



# NATURFAG

Leder: Merethe Frøyland	02
INTRODUKSJON	
Energi og materie – svaret på (nesten) alt	04
HVA ER ENERGI OG MATERIE?	
$E = mc^2$	08
Massebevaring – enkelt forklart	10
Er hele universets energi bevart?	14
– Mugg er i hvert fall naturlig!	18
Hva er energi, og hva tenker elever?	20
Elevenes oppfatninger om stoffer i naturfagene	24
GRUNNSTOFFENE	
Historien om verden og grunnstoffene på syv dager	28
Periodesystemet – en historie om lagarbeid	32
Utrydningstruede grunnstoffer	36
ENERGI SOM DRIVKRAFT	
Energi, evolusjon og liv	38
Platetektonikkens drivkrefter	40
Energi – nøkkelen til klimaets kode	44
Hvor kommer maten fra?	48
Energi og materie i kroppen	52
BÆREKRAFT	
Bærekraftig kosthold	56
Kan solceller redde oss?	60
Fornybar energi og tverrfaglig undervisning for bærekraftig utvikling	64
BOKOMTALER	68

## LEDER

# Merethe Frøyland



## NATURFAG

Utgitt av  
**Naturfagsenteret**  
Nasjonalt senter for  
naturfag i opplæringen

Nummer 1/2019

Ansvarlig redaktør  
**Merethe Frøyland**

Redaktør  
**Aud Ragnhild Skår**

Redaksjon  
**Maria Vetleseter Bøe**  
**Kristine B. Kostøl**  
**Lene K. Halvorsen**  
**Kirsten Fiskum**  
**Cathrine Tellefsen**

Layout  
**Aud Ragnhild Skår**

Adresse  
Postboks 1106 Blindern, 0317 Oslo

Telefon og e-post  
22 85 53 37  
post@naturfagsenteret.no

Trykkeri  
07

Forsidefoto  
Foto: Evgeni Tcherkasski / pixabay.com

Opplag 6300  
ISSN 1504-4564

Kopiering fritt til skolebruk når ikke  
annet er spesifisert, men  
forbudt i kommersiell sammenheng.

Abonnement er gratis.  
Send e-post til post@naturfagsenteret.no

Naturfag finner du i PDF på  
naturfagsenteret.no/naturfag

Skolesektoren har fått god tid til å forberede seg på at det skal komme en ny læreplan. Det startet med Ludvigsen-rapportene *Elevenes læring i framtidens skole* (NOU 2014: 7) og *Framtidens skole* (NOU 2015: 8), der begrepene *dybdeløring* og *progresjon* ble løftet fram. For å få til dybdeløring hos elevene var det viktig at læreplanene ikke var for omfangsrrike, og derfor ble arbeidet med kjerneelementene satt i gang. Nå, høsten 2019, kommer læreplanene med kompetansemålene.

Vi på Naturfagsenteret har fulgt prosessen tett og forsøkt å forberede oss. I forrige nummer av *Naturfag* brettet vi ut begrepene *dybdeløring* og *progresjon* og drøftet hvordan de er viktige for å utvikle god naturfagundervisning. I dette nummeret tar vi utgangspunkt i kjerneelementene i naturfag og gjør et dypdykk i ett av dem, nemlig *energi og materie*. Vi ønsker å få fram hvor sentralt kjerneelementet er for vår forståelse i naturfagene, og ikke minst hvor spennende det kan være å gå inn i «materien».

Vi blir kjent med formelen som forener energi og materie,  $E = mc^2$  og elevens hverdagsforestillinger om energi og stoffer (materie). Energi som en nødvendig drivkraft bak evolusjon, platetektonikk og big bang, blir drøftet. Vi blir kjent med grunnstoffenes evolusjon og hvilke grunnstoffer som er utrydnings-trua, og får gode tips om hvordan legge til rette for bærekraftig kosthold. Dette er bare noen av de temaene som tas opp her.

Vi håper med dette nummeret at du som lærer blir inspirert og får gode ideer til å undervise spennende og meningsfylt om *energi og materie*.

Lykke til!

Merethe Frøyland

Foto: Evgeni Tcherkasski / pixabay.com





## INTRODUKSJON

# Energi og materie – svaret på (nesten) alt

**Kvifor blir eit oppskore eple brunt? Kva skjer viss eg tråkkar på den humla? Kva er det som gjer at himmelen er blå? Korleis får vi natt og dag på jorda? Kvifor blir eg varm av å ha på meg jakke? Så fort små barn lærer seg å snakke, kjem spørsmåla. Og rett ofte handlar dei om korleis verda vår er bygd opp, kva som kjem til å skje i ulike situasjonar eller korleis ting heng saman.**

Eit viktig føremål med naturfaget i skulen er nettopp å hjelpe elevane til å forstå verda rundt oss, frå den minste partikkel til den største galakse, og korleis samspelet mellom natur, menneske, samfunn og teknologi fungerer. Heilt sentralt i dette står kjerneelementet *energi og materie*.

### Energi og materie gir oss forklaringsmodellar

Ei hovudoppgåve for naturvitskapen er å lage så generelle modellar som mogleg for samanhengar i naturen, slik at desse kan brukast til å forklare ting vi observerer og til å føreseie framtidige hendingar. Kjerneelementet *energi og materie* inneheld to grunnleggjande omgrep og rommar sentrale forklaringsmodellar i naturvitskap.

*Energi* er noko vi alle har eit forhold til – sjølv små barn veit at dei får større fart i akebakken om dei startar lenger opp, at dei blir slappe utan mat og at sola varmar på kroppen. Tidleg blir vi òg vande med å høyre ordet *energi* bruka på ulike måtar i dagleg-talen. Likevel er energi vanskeleg å definere. Lærebøker skriv av og til at «energi er det som får noko til å skje». Ein slik definisjon kan hjelpe elevar til å forstå at energi alltid er involvert når noko skjer, anten noko flyttar på seg eller det endrar form, farge eller temperatur. Samtidig kjem ei slik forståing av energi til kort i situasjonar der det *ikkje* skjer noko sjølv om det er energi til stades, til dømes når ein ball ligg i ro oppå eit bord. Difor er det vanskeleg å seie

enkelt akkurat kva energi er. På side 20 i dette bladet skriv Ellen Henriksen og Carl Angell om energiomgrepet og elevars forståing av det. Det naturvitskapen kan seie, er at energi er ein storleik som alltid er bevart. Denne lova om *energibevaring* ligg til grunn for alle prosessane rundt oss og har difor stor forklaringskraft. Den hjelper oss med å forstå kvifor kollisjon med ein lastebil er kraftigare enn kollisjon med ein personbil sjølv om farten er den same, den forklarar kvifor vi blir kalde av å gå med våte klede og den fortel korleis energi i næringsstoff kan bli frigjort i fordøyinga og brukast til å drive funksjonar i kroppen. I artikkelen *Er hele universets energi bevart?* av Øystein Elgarøy og Maria Vetleseter Bøe på side 14 kan du lese om kvar energibevaringslova kjem frå, og om at det faktisk finns eitt unntak frå regelen.

*Materie* kan kanskje bli oppfatta som eit litt framand omgrep. Det er meir vanleg, spesielt i naturfaget i skulen, å snakke om *stoff* eller *masse*. For å kunne forstå og forklare den materielle verda rundt oss må vi kunne noko om stoff. Vi treng å kjenne til kva eigenskapar ulike stoff har og vete noko om korleis stoff er samansett. Det er dette *materie* handlar om. Spesielt stor forklaringskraft knytt til materie har *partikkelmodellen*. Grunnprinsippa i denne modellen er at alt stoff er bygd opp av partiklar som er så små at vi ikkje kan sjå dei, at desse partiklane er i konstant og tilfeldig rørsle, og at det er tomrom mellom partiklane som bygger opp stoff. Ved hjelp av partikkelmodellen kan vi til dømes beskrive og

## INTRODUKSJON



Kvifor blir eit oppskore eple brunt? Foto: pasja1000 / pixabay.com

forklare danning og oppløysing av stoff, bevaring av masse og faseovergangar. Kunnskap om materie er difor heilt grunnleggjande for å forstå reaksjonar og prosessar rundt oss.

Mange tenkjer kanskje på energi og materie som noko som høyrer fysikken og kjemien til. Denne utgåva av Naturfag viser at *energi* og *materie* er sentrale omgrep for heile naturfaget, at kjerneelementet er relevant i alle fagets disiplinar. Det tyder òg at ei djupneforståing av desse omgrepa inneber å sjå samanhengar på tvers av ulike emne. Energi er til sjuande og sist det same om den er lagra i eit vassbasseng i eit energiverk, om den må til for å bryte opp ei kjemisk binding eller for å drive ein motor eller om den blir frigjort i spaltinga av ATP i musklane dine. I artikkelen *Energi og materie*

*i kroppen* av Lene K. Halvorsen og Aud Ragnhild Skår (side 52) kan du lesa om korleis energi og stoff i ulike former er med Celine når ho spring New York City Marathon. Anette Øwre Bollvåg viser at kunnskap om energi og stoff er heilt naudsynt for å forstå fotosyntesen og kvar maten kjem i frå (sjå artikkelen *Hvor kommer maten frå?* på side 48). Energi er eit nøkkelomgrep om vi skal vi forstå og arbeide for å stagge klimaendringar, forklarar Bjørn H. Samset (sjå side 44), medan innsikt i stoff og stoffs eigenskapar må til for å kunne vere kritisk til marknadsføring av ulike produkt (sjå side 18). Energi og materie er også viktige byggesteinar i andre store forklaringsmodellar i naturvitskapen. Anja Røyne (side 28) startar med *big bang-teorien* når ho fortel om kvar grunnstoffa i mennesket kjem frå, og Henrik H. Svensen og Dag O. Hessen skriv

## INTRODUKSJON



Kva er det som gjer at himmelen er blå? Foto: Tim Hill / pixabay.com

om energiens rolle i *plateteknikkteorien* (sjå side 40) og *evolu-sjonsteorien* (sjå side 38). Desse tre teoriene forklarar universets, jordas og livets utvikling og dermed grunnlaget for eksistensen vår.

Vi kan òg løfte blikket frå naturfaget til dei tverrfaglege tema i lære-planen og vidare til samfunnet elevane våre skal delta i og bidra til. Det er vanskeleg å jobbe med berekraftig utvikling utan å kome innom omgrep som fornybar energi og energikvalitet. Helse og livsmeistring krev mellom anna kunnskap om nyttige næringsstoff og kosthald. Mange av problema vi som medborgarar skal ta stilling til er komplekse og krev ei forståing av energi og materie. Skal vi slutte å pakke inn grønnsaker i plast og heller risikere meir matsvinn? Bør Noreg byggje ut vindenergi i stor skala? Er såpe eller sprit best når det går omgangssjuka? Skal gruvedrift ha deponi på land eller i havet? Løftar vi blikket endå meir, kan vi sjå til FN's berekraftsmål – verdas felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, motverke ulikskap og stoppe klimaendringane innan 2030. Her er energi og materie heilt sentrale arbeidsreiskapar for å nå måla. Skal vi utrydde svolt, sikre god helse, gi folk reint vatn og rein energi, utvikle berekraftige byar og samfunn, stoppe klimaendringane og ta vare på alt liv i vatnet og på land, er det heilt naudsynt å vete noko om energibevaring, kva ting rundt oss er bygd opp av og kva for eigenskapar ulike stoff har.

[6] Naturfag 1/19

Tilbake til spørsmåla i ingressen: Det oppskorne eplet blir brunt fordi det skjer ein reaksjon mellom stoff på overflata av eplet og oksygen i lufta rundt. Viss du vil at eplet skal halde seg fint, må du altså hindre oksygen frå å nå eplet eller få oksygenet til å reagere med noko anna. Humla vil døy fordi mengda energi du overfører til humla når du trør på henne bryt mange kjemiske bindingar og øydelegg stoffet humla er bygd opp av. Himmelen er blå, fordi det kvite lyset frå sola blir spreidd når det treffer stoffa i atmosfæren, og den mest energirike delen av lyset – det blå – blir spreidd mykje meir utover himmelen enn dei andre fargane. Vi har natt og dag fordi jorda roterer om sin eigen akse – med rotasjonsenergi som har vore bevart frå solsystemets morgon – slik at alle stader på jorda snur mot og bort frå sola i løpet av eit døgn. Du blir varm av å ha på deg jakke fordi mykje av strålingsenergien frå kroppen din blir stoppa av jakka og reflektert tilbake til deg i staden for å forsvinne ut i lufta.

Dei fleste naturvitskaplege prosessar er komplekse og samansette, og alle svara over kunne vore utdjupa mykje meir. Samstundes har energi og energibevaring, stoff og stoffs eigenskapar ein finger med i spelet alltid. Kort oppsummert kan ein seie at energi og materie gir svar på (nesten) alt.

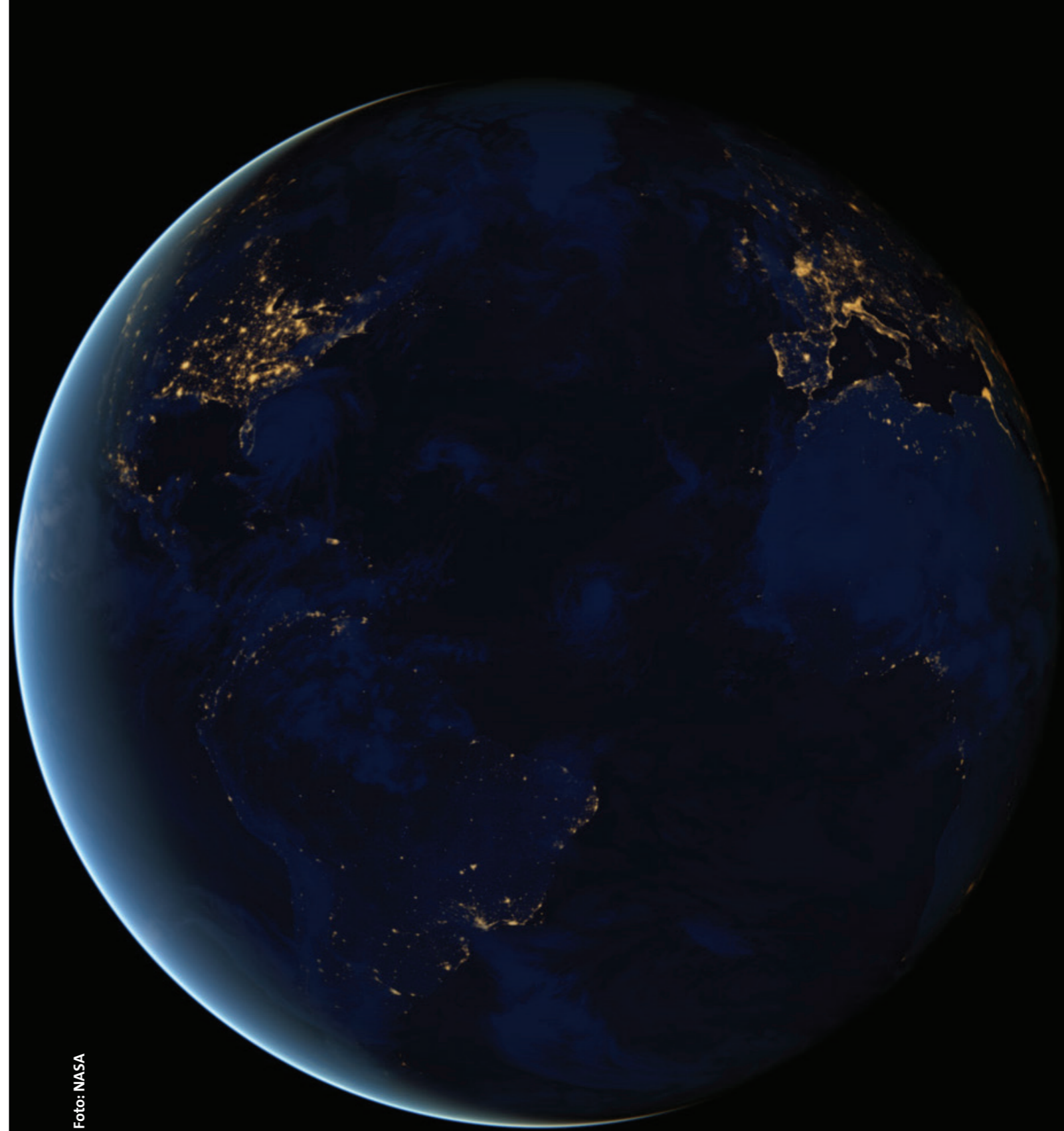


Foto: NASA



## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

$$E = mc^2$$

Er det slik at energi og materie er to forskjellige ting? Formelen  $E = mc^2$  viser faktisk at energi er materie og at materie er energi.

Kva tenkjer du på når du høyrer ordet «formel»? Nyleg stilte eg det spørsmålet i eit sosialt medium og fekk ei rekke ulike svar. Mange nemnte arealet av ein sirkel, Pythagoras læresetning, fotosyntesen, Formel 1, trylleformlar frå Harry Potter-universet, samanhengen mellom veg, fart og tid – og  $E = mc^2$ . Ein person skreiv først Newtons andre lov og Ohms lov, og så «sikkert  $E = mc^2$  òg, men det er meir ein popkultur-ting» (mi omsetting).

$E = mc^2$  er popkultur, trykt på t-skjorter, plakatar og bilete over heile verda. Men kva er det eigentleg denne popkultur-formelen  $E = mc^2$  seier? Den seier at dei to omgrepa i kjerneelementet energi og materie heng tett saman, faktisk seier den at energi er materie og at materie er energi. Den seier òg at det vi tenkjer på som materie kan bli energi og omvendt. Materie kallast òg *stoff* og *masse*. I formelen står  $E$  for energi,  $m$  for masse og  $c$  for lysfarten. Lysfarten  $c$  er 300000 km/s og  $c^2$  er difor eit veldig høgt tal. Det er altså veldig mykje energi i veldig lite masse. Det er svært viktig for oss. Energien som driv dei aller fleste prosessane på jorda kjem nemleg frå at masse inne i sola går over til store mengder energi. Sola er så varm og tett at det får vårt lettaste grunnstoff hydrogen til å smelte saman til det litt tyngre stoffet helium. Men sluttproduktet helium har litt mindre masse enn summen av alle delane hydrogen prosessen starta med. Den massen som har vorte borte, massesvinnet, har gått over til energi  $E = \Delta mc^2$ . Noko av denne energien kjem til jorda som elektromagnetisk stråling, altså lys.

$E = mc^2$  vart først lagt fram av Albert Einstein, i éin av dei fire banebrytande artiklane hans frå mirakelåret 1905. Denne artikkelen hadde tittelen «Er tregleiken til ein lekam avhengig av energiinnhaldet til lekamen?» (mi omsetting av den tyske originalen

«Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?») Tregleik er ein gjenstands motstand mot å bli flytta på eller, meir presist, mot å bli akselerert. Tregleik er direkte avhengig av massen. Vi har alle erfart at dess større masse noko har, dess meir kraft krev det å få det opp i fart eller stoppe det. Einstein publiserte same året den spesielle relativitetsteorien. Den seier mellom anna at farten til lyset er den same uansett kva perspektiv du ser lyset frå. Om lys til dømes blir sendt ut frå ein bil som allereie er i fart, vil farten på lyset vera den same om du sit i bilen og måler den eller om du står i ro utanfor bilen og måler. Den spesielle relativitetsteorien seier òg at fysikkens lover er dei same uansett kva perspektiv du ser dei frå. Det tyder mellom anna at lova om energibevaring må gjelde både om du sit inne i bilen og ser at energi blir sendt ut som lys og om du står utanfor bilen og ser på det same. Ut frå desse to prinsippa kunne Einstein utleie at ein gjenstand som sender ut energi må miste litt av massen sin i prosessen, og at samanhengen er gjeven ved  $E = mc^2$ .

Forutan å gi oss energi frå sola og slik grunnlaget for alt liv, gir  $E = mc^2$  spanande moglegheiter. Vi kan få partiklar til å kollidera med kvarandre i enorm fart og difor med veldig stor energi, og utnytte at naturen brukar denne energien til å danne heilt andre partiklar enn dei vi starta med. Vi kan altså få ny materie. I partikkelakseleratoren i CERN gjer  $E = mc^2$  det mogleg å finne nye partiklar og forstå meir av korleis universet har vorte til og fungerer. I kjernekraft utnyttar vi at store atomkjernar har større masse enn summen av delane får, viss vi delar kjernen i mindre bitar. Overskotsmassen blir gjort om til energi i prosessen. Det skal lite masse til for å få veldig mykje energi på denne måten. I innlands-Noreg brukte vi om lag 244 TWh energi i 2018 ([www.ssb.no/energi-og-](http://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar)

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



$E = mc^2$  er popkultur, trykt på t-skjorter, plakatar og bilete over heile verda. Foto: pasja1000 / pixabay.com

industri/statistikker/energibalanse/aar). Viss vi kunne få tak i den energien direkte ved å omdanne masse, tilsvarar det i underkant av 10 kg stoff.

Vi kan òg tilføre energi til ein gjenstand og på den måten auke massen. Da må det veldig mykje energi til for å få ørlite grann meir masse. Ei spent springfjor har faktisk større masse enn den same fjøra før den er spent. Viss vi tek ei fjor med masse på 100 g og fjorstivleik på 20 N/m og trykkjer den saman 10 cm, får fjøra stillingsenergi på 10 J. Det fører til ei auke i massen på omtrent  $10^{-18}$  kg. Det svarar til om lag ein milliondel av massen til ei menneskecelle. Den tilførte stillingsenergien utgjer altså forsvinnande lite av den

nye totale massen til fjøra, og vi er ikkje i stand til å måle det. I atoma er det annleis. Der er faktisk store delar av det vi tenkjer på som masse eigentleg stillingsenergi mellom elementærpartiklar heldt saman av den sterke kjernekrafta. Kroppen vår og alt som omgir oss er nemleg samansett av berre tre typar elementærpartiklar: elektron, oppkvarkar og nedkvarkar. Kvarkane byggjer opp nøytrona og protona i atomkjernen medan elektrona svirrar rundt. Den samla massen til kvarkane utgjer imidlertid berre rundt 1 % av massen til protona og nøytrona, resten er energi. Du er altså i fundamental forstand 99 % energi og 1 % materie! Samstundes fortel  $E = mc^2$  at det eigentleg kjem ut på det same – energi er materie.



Foto: Emil W. Breistein

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

# Massebevaring – enkelt forklart

**Massebevaring er et viktig begrep som vi støter på i både kjemien og fysikken. Før vi tar et dypdykk inn i kjemiske reaksjoner, naturlover og energiutveksling, forenkler vi litt. Vi begynner med å se på noen sokker som har forsvunnet.**

### Sokkene forsvinner ikke

Mange av oss opplever en underlig sokkeforsvinning i hverdagen. Det mangler ofte en sokk i et par, men hvor blir de egentlig av? Noen ganger finner vi dem klemt i en ball bak vaskemaskinen, andre ganger nederst i en gymbag. Men her er poenget: Hvis du aldri finner igjen sokken, er du innforstått med at den ikke bare har blitt borte i løse luften. At et objekt forsvinner i løse luften, tilhører magiens verden. Tenk bare på trylletriks hvor halvparten av tryllekunstnerens assistent blir borte, eller hvor tryllekunstneren kryper inn i en boks og ikke kommer ut igjen. Vi oppfatter intuitivt at triksene er illusjoner.

Nå er vi faktisk i kjernen av massebevaring. På sitt enkleste dreier prinsippet seg om at masse ikke blir borte eller skapes når det skjer en kjemisk reaksjon. En kjemisk reaksjon er en prosess hvor gamle kjemiske bindinger brytes og nye bindinger dannes. Kjemiske reaksjoner omgir oss hele tiden og skaper et ofte usynlig fundament for livene våre. På den tiden det tar deg å lese denne setningen har det skjedd utallige kjemiske reaksjoner både inni og utenfor deg. Du har mest sannsynligvis ikke lagt merke til en eneste en av dem. På kjemiens språk markerer vi en reaksjon med en reaksjonspil. Det som står på venstre siden av pilen kalles reaktanter, og det som står på høyre side av pilen kalles produkter. En vanlig misforståelse er å tro at reaksjonspilen betyr «er lik». Det er ikke riktig. Reaktanter og produkter er ikke like, de har ulik komposisjon og oppbygging. Det er altså slik at en kjemisk reaksjon markerer en endring, oftest som en omorganisering av atomer.

Reaktanter → produkter



Selv om sokker tilsynelatende har en tendens til å forsvinne, vet vi at de ikke bare blir borte. Foto: Simona Robová / pixabay.com

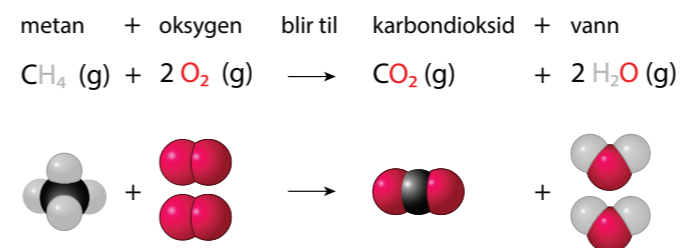
Men reaktanter og produkter har noe til felles også. De har lik masse.<sup>1</sup> Her ser vi massebevaringen forklart på mikronivå, altså med blikk på det som skjer med meget små partikler, som atomer og molekyler.

### Masse kan endre form og komposisjon (men kan verken skapes eller bli borte)

Massebevaring brukes ikke så ofte til å beskrive forsvinnende sokker eller tryllekunstnere, men mest innenfor fysikkens og kjemiens verden.

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

I den kjemiske reaksjonen under har vi to stoffer som reagerer med hverandre, nemlig metangass (CH<sub>4</sub>) og oksygen (O<sub>2</sub>). To nye stoffer dannes i denne kjemiske reaksjonen, nemlig karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og vann (H<sub>2</sub>O). Denne type reaksjon kaller vi ofte en forbrenningsreaksjon.



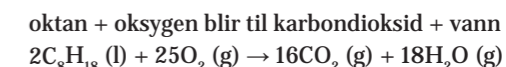
Her ser du massebevaring beskrevet med en enkel kjemisk likning. Hvis du teller over, ser du at det er totalt samme antall atomer på begge sidene av reaksjonspilen. Ett karbonatom, fire oksygenatomer og fire hydrogenatomer. Den kjemiske reaksjonen har altså endret hvordan atomene er koblet sammen, men ingen masse har blitt dannet eller mistet i prosessen.

