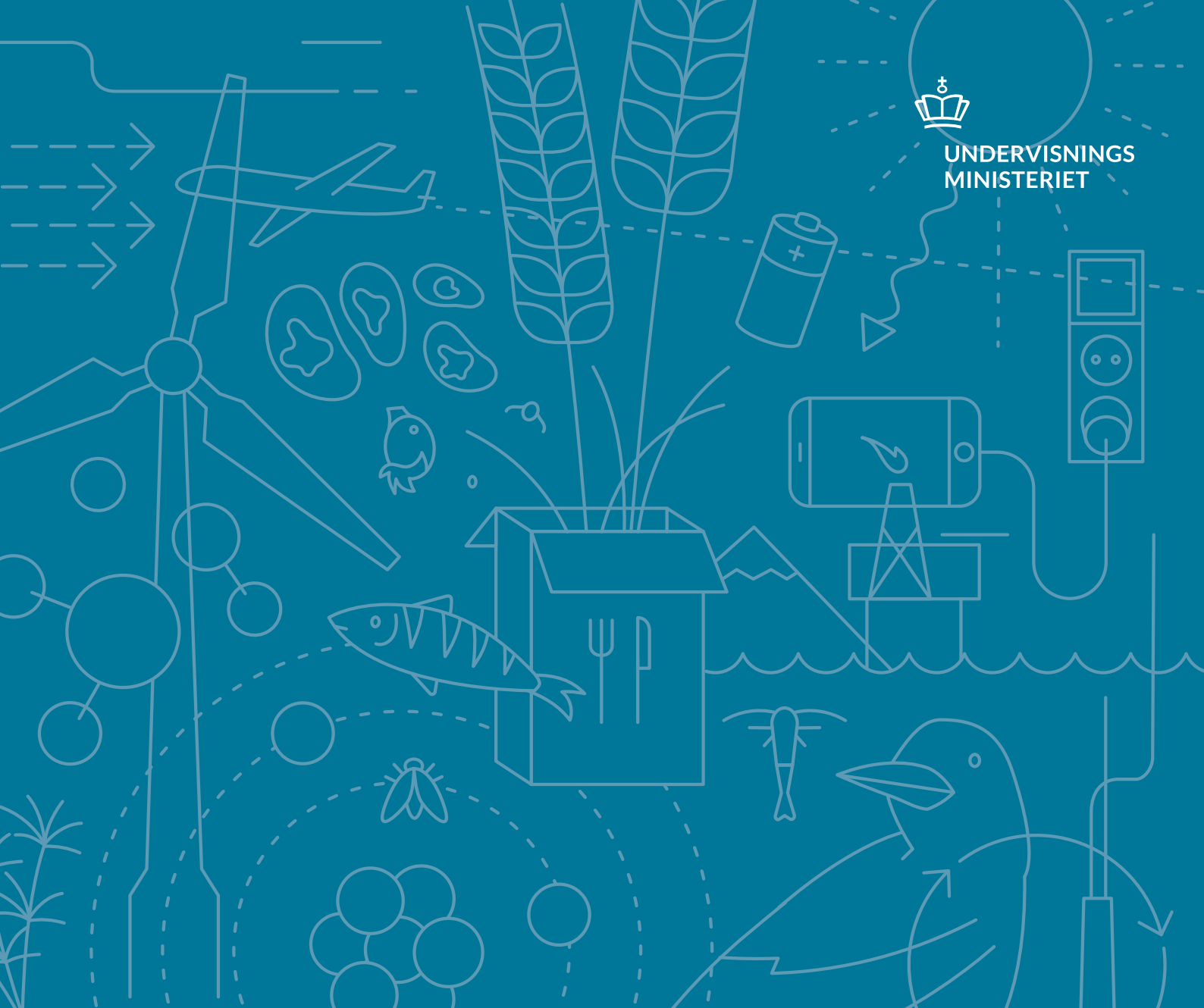




UNDERSVISINGS  
MINISTERIET



# Naturvidenskabens ABC

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser  
Anbefalinger fra ekspertgruppen

HØRINGSVERSION · APRIL 2019





**Naturvidenskabens ABC**

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelse  
Anbefalinger fra ekspertgruppen  
HØRINGSVERSION · APRIL 2019

Tekst: Ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC

Redaktion:

Anja C. Andersen

Rasmus Vincentz, Habitats ApS

Rebekka Johanne Knudsen, Kile Kommunikation

ISBN nr: 978-87-603-3231-9 (webudgave)

Grafisk tilrettelæggelse, infografik og illustration:

Tobias Scheel Mikkelsen, WhatWeDo, København

Publikationen kan hentes på [www.uvm.dk](http://www.uvm.dk)

# Naturvidenskabens ABC

10 grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser

Anbefalinger fra ekspertgruppen

---

## Indhold

---



## FORORD

Om Naturvidenskabens ABC .....6

## KAPITEL 1

### Et naturvidenskabeligt fundament .....9

Naturvidenskab er almen dannelse .....10

Naturvidenskab kan løse problemer  
i komplekse systemer og samfund ..... 11

Metoder og principper i naturvidenskab .....12

Naturvidenskab løser og skaber problemer ..... 15

## KAPITEL 2

### Grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser .....17

10 grundlæggende  
naturvidenskabelige erkendelser ..... 19

#### Erkendelse 1

Natur, mennesker og samfund  
påvirker hinanden gensidigt .....21

#### Erkendelse 2

Jordens overflade og klima  
udgør et dynamisk system .....29

#### Erkendelse 3

Jordens ressourcer er begrænsede .....39

#### Erkendelse 4

Naturen har høj grad af biodiversitet .....47

#### Erkendelse 5

Alt liv har udviklet sig gennem evolution .....55

#### Erkendelse 6

Organismer består af celler  
– generne i dem kan både nedarves og ændres .....63

#### Erkendelse 7

Alt i universet er  
opbygget af små partikler .....73

#### Erkendelse 8

Fundamentale fysiske naturkræfter  
virker overalt i universet .....83

#### Erkendelse 9

Energien i universet er bevaret,  
men kan ændres fra en form til en anden ..... 91

#### Erkendelse 10

Solsystemet er en meget lille del af en enkelt  
af milliarder af galakser i universet .....99

## KAPITEL 3

### Naturvidenskab er med til at forme fremtidens samfund .....107

Ny viden bidrager til løsninger  
– men også dilemmaer .....108

## REDAKTION

Medlemmer af ekspertgruppen  
for Naturvidenskabens ABC .....128

Ekspertgruppens arbejdsproces .....130

# Om Naturvidenskabens ABC

Naturvidenskab er på én gang et 'par briller' og et 'multi-værktøj'. Med brillerne på og med værktøjet i hånden, kan vi betragte, forstå og ændre verden. Naturfaglig 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. 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 ruste 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. 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 de spørgsmål, som har været afgørende for, at vores samfund har kunnet udvikle sig til, hvad det er i dag.

Med dette som udgangspunkt, har 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. Væsentlige dele af det kernefaglige indhold i ABC'en vil være kendt stof for naturfagslærerne. Men ønsket er at vise eksempler på, hvordan naturvidenskabelig kernefaglighed, med udgangspunkt i udvalgte grundlæggende erkendelser, kan bindes sammen og præsenteres ind i en aktuell 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 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, fordybelse og virkelyst, så eleverne udvikler erkendelse og fantasi og får tillid til egne muligheder og baggrund for at tage stilling og handle (stk. 2).*

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 derfor 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.



Naturvidenskabens ABC skal inspirere til meningsfyldt undervisning i naturfagene.

## OM FÆRDIGGØRELSEN AF NATURVIDENSKABENS ABC

Ekspertgruppens anbefalinger til Naturvidenskabens ABC skal nu drøftes og kvalificeres i dialog med praktikere og didaktikere. Undervisningsministeriet og ekspertgruppen inviterer derfor til en proces, hvor gode input skal være med til at kvalificere det endelige bud på Naturvidenskabens ABC. Her vil der blandt andet blive mulighed for at byde ind med bud på andre væsentlige elementer, der kan indgå i undervisningen i naturfagene i grundskolen og hele vejen op til de naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelserne.

Undervisningsministeriet vil også i den videre proces sikre, at der udarbejdes progressionsbeskrivelser. Det skal gøres tydeligt, hvordan mindre erkendelser kan sammenkæde 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 Undervisningsministeriet udvikle egentlige forløb og inspirationsmateriale, der tager udgangspunkt i Naturvidenskabens ABC. Disse vil løbende blive udviklet i perioden 2019-2021 og forventes offentliggjort på emu.dk. 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.

## 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.



## 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 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 overfor 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 indføre eleverne i de grundlæggende elementer i naturvidenskab og at gøre dem 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 og drage konklusioner, 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 3 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 forsøg og fejlslagne forsøg kan føre til nye erkendelser og gennembrud. Naturvidenskabens udvikler sig i kraft af disse processer, der resulterer i naturvidenskabens produkter.

### 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 naturvidenskabens 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. Undervisnin-

gen er da også i dag orienteret mod at opbygge kompetencer i naturvidenskabelig metode.

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.

## Naturvidenskabens grundlæggende principper

### VIDEN ER IKKE ABSOLUT

Viden er ikke absolut, men en konstruktion. 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 eksperimenter. 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.



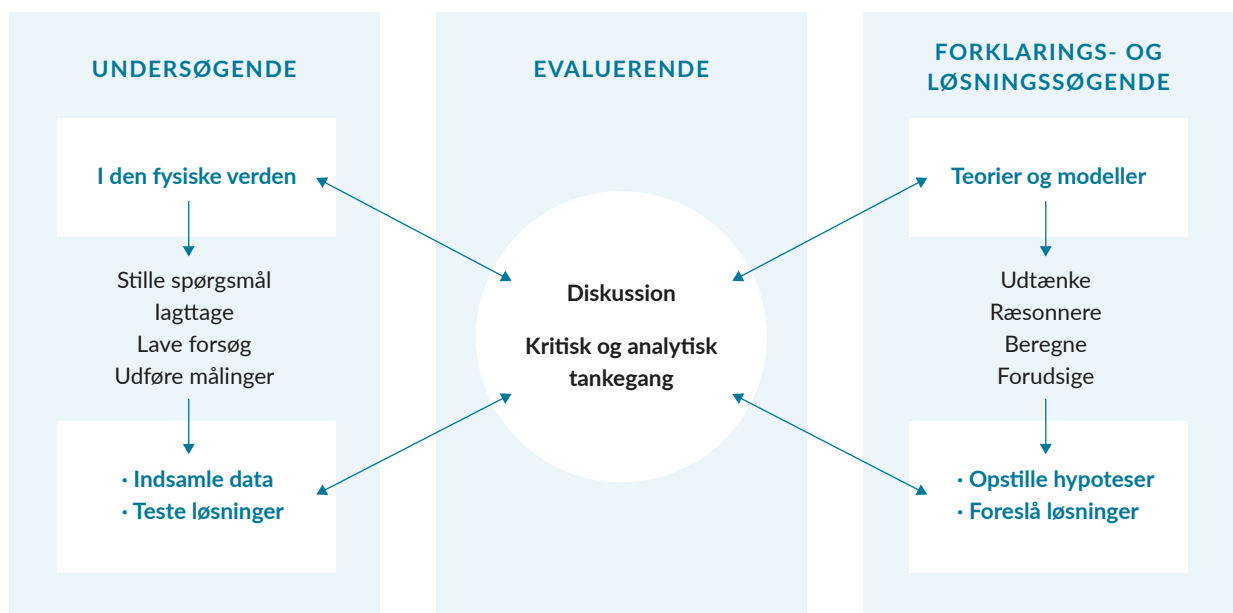


Illustration af hvordan en videnskabelig arbejdsmetode kan se ud. Model oversat fra "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas"

Selvom der findes forskellige metodiske tilgange indenfor 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 kan føre til formulering af 'love' – og på den anden side af 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 udføre forsøg. 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 oven for.



## De fire kompetenceområder

### UNDERSØGELSE

En elev med undersøgelseskompetence vil kunne formulere spørgsmål, som kan undersøges naturfagligt. I forlængelse heraf vil eleven kunne vælge faglige undersøgelsesmåder, designe egne undersøgelser og indsamle data på naturfaglig vis. Hvor det er relevant, vil eleven kunne medtænke og vurdere kvaliteten af undersøgelser, for eksempel 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.

Beskrivelserne af de naturfaglige kompetencer er fra Fælles Mål – revideret læseplan (udgives maj 2019)

### 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 begribe 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, faglige repræsentationer og kendskab til naturfaglige teksttyper og skrivemåder. En elev med kommunikationskompetence vil samtidig kunne argumentere med naturfaglige belæg og forholde sig kritisk til argumentation med et naturfagligt islæt.

# Naturvidenskab løser og skaber problemer

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 metoder 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 udenfor verden. Adskillelsen mellem subjektet, der erkender verden og objektet, der er i verden, er grunden til, at man – med rette og urette – har kritiseret natur-

videnskaben 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 CO<sub>2</sub> 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 overfor naturvidenskaben i perioden efter 2. verdenskrig er opdagelsen af atomkraft som på den ene side giver adgang til effektiv produktion af CO<sub>2</sub>-fri energi, men på den anden side indebærer risiko for forurening som følge af ulykker og udvikling af atomvåben.

Netop på grund af den dobbelthed, som mange videnskaber rummer, indeholder kapitel 3 i Naturvidenskabens ABC eksempler på ny viden, etiske spørgsmål, paradokser og dilemmaer omkring naturvidenskab og teknologi, som undervisningen kan indeholde på flere niveauer.

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





## 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 de, 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 natur-

videnskab. Ekspertgruppen har blandt andet fundet inspiration i publikationen "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".

De grundlæggende erkendelser i Naturvidenskabens ABC er tilpasset en dansk kontekst. Der er medtaget både danske og internationale cases og videnskabspersoner, som har betydning for forståelsen af erkendelserne. Det faglige indhold i ABC'en er ikke udtømmende og kunne være defineret anderledes. Feltet af kernefaglige nedslag er enormt, og i Naturvidenskabens ABC er udvalgt en række nedslag, 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.

## 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 begrænsede
4. Naturen har høj grad af 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, men 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. 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, 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.

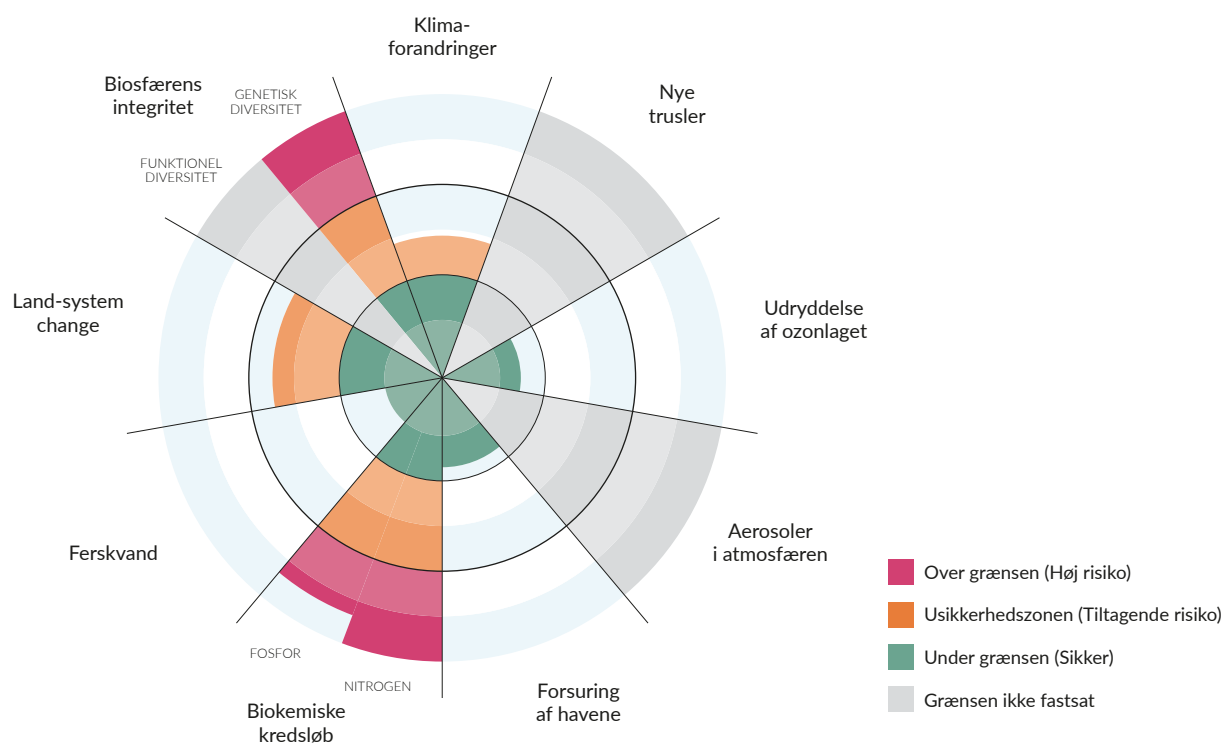
Parallelt har naturvidenskab gennem årtusinder spillet en nøglerolle i, at mennesket er blevet dygtigere til at udnytte naturen og forbedre sine levevilkår. Det gælder blandt andet ved at øge høstudbytter gennem anvendelse af vandingssystemer, brug af gødning og sprøjtegifte og ved opdyrkning af stadig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

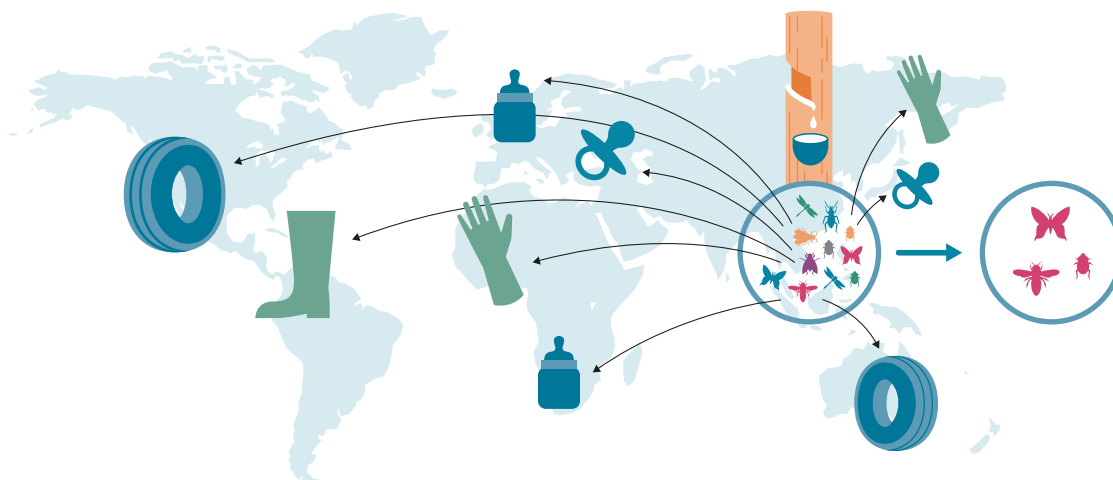


De planetære grænser foreslået af Johan Rockström fra Stockholm Resilience Centre er et udtryk for menneskets påvirkning af klodens klima og øko-systemer.

## GRÆNSER FOR MÆNNESKETS AKTIVITETER OG VÆKSTEN I SAMFUNDET

I 1972 udgav Rom-klubben rapporten "Grænser for Vækst". Rapporten fokuserede på forskellige scenarier for menneskets samspil med naturen og konsekvenserne heraf. De indbyrdes sammenhænge mellem befolkningstilvækst, fødevareproduktion, industrialisering, udtømming 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. 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.



