adgang til ressourcer bliver mere ensartet. Ved biobaseret produktion af eksempelvis kemikalier og materialer kan råvaren til dette findes over en meget større del af hele kloden. Det adskiller sig fra situationen nu, hvor råvarer som eksempelvis råolie kun findes få steder. Det biobaserede samfund kan give mulighed for en ny og mere bæredygtig fordeling af vækst og livsvilkår, da de biologiske ressourcer er tilgængelige i meget store dele af Jordens lande, dog begrænset af tilstrækkeligt vand. Ny viden om vand, såsom energieffektiv afsaltning af havvand og genbrug af 'brugt' vand, vil eksempelvis blive afgørende for en mere ensartet udvikling globalt.



Brug af vedvarende energikilder kan være med til at mindske den globale CO₂-udledning.

INDUSTRIALISERING, TEKNOLOGIUDVIKLING OG BEFOLKNINGSVÆKST FØRTE TIL ØGET UDLEDNING AF DRIVHUSGASSER

Den primært fossilt baserede industrialisering gav økonomisk udvikling og arbejdspladser, men førte også til, at CO₂-udledningen steg. Udvinning af olie til benzin og diesel gik hånd i hånd med udvikling af forbrændingsmotoren, som dels gav basis for, at mange mennesker fik fornøjelse af at have egen bil samt mulighed for flyrejser til fjerne destinationer, og dels gav basis for international handel og transport af varer over lange afstande. Mobilitet blev således en væsentlig kilde til CO₂-emission. Prisen på fossil energi forblev lav. Princippet om, at kilden til forurening betaler for oprydningen, som ved toksiske kemikalier, blev ikke anvendt, fordi det først nu er erkendt, hvilke konsekvenser de høje niveauer af drivhusgasser kan have for klodens klima. Brug af de biologiske ressourcer til erstatning for fossilt-baserede ressourcer og til øget produktion af mad til den globalt voksende befolkning understreger, at selv om biologiske ressourcer er fornybare, er de samtidig også begrænsede, specielt når det kræver land, jord og vand at producere dem. Dette forhold skærper nødvendigheden af at udnytte de biologiske ressourcer bedst muligt. Det vil sige, at man ikke kun udnytter brændværdien i de biologiske ressourcer, men efter kaskadeprikkippet udnytter hele potentialet af bio-massen til mad, foder, biokemikalier og -materialer samt energi af restfraktionen og cirkulering af mineralerne tilbage til jorden.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Kortlægning og ændring i brug af Jordens ressourcer, fossile og fornybare
- Olie- og bioraffineringsprocesser
- Vandteknologi
- Udviklingen af forbrændingsmotoren og af power-transmission fra sol- og vind energi
- Udvikling af kemiske pesticider og af nye, biologiske plantebeskyttelsesmetoder
- Teknologi til udvinning af solenergi, vindenergi og geotermi
- Entropi og bioøkonomi
- Intergovernmental Panel on Climate Change, der startede den globale vidensgenereringsproces i forbindelse med klimaforandringer
- Great Acceleration Graf

ERKENDELSE 3

Cases

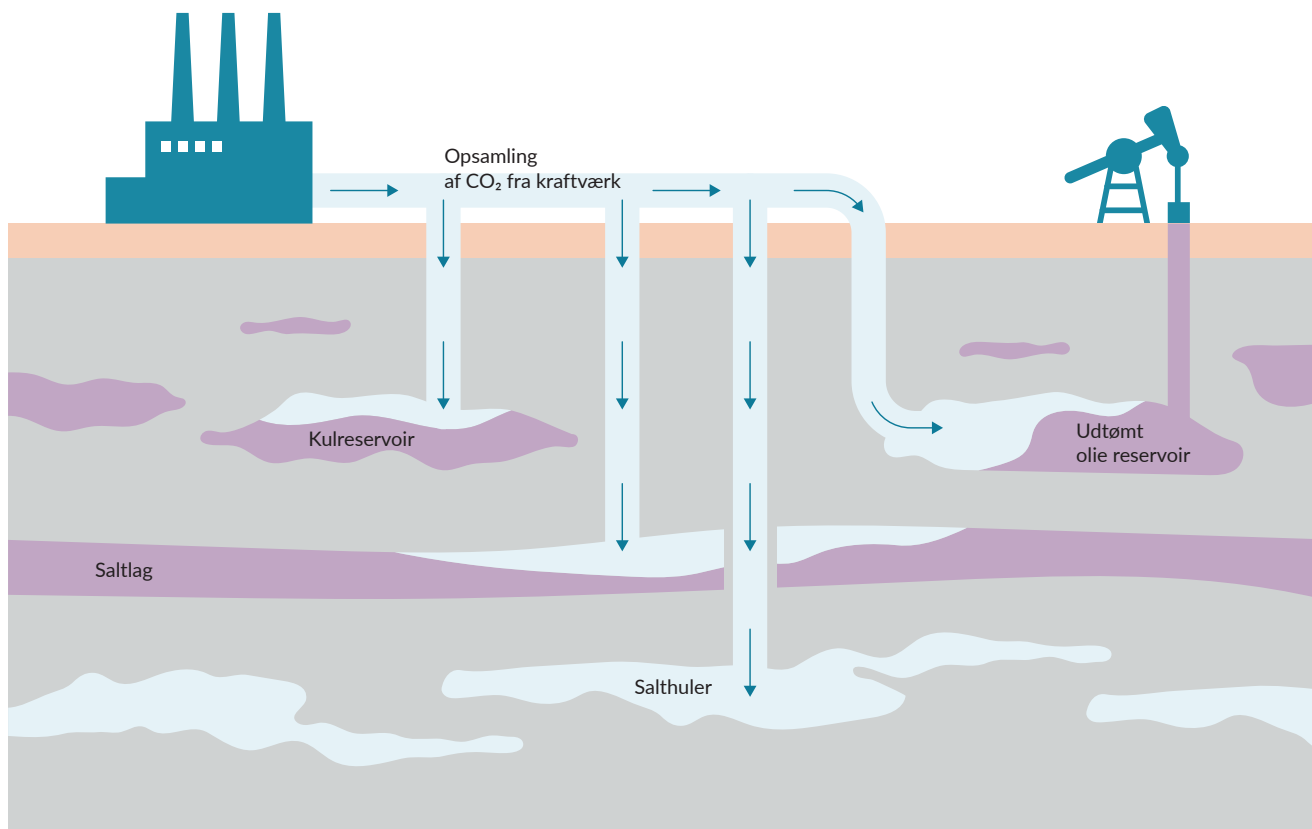
NY NATURVIDENSKABELIG VIDEN OG TEKNOLOGI KAN SÆNKE CO₂ OG METANUDLEDNING

Sol og vind kan danne basis for opvarmning og elektricitet og herved erstatte brug af olie, naturgas og kul. Biogas, der består af metan og CO₂, kan ved brug af elektricitet og vand omdannes til brændstof for tung trafik, f.eks. fly og containerskibe, og til kemikalier, tekstilpolymerer. Biobaserede kemikalier, materialer som eksempelvis bioplastik, og biobrændsel kan produceres på basis af restprodukter fra fødevarerproduktion og fra non-food-agroindustri. Sådanne rest-ressourcer kan også via mikrobielle enzymer omdannes til nye højværdi-fødevarer såsom pre-biotiske fødevarer ingredienser. Sundere fødevarer kan produceres fra cellevægs-fraktionen af halm, græs eller tang. Tilsvarende ingredienser kan produceres og anvendes til sundt dyrefoder. Det kan være et nyt gennembrud, der står for døren, hvor antibiotikaforbrug i industriel husdyrbrug måske kan erstattes af foder, der styrker dyrenes tarmflora og derfor gør dem mere robuste over for f.eks. diarré.

Energi- og vandbesparelser og recirkuleringsteknologier har gjort store fremskridt – ikke mindst via dansk teknologi. Danske virksomheder har i samarbejde med universitetsforskere udviklet nye højværdiprodukter fra deres side- og spildstrømme. Eksempler på nye forskningsområder er 1 at udvikle lokale proteinressourcer således, at vi mindsker vores afhængighed af importeret

sojaprotein (Schjørring et al., 2019); 2 at udvikle og producere biobaseret plastik med dobbeltformål at udfase fossilt-baseret plastik og at finde en løsning på den alvorlige plastikforurening, specielt i havet og havets dyr (Samfund, 2018); og 3 at udvikle en øget ressource-cirkularitet inden for tekstiler og tekstilfibre ("Bæredygtige byggeklodser til fremtiden", 2019). Med den nuværende brug af ressourcer er bomuldsproduktion og procesering det globalt set næstmest miljø- og klimabelastende ressourceområde. Kun overgået af oliebranchen (Andersen, 2017).

Der er mange Negative Emissions Technologies (NET) under udvikling (Sanchez et al., 2016). Brugen af disse kan vise sig nødvendig for at opnå den nødvendige begrænsning af vores klimaændrende emissioner, der skal holde temperaturstigningen under det globalt vedtagne niveau (1,5-2 °C). Noget af det, der arbejdes med, er at udvikle teknologier, der nedsætter indstråling til jordkloeden; at store overflader strøs til med eksempelvis splintret granit, der giver tilbagestråling fra Jordens overflade; at havene kan 'gødes' på en måde, der fremmer organisk binding af CO₂ via stimulering af planteplanktonproduktion, der binder organisk materiale, der synker til bunds i de stor havdybder. Fænomenet kaldes den modsatte bevægelse af carbon fra atmosfæren til havets bund i modsætning til brug af fossile ressourcer, der går fra jordens eller havets dyb og ender i atmosfæren. Der er flere danske virksomheder, der arbejder med udviklingen



Opsamling af CO₂ og indlejring i geologiske formationer kan være med til at mindske mængden af CO₂ i atmosfæren.

af NET-teknologier. Teknologien til at omdanne metan til dyrefoder ved at dyrke bakterier, der lever udelukkende af metan, er for eksempel allerede kommercialiseret og er således et af de første danske eksempler på "Carbon Capture and Use" (Bujnicki et al., 2018). Et andet eksempel er udvikling af metoder til produktion af ikke-fossilt-baserede kemikalier ved at bruge enzymer til direkte at omdanne CO₂ ved brug af elektricitet til bæredygtige og recirkulerbare kemikalier og materialer (Mortensen et al., 2019).

Samtænkning af samfundets interesser og naturvidenskabeligt funderet teknologi kan give basis for ny bæredygtig praksis. I de sidste årtier er der udviklet mange redskaber til at analysere bæredygtigheden af forskellige typer af teknologier, processer og produkter. Fokus er nu på, at analyse af teknologieffekter skal indeholde effekt på både kort og længere sigt, ikke kun på samfundet og mennesker, men på klimaet, for planeten som helhed og på biodiversiteten på Jorden og i vandet.



Hvalolie var en meget værdifuld ressource før i tiden, hvilket førte til rovdrift på grønlandshvaler i ishavet ved Svalbard (Abraham Storck, 1690)

BEFOLKNINGSEKSPLOSION OG FORBRUGSAMFUND PRESSER RESSOURCERNE

Jordens befolkning anslås til at nå 9-10 milliarder inden for få årtier, for derefter at stabilisere sig eller aftage (United Nations, 2019). Ud over behovet for at brødføde et stigende antal mennesker presses fødevarerproduktionen af det moderne samfunds forbrug. Den største dynamiske faktor er stigende købekraft i den voksende middelklasse. Dette forventes at lede til en øget efterspørgsel på eksempelvis kød (Berthou, 2016; Det Ethiske Råd, 2011). Non-food-forbrug af jord, vand og pesticider er stigende, specielt drevet af produktion af bomuld til tekstil, men også af for eksempel palmeolie og gummitræer, der har ført til, at store arealer i Asien, Sydamerika og Afrika bruges til produktion af non-food afgrøder. Troperne har regn og sol nok til stor landbrugsproduktion, men tropisk jord taber let sin frugtbarhed. De traditionelle landbrug havde svedje- og flyttemarksbrug, der gav jorden tid til at restituere, når næringsstofferne var brugt. Nutidens fødevarerbehov giver ikke tid til det. Regnskov ryddes for hurtigt at skaffe nye marker, og der tilføres massive mængder gødning. Det fører til dalende biodiversitet, udpinte jorde og pressede vandressourcer.

RESSOURCER KAN ÆNDRE VÆRDI, OG DE ER UJÆVNT FORDELT

En resources værdi er ikke absolut eller konstant. Flintesten, grafit, hvalolie og brunkul er alle eksempler på ressourcer, som engang var vigtige, men som nu er af mindre betydning. I stedet går den vilde jagt i dag på den sidste Nordsøolie, enzymer og mineraler til produktion af smartphones.

De værdifulde ressourcer er ulige fordelt. Både når det kommer til, hvem der har adgang til dem og til, hvor de findes. De store opdagelsesrejser til Kina, Amerika og Afrika handlede i høj grad om at lokalisere og skaffe sig adgang til nye og flere ressourcer. Det drejer sig om metaller, mineraler og ædelstene, men også nye fødevarer og afgrøder. I vores egen del af verden har geologer og biologer gennem århundreder af samme grund grundigt undersøgt Grønland for nye, brugbare ressourcer. For naturvidenskaben er den helt store gevinst, at Grønlands geologiske ressourcekort blev meget detaljeret. I nyere tid har interessen for Grønlands ressourcer ført til opdagelsen af Omega-3-fedtsyrers gavnlige sundhedseffekter (Greenberg, 2018).

ERKENDELSE 3

Vigtige personer for videnskaben

Wallace Smith Broecker (1931-2019)

Amerikansk geofysiker, der udviklede ideen om globale havstrømme og kom med betydelige bidrag til forståelsen af klodens carbonkredsløb. Broecker populariserede udtrykket global opvarmning i 1975 i forbindelse med et videnskabeligt opråb om klimaforandringer.

Frances H. Arnold (1956-)

Amerikansk enzymforsker og modtager af Nobelprisen i kemi i 2018. Hun har ydet betydelige bidrag til enzym- og proteinforskning. Hendes forskning har betydet øget videnskabelig basis for at videreudvikle brugen af enzymer til erstatning for kemisk baserede processer og til at udnytte de biologiske råvarer mere effektivt.

Norman Borlaug (1914-2009)

Amerikansk agronom og modtager af Nobels fredspris. Han er kendt som grundlæggeren af "Den Grønne Revolution", hvor der blev gjort signifikante fremskridt i forhold til at udvikle nye højtydende sorter specielt inden for majs og hvede. Disse gennembrud har haft afgørende betydning for udbyttet fra kornmarker i alle dele af verden. Også og ikke mindst i udviklingslandene.

Dorthe Dahl-Jensen (1958-)

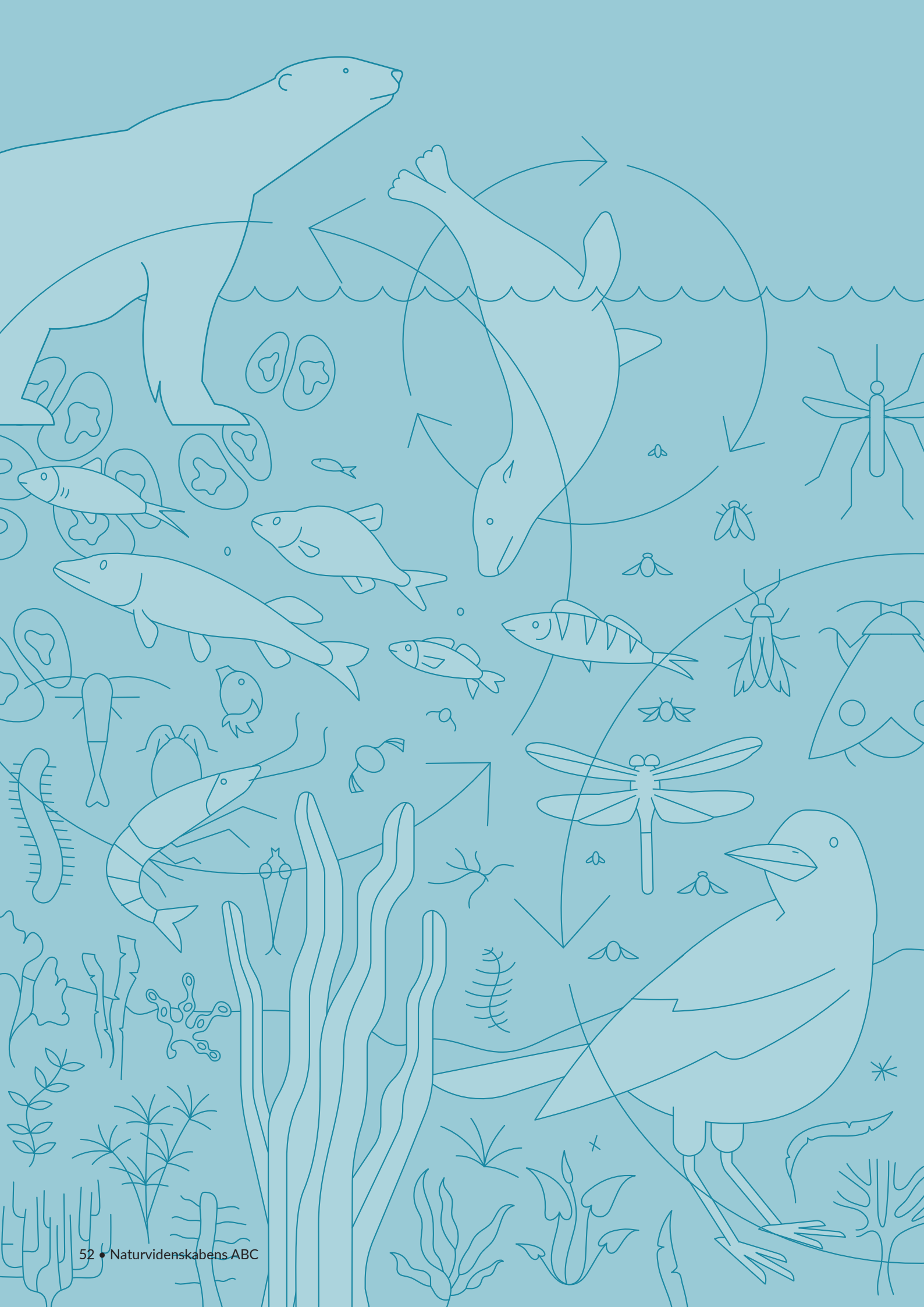
Dansk fysiker og klimaforsker, der forsker i rekonstruktionen af fortidens klima ved brug af data fra iskerneboringer i Grønlands indlandsis. Med sin forskning har Dorthe Dahl-Jensen bidraget afgørende til dokumentationen af udvikling i CO₂-emissioner over tid.



Dorthe Dahl-Jensen

LITTERATUR

- Allen, M. R., O. P. Dube og W. Solecki. 2018. 'IPCC 2018 Report: Global Warming of 1.5 oC', i *Global Warming of 1,5 C* Chapter I.
- Andersen, A. A. 2017. 'Tøjspild', Dagbladet Information, hentet 20/02/20, <https://faktalink.dk/tojspild>.
- Augustin, L. m.fl. 2004. 'Eight glacial cycles from an Antarctic ice core', *Nature* (429): 623-628.
- Det Nationale Bioøkonomipanel. 2019. 'Bæredygtige byggeklodser til fremtiden.' Det Nationale Bioøkonomipanel, hentet 20/02/20 https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/MFVM/Miljoe/Biooekonomi/Baeredygtige_byggeklodser_til_fremtiden.pdf.
- Berthou, S. 2016. 'Fødevareranalysen - Global efterspørgsel på kød øges 24 pct. indtil 2025', Landbrug & Fødevarer, hentet 20/02/20, <https://lf.dk/tal-og-analyser/statistik/global-foedevareproduktion/2016/global-eftersporgsel-paa-kod-oges-24-pct-indtil-2025>.
- Bujnicki, J. m.fl. 2018. *Novel carbon capture and utilisation technologies*. Group of Chief Scientific Advisors Scientific Opinion. European Commission, Bruxelles.
- Cael, B. B., K. Bisson, og M. J. Follows. 2017. 'How have recent temperature changes affected the efficiency of ocean biological carbon export?' *Limnology and Oceanography Letters*. 2 (4): 113-118.
- Det Etske Råd. 2011. 'Sammenhængen mellem kødspisning, klimaforandringer og fødevarerkrise'. Det Etske Råd, hentet 20/02/20, <http://www.etskeraad.dk/etske-temaer/natur-klima-og-foedevare/undervisning-til-grundskolen/stamcellekoed/koedspisning-og-klimaforandringer>.
- Greenberg, Paul, 2018. *The Omega Principle: Seafood and the Quest for a Long Life and a Healthier Planet*. London. Penguin Books.
- Hohnen, M. 2019. 'Bliver »vildere og vildere«: Indlandsisen smelter 6 gange hurtigere end i 80'erne'. Videnskab.dk, hentet 20/02/20, <https://videnskab.dk/naturvidenskab/bliver-vildere-og-vildere-indlandsisen-smelter-6-gange-hurtigere-end-i-80erne>.
- Lamarche-Gagnon, G. m.fl. 2019. 'Greenland melt drives continuous export of methane from the ice-sheet bed', *Nature* (565): 73-77.
- Mortensen, A. W, H. Wenzel, K. D. Rasmussen, S. S. Justesen, E. Wormslev og M. Porsgaard. 2019. *Nordic GTL – a pre-feasibility study on sustainable aviation fuel from biogas, hydrogen and CO2*. Hentet 20/02/20, <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2019/10/Nordic-aviation-fuel-production-28-10-2019-final.pdf>.
- Pedro, J. B., S. O. Rasmussen og T. D. Van Ommen. 2012. 'Tightened constraints on the time-lag between Antarctic temperature and CO2 during the last deglaciation', *Climate of the Past* 8 (4): 1213-1221.
- Raven, J. m.fl. 2005. 'Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide.' The Royal Society, hentet 20/02/20, http://eprints.ifm-geomar.de/7878/1/965_Raven_2005_OceanAcidificationDueToIncreasing_Monogr_pubid13120.pdf.
- Richardson, K. og Mouritsen, L. 2006. 'På vej mod et surt hav', *Aktuelt Naturvidenskab* (5): 4-7.
- Europa-Parlamentet. 2018. 'Plastik i havet: Fakta, konsekvenser og nye EU-regler.' Europa-Parlamentet, hentet 20/02/20, europarl.europa.eu/news/da/headlines/society/20181005STO15110/plastik-i-havet-fakta-konsekvenser-og-nye-eu-regler.
- Sanchez, D. og D. M. Kammen. 2016. 'A commercialization strategy for carbon-negative energy', *Nature Energy*. doi: 10.1038/nenergy.2015.2.
- Schjørring, J. K. m.fl. 2019. 'Bioraffinering, der skaber værdi. Resultater og anbefalinger fra forsknings- og innovationsplatformen Biovalue.' Biovalue, hentet 20/02/20, https://biovalue.dk/media/BIO_VALUE_EnkeltSider.pdf.
- The Economist. 2019. 'The past, present and future of climate change' The Economist, hentet 20/02/20, <https://www.economist.com/briefing/2019/09/21/the-past-present-and-future-of-climate-change>.
- United Nations. 2019. 'World Population Prospects 2019.' Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019, hentet 20/02/20, <https://population.un.org/wpp/>



ERKENDELSE 4

Naturen er rig på biodiversitet

Kloden myldrer med liv. Fra de arktiske egne til glohede ørkener, fra bunden af havet til Himalayas bjergtoppe, fra dybe skove til tørre sletter, i jord og i sand, i by og på land. Ja, selv i vores hjem er der liv overalt. Vi bruger betegnelsen biodiversitet om variationen af liv med alt fra gener, arter og økosystemer. Det omfatter også de evolutionære mekanismer, økologiske rammer og nogle gange kulturelle processer, der påvirker livsvilkårene for levende organismer og mangfoldigheden af vores natur. Når vi taler om biodiversitet handler det ikke kun om den sjældne, pressede eller truede natur, men om alt liv på Jorden fra bakterier, svampe, alger og insekter til alle former for planter og større dyr. Det indbefatter alle nulevende og uddøde arter.

Vi kan tænke på biodiversitet fra flere forskellige perspektiver, for eksempel som udtryk for antallet af arter i et område. Det kan dog i sig selv være vanskeligt at bestemme. Vi har indtil nu kun beskrevet omkring 1,8 millioner forskellige arter i verden, men det samlede antal, der lever i dag, er estimeret til at ligge på mellem 8 og 10 millioner forskellige arter – og i dette tal er mikroorganismene, som bakterier og svampe ikke inkluderet (Mora et al., 2011). Antallet af svampearter er anslået til at være mellem 2,2 og 3,8 millioner, hvoraf der til dato er beskrevet cirka 70.000 arter (Hawksworth et al., 2017).

De fleste opdagelser af nye arter af dyr og planter sker i dag ved at studere naturhistoriske samlinger, der huser flere hundrede års indsamlinger af dyr og planter fra hele Jorden. De nationale danske samlinger på 14

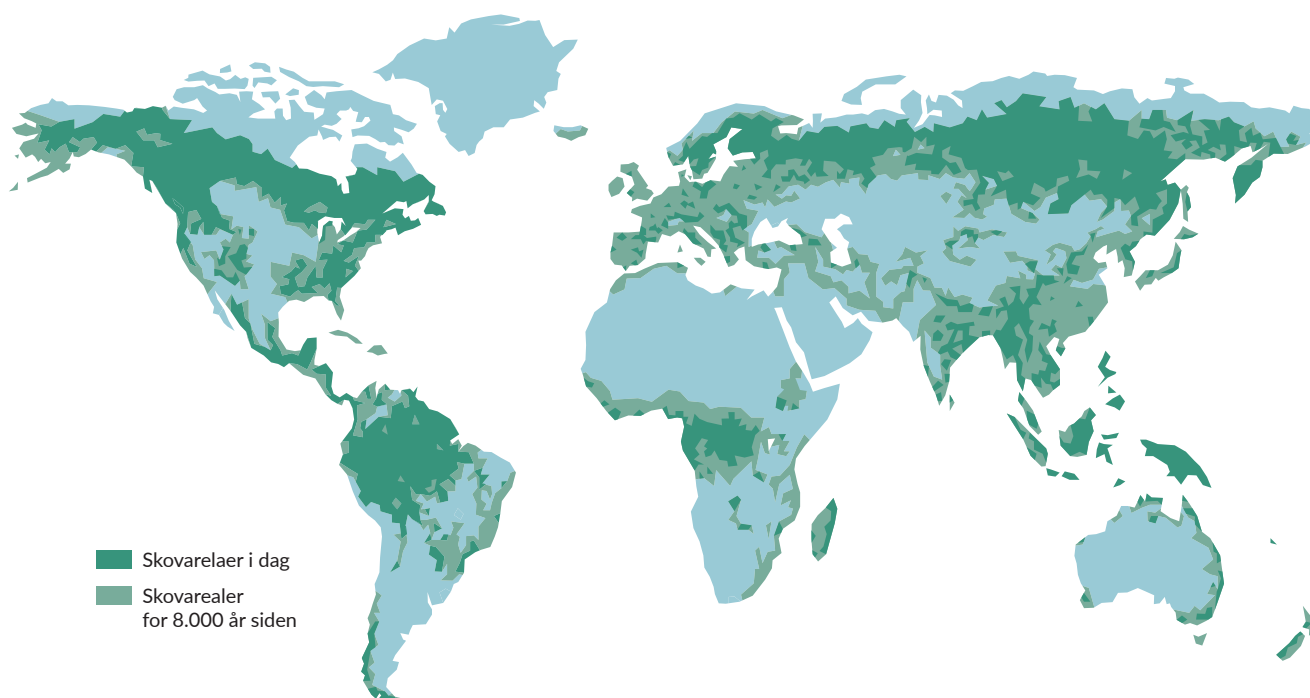
millioner genstande findes på Statens Naturhistoriske Museum. Hvert år beskrives omkring 20.000 nye arter på verdensplan. Nogle af dem kommer fra de danske samlinger.

Selvom artsrigdommen i dag er overvældende, så er der undersøgelser, der peger på, at nulevende arter kun repræsenterer omkring 1 % af de arter, der nogensinde har levet i løbet af Jordens historie (Wilson, 1992). Langt de fleste arter er altså uddøde. Der har været fem store globale begivenheder, siden livet opstod for omkring 3,7 milliarder år siden, der hver især har udryddet hovedparten af det liv, der fandtes. I dag er naturen også under pres. Faldet i biodiversitet sker med sådan en hast, at vi nu taler om den sjette masseuddøen i Jordens historie (Abildlund, 2014).

Antallet af arter er ikke nok til at bestemme, hvilken betydning biodiversiteten har. Det kræver også, at vi ved noget om, hvilken slags organismer der er i et givent område, deres forbindelser og gensidige afhængigheder. Komplekse samspil mellem arter i økosystemer gør naturbevarelse vanskelig, og det kan være vanskeligt at vide, hvilke arter og habitater, man skal fokusere på at bevare. Vi er derfor nødt til at have en omfattende videnskabelig viden om forskellige økosystemer, og hvad der kan påvirke dem. Det kan være meget varieret i forskellige klimazoner, regioner og områder. Der kan også være stor lokal forskellighed, hvor for eksempel introduktionen af nye arter eller effekten fra menneskelige aktiviteter kan ændre balancen i et økosystem radikalt.

ERKENDELSE 4

Kernefaglige nedslagspunkter



Udryddelsen af store skovarealer over hele kloden har stor betydning for den dalende biodiversitet.

MENNESKET PÅVIRKER BIODIVERSITETEN

Siden det moderne menneskes sidste store udvandringss-bølge fra Afrika for 60-70.000 år siden har vores art haft en væsentlig indflydelse på klodens økosystemer. I første omgang var effektiv jagt med til at presse bestanden af flere større pattedyr, såkaldt megafauna, i bund. Det betød, at en række dominerende arter som for eksempel mammut, uldhåret næsehorn og sabelkatte efterhånden forsvandt. Med udviklingen af husdyrhold og planteavl ved slutningen af den sidste istid for omkring 10-12.000 år siden begyndte en gradvis ændring i udnyttelsen af større og større landområder. Den menneskeskabte påvirkning af biodiversiteten accelererede med den europæiske kolonisering af kloden, der åbnede for et globalt distributionsnetværk af dyr og planter til for-

brug og bragte skadedyr og sygdomme med sig. Det betød også en satsning på færre arter, så omkring 75 % af vores fødevarer i dag kommer fra 12 plante- og 5 dyrearter (FAO, 2004). De kræver så meget plads, at den vilde natur overalt er presset. Studier beregner, at vores husdyr udgør 60 procent af verdens pattedyr. Mennesket selv udgør 36 procent af Jordens pattedyr, og dermed udgør vilde dyr - hvaler, hjorte, bævere, isbjørne og lignende - kun fire procent af alle pattedyr på vores klode. Og selvom mennesket kun udgør 0,01 % af den samlede biomasse, så viser studier, at mennesket har reduceret den totale biomasse for planter med 50 % siden den menneskelige civilisations begyndelse, og vilde dyrs biomasse anslås tilsvarende at være reduceret med 85 % (Milo, 2018).

BIODIVERSITET HAR BETYDNING FOR MENNESKETS SUNDHED

En høj grad af biodiversitet gør økosystemer mindre følsomme over for sygdomme. Derudover har der vist sig en direkte sammenhæng mellem artstab og overførsel af sygdomme (Keesing et al., 2010). En forklaring kan være, at arter med et stærkt immunforsvar generelt har en længere livscyklus, mens det modsatte gør sig gældende for arter, der lettere bliver sygdomsbærere. Der er en tendens til, at den første gruppe, der kan virke bremsende på sygdomsspredning, er dem, der først forsvinder, når biodiversiteten er presset. Det har også betydning for menneskets sundhed, da mange af sygdomsbærerne kan overføre sygdomme til os. Det gælder for eksempel bakterien borrelia, der kan overføres fra flåter. Sygdomsudbredelsen vokser, hvor der har været konstateret et fald i biodiversitet. I forhold til sygdomsbekæmpelse spiller biodiversitet også en vigtig rolle. Der findes mange eksempler på medicin og medicinske test, der oprindeligt blev produceret af naturlige ingredienser, og som siden er blevet genskabt i laboratoriet. Biodiversitet spiller også en stor rolle for menneskets ernæring ved at understøtte en mere bæredygtig jordbundsproduktion, mere mangfoldige mikroorganismer og genetisk variation af vores fødevarer.

BIODIVERSITETEN HAR INDFLYDELSE PÅ, HVORDAN ØKOSYSTEMER FUNGERER

Graden af biodiversitet reflekterer, hvor sårbart et økosystem er. Ordet biodiversitet blev brugt for første gang i 1985, og fik for alvor en stor udbredelse med Edward O. Wilsons bog *Diversity of Life* fra 1992 (Wilson, 1992). Med forholdsvis få arter i et givent område skal der mindre til at vælte balancen. Til gengæld kan en høj grad af biodiversitet gøre et økosystem mere modstandsdygtigt (Naeem et al., 1994; Ives et al., 2007). Sunde økosystemer giver os mad og rent drikkevand. Når stabiliteten i disse økosystemer trues, har det derfor ikke kun betydning for de arter, der lever der, men kan også påvirke eksempelvis vores fødevarsikkerhed. Nogle økosystemer er afhængige af særlige nøglearter, der har stor indflydelse på andre arter og dermed hele balancen i området (Wagner, 2010).



YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Klassificering af arter
- Det fylogenetiske træ
- Tidligere masseuddøens betydning for biodiversitet
- Dokumentation af biodiversitet
- Beregning af biodiversitet
- Hastigheden af arters uddøen
- Invasive arters betydning for biodiversitet
- Mikroorganismers betydning for biodiversitet
- Klimaforandrings betydning for biodiversitet
- Genetik som middel til at forstå biodiversitet
- Big data som middel til at analysere biodiversitet

ERKENDELSE 4

Cases

BIODIVERSITET I DANMARK

Viden om biodiversitet og kategorisering af den har ført til, at der er registreret omkring 35.000 forskellige arter i Danmark, men det reelle tal er endnu større (Skipper, 2017). Samtidig har vores viden gjort det muligt at identificere en række trusler mod biodiversiteten, blandt andet belastning på grund af udledning af næringsstoffer, regulering af vandets frie bevægelighed, land- og skovbrug, erhvervsdrift samt bymæssig udvidelse og udbygning af infrastruktur.

Den største trussel for biodiversiteten i Danmark er ødelæggelse af organismernes foretrukne habitater og mangel på plads. Levesteder forsvinder, bliver mindre eller fragmenterede og isolerer dermed planter og dyr på små arealer uden forbindelse med hinanden. Tilførsel af næringsstoffer, invasive arter og klimaforandringer er med til at presse biodiversiteten yderligere. Kæmpebjørneklo, signalkrebs, varroamider og bisamrotter har eksempelvis bredt sig og udkonkurrerer hjemmehørende arter. En måde at bekæmpe krebs og bisamrotter er at indfange og spise dem.

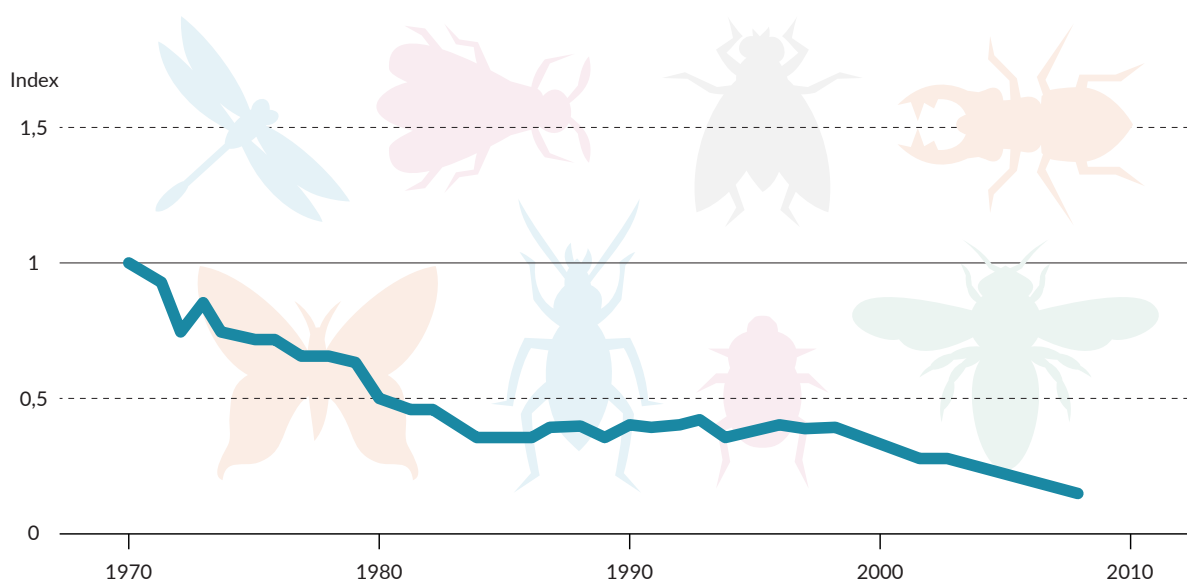
Af alle de dyre- og plantearter, der findes i Danmark, optræder mere end 4.400 på IUCNs rødliste (Wind et al., 2010; Moeslund et al., 2019), som angiver sandsynligheden for, hvorvidt en art vil uddø indenfor overskuelig fremtid. Blandt de truede arter findes for eksempel hasselmusen og fiskeørn. Nogle af arterne optræder på flere internationale lister over særligt truede dyr, som forpligter Danmark til at overvåge og beskytte dem i deres naturlige udbredelsesområde.



Kæmpebjørnekloen er en invasiv art i Danmark og er med til at presse biodiversiteten.

BIODIVERSITET OG MEDICINPRODUKTION

Flere forskellige typer af receptpligtig medicin, som sælges i hele verden, kommer fra planteafledte kilder. Lægemidler som penicillin og kolesterolsænkende medicin stammer fra svampe. Regnskovsområder har vist sig at have et særligt stort potentiale i udviklingen af ny medicin. Tab af biodiversitet risikerer dermed at begrænse vores muligheder. Hele 25 % af vestlige lægemidler er afledt af ingredienser fra regnskoven, men mindre end 1 % af disse tropiske træer og planter er endnu blevet undersøgt for deres medicinske egenskaber. Det amerikanske National Cancer Institute har identificeret 3.000 planter, som er aktive mod kræftceller. 70 % af disse planter findes i regnskoven, og 25 % af de aktive ingredienser i nutidens medicin til kræftbekæmpelse kommer fra organismer, der kun findes i regnskoven (Desai et al., 2008).