Noen ganger kan det være vanskelig å få massebevaringen til å gå opp. La oss se på et eksempel fra hverdagen. Hva i alle dager

skjer med bensinen<sup>2</sup> som vi fyller i biltanken? Bensinen brukes til å drive hjulene rundt selvsagt. Men tanken går tom, og det er ingen tegn på at noen produkter er dannet. Har bensinen virkelig bare blitt borte?

Det er kanskje et banalt eksempel, men det illustrerer godt prinsippet i massebevaring. Inni motoren forbrennes bensinen i tilstedeværelse av oksygen (liknende forbrenningen av metan som vi så på tidligere), og det dannes karbondioksidgass og vanndamp. Observasjonen om at bensin blir «borte», handler altså bare om at produktene som dannes i forbrenningsreaksjonen ikke er synlige. De er tross alt fargeløse gasser som enkelt og greit forsvinner ut eksosrøret.

Oktan (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) er en av komponentene i bensin. Ved forbrenning av to molekyler oktan med 25 molekyler oksygen dannes 16 molekyler karbondioksid og 18 molekyler vann. Massebevaringen er bevart, det er like mange atomer på begge sidene av pilen. Eksperimentelt hadde vi også funnet at den kombinerte massen av oktan og oksygen var lik den kombinerte massen av karbondioksid og vann.



Hva skjer med bensinen vi fyller i biltanken? Foto: andreas160578 / pixabay.com

# HVA ER ENERGI OG MATERIE?

## Massebevaring i et større perspektiv

Massebevaring er en del av et større bilde. Masse og energi er tett koblet sammen. Einsteins berømte masseenergilov viser nettopp den sterke og tydelige relasjonen mellom de to begrepene. Hvis masse og energi er relaterte på denne måten, burde massebevaring også ha en energidimensjon, og det stemmer. Altså, veldig forenklet, hvis massebevaring forteller oss at masse ikke kan bli borte eller skapes, og masse og energi er tett relatert, burde jo ikke energi bli borte eller skapes heller.

Masseenergiloven sier at  $E = mc^2$ .  $E$  = energi,  $m$  = masse og  $c$  = lyshastigheten. Les mer på side 8.

Dette bekreftes av termodynamikkens første lov. Den sier at energi aldri kan oppstå eller tilintetgjøres, men kun gå over i andre former. Denne loven kalles også loven om energienes bevarelse (eller energiprinsippet). Du har kanskje hørt om en evighetsmaskin (eller en *Perpetuum mobile*)? Det er en hypotetisk maskin som bryter med dette prinsippet ved at den går til evig tid uten at drivstoff eller annen energi tilføres. En slik maskin finnes selvsagt ikke, og vil trolig aldri kunne bygges.

I bensineksemplet fra tidligere ligger også noe annet meget viktig. Et energiperspektiv. Den kjemiske reaksjonen som skjer i motoren har ikke ledet til noe netto tap eller gevinst av masse, men vi har jo klart å flytte rundt på energi. Dette skal vi se litt nærmere på.

Vi var enige om at den kombinerte massen av reaktantene (bensin og oksyngengass) er lik den kombinerte massen av produktene (karbondioksid og vann). Et liknende perspektiv gjelder nemlig også for energien. Enkelt forklart har den latente energien som har vært

- Massebevaring regnes som en naturlov, altså en sammenheng som er universell og alltid sann.
- Massebevaring er et viktig konsept som har mange anvendelsesområder, for eksempel i kjemi, fysikk, mekanikk og væskedynamikk.
- I relativitetsteorien så er massebevaring og energibevaring knyttet sammen. Dette kjenner vi som termodynamikkens første lov. Den sier at energi verken kan skapes eller ødelegges.
- De gamle grekerne foreslo at massen i hele universet er konstant.
- Det er litt utydelig akkurat hvem som utviklet teorien om massebevaring, men den russiske vitenskapsmannen Mikhail Lomonosov nevnte det i sine notater i 1756. Den kjente franske kjemikeren Antoine Lavoisier gjorde grundige studier for å bevise loven sent på 1700-tallet.

lagret i de kjemiske bindingene i bensinen blitt frigjort. Energien ble så brukt til å gjøre nyttig arbeid, som å drive hjulene rundt. Når bensinen forbrennes, brytes de energirike kjemiske bindingene. Nye kjemiske bindinger dannes, men disse er mindre energirike. Netto går energirike bindinger til energifattige bindinger, og energien som er til overs frigjøres. Den gjør et arbeid og driver bilen framover. Selv i veldig effektive motorer vil noe av energien også brukes til å varme omgivelsene.

## Noter

1 Her har vi gjort noen antakelser. For eksempel er systemet isolert. Det betyr at det ikke utveksles varme eller energi med omgivelsene. Vi antar også at reaksjonen skjer helt fullstendig, altså at alle reaktanter blir gjort om til produkter. Til slutt antar vi også at det ikke skjer noen sidereaksjoner: at reaksjonen vi studerer er den eneste reaksjonen som skjer i systemet.

2 Bensin er for øvrig ikke et kjemisk stoff, men en blanding av kjemiske stoffer. Bensin består hovedsakelig av energirike hydrokarboner, for eksempel oktan.



Selv i veldig effektive motorer vil noe av energien også brukes til å varme omgivelsene. Foto: pixabay.com



Foto: PDPphotos / pixabay.com

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



# Er hele universets energi bevart?

**Svaret er faktisk nei. Nå tenker du vel at det umulig kan stemme, for loven om energibevaring er en av de mest fundamentale lovene i naturen, noe vi tenker på som en ubrytelig regel. Energi kan gå fra en form til en annen, men den kan aldri oppstå av ingenting eller forsvinne. Og dette stemmer fremdeles når du ser på alt som foregår i universet, men det er feil når du ser på hele universet. Dette krever en forklaring.**

La oss starte med et kjent eksempel fra naturfagklasserommet: Når vi holder en ball et stykke over bakken, har den stillingsenergi. Hvis vi slipper ballen, går mer og mer av denne energien over til bevegelsesenergi i fallet. I det ballen når bakken sier vi kanskje at all stillingsenergi har blitt til bevegelsesenergi, fordi energien er bevart. Ballen kan sprette opp igjen, men aldri høyere enn utgangspunktet. I realiteten spretter ballen sjelden like høyt som stedet den ble sluppet fra, men snur før det. Hvor har det blitt av energien? Da forteller vi elevene at energien fortsatt er bevart, men at vi må se på mer enn bare ballen og hvordan den beveger seg. Når ballen treffer bakken, lager den lyd og både ballen og bakken blir litt varmere. Ballen må også dytte vekk luft gjennom hele bevegelsen, altså overkomme luftmotstanden. Alt dette krever energi og gjør at regnskapet går opp. Energien er bevart så lenge vi sørger for å utvide systemet vårt slik at det inkluderer alle deler som har fått eller gitt fra seg energi i prosessen.

Slik kunne vi fortsette å se på ulike systemer og samle opp eksempler på at energien er bevart hvis vi inkluderer alle relevante deler av systemet. Men det finnes en grense for hvor store systemer vi kan lage. Det fungerer å utvide systemet helt til hele universet er systemet. Da er det ikke mer å hente. La oss ta en titt på hva som skjer da.

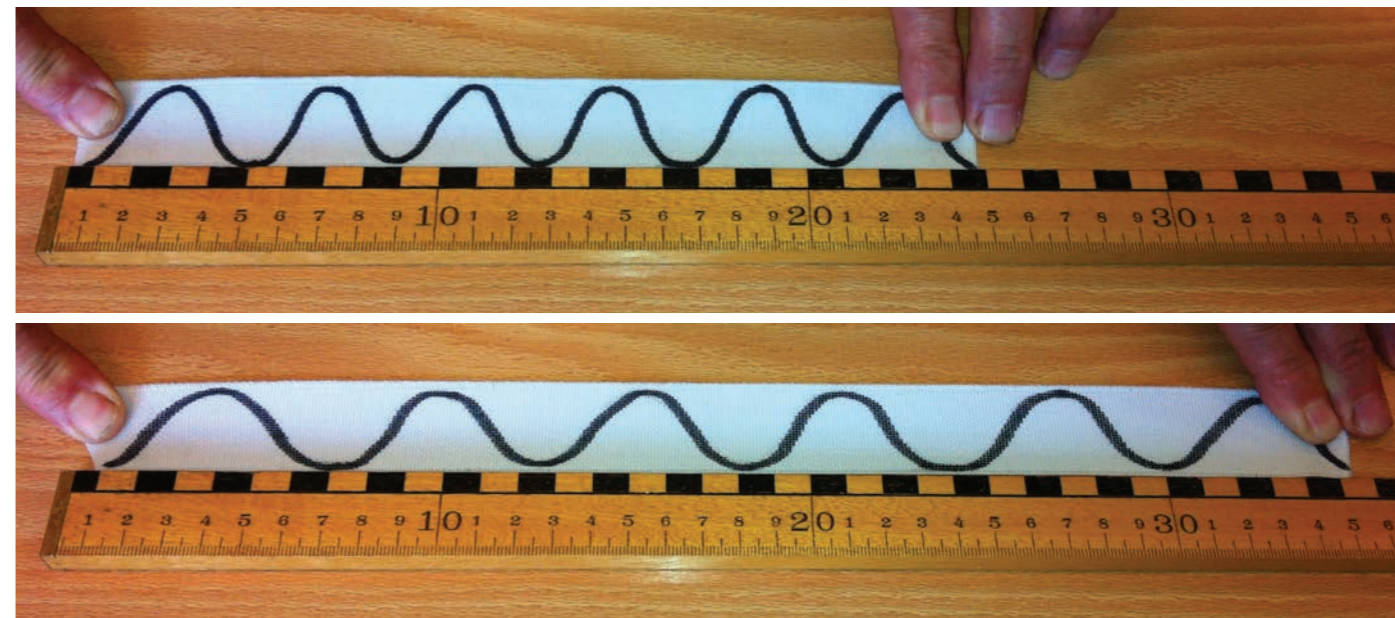
Vi går tilbake til starten på alt. Universet oppsto i det voldsomme ursmellet big bang for omtrent 13,8 milliarder år siden. Da var universet veldig lite og all energi var samlet i dette lille området.

Universet utvidet seg veldig, veldig fort den første tiden. I starten var universet en energirik suppe av elementærpartikler og elektromagnetisk stråling. Denne strålingen kom seg imidlertid ikke noe sted til å begynne med, fordi den hele tiden kolliderte med elektroner eller andre partikler. Først da universet ble avkjølt nok til at elektroner og kjernepartikler kunne binde seg sammen og danne atomer, fikk den elektromagnetiske strålingen fritt utløp. Det skjedde omtrent 400 000 år etter big bang. Dette aller første lyset kjenner vi som den kosmiske bakgrunnsstrålingen.

Én ting vi vet om universet, er at det fortsatt utvider seg. La oss nå forestille oss et univers som *kun* består av fotoner, lyspartikler. Når vi snakker om lys som fotoner, mener vi små pakker av energi som alltid beveger seg med lysfarten gjennom tomt rom. Lys kan også beskrives som elektromagnetiske bølger. Denne dobbeltheten kalles bølge-partikkel-dualisme (se egen artikkel om det i *Naturfag 2/15*) og kan være ganske forvirrende. Kort sagt betyr det at lys verken er klassiske bølger eller klassiske partikler slik vi kjenner dem fra makroverden, men et eget kvantefysisk fenomen som kan oppføre seg både som bølger og som partikler. For eksempel betyr det at fotoner beskrives med en bølgelengde.

Vi går tilbake til vårt tenkte foton-univers. Vi sørger for at det er like mange fotoner i hver kubikkmeter av rommet. Fordelingen av fotoner vil følge med i utvidelsen av universet: Antall fotoner er det samme hele tiden, men tettheten av dem synker etter hvert som universet utvider seg. Energien til et foton er bestemt av bøl-

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



Se for deg en buksestrikk som det er tegnet en bølge på. Hvis du strekker strikken, øker bølgelengden. Det vil si at fotonets energi avtar, siden energien er gitt av en konstant delt på bølgelengden. Foto: Ellen K. Henriksen

gelen, nærmere bestemt er den gitt som en konstant delt på bølgelengden. Men etter hvert som universet utvider seg, strekkes også bølgelengden til fotonene. Se for deg en buksestrikk som det er tegnet en bølge på. Hvis du strekker strikken, øker bølgelengden. Det vil si at fotonets energi avtar, siden energien er gitt av en konstant delt på bølgelengden. Dette kan vi observere i den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Det var omtrent rødt synlig lys da det ble sendt ut 400 000 år etter big bang, men nå har den samme strålingen bølgelengder i mikrobølgeområdet.

Tilbake til vårt tenkte univers med bare stråling. Fotoner kan ikke oppstå av ingenting. Derfor vil ikke antall fotoner forandre seg selv om universet utvider seg, men energien til hvert enkelt av dem blir mindre. Det kan bare bety at fotonene i dette universet mister energi. Enten må denne energien ha gått over til noe annet, eller så kan ikke energien være bevart for et slikt helt univers. Men i dette tenkte universet finnes det ikke noe annet som kan ha tatt i mot energien.

Her kan du innvende at dette eksempelet er urealistisk. Vi lever ikke i et univers som kun består av elektromagnetisk stråling. Det

stemmer, men det viktige her er ikke at fotonene er alene, men at de ikke kan utveksle energi med noe annet. Universet vårt er fylt med blant annet galakser, stjerner og solsystemer, og det er fylt med jevnt fordelt elektromagnetisk stråling. Det er denne strålingen vi kjenner som kosmisk bakgrunnsstråling. Fra det tidspunktet denne strålingen ble sendt ut, har den oppført seg som om den var alene. En forsvinnende liten del av den har truffet stjerner og planeter og avgitt energi, men stort sett har fotonene vandret uforstyrret gjennom tomt rom samtidig som de har mistet energi. Vi kan derfor bruke det tenkte fotonuniverset som en modell for vårt eget, ekspanderende univers.

Det er vanskelig å få en intuitiv forståelse av hvorfor energien i universet som helhet ikke er bevart. For å se hvorfor det er slik, må vi dykke litt dypere og se hvor energibevaring, og bevaringslover generelt kommer fra. I 1918 publiserte matematikeren Emmy Noether (1882–1935) det som er blitt et av de aller viktigste resultatene i teoretisk fysikk. Hun viste at det er en direkte sammenheng mellom bevaringslovene som gjelder for et system og symmetriene til ligningene som beskriver det. Symmetrier betyr her operasjoner du kan utføre på ligningene som ikke forandrer dem.



## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



Abell 2218, samling av tusenvis av galakser. Foto: NASA, ESA, Johan Richard (Caltech, USA), Davide de Martin og James Long (ESA/Hubble)

Litt som at et kvadrat er symmetrisk under en dreining på 90 grader. Vi kan ikke se forskjell på kvadratet før og etter operasjonen. En slik operasjon for ligninger kan være å flytte origo i koordinatsystemet du måler posisjoner i forhold til. Dersom ligningene ikke endrer seg under denne operasjonen, er systemet symmetrisk under flytting av koordinatsystem. Sagt litt annerledes: Hvis vi tenker oss at systemet er to biler som kolliderer, vil ligningene i de fysiske lovene som beskriver kollisjonen være de samme, uansett om kollisjonen skjer i Trondheim eller i Tromsø. Denne symmetrien fører til at bevegelsesmengde er bevart. Energibevaring kommer fra en annen symmetri: Dersom ligningene ikke forandrer seg hvis vi endrer nullpunktet for tid, er energien bevart. Sagt på en annen måte: Energien i kollisjonen i forrige eksempel vil være bevart siden fysikken i kollisjonen er den samme om den skjer i juni eller i august.

Det kan virke vanskelig å tenke seg tilfeller der dette *ikke* vil stemme. Mye naturvitenskap handler om sammenhenger som er vist eksperimentelt veldig mange ganger og holder seg robuste. Hvis de sammenhengene ble ulike basert på når eksperimentet ble gjort, ville det ikke vært etablert vitenskap. Hvordan kunne fysikk spesielt og naturvitenskap generelt være mulig om resultatet av et eksperiment avhang av om det ble gjennomført før eller etter sommerferien? Resultatet avhenger selvfølgelig ikke av det. Alle de mest grunnleggende ligningene i fysikken har såkalt tidssymmetri (eller «invarians under tidstranslasjoner» som fysikere kaller den når de ikke ønsker at andre skal forstå hva de snakker om), som

altså gir energibevaring. Men det finnes ett unntak, og det er ligningene i den generelle relativitetsteorien. De har noen løsninger der energien er bevart som kan brukes til å beskrive mange spennende fenomener og objekter i universet. Men i løsningene som representerer et helt univers som utvider seg, er ikke denne tidssymmetrien der. Da kan vi ikke uten videre flytte nullpunktet for tid.

Det er universets utvidelse som er synderen her. Utvidelsen foregår på samme måte overalt, slik at det ikke er mulig å finne et sted i universet der du kan sitte i ro og betrakte utvidelsen utenfra. Dette gjør at selve rommet, tida og fysikken i naturlige prosesser forandrer seg. Som fysiker og forfatter Sean Carroll skriver på sin blogg [preposterousuniverse.com](http://preposterousuniverse.com): «Energien er ikke bevart; den endrer seg fordi tidrommet endrer seg» (vår oversettelse).

Universets totale energi er altså ikke bevart. Spiller det noen rolle? Nei, i bunn og grunn har det liten betydning. Energibevaringsloven er et grunnleggende redskap som lar oss forstå og forutsi både naturlige og teknologiske prosesser i universet. Det kommer den fortsatt til å være. Samtidig er energi bare ett av mange begreper fysikere har konstruert. I noen eksotiske tilfeller der energibevaring ikke gjelder, har vi andre begreper og gode matematiske modeller som lar oss beskrive og forstå hva som foregår. Naturen kan overraske oss og oppføre seg helt annerledes enn det intuisjonen vår henger med på. Det er noe av det som gjør naturfag, fysikk og universet så spennende!



Spiralgalaksen Messier 101. Foto: NASA, ESA, CXO, SSC og STScI

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



# – Mugg er i hvert fall naturlig!

Er det sånn at det naturlige er ufarlig og det kunstige er farlig? Mange begreper som handler om energi og materie er ikke så lette å forstå og dermed blir de fort litt skumle.

For noen år siden var jeg på et baby-mat-kurs i Mathallen sammen med andre relativt nybakte foreldre. Mens vi holdt på å koke linser, mose fisk med blender og kutte tomater, overhørte jeg en samtale mellom kursholderen (K) og en av de andre deltakerne (D). Den forløp omtrent slik:

D: Du, jeg lurte på en ting.

K: Ja?

D: Jeg pleier å lage sviskemos, og som regel kjøper jeg svisker på helsekostbutikken. Problemet er at de mugner så utrolig fort. Og så er de fryktelig dyre. Så jeg har tenkt litt på vanlige svisker, men alle jeg har funnet på butikken inneholder jo konserveringsmiddel. Hva ville du gjort? Kjøpt helsekostsviskene som det blir mugg på, eller de med konserveringsmiddel?

K: Hmm, jeg vet ikke helt. Men mugg er i hvert fall naturlig! Så jeg ville gått for det.

Jeg satte de biodynamiske bønnene i halsen og ble stum av overraskelse. Hadde kursholderen nettopp anbefalt noen å gi babyen sin mugg?

Kjerneelementet *energi og materie* inneholder sentrale teorier, lover og forklaringer som hjelper oss med å forstå oppbyggingen av verden rundt oss og ulike sammenhenger i naturen. Alle har vi hørt om big bang, atomer, energibevaring, fotosyntese og Newtons lover, og alle vet vi at dette er ord som forklarer viktige sammenhenger, selv om vi kanskje ikke helt forstår hva de innebærer. Når vi snakker om energi og materie, dukker det opp utallige slike ord: elektromagnetisk stråling, kjemikalier, protoner, magnetfelt, e-

stoffer og induksjon. Og svisker med *konserveringsmiddel*. Flotte, viktige ord som for mange kan oppleves uforståelige og kanskje litt skumle. Og det gjør ikke saken bedre at tingene vi snakker om stort sett er usynlige. Denne kombinasjonen – kompliserte ord med stor forklaringskraft på usynlige ting og sammenhenger – gjør at begreper knyttet til energi og materie lett kan misbrukes.

### Skremme og fremme

En måte å misbruke disse begrepene på er å spille på folks frykt for det ukjente, det folk ikke helt forstår og ikke kan se. Dette finnes det masse tilfeller av, i for eksempel kosmetikk- og matvarebransjen, som stadig reklamerer for produkter «uten tilsatte kjemikalier», som inneholder «bare naturlige ingredienser» og hvert fall ikke e-stoffer. Kjemikalier og kunstige stoffer framstilles som skumle, mens alt som er naturlig gjør deg godt. *Naturlig mugg* må derfor være bedre enn *kunstig konserveringsmiddel*. Sannheten er tvert imot at noen av de farligste stoffene vi vet om (f.eks. botulismetoksin og batrachotoksin fra pilgiftfrosker) kommer fra naturen. Egenskapene til ulike stoffer har dessuten ingen sammenheng med om de er naturlig forekommende eller syntetisk (kunstig) framstilt: Vann består av to hydrogenatomer og ett oksygenatom bundet sammen av elektronparbindinger uansett om det er laget i naturen eller på et laboratorium, og parfyme laget av en plante er like allergifremkallende som syntetisk parfyme. Flere av e-stoffene vi bruker i mat, finner vi også i naturen selv, som for eksempel i bananer (se illustrasjonen på neste side).

En annen kjent taktikk er å spille på folks frykt for stråling. For noen år siden var det mulig å kjøpe en slags hudspray fra et anerkjent kosmetikkmerke som skulle beskytte mot kunstig elek-

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

tromagnetisk stråling og urban forurensning. En slik stråling og forurensning høres unektelig ganske skummelt ut. Hvis elektromagnetiske ståler kan trenge gjennom betongvegger og gi signaler til telefonen, tenk hva det kan gjøre med kroppen din! Om strålingen er farlig, avgjøres imidlertid ikke av om den kan bevege seg gjennom vegger (som for eksempel radiobølger kan), heller ikke av om den er kunstig eller naturlig. På samme måte som med atomer og molekyler, spiller det ingen rolle hvordan strålingen har oppstått. UV-stråler fra sola og stråling fra en UV-lampe har de eksakt samme egenskapene, det er rett og slett det samme. Det gir med andre ord ikke mening å snakke om *kunstig stråling*. Skal man vurdere om stråling er farlig eller ikke, er det heller mer fornuftig å snakke om ioniserende og ikke-ioniserende stråling, om intensitet og mengde. Kanskje litt tørt og kjedelig, men sant.

Samtidig som markedsføringen for en del produkter spiller på folks frykt, er det svært vanlig å bruke de samme, litt skumle ordene fra energi og materie for å gjøre produktene sine mer troverdige og vitenskapelige. Det er egentlig litt pussig at det fungerer, men jeg tror det kommer av at vi er vant til at disse ordene brukes til å forklare kompliserte, vitenskapelige sammenhenger. Og da må det jo være sant det de sier. I butikken kan du for eksempel kjøpe flaskevann som er dampdestillert etter inspirasjon fra vannets naturlige kretsløp på jorda helt fritt for GMO, gluten og kunstig smakstilsetninger. Og er du syk kan du få hjelp av en kvantemedisiner til å lese av signalene fra kroppens ulike informasjonssystemer og sende frekvenser som trigger kroppens selvhelbredende mekanismer. Det høres flott ut – hvem vil vel ikke ha en (enda mer) selvhelbredende kropp? Det er dessverre lurert gjemt bak vitenskapelige ord.

### Kritisk tekning

En viktig del av naturfaget i skolen er å gi elevene grunnlag for å vurdere informasjon kritisk og ta bevisste valg. Har elevene en viss kompetanse om energi og materie, er de i mye bedre stand til å vurdere informasjonen de møter gjennom markedsføring av ulike produkter og helsetilbud, de kan bruke kunnskapen de har opparbeidet seg til å tenke selv. Da blir kanskje ikke 2-hydroxy-1,2,3-propantrikarboksylyse (eller sitronsyre) skummelt, de kjøper ikke produkter som skal beskytte dem mot såkalt kunstig elektromagnetisk stråling (de kjøper heller solkrem for å beskytte seg mot den «naturlige» elektromagnetiske strålingen) og de går kanskje ikke til krystallterapi for å harmonisere sine bioenergetiske systemer. Jeg var dessverre ikke modig nok til å konfrontere kurs-

### AN ALL-NATURAL BANANA



**INGREDIENTS:** WATER (75%), **SUGARS (12%)** (GLUCOSE (48%), FRUCTOSE (40%), SUCROSE (2%), MALTOSE (<1%), STARCH (5%), FIBRE E460 (3%), **AMINO ACIDS (<1%)** (GLUTAMIC ACID (19%), ASPARTIC ACID (16%), HISTIDINE (11%), LEUCINE (7%), LYSINE (5%), PHENYLALANINE (4%), ARGININE (4%), VALINE (4%), ALANINE (4%), SERINE (4%), GLYCINE (3%), THREONINE (3%), ISOLEUCINE (3%), PROLINE (3%), TRYPTOPHAN (1%), CYSTINE (1%), TYROSINE (1%), METHIONINE (1%)), **FATTY ACIDS (1%)** (PALMITIC ACID (30%), OMEGA-6 FATTY ACID: LINOLEIC ACID (14%), OMEGA-3 FATTY ACID: LINOLENIC ACID (8%), OLEIC ACID (7%), PALMITOLEIC ACID (3%), STEARIC ACID (2%), LAURIC ACID (1%), MYRISTIC ACID (1%), CAPRIC ACID (<1%)), ASH (<1%), PHYTOSTEROLS, E515, OXALIC ACID, E300, E306 (TOCOPHEROL), PHYLLOQUINONE, THIAMIN, **COLOURS** (YELLOW-ORANGE E101 (RIBOFLAVIN), YELLOW-BROWN E160a), **FLAVOURS** (3-METHYLBUT-1-YL ETHANOATE, 2-METHYLBUTYL ETHANOATE, 2-METHYLPROPAN-1-OL, 3-METHYLBUTYL-1-OL, 2-HYDROXY-3-METHYLETHYL BUTANOATE, 3-METHYLBUTANAL, ETHYL HEXANOATE, ETHYL BUTANOATE, PENTYL ACETATE), 1510, NATURAL RIPENING AGENT (ETHENE GAS).