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

## MENNESKE- OG SAMFUNDSSKABTE KLIMAFORANDRINGER OG DRIVHUS- GASSERNES 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. Drivhusgasser (særligt CO<sub>2</sub> og metan) begrænser udstråling af langbølgede varmestraler 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. Senere viste Svante Arrhenius i 1896, at det menneskelige udslip af CO<sub>2</sub> 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. Sådanne ændringer vil påvirke klimaet i retning af en øget forsuring 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.

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. 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 fødevareusikkerhed 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 fødevareproduktion
- Urbaniseringens konsekvenser for urbane såvel som rurale områder
- Byers betydning for ressourceefterspørgsel
- Global efterspørgsel af 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. 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 bebyggelser 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 af 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 oxygen molekyler ( $O_2$ ), 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. 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. Op igennem 1980'erne kom der øget fokus på problemet med nedbrydningen af ozonlaget, og diskussionerne fik for alvor fart på, da en række forskere, med J. Shaklin og J. Farman fra British Antarctic Survey i spidsen, tydeligt kunne konstatere et hul i ozonlaget over Antarktis. 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 %. 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.



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.

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. 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)

## FN'S VERDENSMÅL

### – FRA VIDEN TIL POLITIK OG ØKONOMI

Verden har nu, for første gang, fået nogle fælles mål for udvikling. Det er de såkaldte Verdensmål eller på engelsk Sustainable Development Goals (SDG). 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 Millenium 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. De nye Verdensmål udmærker sig, i modsætning til Millenium 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 forpligtet 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 CO<sub>2</sub> 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)**

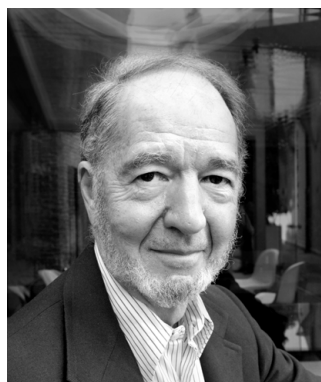
Amerikansk forsker i atmosfærisk kemi og ligestillingsfortaler. Gennem studier af solstrålingsreaktioner i forskellige gasformer konstaterede hun, at ændringer af CO<sub>2</sub> i atmosfæren ville kunne ændre Jordens temperatur. Det gjorde hun i en videnskabelig artikel med titlen "On the Heat in the Sun's Ray" fra 1856. Således har Footes opdagelser skabt grundlaget for senere forskning og teoretisering om sammenhæng mellem udslip af CO<sub>2</sub> 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-)**

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 kolliderer eller overlever og udvikles. 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 krigs-



Jared Diamond

sammenhænge, og han bidrog aktivt til udviklingen af kemiske våben under første verdenskrig.

**WALTER CHRISTALLER (1893-1969)**

Geograf opvokset i Tyskland. Han udviklede en teori kaldet Central Place, som dannede grundlag for forståelsen af, at byers lokalisering kunne forstås ud fra et funktionssystem snarere end et hierarkisk system. Baseret på simpel matematisk modellering, argumenterede Christaller for, at byers økonomiske aktiviteter var afhængige af, hvor de var placeret i et sekskantet mønstre. Jo mere central, 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 planlægningsteori 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.





## 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, hækning 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 klipper.

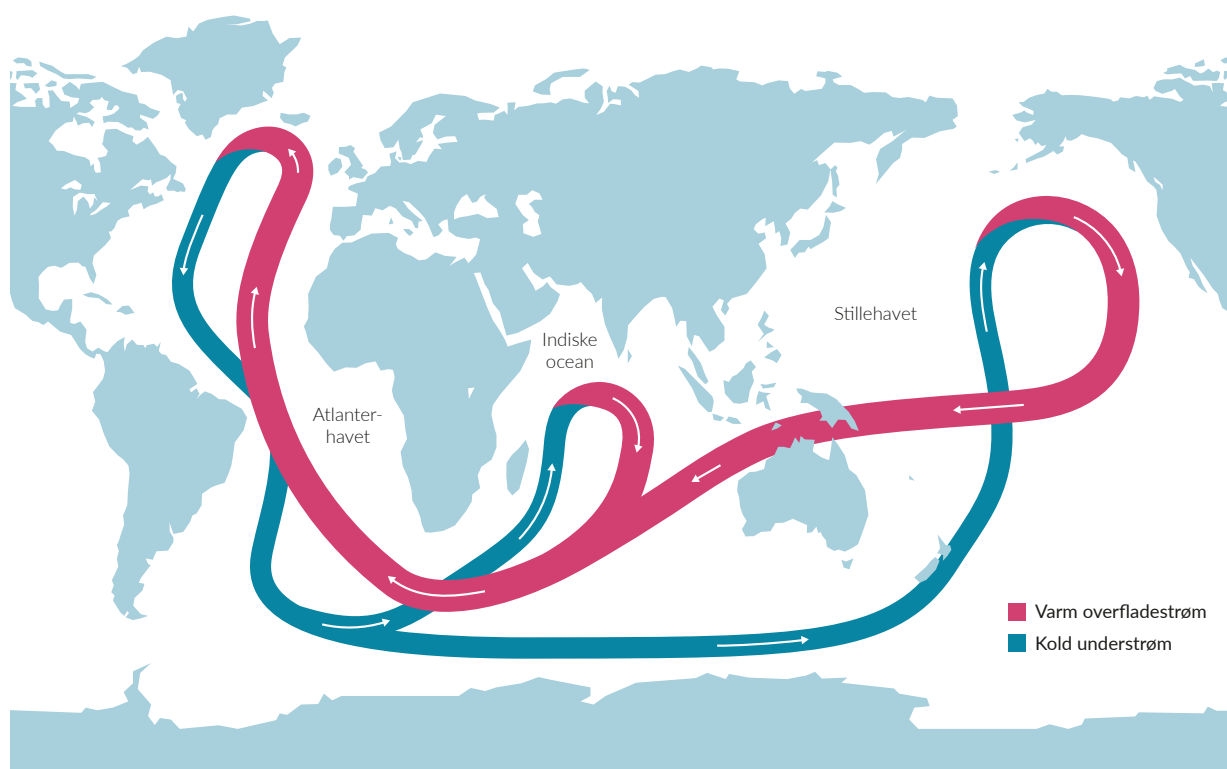
En lang række plante- og dyrearter har også indflydelse på Jordens overflade. Planter kan holde på næringsstoffer og modvirke erosion. De bidrager desuden med organisk materiale, der omsættes i jordoverfladen. Det samme gør dyr som eksempelvis springhaler og myrer, når de mere eller mindre skjult arbejder 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.

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. 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 vejrssystemer. Selv om variationerne i klimasystemet er velkendte, har de seneste generationers udslip af CO<sub>2</sub> påvirket klimaet så meget, at forskningen nu klart viser, at der er tale om menneskabte 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

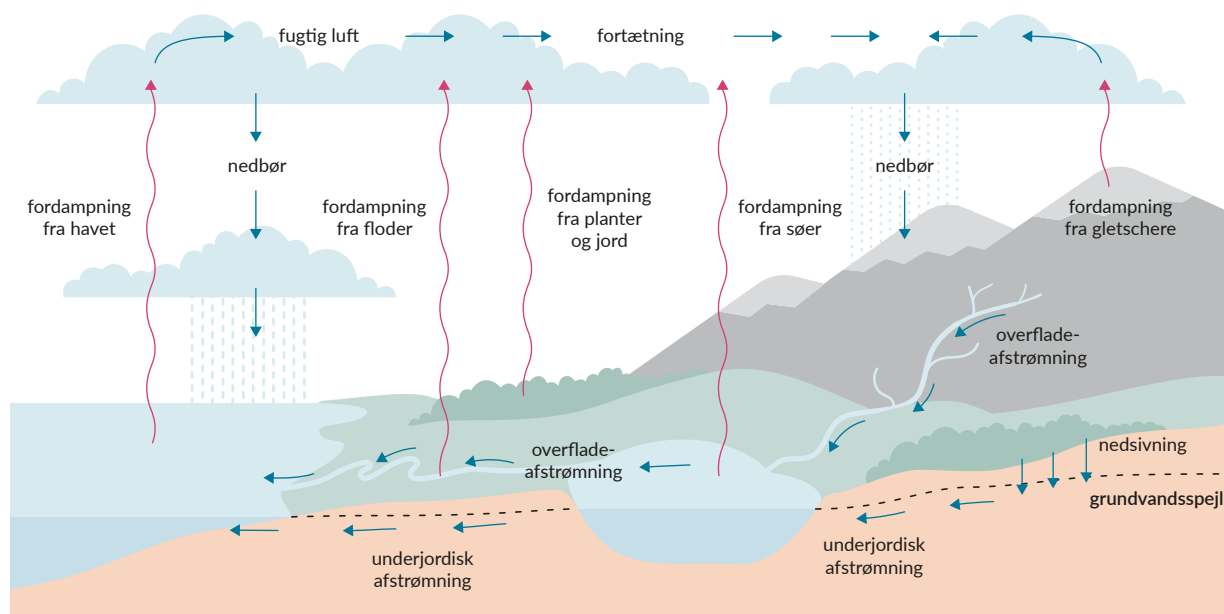


De globale havstrømme har stor betydning for Jordens klima.

### GLOBALE 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, vi kalder 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.



Vandets kredsløb er essentielt for livsbetingelserne på Jorden.

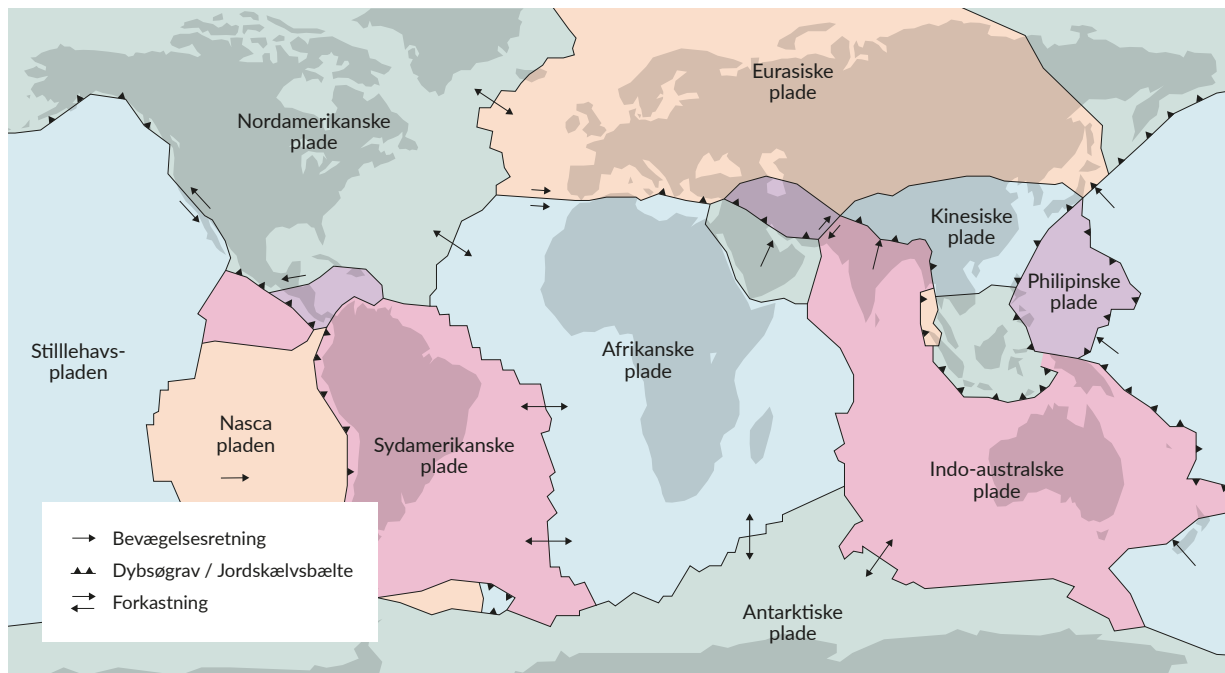
## VANDETS KREDSLØB

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 tyngdekraften siver ned igennem jordlagene på dets vej mod grundvandsspejlet. Vand vandrer hurtigere igennem sandede jorde sammenlignet med lerede jorde. Det skyldes hovedsageligt, at porrerne 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.

## JORDBUNDENS SAMMENSÆTNING

Jordbundens fysiske og kemiske sammensætning har stor betydning for mennesker, planter og dyrs livsvilkår. Jordtypers evner til at tilbageholde vand til brug for planterne er meget forskellig. Der er også forskel på indholdet af næringsstoffer og risikoen for udvaskning af for eksempel nitrat afhængigt af, om der er tale om sandjord eller lerholdig jord. Det giver store regionale forskelle på jordes frugtbarhed.

I Danmark er der tydelige regionale forskelle på jordens indhold af ler og sand. De mest lerholdige jorde findes på Sjælland, Lolland, Falster, Fyn og i det østlige Jylland, mens jorderne i Vestjylland typisk er mere sandholdige. Konsekvensen af de mere sandede jorde i Vestjylland er eksempelvis, at vandingsbehovet på de vestjyske marker er markant større end i Østdanmark, ligesom grundvandsbeholdningen hurtigere bliver udsat for forurening under de sandede jorde end under de mere lerholdige jorde.



Opdelingen af kontinentalpladerne og deres bevægelsesretning.

## PLADETEKTONIK

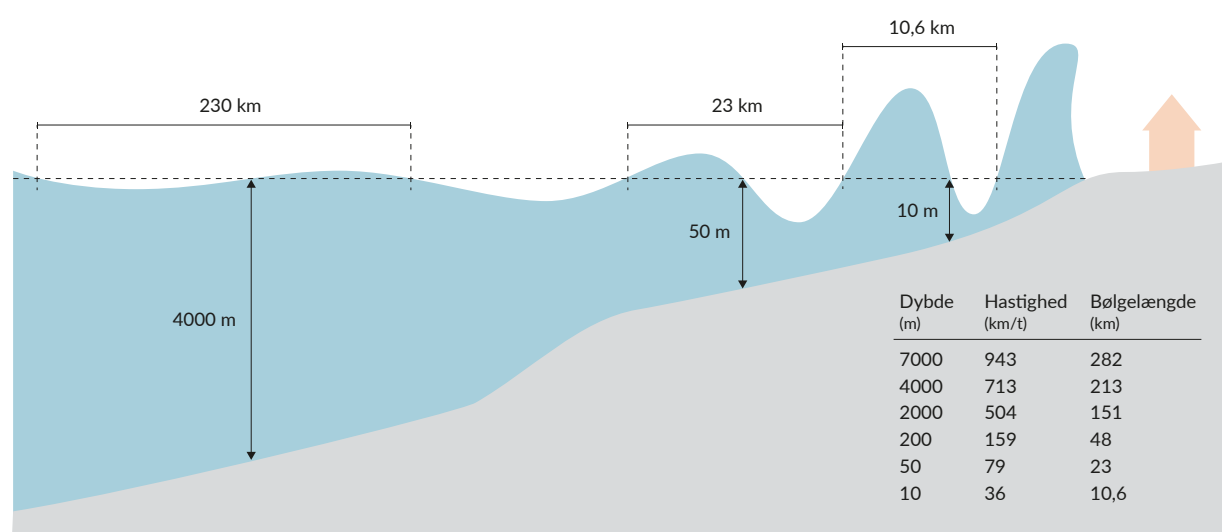
Men den viden, vi har i dag, er Jordens historie fastlagt til at være omkring 4,56 milliarder år gammel. Jordens yderste lag er omkring 100 km tykt og kaldes lithosfæren. Den består af tektoniske plader. De bevæger sig imod, fra, nedenunder og langs hinanden. Disse bevægelser kalder vi kontinentaldrift. Hvor pladerne møder hinanden skabes bjergkæder, vulkaner og jordskælv. Tektoniske plader er stive og flyder ovenpå 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. 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.

## 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 tsunaimer.

### 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 300.000 mennesker livet langs de asiatiske kyster og rakte helt til Østafrikas kyster. Værst gik det ud over Indonesien, hvor det anslås, at omkring 130.000 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.



Plastaffald i verdenshavene er et stort problem for lokale økø-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. Modsat hvad navnet antyder, er der hverken tale om en ø af affald eller koncentrationer, der er så store, at de kan ses med satellitbilleder. 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. Plastkoncentrationen 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 km<sup>2</sup> store 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 klima-mæssige eftervirkninger fra nedslaget efter meteoren Chicxulub førte til udryddelsen af dinosaurerne.

### CHICXULUB KRATERET: PLUDSELIG 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. 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 1000 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 skovbrænde, der frigjorde giftstoffer med skadelig påvirkning af ozonlaget, for ikke at tale om de enorme mængder CO<sub>2</sub>, 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.

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.



## ERKENDELSE 2

## Vigtige personer for videnskaben

**INGE LEHMANN (1888-1993)**

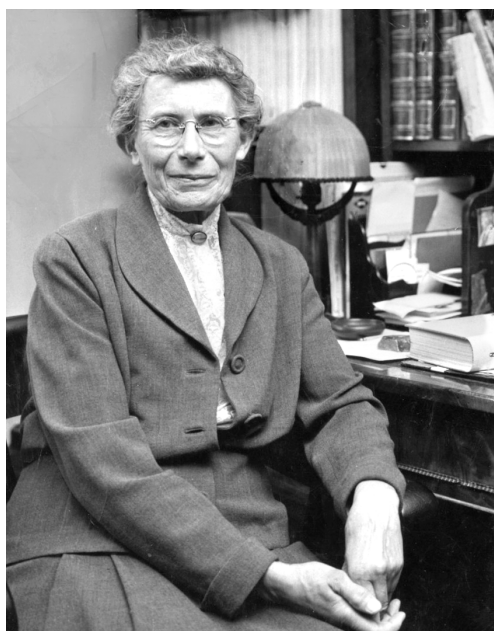
Dansk seismolog. Er i dag kendt for, som den første, at have påvist, at Jordens kerne ikke bare er flydende, men at den har en fast kerne. Hun blev sent i sin karriere en meget anerkendt kapacitet på sit felt og modtog flere internationale priser.

**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 isotermerne. 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.