Det globale indeks for hvirvelløse dyrs biodiversitet er faldet drastisk siden 1970.

INSEKTKRISE

For nylig har forskere opdaget, hvor galt det nu står til med verdens insekter. En vurdering lyder, at mere end 40 % af alle insektarter er faldende i antal, og en tredjedel er direkte truede (Sánchez-Bayo et al., 2019). Det går oven i købet hurtigere end med andre arter. Insekterne forsvinder otte gange hurtigere end pattedyr, fugle og krybdyr. Det betyder, at den samlede biomasse af insekter er faldende.

Insektkrisen har en effekt på biodiversiteten, hvor vi risikerer, at mangfoldighed bliver erstattet af færre arter, der ikke nødvendigvis vil have den samme understøttende funktion, som de mange forskellige insekter har i dag. Eksempelvis er dødeligheden blandt bier øget (Potts et al., 2010). Når antallet af bier reduceres, vil det gå ud over bestøvningen af planter. Vores fødevareproduktion

er fuldstændig afhængig af denne bestøvning. Det betyder, at vi dermed selv står over for en betydelig risiko.

Insekter er også naturens genbrugere. De omsætter dødt materiale fra planter og dyr til nye næringsstoffer, der igen kan indgå i naturens kredsløb ved for eksempel at blive optaget i planternes rødder for senere at blive føde for larver, som sangfugle fodrer deres unger med. Det er særligt brugen af pesticider i forbindelse med landbrug, der er årsagen til insektkrisen, men også urbanisering og klimaforandringer (Potts et al., 2010). Men det går også ud over mange andre arter. Hvis der bliver færre insekter, falder et vigtigt fødegrundlag bort for en lang række fugle, fisk, reptiler og padder. Det tager også noget fra vores naturoplevelse og glæden ved at se mangfoldigheden, når vi går ud i naturen.



Forskere i The Millennium Seed Bank i Wakehurst, England.

FRØBANKER SOM NATURBEVARELSE

En frøbank opbevarer frø, som kan bruges, hvis frøreserver går tabt andre steder. Derfor er en frøbank også en genbank. De opbevarede frø kan stamme fra afgrøder eller sjældne arter, som man ønsker at bevare for at fastholde biodiversitet. Begrundelserne for at henlægge frø i en frøbank kan være mangeartede. Når det drejer sig om fødeafgrøder, kan århundreders fremavlede typer være gået ud af erhvervsmæssig produktion, sådan at typerne er ved at blive sjældne. Når man opbevarer frø, sker det også for at undgå virkningerne af ødelæggende begivenheder som naturkatastrofer, epidemier eller krige.

Frø af arter fra tempererede eller polare klimazoner kan ligge i frøhvile i årtier, uden at der opstår skader på deres DNA, når de bliver opbevaret tørt og køligt. Derfor kan de blive ved med at være spiredygtige efter opbevaring i en frøbank. Derimod bliver frø af subtropiske og

tropiske planter ofte ødelagt ved udtørring og frost. De skal med andre ord udsås hele tiden, for at man kan have en beholdning af levedygtige frø. Eksempler på dette har man i frø af kakao og paragummitræ.

Botaniske haver verden over har et velfungerende globalt netværk, hvor man hjælper hinanden med at opretholde frøsamlinger, så frø fra de samme planter findes flere forskellige steder for at minimere risikoen for, at de går tabt. Frøsamlingen i Botanisk Have på Statens Naturhistoriske Museum går flere hundrede år tilbage. Svalbard Global Seed Vault er et nyere eksempel og er bygget som en menneskeskabt tunnel ind i et sandstensbjerg på Svalbard, der ligger cirka 1.300 km fra Nordpolen. Stedets permafrost vil fastholde hele frøbanken ved temperaturer under 0 °C, og frøene er beskyttet af 1 m tykke, stålarmerede betonmure. Adgangen sker via to luftsluser og to sprængningssikre døre.

ERKENDELSE 4

Vigtige personer for videnskaben

Carl von Linné (1707–1778)

Svensk botaniker, zoolog og læge, som systematiserede navngivningen af dyr og planter. Han grundlagde det system, der stadig anvendes i dag over hele verden til klassificering af arter (taksonomi, det såkaldte 'binomial nomenclature', hvor arter gives to navne på latin, det første for, hvilken slægt arten tilhører, og det andet for selve arten. Han gav vores egen art navnet *Homo sapiens*, det tænkende menneske.

Edward O. Wilson (1929-)

Amerikansk biolog og professor på Harvard University. Wilson satte for alvor biodiversitet på den internationale dagsorden, efter begrebet blev introduceret på en konference i 1985. Ud over sit omfattende videnskabelige arbejde har han arbejdet utrætteligt for at øge naturforståelsen i offentligheden og sikre en bedre naturbevarelse.

Wangari Maathai (1940-2011)

Kenyansk biolog og naturaktivist. Hun var den første afrikanske kvinde til at modtage Nobels fredspris, som hun fik for sit arbejde med bæredygtig udvikling, demokrati og fred. Maathai begyndte i en landsbyskole, men fik et stipendium til at komme til USA og tog hele sin videregående uddannelse der, inklusive sin ph.d.-grad. Hun tog tilbage til Kenya og engagerede sig i miljø- og kvindekamp. Hun grundlagde Det Grønne Bælte-bevægelsen, der plantede mere end 51 millioner træer i Kenya og satte fokus på kvinders betydning for naturbevarelse. Det blev inspiration til en række lignende programmer i andre afrikanske lande.

Sylvia Earle (1935-)

Amerikansk marinbiolog og naturforkæmper. Hun var



Sylvia Earle

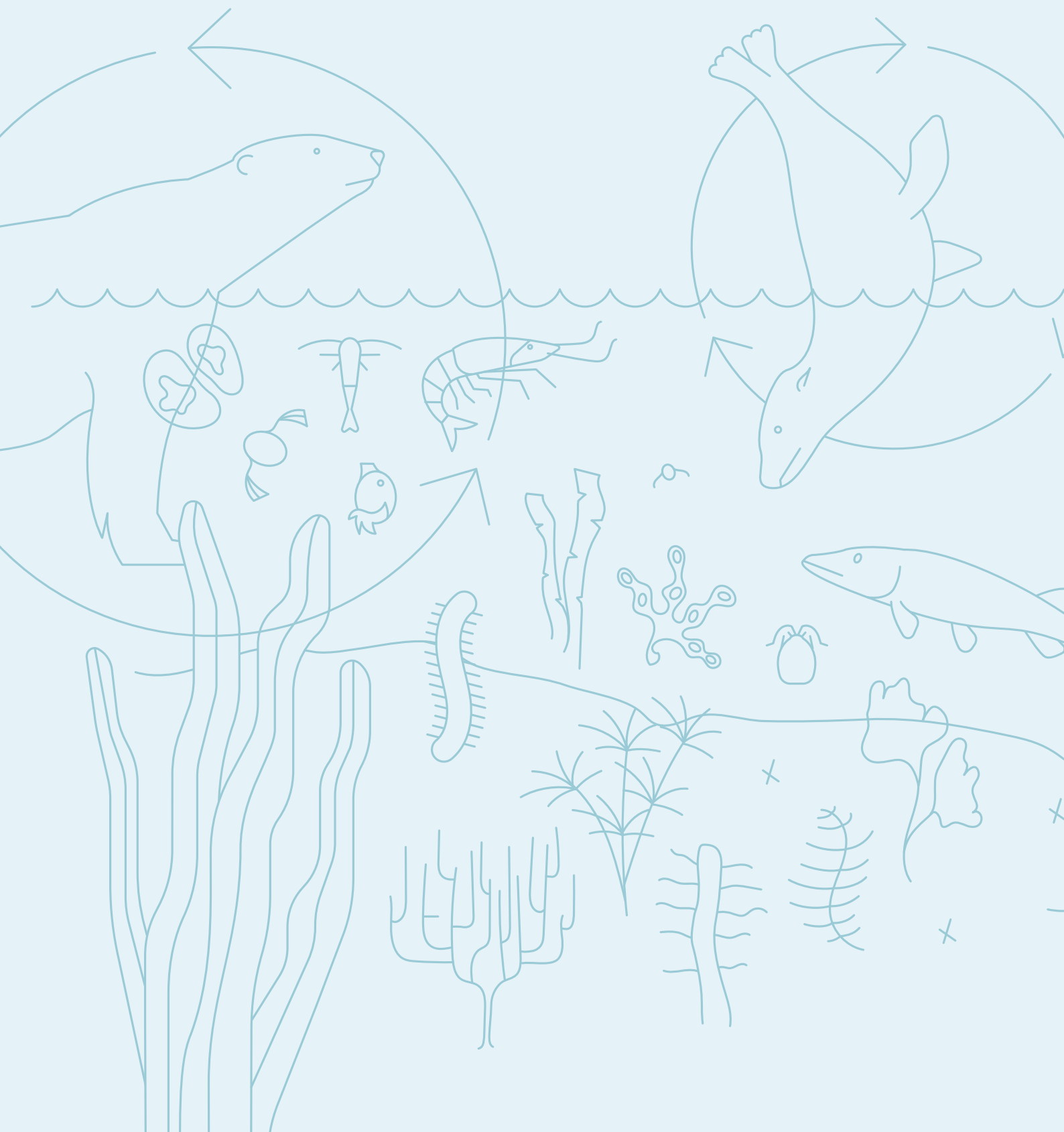
den første kvindelige videnskabelige leder af USA's National Oceanic and Atmospheric Administration. Hun var pioner for ligestilling mellem kvinder og mænd i videnskaben, og var leder af den første undervandsekspedition bestående udelukkende af kvindelige forskere. Hun grundlagde Mission Blue, der arbejder for naturbevarelse og beskyttelse af biodiversiteten i verdenshavene, blandt andet gennem Hope Spots, der fungerer som særligt beskyttede områder under havets overflade.

Sandra Diaz (1961-)

Argentinsk professor i økologi. Hun studerer planternes betydning for økosystemet. Hun er medforfatter på det største studie, der nogensinde er gennemført af verdens biodiversitet, og medlem af Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), som er en organisation, der sekretariatsbetjenes i regi af FN med henblik på at etablere et vidensgrundlag, der internationalt kan være med til at kvalificere politiske beslutninger vedrørende biodiversitet og økosystemer.

LITTERATUR

- Abildlund, A. 2014. 'Den sjette masseuddøen: Jordens liv forsvinder lidt efter lidt.' Videnskab.dk, hentet 20/02/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/den-sjette-masseuddoen-jordens-liv-forsvinder-lidt-efter-lidt>.
- Desai, A. G. m.fl. 2008 'Medicinal plants and cancer chemoprevention', *Current drug metabolism*, 9 (7): 581–591.
- FAO. 2004. 'WHAT IS HAPPENING TO AGROBIODIVERSITY?' FAO, hentet 20/02/20, <http://www.fao.org/3/y5609e/y5609e02.htm>.
- Hawksworth, D. L. og R. Lücking. 2017. 'Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species.' *Microbiology Spectrum* 5 (4).
- Ives, A. og S. Carpenter. 2007. 'Ives AR, Carpenter SR.. Stability and Diversity of Ecosystems.' *Science* 317 (5834): 58–62.
- Keesing, F. m.fl. 2010. 'Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases.' *Nature*, (468): 647–652.
- Milo, Ron m.fl. 2018. 'The biomass distribution on Earth'. *PNAS*, 115 (25): 6506-6511.
- Moeslund, J. E. m.fl. 2019. 'Den danske Rødliste 2019'. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, hentet 20/02/20, www.redlist.au.dk.
- Mora, C., D. P. Tittensor, S. Adl, A. G. B. Simpson, B. Worm. 2011. 'How Many Species Are There on Earth and in the Ocean?', *PLOS Biology*. Public Library of Science, 9 (8)
- Naeem, S. m.fl. 1994. 'Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems.' *Nature*, 368 (6473): 734–737.
- Potts, S. G. m.fl. 2010. 'Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.' *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, hentet 20/02/20, https://ipbes.net/sites/default/files/spm_deliverable_3a_pollination_20170222.pdf.
- Sánchez-Bayo, F. og K. A. G. Wyckhuys. 2019. 'Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers.' *Biological Conservation*, (232): 8–27.
- Skipper, L. 2017. 'Allearter.dk - Status 2016. Oversigt over dansk biodiversitet.' *DanBIF – Danish Biodiversity Information Facility*, hentet 20/02/20, <https://allearter.dk/om-allearter/hvor-mange-arter-i-dk/>.
- Wagner, S. C. 2010. 'Keystone Species.' *Nature Education Knowledge*, 3 (10): 51.
- Wilson, E. O. 1992. *The diversity of life*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press.
- Wind, P. og S. Pihl. 2010. 'Den danske rødliste 2010', Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, hentet 20/02/20, <https://bios.au.dk/raadgivning/natur/redlistframe/roedliste-2010/>.





ERKENDELSE 5

Alt liv har udviklet sig gennem evolution

Livet på Jorden har en historie, der går 3,7-3,8 milliarder år tilbage og har lige siden indgået i et dybt integreret system af biologi, geologi og klima.

Livet har udviklet sig fra en simpel begyndelse til den kompleksitet, vi finder i den levende natur omkring os i dag. Det gælder alt: dyr, planter, alger, svampe, bakterier og arkebakterier. Evolution betyder forandring, ændringer over tid. Biologisk evolution er en proces, der bygger på arvelighed og naturlig selektion. Gener går i arv med små ændringer fra generation til generation. Disse ændringer kan betyde store forandringer, når de sker over rigtig mange generationer. Populationer påvirkes altid af ydre livsbetingelser. Store ændringer i livsvilkår kan medføre store ændringer i nedarvede egenskaber. Her er naturlig selektion den vigtigste mekanisme, der favoriserer fordelagtige træk.

Når arvematerialet videregives til næste generation, kan der også på grund af tilfældigheder ske ændringer, der ikke nødvendigvis er fordelagtige, især i små populationer. Der kan således også være en del tilfældighed i evolutionen. Andre mekanismer spiller også ind i

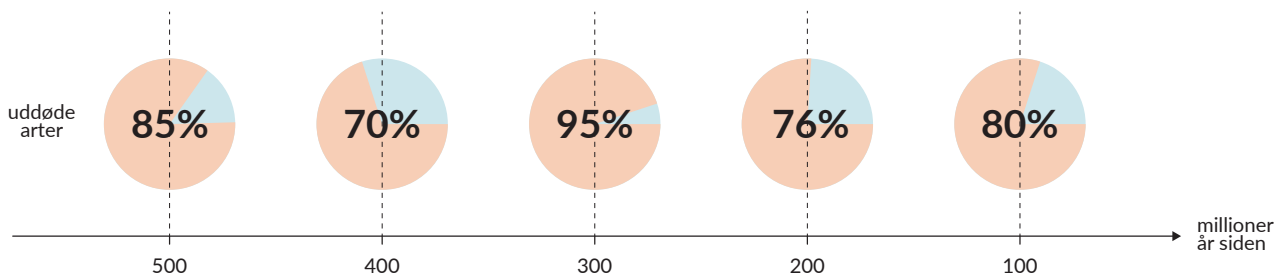
biologisk evolution, og en af de fremtrædende er seksuel selektion, hvor særlige træk, der for individets overlevelse kan være ufordelagtige, kan være afgørende i kampen om den primære parringsret i forbindelse med partnervalg. Her drejer det sig om at fremstå som den mest attraktive partner. To af de mest berømte eksempler er påfuglehanners store halefjer og hanløvers manke (West et al., 2002).

Ved at studere naturen videnskabeligt har vi fået evidens for, at livet gradvist forandrer sig igennem kombinationen af genetisk variation, naturlig selektion og i nyere tid også epigenetik, som betegner ændringer, som kan overføres fra en generation til en anden, uden at det direkte involverer ændringer i den genetiske kode.

Evolutionsteorien er en videnskabelig teori om udvikling af liv. Evolution hjælper os til at forstå livets historie og sammenhænge i naturen. Vi lærer, hvor tæt eller hvor fjernt beslægtede forskellige arter er, og vi får en grundlæggende forståelse af, at mennesket også er en del af naturen.

ERKENDELSE 5

Kernefaglige nedslagspunkter



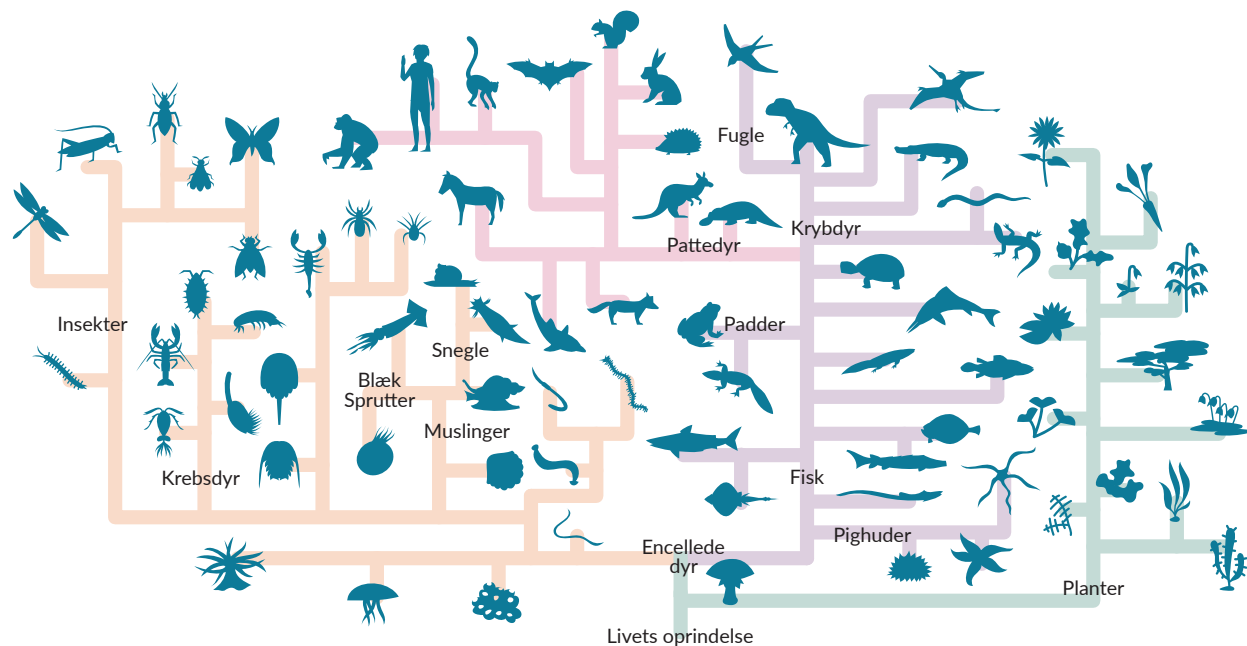
De fem store masseudryddelser af arter spiller en stor rolle i evolutionen.

NATURLIG SELEKTION

Begrebet blev opfundet af Darwin og betegner den grundlæggende mekanisme, der gennemsnitligt favoriserer overlevelsen af de individer, der er bedst tilpasset de givne livsbetingelser ved at have særlige nedarvelige træk (Darwin, 1871). Livsbetingelser kan ændre sig gennem eksempelvis klimaforandringer, der gør, at visse træk bliver fordelagtige og dermed favoriseret. Individer med bedre tilpassede egenskaber vil i gennemsnit have en bedre chance for overlevelse og få mest afkom. Afkommet vil udgøre en større og større del af bestanden og dermed få spredt deres arvelige egenskaber. Bestandens egenskaber tilpasses i takt med, at den genetiske sammensætning ændres.

Evolutionære ændringer skyldes også mutationer og tilfældige forskelle i overlevelse og reproduktion. Tilpasning står derfor ikke alene. Naturkatastrofer kan udryd-

de selv de bedst tilpassede individer. Det er sket mange gange i Jordens historie og nogle gange på global skala. Der har været fem eksempler på masseuddøen, hvor hovedparten af alt liv er forsvundet (Jablonski, 2001; Abildlund, 2014). Det skete eksempelvis for omkring 66 millioner år siden, da dinosaurerne og en række andre organismer uddøde som følge af et gigantisk meteornedslag. I dag kan vi se beviser for dette nedslag i de geologiske lag på Stevns Klint (Alvarez, 1980; Milàn, 2017). Den globale katastrofe gav blandt andet plads til flere pattedyr, der bedre kunne udnytte den nye situation. Vi vurderer, at mere end 99 % af alle arter i Jordens historie er uddøde. Livet på kloden i dag repræsenterer altså kun en meget lille del af livets historie. Naturlig selektion har spillet en afgørende rolle i den forbindelse.



Evolutionstræet viser, hvordan de forskellige arter har et fælles udspring.

EVOLUTIONSTRÆER

Der er flere måder at illustrere evolution på. En af de mest udbredte er fylogenetiske træer, der viser slægtskab mellem arter på en intuitiv måde. Darwin var den første til at bruge et træ som metafor for biologisk evolution, der ikke var retningsbestemt. Hans stregtegning fra 1837 er stadig i dag et ikon for evolutionsteorien (Darwin, 1859). Den eneste illustration i førsteudgaven af "Om arternes oprindelse" er også en skematisk tegning af et evolutionært træ. Det blev hurtigt den dominerende måde at illustrere slægtskabsforhold på.

Oprindeligt byggede træerne på ydre karakteristika, særligt hos fossiler og nulevende dyr og planters morfologi. I dag er DNA-studier og genetik en lige så vigtig del af slægtskabsbestemmelse af både levende og endda flere uddøde arter, hvor vi er i stand til at bestemme gammelt DNA. Til grund for enhver slægtskabsbestem-

melse ligger et princip, der klassificerer arter i såkaldte monofyletiske grupper. En monofyletisk gruppe indeholder alle efterkommere af en stamform, og kun disse. Klassen "Mammalia" er et eksempel på en monofyletisk gruppe, som er defineret ved blandt andet forekomst af mælkekirtler, der producerer mælk.

Selvom vi i dag bruger genetik som endnu et redskab til at bestemme og datere slægtskabsforhold, er det kun et fåtal af de mange kendte arter, der er placeret på livets stamtræ, og der er mange faldgruber til fejlbestemmelse. Fylogenetiske træer er vigtige for at skabe overblik. Men de er også vigtige forskningsredskaber. En af de helt store evolutionsteoretiske opgaver er at arbejde hen imod et komplet fylogenetisk slægtskabstræ for alt nulevende og tidligere liv på Jorden.

MENNESKET HAR EN LANG EVOLUTIONSHISTORIE

Vores krop og adfærd er resultatet af millioner års tilpasning til skiftende omgivelser. Vi skal 5-7 millioner år tilbage i tiden for at finde den fælles stamart mellem mennesker og de andre menneskeaber. En længere periode på sandsynligvis flere hundredetusinde år, hvor der stadig var møder, der førte til formerbart afkom, førte til sidst til artsdannelse. Den ene gren af familien blev til chimpanser og bonoboer, vores nærmeste nulevende slægtninge. Vi deler 98,7 % af vores DNA med dem (Gibbons, 1998). Længere ude i familietræet kommer gorillaer og orangutanger. Den anden gren er vores, og alle arter i den kaldes homininer. Her finder vi de uddøde slægtninge, der er tættere i familie med os end med chimpanser og bonoboer. I dag kender vi til mere end 20 homininer.

Tidligere så man vores egen art, Homo sapiens, det vidende menneske, som resultatet af en lineær udviklingshistorie, og man ledte efter 'the missing link': Det fossil, der ville knytte vores evolutionære historie sammen og bevise vores bånd til de taleløse abemennesker. Sådan tænker vi ikke længere. I dag ved vi, at vores egen evolutionshistorie minder meget mere om alle mulige andre arters. Den er lige så rodet, fuld af overraskelser og tilfældigheder som hos andre dyr.

Videnskaben om menneskets historie inkluderer blandt andet arkæologi, palæoantropologi, genetik, geologi, primatologi, klimavidenskab, antropologi, adfærdsforskning, lingvistik og historie.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

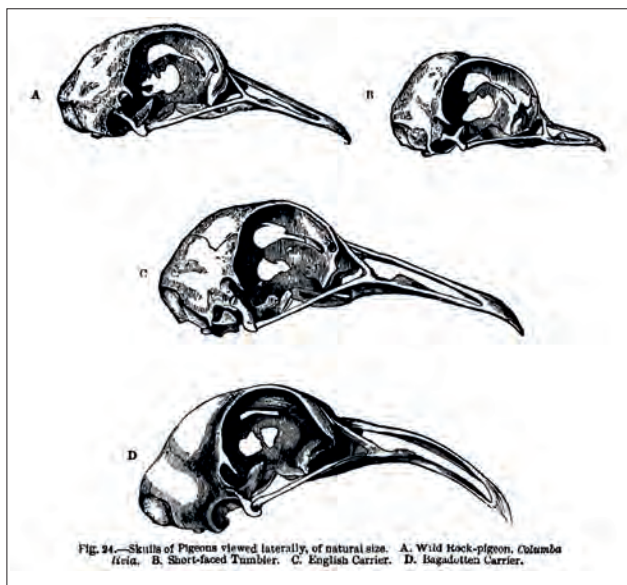
- Hovedbegivenheder i livets historie
- Artsdannelse
- Seksuel selektion
- Tilpasning
- Samspil ml. biologi, geologi og klima
- Dateringsmetoder
- Bevidsthed og kommunikation
- Konvergens
- Epigenetik
- Genetiske mutationers rolle i sundhed
- Den sjette masseuddøen

ERKENDELSE 5

Cases

DARWIN OG ARTERNES OPRINDELSE

Vi forbinder i dag evolutionsteorien med offentliggørelsen af Charles Darwins "Om arternes oprindelse" fra 1859. Men i virkeligheden blev teorien offentliggjort året før, uden at Darwin var forberedt på det. Der var nemlig en anden, der havde fået samme ide. Febersyg af malaria var den unge britiske naturhistoriker Alfred Russel Wallace i 1858 under en ekspedition til Indonesien og Malaysia nået frem til samme konklusion som Darwin: At arterne udviklede sig gennem en kamp for tilværelsen, hvor den bedst tilpassede havde bedst overlevelses-



Darwin understøttede evolutionsteorien med studier af fuglekranier. (Om arternes oprindelse, Charles Darwin, 1859)

chance. Wallace skrev hastigt sine tanker ned og sendte dem til Darwin i England. Darwin var fuldstændig paf og skrev til sin gode ven geologen Charles Lyell: "Al min originalitet, hvad den end måtte bestå i, er nu ødelagt."

Allerede i 1842 havde Darwin nedskrevet grundtrækkene i sin teori om arternes udvikling gennem naturlig selektion, men holdt kortene tæt ind til kroppen. Han havde jævnligt drøftet det med gode venner, men ønskede ikke at offentliggøre teorien, før han fik tid til at skrive et flerbindsværk om evolution. Det nåede han aldrig. Med Wallaces brev var problemet for Darwin nu at finde ud af, hvordan han kunne redde sin ære og samtidig sikre, at Wallace blev ordentligt behandlet. En plan blev lagt sammen med Lyell og botanikeren Joseph Dalton Hooker. På et møde i Linnean Society i London 1. juli 1858 blev Darwins oprindelige, men ikke-offentliggjorte manuskript læst op sammen med Wallaces manuskript.

Hverken Darwin eller Wallace var til stede. Wallace var oven i købet ikke engang klar over, at begivenheden fandt sted. Begge fik æren for opdagelsen – men alle kunne se, at Darwin havde fået ideen først. Darwin og Wallace forblev venner. Derefter fik Darwin travlt med at skrive 'en kort sammenfatning'. Det blev til den bog, vi i dag kender som "Om arternes oprindelse". Darwin sørgede selv for, at Wallace fik et eksemplar. Bogen ændrede synet på naturen og os selv.



Chimpanser bruger redskaber for at få termitter ud af et termitbo.

DYR BRUGER REDSKABER

I 1960'erne mente man, at redskabsbrug var et unikt menneskeligt træk. Man fandt resterne af en ny menneskeart med en smule større hjerne end chimpanser og klare tegn på oprejst gang i Olduvai Gorge i Tanzania (Leakey et al., 1964). De blev dateret til at være knap 1,8 millioner år gamle. Samme sted havde man også fundet en mængde stenredskaber. Det fik forskerne til at erklære det for det første rigtige menneske, og de gav det slægts- og artsnavnet *Homo habilis*. Det var netop redskabsbrugen, der overbeviste forskerne om at opkvalificere den fossile art til at tilhøre vores egen slægt, *Homo*. Begejstringen var stor, og der blev endda spekuleret om primitivt sprog hos *habilis*. Men det viste sig i løbet af kort tid, at fantasien om det unikt menneskelige defineret ved redskabsbrug ikke holdt. Redskabsbrug

blev snart observeret hos chimpanser. Det var den unge britiske kvinde, Janes Goodall, der gjorde den opdagelse, og dermed for alvor rykkede ved vores egen selvforståelse (Goodall, 1964). I dag ved vi, at der er mange forskellige dyrearter, der bruger redskaber som teknik til at skaffe vanskeligt tilgængelig føde. Det drejer sig om så forskellige arter som eksempelvis elefanter, bjørne, egern, havoddere og delfiner. Antagelsen fra 1960'erne holdt altså ikke stik, men vores slægtsnavn blev hængende og definerede dermed vores nærmeste fossile familie. Avanceret redskabsbrug, konstruktion af sammensatte redskaber og kulturel tillæring er heller ikke unikt for det moderne menneske. Vores stamarter og familiemedlemmer i Afrika fra før *Homo sapiens* der opstod for omkring 300.000 år siden, drog nytte af det. Og flere nulevende primater gør det stadigvæk. Ligesom os.



Mennesker er ikke den eneste art, hvor bedstemødre har stor betydning for artens overlevelse.

BEDSTEMØDRE

Der er kun få arter, hvor hunnerne lever videre, efter den reproducerbare alder er nået. Vi ser det hos hvaler som spækhuggere, grindehvaler, hvidhvaler, narhvaler, men også hos elefanter, bavianer og naturligvis hos mennesker. I alle tilfælde har bedstemødrene en central social gruppefunktion. Men hvad er egentlig grunden til det?

I evolutionær sammenhæng er en bedstemor en hun, der overlever overgangsalderen. Overgangsalderen hos kvinder sætter for de fleste ind i 45-55-årsalderen. Herefter er det ikke muligt af naturlig vej at sætte flere børn i verden. Evolutionært set har det dog for disse arter vist sig at være en god investering at lade bedstemødrene overleve. Bedstemødre har nemlig kunnet hjælpe gruppen med oplæring af yngre individer, indsamling af føde og i nogle tilfælde oven i købet med at made unger, der endnu ikke kunne tage vare på sig selv. Uden denne hjælp ville omkostningerne ved at sætte flere unger i

verden tæt på hinanden være for store. For vores egen arts vedkommende er den evolutionære hypotese, at hvis overgangsalderen ikke satte en stopper for børneproduktionen, så ville ældre kvinder bare blive ved med at få børn uden at påtage sig bedstemorfunktionen. Det ville have den konsekvens, at børn i langt højere grad ville være direkte afhængige af deres mor. Med en ældre mor ville der også være en højere grad af dødelighed, der ville gå ud over børnene.

Når den ældre mor døde, ville der ikke være nogen til at tage sig af børnene, og de ville også gå til. Fra et evolutionært synspunkt giver det derfor meget mere sikkerhed for større overlevelse i gruppen, hvis den gamle mor bliver bedstemor. Det har også haft en vigtig funktion i forbindelse med at styrke de sociale bånd og videregive erfaringer i gruppen (O'Connell et al., 1999; Hawkes et al., 2017).

ERKENDELSE 5

Vigtige personer for videnskaben

Mary Anning (1799-1847)

Britisk fossilsamler og amatørpalæontolog. Hun fandt nogle af de første og mest spektakulære fossiler fra juratiden på den sydengelske kyst. Som kvinde havde hun ikke adgang til universitetet, men ernærede sig ved at sælge sine fossiler til museer og velhavende samlere. Hendes fund gav et væld af ny viden og var med til at ændre datidens syn på livets historie. Flere af hendes flotteste fossiler er stadig pragteksemplarer i museums-samlinger.

Charles Darwin (1809-1882)

Britisk naturforsker og geolog, som har betydet meget for vores forståelse af livet på Jorden. Med sin bog "Om arternes oprindelse", der udkom i 1859, introducerede Darwin ideen om evolution gennem naturlig selektion for et større publikum. Bag ved teorien lå flere årtiers omhyggeligt arbejde med indsamling af materiale, egne studier og en meget omfattende korrespondance med tidens førende naturforskere.

Julian Huxley (1887-1975)

Britisk evolutionsbiolog og en af de ledende kræfter i den neodarwinistiske syntese, der forenede evolutionslæren med genetik og hermed grundlagde den moderne evolutionsteori. Han var desuden UNESCO's første direktør og medstifter af Verdensnaturfonden.



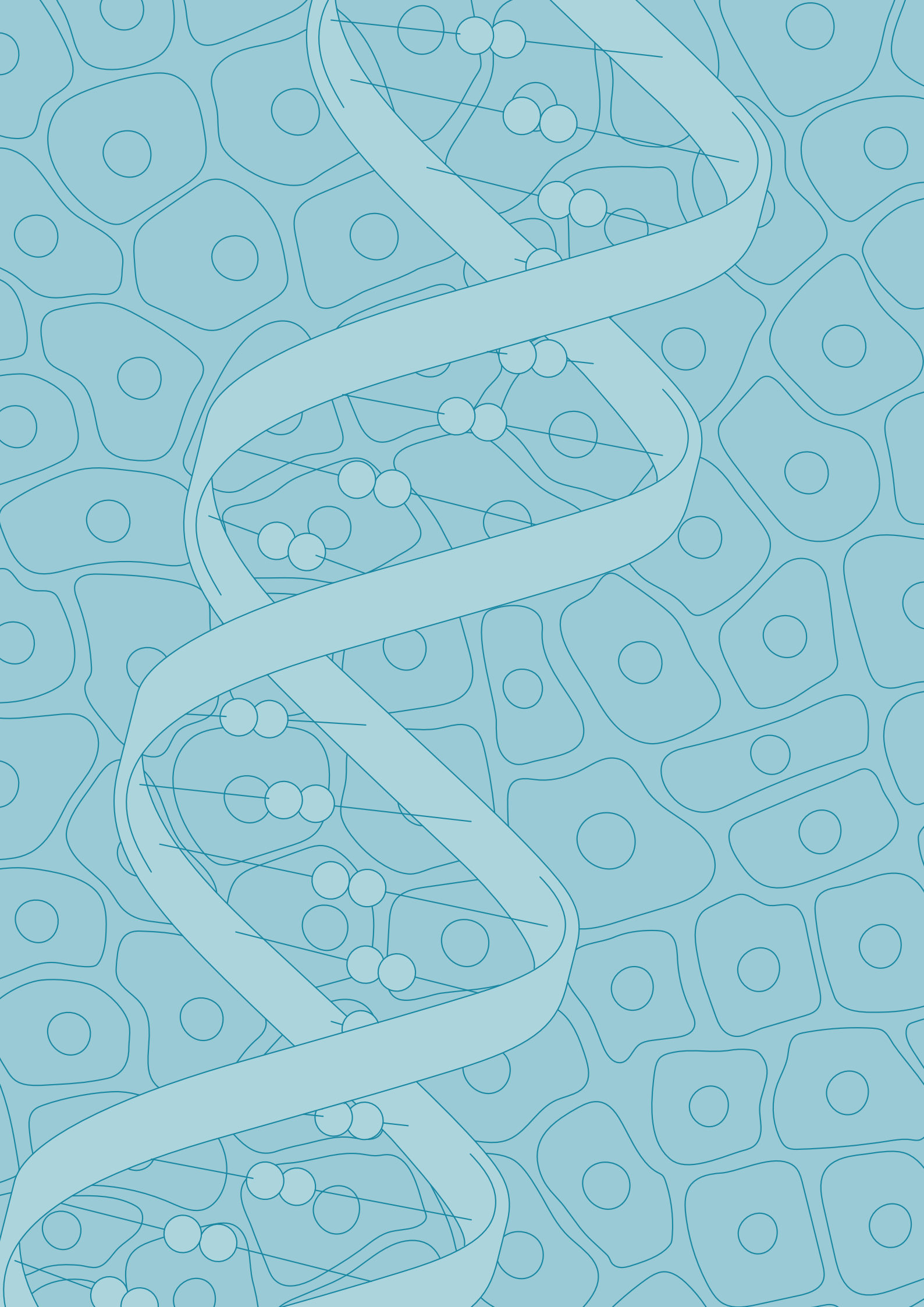
Jane Goodall

Jane Goodall (1934-)

Britisk primatolog og den første til systematisk at studere chimpanser i deres naturlige omgivelser. Hendes arbejde førte til et fuldstændig ændret syn på vores nærmeste nulevende slægtninge og dermed på os selv. Hun har viet sit liv til at kæmpe for naturbevarelse og at skabe positiv forandring for mennesker og natur, blandt andet gennem børneprogrammet Roots & Shoots, der støtter børn og unge i arbejdet for en bedre verden.