Flere av e-stoffene vi bruker i mat, finner vi også i naturen selv, som for eksempel i bananer. Illustrasjon: James Kennedy, gjengitt med tillatelse.

holderen med anbefalingen hun hadde gitt om å mate babyer med mugg. Med begrunnelse i min kjemimaster prøvde jeg imidlertid å formidle til deltakeren som ba om råd, at hun for all del ikke måtte gi avkommet mugne svisker. Jeg tipset også om sviskemos på glass fra butikken som er hermetisk beskyttet og ikke inneholder konserveringsmiddel. Men jeg frykter dessverre at naturlig mugg går fabrikklaget ferdigmat en høy gang.

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



# Hva er energi, og hva tenker elever?

**Er du full av energi i dag – eller heller litt uenergisk? Var siste regning fra energiselskapet høyere enn beregnet? Begrepet *energi* gjennomsyrrer både hverdagslivet og naturfaget, men hva energi er, er ikke så lett å forklare.**

Naturvitenskapen søker etter begreper og teorier som har generell gyldighet og stor forklaringsverdi. *Energi* er et slikt begrep, og loven om *energibevaring* er en av de viktigste lovene vi har i naturvitenskapen. Energi inngår – direkte eller indirekte – i de aller fleste temaer i naturfag i skolen<sup>1</sup>.

*Kjerneelementene* i naturfag rammer inn det mest betydningsfulle innholdet i faget. For naturfag er et av kjerneelementene *energi* og *materie*. Der står det:

*Elevene skal forstå hvordan vi bruker sentrale teorier, lover, modeller for og begreper om energi, stoffer og partikler for å forklare vår fysiske verden. Ved å bruke kunnskap om energi og materie skal elevene forstå naturfenomener og se sammenhenger i naturfaget.*

I denne artikkelen vil vi belyse noen sentrale aspekter knyttet til energibegrepet og vise hvordan det er sentralt når vi vil at elevene skal forstå naturfenomener og sammenhenger i naturfaget. Videre vil vi beskrive elevers forståelse av energi, og til slutt belyse hvor viktig energibegrepet er for å forstå miljøspørsmål og bærekraftig utvikling.

### Hva er energi?

Det er ikke mulig å gi noen kortfattet definisjon av hva energi er. Energibegrepet er komplekst og abstrakt; energi er ikke «noe konkret» som vi kan ta tak i og flytte på. Men ved alle prosesser i naturen blir det omformet energi. Energi kan for eksempel omformes fra *stillingsenergi* til *bevegelsesenergi*, og vi kan tilføre et system energi eller et system kan tilføre energi til omgivelsene. Uansett

gjelder kanskje den viktigste loven vi har i naturfaget, nemlig loven om energibevaring i et lukket system (ofte kalt termodynamikkens 1. lov). Energi er altså en størrelse som kan omformes fra en form til en annen, men som aldri kan skapes av intet eller forsvinne til intet.

Fysikeren Richard Feynman omtalte energi som en tallstørrelse som ikke endrer seg når noe skjer. Dette betyr at når vi jobber med energibegrepet, involverer det at vi jobber med tall. Energi er relatert til «hvor mye» og ikke til «hvordan». Energibevaringsloven sier at når vi tar med systemets omgivelser, skal energiregnskapet alltid gå i null.

En annen fysiker, James Maxwell, skal ha sagt: «Energy is the go of things». På norsk blir dette ofte oversatt til «energi er det som får ting til å skje». Her får vi fram at prosesser i naturen ikke skjer av seg selv, men er knyttet til energiomforminger. Likevel er dette en utilstrekkelig definisjon; for eksempel kan et system ha stillingsenergi uten at det skjer noe som helst! Energi er derimot en størrelse som forteller oss hvilke hendelser og prosesser som er mulige, og hvilke som ikke er mulige. En evighetsmaskin, en maskin som kan utføre arbeid uten at vi tilfører energi, er altså ikke mulig å lage. Det strider mot energibevaringsloven.

Energi er også knyttet til begrepene *arbeid* og *varme*. Vi kan gjøre et arbeid på et system og dermed tilføre energi, og et system kan gjøre et arbeid på sine omgivelser. På tilsvarende vis kan et system motta varme fra sine omgivelser eller avgis varme til omgivelsene. I naturvitenskapen bruker vi begrepet *varme* om den energioverføringen som foregår på grunn av temperaturforskjeller. For ek-

sempel går varme fra tekoppen din ut i rommet når koppen står og kjøler seg av. Teen blir litt kaldere, lufta i rommet litt varmere. Energiregnskapet går i null. Vannmolekylene i tekoppen har fått litt lavere bevegelsesenergi, mens molekylene i lufta i rommet flyker omkring med litt større bevegelsesenergi enn før. Når du løfter en stein opp fra bakken, gjør du et arbeid og tilfører stillingsenergi til steinen. Når du slipper den, omformes stillingsenergien til bevegelsesenergi hos steinen, og når den treffer bakken, gjør den et arbeid ved å presse sammen underlaget og kanskje lage en grop. Til slutt gjenfinnes energien som varmeenergi – temperaturen øker litt i steinen og i bakken.



**Når vi slipper en blykule ned på en skriveblokk på gulvet og deretter avbilder blokken med et varmekamera, ser vi tydelig at temperaturen er høyere (rød farge) der kula traff blokken. Foto: Ellen K. Henriksen**

Albert Einstein ga et nytt perspektiv på energibegrepet da han i 1905 introduserte *masseenergiloven*. Denne loven viser sammenhengen mellom energi og masse.  $E = mc^2$  er kanskje den mest berømte likningen i naturfag. Det at masse og energi er to sider av samme sak, forklarer blant annet hvordan energi omformes i sola ved at masse går over til energi, som sendes ut fra sola i form av stråling (lys og annen elektromagnetisk stråling). Denne prosessen er det som «driver» vær, vind og alle livssykluser på jorda.

### Energikvalitet

Siden loven om energibevaring forteller oss at energi aldri blir borte, kan det se ut som om vi har energi til evig tid. Vi kan jo bare resirkulere energien: Den forsvinner jo aldri, men går bare over i andre former. Men så enkelt er det ikke. Det er en lov til som sier at vi ikke kan bruke energien om og om igjen (termodynamikkens 2. lov). Energi kan ha høyere eller lavere kvalitet alt etter evnen til å utføre arbeid, og denne loven sier at ved alle naturlige prosesser minker den totale *energikvaliteten*. Det vi forbruker, er altså energiens kvalitet. Energi med høy kvalitet er energi som kan utføre

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

arbeid. Mekanisk energi og elektrisk energi er gode eksempler på høyverdig energi.

Et eksempel: Når vi bremser en bil, omformer vi høyverdig mekanisk bevegelsesenergi til varmeenergi i bremsesystemet. Mye av denne energien «går tapt» når den overføres som varme til omgivelsene. I elektriske biler, derimot, kan noe av denne energien tas vare på gjennom såkalt regenerativ bremsing ved at bilens elektromotor brukes som en generator og overfører bevegelsesenergi til elektrisk energi i bilens batteri.

### Energikjeder

En måte å få fram noen viktige sider ved energibegrepet på er å bruke *energikjeder*. En energikjede består av energikilder og energimottakere. La oss ta et enkelt eksempel. En jente trekker opp fjæra på en lekebil, slipper bilen og ser at den kjører bortover gulvet. Her har kjemisk energi i mat blitt frigjort i musklene og omformet til bevegelsesenergi i hendene til jenta. Der går den over til mekanisk stillingsenergi i fjæra og videre til bevegelsesenergi i lekebil. Energikjeden viser noe av prosessene som foregår når vi spør hvor energien kommer fra. Vi kan følge energikjeden bakover for alle prosesser som involverer energi, og her på jorda starter nesten alle energikjeder med at energien omformes i sola fra masse til strålingsenergi. Når vi lager energikjeder, får vi imidlertid ikke fram at en energikilde vanligvis er energikilde for flere energimottakere. Vi velger ut bare én energimottaker når vi lager energikjeder. Egentlig kunne vi laget et «energinett».

### Elevers forestillinger om energi

I tabellen på neste side gir vi en oversikt over noen typiske forestillinger elever kan ha om energi, samtidig som vi tydeliggjør hva vitenskapen sier om disse forestillingene.

- Finnes det energikilder som *ikke* har opphav i solstråling?
- Tidevannsenergi har opphav i gravitasjonsenergien som binder jorda, månen og sola sammen.
  - Jordvarme har opphav i gravitasjonsenergien fra da jorda trakk seg sammen til en kompakt klode, og fra radioaktive stoffer i jordas indre som omdanner bindingsenergi i atomkjernene til varme.
  - Kjerneenergi stammer også fra radioaktive stoffers bindingsenergi.

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

Elevforestillinger om energi	Hva vitenskapen sier om energi
Noen elever, særlig de yngste, tenker seg at energi bare opptrer i forbindelse med levende ting, særlig mennesker.	Alt levende «bruker» (omformer) ganske riktig energi, men vitenskapens energibegrep er videre enn som så: For eksempel er det en god del energi i lufta i klasserommet fordi den har en viss temperatur. Denne energien er ikke så lett for oss å bruke til noe, men den hører med i det store energiregnskapet.
I den grad elever tenker seg energi i forbindelse med ikke-levende ting, må det være bevegelse til stede. Mange tenker seg at energi opptrer bare «når noe skjer».	En gjenstand kan ha stillingsenergi uten at det skjer noe som helst og uten at noe beveger seg. Fjellhammeren Veslemannen har hatt stor stillingsenergi, men det har skjedd lite på tusenvis av år. Da store deler av Veslemannen til slutt falt ut sommeren 2019, kunne bevegelsesenergien blitt til stor fare for dem som befant seg i nærheten om de ikke var blitt evakuert.
Noen elever skiller ikke mellom begrepene energi og kraft.	Kraft og energi er to ulike begreper i fysikken, men ikke alltid i dagligtalen: Vi bruker for eksempel begrepet kraftverk i dagligtale om det som strengt tatt burde hete energiverk. Energibegrepet er knyttet til kraft ved at energioverføring ved arbeid kan uttrykkes ved kraft ganger strekning: $A = F \cdot s$
Noen elever ser ikke behov for ideen om energibevaring.  Når en ball spretter på et gulv, bruker ikke elevene energibegrepet til å forklare hvorfor ballen ikke spretter høyere enn høyden den ble sluppet fra. De henviser for eksempel heller til en forestilling om at ballen spretter så lenge den har kraft i seg.	Loven om energibevaring er kanskje den viktigste loven vi har i naturfaget. Å lære seg å analysere prosesser fra et energisynspunkt er noe av det mest nyttige man kan lære i naturfag. Enten man studerer stjerner som lyser, planter som vokser og driver fotosyntese eller en menneskekropp som beveger seg og holder varmen, er energioverføringer og energibevaring helt sentralt. Vi kan øve på dette i naturfagtimen blant annet ved å analysere energikjeder.
Elever finner det vanskelig å forstå at biologiske prosesser, som for eksempel celleånding, involverer energibevaring. Elevene tenker seg at slike prosesser <i>lager</i> energi, som senere kan brukes.	Energibegrepet og energibevaringsloven er sentrale og nyttige i naturfaget nettopp fordi de knytter sammen både det levende og det ikke-levende, fysikk, kjemi, biologi og geofag.
Energi assosieres med ting som lagrer energi. Olje og batterier er to ting som antas å «inneholde» energi.  Noen elever tenker seg at varme er et «stoff» som kan flyte fra ett objekt til et annet.	Energi er et abstrakt begrep. Det er ikke noe konkret som vi kan ta tak i og flytte på, men en tallstørrelse som ikke endrer seg når noe skjer.
Noen elever tenker på temperatur som en egenskap ved hvert materiale. Metall er kaldt, og ull er varmt.	Hvis vi kjenner på en gjenstand av tre og en av metall som faktisk har samme temperatur, vil metallgjenstanden kjøles ut enn gjenstanden av tre. Varme fra hånda ledes lettere bort av metallet enn av treet. Dermed taper hånda energi raskere i kontakt med metallet, og vi kjenner at hånda blir kaldere.
Noen elever tenker seg at varme brer seg ved at «varme molekyler» forflytter seg. Elevene tillegger molekylene makroskopiske egenskaper og tenker seg at hvert enkelt molekyl kan være varmt, utvide seg eller smelte. Det er få elever som bruker partikkelmodellen for å beskrive og forklare varmeledning.	Molekyler er i seg selv hverken kalde eller varme. Det er molekylenes bevegelsesenergi som bestemmer temperaturen. Varme overføres ved at molekyler med mye bevegelsesenergi støter borti og overfører energi til molekyler med lavere bevegelsesenergi. På denne måten trenger vi partikkelmodellen – ideen om at alt er bygget opp av atomer og molekyler – til å forklare hvordan energi overføres som varme.
Noen elever tenker seg at når vi legger hånda på noe som føles kaldt, blir kulda overført til hånda (det er jo sånn det oppleves!).	Det er hånda som overfører varme til det kalde materialet. Loven om energikvalitet sier at varme ikke av seg selv kan gå fra et sted med lav temperatur til et sted med høy temperatur. Vi kjenner at hånda har mistet energi og fått lavere temperatur.

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



Noen elever kan oppfatte temperatur som en egenskap ved hvert materiale, metall er kaldt og ull er varmt. Foto: congerdesign / pixabay.com

### Energikilder, energibruk og bærekraftig utvikling

Bærekraftig utvikling er et av de tverrfaglige temaene i alle skolefag, og dette temaet er sentralt i naturfag. Gjennom naturfaget skal elevene få innsikt i sammenhenger i naturen som er sentrale for å forstå hvordan menneskelig aktivitet påvirker klima, miljø og livet på jorda. Elevene skal også få naturfaglig og teknologisk kompetanse for å bidra til å finne løsninger for å begrense klimautfordringene og kompetanse til å gjøre valg som fremmer bærekraftig utvikling.

Hvilke energiresurser skal vi kunne bruke i fremtiden, og hvordan skal vi forvalte jordas energiresurser? Dette er to av de viktigste og vanskeligste spørsmålene samfunnet står overfor. Vi tror det er viktig at elevene får en tro på at de store utfordringene innen energi og klima kan løses og at deres egne holdninger og handlinger har betydning. Det er en enorm utfordring med en stadig økende befolkning å kunne skaffe nok energi til alle samtidig som vi skal fase ut ikke-fornybare energikilder som olje, gass og kull. I et slikt perspektiv blir energi et av de viktigste temaene i skolens naturfag.



Når vi legger hånda på noe som føles kaldt, tror vi kanskje at kulde blir overført til hånda. Den naturfaglige beskrivelsen er at hånda overfører varme til det kalde materialet, slik at temperaturen i hånda synker. Foto: Tantieng / pixabay.com

Vi vil gjerne at elevene skal se sammenhenger mellom de ulike delene av naturfaget – og mellom naturfag og andre kunnskapsområder. Energibegrepet knytter alle disse fagområdene sammen. I klasserommet kan vi behandle hele bredden av energi- og klimaspørsmålet – fra energiflyten i jordas klimasystem med solinnstråling, vind- og havstrømmer, atmosfærens drivhuseffekt, fotosyntese og så videre – til menneskenes energibruk (rette: energiomforming) og hvilke konsekvenser ulike energikilder har for klima og naturmiljø, befolkning, økonomi og velferd. Vi kan ta tak i påstander og diskusjoner fra klimadebatten og utnytte dem til å lære mer både om de naturvitenskapelige prosessene som er involvert i klimavitenskap, om «naturvitenskapelige tenkemåter og praksiser» og om den komplekse vekselvirkningen mellom vitenskap og samfunn og hvordan vi kan bruke naturfagkunnskap til å utgjøre en positiv forskjell i verden.

### Noter

1 Angell, Carl; Bungum, Berit; Henriksen, Ellen Karoline; Kolstø, Stein Dankert; Persson, Rolf Jonas & Renstrøm, Reidun (2019). Fysikdidaktikk (2. utgave). Cappelen Damm Akademisk. Kapittel 20: Å undervise i energifysikk

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



# Elevenes oppfatninger om stoffer i naturfagene

Barn lærer om stoffer og energi fra de blir født. Først gjennom sansing og utprøving, senere gjennom å koble erfaringer til teori i skolen. Elevers oppfatninger av fenomener knyttet til stoffer og stoffers egenskaper kan iblant være feilaktige eller mangelfulle.

Energi og materie er et kjerneelement i naturfaget. Materie er et gammelt ord for stoff, kjerneelementet kunne like gjerne vært «Energi og stoff». I *Naturfag 1/2018* er det gitt forslag til en progresjon for dette kjerneelementet.

En viktig faktor for elevens læring er det eleven allerede vet. Elevens forkunnskaper kan være et fruktbart grunnlag for videre læring, men kunnskapen kan også ha «hull» eller være av en annen kvalitet enn hva læreren ønsker. Stoffers egenskaper, partikkelmodellen og kjemiske reaksjoner er sentralt stoff i kjerneelementet *energi og materie*. Ut fra forskning vet vi noe om hva elevene strever med, og vi vet noe om hva som kan fungere godt for å hjelpe elevene på rett vei. I denne artikkelen har vi tatt med noen eksempler på vanlige elevoppfatninger og noen tips til hvordan elevene kan hjelpes videre.

### «Stoffer brenner opp og forsvinner»

Det er lett å få oppfatningen av at et stoff som brenner opp, forsvinner. Dette ser ut til å skje med stearinlys, butangass og lampeolje. Veden i ovnen brenner nesten opp den også, men etterlater seg i det minste litt aske. Det har tatt lang tid for vitenskapen å forstå forbrenningsreaksjoner slik vi kjenner dem i dag, og dette er viktig kunnskap for å forstå både teknologi, livsprosesser og klimaendringer. Elevene trenger å forstå at partiklene stoff er bygd opp

### Hverdagsforestillinger og misoppfatninger

Ord som misoppfatning og hverdagsforestillinger er ofte brukt om elevenes umodne oppfatninger. Det er vanlig å bruke *hverdagsforestilling* om forklaringsmodeller elevene har før de har fått undervisning. *Misoppfatninger* er vanlig å bruke om forestillinger elevene har etter at de har fått undervisning. Felles for begge er at elevenes ideer, forestillinger og forklaringsmodeller ikke er i samsvar med rådende vitenskapelige begreper og teorier.

Både hverdagsforestillinger og misoppfatninger kan oppfattes som negativt ladde begrep. For elever som vil bygge en stadig bedre forståelse av verden rundt seg, kan det være mer konstruktivt å se på oppfatningene som et skritt på veien. Noen oppfatninger kan være basert på opplevelser i dagliglivet, mens andre kan være lært enten på skolen eller fra andre kilder. Når elever ikke forstår, kan det også skyldes manglende oppfatninger, at eleven rett og slett ikke har tenkt gjennom problemstillingen. Da kan det tenkes at eleven gir uttrykk for en oppfatning som oppfattes som feil, men som i realiteten ikke er etablert. Læring skjer gjennom endring og omorganisering av kunnskapselementer og undervisning kan hjelpe eleven i en god eller mindre god retning.

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



Elevene vil nærme seg kjemien fra en makroskopisk synsvinkel der de beskriver det de observerer. Foto: Aud Ragnhild Skår

av ikke forsvinner når ting «brenner opp», men at det blir dannet nye stoffer som for eksempel  $\text{CO}_2$ -gass. Les mer om massebevaring på side 10.

Elevene vil nærme seg kjemien fra en makroskopisk synsvinkel, det betyr at de beskriver det de observerer. Systematisk arbeid med å knytte det elevene observerer til partikkelmodellen, og bruke partikkelmodellen til å beskrive og forklare hva som skjer i en kjemisk reaksjon, kan hjelpe elevene med å forstå prinsippet om massebevaring.

Tradisjonelt har lærere ofte lagt mer vekt på observasjonene, symbolene og reaksjonslikningene enn modellene vi bruker til å forklare fenomener som faseoverganger og kjemiske reaksjoner. Dersom vi ikke har et mentalt bilde, slik som partikkelmodellen, å tenke ut fra, kan kjemi framstå som en rekke fenomen som ikke henger

sammen. Artikkelen *Hvorfor er de grunnleggende begrepene så viktige i kjemi* ([naturfag.no/kjemibegreper](http://naturfag.no/kjemibegreper)) prøver å vise hvorfor modeller er viktig for å forstå kjemien. Alle har sett et stearinlys brenne, og elevene kan observere at det stadig blir mindre stearin igjen når et lys brenner. Men hva er det egentlig som skjer når lyset brenner og hvor blir stearinen av? I grubletegningen *Levende lys* ([naturfag.no/levendelys](http://naturfag.no/levendelys)) utfordres elevene til å diskutere hva de tror skjer når et stearinlys brenner.

### «En tom flaske er tom»

Hvor tom er egentlig en tom flaske? Den inneholder som regel luft. At luft faktisk er stoff som har både masse, utstrekning og andre egenskaper, er ikke alltid selvsagt for elevene.

En tilnærming kan være å observere hvordan en myk flaske kan presses sammen når lufttrykket inni eller utenfor flasken endres, og

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?



Heliumballonger stiger oppover. Helium er likevel et stoff som har masse og tyngde. Foto: Artturi Mäntysaari / pixabay.com

diskutere hvorfor dette skjer. I aktiviteten *Skoletur med spøkelseser* (naturfag.no/spøkelsestur) presenteres elevene for ulike forklaringer på hva som kan være årsaken til at lokket på en kanna spretter av når kanna blir varmet opp og at kanna kollapser når den blir kald. Elevene skal blant annet bruke partikkelmodellen for å formulere egne forklaringer på disse fenomenene.

I aktiviteten *Dramatisering av gass* (naturfag.no/gassdramatisering) skal elevene observere hva som skjer når de forsøker å presse sammen lufta inne i en engangssprøyte, og de skal forklare det de observerer ved å dramatisere partikkelmodellen for gasser.

### «Gasser veier ikke noe»

Det kan være vanskelig å forstå at lufta, som vi ikke kan se, har masse. Når elevene for eksempel observerer at en heliumballong stiger oppover, kan det være vanskelig å tenke seg at helium er et stoff som har masse og tyngde. Men alle gasser har masse, så

de må veie noe. Dersom du tar helium i en ballong, må den bli tyngre. Så hvorfor svever den? Elevene kan bruke grubletegningen *Veg helium noko?* (naturfag.no/helium) og diskutere utsagnene til personene på tegningen. En annen tilnærming kan være å trekke paralleller fra heliumballonger til noe som flyter i vann.

En annen ressurs som kan benyttes er filmen *Luft veier noe* (naturfag.no/luftveiernoe). Her vises aktiviteter hvor elevene observerer, beskriver, undrer seg og utforsker at gass er noe.

### «Overtrykk og undertrykk i luft»

Overtrykk i en ballong eller en ball kan forstås med at det er «for mye» luft på innsida og at den sprenger seg ut. Tilsvarende kan det være lett også å forklare undertrykk i en beholder ut fra innholdet i beholderen, men det gir ikke nødvendigvis en god forståelse. Driker man saft fra sugerør er det rimelig å tro at det er suget i munnen som «drar» safta oppover. I arbeid med partikkelmodellen er

## HVA ER ENERGI OG MATERIE?

det innarbeidet en god praksis med å forklare disse fenomenene ut fra trykket i lufta på utsida, noe som hjelper mange elever med å etablere en bedre forståelse. Elevene kan eksperimentere og lære ut fra erfaringer som de ikke har satt i sammenheng tidligere.

### «Stoff eller partikler?»

Mange elever blander sammen disse to betydningene av ordet grunnstoff: *grunnstoff på mikronivå* – atomtype og *grunnstoff på makronivå* – grunnstoff som stoff. Dette kan skyldes at observasjoner av stoffer skjer på makronivå, mens reaksjonslikninger beskriver mikronivå.

I skolen kan vi snakke om *grunnstoff-som-stoff* og bruke *atomtype* når vi snakker om grunnstoff på mikronivå. På mikronivå har vi for eksempel nitrogenatom og nitrogenmolekyl, mens vi på makronivå kan omtale det som nitrogengass. Bruk av formler og tilstandssymboler kan presisere dette.

Når elevene skal lære om stoffer og stoffers egenskaper, skal de ofte beskrive og forklare sammenhenger mellom det de observerer (makronivå) og hvordan partiklene oppfører seg (mikronivå). Dette er relevant både når elevene skal arbeide med faseoverganger og når de skal jobbe med kjemiske reaksjoner. Partikkelmodellen kan være en nyttig forklaringsmodell for å hjelpe elevene med å forstå sammenhenger mellom det de observerer og det vi kan se for oss om hvordan partiklene oppfører seg.

Forklaringer på makro- og mikronivå kan bli ren teori dersom de ikke støttes av at elevene får erfare gjennom aktiviteter og utforskning. Stoff og partikler er tema der det er lett å finne praktiske aktiviteter som kan hjelpe elevene å forstå teorien, og mange lærer bedre hvis de får utforske og drøfte problemstillingene med medelever. Praktiske erfaringer kan gi verdifull læring for elevene ut over det å svare riktig på et spørsmål. Det bør alltid legges stor vekt på elevaktivitet i læringsprosessen.

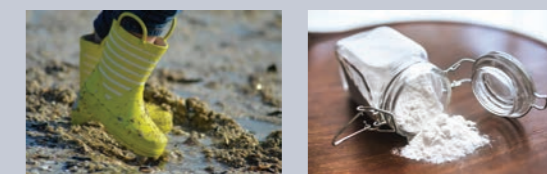
Det er viktig å hjelpe elevene med å bygge god kunnskap, men det er også viktig å vite at ikke alle elevene lærer i naturfag nødvendigvis fører til nyttig læring. Læring tar tid. Uferdige eller ufullstendige kunnskapsstrukturer hos elevene er et skritt på veien mot en mer sofistikert forståelse.