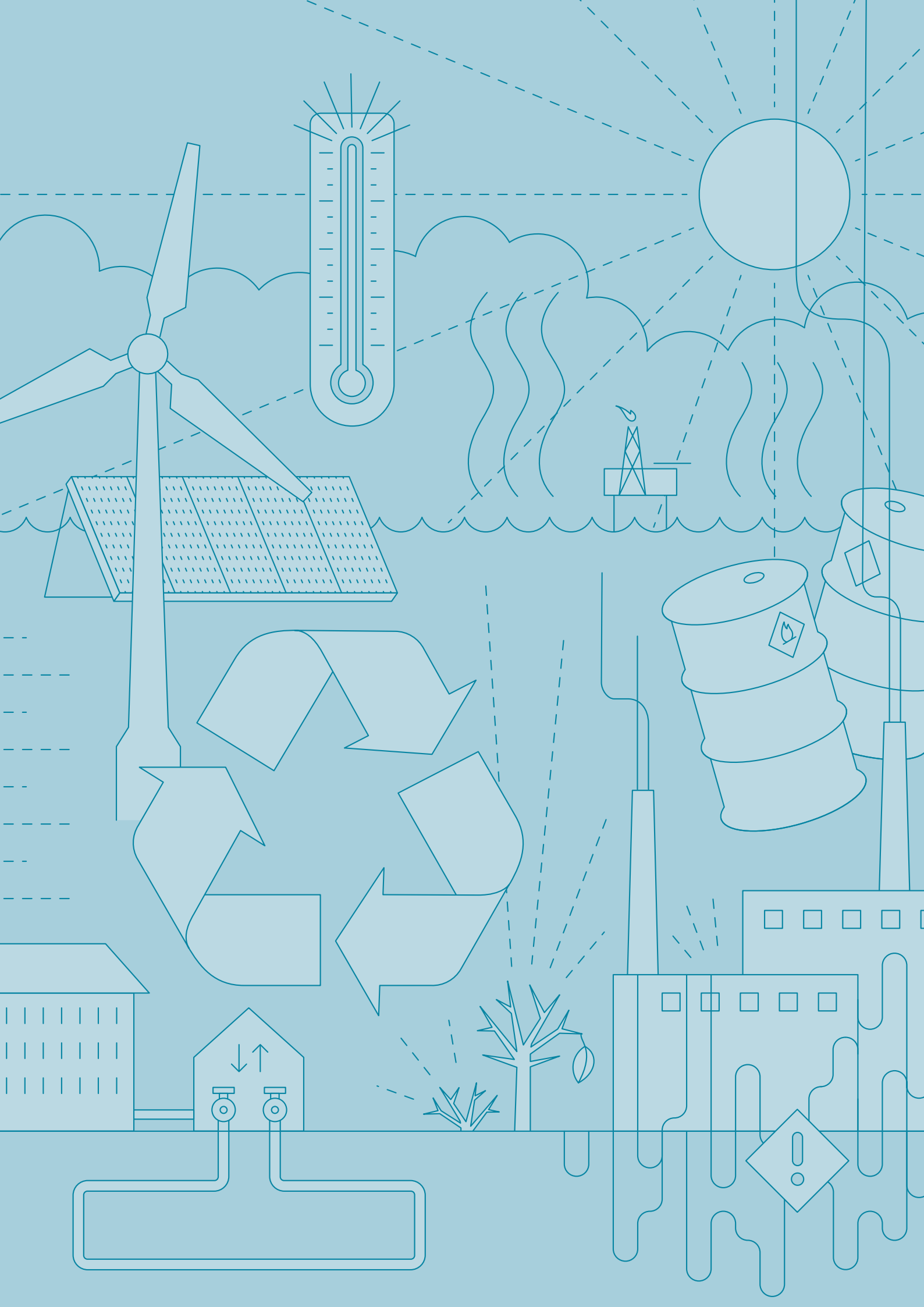
Inge Lehmann

**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 hajtænder 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) Principperne bruges stadig i geologien i dag.





## ERKENDELSE 3

# Jordens ressourcer er begrænsede

Den nye naturvidenskabelige erkendelse, der kan få gennemgribende indvirkning på samfundet er, at den måde, vi i dag bruger klodens ressourcer på (baseret på anvendelse af fossilt gas, olie og kul, der omdannes til drivhusgasemissioner og ender i atmosfæren), kan ændre livsgrundlaget signifikant for liv på kloden: for mennesker, dyr, planter, svampe, alger, bakterier og arke- bakterier. For alt levende. Ændringerne af det klimatisk 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 mitiggere, forsinke, formindske og forhindre klimaforandringer. Et skift til nye måder at bruge Jordens ressourcer på, involverer således samtænkning af naturvidenskabelige og samfundsvidenskabelige metoder og viden. Med både videns- og teknologibaserede virksomheder står Danmark stærkt og kan bidrage betydeligt til denne udvikling. Det er et godt fundament for, at Danmark kan bidrage aktivt til internationalt samarbejde inden for ressource- og klimaområdet.

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. Dokumentation af den antropocæne acceleration er omfattende og spænder vidt fra socio-økonomiske til Earth System trends.

## ERKENDELSE 3

## Kernefaglige nedslagspunkter

### UNDERSØGELSER DER FØRTE TIL ERKENDELSE AF KLIMA-FORANDRINGEN

Det arktiske område kom tidligt i centrum for klima-, is-, hav-, og miljø-studier. Studier af, hvordan CO<sub>2</sub>-mængden i atmosfæren har ændret sig over tid har vist, at historisk tilstedeværelse af CO<sub>2</sub>, kan måles ved at undersøge de forskellige tids-lag i en borekerne gennem Grønlands indlandsis. Herved har forskere påvist store ændringer gennem tiden samtidig med, at det kunne måles, at væksten i CO<sub>2</sub>, specielt siden starten af den fossilt-baserede industrialisering, har været uset stor. Målinger af den grønlandske indlandsis og polarkappen har vist stor nedgang i udbredelse og tykkelse. 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. Målinger af klodens kapacitet til at binde CO<sub>2</sub> har påvist nedgang i både havenes

### 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, kombineret med samfundstækning, skaber konkret fundament for at udfase fossilt-baserede produkter og udvikle grønnere teknologier som vedvarende energi baseret på vind, sol og geotermi samt at udvikle større cirkularitet i brug af de globale ressourcer. Genbrug og opgradering af,



Iskerneboring ved Combatant Col, British Columbia, Canada.

og skovenes evne til at afbalancere de stigende mængder af CO<sub>2</sub>. Forskning har vist, at klimaforandringerne har ført til global opvarmning, omend ikke ensartet og entydigt kun til højere temperaturer. Klimaændringerne er gået mod vildere vejr: varmere perioder, men også koldere; flere og stærkere storme; større problemer med tørke samtidig med, at der også er opstået hyppigere oversvømming med store mængder nedbør på kort tid.

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 bio-baseret 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 energi-kilder kan være med til at mindske den globale CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 og 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 CO<sub>2</sub>-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 på klodens klima. Brug af de biologiske ressourcer til substitution 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, vand og plantebeskyttelsesmidler 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 biomassen til mad, foder, bio-kemikalier 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 CO<sub>2</sub>  
OG METAN UDLEDNING**

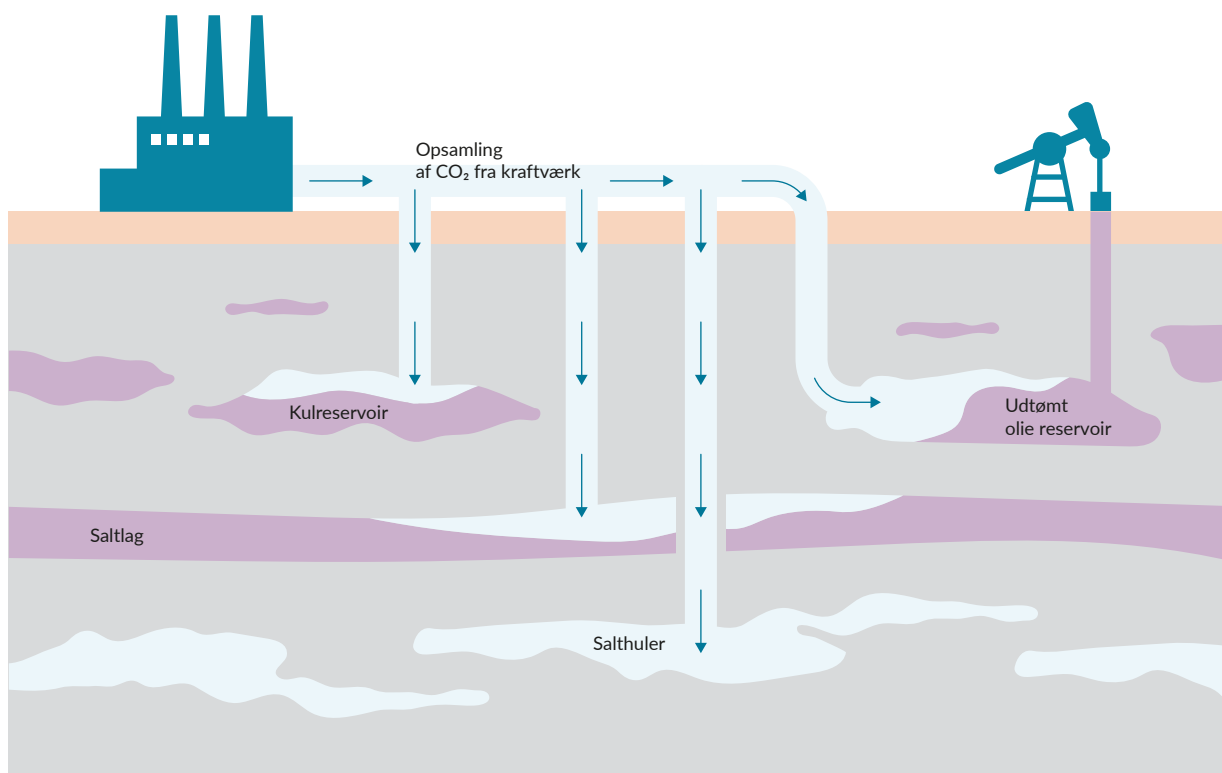
Sol og vind kan danne basis for opvarmning og elektricitet og herved erstatte brug af olie, naturgas og kul. Biogas kan omdannes til flybrændstof og til kemikalier og tekstilfibre. Biobaserede kemikalier, materialer som eksempelvis bioplastik, og biobrændsel kan produceres på basis af restprodukter fra fødevareproduktion og fra non-food-agroindustri. Sådanne rest-ressourcer kan også via mikrobielle enzymer omdannes til nye højværdi-fødevarer så som pre-biotiske fødevareingredienser. 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 feks diaré.

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; 2. at udvikle og producere biobaseret plastik, med dobbeltformål, at udfase fossilt-baseret plastik og at finde løsninger på den alvorlige

plastik-forurening, specielt i havet og havets dyr; og 3. at udvikle en øge ressource-cirkularitet inden for tekstiler og tekstil-fibre. Med den nuværende brug af ressourcer er bomuldsproduktion og processering det globalt set næstmest miljø- og klima-belastende ressource-område. Kun overgået af oliebranchen.

Der er mange Negative Emissions Teknologier (NET) under udvikling. Brugen af disse kan vise sig nødvendig, for at opnå den nødvendige begrænsning af vores klimændrende 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 jordkloden; 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 CO<sub>2</sub> via stimulering af planteplanktonproduktion, der binder organisk materiale, der synker til bunds i de store havdybder. Fænomenet kaldes den modsatrettede bevægelse af karbon 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 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





Opsamling af CO<sub>2</sub> og indlejring i geologiske formationer kan være med til at mindske mængden af CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

er således et af de første danske eksempler på "Carbon Capture and Use". Et andet eksempel er udvikling af metoder til produktion af ikke fossilt-baserede kemikalier ved at bruge enzymer til direkte at omdanne CO<sub>2</sub> og elektricitet til byggeklodser til fornybare bio-kemikalier og bio-materialer.

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. Ud over behovet for at brødføde et stigende antal mennesker, presses fødevarereproduktionen 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. 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 at producere 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 og til opfindelser baseret på forskning i enzymer.

## 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 karbonkredsløb. 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

**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 CO<sub>2</sub>-emissioner over tid.



## ERKENDELSE 4

# Naturen har høj grad af 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. 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.

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

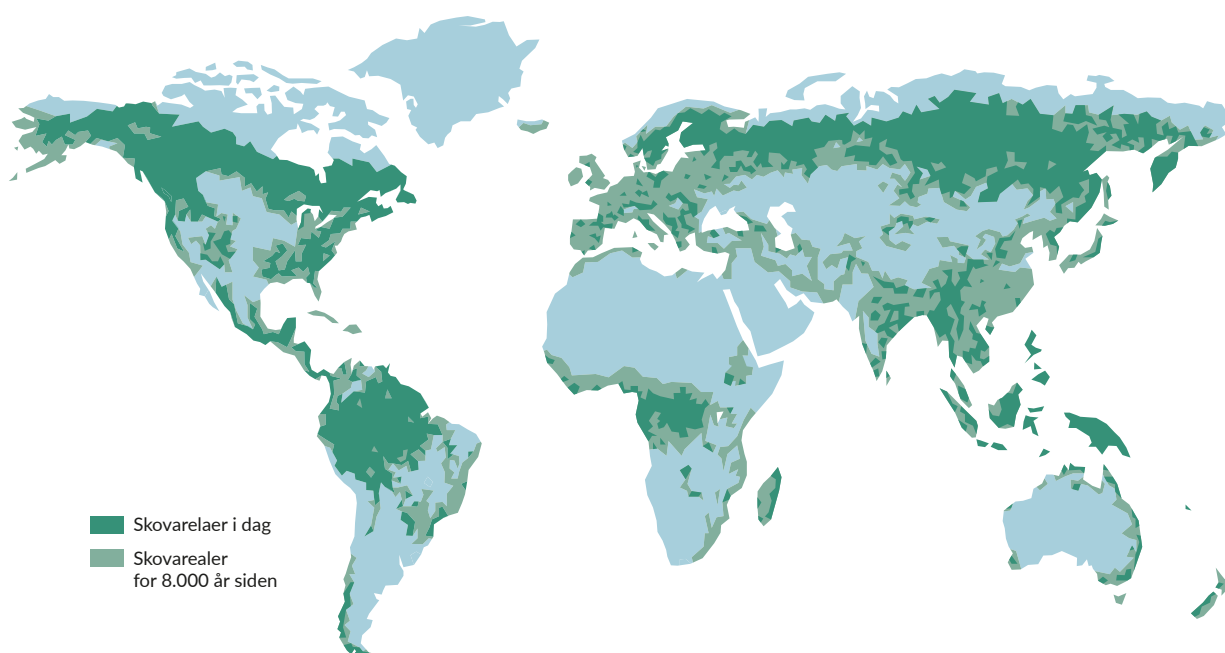
på 14 millioner genstande findes på Statens Naturhistoriske Museum. Hvert år beskrives omkring 20.000 nye arter på verdensplan. Nogle af dem kommer fra de danske samlinger.

Selvom artsrigdommen i dag er overvældende, så repræsenterer nulevende arter kun omkring 1 % af de arter, der nogensinde har levet i løbet af Jordens historie. 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.

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, 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 ny 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 udvandringsbølge 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 forbrug 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 13 plante- og 5 dyrearter. De kræver så meget plads, at den vilde natur overalt er presset. Hvis vi ser på den samlede biomasse, altså vægten af alt levende, på hele Jorden, udgør planter cirka 80 %. Bakterier udgør omkring 15 %. Af alle pattedyr udgør husdyr omkring 60 % og mennesker 36 %. Kun 4 % er vilde dyr.



## BIODIVERSITET HAR BETYDNING FOR MENNESKETS SUNDHED

En høj grad af biodiversitet gør økosystemer mindre følsomme overfor sygdomme. Derudover har der vist sig en direkte sammenhæng mellem artstab og overførsel af sygdomme. En forklaring kan være, at arter med 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 eksempelvis 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.



### 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

## 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. 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.

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 fødevarer sikkerhed. Nogle økosystemer er afhængige af særlige nøglearter, der har stor indflydelse på andre arter og dermed hele balancen i området.



## 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. 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 fri bevægelighed, land-, skovbrug og 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.

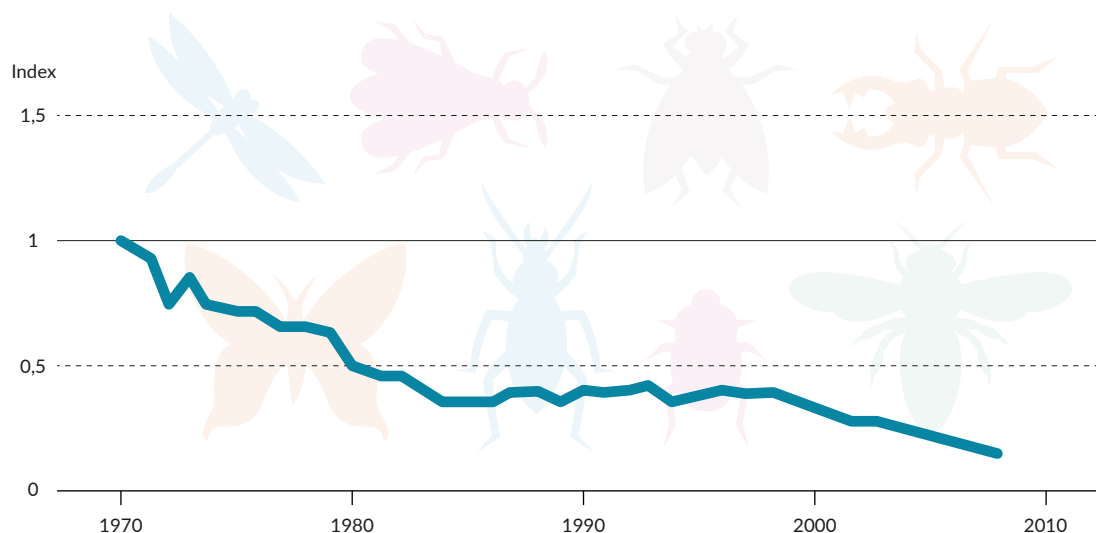
Af alle de dyre- og plantearter, der findes i Danmark, optræder mere end 2.200 på IUCNs rødliste, som angiver sandsynligheden for, hvorvidt en art vil uddø indenfor overskuelig fremtid. Blandt de truede arter findes for eksempel hasselmusen og fiskeørn. Nogle af arterne optræder på flere internationale 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 kolesterol-sænkende 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.



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. 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. 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 overfor 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. 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 Millenium 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 nomenclatura', 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 vidende menneske.

**EDWARD O. WILSON (1929-)**

Amerikansk biolog og professor på Harvard University. Satte for alvor biodiversitet på den internationale dagsorden efter begrebet blev introduceret på en konference i 1985. Udover 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. 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, inklusiv 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

**SYLVIA EARLE (1935-)**

Amerikansk marinebiolog og naturforkæmper. Første kvindelige videnskabelige leder af USA's National Oceanic and Atmospheric Administration. Pioner for ligestilling mellem kvinder og mænd i videnskaben. Var leder af den første undervandsekspedition bestående udelukkende af kvindelige forskere. 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.





## 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 arke-bakterier. 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.

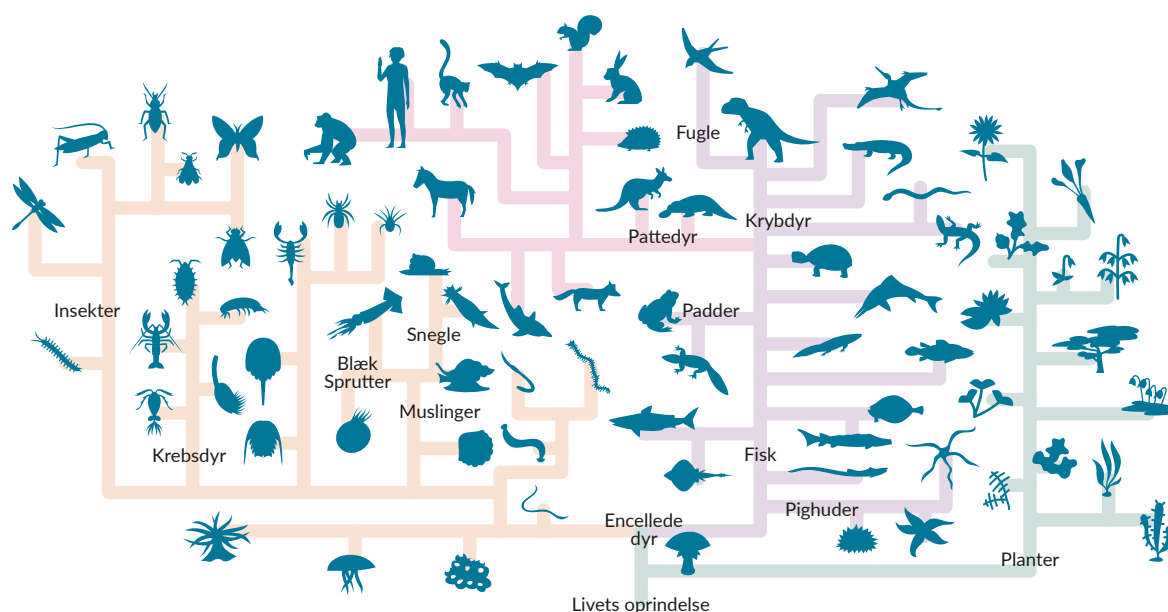
Når arvematerialet videregives til næste generation, kan der også på grund af tilfældigheder ske ændringer, der ikke nødvendigvis er fordelagtige, især i små popu-

lationer. 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 påfuglehaners store halefjer og hanløvers manke.