LITTERATUR

- Abildlund, A. 2014. 'Den sjette masseuddøen: Jordens liv forsvinder lidt efter lidt.' Videnskab.dk, hentet 20/02/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/den-sjette-masseuddoen-jordens-liv-forsvinder-lidt-efter-lidt>.
- Alvarez, L., W. Alvarez, F. Asaro og H. Michel. 1980. 'Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction.' *Science*, 208 (4448): 1095–1108.
- Bawagan, J. 2019. 'Scientists explore the evolution of animal homosexuality.' *Phys.org*, hentet 20/02/20, <https://phys.org/news/2019-05-scientists-explore-evolution-animal-homosexuality.html>.
- Darwin, C. 1859. *On the origin of the species, or, the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: J. Murray.
- Darwin, C. 1871. *The descent of man : and selection in relation to sex*. London: J. Murray.
- Gibbons, A. 1998. 'Which of Our Genes Make Us Human?', *Science*, 281 (5382): 1432-1434.
- Goodall, J. 1964. 'Tool-Using and Aimed Throwing in a Community of Free-Living Chimpanzees.' *Nature*, (201): 1264–1266.
- Hawkes, K. m.fl. 2017. 'The Grandmother Hypothesis and Human Evolution: An Anthropological Perspective.' i *Adaptation and Human Behavior: An Anthropological Perspective*, N. Chagnon (red.) 237–258. New York: Routledge.
- Hogenboom, M. 2015. 'Are there any homosexual animals?' *BBC earth*, hentet 20/02/20, <http://www.bbc.com/earth/story/20150206-are-there-any-homosexual-animals>.
- Jablonski, D. 2001. 'Lessons from the past: Evolutionary impacts of mass extinctions.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98 (10): 5393-5398.
- Leakey, L. S. B., P. V. Tobias og J. R. Napier. 1964. 'A new species of the genus Homo from Olduvai Gorge.' *Nature*, 202 (4927): 7-9.
- Milàn, J. 2017. 'Fisken i fiskeleret – et gammelt mysterium optrevles.' Videnskab.dk - Forskerzonen, hentet 20/02/20, <https://videnskab.dk/naturvidenskab/fisken-i-fiskeleret-et-gammelt-mysterium-optrevles>.
- O'Connell, J. F., K. Hawkes og N. G. B. Jones. 1999. 'Grandmothering and the evolution of homo erectus', *Journal of Human Evolution*, 36 (5): 461–485.
- West, P. M. og C. Packer. 2002. 'Sexual Selection, Temperature, and the Lion's Mane', *Science*, 297 (5585): 1339-1343.



ERKENDELSE 6

Organismer består af celler – generne i dem kan både nedarves og ændres

Livet på Jorden rummer mange forskellige organismer. Hovedgrupperne er eukaryoter (dyr, planter, svampe, alger) og prokaryoter (bakterier, arke-bakterier). Variationen er enorm. Alle levende organismer består af en eller flere celler. Nogle celler er meget specialiserede, og antallet af specialiserede celler er meget stort. Det gælder især for komplekse arter som de højere dyrearter og mennesker. Celler indeholder mange forskellige molekyler, som er organiserede i systemer og kommunikerer med hinanden.

Cellerne indeholder også genmaterialet, altså koden for hvordan vi hver især kan udvikle os. Den genetiske kode er gemt i et langt molekyle (DNA) bestående af nogle få små molekyler. Genmaterialet danner koden for cellens proteiner, og proteiner spiller en afgørende rolle i alle levende organismer og i opbygningen af celler. Proteiner er store molekyler bygget op af små molekyler (aminosyrer). Proteiner kan være hormoner, enzymer eller antistoffer og udføre specialiserede opgaver i celler eller organismer.

Organismers opbygning, med celler og gener, rummer kilden til at forstå biologien i alt liv på Jorden, vores egne kroppe, vores hjerner, sundhed og sygdom. Derfor er studiet af dette felt så spændende og vigtigt. Kemi er også en vigtig del af alle kroppens funktioner. Cellens stofskifte består af kemiske processer, og rigtig mange af de processer, der foregår inde i celler, er kemiske processer, som enzymer sætter i gang.

Videnskaben har studeret organismer i hundredvis af år. Celler og gener har været studeret i årtier, og vi lærer hele tiden nyt om organismers opbygning, som ofte viser sig at være mere kompleks, end vi troede. Mere viden kan muligvis føre til opdagelser, der kan redde arter, give en forståelse af, hvorfor eller forhindre, at flere uddør. Desuden har både dyr, bakterier, svampe, alger og planter organer eller funktioner, der kan bruges til teknologiske formål. For eksempel kan man producere unikke antistoffer i hønseæg, og den anderledes opbygning af antistoffer hos hajer og kameler kan måske inspirere til nye lægemidler (Zielonka et al., 2015; Jank et al., 2019).

ERKENDELSE 6

Kernefaglige nedslagspunkter



Forskning i Zebrafisks gener ved National Human Genome Research Institute, Maryland, USA.

ARVEMATERIALE

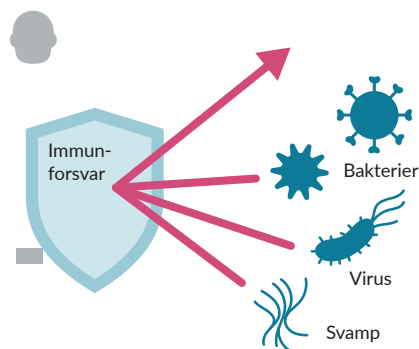
Erkendelsen af, hvordan vores arvemateriale, altså DNA og kromosomer, ser ud og fungerer, har været en lang videnskabelig rejse. DNA og kromosomer indeholder den genetiske information. Den menneskelige krop indeholder 23 kromosomer, som nedarves til senere generationer.

Rejsen går fra Gregor Mendels studier i arvelighed i midten af 1800-tallet (Mendel, 2016; van Dijk et al., 2018) til Kossels opdagelse af, at arvematerialet i kernen i cellerne består af fire baser (Jones, 1953). Den opdagelse gav Kossel Nobelprisen i medicin i 1910. Den videnskabelige forståelse for DNA tog et stort skridt fremad i begyndelsen af 1950'erne. Her opdagede den amerikanske biolog J. Watson og den engelske fysiker F. Crick, hvordan arvematerialet, altså DNA'et, i cellerne er opbygget (Watson et al., 1953a og 1953b). De beskrev DNA'et som et meget langt molekyle og en dobbelt-spiral med form som en snoet stige, bestående af basepar af nukleotider. Watson og Crick modtog No-

belprisen i medicin i 1962 for opdagelsen. Også Maurice Wilkins var med-modtager af prisen. Der er kilder, som peger på, at Rosalind Franklin burde være blevet anerkendt for opdagelser af DNAs struktur, da hun bidrog med data, som var centrale for Watson og Cricks arbejde. Rosalind Franklin døde i 1958, og Nobelprisen gives kun til levende personer. Prisen kan ikke deles mellem flere end tre personer.

Opdagelsen af DNA'ets struktur førte til et intenst internationalt videnskabeligt samarbejde for at kortlægge den fulde genomsekvens hos mennesker. Dette såkaldte "Human Genome Project" gik i gang i 1990 og kortlagde de mere end 20.000 gener, som mennesker har (National Research Council, 1988; Venter et al., 2001; Hingorani et al., 2019; Tam et al., 2019). I 2003 blev kortlægningen erklæret fuldført. I dag er studiet af DNA'et, også kendt som en del af molekylærbiologien, et enormt felt, med både stor videnskabelig og økonomisk interesse.

Sideløbende med udviklingen af forståelsen af



*Immunforsvaret beskytter kroppen mod sygdomme.
(Wolchok, 2018)*

DNA'ets struktur er der også kommet en større forståelse for, hvordan DNA fungerer i praksis, og hvordan genetisk information kan ændres over en generation. Læren om disse ændringer, der kan ske over en generation, kaldes epigenetik (Cavalli et al., 2019). Eksempelvis har man opdaget, at tykke hanrotter evt. via deres gener kan gøre deres afkom tykke, selvom hunrotten ikke er tyk og aldrig har været det (Houfflyn et al., 2017).

KROPPENS FORSVARSSYSTEMER

Immunsystemet er en vigtig del af komplekse organismers forsvarsmekanisme mod udefrakommende trusler i form af for eksempel bakterier og virus. Immunsystemets celler, såsom de hvide blodlegemer og lymfesystemet, er fordelt over hele kroppen, i organer såvel som blod.

Immunsystemet er både en hjælper og en fjende. Immunsystemet fungerer som et forsvar mod infektionssygdomme, og ofte kan immunsystemet bekæmpe lette infektioner. På den anden side, når immunsystemet angriber organismens egne celler, organer og funktioner, bliver det en fjende, som kan føre til de såkaldte auto-immune sygdomme. En velkendt auto-immun sygdom er type 1-diabetes, hvor den endogene produktion af insulin ødelægges af kroppens eget immunsystem.

En del grundlæggende viden om immunsystemet er frembragt af blandt andre den danske Nobelprisvinder Niels K. Jerne, og der forskes stadig meget i forståelsen af immunsystemet. En del af denne forskning handler

FORSKNING I IMMUNTERAPI

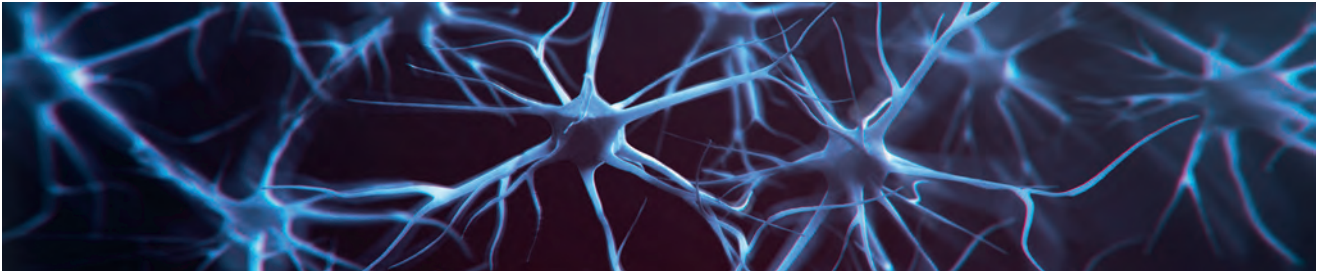
I 2018 gik Nobelprisen i medicin til J.P. Allison og T. Honjo for deres forskning i immunterapi og deres bidrag til forståelsen af principperne for, hvordan kroppens eget immunsystem kan bekæmpe cancer.

om såkaldt immunterapi, der kan bruges til at behandle, eller i nogle tilfælde kurere, sygdomme.

Tarmen er også en del af mange organismers forsvarssystem. I menneskers tarme findes op til 1,5 kilo mikroorganismer, svarende til cirka 100 billioner bakterier, altså 10 gange flere end det totale antal af menneskets egne celler. Disse mikroorganismer påvirker hele vores krop, og tarmen er et vigtigt organ for sundheden. Samtidig er det via tarmen, og optagelsen af det vi spiser og drikker, at skadelige stoffer og mikroorganismer kan komme ind og føre til inflammation, betændelse eller forgiftninger.

INFEKTIONSSYGDOMME

En lang række af de sygdomme, der kan ramme os mennesker, er infektionssygdomme. Infektionssygdomme er, når en organisme trænger ind i og angriber en anden organisme. Det kan være i form af virus, bakterier, svampe, amøber eller orm. Overførslen kan ske via luften som ved influenza, via spyt som for 'kysesyge' eller via myg som for malaria. Efter flere hundrede års forskning har videnskaben et godt overblik over, hvilke infektionssygdomme der findes, hvordan de kan bekæmpes, og hvilke man kan udvikle vacciner imod. Når mange mennesker rammes af og hurtigt smittes med infektionssygdomme, kaldes de for en epidemi. Når sygdomme rammer flere lande eller kontinenter, kan der være tale om en pandemi, som den spanske syge var det i årene 1918-20, hvor op imod 50 millioner mennesker døde af sygdommen.



Hjernetransmittere som Dopamin har en central rolle i kommunikationen mellem hjernens celler.

HJERNENS CELLETYPER

Hjernen er det mest komplicerede organ. Hos mennesker indeholder hjernen cirka 100 milliarder neuroner. Neuroner er en celletype i nervesystemet. Den menneskelige hjerne er den mest veludviklede (sammen med de højerestående abearter, og måske også visse marine dyr såsom delfiner), med evner til at indgå i sociale relationer og tillære ny viden. Selvom vi forstår meget om hjernens funktioner, opdages der ofte nye celletyper, netværk og regulerende funktioner. Hjernens celler kommunikerer via hjernetransmittere (kemiske stoffer eller hormonlignende stoffer). En af disse transmittere er dopamin. Dopamin har stor betydning for menneskets opførelse, sundhed og sygdomme. Dopamin er en central komponent af vores belønningssystem i hjernen, og nogle af de mekanismer, der indgår, er de samme, uanset det drejer sig om den glæde, man føler ved at spise ting, man kan lide, eller ved at misbruge narkotika, alkohol eller opnå økonomiske gevinster. Psykologen Daniel Kahneman har fået Nobelprisen (i økonomi) blandt andet for beskrivelser af, hvordan hjernens belønningssystem har betydning for (økonomisk) beslutningstagen (Tversky et al. 1974; Dolan et al., 2008; Loewenstein et al., 2008).

Sygdomme i hjernen kan være meget komplicerede. Det gælder for eksempel for demens, angst og stress, som mest af alt må betegnes som hjernesygdomme, og som alle stiger i hyppighed på grund af blandt andet stigende levealder og øget social kompleksitet. Forståelsen af disse komplekse neurologiske sygdomme kræver intens forskning for at afdække og forklare den stigende hyppighed af dem. Det er essentielt for nutidens samfund at forstå disse sygdomme bedre og belyse, hvordan de kan forhindres og/eller behandles, både for de enkelte berørte, og for at mindske den samlede belastning af vores velfærdssamfund.

LIVSSTILSSYGDOMME

Livsstilssygdomme har eksisteret længe og er i stor stigning. Det gælder eksempelvis fedme og diabetes, som fører til alvorlige følgesygdomme. Rygning påvirker lungerne og vil hos mange senere føre til lungesygdomme, i værste tilfælde lungekræft. Forståelse for matematik og statistik var en essentiel del af at påvise sammenhængen mellem rygning og lungecancer. Denne erkendelse tilskrives Sir Austin Bradford Hill, som udviklede de statistiske modeller, der kunne vise det – problemet var, at næsten alle røg (Doll, 1992).

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Kloning og designer-babyer
- Studiet af genetiske mutationer, som inspiration til ny viden om sygdomme og medicin
- Cancer og immunsystemet som kur mod cancer
- Vaccinernes historie og vigtighed
- Hjernens rolle i overvægt og fedme, en sygdom, der truer folkesundheden og samfundsøkonomien
- Kunstig intelligens og teknologiske hjælpemidler til at diagnosticere og behandle sygdomme
- Skadelige stoffers påvirkning af organismer
- Epidemier og pandemier

ERKENDELSE 6

Cases

ENZYMER PÅ ARBEJDE FOR SAMFUNDET

Enzymer er specialiserede proteiner, som virker som katalysatorer. De kan altså få en proces til at forløbe hurtigere uden selv at blive forbrugt i processen.

Enzymer anvendes teknologisk, hvilket vi for eksempel kender fra vaskemidler, der næsten alle indeholder enzymer. Når vaskemidlerne indeholder enzymer, medfører det, at tøjet kan vaskes rent ved lavere vandtemperaturer og ved anvendelse af en mindre mængde sæbe og færre kemiske tilsætningsstoffer. Da enzymer er proteiner og fuldt nedbrydelige i naturen, er det en væsentlig miljømæssig fordel. Flere virksomheder i Danmark – både etablerede og nystartede - arbejder med teknologiske opfindelser baseret på enzymer.

Mange lægemidler er baseret på, at de enten hæmmer eller aktiverer enzymer. Dette gælder medicin mod HIV, cancer, alvorlige hjertesygdomme og antibiotika. Da HIV/AIDS blev opdaget, som en frygtet sygdom, der slog immunsystemet ned via infektion med HIV-virus, troede man, der aldrig ville kunne findes en kur. Men forskning i de involverede mekanismer har ført til lægemidler, der i kombination effektivt kan behandle HIV, og patienter med HIV dør ikke længere, hvis de har adgang til de rette lægemidler (Ndung'u et al., 2019). Desværre er der stadig store AIDS-epidemier i Afrika, hvor der ikke er adgang til nok medicin. Lægemidlet penicillin virker ved at inhibere et enzym, en peptidase, som er vigtig for opbygningen af cellevæggen, hvorved bakterien forhindres i at formere sig og dør. Før opdagelsen af penicillin



Forskning i nye enzymer foregår i kontrollerede laboratoriemiljøer.

døde mennesker ofte af infektioner, som i dag nemt kan kureres.

Enzymer spiller også en væsentlig rolle i at omdanne afgrøderester, industrielle sidestrømme og organisk affald til produkter med højere værdi. Det kan være fødevaringredienser, foder, hudpleje og kosmetik, det kan være biobaserede produkter, der kan erstatte kemikalier og fossilt producerede materialer som plastik, eller det kan være bioenergi (biogas og i mindre udstrækning bioethanol). Bakterier og svampe bruges til at producere industrielle enzymer.



Vacciner har været afgørende i indsatsen mod de store infektionssygdomme.

LÆGEMIDLER OG VACCINER FORBEDRER VERDENSSUNDHEDEN

Siden starten af 1800-tallet har der været arbejdet med vacciner for at bekæmpe forskellige infektionssygdomme. Antibiotika har været essentielt for at behandle infektionssygdomme, og vacciner har været afgørende i indsatsen mod de store infektionssygdomme. Eksempelvis regnes den tidligere udbredte og meget dødelige koppevirus i dag for udryddet globalt. Det samme forventes at ske med polio inden for en overskuelig årrække.

Udviklingen af penicillin, verdens første antibiotika, startede med en fejl. Videnskabsmanden Alexander Fleming opdagede i 1928, at en mugsvamp havde dræbt de bakterier, der lå nær ved den, og han skrev en artikel om opdagelsen (Fleming, 1929). Historien fik dog først rigtig fart på, da to forskere fra Cambridge, H. Florey og E. Chain, i slutningen af 1930'erne gik i gang med at isolere den aktive substans i denne skimmelsvamp (Chain et al., 1940). Med opdagelsen kom der flere steder i verden, og også i Danmark, fuld gang i en massiv fremstilling af antibiotika. Antibiotika kommer dog med en indbygget risiko, som verden nu for alvor er ved at få øjnene op for. De svampe og bakterier, som antibiotika bekæmper, kan ændre sig hurtigt på grund af deres korte generationstid og derved udvikle resistens. Det er i disse år en særlig udfordring i landbruget, hvor dyrehold ofte har et stort forbrug af antibiotika og derved en større risiko for, at resistente bakterier udvikler sig. Det betyder, at der nu igen er kommet fokus på udvik-

ling af nye former for antibiotika efter en periode med stilstand siden 1960. Samtidig er der nu også fokus på at få udviklet praksis i brugen af antibiotika, således at man forhindrer eller formindsker resistensudvikling.

Mange lægemidler er baseret på hormoner. Det måske mest kendte er insulin til behandling af type 1-diabetes, hvor kroppens produktion af insulin ødelægges af kroppens eget immunsystem. Før 1920 døde patienter med type 1-diabetes, men opdagelsen af hormonet insulin, som førte til Nobelprisen i medicin i 1923, ændrede dette. Prisen blev i første omgang tildelt canadiske Banting og McLeod (Banting et al., 1922; Bliss, 1988), men de delte den med to yderligere personer, Best og Collip. Historien har også et vigtigt dansk islæt, da August og Marie Krogh i 1920 var i USA, hvor han holdt forelæsninger om sin Nobelpris. Under rejsen opsøgte de Banting, fordi Marie Krogh havde type 2-diabetes, og de havde hørt om opdagelsen af insulin. De fik rettighederne til at producere insulin i Skandinavien med hjem, og dette blev starten på en af verdens førende medicinalvirksomheder.

I dag produceres der flere såkaldte biologiske lægemidler i Danmark. De produceres i gær og andre celler. Til diabetes produceres insulin og et andet hormon, GLP-1, som ud over at sænke blodsukkeret, også fører til vægttab og kan forhindre død. Da den mest udbredte form for diabetes, type 2, for en stor del skyldes overvægt og giver følgesygdomme, er disse GLP-1-baserede lægemidler vigtige (Holst et al., 1987; Drucker, 2018).



I fremtiden vil det være meget nemmere at genmodificere fødevarer, så de kan modstå ekstreme klimaforandringer ved hjælp af genmodificeringsværktøjet CRISPR.

CRISPR – ET NYT VÆRKTØJ TIL GENMODIFICERING KAN GIVE BEDRE SUNDHED OG MAD PÅ BORDET

Arbejdet med at modificere gener og dermed tilpasse organismer til forskellige særlige forhold har for nylig fået stor hjælp til opdagelsen af et nyt 'værktøj'. Værktøjet hedder CRISPR, og det handler om, hvordan man klipper og kobler gener sammen. CRISPR er en forkortelse for "Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats" (Jinek et al., 2012; Knott et al., 2018; Doudna, 2019). CRISPR er udviklet ved hjælp af den del af en bakteries genmateriale, der kan kopiere et stykke fremmed DNA fra eksempelvis en virus, der angriber. Det er denne egenskab, som forskere har fundet ud af at bruge, særligt med det protein, der hedder Cas9, og det har skabt stor opmærksomhed. Det giver nemlig mange nye muligheder for at modificere organismer og dermed bidrage til at løse en lang række af de forskellige pro-

blemer, samfundet i dag står over for. Det kan være at gøre afgrøder mere modstandsdygtige over for ekstreme vejrforhold som følge af klimaforandringer, eller det kan være at øge udbyttet på anden vis for at brødføde en stadig stigende befolkning i verden.

Forskerne undersøger lige nu også, om CRISPR kan bruges til at skabe banebrydende, nye behandlinger, hvor man på lang sigt kan forestille sig, at man kan kurere sygdomme, der er baseret på mutationer i gener. I første omgang vil det være alvorlige sygdomme, hvor man fjerner celler fra kroppen og ændrer dem med CRISPR og derefter reintroducerer dem. Sådanne forsøg pågår i kræft og alvorlige blodsygdomme. På længere sigt kan man forestille sig, at man vil overveje CRISPR på en alvorlig sygdom som Huntingtons sygdom, der giver en hurtigt fremskreden demens. Brugen af CRISPR/Cas9 aktualiserer dog også centrale spørgsmål om etik og risikovurdering.

ERKENDELSE 6

Vigtige personer for videnskaben

Gregor Johann Mendel (1822-1884)

Østrigsk munk og pioner inden for arvelighedslære. Han er ophavsmand til Arvelovene, som i dag er kendt som "Mendels love". Mendel var nysgerrig efter at finde ud af, hvordan træk, som for eksempel øjenfarve, nedarves. For at undersøge dette lavede han eksperimenter med ærtebælge. Han beskrev, at hvert karaktertræk kan tilskrives to elementer. Mendel brugte ordet element for det, vi i dag kalder for et gen.

Wilhelm Johannsen (1857-1927)

Dansk plantefysiolog og genetiker. Brugte i 1909 for første gang ordet "gen" som benævnelse for den arvelige enhed, som Mendel kaldte for et element. Han definerede begrebet "ren linje" og viste nødvendigheden af at arbejde med rene linjer i arvelighedsforsøg. Han lavede bl.a. undersøgelser med en ren linje af bønner, hvor han høstede bønnerne, sorterede dem efter størrelse og udsåede de mindste og de største. Bønnerne på de nye planter var dog af forskellig størrelse og med mængdeforhold mellem de enkelte størrelser. Med undersøgelserne bidrog Johannsen med viden om, at selektion for ekstreme størrelser ikke har effekt for afkommet.



August Krogh

August Krogh (1874-1949)

Dansk videnskabsmand, der har haft afgørende betydning for forståelsen af, hvordan ilt kommer ud i muskler gennem små blodårer, der først åbner sig ved fysisk aktivitet. Han modtog en Nobelpris i fysiologi/medicin i 1920. Krogh var en videnskabelig pioner, der rejste ud og også havde øjnene rettet mod industrielle anvendelser. August Krogh var med til at få insulinproduktionen til Danmark. Hans personlige inspiration til dette var, at hans kone Marie, der også var læge, havde diabetes.

Sir Austin Bradford Hill (1897-1991)

Engelsk epidemiolog, der under 1. verdenskrig fik tuberkulose og efterfølgende blev erklæret så invalid, at han ikke fik lov til at fuldføre lægeuddannelsen. Han fik i stedet en uddannelse i økonomi, og det blev hans vej ind i statistik, et område, han har haft overordentlig stor indflydelse på. Han står bag randomiseringsprincippet som metodisk grundlag for kliniske forsøg i sundhedssektoren. Han regnes også som stamfader til forståelsen af, om en association også er kausal, altså om den reelt er årsagen til problemet. Sir Austin Bradford Hill påviste bl.a., at rygning fører til lungekræft.

Niels K. Jerne (1911-1994)

Dansk læge og immunolog, der i 1984 fik Nobelprisen i medicin for sin grundlæggende forskning i det menneskelige immunsystem. Han er krediteret for flere vigtige teorier, og den mest omtalte er hans netværksteori, der beskriver immunsystemet som et komplekst og selvregulerende netværk. Han var inspireret af Darwins tankegang, og kombineret med egne forsøg udtænkte han banebrydende erkendelser, for eksempel at højere organismer er født med en diversitet af antistoffer, og

at antistofferne kan udvikle stærkere binding til fremmedlegemet, jo flere gange det udsættes for det, det såkaldte aviditetsprincip. Han var også den første til at visualisere de celler, der danner antistoffer. Hans opdagelser var så mange, at han regnes for en meget betydelig person inden for immunologi.

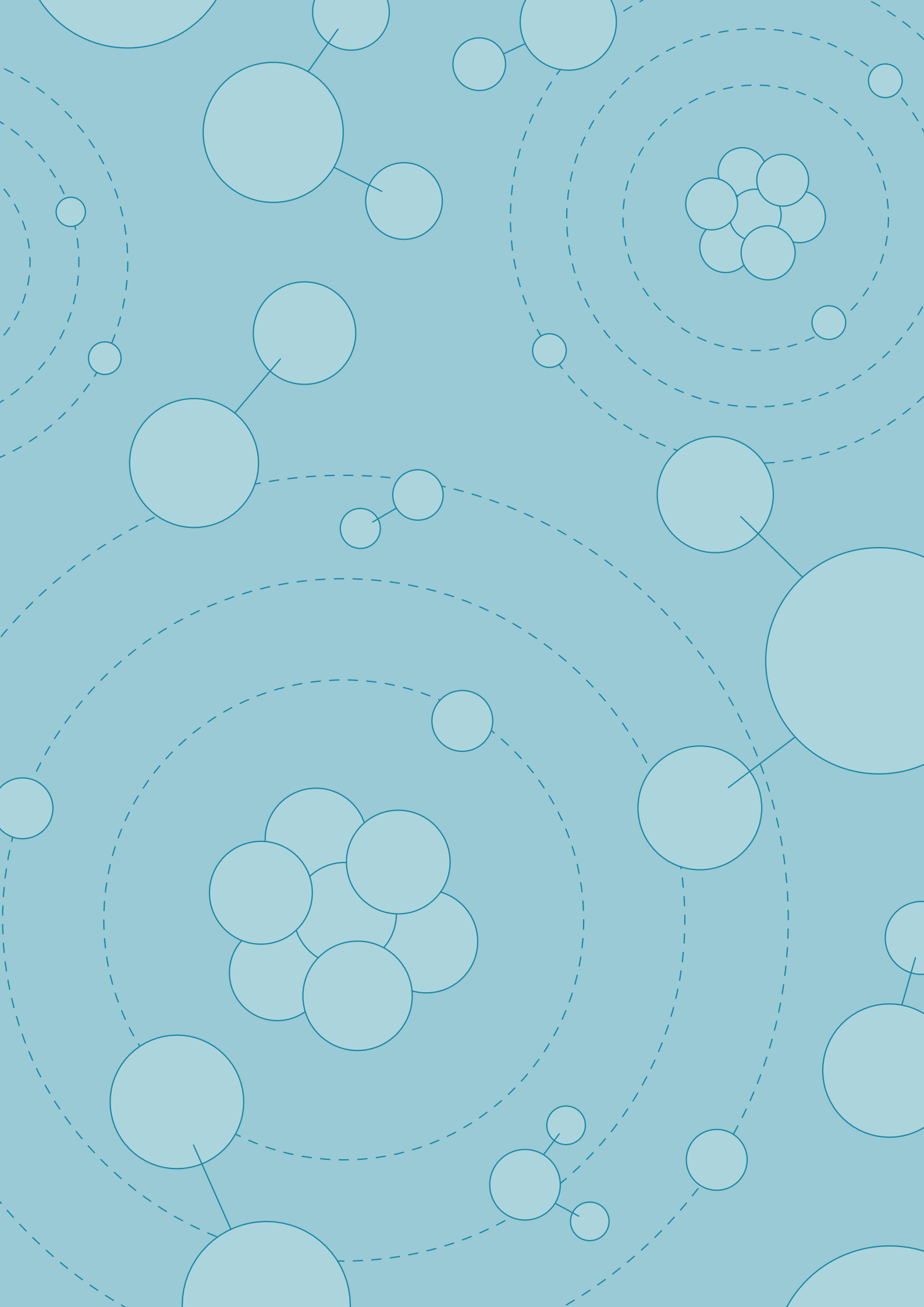
Daniel Kahneman (1934-)

Den israelsk-amerikanske psykolog Daniel Kahneman har fået Nobelprisen i økonomi i 2002 for beskrivelser af, hvordan hjernens belønningssystem influerer (økonomisk) beslutningstagen. Hans forskning har haft betydning for forståelsen af, hvordan mennesker træffer spontane beslutninger. Hans bog "At tænke – hurtigt og langsomt", udgivet i 2011, beskriver arbejdet, der førte til Nobelprisen, men er også en moderne klassiker i videnskabelig tankegang.

LITTERATUR

- Banting, F. G., C. H. Best, J. B. Collip, W. R. Campbell og A. A. Fletcher. 1922. 'Pancreatic Extracts in the Treatment of Diabetes Mellitus.' *Canadian Medical Association Journal*, 12 (3): 141–146.
- Bliss, M. 1988. *Glory Enough for All: The Discovery of Insulin*. McClelland and Stewart.
- Cavalli, G. og E. Heard. 2019. 'Advances in epigenetics link genetics to the environment and disease.' *Nature* (571): 489–499.
- Chain, E. m.fl. 1940. 'PENICILLIN AS A CHEMOTHERAPEUTIC AGENT.' *The Lancet* 236 (6104): 226–228.
- van Dijk, P. J., F. J. Weissing, og T. H. N. Ellis. 2018. 'How Mendel's Interest in Inheritance Grew out of Plant Improvement.' *Genetics* 210 (2): 347–355.
- Dolan, P. and Kahneman, D. 2008. 'Interpretations Of Utility And Their Implications For The Valuation Of Health.' *The Economic Journal* 118 (525): 215–234.
- Doll, R. 1992. 'Sir Austin Bradford Hill And The Progress Of Medical Science.' *BMJ: British Medical Journal* 305 (6868): 1521–1526.
- Doudna, J. 2019. 'CRISPR's unwanted anniversary.' *Science* 366 (6467): 777
- Drucker, D. J. 2018. 'Mechanisms of Action and Therapeutic Application of Glucagon-like Peptide-1.' *Cell Metabolism* 27 (4): 740–756.
- Fleming, A. 1929. 'On the Antibacterial Action of Cultures of a Penicillium, with Special Reference to their Use in the Isolation of B. influenzae.' *The British Journal of Experimental Pathology* 10 (3): 226–236.
- Hingorani, A. m.fl. 2019. 'Improving the odds of drug development success through human genomics: modelling study.' *Scientific Reports*, 9 (18911).
- Holst, J. J., C. Ørskov, O. Vagn Nielsen, T.W. Schwartz. 1987. 'Truncated glucagon-like peptide I, an insulin-releasing hormone from the distal gut.' *FEBS Letters* 211 (2): 169–174.
- Houfflyn, S., Matthys, C. og Soubry, A. 2017. 'Male Obesity: Epigenetic Origin and Effects in Sperm and Offspring.' *Current Molecular Biology Reports* (3): 288–296.
- Jank, L., C. Pinto-Esponosa, Y. Duan, F. Koch-Nolte, T. Magnus og B. Rissiek. 2019. 'Current approaches and future perspectives for nanobodies in stroke diagnostic and therapy.' *Antibodies* 8 (1): 1–17
- Jinek, M. K. Chylinski, I. Fonfara, M. Hauer, J. A. Doudna og E. Charpentier. 2012. 'A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity.' *Science* 337 (6096): 816–821.
- Jones, M. E. 1953. 'Albrecht Kossel, a biographical sketch.' *The Yale Journal of Biology and Medicine* 26 (1): 80–97.
- Knott, G. J. og J. A. Doudna. 2018. 'CRISPR-Cas guides the future of genetic engineering.' *Science* 361 (6405): 866–869.
- Loewenstein, G. og P. A. Ubel. 2008. 'Hedonic adaptation and the role of decision and experience utility in public policy.' *Journal of Public Economics* 92 (8–9): 1795–1810.
- Mendel, G. 2016. 'Experiments on Plant Hybrids (1866) - Translation and commentary by Staffan Müller-Wille and Kersten Hall.' *British Society for the History of Science Translation Series*, hentet 24/02/20, <http://www.bsbs.org.uk/bsbs-translations/mendel>.
- National Research Council. 1988. *Report of the Committee on Mapping and Sequencing the Human Genome*. Washington. DC: The National Academies Press.

- Ndung'u, T., J. M. McCune og S. G. Deeks. 2019. 'Why and where an HIV cure is needed and how it might be achieved.' *Nature* 576 (7787): 397–405.
- Tam, V., N. Patel, M. Turcotte, Y. Bossé, G. Paré og D. Meyre. 2019. 'Benefits and limitations of genome-wide association studies.' *Nature Reviews Genetics* 20 (8): 467–484.
- Tversky, A. og Kahneman, D. 1974. 'Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases.' *Science* 185 (4157): 1124–1131.
- Venter, J. C. m.fl. 2001. 'The sequence of the Human Genome.' *Science* 291 (5507): 1304–1351.
- Watson, J. D. og F. H. C. Crick. 1953a 'Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid.' *Nature* 171 (4361): 964–967.
- Watson, J. D. og F. H. C. Crick. (1953b) 'Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid.' *Nature* 171 (4356): 737–738.
- Wolchok, J. 2018. 'Putting the Immunologic Brakes on Cancer.' *Cell* 175 (6): 1452–1454.
- Zielonka, S., M. Empting, J. Grzeschik, D. Könnig, C.J. Barelle og H. Kolmar. 2015. 'Structural insights and biomedical potential of IgNAR scaffolds from sharks.' *mAbs*. 7 (1): 15-25.



ERKENDELSE 7

Alt i universet er opbygget af små partikler

Forståelsen af makropiske sammenhænge bygger oftest på viden og indsigt i, hvordan de mindste 'byggeklodser' fungerer og vekselvirker: Jagten på ny medicin tager sit afsæt i forståelsen af DNA og celler, og nye, smarte materialer skabes gennem dyb indsigt i deres molekylær- og atomstrukturer.

Når man har fået indsigt i materialers og levende væsners opbygning, kan man forstå, hvor deres funktioner og egenskaber kommer fra. Næste skridt derefter er så at designe nye materialer ud fra de kendte byggesten og endelig at fremstille disse – måske endda atom for atom.

Det er pudsigt at tænke på, at alt i universet er opbygget af de 118 forskellige grundstoffer, der indgår i det periodiske system. Til sammenligning fandtes der i 2018 over 3700 forskellige legoklodser. Grundstofferne er opbygget af atomer, som er byggestenen for levende væsner som mennesker og dyr, for ting, vi bruger i hverdagen, som plastik og metal, og for fjerne stjerner og planeter.

Nogle materialer er rene grundstoffer, det vil sige, at de kun består af én type atom. Det er for eksempel tilfældet for aluminiumsfolie, som kan bruges til at pakke

madvarer ind i, mens kobberledninger og sølv- og guld-smykker kun er næsten rene, da de også indeholder andre grundstoffer, som gør dem mere robuste i brug. Men langt de fleste materialer består af flere slags atomer. Stål, som vi bruger til at lave stærke konstruktioner med, består typisk af en blanding af jern og kulstof samt andre grundstoffer som f.eks. nikkel. Det er blandingsforholdet og måden, det er bearbejdet på under sammenblandingen, der bestemmer, hvor stærkt og hvor bøjeligt det er.

Flere atomer kan også danne større enheder, der kaldes molekyler. Vand (H_2O), nitrogen (N_2), oxygen (O_2) og CO_2 er eksempler på vigtige molekyler i vores hverdag. Det mindste molekyle, vi kender, er brintmolekylet, H_2 , og det er kun 0,12 nanometer. Molekyler kan også være store: For eksempel består DNA-molekylet af hele 204 milliarder atomer i en helt særlig struktur og sammenhæng. De enkelte atomer og deres måde at sidde på bestemmer DNA's funktion. Så vores arvemateriale er kodet ved hjælp af molekyler og atomer. Viden om molekylernes struktur er essentiel, eksempelvis når lægemidler skal designes.

ERKENDELSE 7

Kernefaglige nedslagspunkter



Teorien om Big Bang giver en forklaring på, hvordan universets 'byggeklodser' er opstået.

BIG BANG

En af de mest opsigtsvækkende opdagelser inden for astronomien er observationerne af, at fjerne galakser bevæger sig væk fra os, og erkendelsen af, at universet udvider sig. Dette resultat førte til ideen om et Big Bang, hvor universet, og alt hvad det indeholder, blev skabt, da universet lige efter Big Bang var meget mindre, meget tættere og meget varmere end i dag (Lawther, 2020). Big Bang-teorien fortæller ikke noget om, hvordan eller

hvorfor universet blev til, men kun om hvad der er sket efter Big Bang. Ifølge teorien skete Big Bang for cirka 13,8 mia. år siden. Universet var allerede stort fra det øjeblik, det blev dannet, men var overalt presset tæt sammen, og var derfor overalt ufattelig varmt og tæt. Af ukendte årsager begyndte universet at udvide sig, og det gør det stadig den dag i dag. Det var også med Big Bang, at selve tiden opstod. Tiden, som vi kender den, eksisterede ikke før Big Bang.

Metaller																		Ikke-metaller									
Alkalmimetaller										Overgangsmetaller								Ædelgasser		Halvmetaller							
Jordalkalmimetaller										Postovergangsmetaller								Andre ikke-metaller		Halvmetaller							
Lantanider																		Halvmetaller		Halvmetaller							
Actanider																		Halvmetaller		Halvmetaller							
1	2																	18									
H	He																	2									
3	4																	10									
Li	Be																	Ne	2								
11	12																	18									
Na	Mg																	Ar	3								
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	4									
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54										
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	5									
55	56	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86											
Cs	Ba	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi	Po	At	Rn	6										
87	88	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118											
Fr	Ra	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	7										
		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71											
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Ju											
		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103											
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr											

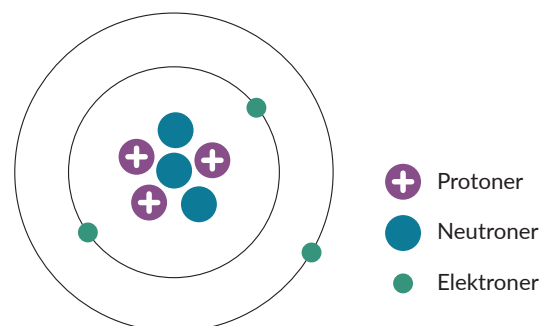
Det periodiske system blev først opstillet af kemikeren Dmitrij Mendeleev.