### Anbefalt lesestoff

Hannisdal, M. og Ringnes, V. (2014): *Kjemifagdidaktikk. Kjemi i skolen*. Cappelen Damm  
Kind, V (2004); *Beyond Appearances: Students misconceptions about basic chemical ideas*, Voll, L. O, Øyehaug, A. B, og Holt, A. (2019): *Dybdeløring i naturfag*, Universitetsforlaget  
Om partikkelmodellen og forslag til læringsaktiviteter, naturfag.no/partikkelmodellen

### Undervisningsopplegg for barnetrinnet

Stoff og egenskaper, 2. trinn, naturfag.no/stoffegenskaper  
Spennende stoffer, 4. trinn, naturfag.no/spennendestoffer



### Grubletegninger

Grubletegningene, se naturfag.no/gruble, er laget for å fremme forståelse. De presenterer alternative synspunkter som kanskje ikke har vært framme i diskusjoner tidligere. De kan være verdifulle for å forsterke og utvikle naturfagforståelse, og de kan brukes som et verktøy for å identifisere elevenes ideer og forestillinger.





Foto: LJO

# Historien om verden og grunnstoffene på syv dager

Grunnstoffenes historie strekker seg tilbake til universets fødsel. Historien er ubegripelig lang i forhold til menneskenes tid. For å gjøre tidsskalaen mulig å fatte kan vi gjøre som i skapelsesberetningen og fortelle verdens historie på syv dager.

Her blir en milliard år til et halvt døgn, og en million år til tre kvart minutt. Det er 13,8 milliarder år siden universet ble født, men i denne beretningen oppstod tiden da klokka bikket midnatt, natt til mandag. Mens du leser disse sidene, slår klokka igjen midnatt, og søndag er over.

### Mandag: Universets fødsel

Universet startet med et smell, en eksplosjon som slynget energien i det nyfødte universet utover til alle kanter. Etter hvert begynte energien i universet å klumpe seg sammen til det vi kaller masse eller *materie*. Protoner og nøytroner klistret seg sammen og ble til atomkjerner i grunnstoffene hydrogen, helium og litium. Kroppen din består av nesten ti prosent hydrogen, og slik stammer du direkte fra universets fødsel.

I løpet av de neste tolv timene ble det dannet enorme skyer av atomer, og før klokka slo tre om morgenen, ble klynger av slike skyer til de aller første galaksene. En av disse galaksene skulle bli Melkeveien, vårt hjem.

Klokka seks om morgenen var noen av atomskyene i galaksene blitt så store at de kollapset under sin egen vekt. I midten av stjernen smeltet hydrogenkjerner sammen til nye kjerner av helium. Dette skjer i dag i vår egen sol. Lyset som treffer øynene dine når du ser på utsikten utenfor vinduet, kommer fra atomkjerner som smelter sammen i solas indre.

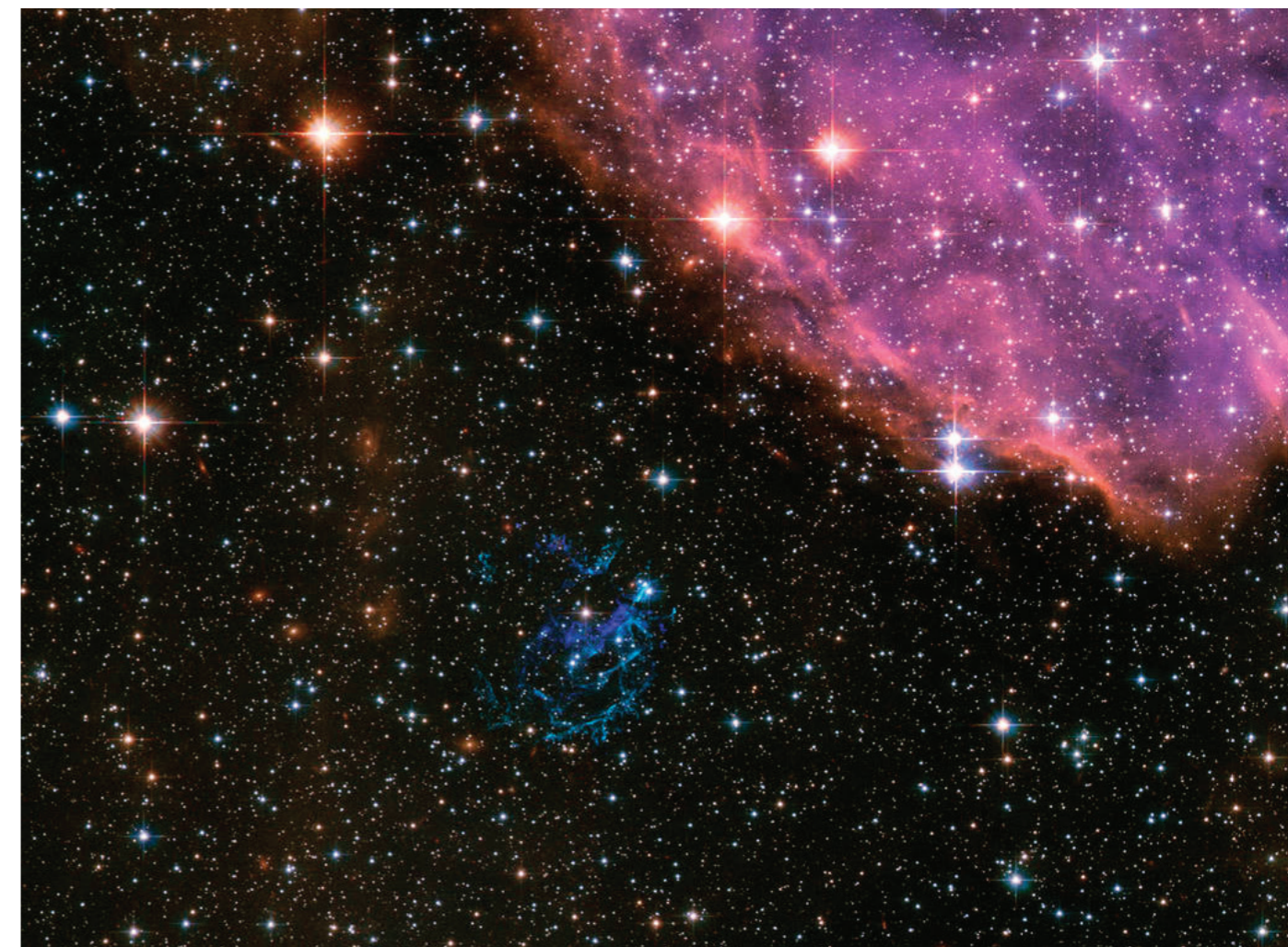
Etter hvert som de fleste hydrogenkjernene var blitt til helium, avtok frigjøringen av energi i stjernens indre. Sentrum av stjernen hadde ikke lenger nok kraft til å stå imot trykket fra materialet rundt. Kollapsen tvang heliumkjernene så nær hverandre at de smeltet sammen, slik at det ble dannet tyngre grunnstoffer. 86 % av kroppen din består av karbon, nitrogen og oksygen, som ble dannet i denne fasen. Det samme gjelder ble jernet i blodet ditt, fosforet i skjelettet og aluminiumet i mobiltelefonen.

Etter et par minutter var stjernens liv over, og den endte med en eksplosjon så spektakulær at den har fått navnet supernova. I eksplosjonen ble det dannet grunnstoffer som er enda tyngre enn jern, blant dem nikkel, kobber og sink. Strømledningene i huset ditt stammer fra en supernova.

Restene av eksplosjonen kollapset og ble til en nøytronstjerne, en enorm atomkjerne på størrelse med en by. Senere kolliderte nøytronstjernen med en annen nøytronstjerne, og i kollisjonen ble det dannet gull, sølv, platina, uran og andre grunnstoffer som er så tunge at de bare kan skapes i slike ekstreme hendelser. De nyfødte elementene ble slengt ut i verdensrommet og blandet seg med skyene av støv og atomer i galaksen.

### Tirsdag til torsdag: Stjerner fødes og dør

Universet fortsatte i det samme sporet de tre neste dagene. Stjerner ble født, og stjerner døde.



Det turkise området viser en rest av supernova. Foto: NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA) og J. Green (University of Colorado, Boulder).

### Fredag: Solsystemet vårt dannes

Klokka fire fredag ettermiddag døde en stjerne i vårt nabolag. Trykkbølgen fra supernovaen klemte sammen en sky av støv og gass, og da klokka var blitt kvart på fem, var skyen blitt til en stjerne med planeter i bane rundt seg. Dette er vårt solsystem.

Planetene nærmest sola ble uutholdelig varme, og de ytterste planetene fikk det kaldt. Men for én planet var avstanden til sola ak-

kurat passe. I den beboelige sonen rundt sola kunne temperaturen bli lav nok til at vann ikke koker, og høy nok til at ikke alt vann fryser til is. Det var denne planeten som skulle bli vårt hjem, jorda.

I begynnelsen var riktignok jorda glødende varm, faktisk helt flytende. Mens jorda gradvis kjølnet i det kalde verdensrommet, sank de tunge grunnstoffene, som jern, gull og uran, inn til midten av den flytende kula. De lette grunnstoffene, deriblant silisium, kar-

# GRUNNSTOFFENE

bon, oksygen, hydrogen og nitrogen, ble liggende igjen ytterst og dannet etter hvert en fast skorpe av stein rundt planeten, med en atmosfære av gass på utsiden.

Halv syv om kvelden var temperaturen blitt lav nok til at vannmolekylene i atmosfæren klumpet seg sammen til vanddråper. Når dråpene hadde vokst seg store og tunge nok, regnet de ned på overflaten og skapte det første, varme havet. Dypt nede i havet heftet karbon, hydrogen og oksygen seg sammen til store molekyler med litt svovel, nitrogen og fosfor. I løpet av kvelden fikk noen av disse molekylene en struktur som gjorde at de dannet kopier av seg selv. Dette er grunnlaget for liv.

Metallene som sank inn til midten av planeten, kan vi mennesker aldri få nytte av. Heldigvis ble jorda bombardert med meteoritter i titiden på kvelden. Metallene i disse meteorittene ble klasket ut over hele jordskorpen. Det er disse metallene vi lager biler og gaffler av i dag.

Omtrent en halvtime før fredag ble til lørdag begynte jordskorpen å sprekke opp og bevege seg. I vårt solsystem er det bare jorda som har en slik aktiv overflate. Platetektonikken er jordas samlebånd. Den resirkulerer materialer, ved at det som er blitt fraktet ut i havet av vann og vind kan løftes opp igjen til overflaten. Den skaper sprekker gjennom jordskorpen, der strømmende vann kan frakte med seg grunnstoffer fra dypet. Det er i restene av slike sprekker at vi graver ut gull og andre metaller i dag.

## Lørdag: Livet begynner

Før halv seks lørdag morgen hadde jorda utviklet sitt eget magnetfelt. Dette hindrer de mest energirike og skadelige partiklene fra sola fra å treffe jorda. Omtrent samtidig oppstod de første encellede organismene. Kanskje levde de første skapningene dypt nede i havene, der jordplatene glir fra hverandre. Her strømmer mineralrikt vann opp gjennom skorsteinslignende strukturer i havbunnen, og de kjemiske bindingene i disse mineralene inneholder energi som levende vesener kan gjøre seg nytte av.

Fotosyntesen ble trolig utviklet av bakterier i havet, lørdag ettermiddag. Før fotosyntesen tok til, inneholdt verdenshavene store mengder oppløst jern, men mellom tre og kvart på syv rustet havene. Oksygenet som ble produsert i den første fotosyntesen reagerte med jern, sank til bunns som rust og ble til tykke lag av rust-

rød, lagdelt stein. I dag graver vi opp denne røde steinen, fjerner oksygenet fra jernet og bruker jernmetallet til å lage kniver og jernbaneskinner.

Da jernet i havvannet var rustet bort, begynte oksygenmolekyler å hope seg opp i havene. Oksygen var en dødelig gift for de fleste av planetens første organismer. Vi er etterkommere av skapninger som hadde lært seg å bruke oksygen til sin fordel. Energien du bruker mens du leser dette, til å bevege øynene og omdanne tekst til informasjon i hjernen, kommer fra den kjemiske reaksjonen der oksygen og karbohydrater blir til karbondioksid og vann inne i cellene i kroppen din.

## Søndag: Den levende jorda

Fem over seks på søndagskvelden kravlet de første dyrene opp på land. Her startet de arbeidet med å omdanne algematter og stein til et fruktbart lag av jord, der de første landplantene kunne slå rot, noe de gjorde omtrent ett minutt over halv syv. Med planterøtter som holdt på jord og vann, og senere også trestammer som hindret vinden i å blåse vekk løst materiale fra bakken, gikk landjorda fra å være slett og kjedelig til å bli mer variert, med elver, daler, myrer og innsjøer.

Livet på jorda fikk noen harde slag. Vulkanutbrudd, meteorittnedslag og endringer i solaktiviteten førte til fem enorme masse-



Rød stein fra havbunnen blir til jernmetall i jernbaneskinner. Foto: Ulrike Leone / pixabay.com

# GRUNNSTOFFENE

utryddelser i løpet av kvelden. Den siste hendelsen, tolv over elleve, var meteorittnedslaget som tok knekken på dinosaurene og mange andre av jordas arter.

Menneskene skilte lag fra menneskeapene fem minutter før midnatt. Det er to minutter siden vare forfedre brukte de første steinredskapene til å hakke i stykker dyrekroker for å få tak i den næringsrike beinmargen. For ett minutt og tjue sekunder siden ble kloden betraktelig kaldere, og planeten gikk inn i en syklus av istider og mellomistider som har fortsatt frem til vår tid. På den tiden lærte menneskene å beherske ilden, som holdt dem varme, beskyttet dem mot rovdyr og gjorde det mulig for dem å se både hverandre og omgivelsene etter at sola var gått ned. Ved å tilberede mat over bål kunne menneskene bryte ned mat ved hjelp av solenergi som var lagret, istedenfor å la sine egne kjeper og tarmsystem gjøre hele jobben. Dette frigjorde tid og energi som menneskene kunne bruke til andre aktiviteter.

Vår art, homo sapiens, oppstod i Afrika for ni sekunder siden. Frem mot ett sekund på midnatt utviklet homo sapiens sitt språk, og med det sin evne til å fortelle hverandre historier, planlegge fremtiden og drive handel mellom folkegrupper. Hjulpet av ny teknologi som pil og bue, nål og tråd, fiskekroker, båter og oljelamper tok de seg ut av Afrika og inntok resten av verden.



Å beherske ild frigjorde tid og energi til andre aktiviteter. Foto: annca / pixabay.com

## Et halvt sekund på midnatt: Sivilisasjonens tid

For et halvt sekund siden begynte menneskene å bo fast på samme sted over lengre tid. Sankerne kom hjem med de plantene de likte best. Avfallet fra sankingen og matlagingen inneholdt frø fra disse plantene, som dermed fikk gode betingelser til å spire nær bosetningen. Med tiden fant menneskene ut at de kunne forbedre avlingene nær bosetningen ved å rydde land, vanne og pløye. For 0,35 sekunder siden var menneskene blitt bønder.

Dyrking og lagring av mat gjorde det både mulig og nødvendig med en mer hierarkisk og spesialisert organisering av samfunnet. 0,2 sekunder før midnatt hadde menneskene utviklet skriftspråk, penger og religioner. Ved å domestisere dyr som okser og hester fikk menneskene en kilde til muskelkraft i tillegg til sin egen, som lot dem pløye og dyrke større områder, og dermed brødfø enda flere personer. Ved hjelp av husdyrene kunne de også reise over større avstander på kortere tid, slik at de kunne utveksle både varer og kunnskap mer effektivt enn før.

Det var i disse spesialiserte samfunnene at menneskene utviklet de avanserte teknologiene som kreves for å ta i bruk metallforekomstene som var blitt dannet gjennom planetens historie. Først bronse, deretter jern. Det er mindre enn ett tidels sekund siden stål, den beste formen for jernmetall, ble tatt i bruk.

Helt til nå hadde menneskene basert sin aktivitet på sollyset som treffer jorda hver dag. Solenergi lagret i plantemateriale ble brent for å produsere varme, eller spist av dyr og mennesker for å utnyttes som muskelkraft. Vannmøller, vindmøller og seilskip utnyttet energien i vann og vind som var satt i bevegelse av sola. Dette endret seg for 11 tusendels sekund siden, da menneskene for alvor begynte å utnytte fossile energikilder, solenergi som er blitt lagret i bakken gjennom millioner av år. Når den daglige solinnstrålingen ble supplert av først kull, og siden olje og gass, kunne nærmest enhver type industri drives uten fare for å gå tom for brensel. Den industrielle revolusjonen transformerte menneskenes verden. To tusendels sekund før midnatt reiste mennesker ut i verdensrommet.

Så slo klokken midnatt, og vi er fremme ved dagen i dag.

*Artikkelen er basert på starten av boka Menneskets grunnstoffer av Anja Røyne, se bokomtale side 68.*





## GRUNNSTOFFENE

# Periodesystemet – en historie om lagarbeid

**For mange naturfaglærere er periodesystemet en naturlig del av klasserommet. Bak den enkle tabellen på veggen skjuler det seg et helt system, som elevene kan bruke til å lære stoffenes kjemi uten å måtte pugge reaksjoner for hvert enkelt grunnstoff. Systemet viser også at det finnes en orden i naturen, som (i dag) lar seg forklare ved hjelp av atomets oppbygning.**

Periodesystemet er rett og slett genialt. Enkelt sett kan vi si at periodesystemet er den syntesen for kjemifaget som energibegrepet og prinsippet om energibevarelse er for fysikken, og evolusjonslæren for biologien. Alle tre stammer fra midten av 1800-tallet. Gjennom å se nærmere på periodesystemets historie kan vi lære at ny kunnskap blir til gjennom lagarbeid, diskusjoner i fagmiljøet, prøving og feiling og tilfeldigheter – over mange tiår og ved hjelp av en hel skare av bidragsyttere.

### Systemet

Periodesystemet er ikke én manns verk alene. Faktisk regner vi med hele seks uavhengige oppdagere fra fem ulike land (se boks). Alle kom de fram til en periodisitet grunnstoffene imellom, altså at visse egenskaper gjentok seg i bestemte intervaller. Hele 63 grunnstoffer var kjent (mot 118 i dag), og den store mengden informasjon om dem gjorde det naturlig for mange å søke å skape en orden i informasjonsmengden.

Alle tidlige forsøk på å gruppere grunnstoffene tok utgangspunkt i atomvekter. Derfor var det viktig å bestemme atomvektene så nøyaktig som mulig, slik at rekkefølgen kunne bli riktig. Dette var omfattende analytisk-kjemisk arbeid, som først krevde rene stoffer – og dermed kunnskap om hvordan de kunne separeres fra andre stoffer i forbindelser og mineraler. Selve atomvekten til et grunnstoff ble bestemt ut fra et annet grunnstoffs atomvekt i en forbind-

else. Molekylformler var til god hjelp, for da kunne man vite hvor mange atomer av hvert grunnstoff som inngikk i forbindelsen. Et felles system for molekylformler og atomvektbestemmelser kom først i 1860, etter at kjemikere fra hele Europa hadde møttes til historiens første kjemikongress. Det er altså ikke tilfeldig at periodesystemet ble oppdaget på 1860-tallet.

Den russiske kjemikeren Dmitrij Mendelejev er den mest kjente oppdageren av periodesystemet. Han publiserte sitt første periodesystem i 1869, der grunnstoffene var ordnet etter økende atomvekt og samtidig gruppert slik at grunnstoffer med lignende kjemiske egenskaper stod samlet. Mendelejev utviklet systemet i forbindelse med arbeidet med en lærebok i kjemi. I ettertid er hans suksess blitt forklart med at han hadde et tydelig grunnstoffbegrep og at han arbeidet fram en naturlov – en periodisk lov –

### Oppdagerne av periodesystemet på 1860-tallet

Britiske John Alexander Newlands og William Odling  
 Franske Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois  
 Amerikanske Gustavus Detlev Hinrichs  
 Tyske (Julius) Lothar Meyer  
 Russiske Dmitrij Mendelejev

## GRUNNSTOFFENE

som kunne brukes til ikke bare å beskrive, men også forutsi framtidige funn. Det tok ham hele ni år å modne fram en periodisk lov, fra kjemikongressen i 1860 og til han publiserte sitt første system i 1869. Å hevde at han kom fram til periodisiteten gjennom en plutselig eureka-opplevelse, er derfor feil. I stedet var det langvarig prøving og feiling kombinert med mer filosofiske funderinger over orden i naturen som førte til formuleringen av den periodiske lov. Denne naturloven gjorde periodesystemet til mer enn et uttrykk for empiriske regelmessigheter – loven satte naturen i system og dannet grunnlag for framtidige funn.

### Grunnstoffene

Hvor robust var egentlig periodesystemet som Mendelejev og hans samtidige utviklet? Det er forskjell på å lage et system som passer for 63 grunnstoffer, og å få systemet til å passe for 92 eller 118 grunnstoffer. Noen av de mange representasjonene som ble laget i tiden etter 1870 er eksempler på hvordan nye grunnstoffer og grunnstoffgrupper ble forsøkt tilpasset til det eksisterende systemet. For at alle grunnstoffer skulle kunne plasseres sammen med grunnstoffer med lignende kjemiske egenskaper, lot flere av grunnstoffoppdagerne plasser i periodesystemet stå tomme (se bilde av Mendelejvs system fra 1871). Disse plassene var reservert for grunnstoffer som ennå ikke var oppdaget. Mendelejev beskrev egenskapene til mange av de den gang ukjente grunnstoffene, og da de første av disse grunnstoffene ble oppdaget, viste Mendelejvs beskrivelser å stemme godt. Noen forutsigelser slo imidlertid aldri til. At kjente oppdagelser også kan være ledsaget av feilskjær, kan lære oss noe om hvordan naturvitenskapelig forskning foregår: Forskningsprosesser er sjeldent «rettlinjede» veier til suksess.

Oppdagelsen av grunnstoffer var i stor grad lagarbeid, og mange kvinner var involvert i oppdagelsen av flere av grunnstoffene (se tabell til høyre). Også grunnstoffer det ikke var satt av plass til i periodesystemet, ble etter hvert identifisert. Edelgassene, som ble oppdaget på 1890-tallet, visste man ikke hvor man skulle plassere, og i begynnelsen skapte disse nye grunnstoffene usikkerhet om periodesystemet. Ville systemet fortsatt holde stand om man skulle legge til grunnstoffer og dermed forskyve plasseringen i bestemte grupper? Løsningen ble å sette av en helt ny gruppe til disse grunnstoffene. Oppdagelsen av radioaktivitet på omtrent samme tid skapte en ny utfordring. Når atomer av et grunnstoff avga stråling, ble det dannet atomer av et annet grunnstoff. Var atomvekten til dette grunnstoffet unik, tenkte forskerne at et helt nytt grunnstoff

Tabell II.

Reihen	Gruppe I.		Gruppe II.		Gruppe III.		Gruppe IV.		Gruppe V.		Gruppe VI.		Gruppe VII.		Gruppe VIII.	
	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
1	H=1															
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19									
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5									
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.								
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80									
6	Kb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.								
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Su=118	Sb=122	Te=125	J=127									
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.								
9	(—)	—	—	—	—	—	—									
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

der chemischen Elemente

**Mendelejvs periodesystem fra 1871, der gruppene av grunnstoffer er organisert etter hvilke oksider de danner. Strekene i tabellen står for ennå ikke oppdagede grunnstoffer. Illustrasjon: Wikimedia commons**

var oppdaget. Problemet var at mer enn 30 slike «grunnstoffer» ble oppdaget. Disse var det ikke satt av plass til i periodesystemet. Frederick Soddy introduserte i 1913 begrepet *isotop*, som betyr *samme plass* – i periodesystemet. Isotopbegrepet satte hele definisjonen av grunnstoff på spill. Hva definerte et grunnstoff, om det ikke var atomvekten?

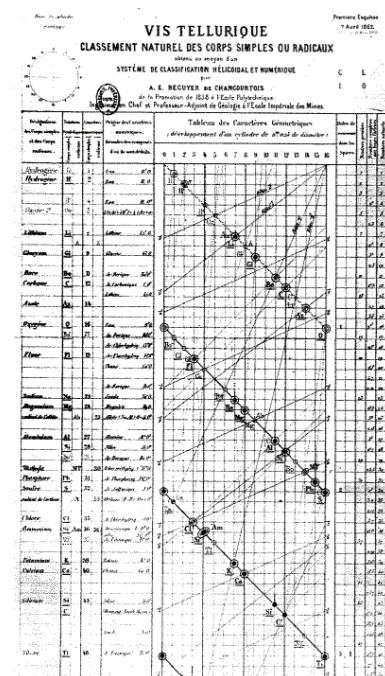
Oppdager(e)	Grunnstoff(er)	Årstall
Ellen Swallow Richards	De første beskrivelsene av et uløselig bunnfall som få år senere ble identifisert som samarium og gadolinium	1875
Marie og Pierre Curie	Polonium og radium	1898
Harriet Brooks og Ernest Rutherford	De første beskrivelsene av gassen som senere ble kalt radon	1901
Lise Meitner og Otto Hahn	Protactinium	1918
Ida og Walter Noddack	Rhenium	1925
Marguerite Perey	Francium	1939
Berta Karlik og Traude Bernert	Naturlig forekommende isotoper av astat	1943

**Noen kvinner som har bidratt i oppdagelsen av grunnstoffer.**

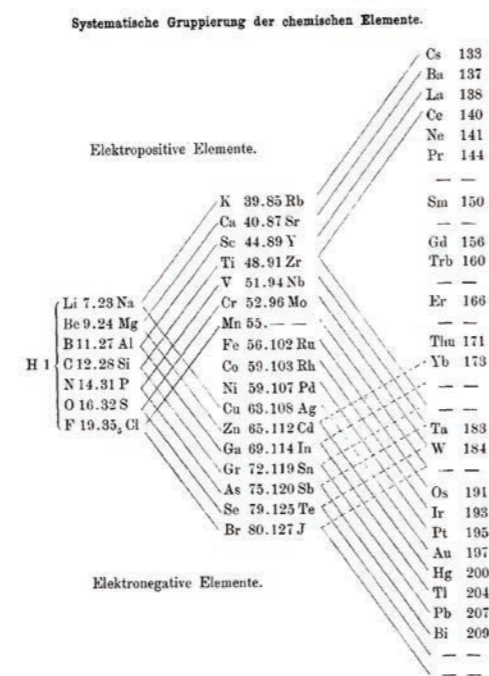
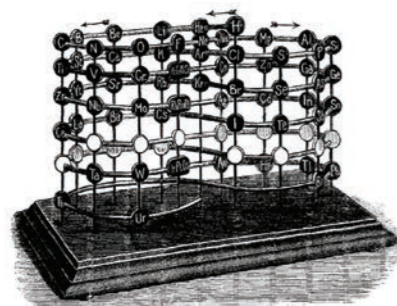
# GRUNNSTOFFENE

## Ulike representasjoner av periodesystemet

Periodesystemet vi kjenner i dag er en tabell. Flere av de tidligste periodesystemene var også tabeller, men ikke alle. Fra 1870-tallet og i mange tiår framover skulle periodesystemet få mange ulike former. Målet var å finne den optimale måten å illustrere periodisiteten på.