Evolution er en kendsgerning på linje med tyngdekraft. Ved at studere naturen videnskabeligt, har vi fået evidens for, at livet gradvist forandrer sig. Evolutionsteorien er vores videnskabelige teori om denne kendsgerning. 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



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. 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 planter 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. 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 ligeså rodet, fuld af overraskelser og tilfældigheder som hos andre dyr.

### YDERLIGERE NEDSLAGSPUNKTER

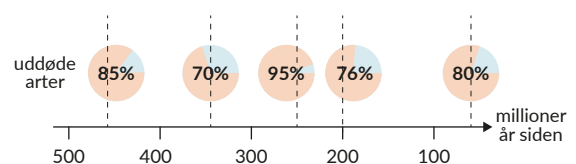
- Hovedbegivenheder i livets historie
- Artsdannelse
- Seksuel selektion
- Tilpasning
- Samspil mlm. biologi, geologi og klima
- Dateringsmetoder
- Bevidsthed og kommunikation
- Konvergens
- Epigenetik
- Genetiske mutationers rolle i sundhed
- Den sjette masseuddøen

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

## 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 træk. 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 udrydde 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. 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. 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.



De 5 store masseudryddelser af arter spiller en stor rolle i evolutionen.

## ERKENDELSE 5

## Cases

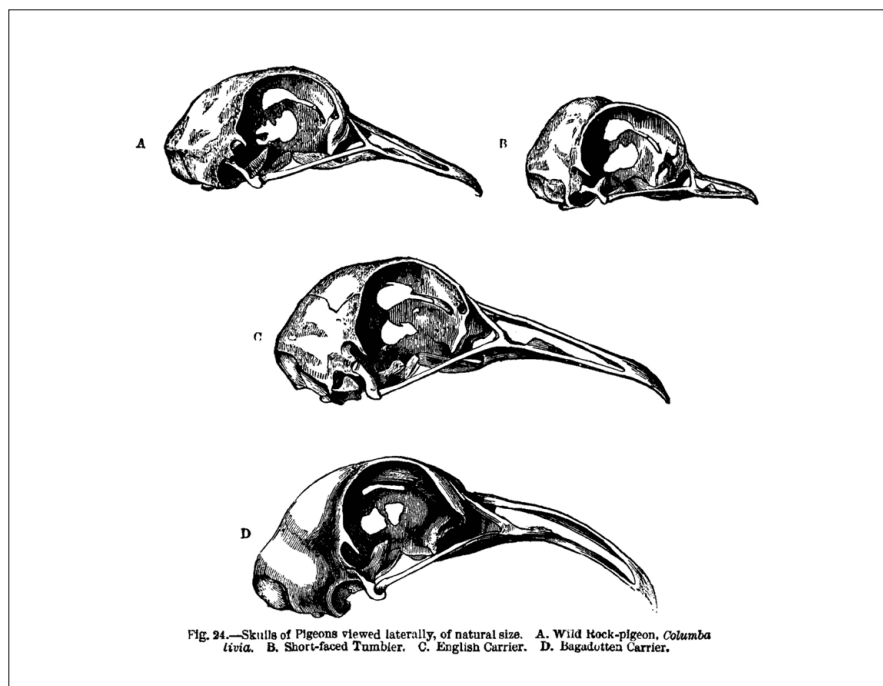
## DARWIN OG ARTERNES OPRINDELSE

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 overlevelseschance. 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 ordentlig 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.

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





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. 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 redskabsbruget, 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, Jane Goodall, der gjorde den opdagelse, og dermed for alvor rykkede ved vores egen selvforståelse. I dag ved vi, at der er mange forskellige dyrearter, der

bruger redskaber som teknik til at skaffe vanskelig tilgængelig føde. Det drejer sig om så forskellige arter som elefanter, bjørne, egern, havoddere, delfiner, fugle og fisk. 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* opstod for omkring 300.000 år siden, drog nytte af det. Og flere nulevende primater gør det stadigvæk. Ligesom os.

## 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? Hvad skal vi med bedstemor, når hun ikke længere kan føde unger?

I evolutionær sammenhæng er en bedstemor en hun, der overlever overgangsalderen. Overgangsalderen hos kvinder sætter for de fleste ind i 45-55-års alderen. 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,



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

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.

En anden teori er, at homoseksualitet kan have haft en lignende funktion. Hos omkring 400 forskellige dyrearter har man registreret en form for homoseksuel adfærd. Heller ikke dette er altså unikt for mennesker. Selvom homoseksualitet ikke styrker den individuelle reproduktion, kan det altså have været godt for artens overlevelse.



## ERKENDELSE 5

## Vigtige personer for videnskaben

**MARY ANNING (1799-1847)**

Britisk fossilsamler og amatørpalæontolog. Hun fandt nogle af de først 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 museumssamlinger.

**CHARLES DARWIN (1809-1882)**

Få har betydet så meget for vores forståelse af livet på Jorden, som Charles Darwin. Med sin bog "Om arternes oprindelse", der udkom i 1859 introducerede han 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)**

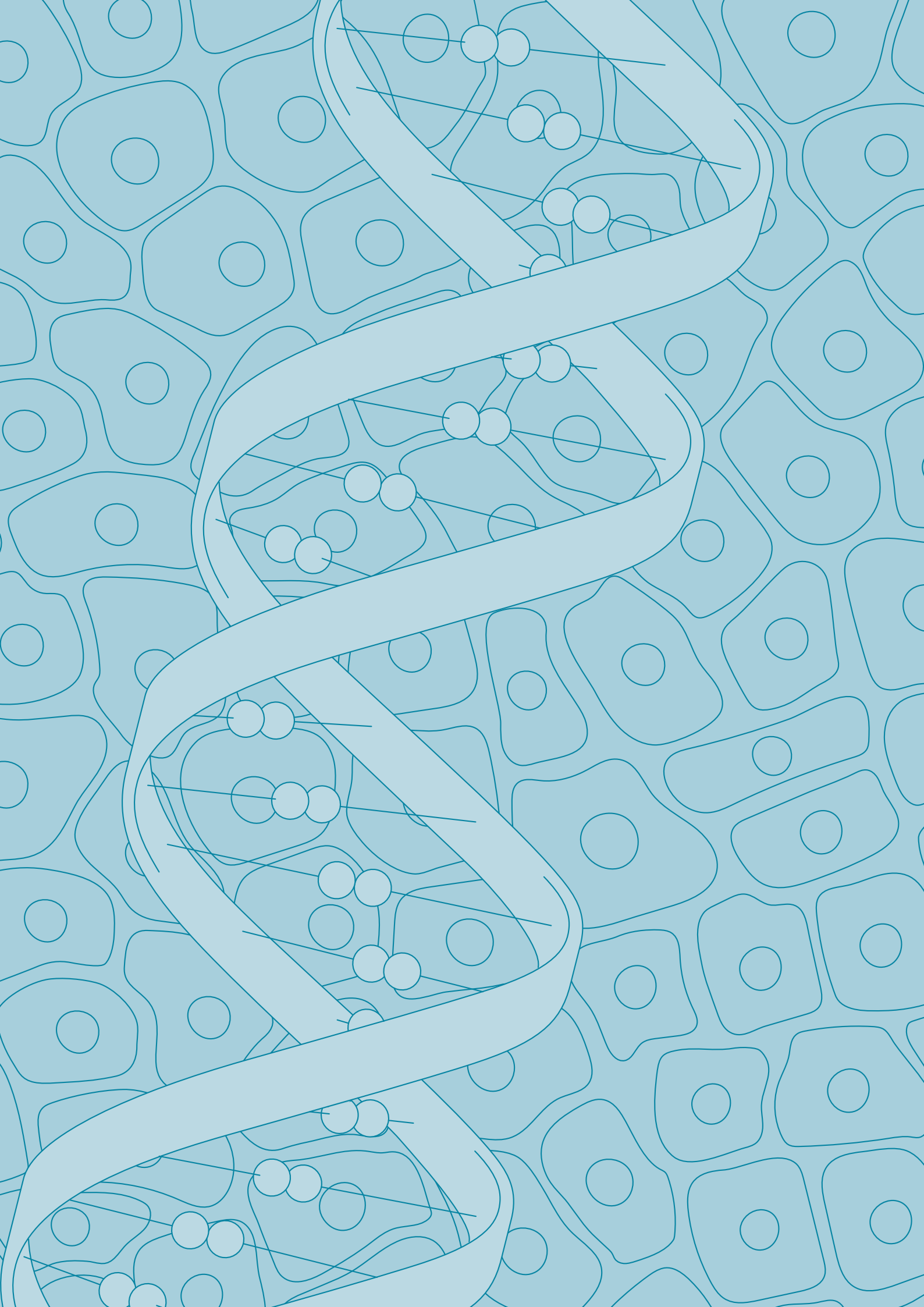
Britisk evolutionsbiolog og en af de ledende kræfter i den neodarwinistiske syntese, der forenede evolutionslæren med genetik og hermed grundlagde den moderne evolutionsteori. Han var desuden UNESCO's første direktør og medstifter af Verdensnaturfonden.



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.





## 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 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.

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, forstå hvorfor de uddøde, 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.

## ERKENDELSE 6

## Kernefaglige nedslagspunkter



Forskning i Zebrafisks gener ved National Human Genome Research Institute, Maryland, U.S.A.

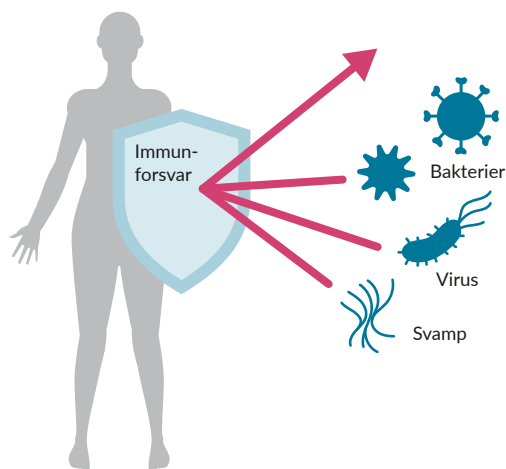
### ARVEMATERIALE

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 til Kossels opdagelse af, at arvematerialet i kernen i cellerne består af fire baser. 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 engelske fysiker F. Crick, hvordan arvematerialet, altså DNA'et, i cellerne er opbygget. 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 Nobelprisen i medicin i 1962 for opdagelsen.

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. 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 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. Eksempelvis har man opdaget, at tykke hanrotter kan gøre deres afkom tykke, selvom hunrotten ikke er tyk, og aldrig har været det.



Immunforsvaret beskytter kroppen mod sygdomme.

### 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.

### KROPPENS FORSVARSSYSTEMER

Immunsystemet er en vigtig del af højere 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 autoimmune 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 om såkaldt immunterapi, der kan bruges til at behandle, eller i nogle tilfælde kurere, sygdomme.

Tarmen er en også en del af mange organismers forsværssystem. 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 påvir-

ker 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 for 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, og 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 (også delt af 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 de transmittere er dopamin. Dopamin har stor betydning for menneskets opførsel, sundhed og sygdomme. Dopamin er en central komponent af vores belønningssystem i hjernen, og nogle af de mekanismer, der indgår, er de samme, hvorvidt 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.

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.

### 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 7

## 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 tøj kan vaskes rent ved lavere vandtemperaturer og ved anvendelse af mindre sæbe og 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 lægemidler. 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



Forskning i nye enzymer foregår i kontrollerede laboratoriemiljøer.

cellevæggen, hvorved bakterien forhindres i at formere sig og dø. Før opdagelsen af penicillin 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 fødevareingredienser, 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. 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. 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 udvikling 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 den endogene 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, men de delte den med to yderligere personer, Best og Collip. Historien har et vigtigt dansk islæt også, 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 til 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 udover 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.





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 nyligt fået stor hjælp af 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". 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 problemer, 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 langt 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, 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 ærtebælg. 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.

**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 første 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 randomiseringsprin-

cippet, 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.

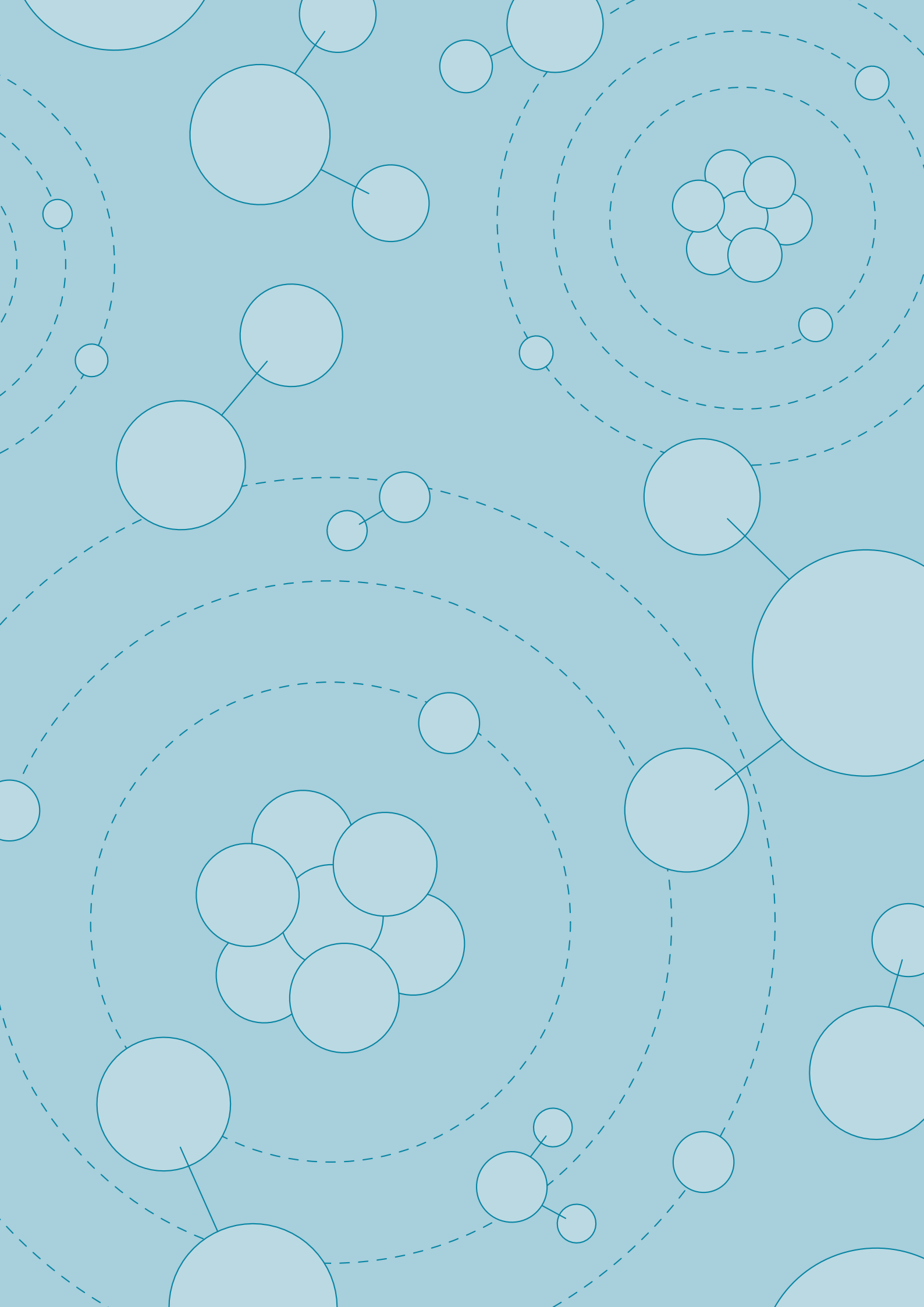
**NIELS K. JERNE (1911-1994)**

Den danske læge og immunolog Niels K. Jerne fik Nobelprisen i medicin i 1984 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 indenfor immunologi.

**DANIEL KAHNEMAN (1934-)**

Den israelsk-amerikanske psykolog Daniel Kahneman har fået Nobelprisen (i økonomi, 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.





## 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 molekylære- og atomstrukturer.

Når man har fået indsigt i materialers og levende væseners opbygning, kan man forstå hvor deres funktion 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 lidt pudsigt at tænke på, at alt i universet er opbygget af kun cirka 100 forskellige slags grundstoffer, hvis mindste byggesten er atomerne. Atomerne er byggesten for levende væsener 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

guldsmykker 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, nikkel og krom. 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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ), nitrogen ( $\text{N}_2$ ), oxygen ( $\text{O}_2$ ) og  $\text{CO}_2$  er eksempler på vigtige molekyler i vores hverdag. Det mindste molekyle, vi kender, er brintmolekylet,  $\text{H}_2$ , 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

| Metaller                      |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Ikke-metaller                    |    |     |     |     |     |  |  |  |  | 18                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|-------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| <div>Alkalimetaller</div>     |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <div>Overgangsmetaller</div>     |    |     |     |     |     |  |  |  |  | <div>Ædelgasser</div>          |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2  |
| <div>Jordalkalimetaller</div> |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <div>Postovergangsmetaller</div> |    |     |     |     |     |  |  |  |  | <div>Andre ikke-metaller</div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10 |
| <div>Lantanider</div>         |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <div>Halvmetaller</div>          |    |     |     |     |     |  |  |  |  | <div>Halogener</div>           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 18 |
| <div>Actanider</div>          |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 18 |
| 1                             | 2  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 13                               | 14 | 15  | 16  | 17  | 18  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| H                             |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | B                                | C  | N   | O   | F   | Ne  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 3                             | 4  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5                                | 6  | 7   | 8   | 9   | 10  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| Li                            | Be |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 11                            | 12 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| Na                            | Mg |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Al                               | Si | P   | S   | Cl  | Ar  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 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  |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 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  |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 55                            | 56 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 81                               | 82 | 83  | 84  | 85  | 86  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| Cs                            | Ba |    | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  | 80  | Ti  | Pb  | Bi  | Po  | At  | Rn  |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
| 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  |                                  |    |     |     |     |     |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|                               |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 66                               | 67 | 68  | 69  | 70  | 71  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|                               |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Dy                               | Ho | Er  | Tm  | Yb  | Ju  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|                               |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 98                               | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |
|                               |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Cf                               | Es | Fm  | Md  | No  | Lr  |  |  |  |  |                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |

Det periodiske system blev først opstillet af kemikeren Dmitrij Mendelev.

## 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. 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.

## ATOMER

Grundstofferne blev i 1869 opstillet af Dmitrij Mendelev i grundstoffernes periodiske system. Dengang kendte man til 63 grundstoffer, i dag kender vi til 118. Det senest opdagede grundstof blev fundet i 2013. De forskellige grundstoffer er placeret i en struktur – det periodiske system – hvor grundstofferne ordnes efter vægt og egenskaber. Konkret sker nummereringen efter

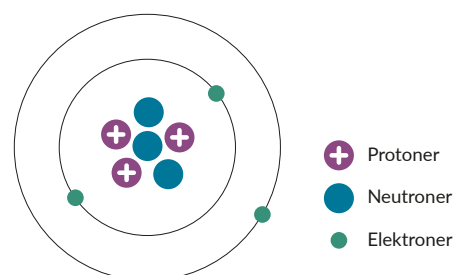




Teorien om Big Bang giver en forklaring på hvordan universets 'byggesten' er opstået.

det enkelte grundstofs kerneladning. De er nummeret 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. 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 ustabilt, og ændrer sig (henfalder) til et andet grundstof under udsendelse af stråling.