ATOMER

Grundstofferne blev i 1869 opstillet af Dmitrij Mendeleev i grundstoffernes periodiske system. Dengang kendte man til 63 grundstoffer, i dag kender vi til 118, men der findes ikke 118 forskellige grundstoffer på Jorden i dette øjeblik, da nogle er kunstigt producerede og har meget korte levetider. Forskere er fortsat på jagt efter grundstoffer (Ramskov, 2019). De forskellige grundstoffer er placeret i en struktur – det periodiske system – hvor grundstofferne ordnes efter vægt og egenskaber. Konkret sker nummereringen efter det enkelte grundstofs kerneladning. De er nummereret efter antallet af protoner og arrangeret i rækker, således at grundstoffer, der står under hinanden, har nogenlunde samme egenskaber, når det kommer til at danne bindinger med andre atomer. Atomer består af negative elektroner, som kredser rundt i bestemte baner om en positiv kerne. Denne model opstillede Niels Bohr i 1913 (Wojcik, 2013). I 1932 opdagede man, at atomkerner består af positive protoner og neutrale neutroner. Et neutralt atom har samme antal elektroner, som det har protoner. Et atom, der har afgivet eller optaget en eller flere elektroner, og derved opnået en elektrisk ladning, kaldes en ion. Et grundstof kan forekomme i flere variationer (isotoper),

hvor antallet af protoner er det samme, men der er færre eller flere neutroner. Marie Curie påviste, at et grundstof kan være radioaktivt, det vil sige, at det er ustabil, og ændrer sig (henfalder) til et andet grundstof under udsendelse af stråling (Kragh, 2014).

Elektronen er en elementarpartikel med en hel elementarladning i modsætning til protonen og neutronen, der begge er sammensatte partikler. Vi kalder deres bestanddele for kvarker. To egenskaber gør kvarkerne til noget særligt blandt elementarpartiklerne, nemlig at de ikke kan observeres frit i naturen, og at de bærer en ladning, der ikke er i hele elementarladninger.

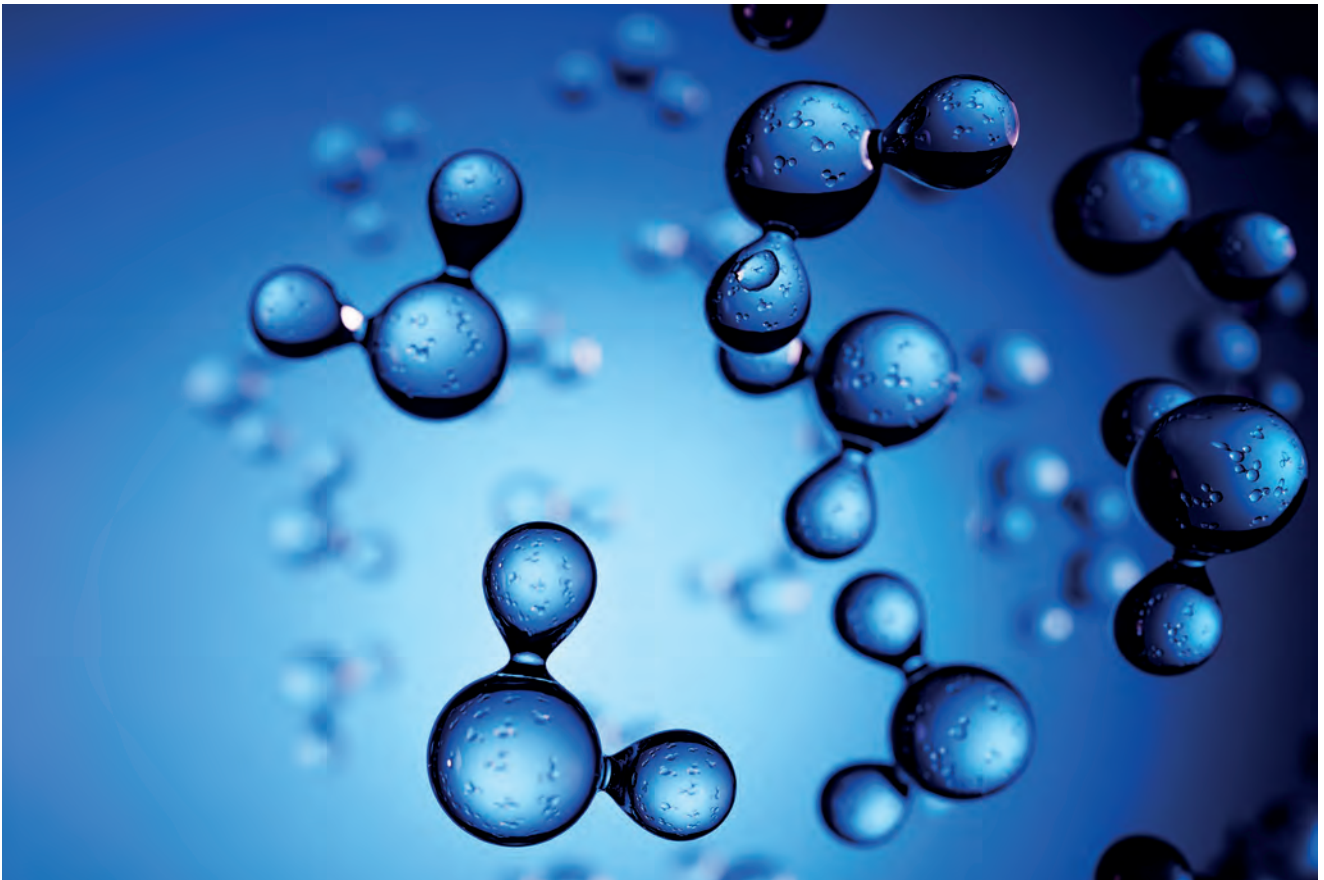


Model af et Lithium-atom.

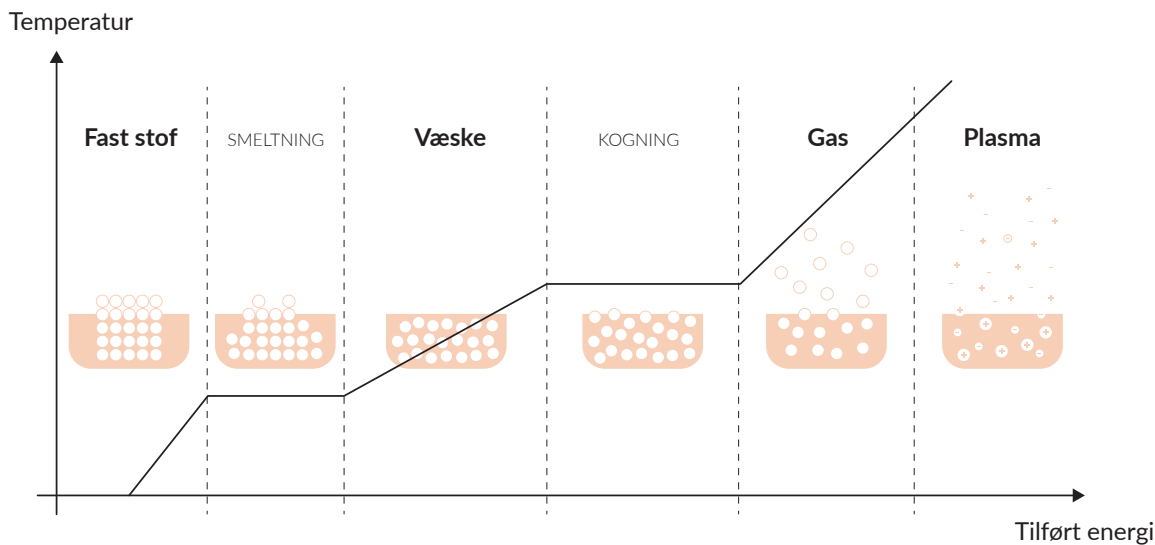
MOLEKYLER

Et molekyle kan bestå af to eller flere atomer. Molekyler kan reagere med hinanden og danne nye molekyler med andre egenskaber. Nogle reaktioner er hurtige, mens andre er langsomme – for nogle reaktioner skal der tilføres energi, mens andre frigiver energi. For rigtig mange kemiske reaktioner er der en energibarriere for reaktionen. En katalysator kan nedsætte reaktions-

barrieren, ved at molekylerne sætter sig på katalysatoroverfladen, og derved svækkes bindingerne internt i molekylerne. Herved har de enkelte atomer eller molekyle-dele nemmere ved at reagere og blive til nye molekyler. Der er katalysatorer både i den kemiske industri og i vores krop. Det er ofte et metal, som er katalysatoren



Et vandmolekyle har den velkendte kemiske formel H_2O .



Grundstoffernes tilstandsformer afhænger af deres temperatur.

TILSTANDSFORMER OG TEMPERATUR

Grundstoffer og blandinger af grundstoffer kan enten være et fast stof, en væske, en gas eller et plasma. Disse fire kaldes forskellige tilstandsformer. Hvis man køler ned, vil en væske omdannes til fast stof, og hvis man varmer op, vil en væske overgå til gasform, og derefter ved meget høje temperaturer til et plasma. Overgangen mellem de forskellige tilstandsformer afhænger af, hvilket grundstof der er tale om. De forskellige tilstandsformer er karakteriseret ved forskellig opførsel for atomerne. I et fast stof sidder atomerne (eller ionerne) i bestemte positioner, i en væske er der mere bevægelse, og i en gas er atomerne (eller molekylerne) helt frie til at bevæge sig rundt. Atomernes fart er et udtryk for temperaturen. Ved plasmatilstande er der så meget energi i systemet, at elektronerne løsriveres, når atomerne støder sammen, og de er således ikke længere bundet til den positive kerne. Temperaturen ved plasma-tilstanden er ekstremt høj, typisk over 100.000 C°. Den laveste temperatur – "det absolutte nulpunkt" – er ved -273,15 C°. Ved den temperatur er der næsten ingen gittersvingninger eller bevægelser af atomerne. Når vi skriver 'næsten', er det fordi, kvantemekanikken og Heisenbergs usikkerhedsprincip kommer i spil (Bjare, 2020). Når en gas af atomer køles til ekstremt lave temperaturer i nærheden af det absolutte nulpunkt, udtværes atomerne. Herved mister

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Alle mennesker består af genbrugte, gamle atomer
- Materialers opbygning af molekyler og atomer
- Makromolekyler / DNA
- Syre/base
- Fusion/fission – radioaktivt henfald
- Tilstandsformer – fasediagram
- Standardmodellen
- Søgen efter Higgs-partikel

de deres identitet og smelter sammen til ét stort superatom kaldet et Bose-Einstein-kondensat. Det var gennem et Bose-Einstein-kondensat, at det lykkedes den danske fysiker Lene Hau først at bremse lysets hastighed ned til få meter pr. sekund og senere helt at stoppe lyset (Brix, 2014). Lysets hastighed er normalt 300.000.000 m/s i vakuum.

ERKENDELSE 7

Cases

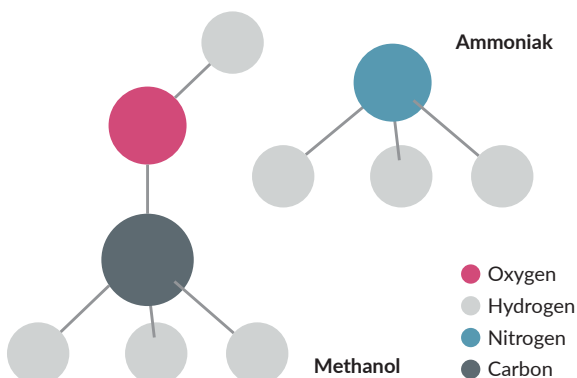
FRA DET GAMLE GRÆKENLAND TIL NUTIDIG KVANTEMEKANIK

Filosoffen Demokrit (460-370 f.Kr.) menes at være den første, som fremsatte en teori om, at verden består af en masse små dele, som han kaldte atomos. Han postulerede, at atomerne udførte mekaniske bevægelser, at de hang sammen ved hjælp af kroge, og at de havde forskellige størrelser og omkredse.

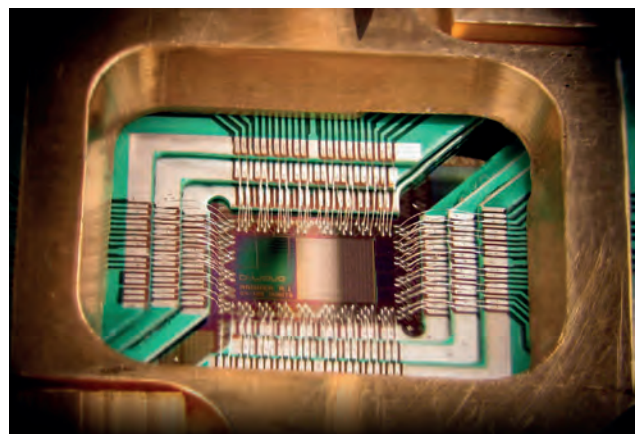
I 1803 gjorde den britiske kemiker John Dalton en opsigtsvækkende opdagelse. Han havde studeret atomteorien, og det lykkedes ham ved hjælp af forskellige eksperimenter at finde et system i atomerne. Han regnede ud, hvor mange slags af hvilke atomer der skulle til for at danne bestemte molekyler. Bohrs atommodel (Andersen et al., 2020) repræsenterer et mellemstadium mellem en klassisk elektrodynamisk og en moderne kvantemekanisk beskrivelse af brintatomet, som fysikeren Schrödinger blandt andet bidrog til (Kragh, 2014; Mølmer, 2014). Kvantemekanikken beskæftiger sig også med partikler, der er mindre end atomer. Nede i de helt

små størrelsesordener ændrer de fysiske love sig, og der kræves derfor en særlig videnskab for at kunne beskrive elementarpartiklerne – de fysiske byggesten, som alle universets atomer består af. Det forunderlige ved kvantemekanikken, som ofte også gør den svær at forstå, er, at partikler har mulighed for i en abstrakt forstand at være to steder på samme tid, eller som fysikere ofte formulerer det, at være i to kvantemekaniske tilstande på samme tid.

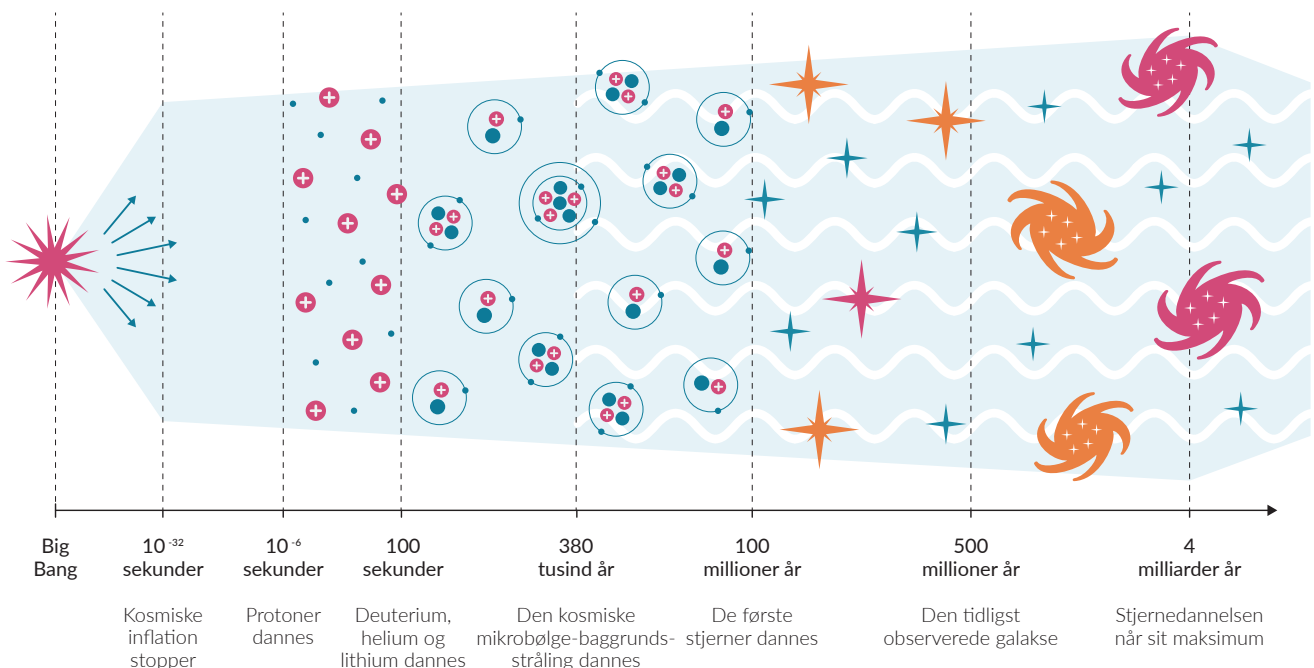
I fremtiden håber forskerne, at kvantemekanikkens love kan udnyttes i kvantecomputere til at klare visse former for beregninger langt mere effektivt, end det er muligt med almindelige computere. Mens en almindelig computer bruger bit, som enten kan være 0 eller 1, så regner en kvantecomputer med kvantebit, som kan være 0, 1 eller en kombination af 0 og 1. Derved vil kvantecomputeren i princippet kunne regne på flere talværdier samtidigt og overgå selv de hurtigste konventionelle computere.



Model af to forskellige molekyler.



Chip fra kvantecomputer.



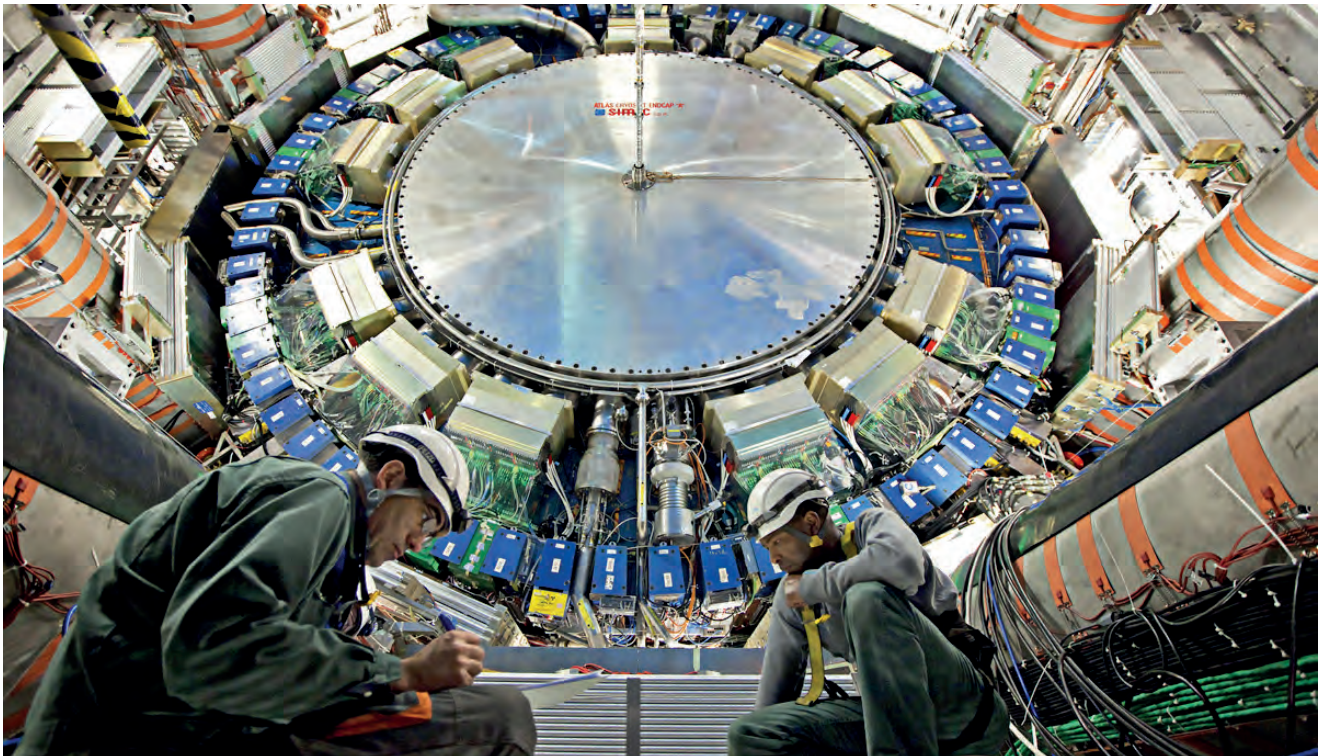
Opdagelsen af baggrundsstrålingen var stærkt medvirkende til, at big bang-teorien blev alment accepteret som standardteorien for universets tilbliven.

DEN KOSMISKE BAGGRUNDSSTRÅLING

Lige efter Big Bang så universet helt anderledes ud end i dag. Dengang var både tryk og temperatur så ekstremt høje, da universet jo overalt var presset så tæt sammen, at kvarker, de partikler, protoner og neutroner er bygget op af, svævede frit omkring. Efterhånden som universet udvidede sig, blev det koldere, og kvarkerne fandt sammen i protoner og neutroner. Da universet var kølet ned til omkring 3.000 C° , dannedes de letteste grundstoffer hydrogen og helium, som i dag er det, der er mest af i universet. De tungere grundstoffer er alle dannet senere inde i stjernerne og spredt til resten af universet gennem supernovaeksplosioner. Stort set alt, hvad der findes på Jorden, inklusive os selv, er dermed skabt af

stjernestof. Som den amerikanske astronom Carl Sagan har formuleret det: "Kvælstof i vores DNA, kalk i vores tænder, jern i vores blod, kulstof i vores æblekager blev lavet i det indre af sammenbrudte stjerner. Vi er lavet af stjernestoffer." (Sagan, 1980). Vi kan stadigvæk i dag 'se' tilbage til tiden lige efter Big Bang.

Ved et tilfælde opdagede de to amerikanske fysikere A.A. Penzias og R.W. Wilson i 1965 den kosmiske baggrundsstråling, som består af fotoner fra cirka 380.000 år efter Big Bang. Det var stærkt medvirkende til, at Big Bang-teorien blev alment accepteret som standardteorien for universet, og de to fysikere fik i 1978 Nobelprisen i fysik for opdagelsen (Nobel Media AB, 2020).



Atlas-detektoren, som er del af den 27 km lange partikelaccelerator LHC ved CERN.

CERN – KÆMPE FORSKNINGSCENTER TIL STUDIET AF DET ALLERMINDSTE

Med ønsket om at undersøge naturens mindste byggesten kom også et behov for at bygge laboratoriefaciliteter til at undersøge og efterprøve fysiske modeller. Hvor klassiske fysik-forsøg kan gennemføres med relativt simple opstillinger og instrumenter, kræver eksperimenter inden for partikelfysik anlæg af helt andre dimensioner. Et eksempel på et sådant anlæg er CERN, hvor CERN er en forkortelse for Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – det europæiske center for kerneforskning – og betegner et af verdens største forskningsanlæg.

CERN blev grundlagt i 1954 og befinder sig på grænsen mellem Schweiz og Frankrig og består af over hundrede forskellige eksperimenter. Nogle af de største opdagelser foretaget ved CERN er for eksempel, at anti-hydrogen er et grundstof sammensat udelukkende af anti-partikler. Samt opdagelsen af de tre helt fundamentale partikler kaldet W-partiklen, Z-partiklen og Higgs-partiklen. W- og Z-partiklerne bekræftede den fundamentale kraft, fysikere har døbt den svage kernekraft.

Det mest omtalte eksperiment ved CERN er den 27 kilometer lange partikelaccelerator med forkortelsen LHC (Large Hadron Collider). I ringen kan protoner accelerere op til meget nær lysets hastighed, og ved at støde dem sammen er det muligt at lære om de elementarpartikler, de er opbygget af. Der er fire steder på den store LHC-ring, hvor det er muligt at støde partikler sammen. Hvert sted har sit eget eksperiment til at måle de partikler, der kommer ud af sammenstødene. Det var et af disse, ATLAS-eksperimentet, som Danmark er med i, der var med til at opdage Higgs-partiklen i 2012 (Petersen, 2018).

Higgs-partiklen er speciel, fordi den udgør sidste brik i en samlet model til at beskrive naturens mindste byggesten og kræfter. Modellen kaldes partikelfysikkens standardmodel, og hvis modellen holder, beskriver den de mindste byggesten, naturen består af, og hvordan de vekselvirker med tre af de fire fundamentale kræfter: elektromagnetisme, den stærke og den svage kernekraft. Tyngdekraften er ikke med i modellen, og det er indtil videre et mysterium, hvordan tyngdekraft virker på disse skalaer.



Opfindelsen af internettet har revolutioneret den globale kommunikation.

JAGTEN PÅ INDSIGT I NATUREN REVOLUTIONERER DEN GLOBALE KOMMUNIKATION

Kommunikation er en uundgåelig og uundværlig del af vores liv og påvirker vores levevis og ageren. Gennem Internettet er vi en del af et globalt netværk med international videndeling, kommunikation, handel, nyhedsmedier og sociale medier. Internettet, som vi kender det i dag, opstod som løsning på et behov for hurtig og automatiseret informationsdeling mellem videnskabsfolk på universiteter rundt omkring i verden. Det var den britiske fysiker Tim Berners-Lee, der som ansat ved CERN i 1989 præsenterede ideen om at sammentænke den nye og hurtigt udviklende computerteknologi, datanetværk og hypertext til et kraftfuldt og lettilgængeligt globalt

informationsnetværk, og et par år efter så Internettet dagens lys (Berners-Lee, 2020). Siden da er udviklingen og udbredelsen af vores World Wide Web gået stærkt. Det er imidlertid værd at bemærke, at en tilsvarende historie udspillede sig, da telegrafens i slutningen af det 19. århundrede revolutionerede den globale kommunikation. Allerede i 1833 havde de to tyske fysikere Carl Friedrich Gauss og Wilhelm Eduard Weber udviklet den første funktionelle telegraf, så de via en lang wire gennem byen Göttingen kunne koordinere deres studier af geomagnetisme.

ERKENDELSE 7

Vigtige personer for videnskaben

Dmitrij Ivanovitj Mendelejev (1834–1907)

Russisk kemiker, som startede udviklingen af grundstoffernes periodiske system til klassificering af grundstofferne. I sin tabel efterlod han 'huller': Disse 'hullers' placering i forhold til de da kendte grundstoffer indsnævrede 'søgefeltet' for de kemikere, der ledte efter de da ukendte grundstoffer. Følgelig opdagede man i årene derefter en lang række 'nye' grundstoffer. Grundstoffet mendelevium er opkaldt efter ham.

Marie Skłodowska Curie (1867–1934)

Polsk-fransk fysiker og kemiker, der i 1903, sammen med sin mand, modtog Nobelprisen i fysik for deres arbejde med radioaktivitet. Marie modtog yderligere Nobelprisen i kemi i 1911 for opdagelsen af stofferne Radium og Polonium. Hun fandt på navnet radioaktivitet og udviklede metoder til at isolere radioaktive isotoper. Under 1. verdenskrig opfandt hun mobile røntgenenheder (røntgenambulancer), der kunne hjælpe til ved fronten med hurtigt at give lægerne mulighed for at se, hvad der var galt med deres patient via et røntgenbillede. Efter krigen etablerede hun Radium Institute i Paris, hvor hun forskede i at forstå radioaktivitet og de grundstoffer, som er radioaktive.

Niels Bohr (1885–1962)

Dansk fysiker, der i 1922 modtog Nobelprisen i fysik. Bohr var en ledende kraft i udviklingen af modellen for atomers opbygning, samt i udviklingen af kvantemekanikken og for sine ideer om komplementaritet. Dette dannede en del af grundlaget for at opdage de stærke og de svage kernekraft. I 1921 etablerede han Niels Bohr Institutet i København.



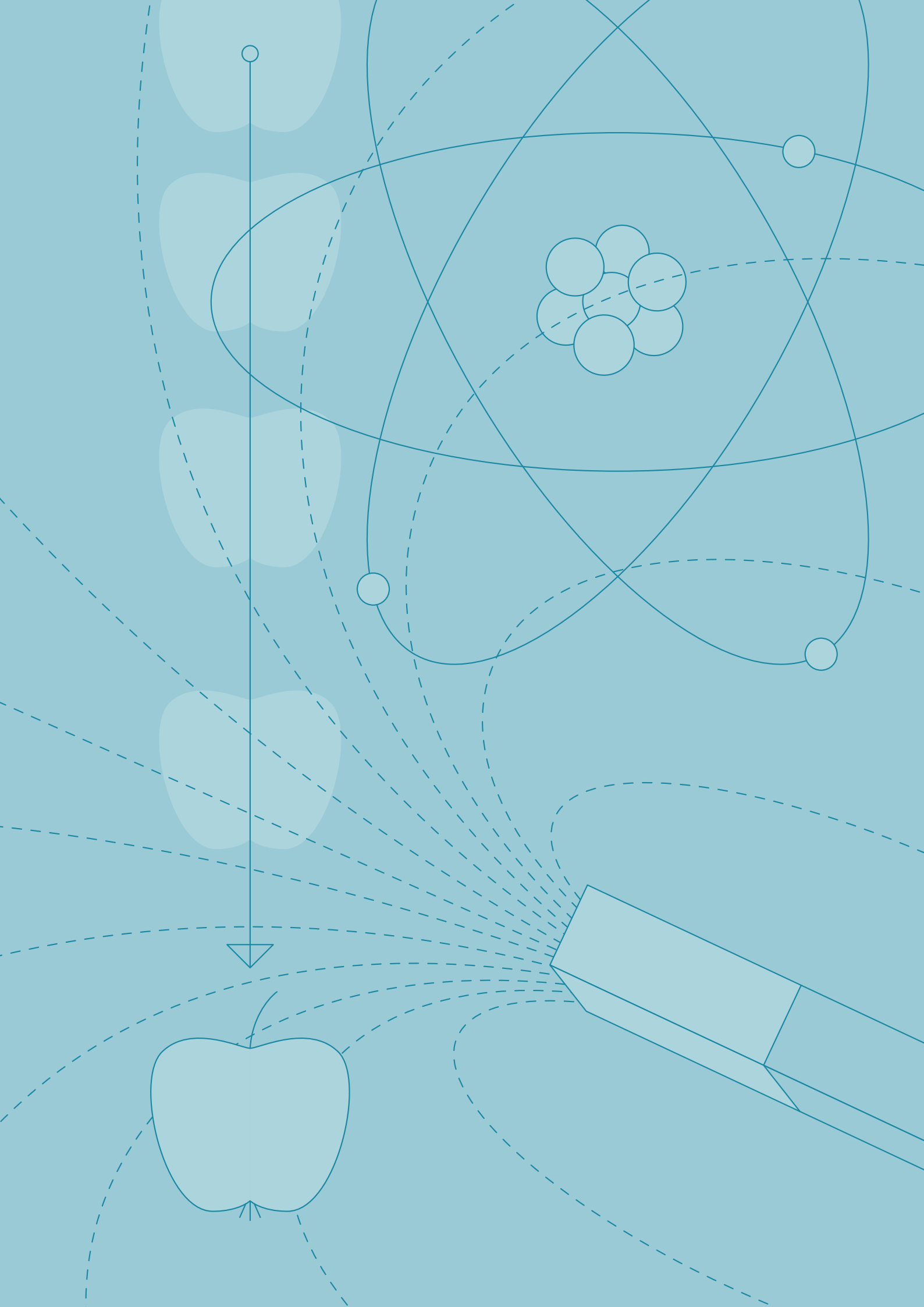
Lene V. Hau

Lene V. Hau (1959–)

Dansk fysiker, der er professor på Harvard Universitet i USA. Hau er især kendt for sit arbejde med at sænke lysets hastighed ved at sende det gennem det ultrakompakte materiale, et såkaldt "Bose-Einstein-kondensat". Hous forsøg viser, at når lyset stoppes, bliver det for et øjeblik omdannet til materiale, der kan flyttes, og så laves til bølge igen, med samme indhold af information. Det giver muligheder for, at opdagelsen kan bruges inden for fiberoptisk kommunikation eller inden for kvantebehandling af information.

LITTERATUR

- Andersen, E. og C. Petresch. 'Bohrs atommodel.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 23/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/b/bohrmodel/>.
- Berners-Lee, T. 'History of the Web, World Wide Web Foundation.' hentet 23/01/20, <https://webfoundation.org/about/vision/history-of-the-web/>.
- Bjare, F. S. R. 'Ubestemthedsrelation.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 23/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/u/ubestemthedsrelation/>.
- Brix, L. 2014. 'Dansk topforsker: Nu kan vi gemme lys i et halvt minut.' Videnskab.dk, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/dansk-topforsker-nu-kan-vi-gemme-lys-i-et-halvt-minut>.
- Kragh, H. 2014. 'Store opdagelser: Den forbavsende radioaktivitet.' Videnskab.dk – Forskerzonen, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-den-forbavsende-radio-aktivitet>.
- Kragh, H. 2014. 'Store opdagelser: Den mageløse kvantemekanik.' Videnskab.dk – Forskerzonen, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-den-magelose-kvantemekanik>].
- Lawther, D. 'Big Bang' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet Københavns Universitet, hentet 23/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/b/bigbang/>.
- Mølmer, K. 2014. 'Kvantemekanikken og universets byggesten.' Videnskab.dk – Forskerzonen, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/kvantemekanikken-og-universets-byggesten>.
- Nobel Media AB. 2020. 'The Nobel Prize in Physics 1978.' NobelPrize.org, hentet 23/01/20, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1978/summary/>.
- Petersen, T. C. 'Higgs-partiklen.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 23/01/20, på <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/h/higgs/>.
- Ramskov, Jens. 2018. 'Jagten er gået ind på grundstof nummer 119', Ingeniøren, hentet 24/02/20, <https://ing.dk/artikel/jagten-gaaet-ind-paa-grundstof-nummer-119-211668>
- Sagan, Carl. 1980. Cosmos. New York: Random House.
- Wojcik, J. 2013. 'Bohrs atommodel holder stadig efter 100 år.' Videnskab.dk, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/bohrs-atommodel-holder-stadig-efter-100-ar>.



ERKENDELSE 8

Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet

Naturkræfter betyder her de grundlæggende kræfter, der står for alle vekselvirkningerne i universet. Dem er der fire af, nemlig tyngdekraft, elektromagnetiske kræfter samt den stærke og den svage kernekraft. De to første oplever vi i hverdagen, hvorimod vi ikke umiddelbart ser de to kernekrafter, da disse virker inden i atomkernerne og derfor kun opleves indirekte. Alle andre kræfter kan beskrives ud fra disse fire fundamentale kræfter.

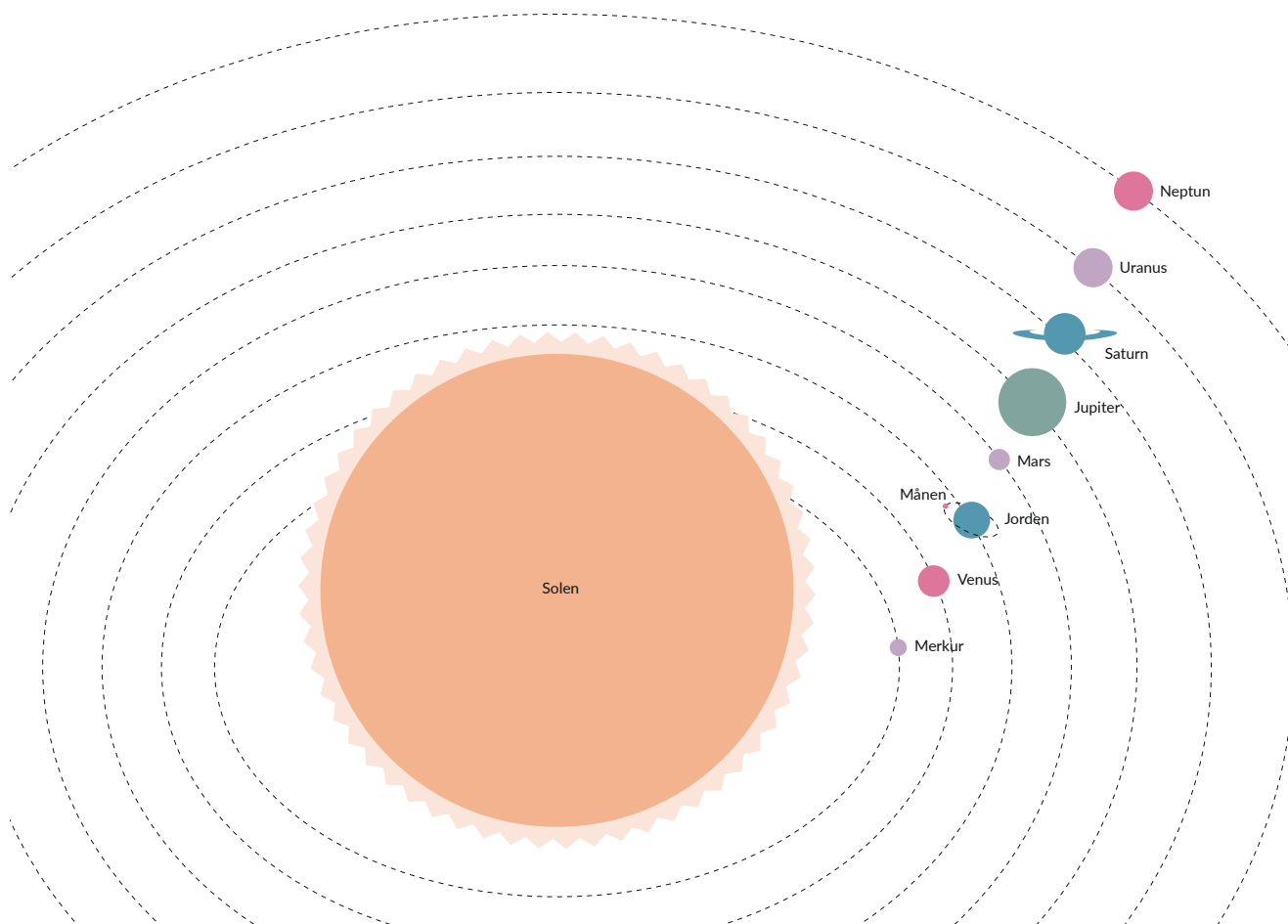
Når man kender til de fire fundamentale naturkræfter, og hvordan de virker i universet, kan det både hjælpe en med at forstå dagligdags begivenheder bedre, som satellitter, strøm fra vindmøller eller atomkraft, men også være en inspiration til at lære mere om teorierne bag Big Bang eller blive klogere på de nyheder, der jævnligt kommer fra forskningsverdenen, for eksempel fra det store forskningsanlæg CERN.