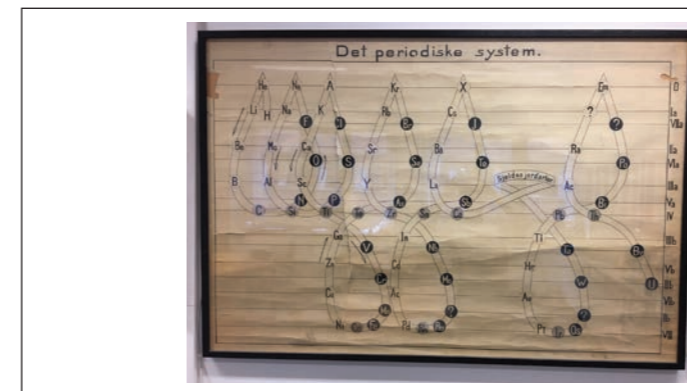
Den franske mineralogen Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois sitt system fra 1862 var formet som en spiral, der grunnstoffer med lignende kjemiske egenskaper var på samme vertikale linje. Illustrasjon: Wikimedia commons.



Den danske kjemikeren Julius Thomsen laget i 1895 et pyramide-lignende periodesystem. Grunnstoffene var ordnet etter økende atomvekt og plassert på en skala fra «elektropositiv» til «elektronegativ». Fra Thomsens artikkel i Zeitschrift für Anorganische Chemie (1895), side 192.

Tredimensjonal modell av periodesystemet fra 1898 av den britiske fysikeren og kjemikeren Sir William Crookes som bygget sitt system på ideen om at alle grunnstoffer var laget av urstoffet hydrogen. Spiralen presenterte grunnstoffene etter økende atomvekt, altså rekkefølgen i «skapelsen», samtidig som grunnstoffer som hadde lignende egenskaper ble plassert under hverandre. Fra Crookes artikkel i Zeitschrift für Anorganische Chemie (1898), side 73.

# GRUNNSTOFFENE



I 1911 presenterte den britiske kjemikeren Frederick Soddy et spiralformet periodesystem. Hver periode starter fra toppen og følger kurven mot venstre. Familier (grupper) av grunnstoffer med lignende kjemiske egenskaper finnes igjen langs horisontale linjer. Bildet viser en norsk utgave av Soddys system som trolig ble tilpasset av den norske radiokjemikeren og professoren Ellen Gleditsch. Foto: Bjørn Pedersen

## Atomvitenskapen og nye tider

Da periodesystemet ble utviklet på 1860-tallet, var elektroner, protoner og nøytroner ennå ikke oppdaget. Faktisk var ikke en gang alle overbevist om at atomene fantes, og Mendelejev var blant dem. Oppdagelsen av elektronet (1897), protonet (ca. 1919) og nøytronet (så sent som i 1932) kom til å endre synet på atomer. Men det var først med Niels Bohr og atomteorien hans på 1920-tallet at periodesystemet ble tolket på nytt i lys av ny kunnskap. Hvordan elektronene ble fordelt i atomet ble viktig for beskrivelsen av de enkelte grunnstoffene. Den nye fysikken bidro dermed til å bekrefte systemet Mendelejev og hans samtidige utviklet femti år tidligere med utgangspunkt i atomvekter. På 1920-tallet ble også atomnummer, som representerte antall positive ladninger i atomkjernen, tatt i bruk for å definere grunnstoffene og gi dem sin rette plass i periodesystemet, som erstatning for atomvekter. Den britiske fysikeren Henry Moseley var sentral i dette arbeidet. Han viste at det var en sammenheng mellom antall protoner i atomkjernen og den røntgenstrålingen atomet sender ut når det blir tilført energi. Hvert atom hadde sitt unike røntgenspekter.

Fra 1940-tallet har vitenskapsfolk laget nye kunstige grunnstoffer. Foreløpig kjenner vi til 118 grunnstoffer, men det er neppe enden på periodesystemet. I kjerneprosesser satt i gang i gedigne partikkelakseleratorer, dannes enkeltkjerener av nye såkalt supertunge grunnstoffer som har levetid på en brøkdeler av et sekund. I disse prosessene studeres grunnstoffenes kjemi på atomnivå og det er mulig å komme fram til noen kjemiske egenskaper på denne måten. Periodesystemet har så langt hatt plass til alle nyoppdagede grunnstoffer – og det har blitt styrket av utviklingen av atomvitenskapen.

Takket være periodesystemet trenger ikke dagens skoleelever lære om ett og ett grunnstoff, men om sammenhengene mellom dem og hvordan noen egenskaper endrer seg fra en del av periodesystemet til en annen. Det geniale systemet som ble utviklet på 1860-tallet, brukes i dag aktivt i kjemiundervisningen og i lærebøker verden over. Ved å formidle at periodesystemet ikke er én manns verk og heller ikke bare én tabell, kan undervisningen bidra til å nyansere bildet av hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir til.

## Kilder

Bensaude-Vincent, Bernadette (1986). Mendeleev's Periodic System of Chemical Elements. *British Journal for the History of Science* 19, 3–17. [om Mendeleevs arbeid med en periodisk lov og om hans grunnstoffbegrep]  
 Gordin, Michael D. (2018). Paper Tools and Periodic Tables: Newlands and Mendeleev Draw Grids. *Ambix* 65, 30–51. [Om hvordan Mendeleev og Newlands eksperimenterte med penn og papir og kom fram til sine periodesystem]  
 Lykknes, Annette & Van Tiggelen, Brigitte (red.) (2019). *Women in Their Element. Selected Women's Contributions to the Periodic System*. Singapore: World Scientific.  
 Van Spronsen, J. W. (1969). *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years*. Amsterdam: Elsevier.

**2019 er periodesystemets år**  
 The International Year of the Periodic Table: [www.iypt2019.org](http://www.iypt2019.org)

Periodesystemets år ved NTNU:  
[www.ntnu.no/periodiske-system](http://www.ntnu.no/periodiske-system)





## GRUNNSTOFFENE

# Utrydningstruede grunnstoffer

**Elektronikk og halvlederteknologi finnes over alt omkring oss i form av for eksempel datamaskiner og mobiltelefoner. Grunnstoffene som trengs til denne elektronikken finnes imidlertid ikke i ubegrensede mengder. Kommer vi fortsatt til å ha tilgang på dem om 100 år?**

Strikker du en genser trenger du ull fra sauer, som igjen er avhengige av gress og vann. Siden jorden er så stor, tenker vi at vi alltid kan finne råmaterialene vi trenger, og de fleste økonomiske teorier er basert på ideen om at jordens ressurser er uendelige.

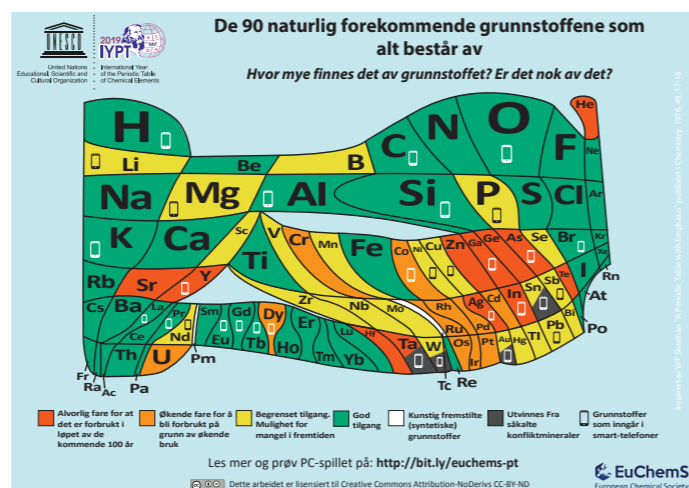
Til nå har vi alltid funnet nye kilder for råvarer, blant annet med hjelp av teknologisk utvikling, eller at vi har funnet materialer som har kunnet erstattet det opprinnelige. Da det for eksempel ble mangel på gjødsel i Europa på grunn av intensivt jordbruk, begynte man å importere guano (fugleskitt) fra andre land. Da de naturlige kildene for guano etter hvert også ble uttømt, løste man behovet ved nye kjemiske metoder for å framstille kunstgjødsel. Et annet, eldre eksempel er mangelen på råmateriale til å framstille bronse. Bronse består av kobber blandet med ulike metaller, i dag vanligvis tinn, men historisk sett også arsen. Kobber og arsen forekommer ofte sammen i mineraler, mens tinn er mer sjeldent og må hentes fra andre kilder. Bronse med tinn er altså et produkt som krever handel. Da det ble mangel på tinn på grunn av stopp i handelen, måtte man erstatte bronse med jern.

Noen materialer finnes det imidlertid ingen erstatninger for. Dagens teknologi er avhengig av grunnstoffer som det fantes lite av på jorda allerede fra starten av. Noen av disse grunnstoffene finnes i så små konsentrasjoner at det snart ikke vil være økonomisk eller fysisk/kjemisk mulig å utvinne dem.

### Utrydningstruede grunnstoffer

Når vi snakker om at grunnstoffer er utrydningstruede, betyr det ikke det samme som at de kan dø ut i likhet med dronten eller

vandreduen. I stedet handler det om at vi ikke kommer til å ha tilgang til dem lenger. Kriteriet for å regnes som et utrydningstruet grunnstoff er knyttet både til tilgang og etterspørsel. Noen grunnstoffer er det stor etterspørsel etter, men også så stor tilgang til at vi aldri kommer til å gå tom. Dette gjelder for eksempel grunnstoffer som jern, silisium og aluminium. Andre, som cesium og cerium, er det så liten etterspørsel etter at tilgangen vil være tilstrekkelig selv om de finnes i små forekomster. Det er altså grunnstoffer som har stor etterspørsel og liten tilgang som regnes som utrydningstruede, og disse grunnstoffene finner vi for eksempel i elektroniske produkter og i biler.



Grunnstoffene og hvor mye det finnes av dem på jorda. Illustrasjon: European Chemical Society, CC-BY-ND

## GRUNNSTOFFENE

### Elektronikk

Mange tror at silisium er det eneste som brukes i elektronikk, men elektronikk er avhengig av en rekke grunnstoffer, som blant annet germanium, gallium og arsen. Alle disse er sjeldne, og vi kjenner til få kjente forekomster. Andre grunnstoffer som har begrenset tilgang er gull og sølv som blir brukt i kontakter, og kobolt som blir brukt i batterier.

I pc- og tv-skjermer brukes for eksempel europium, terbium og dysprosium for å få fram ulike farger. Disse er ikke så sjeldne, men finnes bare et fåtalls steder på jorden, med Kina som den største råvareprodusenten. I touch-skjermer trengs det et gjennomsiktig materiale som samtidig kan lede strøm. Dette får vi med indium-tinn-oksid, som også brukes i solceller. Indium er også sjeldent og med en akselererende etterspørsel er det stor risiko for at tilgangen tar slutt innen 100 år. Forskere arbeider for å finne erstatninger, uten å ha lykkes ennå.

### Transport

Vi er også avhengige av sjeldne metaller til transport. Vi tenker ofte at biler er laget av jern eller aluminium, men det er ganske mange andre grunnstoffer involvert. Mange av disse er de samme som finnes i mobiltelefoner, mens andre er særegne for bilen. I bensinbiler sitter det katalysatorer som er laget av sjeldne metal-

ler som platina, rhodium og nikkel. Elektriske biler er avhengig av grunnstoffet litium som brukes i batteriet. Selv om litium er relativt vanlig i jordskorpen og havet, kan økt bruk medføre at vi ikke kommer til å ha stor nok tilgang i framtiden. Litium er i tillegg ganske kostbart å utvinne, og forskere jobber med å finne et billigere alternativ.

### Helium

Det finnes mange muligheter til å erstatte et grunnstoff med et annet, men i noen tilfeller har man ingen alternativer. Helium er en edelgass som mange forbinder med ballonger, men først og fremst er det viktig (i flytende form) for å kunne kjøle ned magneter som behøves i MR-tomografi. Ettersom helium er en edelgass, reagerer den ikke i særlig grad med andre grunnstoffer, den forsvinner i stedet ut i atmosfæren hvor det ikke er mulig å utvinne den fra. Helium finnes imidlertid i veldig små mengder i visse gass- og oljeforekomster og utvinnes som et restprodukt i produksjonsprosessen. Men heliuminnholdet varierer, så ikke alle gass- og oljeforekomster kan utnyttes for utvinning. Helium dannes også gjennom radioaktiv omdanning der alfapartikler avgis, men konsentrasjonen er så lav at det ikke er mulig å utvinne. Dette gjør helium til ett av de mest utrydningstruede grunnstoffene vi har, og vi opplever allerede i dag mangel på helium. Det finnes dessverre ingen gode alternativer i dag.

### Hva kan vi gjøre

Selv om det ser dystert ut, er det mulig å gjøre noe. Vi kan stille oss spørsmålet om det er nødvendig å skaffe seg en ny smarttelefon hvert år, eller om vi må ha en ny bil. Vi kan også gjenvinne mye. På samme måte som vi i dag har gjenvinning for glass, papir og aluminium, burde vi også ha gjenvinning av viktige metaller fra elektroniske produkter. I dag er gjenvinningsgrad for sølv, kobber og bly på rundt henholdsvis 50 %, 50 % og 75 %. Ser vi på metaller i smarttelefoner har gull en gjenvinningsgrad på 20 %, tantal 1 % og nikkel 34 % totalt sett. Så vi kan bli flinkere til å gjenvinne disse stoffene.

Om vi finner løsninger for å hindre framtidige kriser, vet vi ikke i dag. Derfor er det viktig å ha kunnskap om hvilke grunnstoffer som finnes, hva de brukes til og hvordan vi kan gjenvinne så mye som mulig.



Illustrasjon av grunnstoffer i mobiltelefoner fra NGU-heftet *Grunnstoffer til frukost* ([www.ngu.no/emne/grunnstoffene-og-periode-systemet](http://www.ngu.no/emne/grunnstoffene-og-periode-systemet)). Faksimile etter avtale: Norges geologiske undersøkelse

## ENERGI SOM DRIVKRAFT

# Energi, evolusjon og liv

**På sikt går alt mot uorden og oppløsning, så sant det ikke tilføres energi. Men hvis det er én ting som virkelig karakteriserer liv, så er det evnen til å kjempe i mot dette ubønhørlige forfallet.**

Livet opprinnelse, hvordan det enn foregikk, må ha skjedd ved stadig mer orden, mer kompleksitet og etterhvert utvikling mot mer avanserte livsformer. Orden er en også en sentral del i våre liv, og vi bruker mye energi på å skape orden omkring oss. Uorden assosieres med forfall også i våre daglige liv, kanskje er det derfor vi er så glade i struktur og symmetri i hus og hage. Forutsetningen for alt liv slik vi kjenner det på jorda er de store makromolekylene DNA, RNA og proteiner. Dannelsen av disse fra enklere forbindelser er ikke trivielt, men det å bruke energi i en eller annen form til å danne større, mer stabile strukturer er en slags evolusjonens naturlov fra molekyl til menneske.

Ved ett eller annet tidspunkt for mer enn 3,5 milliarder år siden ble kjemi til biologi, og en form for celle hadde oppstått. Dette har trolig vært en tidlig form for *arkea*. Dette er små, kjerneløse celler, ofte kalt arkeobakterier, selv om vi nå vet at de skiller seg mye fra ekte bakterier. Disse urcellene har, som alt annet liv, vært avhen-



Det krever energi å danne store makromolekyler som DNA. Foto: Arek Socha / pixabay.com

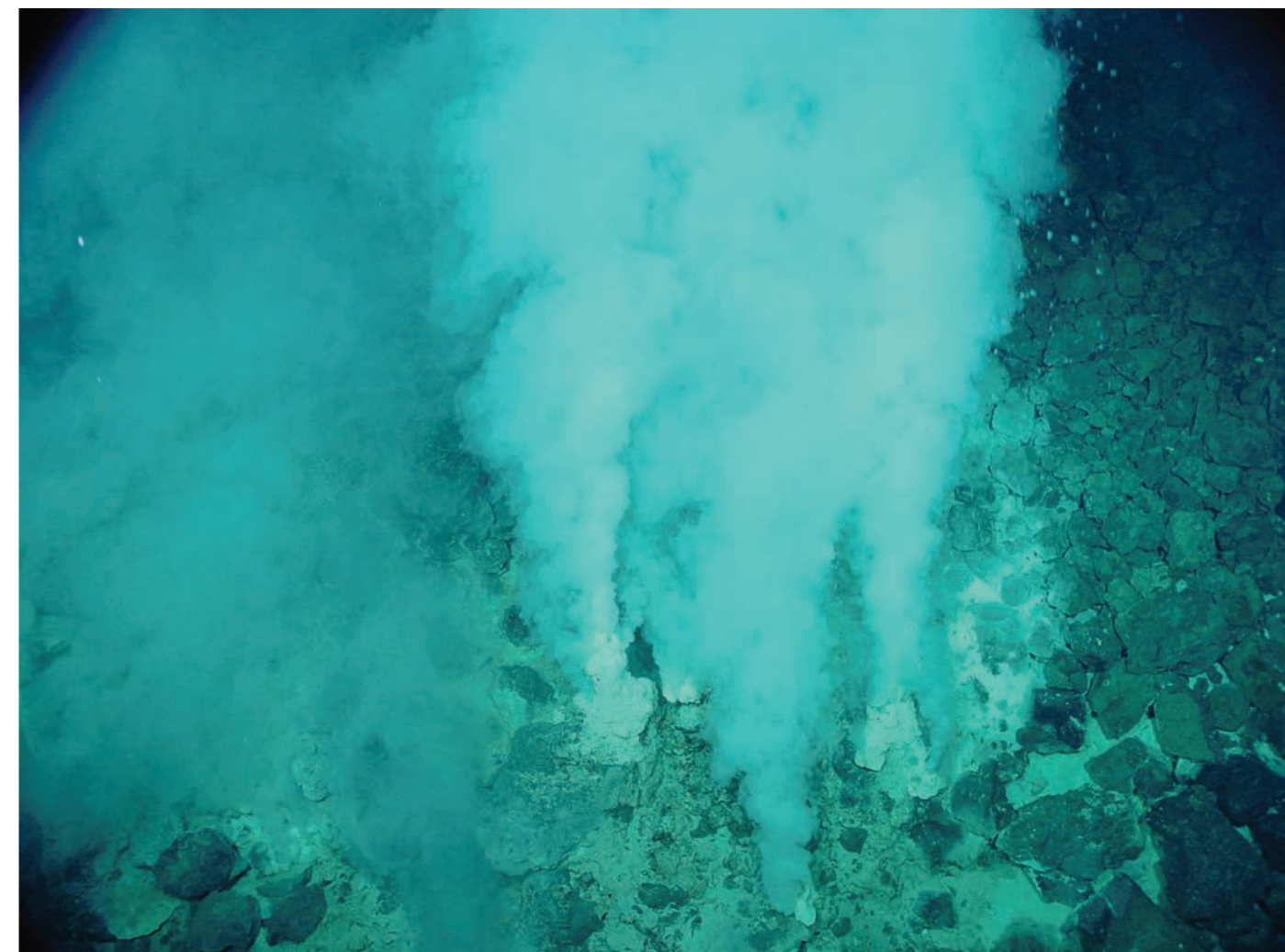


Foto: Utc

gig av energi for å vokse og dele seg – en annen sentral egenskap ved liv.

Dagens arker – for denne livsformen er fortsatt vanlig – har gjennom milliarder av års evolusjon, lært seg til å bruke et assortert utvalg av sære energikilder. De trives i leveområder «der ingen skulle tru at nokon kunne bu»: varme svovelpøler, saltsjøer, i oksygenfrie områder fra tarmer til havbunn, og i varme, mineralrike områder på havbunnen der undersjøiske «skorsteiner» spyr ut varme, gasser og mineraler som gir energi til arkene. De skaffer energien sin direkte fra uorganiske, kjemiske forbindelser og er dermed *kjemotrofe*. Disse blir igjen spist og gir energi til større livsformer og danner særegne økosystem der nede i dypet. Det er mulig dette minner om livets opprinnelse, der kjemisk energi, ikke sollys, var det som skulle til for å fyre opp livet. Og hva slags energi snakker vi om? Det kan være alt fra gasser (som metan og hydrogen), ammonium, metaller, organiske forbindelser – og veldig mye annet.

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Undersjøiske «skorsteiner» spyr ut gasser og mineraler. Foto: NOAA

Evolusjonen søker stadig nye veier å skaffe energi på, og solstrålingen er en endeløs energikilde. De første blågrønnbakterier som klarte å utnytte dette oppsto allerede for 3,5 milliarder år siden. Dette er «ekte» bakterier som driver fotosyntese, og de er utgangspunktet for kloroplastene – det grønne i alle planter. De er også utgangspunktet for at jorda etter hvert fikk en atmosfære med nok oksygen til å drive celleånding, den måten vi og nesten alle ikkeplanter skaffer oss energi på. Grovt sagt spiser vi de som skaffer seg energien sin selv, og denne energiprosessen bruker som kjent

O<sub>2</sub> og danner CO<sub>2</sub>. Disse to motsatte reaksjonene er i stor grad det som regulerer planetens CO<sub>2</sub>-nivå – og dermed klimaet.

Vi vet ikke om livet oppsto i havdypet eller «en varm liten dam» som Darwin så for seg, og vi vet heller ikke om det finnes helt andre livsformer der ute i verdensrommet. Kanskje det gjør det, og i så fall er det bare én ting vi kan si med sikkerhet om de – de vil være avhengig av energi.



## ENERGI SOM DRIVKRAFT

# Platetektonikkens drivkrefter

**Hvorfor beveger jordskorpa seg? Hvilken energi må til for å få flytte platene opp til 8 cm i året?**

Nitten tusen åtte hundre og åttito meter. Høydeforskjellen mellom jordens høyeste og laveste punkt er svimlende. Vi kan takke plate-tektonikken for både Marianegropens og Mount Everests fysiske attributter. To kolliderende kontinenter står bak verdens høyeste fjell, mens det dypeste punktet på jorden ligger i en subduksjons- sone, der to plater kolliderer og den ene tvinges ned under den andre. Fjellet og det dypeste punktet dannes altså i forskjellige om- råder når to plater kolliderer. Fjellet dannes i foldingssonen, mens det dype punktet dannes i subduksjonssonen (se figur på side 42). Jordens ekstremer viser i hvor stor grad de indre kreftene former overflaten. Men hva er det som driver jordplatenes bevegelser? Hvilke indre krefter står bak det store maskineriet?

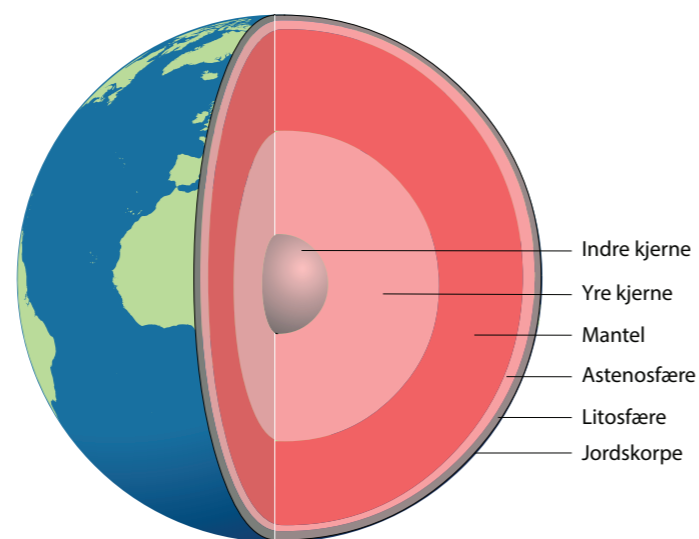
Kontinentaldrift var en hypotese som ble utviklet i 1910- og 1920-årene. Den gikk i korte trekk ut på at kontinental skorpe kan flyte og forflytte seg over en varm og tung mantel (se figuren). Etter hvert som alderen på havbunnen i Atlanterhavet ble kjent i 1960-årene, ble det klart at havbunnskorpene også forflytter seg sammen med kontinentene, og en ny teori, *platetektonikken*, ble til. Teorien forklarer hvordan verdenskartet har endret seg gjen- nom geologisk tid, og hvordan jordskjelv og vulkaner oppstår. Ho- vedkonklusjonen fra de tidlige studiene var at strømminger i man- telen driver platenes bevegelser. Denne måten å tenke om jorden er blitt endret de siste 15–20 årene.

### De livsviktige indre kreftene

Jorden er lagdelt, med en fast indre kjerne og en smeltet ytre kjer- ne, etterfulgt av mantelen og skorpen ytterst. Øverst i mantelen har vi astenosfæren og litosfæren. Jordskorpen utgjør den øverste delen av litosfæren. Strømmer i den ytre flytende kjernen, koblet med jordens rotasjon, skaper en dynamo-effekt og et magnetfelt som muliggjør en atmosfære – og dermed liv på jorden. Den ytre

kjernen består av smeltet jern og hastigheten på strømmingen kan være såpass høy som 20 kilometer i året. Uten magnetfeltet ville ikke jorden vært beskyttet mot strålingen fra verdensrommet. Da ville strålingen ha vært intens.

Mantelen er, i likhet med den ytre kjernen, i bevegelse. Strøm- ningen går mye saktere enn i kjernen, og mantelen består av berg- arter som ikke er smeltet. Men det høye trykket og temperaturen gjør bergartene myke og formelige. Platebevegelsene skjer ved at litosfæren beveger seg over astenosfæren, men hva er det som driver bevegelsene? Det er mye vi ikke vet, men hovedtrekkene er godt forstått.