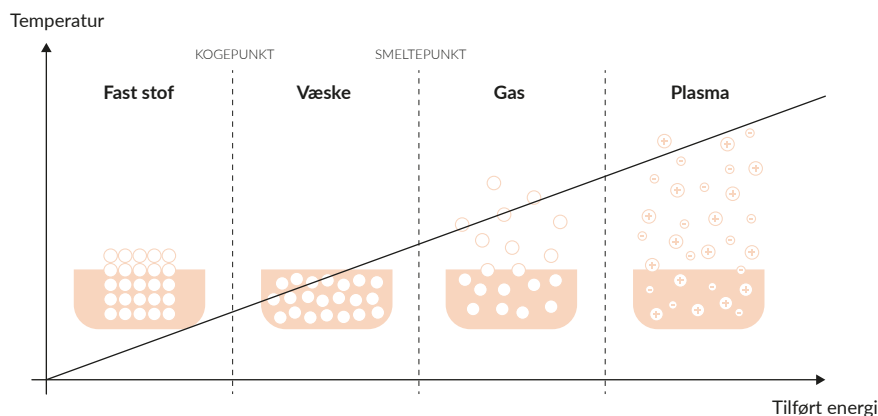
Elektronen er en elementarpartikel i modsætning til protonen og neutronen, der begge er sammensatte partikler. Vi kalder deres bestanddele for kvarker. To egenskaber gør kvarkerne til noget særligt blandt elementarpartiklerne, nemlig at de ikke kan observeres frit i naturen, og at de bærer en ladning,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



Model af et Lithium atom.

## MOLEKYLER

Et molekyle er den mindste stabile partikel af et grundstof eller en kemisk forbindelse, som kan eksistere. 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 reaktionsbarrieren, 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.



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 plasma tilstande 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 ekstrem 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 Heisenberg's usikkerhedsprincip kommer i spil. Når en gas af atomer køles til ekstremt lave temperaturer i nærheden af det absolutte nulpunkt, udtværes atomerne. Herved mister 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 (lysets hastighed er normalt 300.000.000 m/s i vakuum).

## 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

## ERKENDELSE 7

## Cases

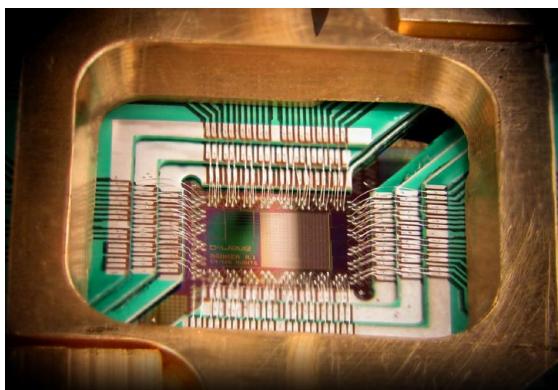
FRA DET GAMLE GRÆKENLAND  
TIL NUTIDIG KVANTEMEKANIK

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.

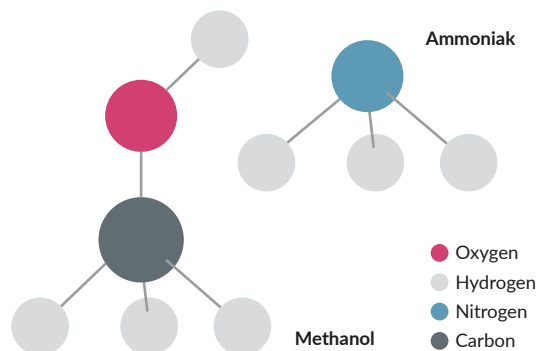
I 1803 gjorde den britiske kemiker John Dalton en opsigtsvækkende opdagelse. Han havde studeret atomteorien, og det lykkedes ham ved hjælp af forskellige eksperimenter at finde et system i atomerne. Han regnede ud, hvor mange slags af hvilke atomer, der skulle til for at danne bestemte molekyler. Bohrs atommodel repræsenterer et mellemstadium mellem en klassisk elektrodynamisk og en moderne kvantemekanisk beskrivelse af brintatomet, som fysikeren Schrödinger blandt andet bidrog til. 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. Partikler i kvantemekanik er i stand til at være to steder på samme tid eller være i to kvantemekaniske tilstande på samme tid.

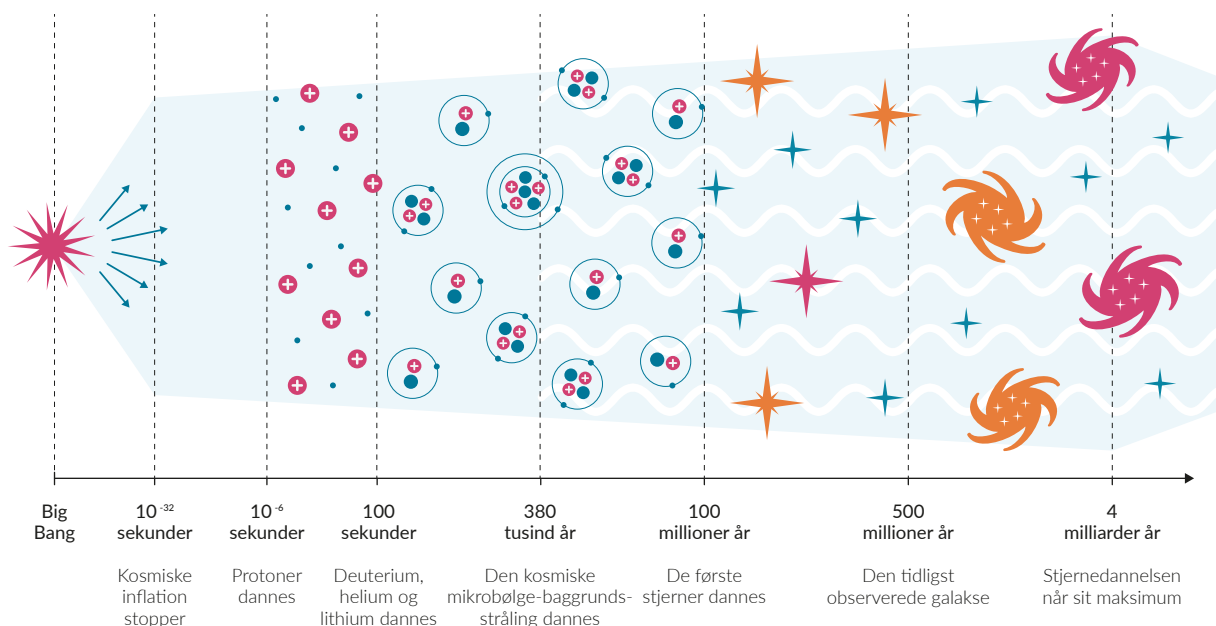
I fremtiden håber forskerne, at kvantemekanikkens love kan udnyttes i kvantecomputere til at klare visse former for beregninger langt mere effektivt, end det er muligt med almindelige computere. Mens en almindelig computer bruger bit, som enten kan være 0 eller 1, så regner en kvantecomputer med kvantebit, 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.



Chip fra kvantecomputer.



Model af to forskellige molekyler.



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

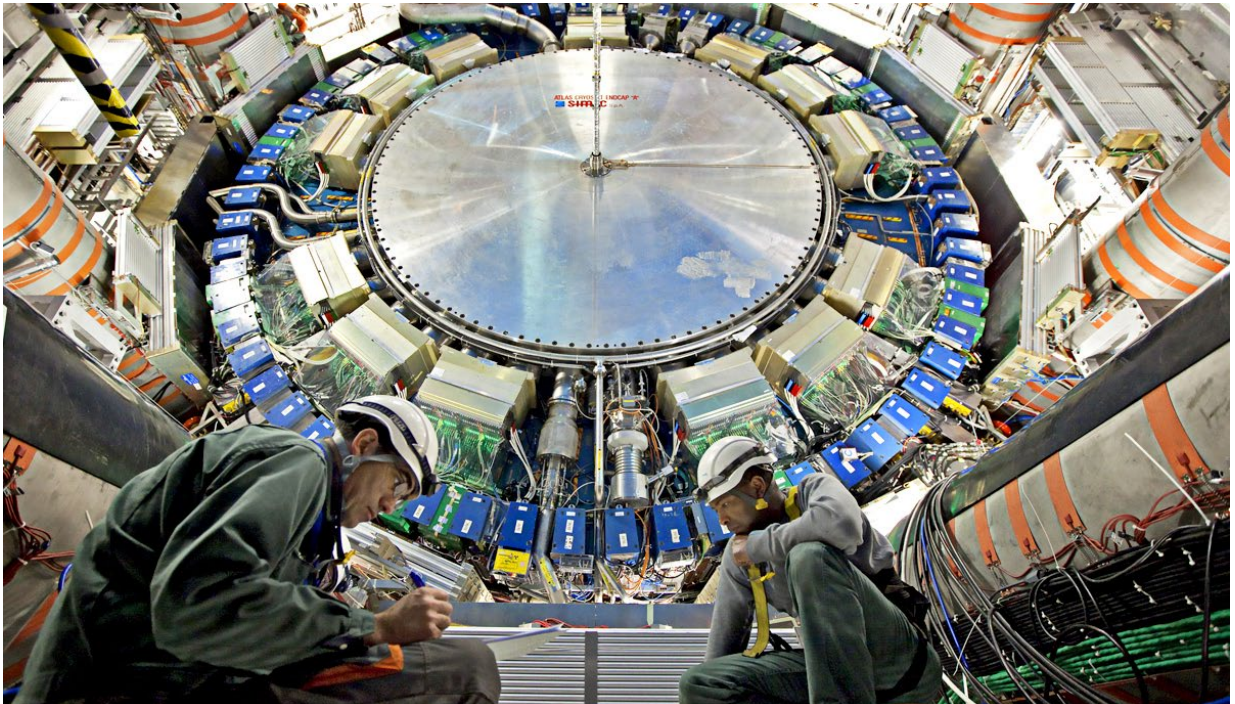
## DEN KOSMISKE BAGGRUNDSSTRÅLING

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 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 3000 °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. 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.





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 sådan 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.

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 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 hypertekst til et kraftfuldt og lettilgængeligt globalt informationsnetværk, og et par år efter så Internettet dagens lys. Siden da har udviklingen af vores World Wide Web udviklet sig markant. Det er imidlertid værd at bemærke, at en tilsvarende historie udspillede sig, da telegraphen 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 'huller' 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 nogle 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 etableret hun Radium Institutet i Paris, hvor hun forskede i at forstå radioaktivitet og de grundstoffer, som er radioaktive.

**NIELS BOHR**(1885–1962)

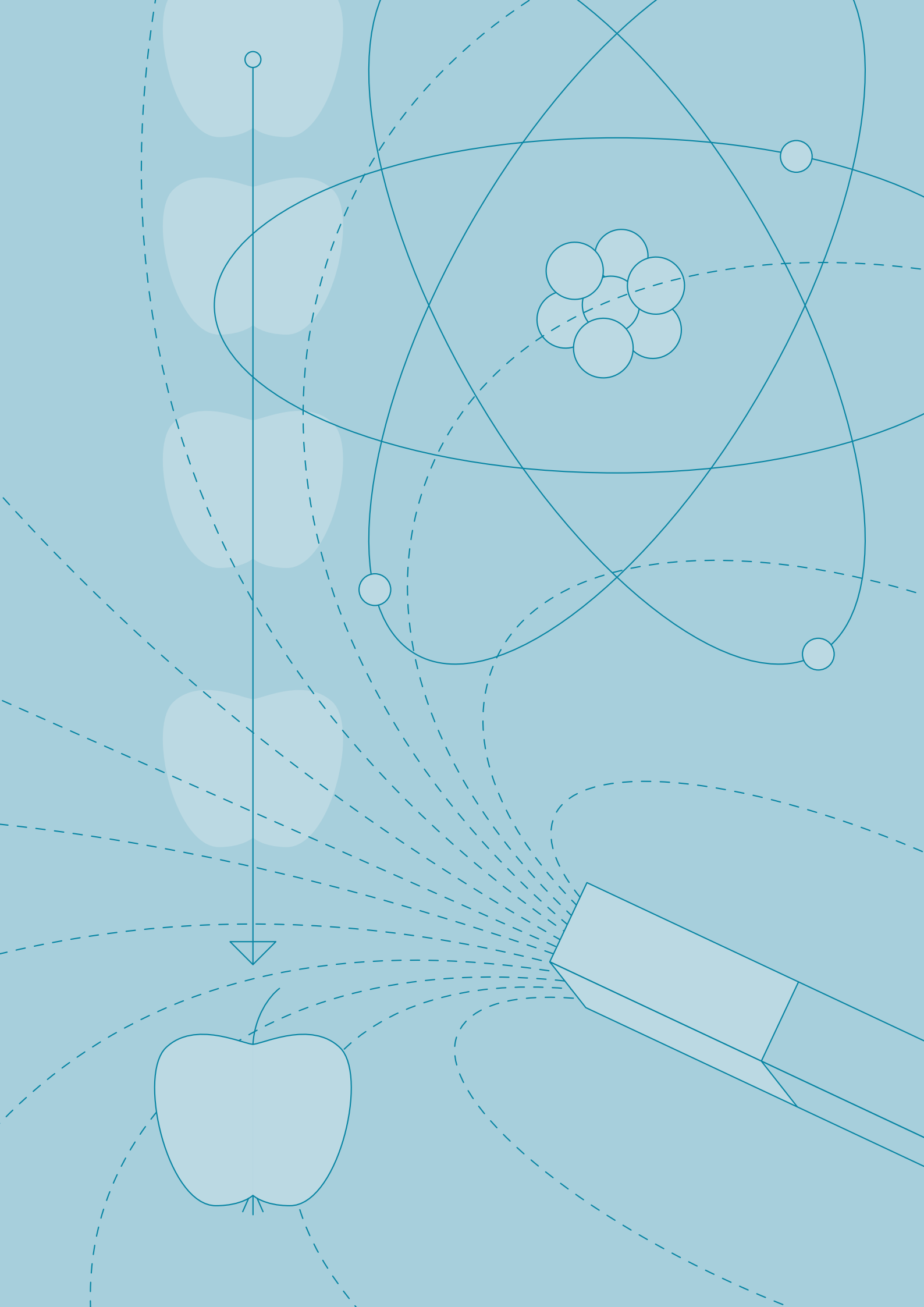
Dansk fysiker, der i 1922 modtog Nobelprisen i fysik. Bohr var en ledende kraft i udviklingen af modellen for atomers opbygning, samt i udviklingen af kvantemekanikken og for sine ideer om komplementaritet. Dette dannede en del af grundlaget for at opdage de stærke og de svage kernekrafter. I 1921 etablerede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



Lene Hau

**LENE V. HAU** (1958–)

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 ultra kompakte materiale, et såkaldt "Bose-Einstein kondensat". Haus forsøg viser, at når lyset stoppes, bliver det for et øjeblik omdannet til materiale, 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.



## ERKENDELSE 8

# Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet

---

Naturkræfter betyder her de grundlæggende kræfter, der står for alle vekselvirkningerne i universet. Der 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 kernekræfter, da disse virker inden i atomkernerne og derfor kun opleves indirekte. Alle andre kræfter kan beskrives ud fra disse fire fundamentale kræfter.

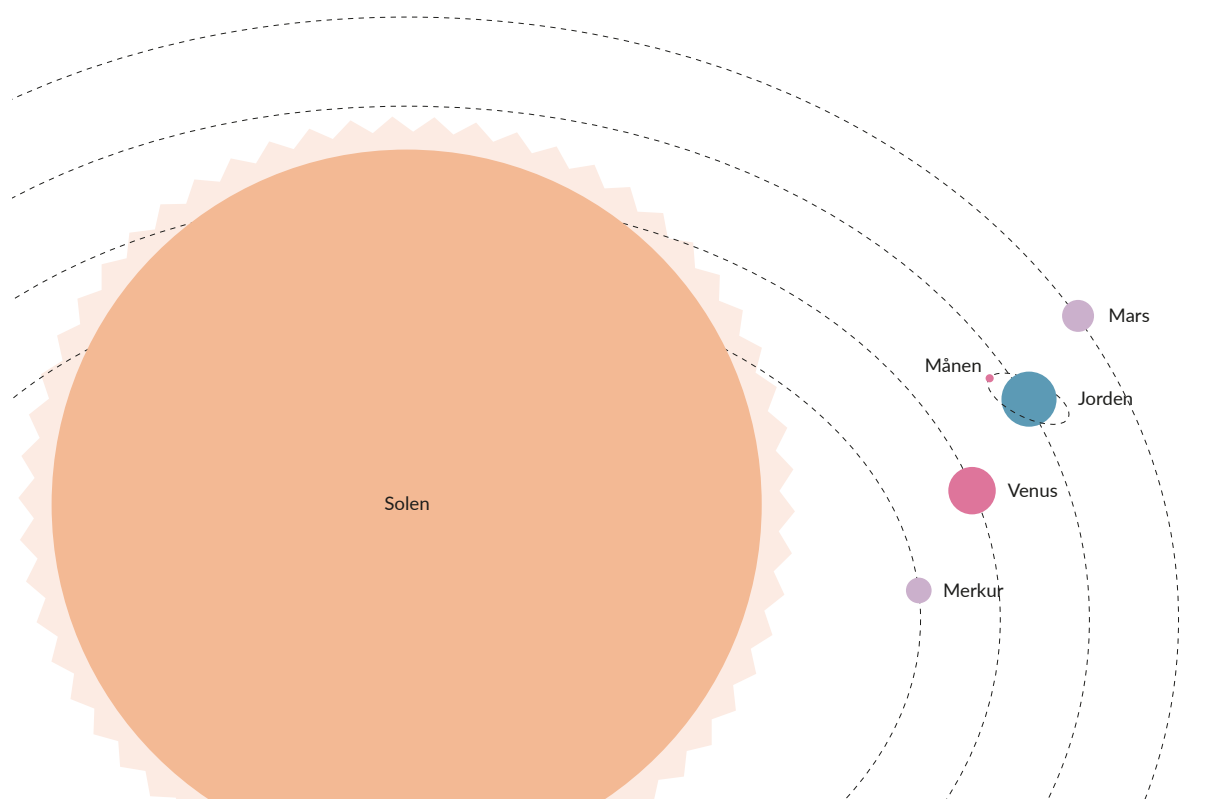
Når man kender til de fire fundamentale naturkræfter, og hvordan de virker i universet, kan det både hjælpe en med at forstå dagligdags begivenheder bedre, som satellitter, strøm fra vindmøller eller atomkraft, men også være en inspiration til at lære mere om teorierne bag Big Bang, eller blive klogere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

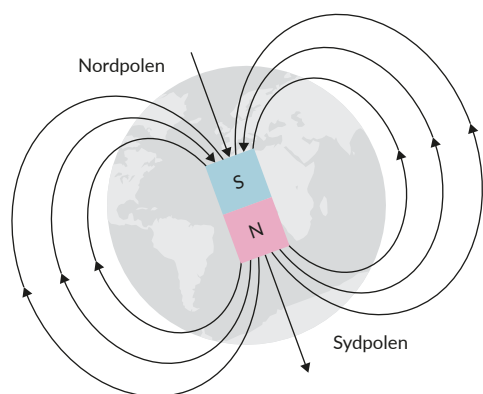


Tyngdekraften holder planeterne fast i deres bane omkring solen og månen fast i dens bane omkring Jorden.

## 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
- Ørstedes 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.