I det daglige bruger vi også ordet "naturkræfter" om for eksempel orkaner eller jordskælv, men hvor disse fænomener er højst foranderlige over året og med klimaforandringerne, er de fundamentale fysiske naturkræfter meget stabile og menes at stamme helt tilbage fra universets opståen med "Big Bang".

Det har været en lang videnskabelig proces for mennesket at identificere (og blive enige om), hvad de fundamentale naturkræfter er, og undervejs har der været mange personer involveret. De har udviklet mange teorier, der senere har vist sig at være forkerte, og der har været rigtig mange diskussioner. Det er ikke sikkert, at de fire fundamentale naturkræfter, vi i dag mener, der findes, er de eneste. Nogle forskere arbejder på at lave én samlet beskrivelse af de nuværende fire erkendte fundamentale naturkræfter.

ERKENDELSE 8

Kernefaglige nedslagspunkter

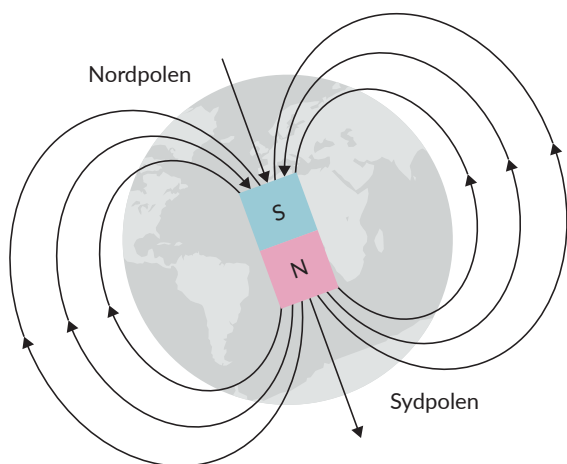


Tyngdekraften holder planeterne fast i deres bane omkring solen og månen fast i dens bane omkring Jorden.

TYNGDEKRAFTEN

Tyngdekraften var den første af de fire fundamentale naturkræfter, der blev formuleret en naturlov for. Det var ikke Isaac Newton, der som sådan opdagede tyngdekraften – det er jo en kraft, som alle på Jorden er vant til at mærke og udnytte – men Newton var den første til at beskrive den matematisk. Newtons teori var i stand til at samle og vise, hvordan tyngdekraften virker overalt

og dermed vise, at teorier, der gælder på Jorden, også gælder i resten af universet. Det er som konsekvens af tyngdekraften, at vi på Jorden oplever tidevand, hvor tyngdekraften fra Månen og Solen påvirker havvandet på Jordens overflade. Det er også tyngdekraften, der holder planeterne i baner rundt om Solen samt holder stjernerne sammen i galakserne.



Jordens magnetiske poler.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Tidevand
- Planeternes bevægelse
- Lys- og radiobølger
- Opsendelse af satellitter og rumsonder
- Ørsteds magnet

DEN ELEKTROMAGNETISKE KRAFT

Den elektromagnetiske kraft er også en kraft, som vi kan mærke i hverdagen. Den handler om sammenhængen mellem elektrisk ladede partikler og magnetfelter. Denne kraft indeholder påvirkningen mellem elektrisk ladede partikler alene – for eksempel når man får stød efter at have gået på et gulvtæppe – og mellem magneter, hvor to nord-poler frastøder hinanden. Når der både er ladninger og magnetfelter til stede, taler man om elektromagnetisme. En elektromagnetisk effekt kan for eksempel opleves, når en kompasnål, som er en magnet, bevæger sig ('slår ud') som resultat af, at en ledning med strøm af ladede partikler føres forbi, som det blev vist af H.C. Ørsted i 1820 (KVANT, 2019; HCØ2020).

Elektromagnetismen er den naturkraft, der er i spil i produktionen af elektricitet, som fremstilles ved at bevæge en magnet forbi en spole af ledninger. Herved opstår (induceres) der en strøm i spolen. På elkraftværker og i vindmøller er det en turbine, der bevæger et antal magneter, som gennem deres bevægelse skaber en strøm. På den måde får vi omformet bevægelsesenergi til elektrisk energi. Jo mere bevægelse, desto mere strøm induceres der, men det gælder også at jo kraftigere en magnet, desto mere strøm. Det er en af grundene til, at der stadig i dag forskes i at lave meget stærke magneter.

DEN STÆRKE OG DEN SVAGE KERNEKRAFT

Tyngdekraften og den elektromagnetiske kraft kan ses og mærkes på afstande og genstande, som vi umiddelbart ser i vores hverdag. Det gælder ikke for den stærke og den svage kernekraft, da de virker på det atomare niveau. I atomkernerne er nukleonerne bundet sammen af den stærke kernekraft, som virker mellem kvarker. På grund af den store mængde energi, der binder nukleonerne sammen, frigøres der meget energi, når tungere atomkerner opsplittes til mindre (fission), eller mindre atomkerner samles til større (fusion). I fissionsanlæg, som ofte kaldes kernekraftanlæg, omdannes meget tunge grundstoffer (ofte uran) til lettere grundstoffer, og overskudsenergien i form af varme kan omdannes til elektricitet. I fusionsanlæg samles lette grundstoffer som hydrogen og deuterium sammen, og herved frigøres der energi, som ligesom ved fission kan omdannes til varme og efterfølgende til elektricitet. Den svage kernekraft giver anledning til radioaktivt henfald, hvor et grundstof med et bestemt antal protoner ændres til et andet grundstof med flere eller færre protoner. Hvad der præcist sker, afhænger af antallet af protoner og neutroner i atomkernen.

ERKENDELSE 8

Cases

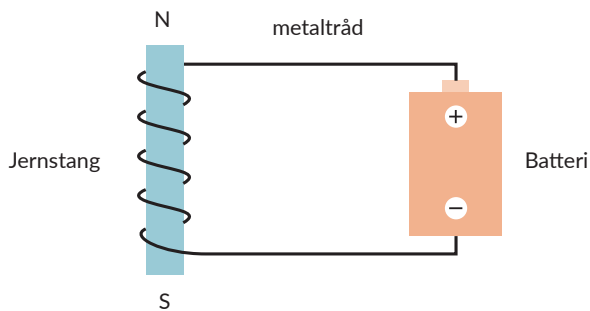


Icecube-laboratoriet på Sydpolen er en enorm partikeldetektor, der befinder sig under jordoverfladen.

OBSERVATORIUM PÅ SYDPOLEN – ICECUBE NEUTRINO OBSERVATORY

Neutrinoer er blandt naturens mest talrige partikler. Deres antal overstiger langt antallet af atomer i hele universet – alligevel ved vi endnu meget lidt om dem. Neutrinoer er en type partikler, som er skabt i Big Bang, og som også produceres i Solens indre og i voldsomme begivenheder såsom supernovaer, eksploderende kæmpestjerner. Jorden bombarderes hele tiden af milliarder af neutrinoer, som farer lige igennem alting på hele kloden, huse, dyr, mennesker – alt. Derfor kaldes de også for 'spøgelsespartikler', fordi de kun yderst sjældent vekselvirker med stof. Men på Sydpolen kan det gigantiske IceCube-eksperiment med et netværk af detektorer registrere, når der sker et sammenstød mellem en neutrino og vandmolekylerne i isen.

IceCube er en enorm partikeldetektor, der er placeret dybt nede i isen på Sydpolen. Instrumenterne i detektoren består af 86 kabler med hver 60 Digitale Optiske Moduler (ekstremt følsomme lys-sensorer). Hvert kabel er ført ned gennem et hul, der er smeltet med et varmtvandsbor gennem den 2,5 km tykke is. Detektoren befinder sig langt nede under overfladen – den begynder 1,5 km nede i isen og ender ved bunden i en dybde af 2,5 km. Forskere fra 44 institutioner i 12 lande er med i det internationale IceCube-projekt (Hansen, 2020; IceCube Neutrino Observatory, 2020). Forskerne leder efter høj-energi-neutrinoer, det vil sige neutrinoer, som er produceret andre steder i universet end lav-energi-neutrinoerne – uden for vores galakse og muligvis under helt andre forhold.



Simpelt forsøg med elektromagnetisme.

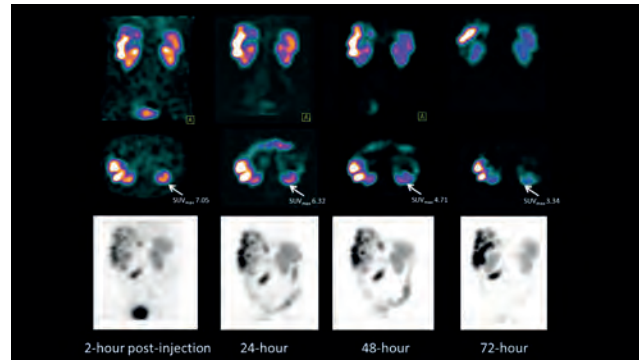
ØRSTEDS OPDAGELSE AF ELEKTROMAGNETISMEN OG MAXWELLS LIGNINGER

Ørsted opdagede i 1820 princippet bag elektromagneter. En elektromagnet virker ved, at en elektrisk ledning, som er viklet rundt og rundt på en spole, skaber et magnetfelt. Senere fandt den engelske videnskabsmand Michael Faraday ud af, at virkningen går begge veje (Kragh, 2014). Det vil sige, at man ved at bevæge en magnet over en ledning kan skabe en elektrisk strøm i ledningen. Det gav Faraday den idé, at man kunne skabe en elektromotor. Endnu senere, i 1865, udgav skotten Maxwell den forklaring, vi i dag kalder elektromagnetismen: Fire matematiske ligninger, der gælder for elektriske og magnetiske felter, og er forudsætningen for Einsteins relativitetsteori (Elbek, 2020; Vedelsby, 2012).

Maxwells ligninger ledte til Heinrich Hertz's opdagelse af elektromagnetiske bølger, herunder radiobølger i 1880 og Guglielmo Marconis opfindelse af radioen i 1890'erne og dermed grundlaget for kommunikation over lange afstande.

Elektromagnetismen er en af de opdagelser, som har ændret menneskers materielle vilkår mest nogensinde. I vore dage skabes næsten al den elektricitet, vi forbruger, ud fra elektromagnetismens regler. Næmlig ved at magneter og ledninger bevæges hurtigt i forhold til hinanden, hvorved en strøm induceres i ledningerne. Det er sådan, vindmøller, kraftværker og bilers generatorer producerer elektricitet.

Elektromagnetiske bølger kan transportere energi, som for eksempel når lys finder vej til Jorden fra fjerne galakser, når mobiltelefonen modtager signaler, og røntgenstråling gennemlyser mennesker.



Levermetastaser optaget i en CT-scanner efter indtagelsen af ¹⁷⁷Lutetium.

NUKLEARMEDICIN

Radioaktivitet kan være skadeligt, da kroppen kan tage skade af bestråling. Men radioaktivitet kan også være nyttigt, for eksempel til at foretage medicinske undersøgelser af kroppen. Dette betegnes nuklear diagnostik. Det foregår ved, at en lille mængde stof sprøjtes ind i kroppen og fordeler sig. Da stoffet henfalder og udsender stråling, kan udbredelsen og ophobningen måles udefra med en slags kamera og gøre lægen i stand til at vurdere funktionen af et organ, væv eller knogle og på den måde opnå indsigt i kroppens funktion.

Et eksempel på et radioaktivt henfald, der bruges medicinsk, er fra den radioaktive isotop fluor (¹⁸F), som omdannes til oxygen (¹⁸O), samtidig med at der udsendes en positiv partikel (en positron), og denne kan måles med en PET-scanner (PET står for Positron Emission Tomografi). Omdannelsen sker med en halveringstid på 109 min, hvilket betyder, at halvdelen af fluor-stoffet er omdannet til ilt efter 109 min. På den måde kan lægerne følge transporten af sporstoffet rundt i kroppen i nogle timer. Et andet meget benyttet radioaktivt sporstof er ⁹⁹Technetium. Stoffet har ingen kendte bivirkninger og er ude af kroppen igen efter cirka et døgn (halveringstiden er seks timer). Den stråledosis, der gives ved nuklearmedicinske undersøgelser, er meget lille og af samme størrelse som ved visse røntgenundersøgelser (Ammundsen, 2017).



Sådan kommer ESS i Lund i Sverige til at tage sig ud, når det står klar i 2023. Det vil da være verdens største neutronkilde. Datamanagement og software-centeret for ESS ligger i København.

EUROPEAN SPALLATION SOURCE - MÅLINGER PÅ ATOMART OG MOLEKYLÆRT NIVEAU

En af Europas største forskningsfaciliteter, ESS, European Spallation Source, som Danmark er meget aktivt med i, tager form på en mark uden for Lund i Sverige. ESS bliver verdens mest avancerede neutronkilde. Som et kæmpestort mikroskop giver den forskere og virksomheder mulighed for at se materialers opbygning helt ned på atomart og molekylært niveau og måle for eksempel deres magnetiske egenskaber. ESS vil således få stor betydning for forståelsen af materialer inden for så forskellige områder som life science, sundhed, energi og informationsteknologi (ESS, 2020).

BIFROST er navnet på et af de første instrumenter, som forskerne får adgang til, når ESS starter sit forskningsprogram i 2023. Instrumentudviklingen ledes af danske forskere, og instrumentet vil særligt blive

anvendt til grundforskning inden for magnetisme og kvantematerialer. Eksperimenterne vil fokusere på at få større viden om, hvordan magnetiske materialer opfører sig, når de er under påvirkning af tryk eller magnetfelter.

Komplekse magnetiske materialer kan være nøglen til at øge effektiviteten af elektronik, der anvendes i IT-sektoren, for eksempel at kunne lagre en større mængde information på mindre plads og med et lavere strømforbrug og til at kunne udvikle stærkere magneter til induktion i turbiner. BIFROST vil også kunne bidrage med ny viden inden for energiområdet, hvor blandt andet grundvidenskabelig forståelse af høj-temperatursuperledere, dvs. materialer, der virker som superledere ved usædvanligt høje temperaturer, er et vigtigt mål, som ville kunne åbne store teknologiske muligheder.

ERKENDELSE 8

Vigtige personer for videnskaben

Isaac Newton (1643–1727)

Engelsk matematiker og fysiker, der blandt andet udgav det store værk "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" i 1687 og etablerede, med både de fysiske teorier og den praktiske matematik, forståelsen af tyngdekraften.

Hans Christian Ørsted (1777-1851)

Dansk forsker, der virkede inden for felter som fysik, kemi og naturfilosofi, og som har haft stor indflydelse på både videnskab og kultur i Danmark, samt er internationalt kendt, særligt for sin opdagelse af sammenhænge mellem elektricitet og magnetisme (1820). Hans opdagelse dannede en del af grundlaget for at forstå elektromagnetismen. Ørsted bidrog desuden med omkring 2.000 nye ord til det danske sprog, for eksempel rumfang, rumklang, brugskunst, autoritetstro, mindretal, tidevand, ilt og brint, og er ophavsmand til begrebet almen dannelse.

James Clerk Maxwell (1831–1879)

Skotsk matematiker og fysiker. Maxwell er især kendt for at have formuleret, og udledt ligninger for, teorien om elektromagnetisme, der samler både elektricitet, magnetisme og lys, der også er elektromagnetisk stråling, i en samlet teori.

Murray Gell-Mann (1929-)

Amerikansk fysiker, der i 1969 fik Nobelprisen i fysik, blandt andet for sit arbejde inden for teoretisk partikelfysik, hvor han opstillede en model for, hvordan elementærpartiklerne kan klassificeres, og hvordan de vekselvirker. Han var med til at foreslå, at for eksempel



Fabiola Gianotti

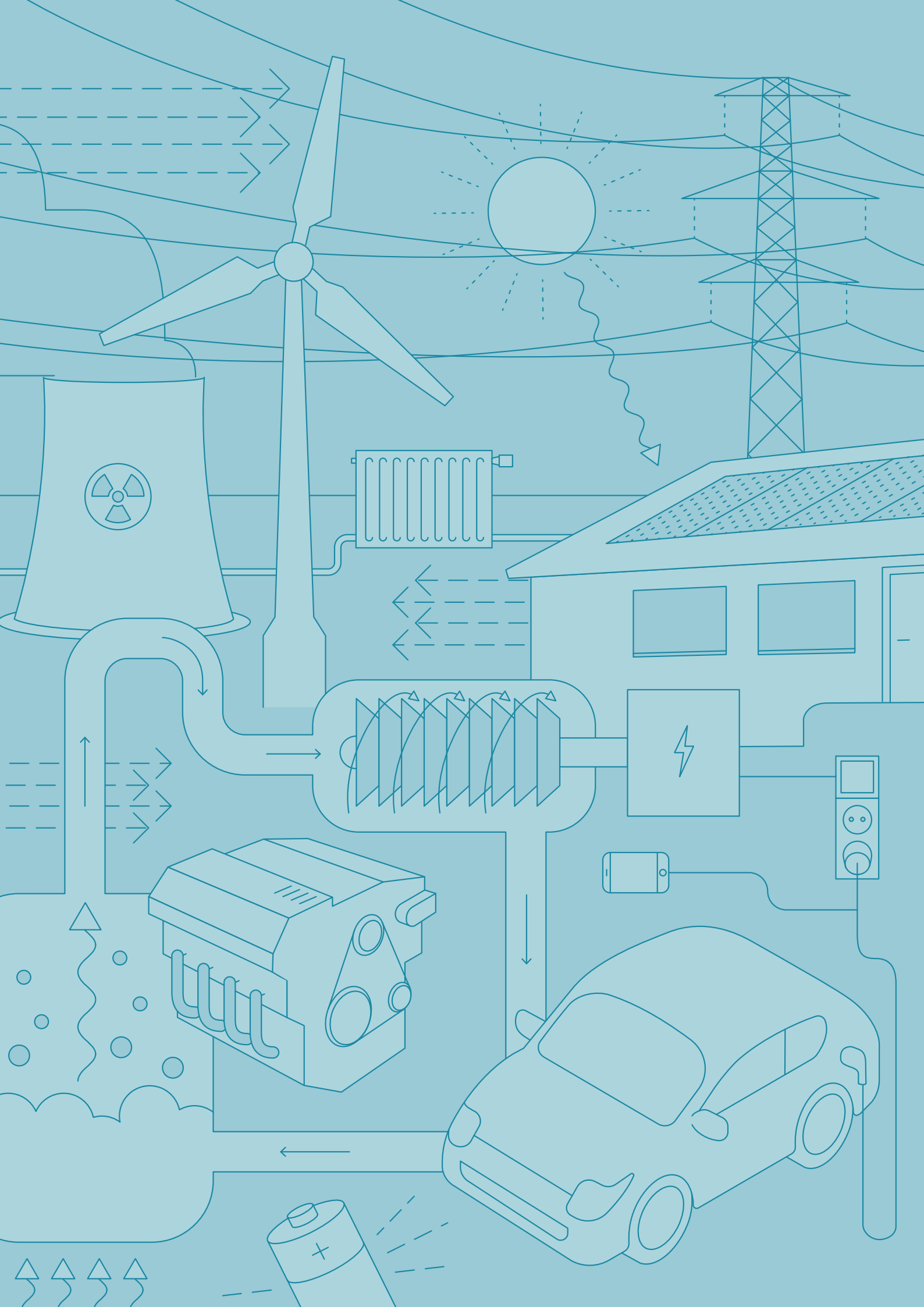
neutroner og protoner er opbygget af kvarker, og at kombinationen af forskellige kvarker giver disse partikler (hadroner) deres forskellige egenskaber. Det var et vigtigt bidrag i forhold til både at forstå de stærke og de svage kernekrafter. Ifølge Gell-Mann fandt han på navnet kvark, da han læste romanen Finnegans Wake af den irske forfatter James Joyce.

Fabiola Gianotti (1960-)

Italiensk fysiker, der havde en central rolle i opdagelsen af Higgs-partiklen med ATLAS eksperimentet på CERN's LHC accelerator. Hun har i flere år været overordnet leder og haft ansvaret for eksperimenterne på alle niveauer. Hun modtog i 2013 Niels Bohr Institutets Æresmedalje for sit virke.

LITTERATUR

- Ammundsen, I. N. 2017. 'PET/CT-scanning.' Kræftens Bekæmpelse, hentet 23/01/20, <https://www.cancer.dk/hjaelp-viden/undersoegelser-for-kraeft/scanninger-billedundersoegelser/pet-ct-scanning/>.
- Elbek, B. 2020. 'Maxwell-ligningerne.' Den Store Danske, Gyldendal, hentet 23/01/20 http://denstoredanske.dk/It_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Elektromagnetisme,_elektron-_og_ionoptik/Maxwell-ligningerne.
- ESS. 2020. 'Science Using Neutrons.' European Spallation Source, hentet 23/01/20, <https://europenspallationsource.se/science-using-neutrons>.
- Gjedde, Albert og O. Hartling. 2020. 'PET-scanning.' Den Store Danske, Gyldendal, hentet 23/01/20, http://denstoredanske.dk/Krop%2c_psyke_og_sundhed/Sundhedsvidenskab/Medicinske_billedteknikker/PET-scanning.
- Hansen, P. H. 2020. 'Neutrinoer.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 23/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/n/neutrinoer/>.
- HCØ2020. 2020. 'Danmark fejrer 200-året for H.C. Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen.' HCØ2020 - 200 år elektromagnetisme, hentet 23/01/20, <https://hco2020.dk/>.
- IceCube Neutrino Observatory. 2020. *University of Wisconsin-Madison*, hentet 23/01/20, <https://icecube.wisc.edu/>. Kragh, H. 2014. 'Store opdagelser: Lys er elektromagnetiske bølger.' Videnskab.dk – Forskerzonen, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-lys-er-elektromagnetiske-bolger>.
- KVANT, 2019. 'Kvant nr. 4 fra 2019.' KVANT - Tidsskrift for Fysik og Astronomi, hentet 23/01/20, <http://www.kvant.dk/issue.php?n=4&y=2019>.
- Vedelsby, J. 2012. 'Maxwell-ligningerne inspirerede Einstein.' Videnskab.dk, hentet 23/01/20, <https://videnskab.dk/verden-pa-formler/maxwell-ligningerne-inspirerede-einstein>.



ERKENDELSE 9

Energien i universet er bevaret, men kan ændres fra en form til en anden

Hvad er energi egentlig, hvor kommer den fra, og hvor bliver den af, når vi har omsat den?

Svarene på disse og andre spørgsmål er umiddelbart nemme at finde i dagligdagen, for der får vi vores energi fra et måltid mad og noget at drikke, og telefonen skal jo bare en tur i stikkontakten, så kan den bruges igen. Men når vi begynder at se på spørgsmålene i en langt bredere sammenhæng, med det helt store perspektiv for universet, og det helt lille perspektiv på atomerne, bliver det hele mere kompliceret, men også virkelig interessant.

Over de sidste par århundreder har naturvidenskaben udviklet nogle grundlæggende forståelser af netop energi og energiens rolle, og det er godt at kende mere til disse forståelser, både for vores dagligdag, men også for at håndtere nuværende og kommende udfordringer i samfundet som klimaforandringer, økonomisk udvikling, fødevarereproduktion osv. Energi er uden tvivl et af de helt fundamentale begreber i naturvidenskaben. Men hvad energi egentlig er, har selv modtagere af Nobelprisen svært ved at svare på. Fysikeren Richard Feynman, der modtog Nobelprisen i 1965, skriver i indledningen til sit verdensberømte lærebogssystem i fysik, at det er en vigtig erkendelse i fysik i dag, at vi ingen viden har om, hvad energi er (Feynman et al., 1963).

Vi ved dog, at alt stof er energi i hvile, at energien manifesterer sig på mange forskellige måder, og at disse forskellige energiformer er indbyrdes relateret gennem forskellige omdannelser, hvoraf flere er universelle, allestedsnærværende og uophørlige. Andre er meget lokale, uregelmæssige og kortvarige. I et system indeholdende energi, vil entropien, der er et mål for graden af uorden eller tilfældighed i systemet, aldrig aftage. Hælder man mælk i en kop kaffe og rører rundt, vil mælk og kaffe blive blandet sammen, og man kan ikke ved at røre 'baglæns' adskille mælk og kaffe igen. Man kan udtrykke det sådan, at hvis et lukket system går fra én ligevægts-tilstand til en anden, kan entropien ikke mindskes. Et lukket system kun kan gå mod større og større uorden.

GRUNDLÆGGENDE ER VORES VIDEN OM ENERGI BASERET PÅ FIRE PRINCIPPER (SMIL, 2017)

- Den samlede energi i universet er konstant
- Energi kan udveksles og transporteres
- Der kan frigives energi i kemiske og biologiske reaktioner
- Energi indgår i nedbrydning af næringsstoffer.



Energiomdannelsesmatrix

Mulige omdannelser af en energiform til en anden.

	ELEKTRO-MAGNETISK	KEMISK & BIOLOGISK	KERNE	TERMISK	KINETISK	ELEKTRISK
ELEKTRO-MAGNETISK		Kemisk luminescens	Kerne våben	Varmestråling	Accelererende ladninger	Elektromagnetisk stråling
KEMISK & BIOLOGISK	Fotosyntese	Kemisk reaktion		Kogning	Dissociation ved radiolyse	Elektrolyse
KERNE	Gamma-neutron reaktioner					
TERMISK		Forbrændning	Fusion Fission	Varmudveksling	Friktion	Resistor opvarmning
KINETISK	Radiometre	Metabolisme	Radioaktivitet Kerne våben	Termisk ekspansion Indre forbrænding	Gear	Elektromotor
ELEKTRISK	Solceller	Brændselsceller Batterier	Kernebatterier	Termoelektricitet	Generatorer	

ERKENDELSE 9

Kernefaglige nedslagspunkter



Damplokomotivet udnyttede termodynamikkens love.

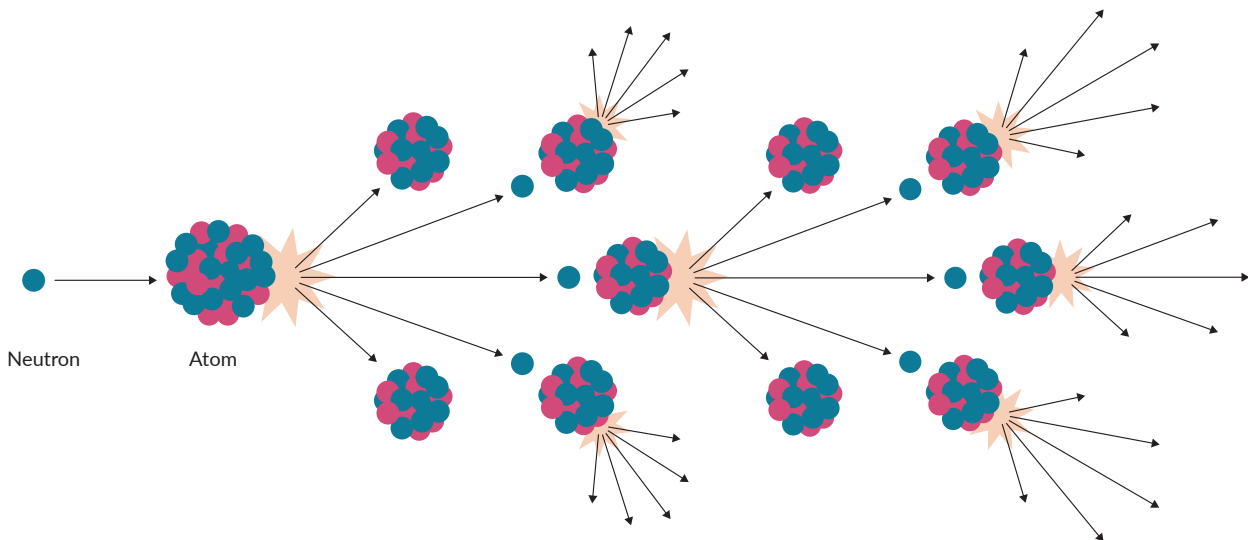
TERMODYNAMIKKEN

Betegnelsen termodynamik indeholder en nøgle til forståelse af energi, da den jo siger, at varme er dynamisk og kan bevæge sig fra et sted til et andet og fra en ting til en anden. Denne egenskab ved varme blev i 1807 beskrevet af den franske fysiker og matematiker Joseph Fourier ved den såkaldte varmeledningsligning (O'Connor et al., 1997). Fouriers arbejde med varmeligningen bidrog til, at det matematiske begreb "funktion" i 1822 fik den form, som vi i dag kender i grundskolen og på ungdomsuddannelserne.

Termodynamikken, og senere kinetisk gasteori og statistisk fysik, forklarer blandt andet, hvordan gassers makroskopiske egenskaber som temperatur, tryk og volumen er et resultat af, hvordan gasmolekyler interagerer. I sin vorden var termodynamikken formuleret som en række naturlove. I 1834 lykkedes det den franske ingeniør og fysiker Émile Clapeyron at formulere

idealgasloven, som beskriver sammenhængen mellem temperatur, tryk og volumen for en idealgas (Vestergaard, 2018). Dette kan illustreres med en cykelpumpe. Når man trykker stemplet i en cykelpumpe i bund, presses mængden af luft sammen, dvs. volumen bliver mindre, og tryk og temperatur stiger. Luften bliver presset ud af cykelpumpen, og temperaturen på denne luft vil være lidt varmere.

Med idealgasloven blev det beskrevet, hvad man kan måle, men der var endnu ikke en sammenhængende teori for de involverede processer. Det blev den polsk-tylske fysiker og matematiker Rudolf Clausius og den østrigske fysiker Ludwig Eduard Boltzmann, der gennem omfattende studier af varme formulerede et grundlag for termodynamikken i form af to hovedsætninger, der tilsammen beskriver energibevarelse og veje for energioverførsel (Hansen, 2016).



Kernefission er en kædereaktion, som udløser enorme mængder energi.

ENERGI OG KERNEPROCESSER

Der er to muligheder for at opnå energi ved kerneprocesser: Fission, der er spaltning af meget tunge kerner og fusion, der er sammensmeltning af meget lette kerner. Kernefission blev opdaget i 1938 af den tyske fysiker Otto Hahn og hans assistent Fritz Strassmann, og forklaret teoretisk af den østrigsk-svenske fysiker Lise Meitner og hendes nevø Otto Robert Frisch (Gaardhøje, 2020; Meyn, 2011). Kernefusionsprocesser, der blandt

andet ligger til grund for Solens energiuudstråling, foregår ved ekstremt høje temperaturer. En fusionsreaktor skaber elektricitet ved at udnytte den energi, der udløses ved fusionsprocessen. Fordelen ved fusionskraft er blandt andet, at det næsten ikke producerer radioaktivt affald eller andre biprodukter. Der arbejdes på, hvordan man kan realisere et fusionsanlæg, der samlet set leverer mere energi, end det forbruger.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

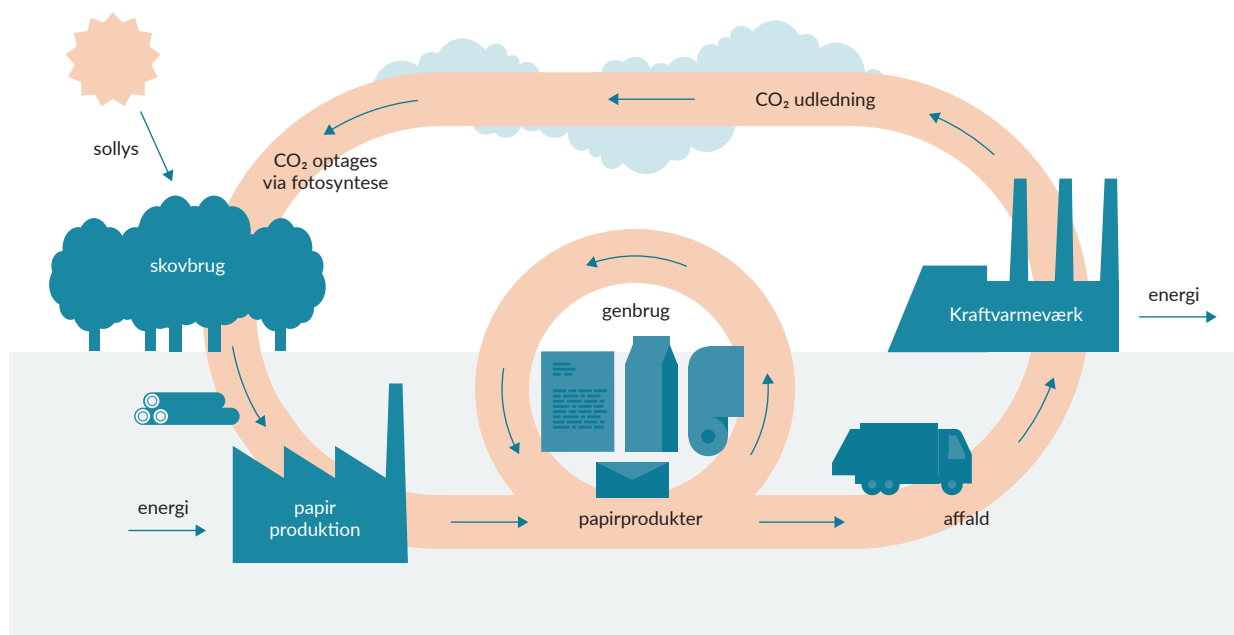
- Energiformer
- Energitransport
- Energiomdannelse
- Energiproduktion
- Energilagring
- Energiforsyning
- Varmelære
- Fotosyntesen
- Brændselsformer
- Entropi

EINSTEINS BERØMTE LIGNING

Einsteins berømte ligning $E = mc^2$ er kendt af mange. Ligningen fortæller os, at alt stof kan beskrives som energi. Einstein formulerede ligningen i forbindelse med udviklingen af sine to relativitetsteorier, der ledte til en radikal forandring af synet på rum, tid og samtidighed. Ligningen implicerer, at et legeme med masse besidder energi, selv hvis det er i hvile og ikke har nogen form for konventionel energi (potentiell energi, kinetisk energi, kemisk energi etc.) (Vedelsby, 2012). Dette står i modsætning til Newtons mekanik, hvor et legeme i hvile ikke kan have nogen energi, hvorfor massen kaldes for legemets hvileenergi (Birkelind, 2020). E 'et i formlen kan betragtes som legemets totale energi, hvilket er proportionalt med massen M , når legemet er i hvile.

ERKENDELSE 9

Cases



Kernefission er en kædereaktion, som udløser enorme mængder energi.

ENERGIPRODUKTION OG BIOMASSE

Biomasse er en fælles betegnelse for al det organiske stof, der dannes ved planternes fotosyntese med Solen. Biomasse i form af træ var menneskets oprindelige og første kilde til lys, varme og madlavning. Det er solens lys og varme, der blev lagret i træet, mens det voksede, som vi ser og mærker, når vi tænder et bål i skoven om aftenen.

I forbindelse med udfordringer med en høj grad af CO₂-udledning ved forbrænding af fossile brændstoffer har biomasse fået en renæssance som energikilde og er i dag sammen med vindkraften den hurtigst voksende form for vedvarende energi. Mængden af biomasse, der anvendes globalt, udgør cirka 12 % af det samlede energiforbrug og udgør samtidig 80 % af den samlede vedvarende energi (Bentsen, 2015).

I Danmark tager biomassen form af eksempelvis

halm, træ og nedbrydeligt affald. Forbruget af biomasse til energiproduktion er firedoblet i perioden fra 1980 til 2005, og import af udenlandsk træ bliver mere og mere udbredt i den danske energiproduktion (Energistyrelsen, 2020). Energi i form af el og varme produceres af biomasse i et biomasseanlæg, hvor brændslet lagres i en silo, hvorfra det føres til en kedel. I kedlen opvarmes vand til en høj temperatur under tryk. Dampen fra kedlen driver turbinen, der er forbundet til generatoren. CO₂-udledninger fra biomasse er en del af en kort cyklus: Når skove vokser og gror, optager de CO₂. Når der høstes biomasse fra skovene, og biomassen bruges til energi, udledes CO₂'en igen. Når skovene vokser op igen, genoptages CO₂'en igen. Under forudsætning af, at skoven drives bæredygtigt, kan processen med høst og genvækst fortsættes, hvilket gør biomasse til en form for vedvarende energikilde.

ENERGI I BILER OG MOBILTELEFONER

Den hurtige udvikling af kommunikations-, informations- og underholdningsapparater og software medfører, at en omfattende energimængde indlejres i energiintensive elektriske apparater, som er afhængige af en vedvarende og pålidelig elektrisk forsyning. Dette kan illustreres ved at sammenligne biler og mobiltelefoner. Selv en ganske lille bil vejer 10.000 gange mere end en mobiltelefon og har derfor væsentlig mere energi indlejret end en mobiltelefon. Men energiforskellen er overraskende mindre, da det kræver omkring 100 GJ at producere en



passagerbil og 1 GJ til en mobiltelefon. Mobiltelefoner har meget kort levetid, typisk 2 år, så på globalt niveau er der tale om et energiforbrug på 1 EJ pr. år. En passagerbil har i gennemsnit en levetid på 10 år, hvilket giver et globalt årligt energiforbrug på 0,72 EJ – altså 30 % mindre end for mobiltelefoner (Cook et al., 2017).

Energiforbruget til anvendelse af henholdsvis biler og mobiltelefoner er meget forskelligt. En mobiltelefon forbruger årligt 4 kWh, hvilket er mindre end 30 MJ i dens toårige levetid, eller 3 % af energi, der er indlejret i den. En bil derimod bruger i løbet af sin levetid fire til fem gange så meget energi i form af benzin eller diesel, som der er indlejret i den. Men energiforbruget til de globale informations- og kommunikationsnetværk er stigende; det udgjorde i 2012 cirka 5 % af det samlede energiforbrug i verden og forventes at vokse til 10 % i 2020. Det understreger, at vi er aldeles afhængige af en vedvarende og pålidelig energiforsyning.