Jorden er lagdelt. Illustrasjon: Wenche Erlie

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Vi kan takke platetektonikken for mektige Mount Everest. Foto: pixabay.com

Transporten av varme fra jordens indre er på omtrent 44 tera- watt (1 terawatt er det samme som 1000 milliarder watt). Av dette stammer 39 terawatt fra kjernen og mantelen – noe som driver platebevegelsene. Varmen kommer fra to hovedkilder som bidrar

like mye. Den ene kilden er varme som frigjøres ved at jorden av- kjøles. Den andre kilden er varme som produseres via radioaktiv nedbrytning av grunnstoffene uran, thorium og kalium.

### Jordmagnetisme

Den mest sannsynlige kilden til jordmagnetisme er elek- triske strømmer. Man mener at det skjer en dynamoprosess i Jordens kjerne, hvor det flyter elektrisk ledende masse i et kildefelt slik at det blir generert en elektrisk strøm. Denne strømmen setter opp et nytt magnetfelt, som igjen vekselvirker med massestrømmen slik at magnetfeltet forsterkes. Forutsetninger for denne mekanismen er at

man har et kildefelt, en elektrisk ledende, flytende masse og en mekanisme som gir en vridning i massestrømmen. I Jordens indre er alle disse betingelsene til stede. Drivkraften for strømmen er termisk oppvarming. Man trodde lenge at denne prosessen hentet sin energi fra kjernereaksjoner i Jordens indre. I dag mener man at energien kommer fra størkningsprosesser i den flytende kjernen.

# ENERGI SOM DRIVKRAFT

## Krefter som dytter

Når mantelen beveger seg som en følge av jordens indre varmeproduksjon, dannes store *konveksjonsstrømmer*. Jordskorpen dyttes fra hverandre og revner langs spredningsryggene. De horisontale platebevegelsene varierer mellom 1 og 9 centimeter i året. Raskest spredning finner vi langs plategrenser i Stillehavet. Spredningshastigheten langs den midt-atlantiske ryggen avtar mot nord og er under to centimeter i året i Polhavet.

## Krefter som drar

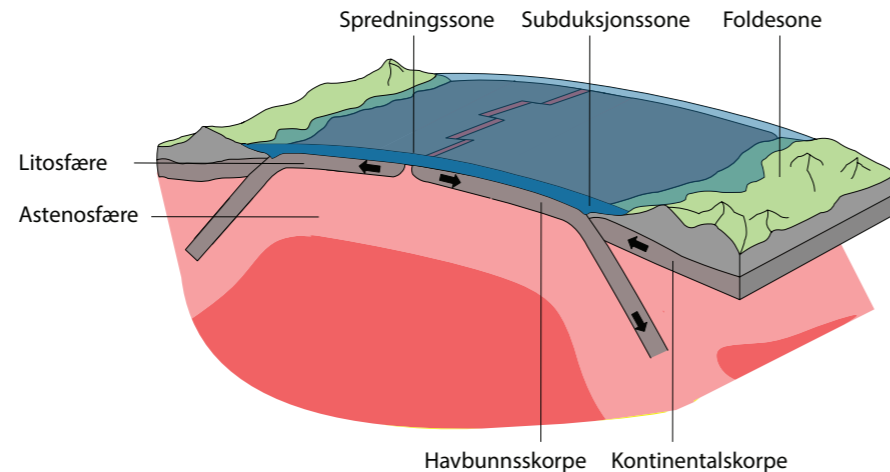
I *subduksjonssoner* synker kalde og tunge havbunnsplater nedover i mantelen. Slike soner finner vi mange steder på jorden, for eksempel under Andesfjellene og Indonesia. Det er særlig to prosesser i den synkende skorpen som er viktige for å forstå hvorfor platene synker. Det ene er at skorpen inneholder mye vann bundet opp i mineraler, som frigjøres etter hvert som temperaturen øker. Vannet stiger oppover mot den overliggende skorpen, som vil starte å smelte. Årsaken til smeltingen er at smeltepunktet til bergarter synker når vann er tilgjengelig. Resultatet er vulkaner langs subduksjonssonene.

Den andre prosessen er reaksjoner mellom mineraler etter hvert som trykk og temperatur øker i den kalde og synkende skorpen. Da øker bergartenes tetthet. Grunnen til dette er at et økende trykk gjør at mineraler med større tetthet (og mindre volum) blir mest stabile. Under omdanningen blir hver kubikkmeter av den synkende skorpen 200–400 kilo tyngre. Videre nedover i mantelen dannes mineraler med enda større tetthet, som til sammen gjør at hele platen blir dratt videre nedover. Rester av gamle subdusererte plater kan spores helt ned mot bunnen av mantelen.

### Konveksjonsstrøm

Konveksjonsstrøm er en bevegelse som kan tenkes å foregå i det seige materialet i Jordens mantel (ned til omkring 3000 km under overflaten) ved at de dypere deler av denne oppvarmes. Strømmene vil da stige oppover og rive med seg jordskorpen og sette den i bevegelse.

sni.no



I subduksjonssonen kommer havbunnskorpen under kontinentalskorpen, mens i spredningssonen går skorpene fra hverandre. Illustrasjon: Wenche Erlen

## Hva er viktigst?

I dag regnes subduksjonssoner som den viktigste motoren bak platetektonikken. Kraftene som dytter langs spredningsrygger er mindre viktige. Hvordan vet vi det? Målinger av hastigheten til platebevegelsene ligger til grunn for denne innsikten. Det viser seg at plater med lavest hastighet, for eksempel de store platene Eurasia, Nord-Amerika og Afrika, har få eller ingen subduksjonssoner langs kantene. Disse platene beveger seg med hastigheter mindre enn to centimeter i året. For platene som beveger seg med størst hastighet, opp til 6–8 cm i året, består 20–30 prosent av platenes omkrets av subduksjonssoner. Det viser viktigheten av draget fra subduserende plater. Det er ikke konveksjon i mantelen som drar platene, men subduksjon av kald skorpe som skaper konveksjon.

Takk til Reidar G. Trønnes og Trond H. Torsvik for diskusjoner om platetektonikk.

## Kilder

Bercovici, D. (2003) The generation of plate tectonics from mantle convection. *Earth and Planetary Science Letters* 205, pp. 107-121.  
 Conrad, C.P., and Lithgow-Bertelloni, C. (2002) How Mantle Slabs Drive Plate Tectonics. *Science* Vol. 298, Issue 5591, pp. 207-209, DOI: 10.1126/science.1074161.  
 Müller, R.D., Sdrolias, M., Gaina, C., and Roest, W.R. (2008) Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi.org/10.1029/2007GC001743.  
 Trønnes, R.G. og Torsvik, T.H. (2011) Jordas struktur, mineralogi og dynamikk. *Naturen* 6, s. 260-268.



Foto: CICERO

## ENERGI SOM DRIVKRAFT

# Energi – nøkkelen til klimaets kode

Klimaet på planeten vår er komplekst og fascinerende. Det varierer fra sted til sted, fra årstid til årstid, og det kan endre seg over tid. Noen ganger går endringene nesten umerkelig tregt, andre ganger så dramatisk og raskt at livet knapt rekker å henge med. Men hvilke prosesser former klimaet på jorden, slik at det blir som vi observerer det? Og hva er drivkreftene bak endringene?

Spørsmålene tilhører den naturvitenskapelige grenen av klimaforskning – et konglomerat av atmosfærestudier, oseanografi, astronomi, geologi, matematikk, statistikk og mye mer. Når forskere fra så mange felt skal samarbeide, trengs et felles språk. Noen felles konsepter og naturlover som alle kan enes om og bruke til å sammenligne resultatene sine.

Viktigst blant dem er energi. Denne lett forunderlige størrelsen kan ikke dukke opp eller forsvinne, men må være bevart i alle fysiske reaksjoner og lover – også i klimasystemet. Hvordan den flyter mellom solen, atmosfæren, havene og landjorden viser seg å kunne fortelle oss om alt fra regn og tørke, via orkaner og havstrømmer, til selve jordens temperatur. I denne artikkelen skal vi se at for arbeidet med å avdekke klimaets kode har energi blitt selve nøkkelen.

### Jordens energibudsjett

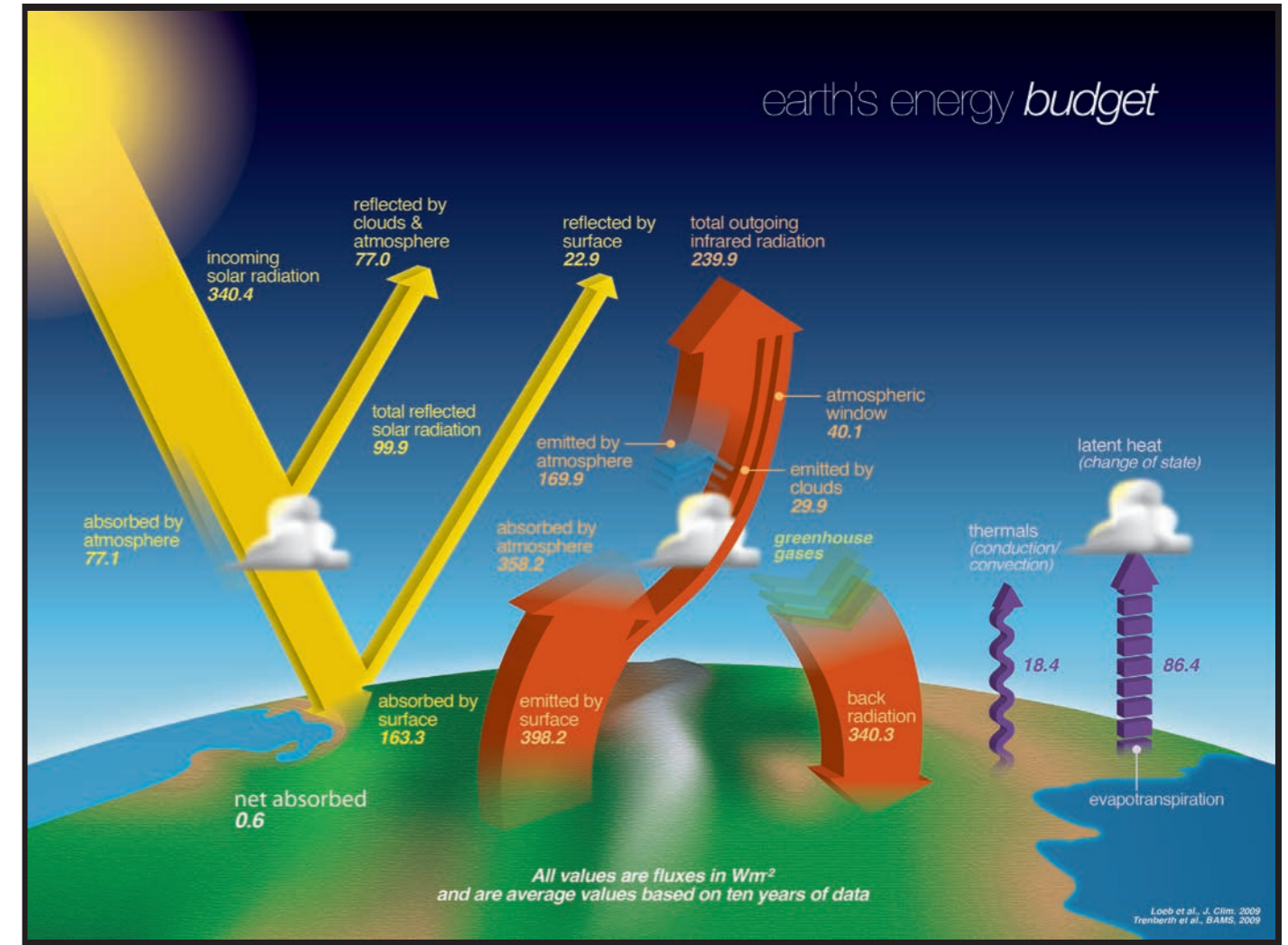
Det mest grunnleggende spørsmålet energien kan hjelpe oss med, er hvorfor jorden i det hele tatt er levelig. Ikke for varm, ikke for kald, og dessuten med såpass stabilt klima at vi kan etablere jordbruk, bygge byer og forvente å kunne bo trygt på samme sted over lang tid. Om vi i første omgang ser bort fra de siste hundre årene, forteller geologene oss at den gjennomsnittelige temperaturen har vært så og si konstant gjennom holocen-perioden, det vil si de rundt åtte tusen årene siden forrige istid. Av det kan vi igjen slutte noe veldig grunnleggende: Jorden som helhet må være i veldig god energibalans med verdensrommet. Budsjettet mellom energi inn og energi ut må gå i null, eller i hvert fall veldig nært.

Sett utenfra er planeten vår en blåvit kule svevende i tilnærmet perfekt vakuum. Den snurrer rundt sin egen akse, mens den følger en svakt elliptisk bane rundt en stjerne. Lyset fra solen, som er kortbølget elektromagnetisk stråling, varmer den halvkulen som har dagslys. Samtidig stråler hele planeten langbølget varmestråling tilbake til verdensrommet. Det stabile klimaet gjennom holocen-perioden viser at solstrålingen inn balanserer varmestrålingen ut, ellers ville jorden over tid blitt varmere eller kaldere. Den eneste antakelsen vi har gjort er at det ikke kommer nevneverdig med geoterm energi ut fra planetens indre, som også er noe geologene forteller oss. Denne balansen kan vi lære mye av.

Både solstrålingen inn og varmestrålingen ut kan vi måle med satellitter. Videre kan vi måle hvor mye av solens lys som reflekteres av skyer, snø og andre lyse områder. Men bruker vi det vi måler som utgangspunkt for en utregning med strålingsfysikk, finner vi raskt ut at noe mangler. Energibalansen tilsier at planeten burde vært like kald og frossen som månen, som jo får inn like mye solstråling per kvadratmeter som jorden.

Det vi ikke har tatt hensyn til er drivhuseffekten. Noen av gassene i atmosfæren – vanddamp, CO<sub>2</sub>, metan og noen andre – kan ta opp varmestrålingen fra bakken, og holde den igjen litt, slik klærne våre holder igjen kroppsvarmen. Varmestrålingen slipper først ut til verdensrommet ved noen kilometers høyde, hvor det i gjennomsnitt er nettopp så kaldt som den første, gale utregningen viste.

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Jordens energibudsjett, inkludert målinger av de viktigste strømmene av energi (regnet i watt per kvadratmeter, i gjennomsnitt over hele jordoverflaten og gjennom et helt år). Solenergi inn balanseres av varmestråling ut, og gir jorden sitt jevnt over stabile klima. De siste hundre årene har imidlertid drivhuseffekten blitt markant sterkere, og klimasystemet jobber fortsatt med å finne en ny likevekt; en hvor temperaturen ved overflaten vil være høyere enn før. Illustrasjon: NASA

Med en blanding av målinger og fysikk kan vi dermed beskrive et klimasystem i likevekt, der energi inn er i balanse med energi ut, og hvor drivhuseffekten er en kritisk del. Figuren over viser omtrentlige tall for de viktigste energistrømmene gjennom systemet.

Slik informasjon er i dag selve kjernen i forståelsen vår av klimaet. Alt vi finner ut om sirkulasjonen til hav og atmosfære, om regn og stormer, om kontrasten mellom hav og land og mellom ekvator og polene må være i tråd med den store, globale energibalansen.

# ENERGI SOM DRIVKRAFT

## Klimaendringer

Men i dag er ikke jorden lenger i energibalanse. Vi måler at temperaturen stiger, både ved overflaten og opp gjennom den lavere atmosfæren. Vi måler at isen smelter, både i breer og i de store massivene på Grønland og i Antarktis. Vi måler endringer i regn, vind, luftfuktighet og mye mer. Og felles for de målte endringene er at de krever energi, som igjen må komme fra et sted. Jakten på årsakene til dagens klimaendringer blir dermed en jakt på hvilke piler i energibalansen som har endret seg, og hvor mye. Så sentral er denne påvirkningen av balansen at den har fått et eget navn – strålingspådriv. Og når FNs klimapanel oppsummerer hvordan samfunnet vårt påvirker klimaet, har det tradisjonelt vært nettopp med et diagram over dette pådrivet.

La oss først se litt bakover i tid. For tyve tusen år siden, da forrige istid gikk mot slutten, var Norge dekket av is. Planeten som helhet var om lag fire grader kaldere enn i den senere holocen-perioden. Istiden varte lenge, så også her må energibalansen ha vært god, men den må ha vært annerledes enn i dag. Sola strålte om lag like sterkt da som nå, men jordens bane rundt sola var litt annerledes. Det var også planetens helningsvinkel. All isen gjorde at mye lys ble reflektert ut, og det kalde vannet trakk mye karbondioksid ned fra atmosfæren slik at drivhuseffekten ble svakere. Disse faktorene, og flere, var med på å bestemme energibalansen, og dermed også temperaturen.

Så, sakte, men sikkert, begynte klimasystemet å varmes. Det var i hovedsak endringer i jordens bane og helning som var drivkraften til at litt mer energi kom inn i systemet for hver dag som gikk. Et svakt strålingspådriv, men som over tid fikk mye til å skje. Isen smeltet, og havene ble varmere slik at mer CO<sub>2</sub> slapp tilbake til atmosfæren. Drivhuseffekten forsterket seg og temperaturen steg. Etter hvert våknet også mer av biosfæren til liv, og områder som Norge ble levende og fruktbare. Dermed bandt plantene i tur litt av det karbonet som var sluppet ut av havene. Til slutt, etter åtte tusen år med klimaendringer, etablerte det seg en ny energibalanse, og holocen-perioden begynte. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen hadde da steget fra rundt 180 til 280 ppm (parts per million).

Ved slutten av holocen finner vi de siste hundre årene, og dagens dramatiske endringer i hele klimasystemet. På denne korte tiden har jordens temperatur økt med om lag én grad, som er tyve ganger raskere enn veien ut av istiden (fire grader på åtte tusen år). Så

brå endringer er nødt til å komme fra tilsvarende brå endringer i energibalansen, så om vi vil forklare klimaendringene er det bare å lete.

## Energibalansen i dag

Mye har skjedd med energibalansen siden den industrielle revolusjon. Vi har hogget ned mørk skog og erstattet den med lysere jorder og byer. Mengden drøvtyggere vi holder til produksjon av melk, kjøtt og skinn har påvirket hvor mye metan det er i atmosfæren. Støv og andre partikler fra transport og industri har bidratt til å reflektere ut sollys og til å gjøre skyene hvitere. Naturlige faktorer som vulkaner, solens sykler og jordens bane har også bidratt, om enn bare litt. Men når vi setter tall på alle endringene i form av strålingspådriv, og sammenligner dem, er det en faktor som ender med å overskygge alt annet: Den forsterkede drivhuseffekten fra den økte mengden CO<sub>2</sub> i atmosfæren: en 45 % økning siden 1850, fra 280 til over 400 ppm, altså mer enn det dobbelte av endringen mellom istiden og holocen-perioden. Denne gangen sporer vi økningen direkte tilbake til vår bruk av fossile brensler.

Legg merke til hvordan vi nå har fortalt historien om klimaendringer både før og nå, ut fra samme perspektiv: Energi og jordens energibudsjett. Klimaforskere har ikke bare kommet frem til at global oppvarming skyldes brenning av olje, kull og gass. De har slått fast at dette er den eneste faktoren vi måler som kan forklare den mengden ekstra energi vi ser at lagres i klimasystemet. Slik sett er energi, og energibevaring, selve grunnlaget for at vi føler oss trygge på at vi nå vet både hva som skjer med planeten vår og hvorfor.

Når vi først har fått ideen om å relatere klimaendringene til endringen i energibalanse, kan vi også snu logikken på hodet. For hver endring vi vet om kan vi regne ut det teoretiske strålingspådrivet, og så kan vi summere all energien. Dette overskuddet, eller eventuelt underskuddet, må stemme sann noenlunde overens med hva som kreves for å forårsake de fysiske endringene vi måler.

Heldigvis gjør det det, men regnestykket gir en liten overraskelse: Hele 90 % av den ekstra energien går til å varme opp havene. Vi kjenner havoppvarmingen godt, fra et globalt nettverk med dykkende bøyer som måler temperaturen flere kilometer nedover. Vi kjenner også havnivåstigningen, både fra satellitter og fra mer direkte målinger. Og når vi legger sammen vannets termiske utvidelse på grunn av overskuddet i energibudsjettet, med ekstra

vann fra smelting av isbreer, Grønland og Antarktis, går også havnivåbudsjettet opp. Først når vi ser endringene under ett klarer vi å forklare alt vi måler. Alt i alt regner vi i dag de overordnede trekkene i klimaendringene som godt forstått, fra årsak og til global virkning. Og hele veien er det energi som er veiviseren.

## Arktis, nedbør og orkaner

Nytten klimafaget har av energi stanser imidlertid ikke der. Klimaendringene slår ikke likt ut over alt, og også på lokalt plan er energibaserte analyser nyttige.

Ett eksempel er hvorfor Arktis varmes raskere enn resten av planeten. En viktig faktor er at sjøisen blir mindre over tid, slik at mer energi enn før blir tatt opp i havet. En annen er hvordan energi transporteres på planeten. Solen stråler mest intenst på de store områdene rundt ekvator. Derfra går energien nordover via vind- og havsystemer, til den til slutt stråler ut ved polene. «Polar forsterkning» er et fenomen vi ser også i rekonstruksjoner av tidligere tiders klimaendringer, og noe vi forventer at fortsetter fremover, delvis på grunn av energibevaring.



Orkaner henter energien i varmt havvann og gjør den om til vind og intens nedbør. Foto: David Mark / pixabay.com

# ENERGI SOM DRIVKRAFT

Et annet, litt mer teknisk eksempel, er nedbør, og hvordan den påvirkes av global oppvarming. Varmere vær gir mer fordampning, fra både hav og land, og varm luft kan holde på mer vann enn kald. I tillegg påvirkes sirkulasjonen i atmosfæren, som igjen endrer dannelse av skyer og hvor lett de begynner å regne. For å forstå hvordan alt dette henger sammen lager vi oss et nytt energibudsjett, men denne gangen i en virtuell kolonne som strekker seg fra bakken og opp til over skyene. Hvis det regner i kolonnen, betyr det at det dannes dråper, og det frigir energi. Samtidig går det solstråling inn og varmestråling ut, og temperaturen kan endres (såkalt følbar varme). Slår vi sammen alt dette, og tar vi hensyn til at hver slik usynlig kolonne også kan sende energi over til naboene, får vi et energirammeverk for å forstå hvordan drivhusgasser, solstråling og støv i atmosfæren hver for seg kan påvirke nedbøren. Slik er energi med oss også ned i de dypere detaljene av klimaforskning og geofag.

Et siste eksempel er hva vi forventer at skal skje med tropiske orkaner når klimaet blir varmere. Orkaner er i bunn og grunn bare veldig effektive varmemaskiner, som henter energien i varmt havvann og gjør den om til vind og intens nedbør. Klimaendringene gjør hav og luft varmere, og det betyr mer energi tilgjengelig for stormen. I regnestykket som lar oss forutsi hvor sterke stormene blir, er det i praksis bare energien som rår, og når det blir mer av den kan vi også forvente at ødeleggelsene blir større når vær-systemene når land. Enn så lenge er dette en hypotese, siden det er få tropiske orkaner hvert år og forskere trenger lang tid for å slå fast om noe endrer seg. Energiforståelsen er likevel robust nok til at mange klimaforskere advarer folk og myndigheter i strøk som er utsatt for tropiske orkaner.

Oppvarming, nedbør, orkaner, tørke, vind og havstrømmer. Sol, is, skyer og drivhuseffekt og mye mer. Det er ikke enkelt å forstå klimaendringene. Jorden er kompleks, og mange faktorer endrer seg nå på en gang. Heldigvis har vi grunnleggende naturlover som hjelper oss med å rydde litt i kaoset, og blant dem er bevaring av energi den aller mest sentrale. Enten det gjelder å forstå istidene eller dagens raske endringer, å forske på nedbør eller anslå hvor intense hetebølger vi vil få i fremtiden: Energibegrepet gjennom-syrer så å si alt av naturvitenskapelig forskning på jordens klima, på hvordan klimaet endres og på hva vi venter at vil skje i årene som kommer.





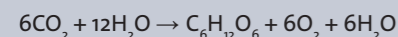
## ENERGI SOM DRIVKRAFT

# Hvor kommer maten fra?

**Magen rumler, og kroppen føles treg og slapp. Du finner deg kjapt en banan å spise for å stille sulten. Alle vet instinktivt at man må spise mat for å holde kroppen i gang. Men hva er egentlig mat? Bananen må jo ha blitt laget et sted!**

For å skrive historien om hvor maten vår kommer fra må vi starte med sola. Livet på jorda er helt avhengig av strålingen fra denne store stjernen vi kretser rundt. Energien fra solstrålene gir oss ikke bare et levelig klima, men det er denne energien som driver fotosyntesen. Fotosyntesen er en prosess som foregår i organismer som planter og alger, hvor energi fra sola omdannes til kjemisk energi og det blir dannet organiske forbindelser. Det er nettopp fotosyntesen som direkte eller indirekte gir oss både bananer og all annen mat på bordet.

Den balanserte ligningen viser at oksygen kommer fra spaltningen av vann, og ikke fra CO<sub>2</sub>-molekylet som mange tror. Druesukker (glukose) brukes oftest som eksempel på et organisk sluttprodukt, men vit at andre organiske forbindelser også kan dannes.



### Sola

Stråler fra sola er helt nødvendig for å kunne drive fotosyntese. Hver dag treffer enorme mengder stråling fra sola jorda vår (ca. 1022 joules). Dette tilsvarer en energimengde som kunne ha opprettholdt menneskehetens totale energibehov i 19 år. Men livet på jorda får ikke utnyttet all denne energien siden rundt 50 % av solstrålingen blir absorbert, spredt eller reflektert vekk av skyer og støvpartikler i atmosfæren. Videre treffer ikke den resterende strålingen bare fotosyntetiserende organismer, men også annet

materiale som is og stein. Og av strålingen som treffer fotosyntetiserende organismer er det kun spesifikke bølgelengder som kan utnyttes i fotosyntesen. Dette resulterer i at bare 1 % av det synlige lyset som faktisk treffer fotosyntetiserende organismer omdannes til kjemisk energi og organisk materiale vi potensielt kan spise. Allikevel produserer planter og alger rundt 150 milliarder tonn organisk materiale hvert år.