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. Den stærke kernekraft har betydning i atomkernerne, hvor den binder kvarkerne sammen inden i protonerne og neutronerne og derved binder nukleonerne sammen i atomkernen. På grund af den store 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



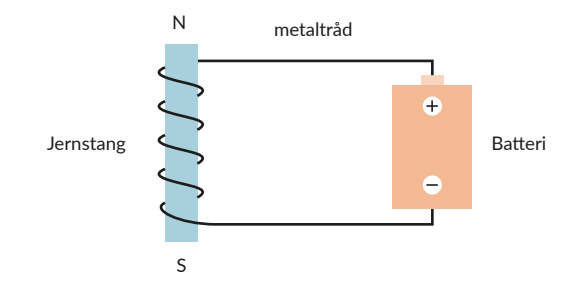
Icecube laboratoriet på Sydpolen er en enorm partikeldetektor, der befinder sig under jordoverfladen.

### 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 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. 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.

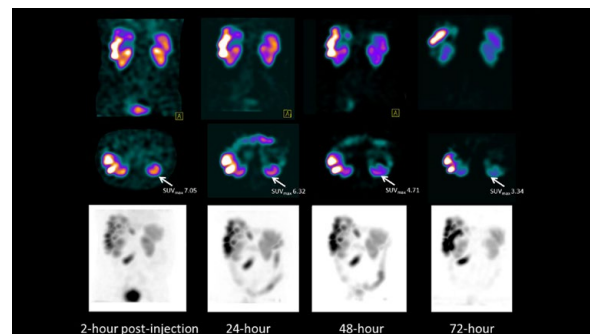
### ØRSTEDS OPDAGELSE AF ELEKTRO-MAGNETISMEN OG MAXWELLS LIGNINGER

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. 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.

Maxwells ligninger ledte til Heinrich Hertz' 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. Nemlig 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.

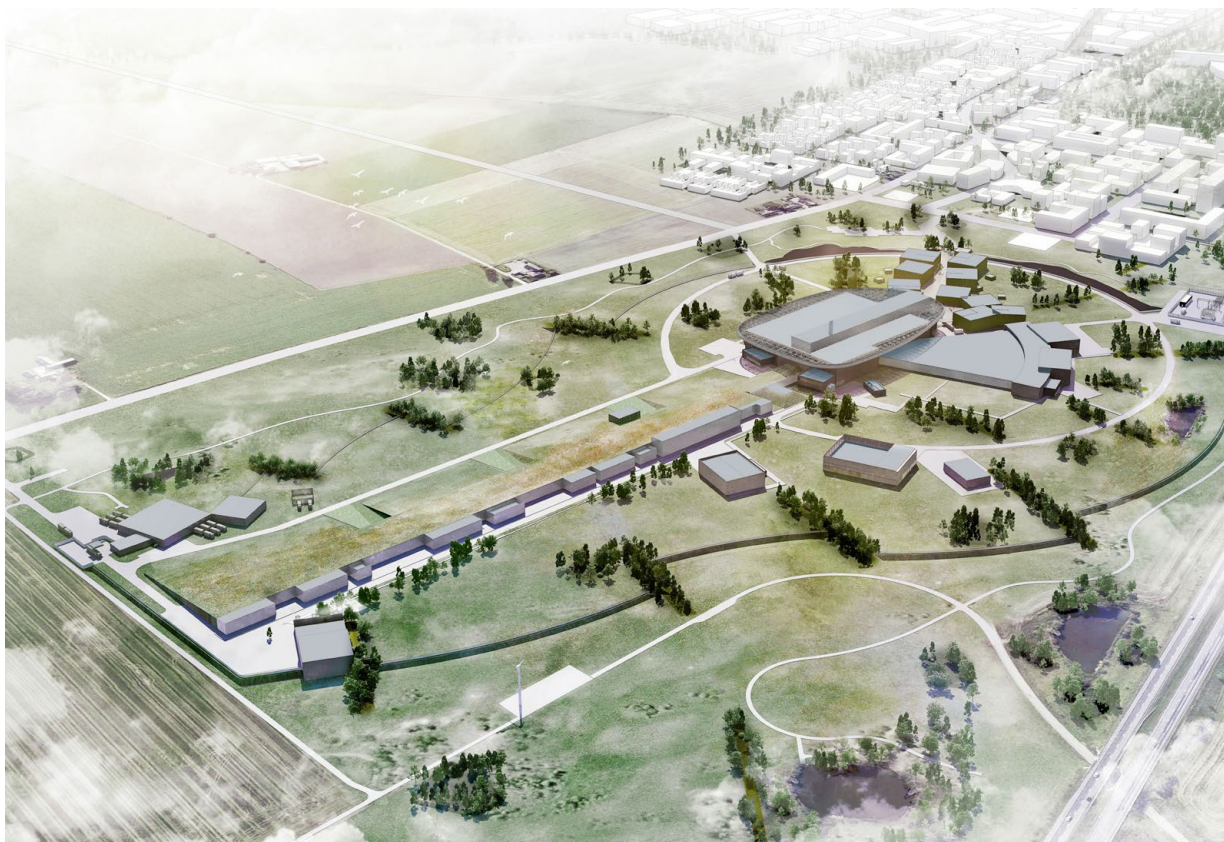
Elektromagnetiske bølger kan transportere energi, som for eksempel når lys finder vej til Jorden fra fjerne galakser, når mobiltelefonen modtager signaler, og røntgenstråling gennemlyser mennesker.

Levermetastaser optaget i en CT scanner efter indtagelsen af  $^{177}\text{Lu}$  lutetium.

### 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 et 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 ( $^{18}\text{F}$ ), som omdannes til oxygen ( $^{18}\text{O}$ ), samtidig med at der udsendes en positiv partikel (en positron), og denne kan måles med en PET skanner (PET står for Position 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  $^{99}\text{Tc}$  Technetium. Stoffet har ingen kendte bivirkninger og er ude af kroppen igen efter cirka 1 døgn (halveringstiden er 6 timer). Den stråledosis, der gives ved nuklearmedicinske undersøgelser, er meget lille og af samme størrelse som ved visse røntgenundersøgelser.



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 materials 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.

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 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, udgav blandt andet 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. Inden hans opdagelse, kendte man kun til statisk elektricitet, som for eksempel opstår, når to legemer gnides mod hinanden. Ørsted bidrog desuden med omkring 2000 nye ord til det danske sprog for eksempel rumfang, rumklang, sommerfugl, brugskunst, autoritetstro, mindretal, tidevand, ilt og brint.

**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.

**MURAY GELL-MANN (1929–)**

Amerikansk fysiker, der i 1969 fik Nobelprisen i fysik, blandt andet for sit arbejde indenfor teoretisk partikelfysik, hvor han opstillede en model for hvordan elementærpartiklerne kan klassificeres, og hvordan

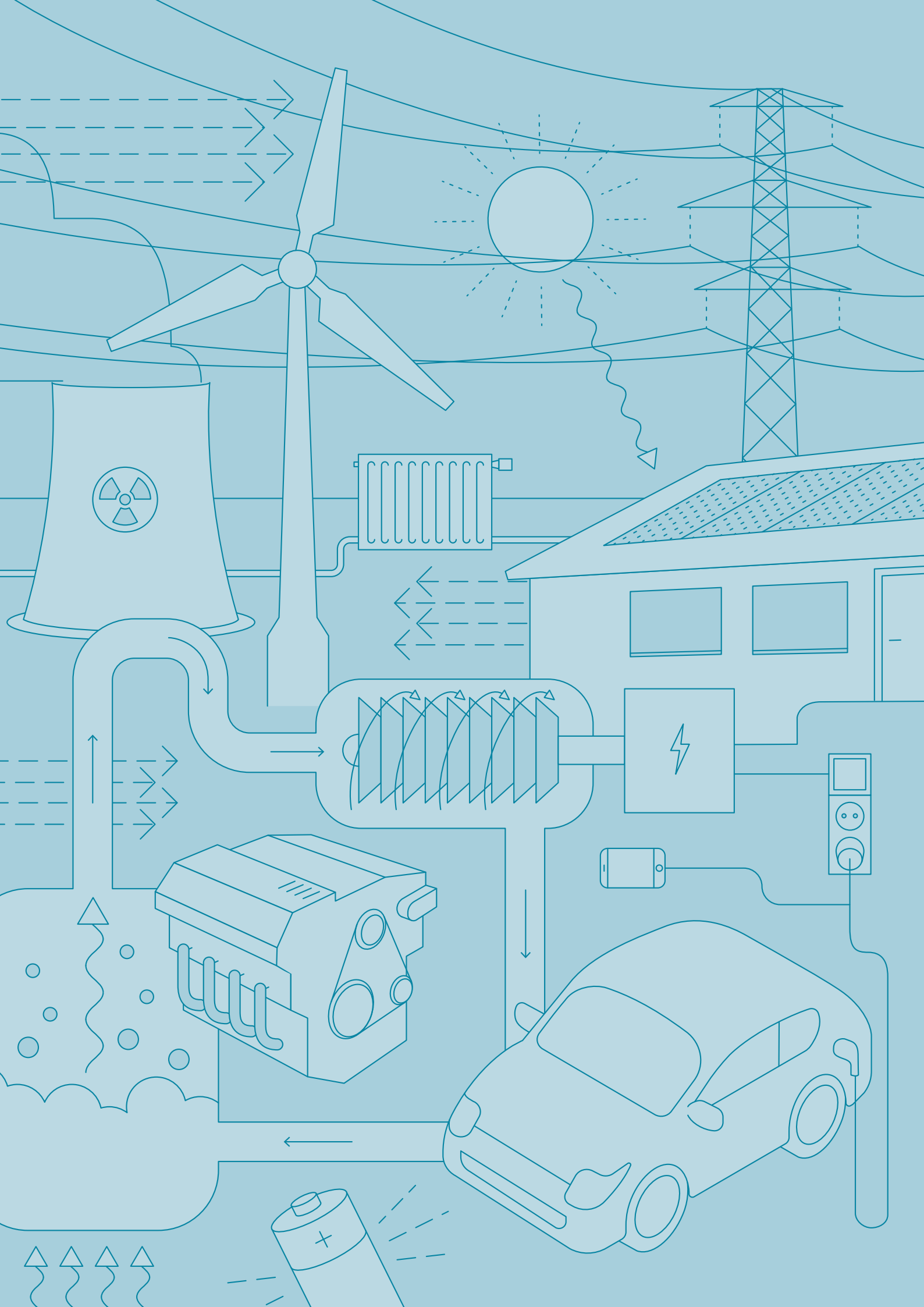


Fabiola Gianotti

de vekselvirker. Han var med til at foreslå, at for eksempel 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 kerne-kræfter. 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.





## 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 naturvidenskabens 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, fødevareproduktion osv. Energi er uden tvivl et af de helt fundamentale begreber i naturvidenskaben. Men hvad energi egentlig er, har selv modtagere af Nobelpriisen svært ved at svare på. Fysikeren Richard Feynman, der modtog Nobelpriisen 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.

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. Vi ved også, at i et system indeholdende energi, vil entropien, der et mål for graden af uorden eller tilfældighed i systemet, aldrig aftage. Populært kan man sige, at hvis et lukket system går fra en ligevægtstilstand til en anden, kan entropien ikke mindske. Altså, et lukket system kun kan gå mod større og større uorden. 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.

## GRUNDLÆGGENDE ER VORES VIDEN OM ENERGI BASERET PÅ FIRE PRINCIPPER

- 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<br>Fission             | Varme-udveksling                        | Friktion                   | Resistor opvarmning       |
| KINETISK           | Radiometre               | Metabolisme                  | Radioaktivitet<br>Kerne våben | Termisk ekspansion<br>Indre forbrænding | Gear                       | Elektromotor              |
| ELEKTRISK          | Solceller                | Brændselsceller<br>Batterier | Kerne-batterier               | Termo-elektricitet                      | Generatorer                |                           |



## ERKENDELSE 9

# Kernefaglige nedslagspunkter



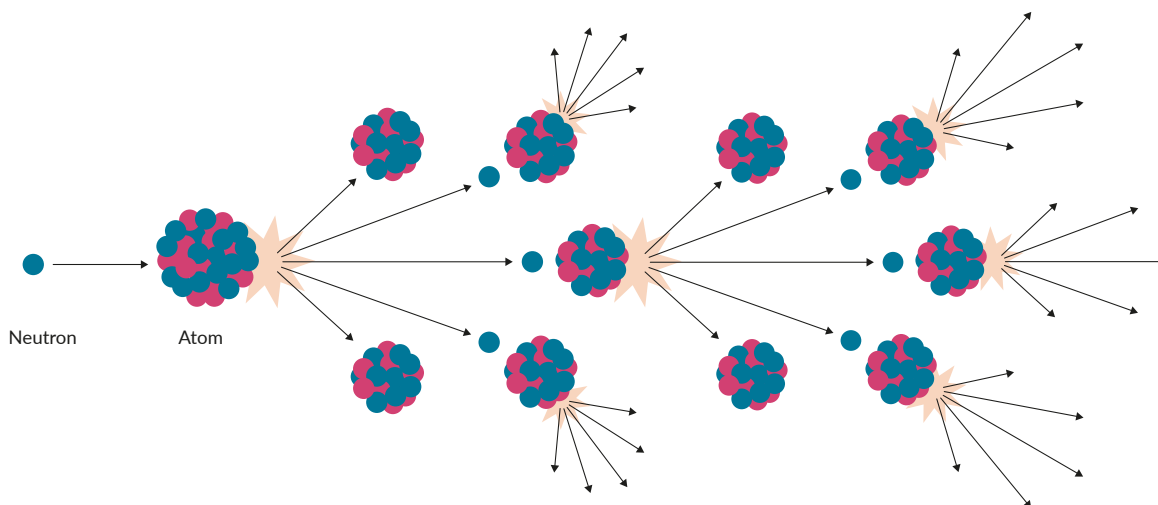
Damplokomotivet udnyttede termodynamikkens love.

## TERMODYNAMIKKEN

Betegnelsen termodynamik indeholder en nøgle til forståelse af energi, da den jo siger, at varme er dynamisk og kan bevæge 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. Fouriers arbejde med varmligningen 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, der beskrev sammenhæng mellem temperatur, tryk og volumen. I 1834 lykkedes det den franske ingeniør og fysiker Émile Clapeyron at formulere idealgasloven, som i den moderne version siger, at tryk gange volumen er proportional med temperaturen. Hermed blev det beskrevet, hvad man kan måle, men der var endnu ikke en sammenhængende teori for de involverede processer. Det blev den polsk-tyske 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.



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. Kernefusionsprocesser, der blandt andet ligger til grund

for Solens energiudstråling, 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

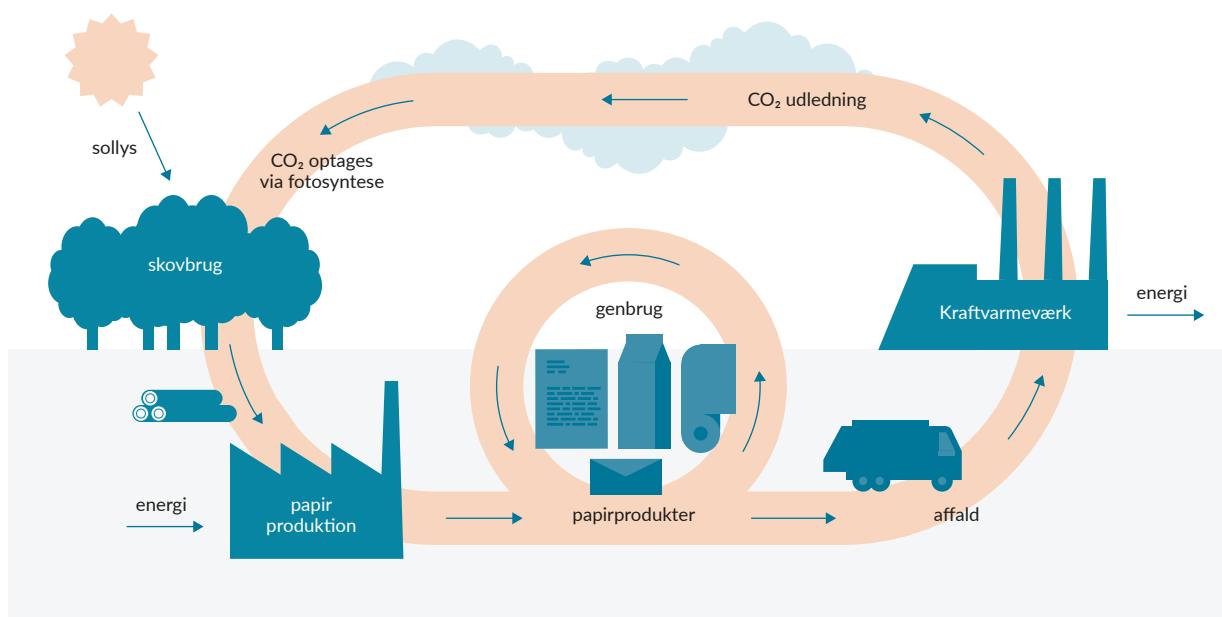
- Energiformer
- Energitransport
- Energiomdannelse
- Energiproduktion
- Energilagring
- Energiforsyning
- Varmelære
- Fotosyntesen
- Brændselsformer
- Entropi

## 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.). Dette står i modsætning til Newtons mekanik, hvor et legeme i hvile ikke kan have nogen energi, hvorfor massen kaldes for legemets hvileenergi.  $E$ 'et i formlen kan betragtes som legemets totale energi, hvilket er proportionalt med massen  $M$ , når legemet er i hvile.

## ERKENDELSE 9

## Cases



Eksempel på et biomasse kredsløb.

## 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. I forbindelse med udfordringer med CO<sub>2</sub> udledningen 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.

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. 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. CO<sub>2</sub>-udledninger fra biomasse er en del af en kort cyklus: Når skove vokser og gror, optager de CO<sub>2</sub>. Når der høstes biomasse fra skovene, og biomassen bruges til energi, udledes CO<sub>2</sub>'en igen. Når skovene vokser op igen, genoptages CO<sub>2</sub>'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.

Energiforbruget til anvendelse af henholdsvis biler og mobiltelefoner er meget forskellig. En mobiltelefon forbruger årligt 4 kWh, hvilket er mindre end 30 MJ i dens toårige levetid, eller 3 % af energi 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. Et tema i debatten om naturvidenskab og atombomben har været, om naturvidenskaben mistede sin uskyld, da førende videnskabsfolk involverede sig i udvikling af det dødbringende våben. Det tyske atomvåbenprogram blev ledet af fysikeren Werner Heisenberg, der i 1941 besøgte Niels Bohr i København.

Atomkraft er en kontroversiel og omdiskuteret energikilde. Indførsel af atomkraft kunne have reduceret udledning af CO<sub>2</sub>, 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 forbundet med Tyskland 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 vekselstrømmotoren, 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 og dermed grundlagde, at det var muligt at fissionere atomkerner. Kernefission er grundlaget for energi produceret med atomkraft.



Maria Telkes

**ALBERT EINSTEIN (1879–1955)**

Tysk født 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.





## 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 tusindevis 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 lige som 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 meteorkratre, bjerge og lavasletter.