KERNEENERGI

Siden de to første atombomber blev kastet i 1945, har både militær og fredelig udnyttelse af kerneenergi været kontroversiel. Allerede kort efter 2. verdenskrig advarede flere fremtrædende videnskabsfolk som for eksempel Niels Bohr om atombombens frygtindgydende potentiale (Bohr, 1950). Et tema i debatten om naturvidenskab og atombomben har været, om naturvidenskabemistede sin uskyld, da førende videnskabsfolk involverede sig i udviklingen af det dødbringende våben. Det tyske atomvåbenprogram blev ledet af fysikeren Werner Heisenberg, der i perioder arbejdede ved Niels Bohr Institutet i København.

Atomkraft er en kontroversiel og omdiskuteret energikilde. Indførelse af atomkraft kunne have reduceret udledning af CO₂, men opmærksomheden på konsekvenserne ved et radioaktivt udslip har betydet, at det i dag kun er knap fem procent af verdens samlede energiforbrug, der er dækket af atomkraft.

Historien har da også budt på ulykker på atomkraftværker. Sidst i Japan, da en tsunami skyllede ind over atomkraftværket Fukushima. Tre af atomkraftværkets

reaktorer nedsmeltede, og udslip af brint, dannet ved nedsmeltningen, resulterede i eksplosioner og brande. Den mest omfattende ulykke er Tjernobyl-ulykken i 1986 i det nuværende Ukraine, hvor en reaktor nedsmeltede som resultat af enten uheldige egenskaber ved reaktorens konstruktion eller menneskelige fejl. Nedsmeltningen udløste en radioaktiv sky, der bredte sig over hele Europa. Der var i 70'erne og 80'erne i de fleste vestlige lande en ofte ophedet debat mellem tilhængere og modstandere af atomkraft. Det var også tilfældet i Danmark, hvor man efter oliekriserne i 70'erne så atomkraften som et alternativ til olien fra det politisk ustabile Mellemøsten. Modstandere pegede først og fremmest på problematikken omkring opbevaring af de radioaktive affaldsprodukter, mens tilhængere fremhævede atomkraften som en ren og vedvarende energikilde. I marts 1985 besluttede Folketinget, at atomkraft ikke skulle være en del af dansk energiplanlægning, men vi anvender alligevel kernekraft indirekte, i og med at vores elektricitetsledninger er tæt forbundne med Tysklands og Sveriges.

ERKENDELSE 9

Vigtige personer for videnskaben

Emilie du Châtelet (1706–1749)

Fransk matematiker og fysiker, der arbejdede på teorien om, at energien i et system er bevaret. Hun viste som den første, at et objekts kinetiske energi er proportionalt med dets masse og kvadratet på dets hastighed.

Lord Kelvin (1824–1907)

Irsk-skotsk fysiker og matematiker, der gav den første klare formulering af termodynamikkens to hovedsætninger og definerede den absolutte temperaturskala, som stadig bærer hans navn. Sammen med den engelske fysiker Prescott Joule gennemførte han en eksperimentel undersøgelse af gassers termiske egenskaber, herunder termoelektriske effekter.

Nikola Tesla (1856–1943)

Serbisk-amerikansk fysiker, opfinder og elektroingeniør, hvis patenter og teoretiske arbejder danner basis for elektrificeringen af samfundet og moderne vekselstrømssystemer (vekselstrøm). Han opfandt vekselstrømsmotoren, som var grundlaget for udbredelse af vekselstrøm til almindelige forbrugere.

Lise Meitner (1878–1968)

Østrigsk-svensk fysiker, der var førende i opdagelsen af kernespaltningen af uran fandt ud af at det var muligt at fissionere atomkerner. Kernefission er grundlaget for energi produceret med atomkraft.



Mária Telkes

Albert Einstein (1879–1955)

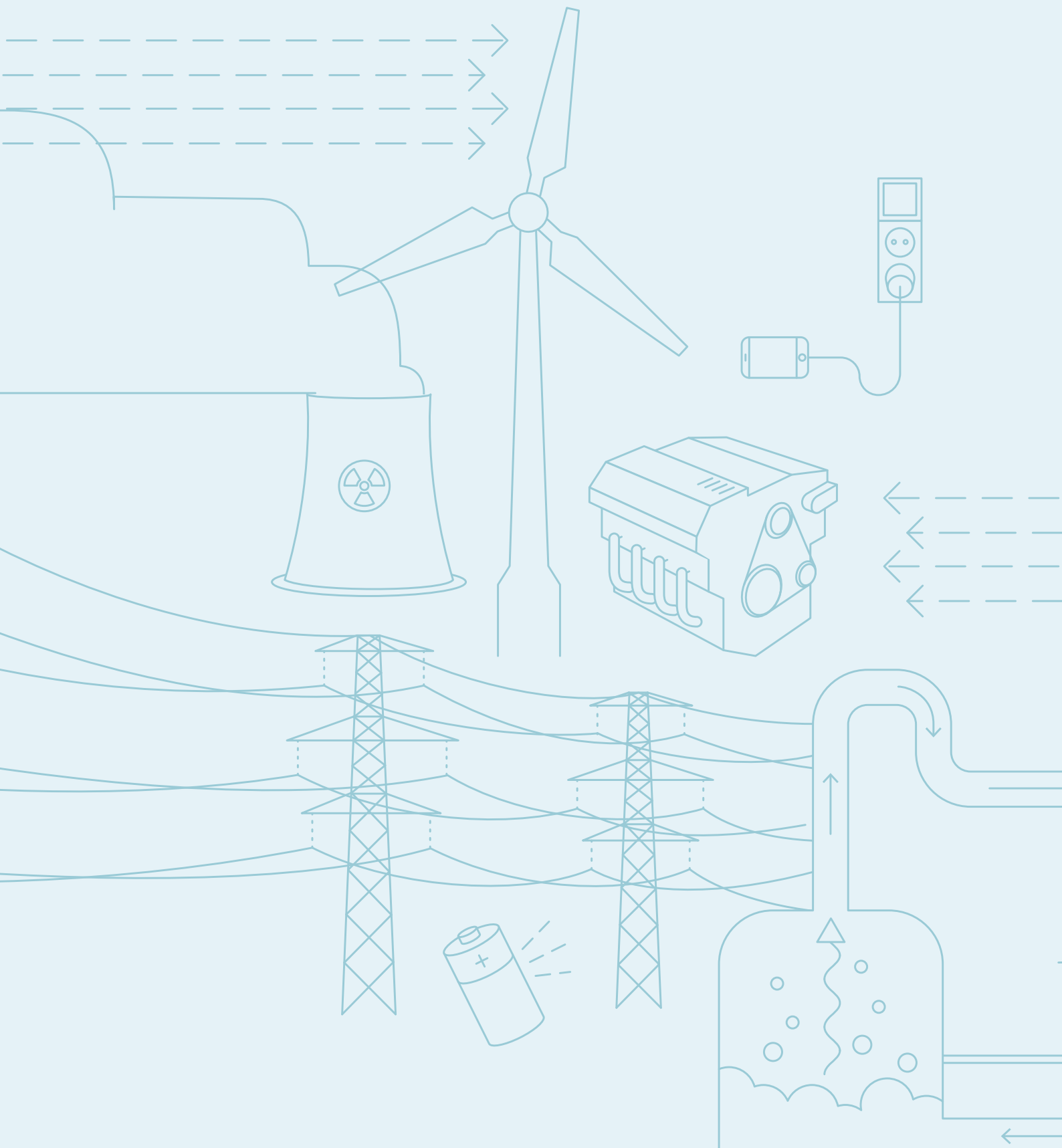
Tyskfødt teoretisk fysiker, som udviklede relativitetsteorien. Relativitetsteorien udgør sammen med kvantemekanikken en af de helt store erkendelser inden for fysik i det 20'ende århundrede. Han fik Nobelprisen i 1921 for sin teoretiske beskrivelse af den fotoelektriske effekt.

Mária Telkes (1900–1995)

Ungarsk-amerikansk forsker, der arbejdede med solenergi-teknologier, som førte til solfangerne. Hun gjorde det muligt at opføre det første hus, hvor al energien stammede fra solenergi.

LITTERATUR

- Bentsen, N. S. 2015. 'BIOMASSEPOTENTIALER I DANMARK, EU OG GLOBALT.' Energistyrelsen, Københavns Universitet, hentet 27/01/20, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/notat_5_biomassepotentialer_0.pdf.
- Birkelind, C. 2020. 'Newtons love.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 27/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/n/newton/>.
- Bohr, N. 1950. 'Open Letter to the United Nations.' Bulletin of the Atomic Scientists 6 (7): 213-17.
- Cook, G. og E. Jardim. 2017. 'Guide to Greener Electronics 2017.' Greenpeace Reports, hentet 27/01/20, <https://www.greenpeace.org/usa/reports/greener-electronics-2017/>.
- Energistyrelsen. 2020. 'Fast biomasse.' Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, hentet 27/01/20, <https://ens.dk/ansvarsomraader/bioenergi/fast-biomasse>.
- Energistyrelsen. 2013. 'Energistatistik 2012.' Klima-, Energi- og Bygningsministeriet - Energistyrelsen, hentet 27/01/20 <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/energistyrelsen/Nyheder/energistatistik2012dk.pdf>.
- Feynman, R. P., R. B. Leighton og M. L. Sands. 1963. '1918-1988. The Feynman Lectures on Physics.' The Feynman Lectures on Physics, hentet 27/01/20 <https://www.feynmanlectures.caltech.edu/>
- Gaardhøje, J. J. 2020. 'Fission.' Fysikleksikon - Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 27/01/20, <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/f/fission/>.
- Hansen, J. M. 2016. 'Store opdagelser: Termodynamikken.' Videnskab.dk - Forskerzonen, hentet 27/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-termodynamikken>.
- Meyn, K. 2011. 'Lise Meitner – en fysiker i verdensklasse.' Dansk Kemi - en del af Kemifokus, hentet 27/01/20, <https://www.kemifokus.dk/lise-meitner-en-fysiker-i-verdensklasse/>.
- O'Connor, J. J. og E. F. Robertson. 1997. 'Jean Baptiste Joseph Fourier.' School of Mathematics and Statistics University of St Andrews, Scotland, hentet 27/01/20, <http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fourier.html>.
- Smil, Vaclav. 2017. Energy and Civilization. A History. Cambridge, MA: The MIT Press
- Vedelsby, J. 2012. 'E=mc² ændrede verden totalt.' Videnskab.dk, hentet 27/01/20, <https://videnskab.dk/verden-pa-formler/emc-aendrede-verden-totalt>.
- Vestergaard, E. 2018. 'Gaslovene.' www.matematikfysik.dk, hentet 27/01/20, https://matematikfysik.dk/fys/noter_tillaeg/note_gaslovene.pdf.





ERKENDELSE 10

Solsystemet er en meget lille del af en enkelt af milliarder af galakser i universet



Solsystemet er vores adresse i universet. Det består af Solen, der er vores stjerne, otte klassiske planeter og tusindvis af måner, dværgplaneter, asteroider og kometer. Med en god kikkert kan man selv se detaljer på nogle af de andre planeter. Man kan let konstatere, at nogle planeter har faser ligesom Månen, samt se andre spændende ting som Saturns ringe og Jupiter, som altid overrasker, fordi de fire store måner hele tiden står forskelligt rundt om planeten. Det er også muligt, at man er heldig og kan spotte iskalotterne på Mars. Vores egen måne fremstår i mange detaljer med et landskab af meteorkraterer, bjerge og lavasletter.

I dag kender vi med sikkerhed til otte planeter i vores solsystem. Vi regner ikke længere Pluto for en planet, men måske er der alligevel en niende derude. Nye computerberegninger baseret på overraskende banebevægelser af nogle af de små planeter, der befinder sig yderst i solsystemet, viser tegn på en planet med omkring 10 gange Jordens masse i en afstand svarende til

syv gange Plutos afstand fra Solen. I den afstand vil det tage planeten mellem 10.000 og 20.000 år at komme en gang rundt om Solen (Batygin et al., 2019).

Stjerner er bundet til hinanden i galakser pga. den indbyrdes tyngdekraft. Der kan være fra hundrede millioner til flere hundrede milliarder stjerner i en galakse. Vi befinder os inde i galaksen Mælkevejen. Derfor er det svært at få et fuldt overblik over, hvordan den ser ud udefra. I stedet kan vi studere andre galakser for at få en ide om, hvad der er typiske træk for de forskellige typer. Efterhånden som vi bliver klogere på, hvordan andre galakser er opbygget, har vores forståelse af vores egen galakse også ændret sig. Med Hubble-rumteleskopet har vi observeret galakser, hvor lyset har rejst i omkring 13 milliarder år for at nå os. Det betyder, at de første galakser er blevet dannet mindre end en milliard år efter universet blev dannet ved Big Bang for cirka 13,8 milliarder år siden (Aghanim et al., 2018).

ERKENDELSE 10

Kernefaglige nedslagspunkter



Et udsnit af stjernekonstellationen Skytten optaget af NASA/ESA Hubble-rumteleskopet.

PLANETER OG MÅNER

Planeter er de moderat store legemer (som ikke er stjerner), som bevæger sig i en ellipsebane rundt om en stjerne, eksempelvis vores egen sol. Planeterne lyser i kraft af lyset fra stjernen. I oldtiden kendte man de seks planeter i solsystemet, som kan ses uden kikkert. Det var Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn samt Jorden. Måner er større sten og planetlignende masser, som kredser omkring en planet. Jordens måne er stor i forhold til mange andre måner i solsystemet, dens diameter er cirka 1/4 af Jordens. At Månen er så stor i forhold til Jorden kan være en komponent i, at der opstod liv på Jorden (Ward et al., 2000). Da Månen blev dannet, roterede Jorden hurtigt om sin egen akse, med et døgn på kun nogle få timer. Det betød, at året var på over 1.000 dage. Den nydannede Måne var tæt på Jorden og må have været et fantastisk syn på himlen. Til gengæld skabte Månen tidevand på Jorden. Først i den flydende lava, som dengang dækkede Jorden, og senere i havene. Tidevandskræfter

drev med tiden Månen længere væk fra Jorden, som fik en langsommere rotation, der betød, at døgnet blev længere, så der i dag er 365 dage på et år (Stub, 2015).

Mars har to ganske små måner, mens Jupiter har 79 måner, hvor månen Ganymedes er større end planeten Merkur. Med Keplerteleskopet er der opdaget over 3.000 planeter omkring andre stjerner. De kaldes exoplaneter.

STJERNER

En stjerne er en stor kugle af varm gas. Stjerner lyser, når tyngdekraften er så stor, at gassen trykkes sammen og opvarmes, så der sker kerneprocesser (fusion) inde i stjernen. Kerneprocesserne producerer den energi, der får stjernen til at udsende lys og varme. Det meste af en stjernes liv går med at fusionere hydrogen til helium, men i slutningen af en stjernes liv producerer den nogle af de tungere grundstoffer som for eksempel oxygen og kulstof. Alle grundstoffer i universet, der er tungere end helium, er dannet i stjerner.

Stjerner findes i mange størrelser, vores sol er en af de mindre stjerner. Der er stjerner, der er meget større end Solen, for eksempel det, der kaldes superkæmper, hvis radius er cirka 200 gange Solens. De tunge stjerner ender med at eksplodere som supernovaer. Den danske astronom Tycho Brahe observerede i 1572 supernovaen Cassiopeia, og tyske Johannes Kepler observerede Keplers supernova i stjernebilledet Ophiuchus i 1604. Dette er de nyligste eksempler på, at man har observeret en supernova med det blotte øje. Studier af andre galakser tyder på, at en galakse som Mælkevejen i gennemsnit har en supernova pr. 100 år. Da der er gået over 400 år siden den seneste, holder videnskabsfolk øje med flere store stjerner i Solens omegn for tegn på, om de mon er på vej til at blive en supernova. En af disse stjerner er Betelgeuse i stjernebilledet Orion.



Galaksen NGC 3259 optaget af NASA/ESA Hubble-rumteleskopet. Den befinder sig cirka 90 millioner lysår fra jorden.

YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

- Planetbaner
- Solsystemet
- Exoplaneter
- Lysets hastighed
- Spektroskopi
- Big Bang
- Teleskoper
- Baggrundsstrålingen
- Supernovaer
- Bemandet rumfart

MÆLKEVEJEN – VORES GALAKSE

En galakse er en samling af stjerner. En typisk galakse indeholder et par hundrede milliarder stjerner. Stjernerne i galaksen bliver holdt sammen af tyngdekraften. Ingen ved præcis, hvor mange galakser der findes i universet, men der er mindst hundrede milliarder galakser i den del af universet, vi kan observere. De fleste af de galakser, vi kan observere, er mindst 10 milliarder år gamle, det vil sige at de har eksisteret i størstedelen af universets levetid. I spiralgalakser som Mælkevejen er der en del gas og noget støv mellem stjernerne. Ud af denne gas kan nye stjerner og planeter dannes.

Solen er en ud af 200 milliarder stjerner, der tilsammen udgør den galakse, som vi kalder Mælkevejen.

Mælkevejen kan ses på nattehimlen en stjerneklar aften som et lysende bånd hen over himlen.

Ud fra observationer med Keplerteleskopet er vi kommet til den konklusion, at Mælkevejen må indeholde mindst 17 milliarder jordlignende planeter. Det er baseret på en antagelse om, at de stjerner, som vi nu har studeret i stor detalje, er et gennemsnitligt udsnit af stjernerne i Mælkevejen. Det betyder, at den mængde af jordlignende planeter, som befinder sig om disse stjerner, rent statistisk også kan befinde sig omkring andre lignende stjerner. Vi er i gang med at afdække større og større dele af Mælkevejen, så fremtiden vil vise, om det virkelig er sådan.

ERKENDELSE 10

Cases

JUPITERS MÅNER

Jupiter er den største af planterne i solsystemet, og den ses altid tydeligt, når den er synlig på himlen. Jupiter er noget af det mest imponerende, man kan se med en lille kikkert. For den tålmodige iagttager åbenbarer den en række detaljer. Jupiter er en gasplanet uden fast overflade, så det, man ser, er nogle tydelige skybånd i Jupiters atmosfære. Som del af Jupiters skybånd befinder sig den karakteristiske Store Røde Plet. Det er en storm, der har raset på Jupiter i mere end 300 år, og som er så stor, at Jorden kan ligge to gange inde i pletten (NASA, 2019). Videnskabsmanden Galileo Galilei opdagede de fire største af Jupiters måner, da han, efter sigende som den første, rettede en kikkert mod Jupiter. I dag har vi kendskab til 79 måner om Jupiter. Ser man på Jupiter med en lille kikkert, vil man nogle gange kun se tre måner og en sjælden gang kun to, når en eller flere af månerne befinder sig bag ved planeten. Idet månerne kredser i samme plan, ses de altid som liggende på en næsten lige linje, når vi observerer dem med kikkert fra Jorden. At det lige var Galileo Galilei, der som den første observerede Jupiters måner med kikkert, var ikke et tilfælde. Galileo boede nær byen Venedig i Italien. Venedig var på det tidspunkt kendt for at have glaspustere, som var helt utrolig dygtige til at bearbejde glas. Disse glaspustere hjalp Galileo med at lave nogle af datidens bedste linser til hans teleskop. Senere observerede danskeren Ole Rømer Jupiters store måner og opdagede, at lys bruger tid på at komme fra Jupiter og ned til Jorden – lysets hastighed (Kragh, 2014).

Vandet på Jorden

For bare 50 år siden var der ikke nogen, der undrede sig synderligt over, at der var vand i havene på Jorden.



Billede af Jupiter taget af Rumsonden JUNO.

Men i dag mener vi, at vandet nok ikke altid har været der, at det er kommet til senere, men præcis hvornår og hvordan det er kommet, har vi endnu ikke alle detaljerne på plads omkring. Planeterne i solsystemet blev dannet ud af en skive af gas og støv omkring den nydannede Sol. Skiven var varm som Solen i de inderste dele, og kold som det interstellare rum i de ydre dele. Der, hvor Jorden blev dannet, var der varmt, så varmt, at vand ville fordampe. Derfor er Jorden dannet som en tør planet. Det må betyde, at for at der kan være vand på Jorden i dag, så må Jorden på et eller andet tidspunkt mellem Månens dannelse og i dag have fået vand bragt ind udefra. Vi forestiller os, at det er sket ved, at et stort antal isholdige kometer og asteroider fra Solsystemets ydre dele har kollideret med Jorden. Rumsonden Rosetta blev sendt af sted for at undersøge en komet, mens rumson-



Det 33 km lange himmelgeme 2014 MU69 med tilnavnet Ultima Thule, der befinder sig på den anden side af Plutos bane.

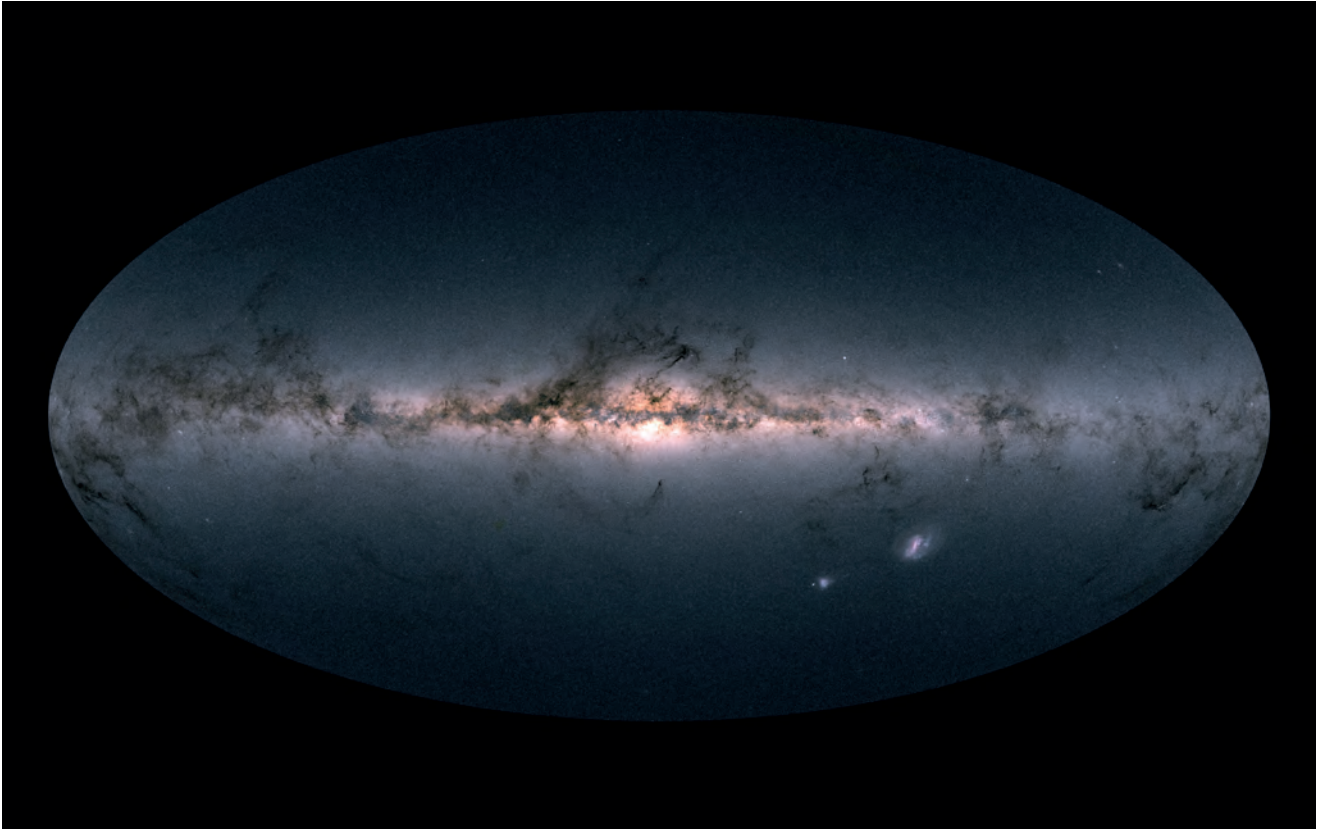
derne Hayabusa og OSIRIS-Rex undersøger to asteroider med henblik på at kunne svare på, hvor vandet på Jorden kan have sin oprindelse fra (Jin et al., 2019).

PLANET 9

For at opnå en større forståelse af Pluto og dens måner samt resten af småplaneterne, der befinder sig i Kuiperbæltet, blev rumsonden New Horizons opsendt i januar 2006 med det primære formål at kortlægge Pluto og dens måne Charon i juli 2015. Med en hastighed på over 58.000 km/t er New Horizons den til dato hurtigste rumsonde, vi har opsendt. Den blev den første til at undersøge Pluto i større detalje, da ingen af Voyager-missionerne nåede i nærheden af Pluto, efter at de havde kortlagt de ydre gasplaneter Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun for snart mange år siden. På grund af den høje

hastighed passerede New Horizons Pluto-Charon-systemet på under en time, hvilket gav sonden meget kort tid til at indsamle så meget data som muligt med sine syv videnskabelige instrumenter.

Efter den intense dataindsamling tog det hele 15 måneder at sende samtlige data tilbage til Jorden. Tre år senere passerede New Horizons Kuiperbælte-objektet 2014 MU69, som fik kælenavnet Ultima Thule. Den viste sig at bestå af to sammenklæbede objekter med diametre på hhv. 19 og 14 kilometer. Det er første gang, at vi har fået et klart billede af et Kuiperbælte-objekt. På baggrund af nogle af de større Kuiperbælte-objekters baner er der indikationer på, at der findes en forholdsvis stor 9'ende planet på den anden side af Pluto (Batygin et al., 2017). Det er ikke så nemt at se en planet selv med de største kikkerter i så stor en afstand fra Solen, da der kun når meget lidt sollys så langt ud i solsystemet. Når planeten kun bliver meget sparsomt belyst, vil meget lidt sollys blive reflekteret, og den er derfor svær at observere, selv for de største og bedste teleskoper. De matematiske modeller og computersimuleringer kan ud fra Kuiperbælte-objekterne beregne den potentielle planets bane, men kun give et lidt mere uklart bud på, hvor i denne bane planet 9 pt. bør befinde sig. Derfor er det et stort område af himlen, der skal afsøges inden at man med sikkerhed kan fastslå, hvorvidt der virkelig befinder sig en stor planet i solsystemets alleryderste dele.



GAIA-satellitens højløselige billede af vores egen galakse, Mælkevejen.

VI LEVER I ET EKSPANDERENDE UNIVERS

GAIA-satellitten er i gang med at kortlægge vores galakse ved at måle lysstyrke, position på himlen, afstand og bevægelse hen over himlen for mere end en milliard af Mælkevejens stjerner. Metoden, som satellitten benytter, blev udviklet i 1580 af den danske astronom Tycho Brahe (Olsen, 2014). Det er så heldigt, at nogle af de stjerner, som GAIA-satellitten har bestemt afstanden til, er en bestemt type af variable, pulserende stjerner, der betegnes cepheider. En cepheiders pulserende lysstyrke afhænger direkte af stjernens størrelse, jo større stjernen er, jo længere varer perioden. I 1912 påviste den amerikanske astronom Henrietta Swan Leavitt, at perioden er så regelmæssig, at man næsten kan stille sit ur efter dem (Leavitt, 1908). Ud fra observationer af cepheider lykkedes det den amerikanske astronom Edwin Hubble i 1924 at fastslå, at spiraltågen M31 i stjernebilledet Andromeda lå langt uden for vores egen galakse, Mælkevejen (Hubble, 1925). Dermed blev det klart, at Andromeda var en selvstændig galakse og ikke en tåge, der befandt sig i Mælkevejen, som man hidtil havde antaget.

Hubble fortsatte så med at observere alle de galakser, han kunne se med datidens største kikkert, og han opdagede, at des længere væk fra Jorden en galakse befandt sig, des hurtigere bevægede den sig væk. At galakserne tilsyneladende bevæger sig væk fra hinanden blev fortolket af Hubble i 1929, som at universet ekspanderer, at det udvider sig. I 1998 blev det målt, af blandt andre Brian Schmidt, at galakserne faktisk bevæger sig hurtigere og hurtigere bort fra hinanden (Riess et al., 1998). Dette bliver fortolket som, at universet ikke bare udvider sig, men at det udvider sig hurtigere og hurtigere, at det accelererer. Den opdagelse blev honoreret med Nobelprisen i 2011. Den energi, der skal til for at forklare, at universet accelererer, kaldes mørk energi. Vi har reelt meget lidt viden om mørk energi, men vi ved, at mørk energi, som tiden går, bliver mere dominerende i universet. Mørk energi er et af utroligt mange fænomener, som naturvidenskaben fortsat undersøger.

ERKENDELSE 10

Vigtige personer for videnskaben

Tycho Brahe (1546-1601)

Dansk astronom, der sammen med sin søster Sophie Brahe foretog mange astronomiske observationer samt udførte kemiske eksperimenter. De opførte Uranienborg og Stjerneborg på øen Hven, hvor de også udviklede deres egne måleinstrumenter. Blandt deres instrumenter var der ingen kikkert - den blev først opfundet senere.

Galileo Galilei (1564-1642)

Italiensk astronom, der med sit hjemmelavede teleskop så Jupiter og opdagede tre punkter på himlen i en lige linje, som bevægede sig forkert. Han troede først, at det var stjerner, men senere fandt han flere af disse prikker og konkluderede, at det var måner, der kredsede omkring Jupiter.

Ole Rømer (1644-1710)

Dansk videnskabsmand, der ud fra observationer af Jupiters måne Io udledte at lys bruger tid på at komme fra et punkt til et andet, at lyset har en endelig hastighed. Han var meget praktisk og opfandt vandingssystemet bag springvandet ved Versailles-slottet uden for Paris, etablerede kloakker i København, samt opfandt de første gadebelysninger med olielamper. Desuden lagde han kimen til senere socialreformer ved at skabe fokus på byens tiggere og prostituerede.

Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979)

Amerikansk astronom, der som den første foreslog, at stjerner primært består af hydrogen og helium. Det tog mange år, før hendes forskning blev anerkendt.

Henriette S. Lavitt (1868-1921)

Amerikansk astronom, der arbejdede på Harvard-observatoriet med at måle lysstyrken af stjerner og andre astronomiske objekter. Ved at sammenholde observationer af lyset fra stjerner med såkaldte "cepheid-variabler" dannede hun grundlaget for at vurdere afstande i rummet. Det blev blandt andet fundamentet for Hubbles senere opdagelse af, at universet udvider sig.

JULIE MARIE VINTER HANSEN (1890-1960)

Dansk astronom, der beregnede banerne for et utal af småplaneter og kometer i solsystemet. Hun blev den første kvinde, der blev ansat i en forskerstilling ved et dansk universitet.

Edwin P. Hubble (1889-1953)

Amerikansk astronom, der viste, at der var andre galakser end Mælkevejen, samt at universet udvider sig, og formulerede hvad vi i dag kalder "Hubbles Lov" for universets udvidelse, der siger, at hastigheden er proportional med afstanden.

Mike E. Brown (1965-)

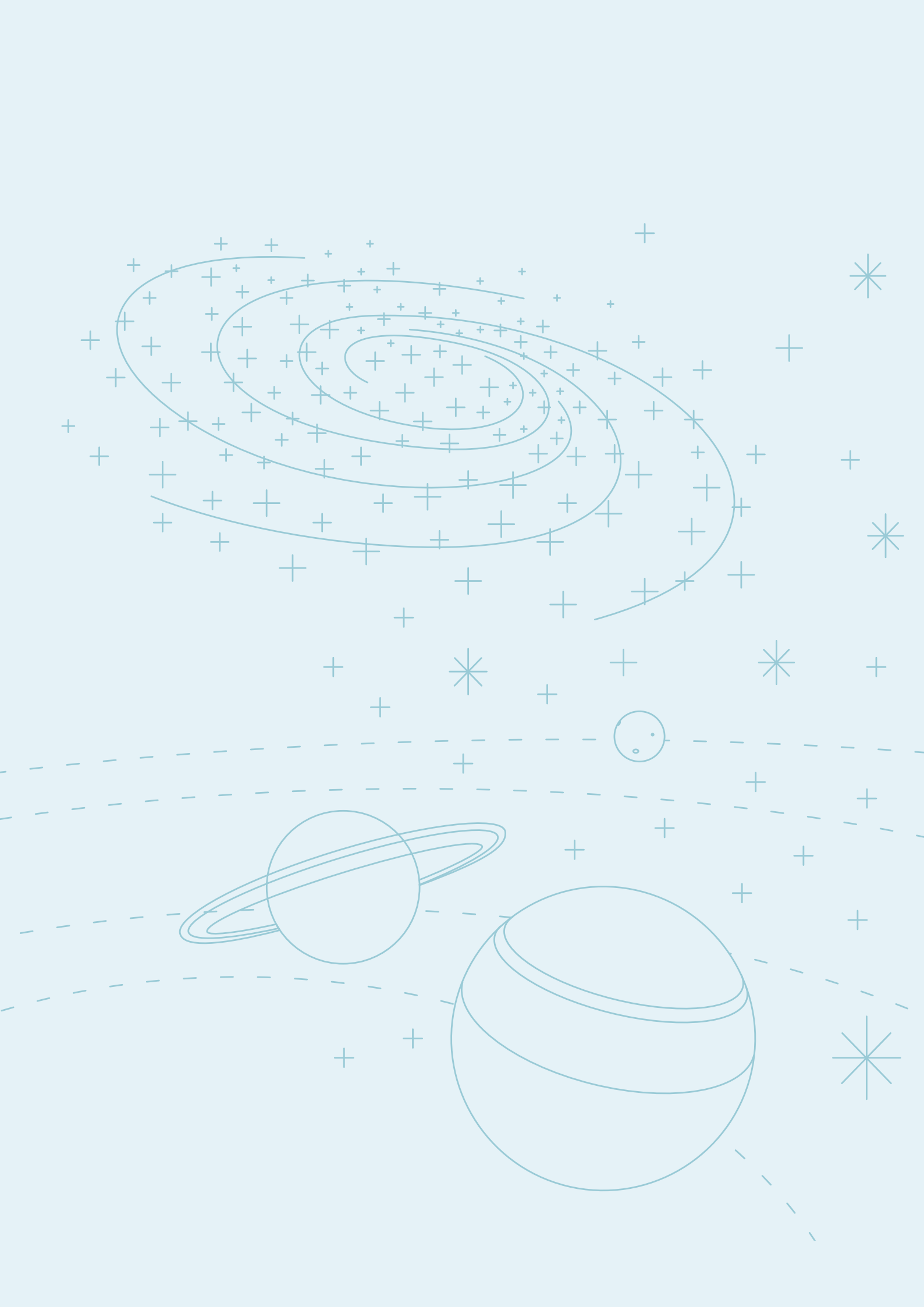
Amerikansk astronom, der opdagede Kuiper-bæltet og dværgplaneten Eris, samt har udviklet de matematiske modeller, der indikerer, at der evt. findes en Planet 9 i solsystemets udkant.

Brian Schmidt (1967-)

Amerikansk astronom, der var med til at opdage, at universet accelererer i sin ekspansion. Opdagelsen blev belønnet med Nobelprisen i 2011, og han modtog Niels Bohr Institutets æresmedalje i 2015.

LITTERATUR

- Aghanim, N. m.fl. 2019. 'Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters.' *Astronomy & Astrophysics* (September).
- Batygin, K., F. C. Adams, M. E. Brown og J. C. Becker. 2019. 'The Planet Nine Hypothesis.' *Physics Reports* 805 (2019): 1-92.
- Batygin, K., og A. Morbidelli. 2017. 'Dynamical Evolution Induced by Planet Nine.' *The Astronomical Journal* (Draft version 06/10/2017)
- Hubble, E. P. 1925. 'Cepheids in Spiral Nebulæ.' *The Observatory* (48): 139-142.
- Jin, Z. og M. Bose. 2019. 'New clues to ancient water on Itokawa.' *Science Advances* 5 (5): 1-9
- Ward, P., D. Brownlee og L. Krauss. 2000. 'Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe.' *Physics Today* 53 (9): 62.
- Kragh, H. 2014. 'Store opdagelser: Lysets tøven – fra Rømer til Einstein.' Videnskab.dk – Forskerzonen, hentet 27/01/20, <https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/store-opdagelser-lysets-toven-fra-romer-til-einstein>.
- Leavitt, H. S. 1908. '1777 variables in the Magellanic Clouds.' *Annals of Harvard College Observatory LX* (IV): 87-108
- NASA. 2019. 'A Storm of Change.' NASA - Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, hentet 27/01/20, <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA23436>.
- Olsen, M. 2014. 'Parallaksemetoden til astronomisk afstandsbedømmelse.' Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, hentet 27/01/20, https://www.nbi.ku.dk/spoerg_om_fysik/astrofysik/parallaksemetoden/.
- Riess, A. G. m.fl. 1998. 'Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant.' *The Astronomical Journal* (116): 1009-1038
- Stub, H. og H. Stub. 2015. 'Månen og Livet på Jorden.' Videnskab.dk, hentet 19/02/20, <https://videnskab.dk/naturvidenskab/maanen-og-livet-paa-jorden>.



KAPITEL 3

Naturvidenskab er med til at forme fremtidens samfund

Naturvidenskab har været med til at skabe det samfund, vi kender i dag. Og naturvidenskab vil i høj grad være med til at forme fremtiden. Vi står over for nogle højaktuelle problemstillinger, som vi kun kan blive klogere på – og finde løsninger på – hvis vi tilvejebringer ny viden.

Dette kapitel indikerer med udgangspunkt i de 10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser, som ABC'en er bygget op omkring, nogle af de ubesvarede naturvidenskabelige spørgsmål og højaktuelle problemstillinger, som kun kan løses, hvis vi gør brug af vores naturvidenskabelige viden og forståelse. Mange af de behandlede spørgsmål er også med til at understrege, at erkendelser ikke nødvendigvis er endelige, og at grænserne for, hvad vi ved, og hvad vi er nysgerrige på eller bliver nødt til at finde ud af, hele tiden rykker sig. Endelig skitserer kapitlet nogle dilemmaer, som forskningen stiller os overfor.