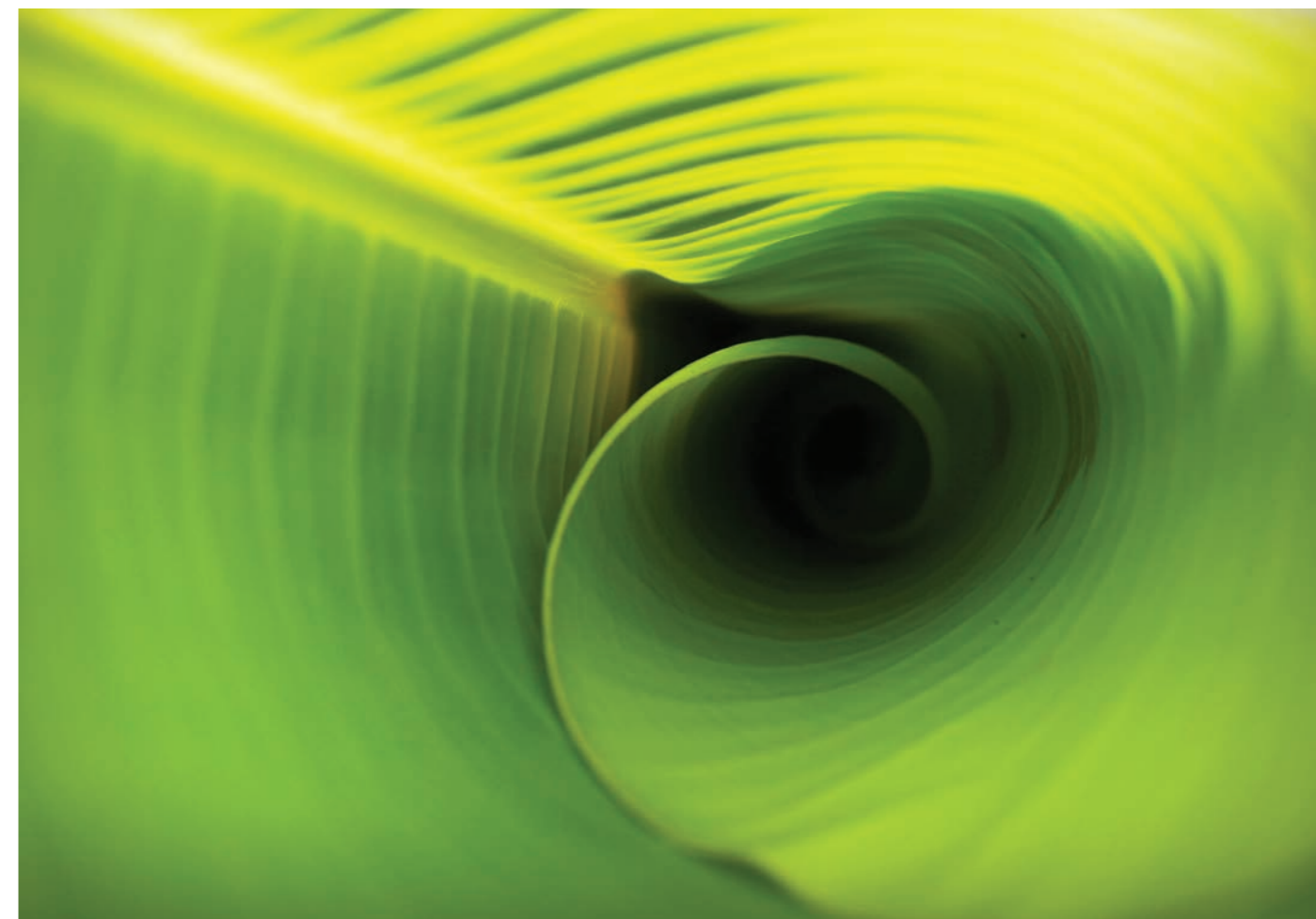
### Hvordan driver energi fra sola fotosyntesen?

Planter er organismer som driver med fotosyntese og er avhengige av at solstråler treffer dem. Planter omgjør nemlig solenergi til kjemisk energi og danner energirike organiske forbindelser som fungerer som mat til planten. Planter er derfor et eksempel på en produsent, da de kan produsere maten sin helt selv. Men hvordan klarer de dette?

De grønne delene av plantene har pigmenter som absorberer stråling fra sola. Disse pigmentene er hovedsakelig klorofyll, men det er også flere hjelpepigmenter til stede. Å ha flere pigmenttyper utvider spennet av bølgelengder planten kan utnytte. Bølgelengder i det blålige og røde spekteret av synlig lys (hhv. 400–500 nm og 600–700 nm) blir absorbert og utnyttet, mens bølgelengder i det grønne spekteret (500–600 nm) reflekteres bort. Dette er årsaken til at vi ser blader og stengler hos planter som grønne.

Selve fotosynteseprosessen deles i to trinn: fotodelen og syntesedelen. I fotodelen fanger de nevnte pigmentene opp solstråler og gjennom mange trinn omdannes dette til kjemisk energi i form av energibærere (ATP og NADPH). I fotodelen omdannes altså solen-

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Planter er organismer som driver med fotosyntese og er avhengig av at solstråler treffer dem. Foto: 41330 / pixabay.com

ergi til kjemisk energi. Disse energibærerne blir deretter brukt som energikilde i syntesedelen for å bygge opp sukkerforbindelser. Her bygges det nemlig opp sukker av karbon, hvor karbonet er hentet fra CO<sub>2</sub> i lufta. Avhengig av hvordan disse sukkerforbindelsene bygges opp og settes sammen dannes det for eksempel store karbohydrater som stivelse og cellulose.

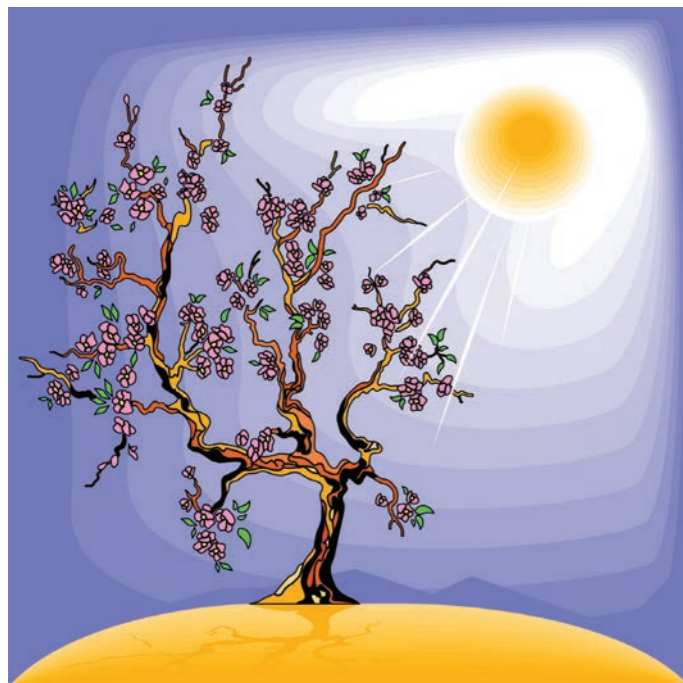
Planten har nå produsert sin egen mat fra energien hentet fra sola og karbon fra lufta. Maten kan da brytes ned og brukes som en energikilde for å holde alle plantens livsviktige prosesser i gang. Denne nedbrytingen kaller vi celleånding.

### Vi får maten fra plantene

Vi mennesker kan ikke lage maten vår selv. Vi er nemlig helt avhengige av at produsenter får utnyttet solenergi til å produsere sin mat, slik at vi kan spise produsenter direkte eller indirekte og på denne måten få i oss næring.

Noe av energien planten får fra maten sin brukes til å bygge egen biomasse. For eksempel lagrer planten overskuddsmat som stivelse i egne lagringsorganer som knoller, røtter og frø. Disse lagringsorganene er det vi kjenner på matbordet som blant annet poteter, gulrøtter, sellerirot, gresskarkjerner og quinoa. Plantene bruker

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Plantene får energi fra sola til å lage energirike forbindelser. Foto: OpenClipart-Vectors / pixabay.com

også en del av sukkeret de produserer til å danne frukt og bær. Frukt og bær er en tilpasning hos planten for å kunne spre avkommet sitt lenger unna morplanten. Dyr fristes av den søte frukten eller bæret med frø inni, frukten blir spist, og frøene som ikke kan fordøyes blir spredd via dyrets avføring. Denne tilpasningen har gitt oss deilige, søte matvarer som jordbær, appelsiner, bananer, tomater og kiwi.

Når vi spiser poteter, spiser vi altså av opplagsnæringen til potetplanten. Og når vi spiser banan, spiser vi bæret til bananplanten. Planten har masse energirike forbindelser lagret i disse delene og energien fra denne næringen høster vi ved celleånding. Da får vi frigjort energi til å drive våre egne celleprosesser som energikrevende transport av stoffer gjennom cellemembraner, blodsirkulasjon, vekst, bevegelse og bygging av andre forbindelser, som proteiner.

Men hva med oss som spiser kjøtt? Ikke alle spiser utelukkende planter, og kjøtt må jo også ha blitt laget et sted. I en næringskjede

kaller vi de som spiser produsenter førsteforbrukere. De som spiser førsteforbrukere er andreforbrukere, og slik har vi forbrukere utover i næringskjeden til vi ender med en toppredator. Kjøttetere spiser altså forbrukere som er ett eller flere ledd ut i næringskjeden.

Hvis vi spiser en hjortestek til middag, spiser vi i praksis en førsteforbruker siden hjort bare spiser planter. Hjorten har blant annet brukt energien den har fått gjennom plantekosten sin til å bygge egen biomasse i form av muskler. Disse musklene er hjortesteken på fatet vårt, som vi igjen får frigjort energi fra for å bygge egne muskler og til å drive de andre prosessene i kroppen vår. Vi kan derfor si at kjøttetere får energi indirekte fra produsentene, og at uten sollys og produsenter hadde vi ikke engang hatt kjøtt.

### Energien kan ikke resirkuleres!

Karbon er et viktig grunnstoff i fotosyntese og celleånding. CO<sub>2</sub> fra luften fanges som nevnt opp og brukes til å bygge opp organiske forbindelser i fotosyntesen, mens CO<sub>2</sub> frigjøres til omgivelsene i celleåndingen. Karbon følger dermed et typisk stoffkretsloop hvor karbonet i prinsippet kan resirkuleres i en evig syklus. Men solenergi som kommer inn i økosystemer og omdannes til kjemisk energi av planter kan ikke resirkuleres på denne måten. Når energien fra sola strømmer gjennom næringskjeden fra en produsent til en førsteforbruker og videre til en andreforbruker, vil mesteparten av energien som en organisme får gjennom maten gå over til andre energiformer. Det er bare en liten andel som blir lagret som kjemisk energi i organismen og kan overføres til neste ledd i næringskjeden. Mye av energien slipper nemlig ut av næringskjeden i form av varme. Energi kan som kjent aldri skapes eller bli borte, men varmeenergi er en form for energi som i mindre grad kan brukes til arbeid. I vårt tilfelle kan ikke denne varmeenergien absorberes av pigmentene i fotodelen og gjenbrukes i fotosyntesen, og den er derfor utilgjengelig for å danne mer mat.

Vi er altså helt avhengige av en konstant tilstrømning av solstråler for at vi og alle andre levende organismer skal få mat i kroppen. Heldigvis skal sola brenne i noen milliarder år til!

### Fotosynteseforsøk

Les om fotosynteseforsøk på [naturfag.no/fotosynteseforsok](http://naturfag.no/fotosynteseforsok)



Foto: jarekgrafik / pixabay.com

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



# Energi og materie i kroppen

Celline står på startstreken til New York City Marathon. Kva skjer i kroppen hennar på veg frå start til mål?



Foto: alex4663 / pixabay.com

Sola skin, dei elektromagnetiske strålane treffer huda hennar og varmar ho opp. Startpistol-en går av, og lydbølgene treffer øyra hennar. Dei får trommehinna til å bevege seg. Via knoklane i mellomøyret blir bølger sende innover i væska inne i det indre øyret hennar. Her får ulike frekvensar ulike delar av membranen til å bevege seg og sette bestemte hårceller i bevegelse. Hårcellene gjer denne mekaniske energien om til elektriske signal som blir sende til hjernen. Og Celline skjønner at løpet er i gang.

Hjernen sender elektriske signal til muskelcellene i beina hennar. Det krevst energi for at muskelfilamenta i muskelcellene skal forskyve seg i forhold til kvarandre, slik at musklane kan trekke seg saman. Korleis får musklane energi til å gjere dette arbeidet? Jo, det ligg små nistepakker i form av ATP-molekyl i cellene. Men kvar kjem energien i ATP-molekyla frå?

Magen begynner å rumle, og Celline tenker tilbake på når ho åt sist. Ho har planlagt kosthaldet sitt nøye den siste tida og forsøkt å finne den riktige kosthaldsbalansen før løpet. Både fett og karbohydrat gir energi, men karbohydrat gir raskare tilgang på energi. Fett har derfor vike for karbohydrat dei to siste dagane. Den per-

sonlege trenaren hennar, Muskulus, har presisert at det er veldig viktig at ho fyller på med nok karbohydrat slik at musklane har noko å gå på under sjølve løpet.

Karbohydrata har si eiga reise gjennom kroppen, og må gjennom mange stasjonar før energi kan bli utnytta av musklane. Karbohydrata startar reisa si i munnen og svelget, deretter matrøyret og magen, før dei når tynntarmen. Under reisa blir karbohydrata til mindre molekyl. Eitt av dei er druesukker eller glukose som vi også kallar det, som blir tatt opp i tynntarmen. Her fortset glukose reisa gjennom blodet og stoppar i levera. Levera fungerer som ei vakt som styrer nivået av glukose i blodet. Dersom kroppen har nok glukose, kan levera og musklane lagre glukose i form av glykogen til seinare bruk. Glukose er eit unikt og viktig molekyl som kan bli bruka som energi av alle cellene i kroppen, slik at dei får utført ulike oppgaver, som for eksempel samantrekking av musklane for å springe maraton. Dei raude blodcellene er også avhengig av glukose for å få frakta oksygen til alle cellene i kroppen.

Glukosen som kjem rundt til alle cellene til Celline blir bruka i den viktige prosessen som vi kallar celleanding. Cellene andar altså, eller pustar. Det skjer ein forbrenningsprosess av glukosen, og når det er oksyngass til stades, blir denne prosessen aerob og fullstendig. På same måten som når ein vedkubbe brenn. Da blir det danna karbondioksidgass og vatn. Men kvar kjem oksyngassen til celleandinga frå?

Celline har sprunge fleire kilometer. Ho prøver å springe roleg, for ho veit at det er mange kilometer igjen. Likevel pustar ho raskt. I kvart andedrag senker ho mellomgolvet og hevar brystkassa. Da

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



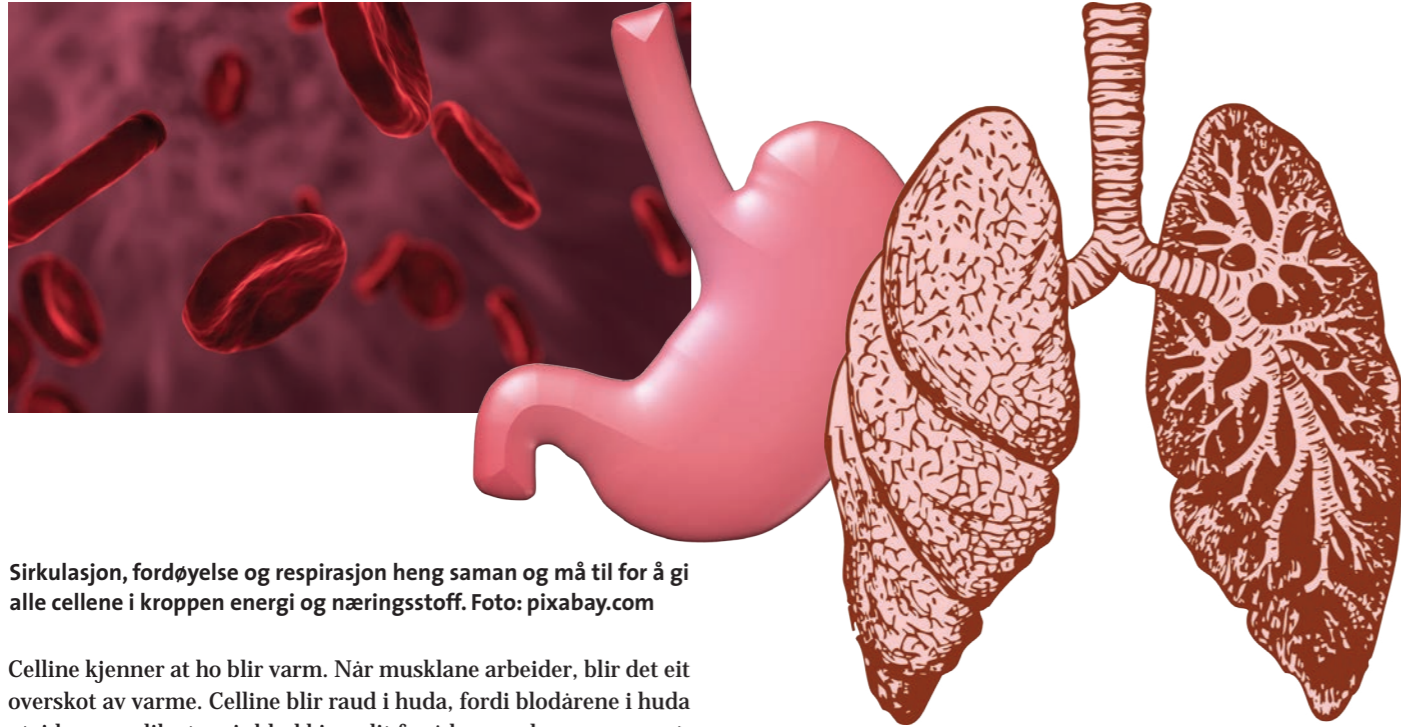
Det er mykje som skjer i kroppen under eit maratonløp. Foto: 995645 / pixabay.com

kjem det luft inn i lungene hennar. Lufta beveger seg gjennom forgreiningar som blir smalare og smalare, og endar opp i lungeblæreane, eller alveolane som vi kallar dei. Det finst mange av desse blæreane, så samla sett blir det stor overflate i lungene mellom lufta og kroppen innanfor. Gjennom denne overflata diffunderer gassar frå høg konsentrasjon til låg konsentrasjon. Oksyngass vil derfor diffundere frå lufta og til kroppen innanfor, der det er små blodårer eller kapillær. Vel inne i kapillæra festar oksyngassmolekyla seg til eit protein som kallast hemoglobin. Ved at hjartet pumpar blodet rundt i heile kroppen, vil oksyngassen og hemoglobinet bli pumpa med. På denne måten kjem oksyngassen rundt til alle dei ulike cellene i kroppen.

For at kvar celle i kroppen til Celline skal få energi og næringsstoff til celleandinga må dei ulike systema i kroppen hennar sam-

arbeide. Respirasjonssystemet utvekslar gassar med omgivnadane gjennom lungene, fordøyelsessystemet bryt ned og tar opp maten frå tarmene, og sirkulasjonssystemet transporterer gass og mat rundt med blodet til kvar enkel celle i kroppen til Celline. Og i kvar celle, i mitokondriane, skjer altså celleanding. Gjennom denne prosessen blir energien i maten frigjort og mykje av han blir lagra i dei små nistepakkene som vi kallar ATP. Resten blir frigjort som varmeenergi. Energien i desse nistepakkane blir frigjort når musklane til Celline skal trekke seg saman. Energien i ATP kjem frå den energien som var i for eksempel glukosemolekyla som var del av større karbohydratmolekyl i maten som Celline åt. Energien i glukosemolekyla blei altså først bruka til å lage ATP, som er energirikt. Når ATP blir brote ned, blir energi frigjort slik at musklane til Celline kan trekke seg saman. ATP er eit slags mellomlager for energien.

## ENERGI SOM DRIVKRAFT



Sirkulasjon, fordøyelse og respirasjon heng saman og må til for å gi alle cellene i kroppen energi og næringsstoff. Foto: pixabay.com

Cellene kjenner at ho blir varm. Når musklane arbeider, blir det eit overskot av varme. Cellene blir raud i huden, fordi blodårene i huden utvidar seg, slik at meir blod kjem dit for å kunne sleppe varme ut. Sveitten renn i panna til Cellene der ho spring gjennom gatene. Det forsvinn varmeenergi frå kroppen hennar på grunn av temperaturforskjellen mellom utsida og innsida. Ekstra mykje varme forsvinn når huden hennar blir våt av sveitte og vatnet i sveitten fordampar. Beina vil ikkje lystre hjernen lenger. Kvar steg er ein kamp og kvar enkel muskelcelle er i beredskap. Pusten til Cellene går raskare og hjartet pumpar hardt for å få oksygen fram til cellene i kroppen, men det kjem ikkje nok oksygen fram, og cellene går over til anaerob celleanding. Dette inneber at glukosemolekyla ikkje blir brotne fullstendig ned, men dannar mjølkesyre og mindre mengde ATP enn tidlegare. Ho roer ned tempoet.

Endeleg ser Cellene ein drikkestasjon. Her får ho påfyll av energidrikk og får erstatta vatnet ho har pusta og sveitta ut. Energidrikk inneheld glukose for å oppretthalde glukosenivået i blodet og salt for å oppretthalde saltbalansen.

Etter mykje slit nærmar Cellene seg mål. Elektromagnetisk stråling frå sola treffer målbanneret, og mykje av strålinga blir reflektert. Noko av denne strålinga treffer auga til Cellene, går gjennom pupil-

len og treffer netthinna bak i auga. Her sit mange sanseceller som reagerer på strålinga. Energien omdannar pigment i sansecellene, noko som fører til at nervesignal blir sendt til hjernen som tolkar synsinntrykket. Og Cellene kan oppfatte kva ho ser, nemleg målet! Ho kastar seg over målstreken. Beina verkar og sveitten renn. Cellene trekker pusten, ho har gjennomført sitt første *New York City Marathon*. Alle timane med førebuingar har gitt resultat. Ho vier ikkje merksemd til sekunda på resultatavla, men klappar seg sjølv på skuldra for at ho gjennomførte løpet. Muskulus kjem springande og gir ho ein proteinbar og ei flaske med vatn. Det er viktig med restitusjon. Når Cellene spring, blir muskelfibrane hennar brotne ned, og protein er viktig for å bygge opp muskelvevet igjen. Nå skal ho ha nokre rolige månadar med moderat aktivitet, før ho mobiliserer alle krefter til sisteetappen i Holmenkollstafetten.

### Cella som system, naturfag.no/celler

Undervisningsopplegg for 8.–10. trinn om kva ei celle egentleg er og korleis ho fungerer.



## BÆREKRAFT

## Bærekraftig kosthold

Det er ikke det samme hva vi spiser, verken for helsa, aktivitetsnivået eller miljøet. Maten vi spiser bør være trygg, sunn, passe til det aktivitetsnivået vi har og produseres på en bærekraftig måte. I hverdagen kan det være vanskelig å vite hva som er bærekraftig mat. For å hjelpe forbrukerne har helsemyndighetene bedt en ekspertgruppe, Nasjonalt råd for ernæring, se på de tolv norske kostholdsrådene og vurdere de i et bærekraftperspektiv. Her gir vi en kort presentasjon av hva ekspertgruppen oppsummerte ut fra bærekraftspunktet.

Begrepet bærekraft er komplekst og inkluderer både miljømessige, sosiale og økonomiske aspekter, som også inkluderer helse. Det er ikke småtterier som må vurderes når kostholdsrådene skal belyses i et bærekraftperspektiv. I følge FNs mat- og landbruksorganisasjon, FAO, er et bærekraftig kosthold et kosthold som har lav innvirkning på miljøet, bidrar til mat- og ernæringsikkerhet og et sunt liv for nåværende og fremtidige generasjoner.

Et bærekraftig kosthold beskytter biologisk mangfold og økosystemer, er kulturelt akseptabelt, tilgjengelig, økonomisk rettferdig, trygt og sunt og sørger for optimal ressursbruk, Nasjonalt råd for ernæring har kommet frem til en forholdsvis kort oppsummering:

**Råd 1: Ha et variert kosthold med mye grønnsaker, frukt og bær, grove kornprodukter og fisk, og begrensede mengder bearbeidet kjøtt, rødt kjøtt, salt og sukker.**

Dette rådet er en helhetsoppsummering av de elleve neste. Store analyser hvor kostens helhetsprofil for bærekraft undersøkes tar ofte med karbonfotavtrykk, vannforbruk og landareal i analysene.

Hovedkonklusjonen er at jo lengre ned i næringskjeden man velger matvarer, desto lavere er karbonfotavtrykket av kostholdet som helhet. Det betyr at dersom råd 1 følges i større grad, vil det føre til et mindre karbonfotavtrykk.



## BÆREKRAFT



Produksjon av matvarer fra planteriket fører til mye lavere utslipp av klimagasser. Foto: silviarita / pixabay.com

hengig av om varen er dyrket i drivhus eller ikke, antatt levetid på ferskvaren, kjøle- eller frysebehov, bruk av plantevernmidler og om frakten er CO<sub>2</sub>-intensiv slik som flytransport. I tillegg må energikostnadene ved langtidslagring av norske sesongvarer beregnes mot å få varene transportert ferske fra andre land.

I Norge ønsker ekspertene at arealer som er egnet for matkorn eller grønnsaksdyrking bør prioriteres fremfor forproduksjon. Det bør dyrkes mer av belgvekster som erter og åkerbønner i Norge. I tillegg anbefales større utnyttelse av ville bær. Det globale oppvarmingspotensialet per kg protein er 9–15 ganger høyere for melk og 14–29 ganger høyere for kjøtt enn tilsvarende for erter og åkerbønner.

Oppsummert vil en større andel belgvekster, frukt, bær og grønnsaker i kostholdet bidra til et lavere karbonfotavtrykk.