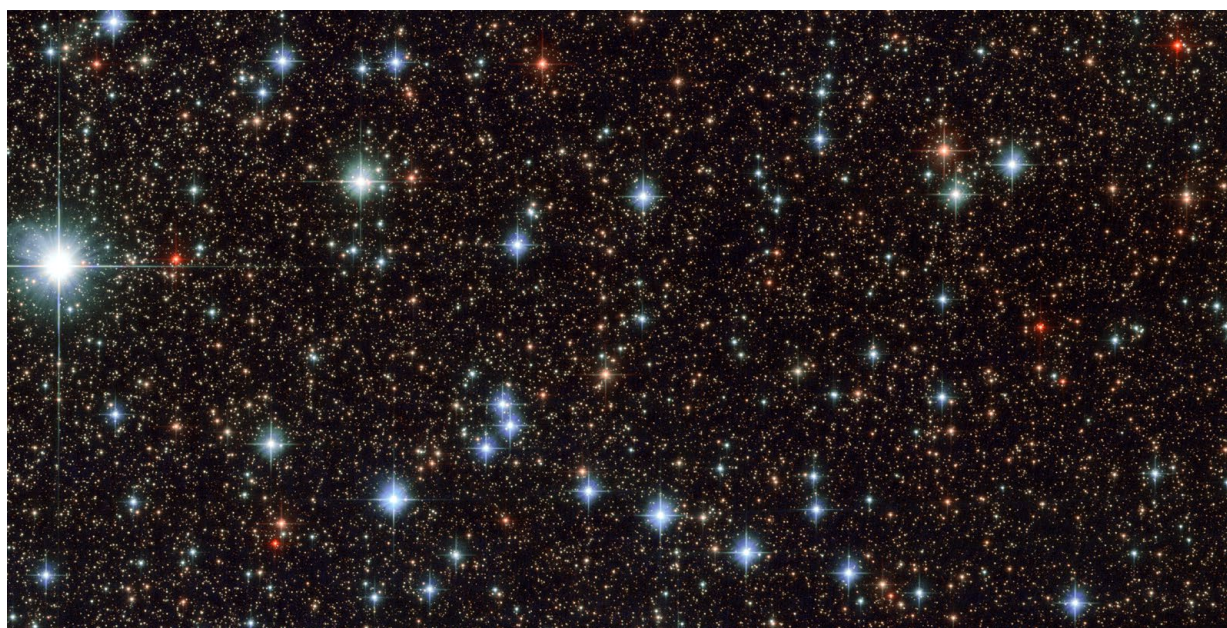
I dag kender vi med sikkerhed til otte planeter i vores solsystem. Vi regner ikke længere Pluto for en planet, men måske er der alligevel en niende derude. Nye computerberegninger baseret på overraskende banebevægelser af nogle af de små planeter, der befinder sig yderst i Solsystemet, viser tegn på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

Stjerner er bundet til hinanden i galakser ved 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 opfattelse af, hvordan vores egen galakse, Mælkevejen, er opbygget, 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 dannet mindre end en milliard år efter universet blev dannet ved Big Bang for cirka 13,8 milliarder år siden.

## 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 vor egen sol. Planeterne lyser i kraft af lyset fra stjernen. I oldtiden kendte man de seks planeter i solsystemet, som kan ses uden kikkert (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  $\frac{1}{4}$  af Jordens. Den gør Jordens omdrejningsakse stabil, og kan godt være en komponent i, at der opstod liv på Jorden. Mars har to ganske små måner, mens Jupiter har 79 måner, hvor månen Ganymedes er større end planeten Merkur. Med Keplerteleoskopet er der opdaget over 3000 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, 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.



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.

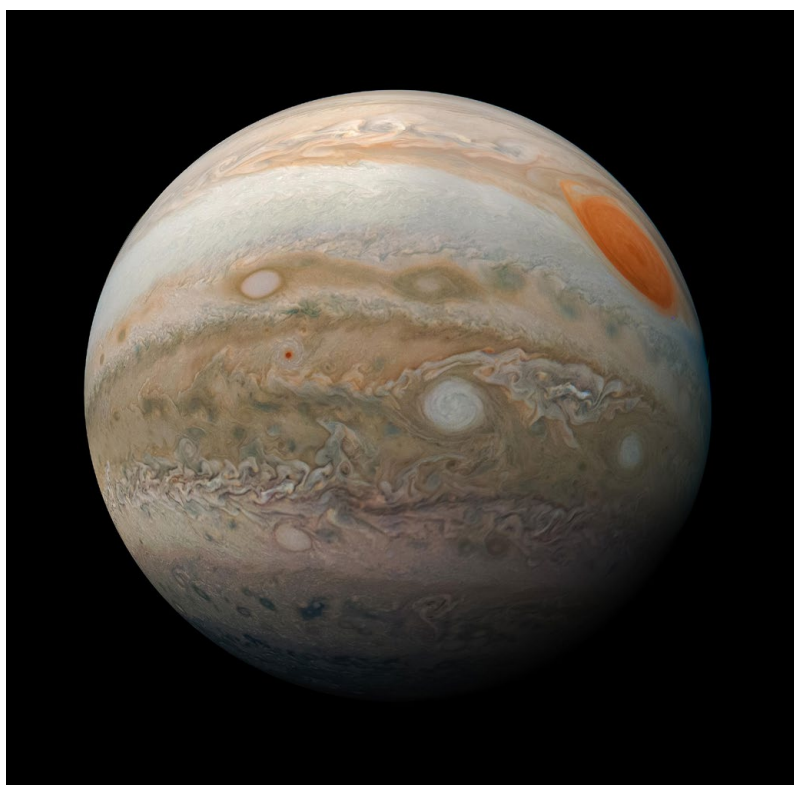
## ERKENDELSE 10

## 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.

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 bagved 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



Billede af Jupiter taget af Rumsonden JUNO.

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.





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

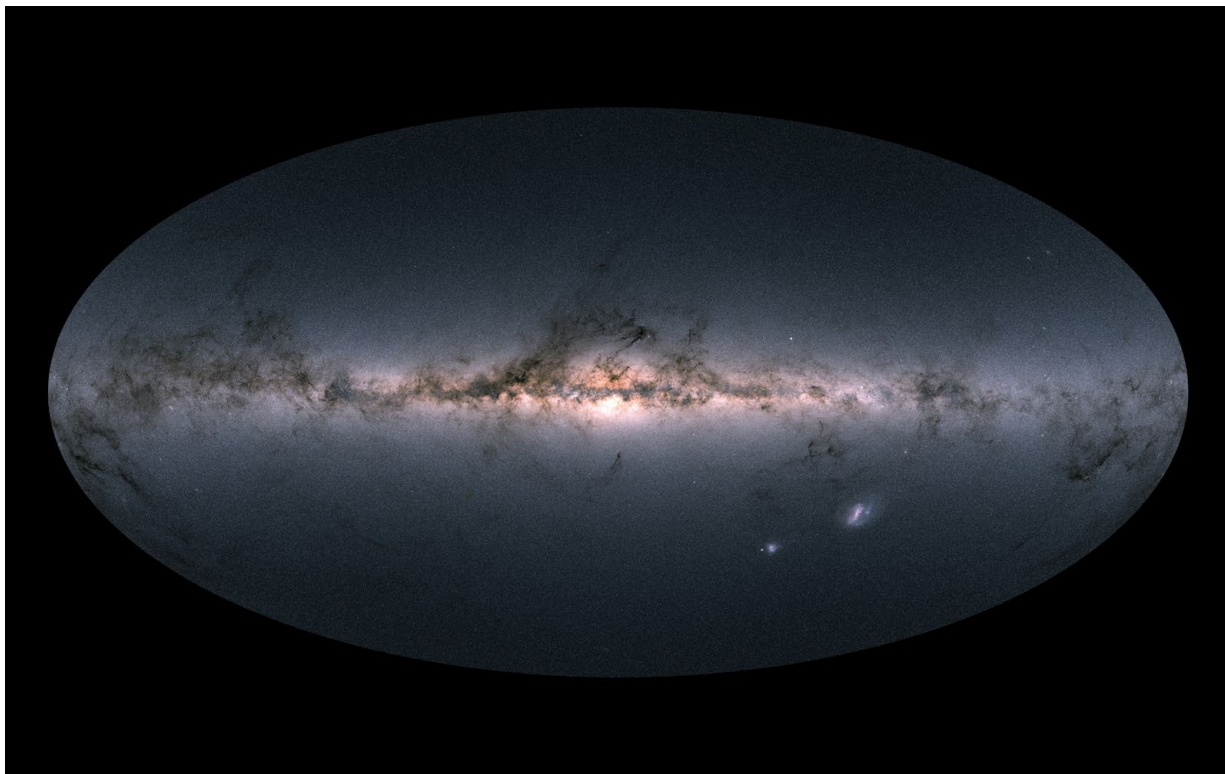
## VANDET PÅ JORDEN

For bare 50 år siden var der ikke nogen, der undrede sig synderligt over, at der var vand i havene på Jorden. 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 at rumsonderne Hayabusa og OSIRISREx undersøger to asteroider med henblik på at kunne svare på, hvor vandet på Jorden kan have sin oprindelse fra.

## 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. Det er på baggrund af nogle af Kuiperbælte objekternes baner, at teorien om en 9'ende planet er opstået. 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 kan fastslå med sikkerhed, hvorvidt der virkelig befinder sig en stor planet i Solsystemets alleryderste dele.



GAIA satellittens højopløselige 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. 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. Cepheiders pulserende lysstyrker afhænger direkte af stjernens størrelse, jo større stjernen er, jo længere varer perioden. I 1912 viste den amerikanske astronom Henrietta Swan Leavitt, at perioden er så regelmæssig, at man næsten kan stille sit ur efter dem. Ud fra observationer af Cepheider er det lykkedes den amerikanske astronom Edwin Hubble i 1924 at fastslå, at spiraltågen M31 i stjernebillet Andromeda lå langt uden for vores egen galakse Mælkevejen. Dermed blev

det klart, at Andromeda Galaksen 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. 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.



## 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 en slags planeter, der kredsede omkring Jupiter – måner.

**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 variable", 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 kuiperbæltet, 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.



## KAPITEL 3

# Naturvidenskab er med til at forme fremtidens samfund

---

Naturvidenskab er over alt og i alt. Uanset om vi går en tur i skoven, laver mad, går til lægen, kører bil eller tager et bad. Naturvidenskab er i fortiden, i nutiden og ikke mindst i fremtiden.

*Den nationale naturvidenskabsstrategi  
marts 2018*

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 kloge 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 naturvidenskaben 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 sammenhængene.

?

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



i

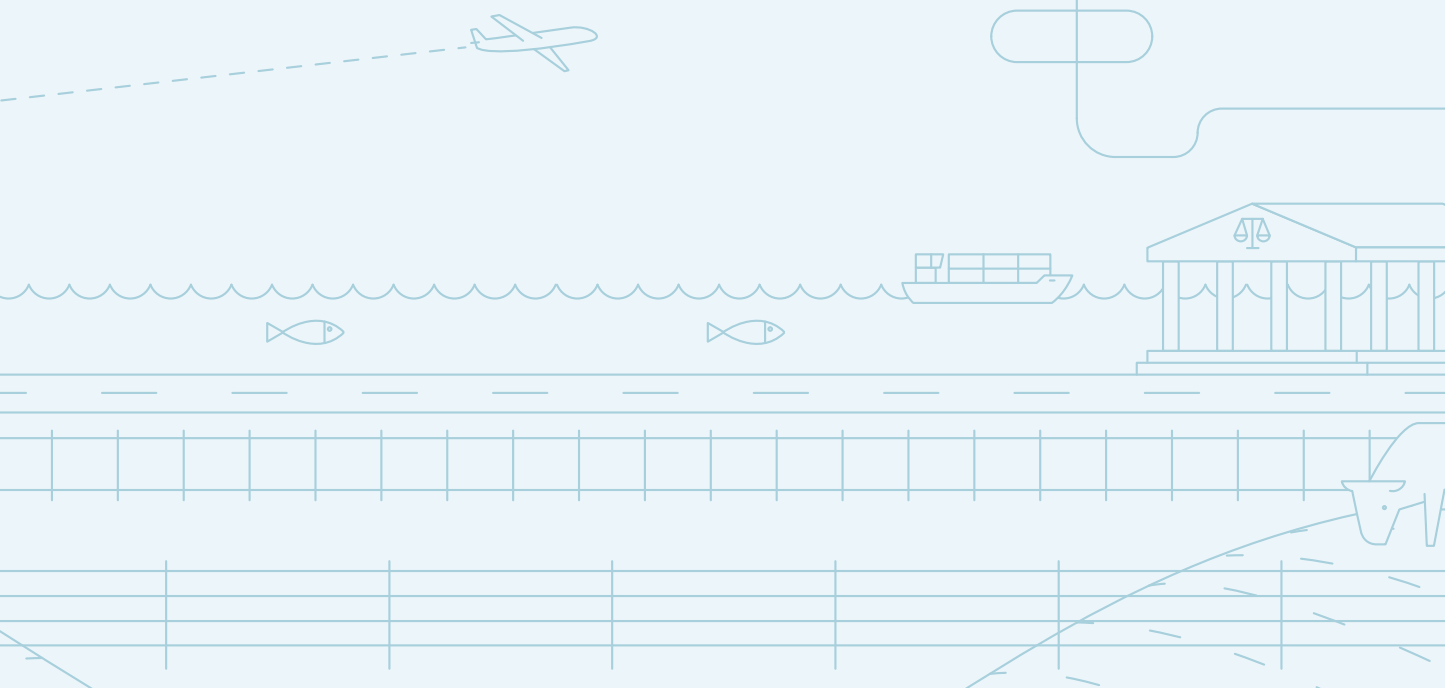
## Baggrund

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 er i 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?



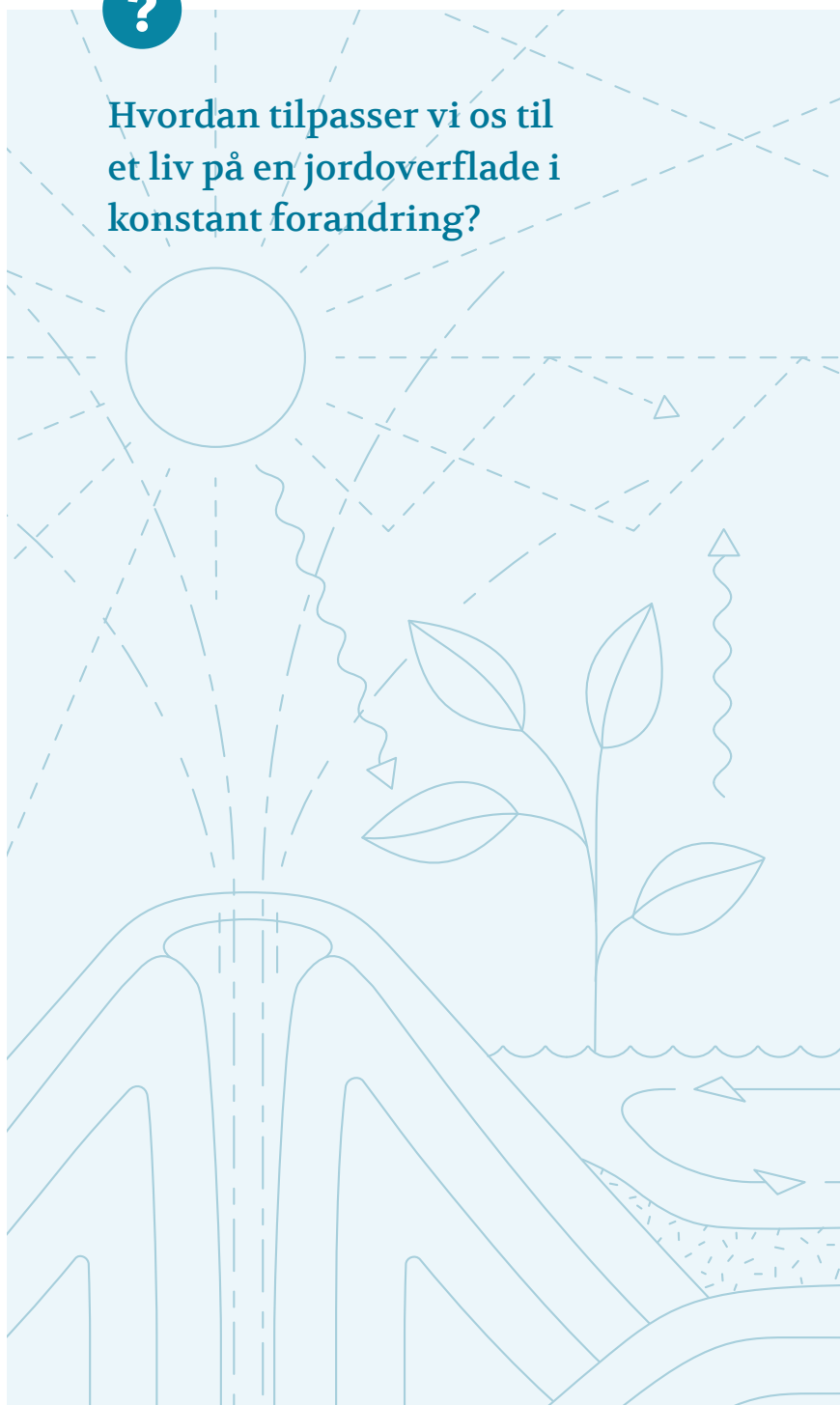
## ERKENDELSE 2

## 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 konstant forandring?





**i**

## Baggrund

Vores nuværende viden om Jordens dynamiske system har genereret flere spørgsmål, som vi endnu ikke kan besvare. Med viden om pladetektonik, 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 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 begrænsede

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 og 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.

?

**Hvordan håndterer vi klimaforandringerne?**

**Og hvordan udvikler vi mere bæredygtige måder at bruge Jordens ressourcer på?**

Efter det såkaldte kaskadeprincip 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 bio-brændstof, hvor elektricitet ikke egner sig. Central for denne nye bio-økonomi står omdannelse af lignocellulosen i biomassen via brug af mikrobielle enzymer.

## 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 "geo-engineering". Det kan være at dæmpe Solens indstråling, ved at øge refleksionen af Solens stråler, eller ved at øge optaget af CO<sub>2</sub> i havet via udledning af jernsulfater, så aktiviteterne i havets fytoplankton og deres fotosyntese øges, og der som resultat opnås, at der bindes mere karbon i havenes sedimenter.

Det biobaserede samfund er en vigtig byggesten til omstilling til det fossilsfri 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 CO<sub>2</sub>-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 geo-engineering tiltag? Hvem skal bestemme om og hvordan det kan bruges? Hvem bærer konsekvenserne, hvis det ikke går som planlagt, og nedbøren eksempelvis bliver mindre i områder, der i forvejen er tørre – eller omvendt?