Elementerne i dette kapitel kan bruges som udgangspunkt for en drøftelse med eleverne på de forskellige klassetrin om, hvilke behov for ny viden og nye teknologiske løsninger de ser. Samtidig skal kapitlet inspirere til en diskussion af de dilemmaer, eller skyggesider, som naturvidenskabens også kan føre med sig. De ubesvarede naturvidenskabelige problemstillinger og spørgsmål er for komplekse til, at eleverne kan arbejde med dem som undersøgelsesspørgsmål. Det vil kræve en tilpasning til elevernes alder og faglige niveau. I det opfølgende arbejde med Naturvidenskabens ABC forventes der at blive udarbejdet en række forslag til undervisningsforløb, der kan anvendes på forskellige klassetrin.

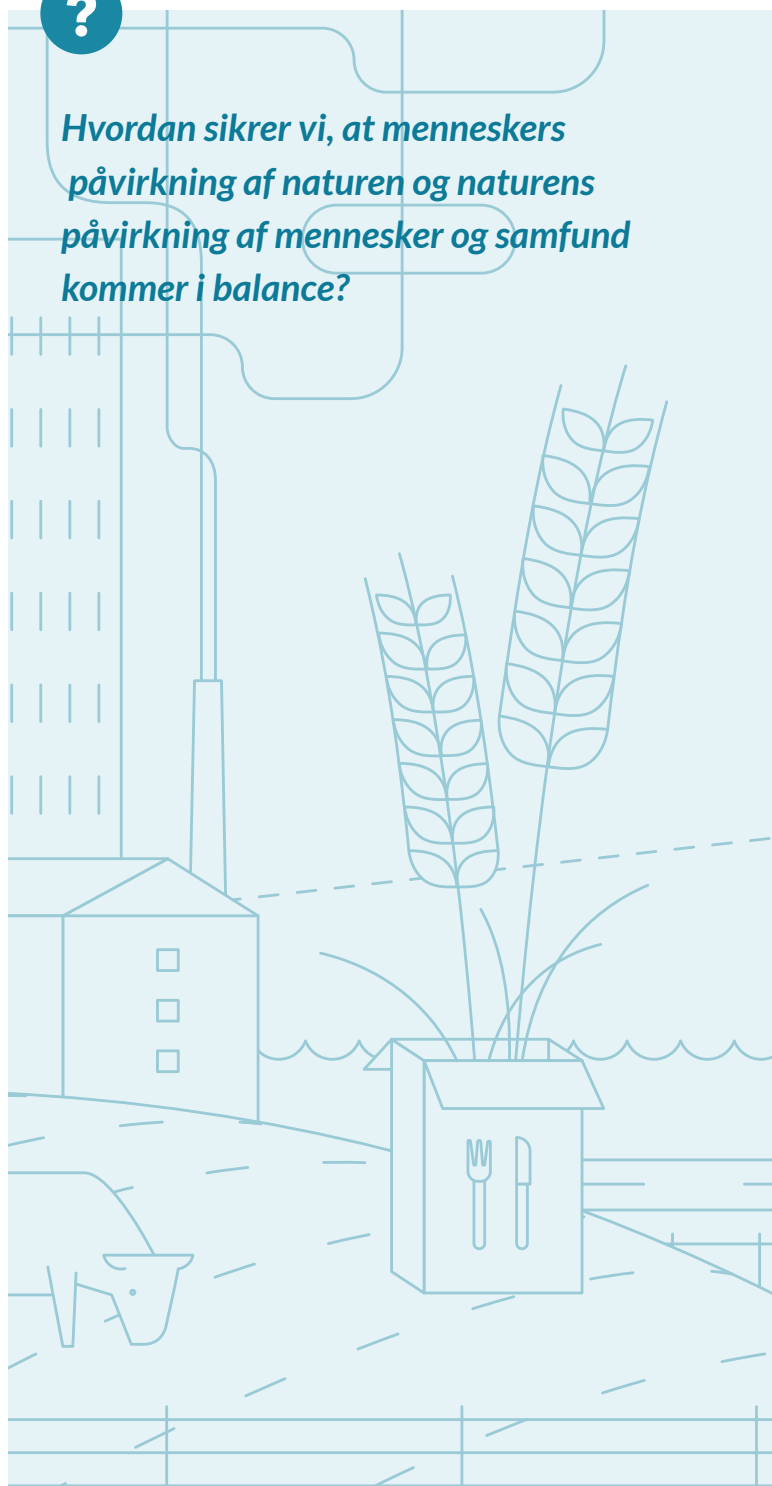
ERKENDELSE 1

Natur, mennesker og samfund påvirker hinanden

Menneskets påvirkning af naturen og naturens påvirkning af mennesket inspirerer stadig til nye og vigtige forskningsspørgsmål. Fordi vi med vores aktiviteter forårsager store ødelæggelser af naturen, og fordi naturens kræfter påvirker den måde, vi har mulighed for at indrette vores samfund på, søger vi konstant efter ny viden, metoder og teknologi, som kan bidrage til løsninger. Og også fordi naturen i sig selv byder på raffinerede løsninger, for eksempel inden for lægemidler, som vi måske kan anvende til menneskets fordel, hvis vi forstår sammenhænge.

?

Hvordan sikrer vi, at menneskers påvirkning af naturen og naturens påvirkning af mennesker og samfund kommer i balance?



**i****BAGGRUND**

I disse år forskes der intensivt i, hvordan klimaforandringerne påvirker økosystemet, men også i, hvordan mennesker og samfund kan tilpasse sig konsekvenserne af klimaforandringerne i takt med, at temperaturstigninger og ændringer i mønstrene af nedbør og tørke ændrer betingelserne for liv. Udledningen af drivhusgasser skal reduceres, og som samfund skal vi tilpasse os til klimaforandringerne og deres effekter. Derfor bliver der forsket i metoder til klimatilpasning.

**!****DILEMMAER**

Miljørigtig teknologi er dyrt at udvikle. Hvordan sikrer man, at der på den ene side er et incitament til at udvikle disse og samtidig sikre, at disse teknologier samtidig er på et prisniveau så de er tilgængelige for alle? Hvordan sikrer vi som samfund balance mellem befolkningens behov for fødevarer og samfundets interesse i at fastholde naturarealer?



ERKENDELSE 2

Jordens overflade og klima udgør et dynamisk system

Gennem mange hundrede års forskning har vi efterhånden en solid forståelse af, hvordan de dynamiske systemer på land, til vands og i luften fungerer. Med udgangspunkt i vores viden om Jordens systemer beskæftiger fremtidens forskning sig med at udvikle løsninger, der gør os i stand til at håndtere de udfordringer, som forandringer på Jordens overflade giver os – både de naturlige og de menneskeskabte.

?

Hvordan tilpasser vi os til et liv på en jordoverflade i accelererende forandring?



**i****BAGGRUND**

Vores nuværende viden om Jordens dynamiske system har genereret flere spørgsmål, som vi endnu ikke kan besvare. Med viden om pladeteknik, kombineret med data fra GPS-stationer, kan vi sige noget om, hvor risikoen for jordskælv er forøget, men forskningen har endnu til gode reelt at kunne forudsige jordskælv. Forskere fra Los Alamos National Laboratory i USA har vist, at ganske svage akustiske signaler (lydsignaler) kombineret med et avanceret analysesystem baseret på maskinlæring kan identificere hidtil oversete signaler, der kan forudsige jordskævlignende brud relativt lang tid før, de opstår. Eksperimentet er lavet i et lukket laboratorium, og derfor er der stadig et stykke vej til at kunne anvende systemet i naturen, hvor svage lydsignaler vil blive forstyrret af naturens lyde.

**!****DILEMMAER**

Hvis det eksempelvis lykkes at udvikle en teknologi, der kan anvendes til at forudsige jordskælv, vil der formodentlig være behov for en massiv investering i udstyr på de steder, hvor der forekommer jordskælv for rent faktisk at kunne forudsige, hvornår det vil ske. Hvem skal beslutte, hvor vi skal foretage de investeringer? Bliver det op til det enkelte land eller, er det en fælles global beslutning og indsats?

ERKENDELSE 3

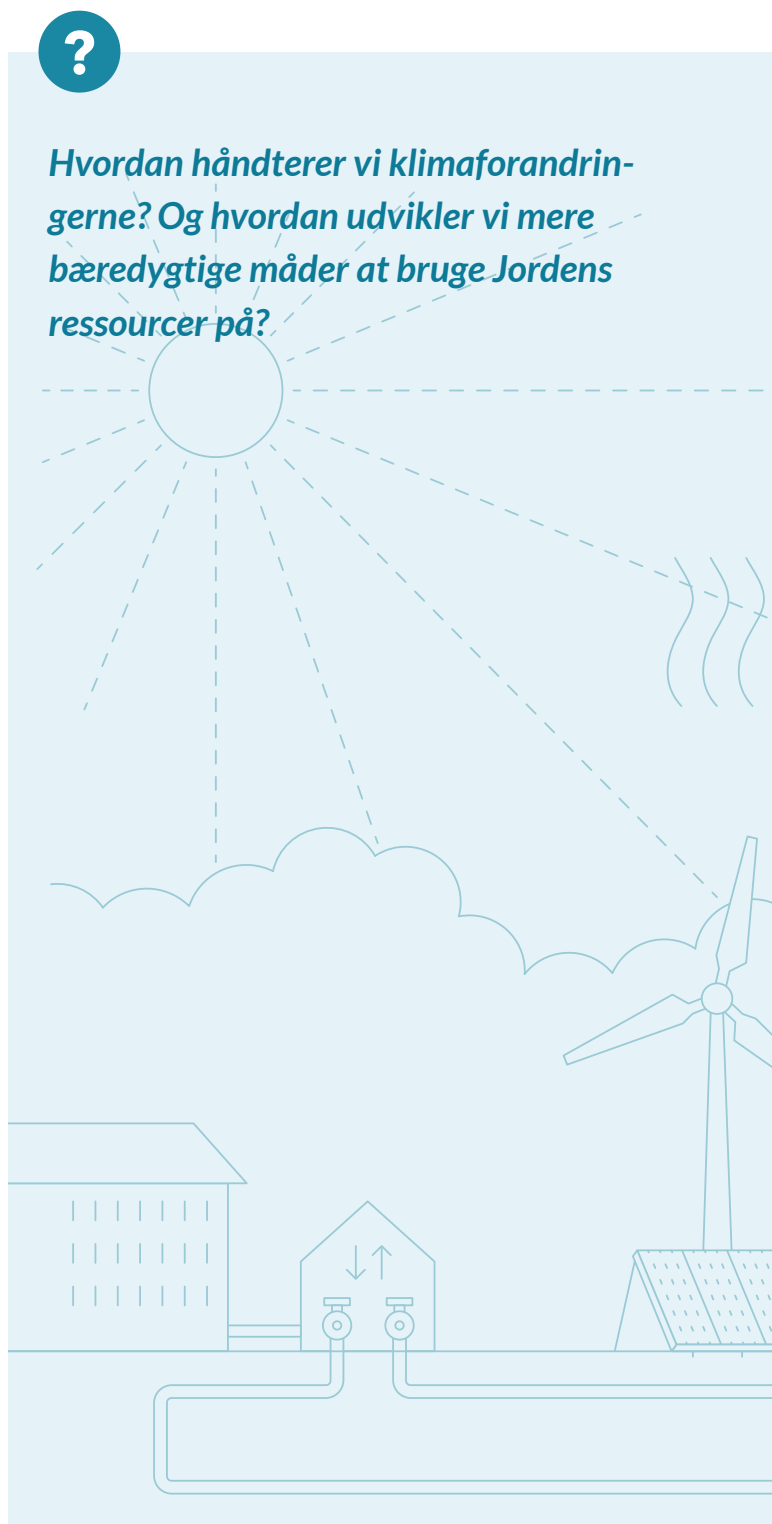
Jordens ressourcer er konstante og indgår i et kredsløb

Et af de store spørgsmål i dag er, hvordan brugen af fossile ressourcer kan erstattes med biologiske ressourcer eller med bæredygtige og fornybare løsninger til energiforsyningen. Behovet for biomasse til denne omstilling kan for en stor del baseres på den store del af de biologiske ressourcer, vi i dag smider væk. Jordens biologiske ressourcer er nok fornybare, men samtidig begrænsede. Begrænsede, fordi de biologiske ressourcer skal bruges til mange formål (mad, foder og biobaserede kemikalier, materialer og energi), og fordi det kræver land, jord, vand og plantebeskyttelsesmidler at producere nye afgrøder. Derfor må de biologiske ressourcer bruges meget mere effektivt, end vi gør i dag.

Efter det såkaldte kaskadepincip kan man i fremtiden udnytte hele biomassens potentiale: Først til sunde fødevarer (proteiner og sundhedsaktive stoffer), derefter til materialer og kemikalier, der erstatter fossilt-baserede kemikalier og materialer og til sidst anvende resten til jordforbedring (næringsstofferne fra biomassen skal tilbage i jorden) og til avanceret biobrændstof, hvor elektricitet ikke egner sig. Central for denne nye bio-økonomi står omdannelse af lignocellulosen i biomassen via brug af mikrobielle enzymer.

?

Hvordan håndterer vi klimaforandringerne? Og hvordan udvikler vi mere bæredygtige måder at bruge Jordens ressourcer på?



i

BAGGRUND

Store internationale forskningsmiljøer arbejder allerede nu med at udvikle negative emissions-teknologier med det formål at påvirke kloden således, at de værste klimaforandringer undgås. Disse tiltag er oftest indtænkt i stor global skala – og kaldes ”geoengineering”. Geoengineering eller klimaengineering, som det også kaldes, er en betegnelse for ændringer på Jorden eller af Jordens atmosfære, der modvirker temperaturstigning og andre klimaforandringer. Det kan være at dæmpe Solens indstråling ved at øge refleksionen af Solens stråler eller ved at øge optaget af CO₂ i havet via udledning af jernsulfater, så aktiviteterne i havets fytoplankton og deres fotosyntese øges, og der som resultat opnås, at der bindes mere carbon i havenes sedimenter.

Det biobaserede samfund er en vigtig byggesten i omstillingen til det fossilmfrie samfund. Det åbner også for en mere ligelig fordeling af vækst og livsvilkår landene imellem, da de biologiske ressourcer er lettere tilgængelige end de fossile ressourcer, dog stadig begrænset af utilstrækkelige ferskvandsressourcer og af arealet af dyrkbart land.

!

DILEMMAER

Bedre udnyttelse af biologiske ressourcer kan bidrage til at mindske niveauet for CO₂-udledning og til at sikre mad til mennesker, foder til dyr og mere plads til biodiversitet, når vi ikke smider det halve væk. Hvordan sikrer vi videndeling, så bedre udnyttelse af ressourcer kan opbygges i global skala? Og hvordan kan verdenssamfundet træffe beslutninger om ansvar og handling i forhold til industriproduktionens grænseoverskridende emissions-forurening?

Geoengineering er også forbundet med mange dilemmaer. Hvordan gennemtænkes konsekvenser ift. biodiversiteten i forhold til forskellige geoengineering-tiltag? Hvem skal bestemme, om og hvordan det kan bruges? Hvem bærer ansvaret, hvis det ikke går som planlagt, og nedbøren eksempelvis bliver mindre i områder, der i forvejen er tørre – eller omvendt?



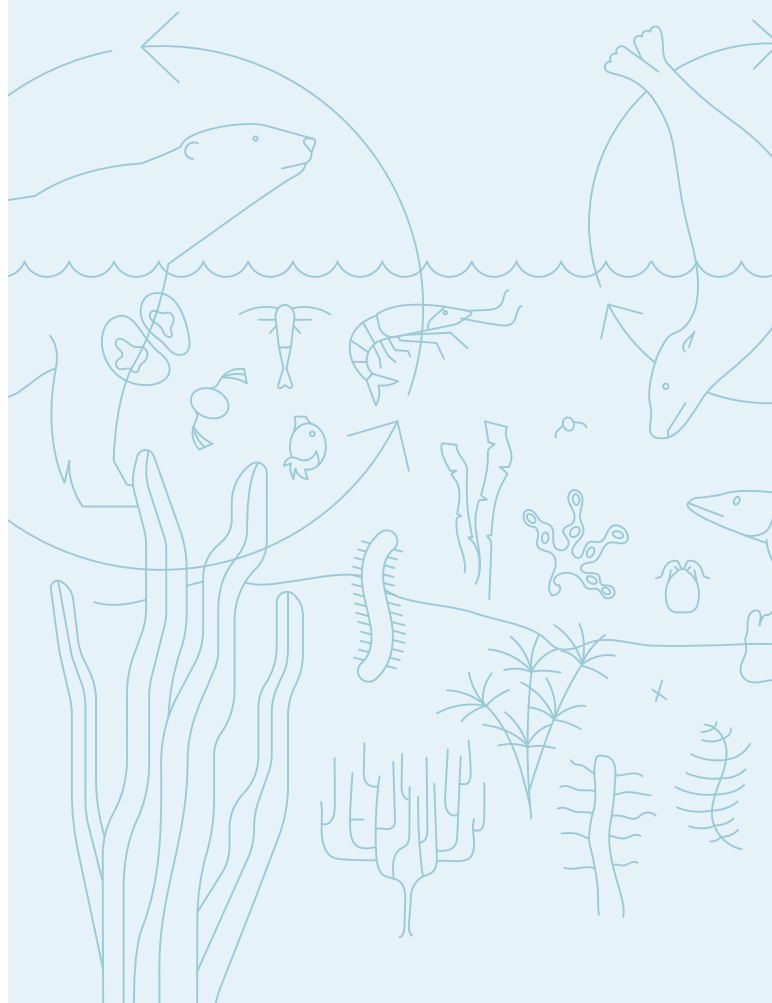
ERKENDELSE 4

Naturen er rig på biodiversitet

Biodiversitet betyder noget for, hvordan vores økosystemer fungerer, for vores ernæring og ikke mindst for vores sundhed. Vi ved, at der er en sammenhæng mellem fald i biodiversitet og udbredelse af sygdomme, og vi ved, at biodiversitet spiller en rolle for sygdomsbekæmpelse. Samtidig ved vi, at biodiversiteten er faldende på grund af menneskers aktivitet og tilstedeværelse på kloden.

?

Hvad er konsekvenserne af reduceret øko- og artsdiversitet på kort og lang sigt? Og hvordan kan biodiversiteten øges og dermed bidrage til menneskers sundhed?

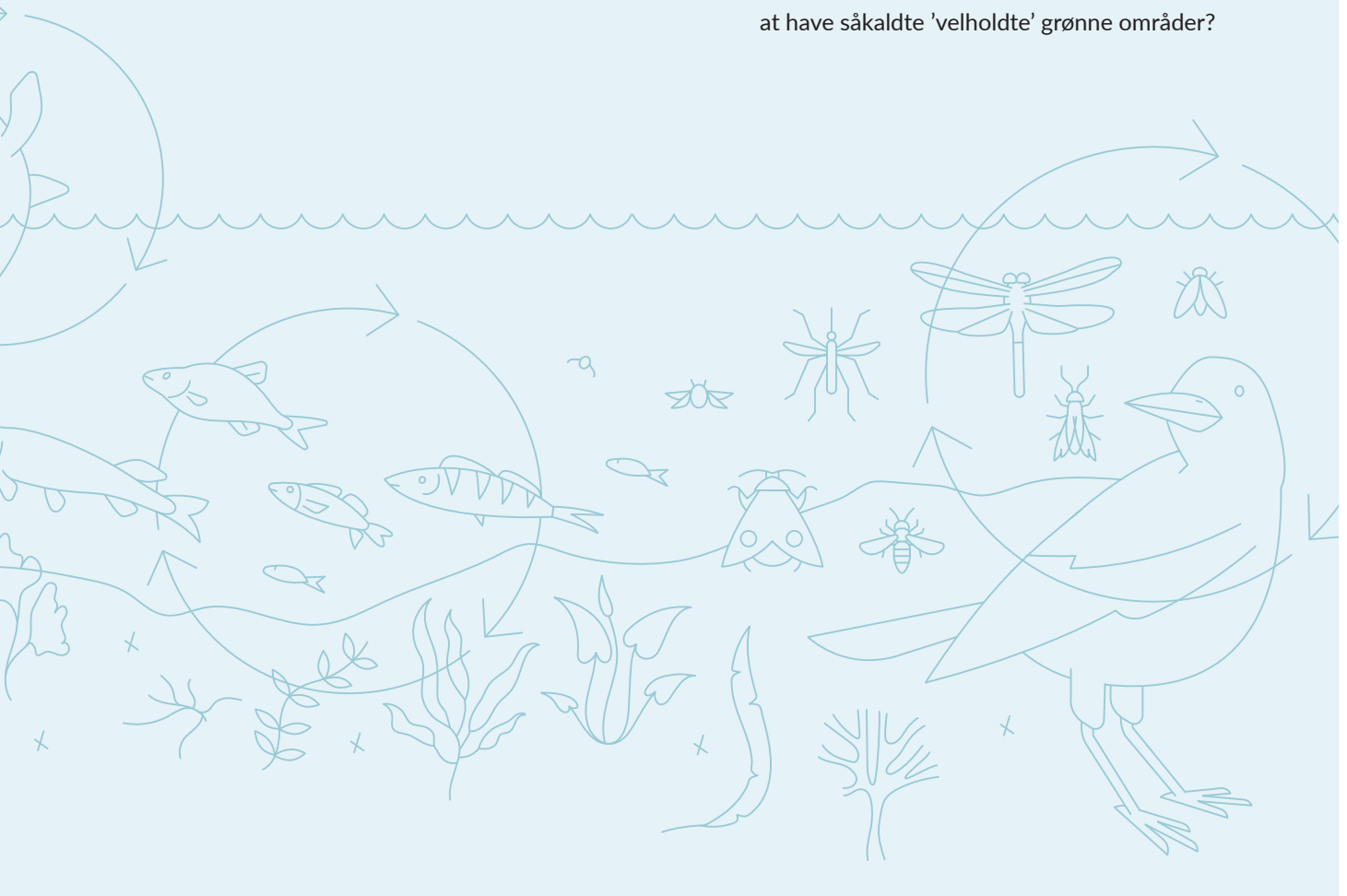


i**BAGGRUND**

Regnskovsområder har vist sig at have et særligt stort potentiale i udviklingen af ny medicin. Tab af biodiversitet risikerer dermed at begrænse vores muligheder. Biodiversitet spiller også en stor rolle for menneskets ernæring ved at understøtte en mere bæredygtig jordbundsproduktion, mere mangfoldige mikroorganismer og genetisk variation af vores fødevarer.

!**DILEMMAER**

Det koster penge at sikre dyr og planter, så hvad skal prioriteres? Skal man satse på en god biodiversitet i regnskoven, i Danmark eller begge steder? Den bynære natur kan medvirke til at øge den samlede biologiske mangfoldighed. Grønne områder tæt på og i byerne kan gøres mere 'vilde' af hensyn til både biodiversitet og deres rekreative værdi. Men kan vi undlade at bruge sprøjtemidler mod ukrudtet og lade være med at gøde parker og haver, hvis det er idealet at have såkaldte 'velholdte' grønne områder?



ERKENDELSE 5

Alt liv har udviklet sig gennem evolution

Med evolutionsteorien i hånden og gennem talrige videnskabelige ekspeditioner har vi opnået grundig indsigt i, hvordan livet gradvist ændrer sig. I dag beskæftiger forskningen sig fortsat med at forstå og, ud fra denne forståelse, finde bedre måder at bekæmpe sygdomme på. Men der er også forskning, der beskæftiger sig med mulighederne for aktivt at ændre, hindre eller fremskynde evolution.



Skal vi ændre livets udvikling gennem designet evolution?





BAGGRUND

Lige fra starten af landbrugssamfundet har vi påvirket både de arter, vi dyrker (ved selektion) og ved at etablere monokulturer – kaldet marker. Det foregår eksempelvis via kunstig selektion, hvor vi udvælger særlige egenskaber ved planter og dyrearter, som vi forstærker gennem avl. Det kan være særligt højtydende tomater eller meget hurtige heste. I 2014 lykkedes det for første gang forskere fra University of Glasgow at efterligne evolutionsprocessen i laboratoriet. Forskningsgrupper verden over arbejder med genmodificering og med mulighederne for at frembringe liv i laboratoriet, eksempelvis ved at bruge DNA fra uddøde arter.



DILEMMAER

Dilemmaerne står i kø, når det gælder muligheden for at ændre på naturens eget evolutionære tempo gennem teknologi. For hvad bliver konsekvenserne af at gøre det? Ligesom det er tilfældet med nøglearter, der fundamentalt ændrer økosystemet – indimellem med uoverskuelige konsekvenser til følge – hvis de forsvinder, kan menneskelig indblanding i evolutionen formentlig også skabe stor skade. Hvad sker der, hvis vi bringer uddøde arter tilbage?

Muligheden for at frembringe eller ændre liv i et laboratorie medfører også en række etiske dilemmaer. Skal muligheden 'kun' gælde for dyr, eller skal vi også kunne genskabe fortidens mennesker – eller måske skabe fremtidens supermennesker? Evolutionsteknologi kan måske bruges til at gøre os sundere ved at forbedre vores gener – men hvem får adgang til at bruge teknologien?

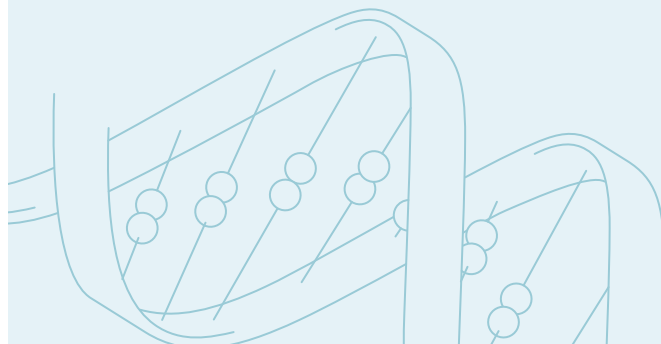
ERKENDELSE 6

Organismer består af celler – deres gener kan både nedarves og ændres

Forskningen i celler og gener er vigtig for mange typer af sundhedsspørgsmål. Spørgsmål om antibiotika-resistens, bekæmpelse af livsstilssygdomme og hjernesygdomme er noget af det, der optager forskerne lige nu og i de kommende år.

?

Hvordan kan forskningen i celler og gener sikre os mod sygdomme, der følger med det moderne samfunds forbedrede vilkår?





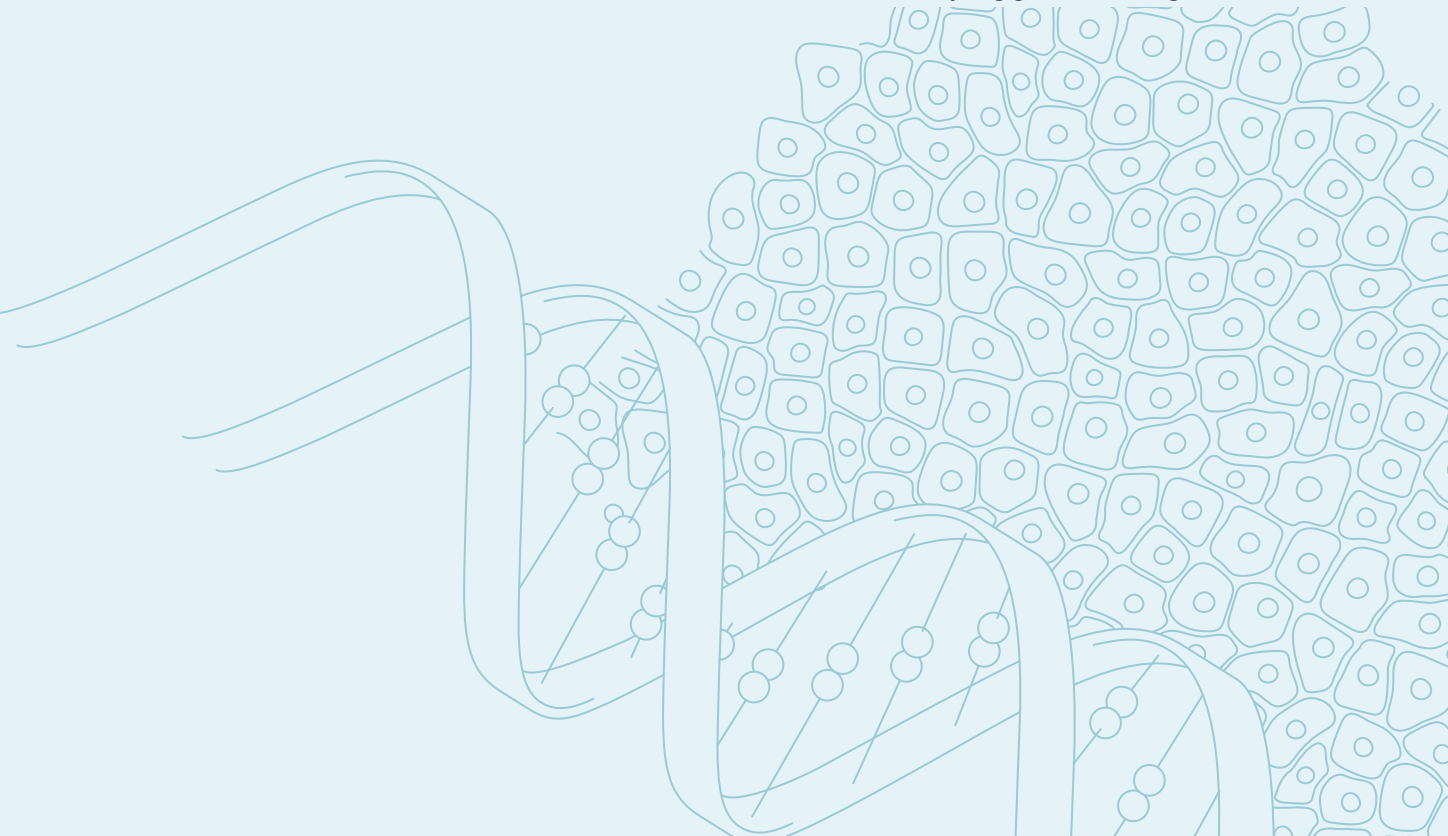
BAGGRUND

Antibiotikaresistens hænger tæt sammen med det moderne samfunds intensive brug af antibiotika. Det er et stigende problem, og resistente bakterier kan overføres mellem mennesker og dyr både direkte og eksempelvis via udveksling af genmateriale mellem mikroorganismer i menneskets tarm eller ved infektioner og på hospitaler. Det er afgørende at finde en løsning, hvis ikke 'gamle' sygdomme skal komme tilbage. Allerede nu dør i tusindvis af mennesker i Europa årligt (2017 anslået til cirka 29.000) på grund af, at deres infektioner ikke kan behandles effektivt med de kendte og tilgængelige antibiotika.



DILEMMAER

Hver gang sygdomsbakterier behandles med antibiotika, er der en risiko for, at de udvikler resistens. Som følge heraf bliver de sværere at behandle, og behandlingen påfører dermed fremtidige patienter og sundhedssystemer en større belastning; hertil kommer den belastning, resistensen kan udgøre på kort sigt for patienten selv og dennes umiddelbare omgivelser. Det er forklaringen på, at anvendelsen af antibiotika ikke blot er et individuelt medicinsk anliggende, men også et fælles anliggende, hvor forskellige hensyn strider imod og må afvejes imod hinanden. Denne afvejning giver anledning til dilemmaer.



ERKENDELSE 7

Alt i universet er opbygget af små partikler

Grænserne rykker sig hele tiden for, hvor små partikler vi kan se og manipulere, og det udstyr, vi har, bliver også mere og mere avanceret. I fremstilling af elektronik er den nyeste teknologi baseret på transistorer på bare 5 nm, og i forskningslaboratorierne arbejdes der på 3 nm komponenter – det svarer til kun 10-15 atomer på tværs. Inden længe rammer vi enkelt-atom grænsen, og så er der brug for nye løsninger.

?

Hvordan kan vi forstå lægemidlers effekt på den enkelte patient for at skabe den bedste behandling til den individuelle patient?



BAGGRUND

I lægemiddelforskning kan ny teknologi betyde, at vi bliver i stand til at designe bedre lægemidler uden faktisk at fremstille dem i laboratoriet. Brug af computerbaserede modeller gør også, at vi måske kan lave endnu bedre lægemidler, end vi kunne før. Vi bruger også i stadig stigende grad genetiske data til at forstå, hvordan sygdomme opstår, og hvordan lægemidler virker, og man kunne forestille sig, at man kunne ende op med en algoritme, hvor man kunne foreslå behandling til den enkelte patient, uden at patienten så en læge.



DILEMMAER

Hvem skal tage ansvar for at opnå tilstrækkelig viden om de menneskelige sygdomme, til at man kan forstå virkningen på den individuelle patient? Er det i orden at bruge individuelle menneskers genetiske data til at forstå sygdomme? Skal man bruge ressourcer på at lave en algoritme, der foreslår den bedste behandling, ligesom når Netflix foreslår den næste film, man vil se? Hvordan sikrer vi os, at det ikke kun er de velstående patienter, der får adgang til den bedste behandling?

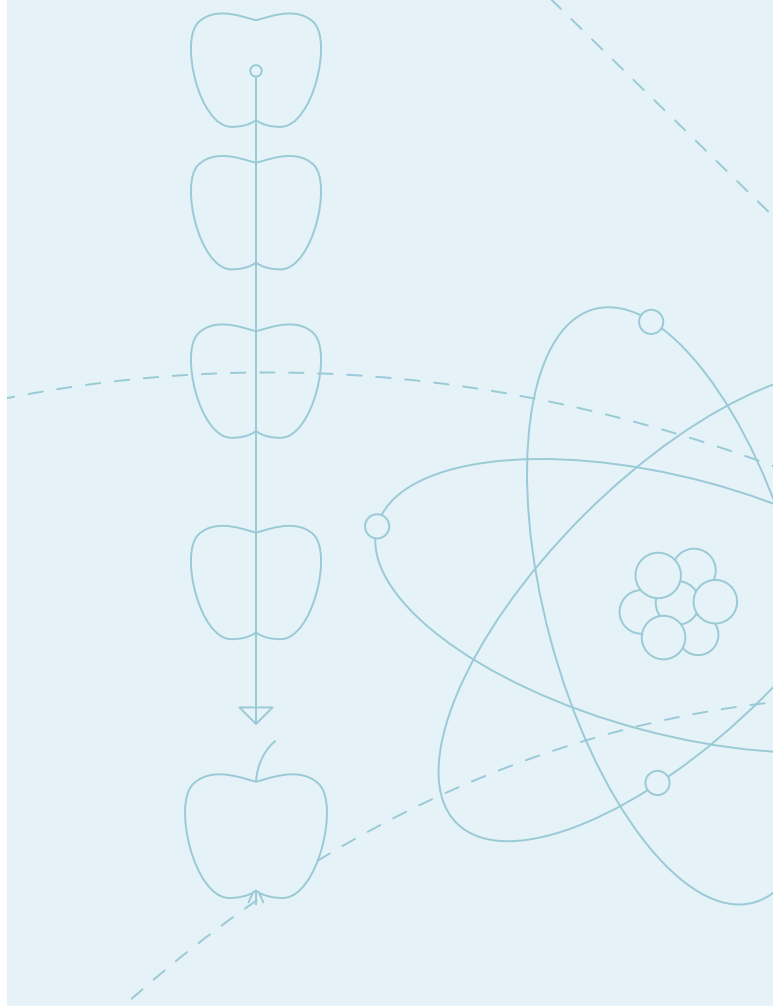
ERKENDELSE 8

Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet

I dag betragter vi tyngdekraften, elektromagnetismen og kernekraft som fundamentale naturkræfter. Der forskes stadig i, om der kan være andre fundamentale naturkræfter og i, hvordan vi kan tæmme og udnytte dem.

?

Kan forskning i magnetisme og kvantematerialer gøre it-teknologien mere effektiv og sikker?



**i****BAGGRUND**

Der forskes indgående i at skabe kvantecomputere, som vil have en uovertruffen regnekraft. Med en kvantecomputer vil man kunne regne på så komplicerede systemer, at nutidens computere slet ikke kan levere et svar inden for vores levetid. Kvantecomputeren vil også kunne få markant indflydelse på IT-sikkerhed, da man med en kvantecomputer ville kunne bryde enhver kryptering og kode i vores nuværende sikkerhedssystemer. Derfor er banker og kommunikationsfirmaer også meget interesserede i kvanteteknologien, og forskningen i den nødvendige kvantekryptering er godt i gang.

**!****DILEMMAER**

It-teknologien giver allerede i dag anledning til adskillige kendte dilemmaer. Datasikkerhed og overvågningsmuligheder er blot nogle af dem, og hver gang vi lykkes med at udvikle ny og stærkere it-teknologi, øges mulighederne for at indsamle og opbevare store mængder af oplysninger om borgere, virksomheder eller lande. Fordelene er åbenlyse. Med Big Data kan vi se nye sammenhænge og dermed forudsige fænomener, epidemier, sygdomsmønstre eller klimaændringer. På den anden side øges også risikoen for, at de store datamængder kan blive misbrugt.

ERKENDELSE 9

Energien i universet er bevaret, men kan ændres fra en form til en anden

Moderne samfund bruger meget store mængder energi til alt fra kommunikation og transport til fødevareproduktion, tekstilindustrien, byggeri og industrielle processer. Specielt tekstilindustrien er en meget stor faktor med hensyn til CO₂-udledning. Med en voksende befolkning er et af de helt centrale spørgsmål for forskningen i dag, hvordan vi sikrer alternative energikilder, som både er tilstrækkelige, og som ikke er skadelige for Jorden i samme grad, som de gamle fossile teknologier har været.

?

Er det muligt at finde en CO₂-neutral, varig og tilstrækkelig kilde til energiproduktion?