## ERKENDELSE 4

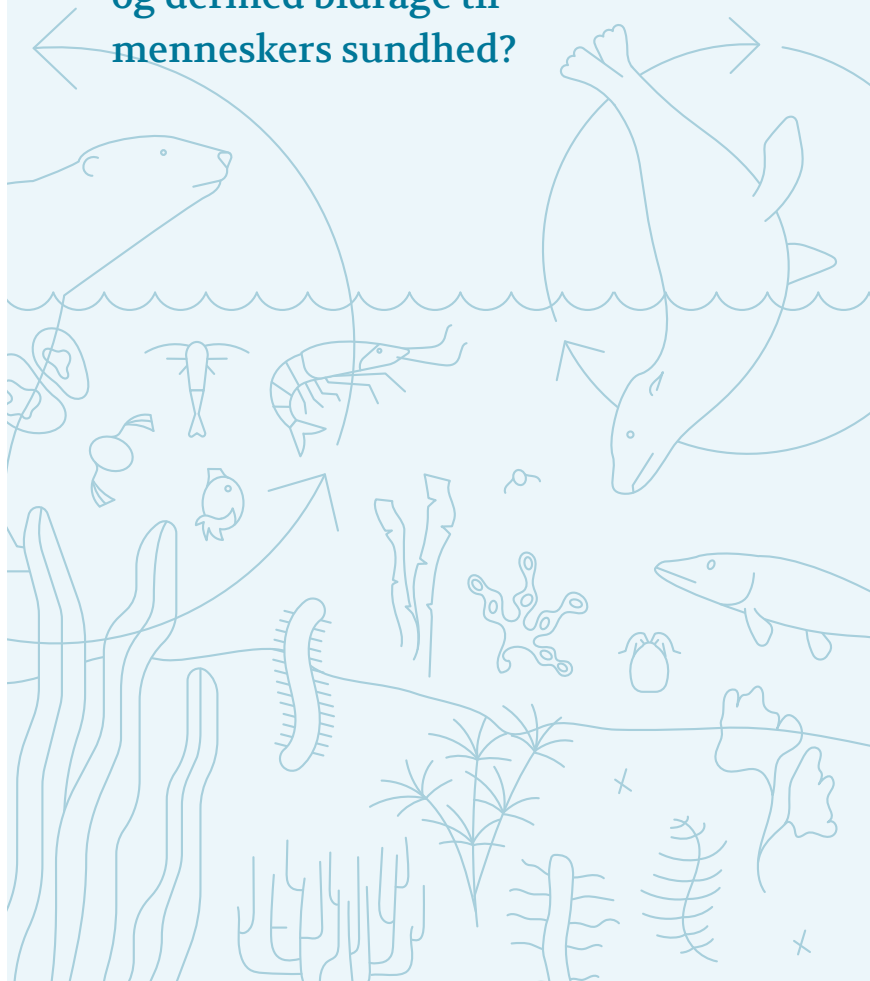
## Naturen har høj grad af biodiversitet

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 langt sigt?**

**Og hvordan kan biodiversiteten øges og dermed bidrage til menneskers sundhed?**



**i**

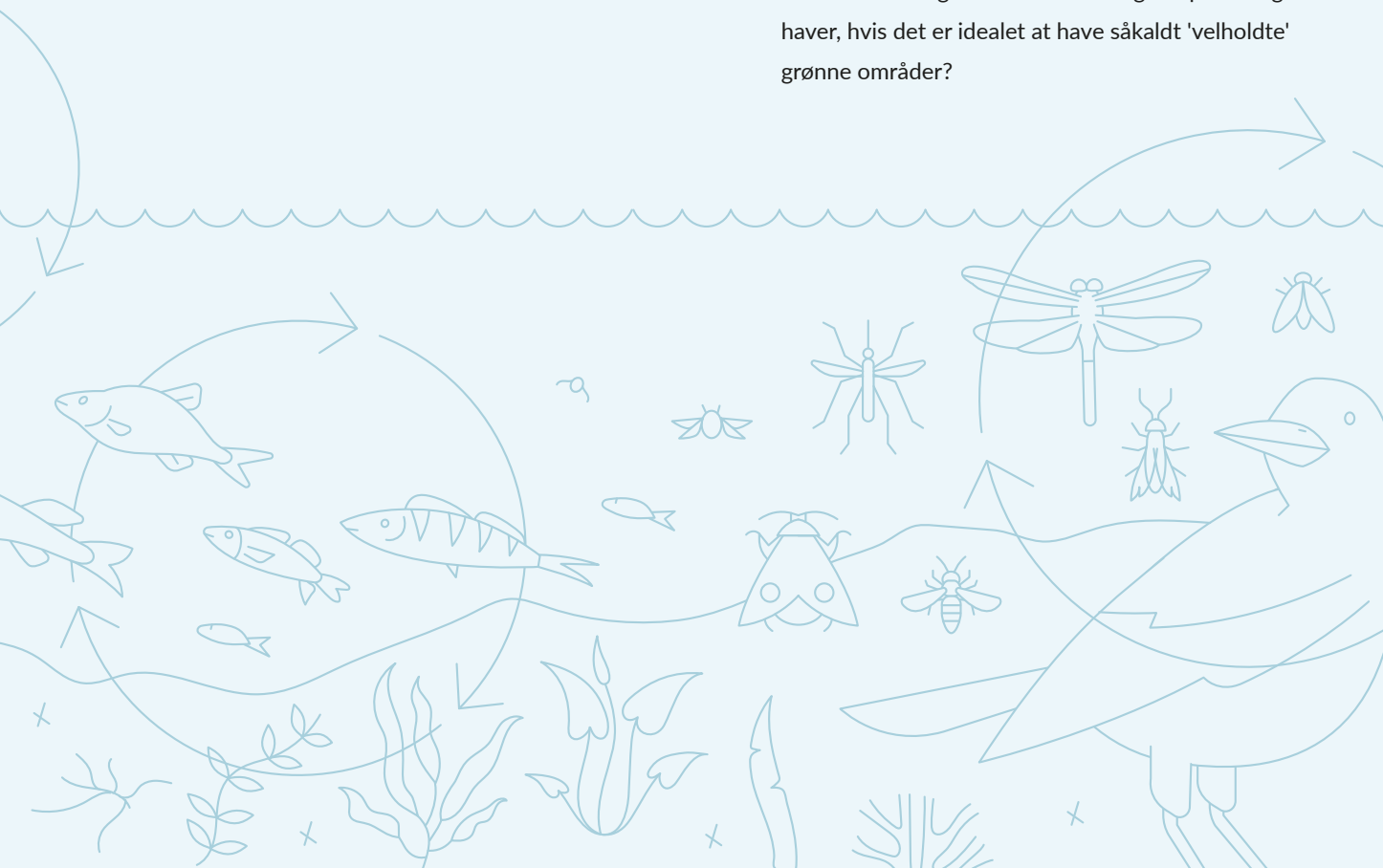
## Baggrund

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.

**!**

## Etiske Dilemmaer

Det koster penge at sikre dyr og planter, så hvad skal prioriteres? Skal man satse på en god biodiversitet i regnskoven, 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 såkaldt '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 gradvis ændrer sig. I dag beskæftiger forskningen sig fortsat med at forstå og, ud fra denne forståelse, finde bedre måder at bekæmpe sygdomme. 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?**





## i

## 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 laboratorium 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?**



## i

## Baggrund

Antibiotika-resistens 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.

Sygdomme i hjernen stiger også i hyppighed på grund af blandt andet stigende levealder, og social kompleksitet. Demens, angst og stress er eksempler, som mest af alt må betegnes som hjernesygdomme, og som begge stiger i hyppighed. Forståelsen af disse komplekse neurologiske sygdomme kræver intens forskning for at afdække og forklare den stigende hyppighed af disse sygdomme. Det er således essentielt for nutidens samfund at få mere viden om disse sygdomme og belyse, hvordan de kan forhindres og/eller behandles, både for de enkelte berørte, og for den samlede belastning af vores velfærdssamfund.

## !

## Dilemmaer

Hvem skal have behandling? Hvor mange penge skal man bruge på medicin til 'nichesygdomme'?

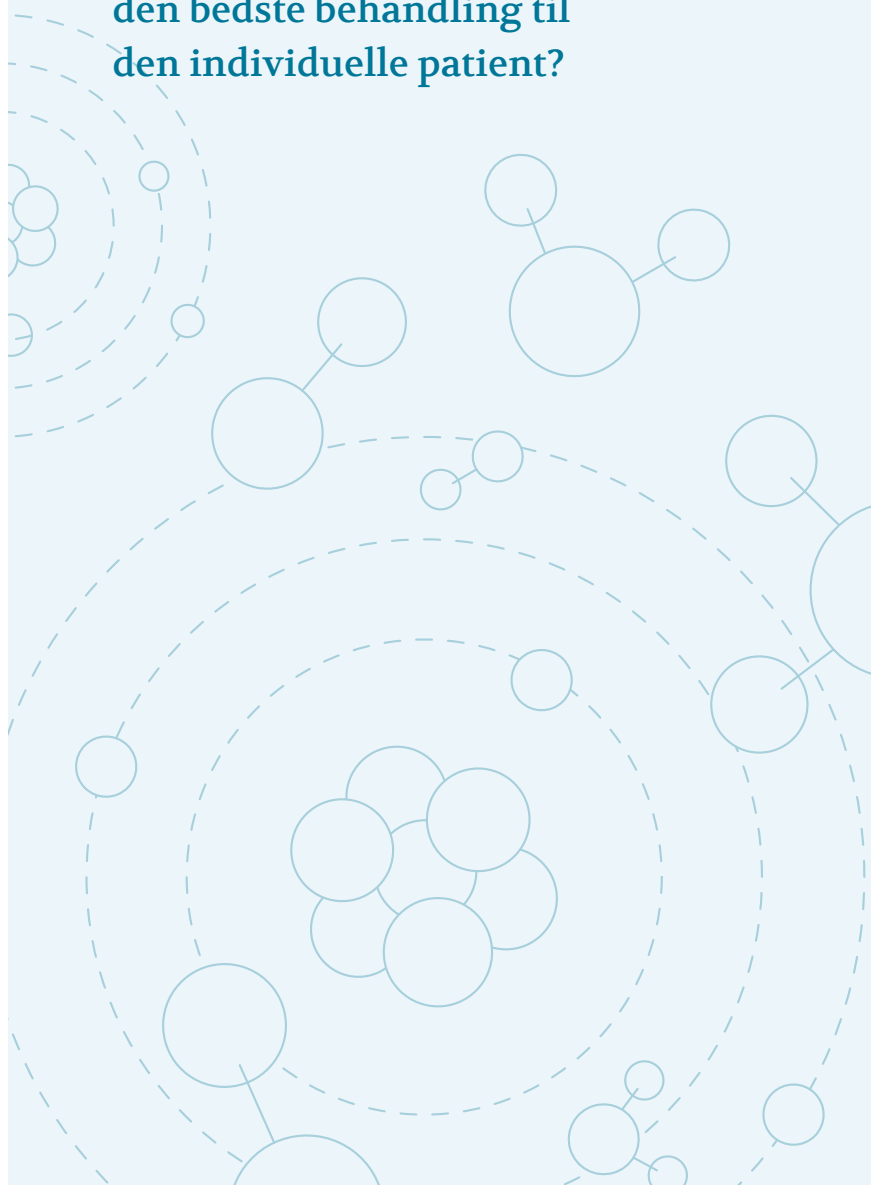
## ERKENDELSE 7

## 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 i den enkelte patient, for at skabe den bedste behandling til den individuelle patient?**



## i

## 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 i 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?

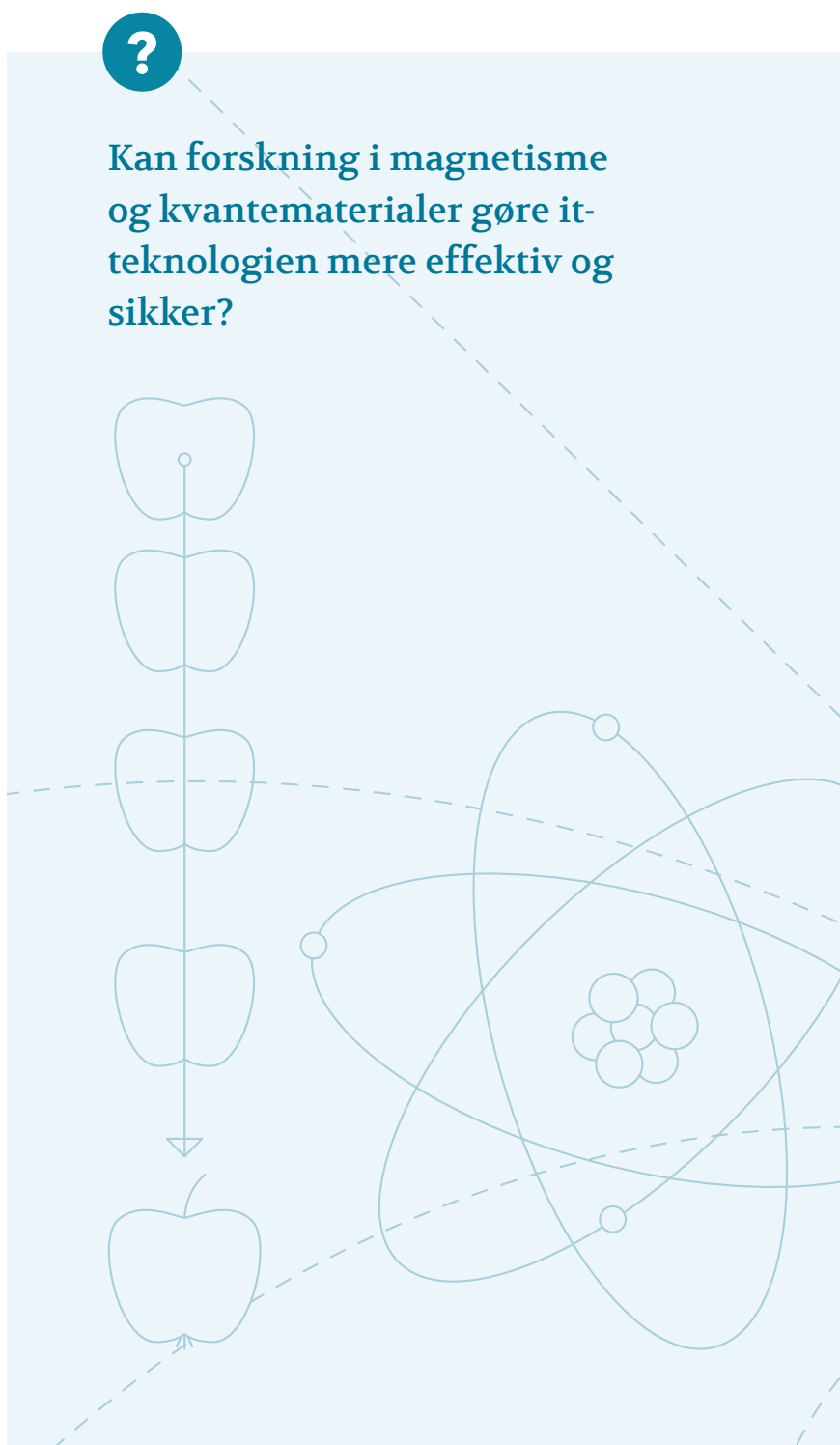
## ERKENDELSE 8

## 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

Spørgsmålet om, hvordan vi kan forstå, men også udnytte, magnetisme og kvantematerialer bliver et af de store spørgsmål inden for den naturvidenskabelige forskning i de kommende år. I Europas store nye forskningsfacilitet European Spallation Source (ESS), som er en form for gigantisk mikroskop, vil danske og internationale forskere fra 2023 blandt andet arbejde med, hvordan magnetiske materialer kan øge it-teknologiens kapacitet ved eksempelvis at kunne lagre mere information på mindre plads – og ikke mindst med et lavere strømforbrug.

Der forskes også 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.

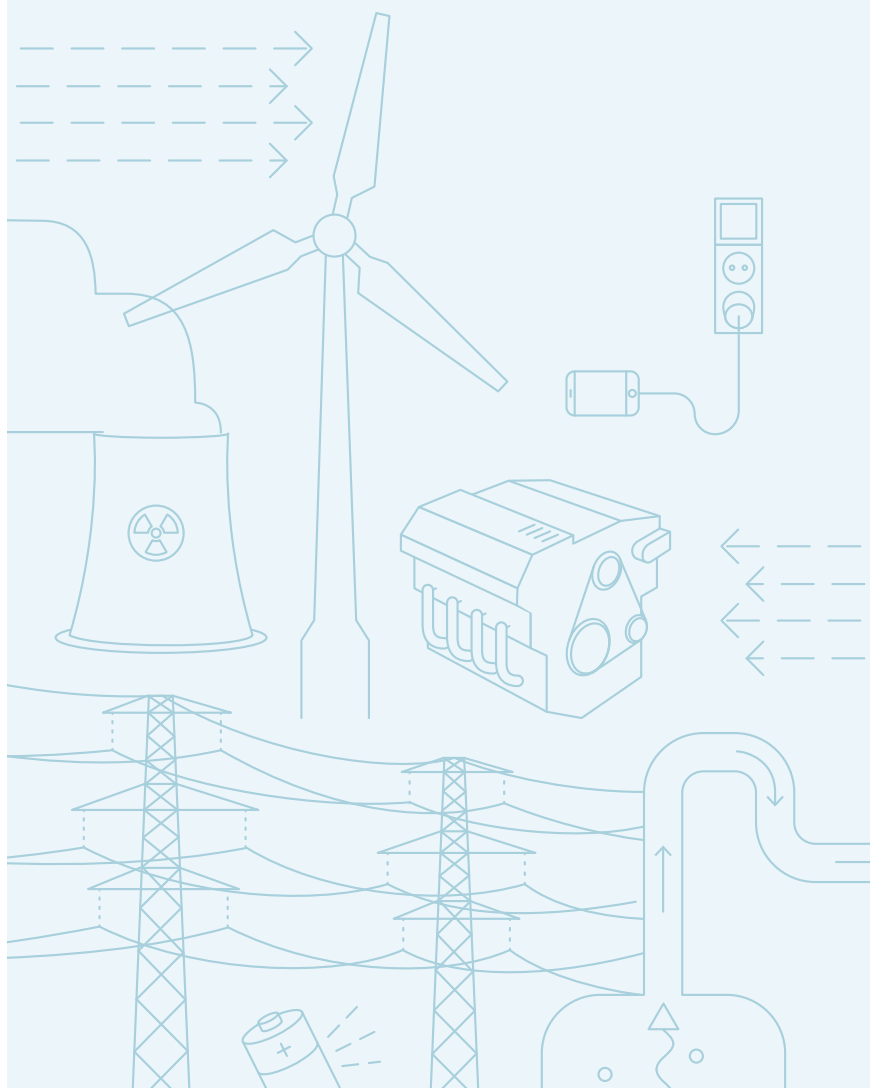
## ERKENDELSE 9

## 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-neutral, varig og  
tilstrækkelig kilde til  
energiproduktion?



## i

## 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.

?

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



## i

## Baggrund

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.

## !

## Dilemmaer

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?

## 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 nyligt 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 international 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.

Som det fremgår af kommissoriet for ekspertgruppen for Naturvidenskabens ABC, skal ekspertgruppen i perioden maj-juni 2019 sikre en bred inddragelse af sektoren, så de relevante vidensmiljøer, erhvervsliv og sektoren generelt på grundskole-, erhvervsuddannelses- og gymnasieområdet får lejlighed til at komme med indspil til og kvalitetssikre arbejdet med "Naturvidenskabens ABC".

Denne proces med drøftelse af ekspertgruppens anbefalinger skal nu både sikre konkrete faglige input samt understøtte en lokal dialog om naturvidenskabens betydning mv. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet sekretariatsbetjener ekspertgruppen.

Illustrationer og infografik: Tobias Scheel Mikkelsen / WhatWeDo  
Fotos: s. 7: Shutterstock. s. 10: Jens Astrup / Københavns Universitet.  
s. 15: Shutterstock. s. 18, 24, 25: iStock. s. 27: Alamy Stock Photo.  
s. 34: iStock. s. 35: Detlev Wan Ravenswaay / Science Photo Library.  
s. 36: Allan Moe / Scanpix. s. 40: Doug Clark / University of Washington.  
s. 41: iStock. s. 45: Københavns Universitet. s. 49: iStock.  
s. 50: Alamy Stock Photo.  
s. 52: Andrew McRobb / Royal Botanic Gardens KEW.  
s. 53: Michael Shapiro / michaelshapiro.net. s. 59: Alamy Stock Photo.  
s. 60: iStock. s. 61: Alamy Stock Photo.  
s. 64: Ernesto del Aguila III / Human Genome Research Institute, NIH.  
s. 66, 67: iStock. s. 68: Path.org. s. 69, 75: iStock.  
s. 77: D-Wave Systems Inc. s. 79: CERN.  
s. 81: Joachim Adrian / Jyllandsposten. s. 80: iStock.  
s. 86: IceCube Collaboration / University of Wisconsin-Madison.  
s. 87: Siemens Healthcare A/S.  
s. 88: European Spallation Source / Team HLA.  
s. 89: CERN. s. 92, 93, 96: iStock. s. 97: Alamy Stock Photo.  
s. 100, 101: ESA/Hubble. s. 102, 103: NASA. s. 104: ESA/Gaia/DPAC.





UNDERSVISINGS  
MINISTERIET