BAGGRUND

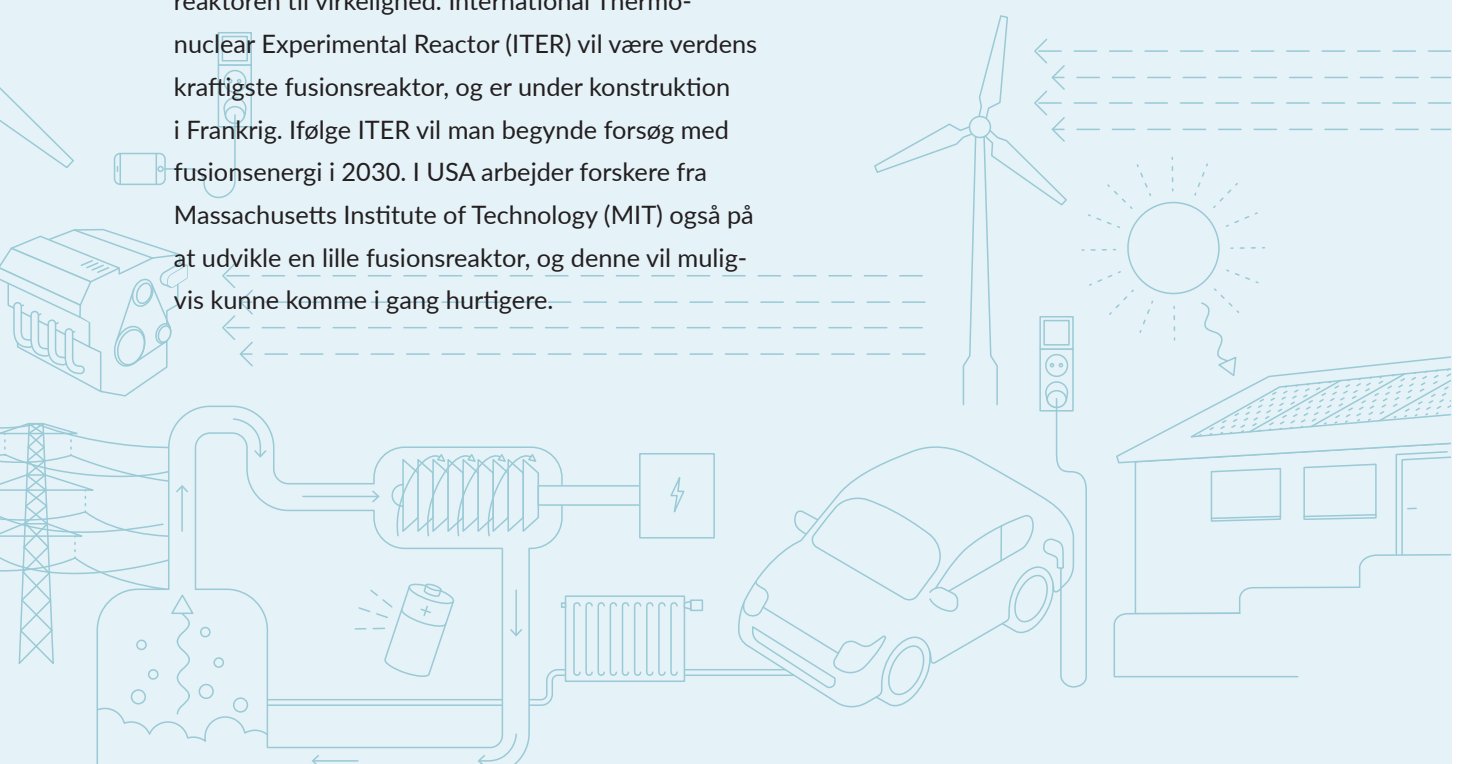
I en verden med et voksende behov for ren energi kan fusionsreaktoren muligvis blive svaret på vores energiproblem. Ved hjælp af fusion kan menneskeheden i princippet høste fra en i praksis ubegrænset energikilde, som aldrig vil løbe tør, og som er sikker. Teknologien bygger på vores viden om kernekraft, men i modsætning til atomkraften er der ikke fare for ukontrollerede kernereaktioner, og den radioaktive stråling er meget lille. Samtidig er udledningen af skadelige klimagasser reduceret til tæt på ingenting.

Det er endnu ikke lykkedes at udvikle en funktionsdygtig fusionsreaktor, men flere førende og meget store forskningsprojekter arbejder på at gøre reaktoren til virkelighed. International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) vil være verdens kraftigste fusionsreaktor, og er under konstruktion i Frankrig. Ifølge ITER vil man begynde forsøg med fusionsenergi i 2030. I USA arbejder forskere fra Massachusetts Institute of Technology (MIT) også på at udvikle en lille fusionsreaktor, og denne vil muligvis kunne komme i gang hurtigere.



DILEMMAER

I modsætning til atomkraft og fossilt baseret energi er fusionsenergi ren og sikker. Det kan diskuteres, om håbet om udviklingen af fusionsreaktoren, som nogle mener er et umuligt projekt, kan stå i vejen for udvikling af andre mere realistiske alternative energikilder.



ERKENDELSE 10

Solsystemet er en meget lille del af en enkelt af milliarder af galakser i universet

En del af fascinationen af universet har længe været, hvorvidt der findes andre, der ligner os derude, og om det vil være muligt at bosætte sig på andre planeter i fremtiden.

?

*Er der liv i andre dele af Universet?
Kan vi udvide vores egen planets
grænser ved at inddrage andre dele af
Universet?*





BAGGRUND

Gennem århundreder har vi – både som mennesker og videnskabsfolk - været optagede af spørgsmålet om, hvorvidt der er liv "derude", og om det er muligt for os at bosætte os på andre planeter. Indtil videre er Mars det bedste bud på en planet, som muligvis kunne komme til at huse jordboere, og forskningen i dag retter sig da også mod Mars. Spørgsmålet om planetens forudsætninger for at huse liv er interessant. Studiet af livsbetingelserne på Mars kan lære os meget om Jordens tidlige miljø, ligesom vores viden om det tidlige Jord-miljø også hjælper os til at forstå, hvad vi skal lede efter på andre planeter, som vi vil undersøge for liv. Mange danske og internationale forskningsgrupper arbejder på at undersøge betingelser for liv på Mars.

Et spørgsmål af lidt nyere dato, som udspringer af vores voksende behov for ressourcer, kombineret med, at vi er godt i gang med at udtømme de ressourcer, vi har på Jorden, er, om det er muligt at udvinde råstoffer fra asteroider. Vi ved, at nogle asteroider indeholder vand og carbondioxid. Det kan bruges til at fremstille raketbrændstof, og dermed kan asteroider blive en form for 'rum-tankstationer'. Andre asteroider indeholder værdifulde materialer som eksempelvis platin.



DILEMMA

Vores interesse for og aktiviteter i rummet medfører en række dilemmaer. Affald, blandt andet i form af vragrester fra ekspeditioner i rummet, har længe udgjort et reelt problem. Flere lande, herunder Danmark, har derfor udarbejdet love eller regelsæt, som skal sikre, at miljøet i rummet ikke bliver ødelagt af menneskelig aktivitet. På et mere overordnet etisk niveau kan det også være interessant at diskutere, om et fokus på Mars som en mulig 'reserveplanet', som vi kan flytte til, hvis Jordens klima bliver ødelagt, er med til at dreje opmærksomheden væk fra vigtigheden af at kontrollere de klimaforandringer, som lige nu og her truer med at komme ud af kontrol.

På samme måde rummer ideen om at udnytte asteroider til brændstofproduktion og minedrift betydelige dilemmaer. For det første må man forholde sig til, om det er etisk ansvarligt at begynde at udnytte ressourcerne i andre dele af solsystemet, frem for at fokusere på at nedsætte vores forbrug, så vi ikke udtømmer de nuværende ressourcer på Jorden? Et andet og mere praktisk spørgsmål handler om ejerskab. Hvis det lykkes at udvinde ressourcer fra asteroider, hvem skal så eje disse ressourcer?

REDAKTION

Medlemmer af ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC

Anja C. Andersen, Formand

Anja C. Andersen er cand. scient. i fysik/astronomi, ph.d. i astrofysik og professor i offentlighedens forståelse for naturvidenskab og teknologi ved Københavns Universitets Niels Bohr Institut samt adjungeret professor ved Syddansk Universitet.

Alexander von Oettingen

Alexander von Oettingen er uddannet lærer, cand. pæd., ph.d. og har en doktorgrad i pædagogik fra Aarhus Universitet. Han er prodekan og ansvarlig for uddannelser, forskning og videreuddannelse på UC SYD.

Claus Michelsen

Claus Michelsen er cand. scient. i matematik og fysik og ph.d. i matematik. Han er professor og leder af Laboratorium for Sammenhængende Uddannelse og Læring på Institut for Matematik og Datalogi på Syddansk Universitet.

Høgni Kalsø Hansen

Høgni Kalsø Hansen har en M.Sc. i socio-økonomisk geografi fra Københavns Universitet og en ph.d. i økonomisk geografi fra Lunds Universitet. Han er lektor i geografi og studieleder ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet (geografi og geoinformatik).

Lene Lange

Lene Lange er ph.d og dr. scient. i biologi, tidligere Research Director i molekylær bioteknologi i Novozymes, tidligere Forskningsdirektør for Aalborg Universitet og Campus Direktør for AAU Cph samt tidligere professor inden for Mikrobiel Bioteknologi ved KU, AAU og senest DTU. Nu egen virksomhed. Hun er medlem af det Danske og Nordiske Bioøkonomipanel og Vice Chair for rådgivning af EU-Kommissionen inden for Biobased Bioeconomy.

Lotte Bjerre Knudsen

Lotte Bjerre Knudsen er uddannet kemiingeniør fra DTU og dr. med. fra Københavns Universitet. Hun er Scientific Corporate Vice President in Global Drug Discovery hos Novo Nordisk og adjungeret professor ved Aarhus Universitet. Hun er reviewer for div. internationale videnskabelige tidsskrifter og er opfinder af et lægemiddel, der har defineret en ny klasse til behandling af type 2-diabetes og overvægt/fedme.

Jane Hvolbæk Nielsen

Jane Hvolbæk Nielsen er cand.polyt. i elektronik og ph.d. i fysik fra DTU. Hun er professor og institutdirektør på Institut for Fysik på DTU, er med i Executive Committee for The VILLUM Center for the Science of Sustainable Fuels and Chemicals (V-SUSTAIN) og har indtil for nylig siddet i bestyrelsen for Danmarks Frie Forskningsfond (DFF).

Peter C. Kjærgaard

Peter C. Kjærgaard er professor i evolutions-historie og museumsdirektør på Statens Naturhistoriske Museum. Han er cand. mag. og ph.d. fra Aarhus Universitet og en internationalt anerkendt ekspert i evolutionshistorie og menneskets udvikling.

Ekspertgruppens arbejdsproces

Ekspertgruppens anbefalinger er udviklet i perioden oktober 2018 til april 2019. Ekspertgruppen har holdt seks møder og udviklet teksterne i interaktion mellem gruppens medlemmer og i dialog med projektledelsen. Ekspertgruppen har fået bistand til udarbejdelsen af teksterne til Naturvidenskabens ABC fra Rasmus Vincentz, Habitats Aps og Rebekka Knudsen, Kile Kommunikation. I den afsluttende fase har ekspertgruppen fået udvalgte fagfæller til at gennemlæse og kommentere anbefalingerne til Naturvidenskabens ABC, og på den baggrund er der lavet mindre justeringer.

Undervejs har ekspertgruppen fået præsenteret international inspiration fra "Big Ideas of Science Education", der er udarbejdet af en gruppe internationale forskere med baggrund i naturfagsundervisning, og det amerikanske "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas".

Ekspertgruppen holdt den 13. december 2018 et virtuelt møde med Dr. Helen Quinn, som ledte processen, der har ført til "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas".

En læringskonsulent fra grundskoleområdet og fagkonsulenter fra ungdomsuddannelserne fra Styrelsen for Undervisning og Kvalitet har løbende deltaget i møder i ekspertgruppen. Ekspertgruppen har endvidere fået udleveret et baggrundsmateriale vedrørende naturfagene i grundskolen samt de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne.

Ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC har afholdt dialogmøder, hvor lærere og andre vidensmiljøer har givet input til og bistået med kvalitetssikring af Naturvidenskabens ABC. På baggrund af dialogmøderne og en række konkrete skriftlige input har ekspertgruppen redigeret Naturvidenskabens ABC i februar-marts 2020. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet har sekretariatsbetjent ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC.

Illustrationer og infografik:

Tobias Scheel Mikkelsen / WhatWeDo

Fotos:

- s. 7: Shutterstock.
- s. 10: Jens Astrup / Zoologisk Museum, Københavns Universitet.
- s. 15: Shutterstock.
- s. 20, 26, 27: iStock.
- s. 29: Alamy Stock Photo.
- s. 38: iStock.
- s. 39: Detlev Wan Ravenswaay / Science Photo Library.
- s. 40: Allan Moe / Ritzau Scanpix.
- s. 44: Doug Clark / Western Washington University .
- s. 45: iStock.
- s. 49: Københavns Universitet.
- s. 55: iStock.
- s. 56: Alamy Stock Photo.
- s. 58: Andrew McRobb / Royal Botanic Gardens KEW.
- s. 59: Michael Shapiro / michaelshapiro.net.
- s. 68: Alamy Stock Photo.
- s. 69: Katie Hollamby / Pexels
- s. 70: Alamy Stock Photo.
- s. 74: Ernesto del Aguila III / Human Genome Research Institute, NIH.
- s. 76, 77: iStock.
- s. 78: Path.org.
- s. 79, 79: iStock.
- s. 86: D-Wave Systems Inc.
- s. 88: Shutterstock
- s. 92: CERN.
- s. 93: iStock.
- s. 94: Joachim Adrian / Politiken / Ritzau Scanpix.
- s. 100: Martin Wolf, IceCube/NSF
- s. 101: Peter Bartenstein / Ludwig Maximilians University, Munich, Germany
- s. 102: European Spallation Source / Team HLA.
- s. 103: CERN.
- s. 108, 109, 112: iStock.
- s. 113: Alamy Stock Photo.
- s. 118, 119: ESA/Hubble & NASA.
- s. 120, 121: NASA.
- s. 122: ESA/Gaia/DPAC, [CC BY-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/).



Ordforklaringsliste til Naturvidenskabens ABC

ERKENDELSE 1:

Drivhuseffekt: Jordens atmosfære tillader de kortbølgede stråler fra solen at passere på vej ned til overfladen, hvor de omdannes til varmeenergi. En del af atmosfæren, de såkaldte drivhusgasser, opfanger og tilbagestråler denne form for varmeenergi. Dermed bliver Jordens atmosfære og overflade varmere, end den ville være uden en atmosfære med drivhusgasser. Drivhuseffekten refererer oftest til det faktum, at vi har oplevet en stigning i drivhusgasser i atmosfæren over de seneste årtier. Disse har reduceret udstrålingen af varme og dermed øget temperaturen på Jorden.

Funktionssystem: Et hierarkisk system, i dette tilfælde bysystem, baseret på hvilke funktioner de enkelte byer varetager. Jo mere specialiserede funktioner en by omfatter, jo højere oppe i hierarkiet vil byen placeres.

Solstrålingsreaktioner: En kemisk eller fysisk reaktion, der initieres af den varmeenergi, der kommer fra eksempelvis solens stråling.

ERKENDELSE 2:

Astenosfære: Et lag af blødere klippe under jordskorpen, lithosfæren.

Corioliskraften: En kraft, der opstår ved, at Jorden drejer. Grundet Jordens form vil det punkt ved Ækvator bevæge sig meget hurtigere end et punkt ved en af polerne.

Den termohaline cirkulation: Globale cirkulationer af havstrømme, der drives af forskelle i saltindhold og temperatur af havstrømmene. Havstrømmene påvirker klimaet ved at flytte varmt vand fra de tropiske regioner mod polerne og koldt vand den anden vej.

Kontinentaldrift: En teori om, at Jordens kontinenter bevæger sig mod eller fra hinanden over tid. Kontinenterne har således ændret beliggenhed på jordkloden i løbet af geologisk tid.

Lithosfæren: De yderste 100 km af den faste jord, som består af jordskorpen og den øverste del af kappen, og som er hård, stiv og relativt kold.

Mikroplast: Plastpartikler, som er mindre end ca. 5 mm i diameter. Mikroplast udgør en stor del af plastforureningen.

Overfladeafstrømningen: Når vandet løber på terrænoverfladen og i vandløb.

Sedimentære bjergarter: Cementerede aflejringer, der opstår over tid. Fragmenter fra bjergarters erosion og forvitring transporteres af vand, vind og is mod lavereliggende terræn og aflejres som sedimenter. Lag på lag af disse sedimenter danner gennem sammentrykning efterhånden de sedimentære bjergarter.

Sedimentære klipper: Klipper, der dannes ved cementering og aflejret materiale, såkaldte sedimenter. Sedimenterne kan både være af mineralske og af sedimentære materialer. Sedimentære klipper antages at dække 73 % af jorden på Jordens overflade.

Superkontinenter: En landmasse, der indeholder mere end ét kontinent. Nutidige superkontinenter er Amerika, Eurasien og Afrika-Eurasien, men der har været mange forskellige superkontinenter i geologisk tid.

Superpositionsprincippet: En principiel forståelse af at sedimentære bjergartslag er ordnet i en kronologisk

rækkefølge, således at de ældste lag er nederst, og de yngste lag er øverst. Dette er dog kun gældende, når lagene ikke er blevet forstyrret af andre efterfølgende processer, der kan ændre i lagenes fordeling.

ERKENDELSE 3

Antropocæne: Den antropocæne tidsalder er den tidsalder, vi lever i nu, og er kendetegnet ved menneskets afgørende påvirkning af Jorden.

Carbonkredsløb: Det kemiske kredsløb, hvori kulstof bliver udvekslet.

Earth System trends: Forandringerne i de miljømæssige komponenter, som normalt drives af menneskelig aktivitet. Der henføres oftest til ændringer i biodiversitet og den naturlige cyklus af carbon, nitrogen og vand samt konsekvenserne af disse.

Entropi: Den samlede uorden eller tilfældighed i et system.

Flyttemarksbrug: Landbrugssystem, hvor braktiden for et opdyrkningsareal er længere end den tid, hvor der dyrkes en afgrøde. Herved 'flyttes' afgrøderne rundt i det opdyrkede areal.

Geo-engineering: Betegnelse for menneskeskabte indgreb i Jordens klimasystem. Ofte tales der om geo-engineering i forhold til løsninger til at "fikse" klimaproblemer gennem manipulation. Dette kan være ved for eksempel at afkøle kloden ved hjælp af syntetiske skyer eller lave kunstige vulkaner, der kan sprøjte svovlpartikler ud i luften.

Geologiske ressourcekort: Kort, der viser, hvilke geologiske ressourcer der findes inden for et givent areal. Et geologisk ressourcekort kan eksempelvis vise forekomsten af mineraler eller forskellige jordlag.

Geotermi: En vedvarende energiform, der skyldes, at undergrunden er varm grundet tryk. Geotermien, udnytter varmen i undergrunden til at hente energi, for eksempel i form af opvarmning af vand, op til overfladen.

Great Acceleration Graf: Grafen viser socioøkonomiske og 'Earth system' trends fra år 1750 til 2000.

Kaskadeprikket: Trinvis omdannelse af et produkt til flere anvendelser. Derved opnås samlet set mest værdi af produktet gennem hele værdikæden.

Lignocellulosen: Tørstof fra planter sammensat af kulhydratpolymerer og en aromatisk polymer. Det er det mest tilgængelige råmateriale på jorden til produktion af biobrændstoffer.

Mikrobielle enzymer: Enzymer, der bl.a. tilføres fødevarer for at fremme nogle særlige egenskaber. Det kan eksempelvis være for at udvikle smag, konsistens etc.

Mitigere: Betyder at afbøde eller formilde.

Omega-3-fedtsyrer: Fællesbetegnelse for en række flerumættede fedtsyrer, som er vigtige for mennesker at få gennem den kost, der indtages.

Pre-biotiske: Ufordøjelige kostfibre, som er med til at gavne miljøet i tarmene ved at stimulere væksten af de gode tarmbakterier.

Recirkuleringsteknologier: Teknologier med formål at udnytte og genanvende for eksempel varmt vand, spildvarme etc. i lukkede systemer.

Ressourcecirkularitet: Udnyttelse af ressourcer ud fra en kredsløbsstankegang, hvor ressourcer indgår i en værdikæde flere gange, eksempelvis gennem genanvendelse.

Svedjebrug: Landbrugssystem, hvor systematisk afbrænding af vild vegetation efterfølges af såning af afgrøden i den askeblandede jord.

ERKENDELSE 4

Bisamrotter: Invasiv rotteart, længde 30-40 cm og vægt op til 1,8 kg. Bisamrotten lever ved søer, åer og moser.

Fylogenetisk: Betegner en arts, slægts eller anden gruppes historiske oprindelse og evolution.

IUCN: "International Union for Conservation of Nature", international organisation, hvis formål er at fremme bevarelse og bæredygtig udnyttelse af de naturlige ressourcer.

Megafauna: En fællesbetegnelse for store og kæmpestore dyr. Megafauna inkluderer mennesker og typisk dyr fra 40 kilogram og opetter.

Signalkrebs: Invasiv krebseart, længde op til 16 cm og vægt 110 g. Signalkrebsen udkonkurrerer lokale krebsarter i Danmark og Europa.

Varroamider: Parasit, der lever på honningbier.

ERKENDELSE 5:

Alger: Gruppe af organismer, hvoraf de fleste kan udføre fotosyntese. Der findes to hovedgrupper af alger: encellede mikroalger (eksempelvis planteplankton) og flercellede makroalger (eksempelvis tang).

Arke-bakterier: Gruppe af mikroorganismer. Arke-bakterier kaldes også Archaea.

Bakterier: Encellede organismer uden cellekerne.

Bonoboer: Dværgchimpanse eller pygmæchimpanse. Den regnes sammen med chimpansen for menneskets nærmeste nulevende slægtning.

Dateringsmetoder: Fællesbetegnelse for metoder til bestemmelse af den relative eller absolutte alder af fund. Metoderne bruges blandt andet inden for geologi og arkæologi.

Den neodarwinistiske syntese: Teori, der forener evolutionslæren med viden om genetik. Syntesen ser evolution som en proces styret ved naturlig udvælgelse af de fordelagtige mutationer, der opstår på genniveau.

Designet evolution: Muligheden for at manipulere med fremtidens evolution, bl.a. inden for forskning, der beskæftiger sig med mulighederne for aktivt at ændre, hindre eller fremskynde evolution.

Epigenetik: Betegnelse for arvelige, men reversible forandringer i genudtrykket. Dvs. at epigenetik omhandler videregivelse af information gennem gener, men uden at det direkte involverer ændringer i den genetiske kode.

Fylogenetiske træer: Illustration og princip for den evolutionære relation mellem arter.

Homininer: Betegnelse for individer, der tilhører menneskets evolutionære udviklingslinje.

Homo habilis: Slægts- og artsnavn for en af de første menneskearter. Homo habilis kunne lave og anvende simple værktøjer.

Konvergens: Betegnelse for, at to ting nærmer sig eller ligner hinanden. I evolutionslæren henviser det til udvikling af lignende udseende og funktion fra forskellige udgangspunkter.

Palæoantropologi: Gren af videnskaben, der beskæftiger sig med undersøgelse af fortidige menneskers biologi og levevis.

Primatologi: Gren af videnskaben, der beskæftiger sig med undersøgelse af primater.

Svampe: Flercellede organismer. Svampe optager næring, hvor de vokser, eksempelvis fra jord, rådne træer eller levende planter og dyr.

UNESCO: "United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization" eller FN's organisation for uddannelse, kultur, kommunikation og videnskab.

ERKENDELSE 6

Arke-bakterier: Gruppe af mikroorganismer. Arke-bakterier kaldes også Archaea.

Association: Betegnelse for en forbindelse mellem to forestillinger, mellem en påvirkning og en forestilling eller mellem en forestilling og en respons.

Antistoffer: Antistof, også kaldet immunglobulin, er et af kroppens forsvar mod fremmede organismer og substanser, for eksempel bakterier og virus. Antistoffer er proteiner, der produceres i immunsystemet og er

designet til at genkende lige præcis det målmolekyle (antigen), man ønsker at bekæmpe.

Autoimmun: Tilstand, hvor immunsystemet angriber kroppens normale væv.

Aviditetsprincip: Betegnelse for antistoffers evne til at danne tiltagende bindinger til et antigen ved gentagne påvirkninger med det samme antigen.

Dopamin: Neurotransmitter, signalstof, der dannes i hjernen. Dopamin aktiverer belønningssystemet i hjernen og regulerer lystfølelsen. Frigivelse af dopamin i hjernen eksempelvis gennem motion kan give velvære, glæde og lykke.

DNA: Cellernes arvemateriale. DNA udgøres af et molekyle i en dobbelt spiralform, der består af nukleotider.

Endogene: Betegnelse for en proces, der foregår indefra og uden ydre påvirkning.

Enzymer: Specialiserede proteiner, som virker som katalysatorer for en given proces. Enzymer bliver ikke selv forbrugt i processen.

Epidemier: En hurtig og ukontrollabel udbredelse af en smitsom sygdom til et stort antal mennesker inden for et afgrænset geografisk område og inden for en forholdsvis kort periode.

Epigenetik: Betegnelse for ændringer i gener, som kan overføres fra en generation til en anden, uden at det direkte involverer ændringer i den genetiske kode.

Eukaryoter: Gruppe af organismer med celler med en cellekerne.

Genetiske mutationer: Forandring i en celledes arvemateriale (DNA), som kan videreføres til dattercellerne. I genetiske mutationer er forandringer begrænset til et enkelt gen.

Genomsekvens: Rækkefølgen af en organismes samlede arvemasse (DNA).

Hormoner: Kemiske signalstoffer, der regulerer kroppens funktioner via blodbanen.

Immunterapi: Behandlingsform, hvor kroppens eget immunforsvar aktiveres til målrettet at bekæmpe kræftsyge celler. Immunterapi både styrker immunforsvarets evne til at genkende kræftceller som skadelige og angribe dem og svækker kræftcellernes evne til at forsvare sig.

Inhibere: At hæmme eller standse.

Katalysator: Stof, der øger hastigheden af en kemisk reaktion uden selv at blive forbrugt.

Kausal: Årsagssammenhæng. En sammenhæng, hvor det ene forhold er årsag til det andet.

Kloning: Dannelse af en eksakt genetisk kopi ud fra et enkelt individ eller celle. Stiklingeformering hos planter er et eksempel på kloning.

Kromosomer: Struktur i cellekernen, der bærer DNA'et, og som muliggør, at generne kan nedarves.

Lymfesystemet: Karsystem, der består af lymfekar og lymfeknuder. Systemet transporterer overskydende væske (lymfe) fra væv og organer tilbage til blodet. I lymfesystemet er hvide blodlegemer med til at bekæmpe infektioner forårsaget af virus og bakterier.

Nukleotider: DNA'ets byggesten. Nukleotider består af en sukkerdel, en base og en fosfatdel. I DNA findes fire forskellige slags nukleotider.

Pandemier: Epidemi, der spredes til flere verdensdele.

Peptidase: Enzym, der danner bindinger i cellevæggen. Penicillin hæmmer peptidase i bakterier, hvilket medfører, at bakteriecellen ikke kan dele sig og dø.

Prokaryoter: Gruppe af organismer med celler uden en cellekerne.

Proteiner: Store molekyler, der er bygget op af små molekyler kaldet aminosyrer. Proteiner kan eksempelvis være hormoner eller enzymer.

Randomiseringsprincippet: Tilfældig udvælgelse af kontrol og behandlingsgruppe ved lodtrækning. Anvendes eksempelvis ved kliniske forsøg, hvor effekten af en behandling skal undersøges, og grupperne skal være sammenlignelige.

ERKENDELSE 7

Absolutte nulpunkt: Nulpunkt for den absolutte temperaturskala. Der gælder $0\text{ K (kelvin)} = -273,15\text{ C}^\circ$. Den lavest mulige temperatur, hvor atomer bevæger sig mindst muligt.

Anti-partikler: En elementpartikel, der er magen til sin modpart, men har modsat elektrisk ladning.

Bose-Einstein kondensat: Superatom, der opstår når en gas atomer, afkøles ned i nærheden af det absolutte nulpunkt.

Den stærke kernekraft: En af de fire fundamentale naturkræfter. Den beskriver, hvordan stof er bundet sammen på atomniveau. Den stærke kernekraft binder kvarkerne sammen inden i protonerne og neutronerne.

Den svage kernekraft: En af de fire fundamentale naturkræfter. Den beskriver, hvordan stof er bundet sammen på atomniveau. Den svage kernekraft forårsager beta-henfald fra atomer, der har fået tilført energi. Vi kender den svage kernekraft fra radioaktiv stråling fra eksempelvis atomaffald.

Elektrodynamisk: Bevægelse frembragt ved elektrisk strøm. Se evt. ordforklaringen af begrebet 'elektromagnetisme'.

Elementarpartikel: De fysiske byggesten, som alle universets atomer består af.

Elementarladninger: Den mindste elektriske ladning. En proton har en elementarladning på $+1$, mens en elektron har en elementarladning på -1 .

Energibarriere: Barriere for kemiske reaktioner, som reaktionerne (de kemiske forbindelser) skal overvinde, før de kan omdannes til produkter (de nye kemiske forbindelser). Jo højere energibarriere, jo langsommere kemisk reaktion.

Fiberoptisk kommunikation: En metode til at overføre data eller information fra et sted til et andet ved at sende lyspulser gennem en lysleder.

Geomagnetisme: Betegnelse for den magnetisme, der virker i Jordens magnetfelt.

Gittersvingninger: Atomers bevægelse om deres ligevægtspositioner i fast tilstandsform. Der vil altid være en lille smule bevægelse i fast form, også selvom temperaturen er meget lav.

Heisenbergs usikkerhedsprincip: Princip, der siger, at det ikke er muligt for en kvantepartikel samtidigt at have en bestemt position og en bestemt hastighed. Der findes en grænse for, hvor præcist man kan kende et objekts impuls (masse gange hastighed) og position på samme tid. Kaldes også Heisenbergs ubestemthedsrelation.

Higgs-partiklen: Fundamental partikel, som bevirker, at de andre partikler har en masse. Partiklen spiller en central rolle for forståelsen af, hvorfor universet ser ud, som det gør.

Isotoper: Variationer af det samme grundstof. Atomer med samme antal protoner og et forskelligt antal neutroner. Isotoper kan enten være tungere eller lettere end det hyppigste forekommende.

Katalysatoroverflade: Den overflade på katalysatoren hvor den kemiske reaktion foregår.

Katalysatorer: Stof, der øger hastigheden af en kemisk reaktion uden selv at blive forbrugt.

Kernekrafter: Fællesbetegnelse for stærke og svage kernekrafter.

Komplementaritet: Kvantemekanisk princip, også kaldet komplementaritetsprincippet, som angår et sæt af to fysisk observerbare størrelser, eksempelvis en partikels sted og dens impuls.

Kvantebehandling af information: Information kan klassisk lagres i form af nuller og ettaller. I kvanteinformation arbejder man med, at information kan lagres med værdier mellem 0 og 1.

Kvarker: Bestanddelene i protoner og neutroner. Kvarker findes ikke frit i naturen.

Makromolekyler: Komplekse molekyler, der består af et meget stort antal atomer. Makromolekyleres opbygning kaldes polymerisering. DNA er et eksempel på et makromolekyle.

Partikelaccelerator: Apparat, der kan accelerere en koncentreret stråle af partikler med høj energi.

Partikelfysikkens standardmodel: Standardmodellen er en samlet teori inden for partikelfysikken, hvor man har samlet de grundlæggende partikler for universets eksistens.

Plasmatilstand: Den fjerde tilstandsform. I en plasmatilstand er temperaturen så høj at elektronerne løsriver sig fra atomets kerne, når atomerne støder sammen. Plasma består af de ladede partikler, negative elektroner og positive ioner, der bevæger sig frit rundt mellem hinanden.

Superatom: Klynge af atomer som udviser samme egenskaber og karakteristika som et enkelt atom.

Tilstandsformer: Et stofs fremtrædelsesform. Stoffer kan antage fire tilstandsformer: fast, væske, gas og plasma. Tilstandsformen afhænger af temperaturen og stoffets egenskaber.

W-partiklen: Elementarpartikel, som formidler de svage vekselvirkninger.

Z-partiklen: Elementarpartikel, som formidler de neutrale dele af de svage vekselvirkninger. Nært beslægtet med W-partiklen. Er på spil ved forskellige former for radioaktivitet.

ERKENDELSE 8

Elektromagnetiske kræfter: Den kraft, der virker mellem elektriske ladninger.

Elementarpartikler: De fysiske byggesten, som alle universets atomer består af.

Elektrisk ladede partikler: Nogle partikler er elektrisk ladede. Elektrisk ladning forekommer i to tilstande, som kaldes positiv og negativ. De to slags ladninger kan ophæve hinandens virkninger.

Elektromagnetisme: Den naturkraft, der er i spil i produktionen af elektricitet. Eksempelvis er der i vindmøller en turbine, der bevæger et antal magneter, som gennem deres bevægelse skaber en strøm.

Elektromotor: Maskine, der omsætter elektrisk effekt til mekanisk effekt.

Høj-energi-neutrinoer: Meget sjældne neutrinoer, som er produceret andre steder i universet end lavenergi-neutrinoerne.

Høj-temperatursuperledere: Materialer, der virker som superledere ved usædvanligt høje temperaturer, eksempelvis stuetemperatur.

Kernekraft: Omtales ofte også som atomkraft. En energiform, som ikke udleder CO₂.

Kombinationen af forskellige kvarker: Kvarker er elementarpartikler tilhørende gruppen af fermioner. Der findes seks forskellige kvarker: Up, down, top, bottom, charm og strange og tilhørende seks antikvarker: Anti-up, anti-down, anti-bottom, anti-charm og anti-strange.

Lav-energi-neutrinoerne: Næsten masseløse elementarpartikler, der er kendetegnet ved stort set ikke at vekselvirke med stof, hvilket betyder, at de nemt kan passere tværs gennem mennesker og dyr og endda Jorden.

Netværk af detektorer: Instrumenter til påvisning eller måling af fysiske størrelser.

Neutrinoer: En ikke-ladet elementarpartikel. Universets mest hyppigt forekommende partikel.

Neutronkilde: Enhver enhed, der udsender neutroner, som indeholder energi. Neutronkilder anvendes blandt andet inden for fysik, ingeniørarbejde og lægevidenskab.

Nukleonerne: En fælles betegnelse for de to atompartikler protonen og neutronen.

Spole: Isoleret ledningstråd, som er viklet op til en cylindrisk spiral omkring en jernkerne, og som en elektrisk strøm passerer igennem, så der eksempelvis skabes et magnetfelt.

Spole af ledninger: Bruges i fremstillingen af elektricitet. Fremstillingen af elektricitet sker ved at bevæge en magnet forbi en spole af ledninger.

Stoffet henfalder: En radioaktiv proces, hvor en ustabil atomkerne ved udsendelse af radioaktiv stråling ændrer sig til en tilstand med lavere energi.

Tyngdekraft: En af de fire grundlæggende naturkræfter. En usynlig kraft, der eksempelvis bevirker, at et æble falder til jorden, hvis man taber det. Kraften holder også planeterne fast i deres baner omkring Solen.

Vekselvirker: Når noget gensidigt eller indbyrdes virker med hinanden.

Vekselvirkningerne: Gensidig påvirkning mellem forskellige parter, herunder naturkræfter.

ERKENDELSE 9

Energibevarelse: Fysisk lov, der siger, at energi ikke kan opstå eller gå til grunde, men er konstant. Det betyder, at den samlede energi i et lukket system bevares og ikke ændrer sig med tiden.

Energioverførsel: Overførsel af energi fra en energikilde til en anden.

Entropien: Et mål for graden af uorden eller tilfældighed i et system. I universet vil væksten for entropi altid være positiv.

Fusionsproces: Sammensmeltning af to lette atomkerner til en kerne. Sammensmeltningen forgår ved høj temperatur og stoftæthed.

Fusionsreaktor: Kernekraftsreaktor, der skaber elektricitet ved at udnytte energien ved fusion, det vil sige sammensmeltning af lette atomkerner. Det er endnu ikke lykkedes videnskabsfolk at lave en fusionsreaktor, der effektivt kan producere energi.

Idealgasloven: Matematisk lov, der udtrykker sammenhængen mellem tryk, volumen og temperatur for idealgasser. Tryk gange volumen er proportional med temperaturen.

Kinetisk gasteori: Teori for gassers egenskaber. Gasser opfattes som bestående af frit bevægelige molekyler, der vekselvirker ved sammenstød.

Makroskopiske egenskaber: Egenskaber ved et stof, der er direkte observerbare, eksempelvis temperatur, tryk farve og lugt.

Radioaktivt affald: Materiale, der ikke har nogen anden anvendelse, og som har et indhold af radioaktive stoffer, man skal tage hensyn til, når det håndteres og bortskaffes. Radioaktivt affald opdeles i højaktivt, mellemaktivt og lavaktivt affald.

Statistisk fysik: Teori for makroskopiske systemers fysiske egenskaber. Statistisk fysik kombinerer den newtonske partikelmekanik med anvendelsen af statistiske lovmæssigheder, der gælder for systemer bestående af et stort antal partikler.

Termoelektriske effekter: Betegnelse for sammenhængen mellem elektrisk strøm og temperaturforskelle.

Varmeledningsligning: Matematisk ligning udviklet af Fourier. Ligning om hvordan varme kan bevæge sig gennem et materiale. Ligningen siger, at varmemstrømmen gennem en tynd plade er proportional med temperaturforskellen mellem pladens sider, men omvendt proportional med pladens tykkelse.

Vekselstrømssystemer (vekselstrøm): Strømssystem, hvor elektronerne, og dermed strømmen, skiftevis løber den ene vej og den anden vej i lederen.

ERKENDELSE 10

Asteroide: Fællesbetegnelse for mindre faste kloder eller småplaneter i Solsystemet.

Baggrundsstråling: Den kosmiske baggrundsstråling er svag, elektromagnetisk stråling fra verdensrummet. Strålingen består af fotoner fra cirka 380.000 år efter Big Bang. Der findes flere typer af baggrundsstråling, både kosmisk baggrundsstråling og baggrundsstråling fra Jorden. Baggrundsstråling fra Jorden kommer fra radioaktive stoffer på Jorden, der både er naturlige og menneskeskabte.

Komet: lille himmellegeme af is og støv, der bevæger sig i elliptiske baner om Solen.

Kuiperbælte: Yderligt område i solsystemet befolket af småplaneter. Bæltet ligger på den anden side af Neptuns bane og blandt andet dværgplaneten Pluto kredser i bæltet.



BØRNE- OG
UNDERVISNINGSMINISTERIET