**Råd 4: Spis grove kornprodukter hver dag.**

Korn består hovedsakelig av: kli, kim og kjerne. Kli og kim som sitter i de ytre delene av kornet har et mye høyere innhold av kostfiber, vitaminer og mineralstoffer enn kjernen. Sammelt mel inneholder hele kornet, mens i siktet mel er kli og kim fjernet. Dette forklarer hvorfor hel- og fullkornsprodukter er mer næringsrike enn produkter som har fjernet kli og kim.



Høyt inntak av grove kornprodukter er mer bærekraftig enn inntak av mer siktete produkter. Foto: Markus Spiske / pixabay.com

### Karbonfotavtrykk

Et uttrykk for mengden CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som slippes ut i forbindelse med produksjonen av et gitt produkt.

### CO<sub>2</sub>-ekvivalent

En enhet som brukes i klimagassregnskap. Enheten tilsvarer den globale oppvarmingseffekten som utslipp av 1 tonn CO<sub>2</sub> vil ha i løpet av 100 år.

### Næringskjede

En næringskjede er en serie organismer eller arter der hver art spiser arten som ligger under den i næringskjeden og selv blir spist av arten som ligger over. Næringskjeden viser dermed hvordan organisk stoff og energi passerer fra én organisme til en annen i et økosystem (Kilde: snl.no)

### Energitetthet

Energitetthet er energiinnhold dividert med volumet til en energivare. Med energiinnhold menes normalt bare den delen av den kjemisk bundne energien som kan utnyttes.



Spis fisk til middag to til tre ganger i uken. Foto: DanaTentis / pixabay.com

Korn, og andre plantevekster, fører til mye mindre klimagassutslipp og bruker mindre landareal enn animalske matvarer både per produsert kalori og per produsert gram. Dette er hovedbegrunnelsen for å redusere kjøttinntaket til fordel for vegetabiliske matvarer. Høyt inntak av grove kornprodukter, hvor hele kornet utnyttes, er mer bærekraftig enn inntak av mer siktede produkter.

### Råd 5: Spis fisk til middag to til tre ganger i uken. Bruk også gjerne fisk som pålegg.

Matvarer som inneholder fet fisk, fiskeolje og lange flerumettede omega-3-fettsyrer anbefales i kostholdet. Forskere har funnet tydelige sammenheng mellom inntak av disse matvarene og redusert risiko for død av hjertesykdom. Fisk og sjømat har lavere miljøbelastning enn kjøtt, men høyere enn vegetabiliske varer. Rådet om inntak av fisk og sjømat er også gunstig fra et bærekraftsynspunkt dersom fisken er fra oppdrettsanlegg som driftes bærekraftig eller fra bærekraftige fiskestammer.

Sentrale utfordringer knyttet til høsting av fisk og sjømat er biologisk bærekraftighet av fiskeriressurser, degradering av marine økosystem og biologisk mangfold samt klimagassutslipp og dyreetiske hensyn. Utfordringene er ulike mellom oppdrettsfisk og villfanget fisk. Mer effektive fiskefartøy har ført til overfiske av villfisk i Norge, men kvoteordninger på viktige fiskearter har ført til bærekraftige fiskebestander.

Forskning har vist at det totale klimagassutslippet er tilnærmet likt for villfanget torsk og oppdrettslaks, men årsakene til utslippene

er ulike. For villfanget fisk er det drivstoff og avkjøling som bidrar mest til klimagassutslipp, mens for oppdrettsfisk er det produksjon av føret. For all slags sjømat er transport og forpakning en viktig faktor når produktene transporteres langt eller skal raskt frem til forbrukerne. Andre miljøutfordringer knyttet til oppdrettslaks er rømming og lakselus. I tillegg fører rømt oppdrettslaks til genetisk utvanning av villfiskstammene.

### Råd 6: Velg magert kjøtt og magre kjøttprodukter. Begrens mengden bearbeidet kjøtt og rødt kjøtt.

Negative miljøeffekter i forbindelse med mat vi spiser er i hovedsak knyttet til animalske produkter, da kjøtt er lengre opp i næringskjeden. Det er store forskjeller i karbonfotavtrykket mellom ulike dyregrupper. Storfekjøtt fra ammekuproduksjon har høyest karbonfotavtrykk, deretter kommer storfekjøtt med melkeproduksjon, lammekjøtt og geit som alle tre ligger på omtrent samme nivå. Svin er noe lavere og aller lavest karbonfotavtrykk er fra produksjon av kyllingkjøtt. Drøvtyggere kommer dårligst ut, men hensyn til karbonfotavtrykket på grunn av utslipp av metangass, som er 25 ganger mer effektiv som drivhusgass enn CO<sub>2</sub>.

Kjøttproduksjon basert på drøvtyggere kan være gunstig for bevaring av biologisk mangfold og andre økosystemtjenester, og er helt klart viktig for en god utnyttelse av norske arealressurser. Både arealmessig og økonomisk er kjøttproduksjon samlet sett den klart

#### Storfekjøtt fra ammekuproduksjon

Kalv-, ku- og oksekjøtt fra dyr som har blitt ammet eller kuer som har ammet. Kalvene går lenge sammen med kua og føres opp på kumelk.

#### Storfekjøtt fra melkeproduksjon

Kalv-, ku- og oksekjøtt fra dyr som har blitt føret opp på melkestatning og annet fôr. Kalvene går i kort tid sammen med kua før de skilles fra hverandre og kua brukes i melkeproduksjon, mens kalven får melkestatning og annet nødvendig fôr.

#### Økosystemtjenester

Med økosystemtjenester menes økosystemenes direkte og indirekte bidrag til menneskenes eksistens og velferd.

største produksjonen i dagens jordbruk, og den har stor betydning for bosettingsmønster, ressursutnyttning og sosioøkonomiske forhold utenfor urbane strøk. På grunn av karbonfotavtrykket er konklusjonen at det totale kjøttinntaket (både hvitt og rødt) må reduseres en god del i forhold til det vi spiser i dag.

Basert på helsevurderinger står rådet om å redusere inntaket av bearbeidet kjøtt i strid med bærekraftanbefalingen. Bearbeidede animalske produkter bidrar til å utnytte dyreskrotten bedre, siden de også inneholder deler av dyret som ikke kan selges i form av ubearbeidet kjøtt. Dette er bærekraftig ressursbruk. Ekspertene har imidlertid latt helseargumentet veie tyngst her, og anbefaler derfor at inntaket av bearbeidet kjøtt bør begrenses.

### Råd 7: La magre meieriprodukter være en del av det daglige kostholdet.

Meieriprodukter i Norge lages i hovedsak av melk fra ku og geit. Det er bærekraftig å utnytte grasressursene både på inn- og utmark, og når det parallelt produseres kjøtt gir det et lavere miljøfotavtrykk per produsert enhet. Fra bærekraftperspektivet er det en fordel at melken har normalt fettinnhold, da separering fra melk, til fløte og skummet melk, gir flere produkter.

### Råd 8: Velg matoljer, flytende margarin og myk margarin, fremfor hard margarin og smør.

Produksjon av matoljer har rundt 50 % lavere miljøbelastning enn produksjon av smør. Produksjon av margarin fra planteoljer, bruker omtrent halvparten av landområder som er nødvendige for å produsere smør. Globalt er det ønskelig å redusere forbruk av palmeolje til fordel for olivenolje og rapsolje, da produksjon av palmeolje skjer på arealer der det tidligere var regnskog.

### Råd 9: Velg matvarer med lite salt, og begrenns bruken av salt i matlagning og på maten.

Saltinntaket har liten direkte virkning på bærekraftsaspektet av kostholdet.

### Råd 10: Unngå mat og drikke med mye sukker til hverdags.

Stor etterspørsel etter sukker gjør at nye områder tas i bruk til sukkerproduksjon, noe som har bidratt til avskoging og ødeleggelse av våtområder. Dette fører igjen til økt klimabelastning og tap av biologisk mangfold. Sukkerrør produserer mer biomasse per hektar

enn noen annen kulturplante, det vil si at stor energiproduksjon per arealenhet er positivt sett fra et bærekraft ståsted. Produksjonen krever forøvrig mye vann.

### Råd 11: Velg vann som tørstedrikk.

Globalt sett er tilgjengeligheten av rent vann en stor utfordring mange steder. Jo lengre vann må fraktes og jo mer urent det er, desto større energi- og klimamessige kostnader vil det være å få rent vann fram til alle. Alternativer til rent vann vil etter all sannsynlighet ha et høyere karbonfotavtrykk og da være mindre bærekraftig.

### Råd 12: Vær fysisk aktiv i minst 30 minutter hver dag.

Kroppens energibruk og energibehov påvirkes i stor grad av fysisk aktivitet. I tillegg styrker aktivitet mekanismer som reduserer risiko for utvikling av ulike kroniske sykdommer. Klimagassutslipp fra veitrafikk består hovedsakelig av CO<sub>2</sub>. Veitrafikk står for 19 % av det totale klimagassutslippet i Norge (2017), og personbiler utgjør den største andelen. Å velge å gå, sykle eller ta buss fremfor å kjøre personbil vil redusere klimagassutslipp. Å velge trapper foran heis er også et bidrag til å redusere negativ miljøpåvirkning.

Kort oppsummert sier denne rapporten at det er et stort samsvar mellom det å spise sunt og det å spise bærekraftig. Et sunt og bærekraftig kosthold kjennetegnes av et høyt inntak av frukt, grønnsaker, bær, grove kornprodukter og fisk og et lavt inntak av rødt og av bearbeidet kjøtt. Videre sier rapporten at en større andel belgvekster samt frukt, bær og grønnsaker i kostholdet, vil gi lavere karbonfotavtrykk. Fra et selvforsyningsperspektiv bør det vurderes å oppmuntre til større bruk av norskproduserte frukt, bær og grønnsaker. Og sist, men ikke minst – «syv om dagen» vil være enda bedre enn «fem om dagen» – både for helsen og klimaet.

Andre bærekraftspekter som har betydning for kosthold og matproduksjon, men som ikke er behandlet i dybden i denne rapporten, er matsvinn, emballasje og kortreist versus langreist mat.

Les hele rapporten:

Nasjonalt råd for ernæring (2017). *Bærekraftig kosthold – vurdering av de norske kostrådene i et bærekraftperspektiv.*



## Kan solceller redde oss?

**Solenergi er den ultimate formen for energi, og solceller er den mest elegante måten å utnytte denne energien på for å lage elektrisitet. Hvor langt har solceller og andre fornybare energikilder kommet i å revolusjonere energiproduksjonen vår, og hva er de viktigste hindringene på veien videre mot en helgrønn energiframtid?**

Hver eneste time treffes jorda av 120 tusen milliarder kWh med energi fra sola, og det er denne energien som gir grunnlag for alt liv vi kjenner til. Til sammenligning er dette litt mer enn menneskehetens samlede forbruk av energi i året, så om vi kunne ha brukt solceller til å utnytte bare en liten brøkdel av solenergien hadde vi hatt mer enn nok energi til alle, nesten helt uten skadelige CO<sub>2</sub>-utslipp.

De fleste solceller i dag er hovedsakelig laget av silisium, som sammen med oksygen er det vanligste grunnstoffet i vanlig sand og stein. Vi har derfor alle råmaterialene som trengs for å lage solceller nok til alle. Det kreves riktignok ganske mye avansert teknologi for å foredle, rense og lage de store fine silisiumkrystallene som solcellene er laget av, og denne prosessen krever også en del energi. Heldigvis er slik teknologi noe vi har kommet veldig langt med både her i Norge og mange andre land i verden, og energien som går inn i prosessen gir solcellene oss tilbake i løpet av det første 1–3 årene de er plassert ute i felten, litt avhengig av plassering.<sup>1</sup> Etter dette har de fleste paneler i dag en garanti på 25–30 år, og vil antakeligvis kunne produsere strøm uten mye tilsyn eller vedlikehold i mange år etter det også. Vi har også mer enn nok ørkenener og andre ubrukte områder tilgjengelig for å bygge ut nok solenergi til hele verdens behov, og i bebygde strøk finnes det mye plass på tak og fasader.

Alt i alt høres dette foreløpig veldig oppløftende ut. Hva er egentlig problemet da? Hvorfor fortsetter vi i stedet å brenne så mye kull og olje for å få nok energi til tross for at vi nå vet at det sender oss rett

inn katastrofale klimaendringer? Etter å ha lest denne artikkelen vil du kunne mer om dette, og samtidig kanskje få vite at endringene kommer forttere enn du tror. Men er det fort nok?

De fleste har kanskje fortsatt inntrykk av at solcellepaneler er best til bruk i hytter på fjellet, i landsbyer i Afrika og andre steder uten tilgang til strømnettet, men at det kanskje kan være håp for å bruke dem i framtida. Det er kanskje ikke så rart, det kan nemlig se ut som det ikke skjer så mye. Solcellepaneler har i bunn og grunn vært basert på den samme teknologien og materialene siden 50- og 60-tallet, og selv om stadig nye avanserte materialer dukker opp i forskningslaboratoriene er fortsatt ca. 95 % av verdens solceller laget av silisium på omtrent samme måte som de alltid har vært.

Effektiviteten på solcellepaneler har riktignok økt jevnt og trutt de siste årene, mange små og store teknologiske forbedringer har gjort at effektiviteten har gått fra ca. 15–19 % for 10 år siden til 20–24 % i dag, men dette er likevel ikke nok til å skape noen store overskrifter i avisene. For de fleste solcellesystemer er det bare én ting som betyr noe, nemlig prisen per kilowatttime (kWh) anlegget produserer. I de fleste tilfeller lønner det seg faktisk ikke å lage cellene mer effektive selv om vi kan, da dette vil gjøre at prisen blir for høy. Det er viktig at cellene er så effektive som praktisk mulig, men den virkelig raske utviklingen i bransjen er en imponerende reduksjon i prisene. En stor innsats på forskning og teknologiutvikling sammen med større og flere fabrikker (spesielt i Kina) har gjort at vi nå klarer å produsere solceller mye billigere enn før, samtidig som effektiviteten har gått opp. Hvor mye strøm et solcellepanel



**Solceller så langt øyet kan se: Bildet viser en del av norske Scatec Solar sitt solcelleanlegg på 400 MWp i Benban i Egypt. Anlegget er en del av et megaprojekt på 37,2 km<sup>2</sup> (!) i den egyptiske ørkenen, og skal produsere ca. 3,8 TWh energi i året. Egypt har som mål å være 42 % drevet av fornybar energi innen 2025. Foto: Scatecsolar.com**

kan produsere måles gjerne i noe som heter «watt peak» (Wp) som tilsvarer hvor mye elektrisk effekt det gir under nesten ideelle betingelser, det vil si sollys som treffer vinkelrett på panelet. Justert for inflasjon kostet solcellepaneler ca. 100 kr per Wp i 1990, ca. 40 kr i 2000, ca. 20 kr i 2010 og i 2018 var prisen kommet helt ned i 3 kr<sup>d</sup>, under en tredjedel av prisen i 1990, som kanskje er da panelet som står på hytta ble satt opp.

Denne utviklingen har gjort at strøm fra solceller nå faktisk er veldig konkurransedyktig i mange deler av verden, både med og uten subsidier fra myndighetene. Antall installasjoner har derfor også vokst nærmest eksponentielt. Hvert eneste år installeres det nye solcellepaneler til å produsere 100 – 150 TWh (150 tusen milliarder kWh) elektrisitet, omtrent like mye som den samlede norske pro-

duksjonen av vannkraft hvert år<sup>2</sup>. Slike store tall er ofte vanskelig å relatere seg til, men om vi tar utgangspunkt i et vanlig hus med strømforbruk på 20 000 kWh i året så tilsvarer dette nok strøm til 5–7 millioner nye norske hus (og enda flere boliger i varmere strøk), hvert år. Alle disse solcellepanelene består av omtrent 25 milliarder enkelte solceller. Det lages altså mellom 3 og 4 celler i året for hvert eneste menneske i verden. Solceller står nå for «bare» 2–3 % av verdens elektrisitet, men selv en liten brøkdel er altså store mengder med energi. Når det gjelder nye kraftverk blir det nå faktisk bygd mer solenergi enn alle fossile energikilder til sammen<sup>3</sup>! Økonomene som lager prognoser tror nå at sol og vind vil være de viktigste energikildene i verden innen dagens skolebarn har blitt foreldre i 2050<sup>4</sup>.

## BÆREKRAFT

Selv om vi ikke har de beste betingelsene for solceller i Norge, med relativt lite lys og billig strøm, finnes det nok av eksempler på lønnsomme solcelleanlegg her også. Det blir stadig mer populært å montere solcelleanlegg på hustak, og flere større industribygg har i dag solceller på taket. Etter hvert som nye og strengere retningslinjer for energieffektivitet i bygg trer i kraft vil det også gjøre lokal strømproduksjon stadig mer aktuelt. Bygningsintegrerte solceller, der solcellene er en del av selve byggematerialene som tak eller veggplater er et spennende felt å følge med på framover (se figur under). Selv om det installeres mye mer solceller i andre land er vi fortsatt med på produksjonssiden, norske bedrifter som REC Solar Norway, Norsun og Norwegian Crystals har i mange år levert rent silisium til produksjon av solceller basert på rimelig og miljøvennlig norsk vannkraft, og det er planer om videre utbygging i årene som kommer.



**Oseana kunst- og kultursenter i Os, ett av mange flotte eksempler på hvordan solceller kan brukes som en del av fasaden i bygninger. Foto: IFE/Lisa Kvalbein.**

Du har antakelig en tanke i bakhodet når du leser dette: Hva skjer når sola ikke skinner? Eller når vinden ikke blåser? Er det ikke begrenset hvor mye sol og vind vi kan bruke? Strøm er nemlig i utgangspunktet ferskvare, og strømmettet har ikke mulighet til å lagre strømmen noe sted, bare distribuere den. Strømmen må derfor brukes i samme øyeblikk som den produseres. I Norge er det Statnett som er ansvarlig for å balansere strømforbruket og strøm-

produksjonen og å distribuere strømmen gjennom ledninger for å sørge for at det alltid er akkurat 230 V spenning med 50 Hz i alle stikkontakter i alle kriker og kroker av landet. De som handler med strøm er altså veldig godt vant til variabilitet i både produksjon og forbruk, og inntil nylig har variable, fornybare energikilder som vind og sol vært små nok til at strømmettet har kunnet balanseres ut med andre energikilder. I Norge er vi også så heldige at vi har mye vannkraft, som er en ypperlig måte å justere produksjon-en på: Energien ligger klar i vannmagasinene til vi trenger den, og kraftverkene kan gå fra null til hundre på minutter, alt ettersom hva nettet behøver (og dermed også hva prisene blir). De norske vannkraftmagasinene er også tilknyttet det europeiske strømmettet. De kan dermed være med å balansere variabel strømproduksjon fra fornybare kilder i for eksempel Tyskland, som forøvrig hadde 36 % av elektrisiteten sin fra fornybare energikilder i 2017<sup>1</sup>.

Om fornybar energi som sol og vind skal ta helt over for fossile energikilder må vi imidlertid ha hjelp fra flere parallelle utviklinger. Vanlige kraftverk som kull-, gass- og atomkraftverk har ikke samme mulighet som vannkraftverk til å endre produksjonen sin raskt, og vi er derfor avhengig av å tenke helhetlig på hele energisystemet for å omstille oss til en stor andel fornybare energikilder. Én spennende utvikling er innenfor batteriteknologi: Det har allerede skjedd en revolusjon i utviklingen av Li-ion-batterier, som blant annet har muliggjort inntoget av elbiler de siste årene. Store fastmonterte anlegg med slike batterier kan også brukes som energilagre knyttet til strømmettet for å hjelpe til med å jevne ut uønskede variasjoner. I en fremtid der de fleste biler er elektriske kan vi se for oss at hele bilparken kan hjelpe til med dette, og det finnes allerede spesielle ladere som gjør at man kan selge og kjøpe strøm med elbilen sin i dag.

En annen type løsning som også er på fremmarsj er smart styring av forbruket. De fleste norske husstander har nå installert nye strømmålere som registrerer forbruket time for time. Etter som strømproduksjonen blir mer variabel vil prisene også bli det, og ved å bruke smarte styringssystemer blir det både nyttig og lønnsomt å justere forbruket tilsvarende. En varmtvannstank eller et fryselager kan begge virke som et batteri med stor kapasitet, og slike energikrevende innretninger kan styres til å bruke strøm når den er billigst og mest tilgjengelig. Til slutt er det også verdt å nevne at jo mer sammenkoblet strømmettet er, jo lettere er det å utjevne forskjeller i ulike områder. For Norges del finnes gode argumen-

## BÆREKRAFT



**Dette solcelleanlegget på låvetaket på NIBIO Apelsvoll gir ca. 50 000 kWh strøm i året. Foto: IFE / Lisa Kvalbein**

ter både for og mot bygging av nye utenlandskabler for eksport av strøm til Europa, men det er ingen tvil at når det gjelder utbygging av fornybar energi vil mer slik handel med strøm være en stor fordel.

Oppgaven med å bygge et bærekraftig energisystem er stor, men den er kanskje også en av de viktigste oppgavene vi har. Om menneskeheten skal klare å kutte ned på CO<sub>2</sub>-utslippene sine raskt nok til å betydelig redusere klimaendringene, må det flere storstilte satsninger til, og vi må utvikle oss videre i mange retninger i alle deler av verden om vi skal klare det. Solcellene er klare, batteriene kommer i full fart og nye løsninger for smart styring og distribusjon kommer stadig til. Nå gjelder det for både politikerne våre

og oss som privatpersoner å komme i gang med å bruke disse løsningene for å bygge fremtidens energisystem. Og jorda har dessverre ikke tid til å vente på fremtiden, vi må starte nå. Helst i går.

### Noter

<sup>1</sup> Photovoltaics report, by Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, 14 March 2019, <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

<sup>2</sup> Energifakta Norge, URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen>

<sup>3</sup> Global trends in renewable energy investment 2018, <https://www.frankfurt-school.de/home/international-advisory-services/fs-unep-collaboration-centre>

<sup>4</sup> Bloomberg New Energy Outlook 2019, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook>





## Fornybar energi og tverrfaglig undervisning for bærekraftig utvikling

**Spørsmål knyttet til bærekraftig utvikling er både komplekse og verdilada, og de fører ofte til at vi blir stående i et dilemma hvor vi må veie ulike hensyn mot hverandre og ta et valg mellom ulike muligheter. Ofte er ingen av valgene et entydig bedre valg. Utbygging av fornybare energikilder kan være eksempler på slike dilemma.**

Naturfaget har lange tradisjoner for å undervise om bærekraftsspørsmål knyttet til miljø, ofte omtalt som miljøundervisning. I fremtidige lærerplaner og i alle klasserom er det svært sentralt at elevene får anledning til å ta med seg kompetanser fra naturfaget over i diskusjoner knyttet til store samfunnsutfordringer, hvor fagspesifikk kunnskap om klima, energi, natur og miljø kan diskuteres opp mot både sosiale forhold og det økonomiske perspektivet knyttet til bærekraftig utvikling.

Se på bildet på neste side. Spør deg selv og tenk over: Hva ser du på bildet? Hvilke tanker gjør du deg, eller hvilke følelser har du rundt bildet? Har du noen mening om bildet eller om temaet det tar for seg?

På bildet ser du noen store, kanskje fine, vindmøller. Du ser fjell og vei, og du ser at vindmøllene er plassert i naturen. Kanskje du tenker at vindmøllene produserer fornybar energi som vi mennesker har bruk for. Det er bra for miljøet. Det kan også være økonomisk bra, fordi vi kanskje får billigere strøm siden den er fornybar. Kanskje strømmen er kortreist om vi har vindmøller i nærheten. De som setter opp vindmøllene vil kunne tilby arbeidsplasser og kan også tjene på det. Er det bra å ha vindmøller i norsk natur? Du tenker kanskje på at det ikke er så fint å gå tur i områder der vindmøllene er og at det ikke er så lett å drive friluftsliv der lenger. Dersom noen har hytter eller hus i nærheten, kan det gå utover kvaliteten på boplassen eller fritidseiendommen.

Problemstillinger knyttet til utbygging og tilrettelegging av fornybare energikilder er både komplekse og verdilada. Utbygging av vindkraftanlegg på Frøya er et eksempel på en dagsaktuell sak som elevene kan engasjere seg i. I naturfaget lærer elevene om energi, energikilder, energikjeder og energikvalitet. Problemstillinger knyttet til fornybare energikilder kan utvides videre til å handle om både miljøeffekter og inngrep i naturområder. Videre kan det også handle om interessekonflikter og om samspillet mellom natur, individ, teknologi og samfunn. Dersom vi skal gi rom for at elevene kan diskutere med kritisk blick og komme opp med gode argumenter for beslutninger som skal tas, krever slike problemstillinger at elevene må sette seg inn i flere fagområder. Å ta utgangspunkt i et bilde som vist over kan være en mulig innfallsvinkel når slike problemer skal utforskes og diskuteres fra flere fags ståsted.

### Kunnskaper, ferdigheter og holdninger – på tvers av fag

Bærekraftproblemer er aktuelle komplekse samfunnsutfordringer som krever fagspesifikk kunnskap innen en rekke fagområder. I skolen vil det bety kunnskap både fra realfagene, samfunnsfagene og humaniora. I tillegg til det komplekse og tverrfaglige innholdet, krever også selve prosessen problemløsning, meningsbrytning og deltakelse i demokratiske prosesser. Å jobbe med tverrfaglige tema, slik som spørsmål knyttet til utbygging av fornybare energikilder, på tvers av fag, øker muligheten for å belyse problemstillingen både fra et miljømessig, et sosialt og et økonomisk perspektiv.



Hva ser du på bildet? Foto: Lukas Bieri / pixabay.com

Kompetanse for bærekraftig utvikling handler om å kunne tillegge seg relevante kunnskaper, ferdigheter, holdninger, verdier og handlingskompetanse<sup>1</sup>. Ved å inkludere opplæring innenfor naturfaget inn i denne helhetlige tankegangen, kan det skape rom for at handlingene baserer seg på den ervervede naturfaglige kunnskapen. Handlingene vil da kunne både basere seg på kunnskap om for eksempel energi og fornybare energikilder, argumentasjon, kritisk tenkning og vitenskapelige arbeidsmåter innenfor naturfaget, i tillegg til diskusjoner rundt hvilke handlingsmuligheter som finnes, vilje til å handle og ha tro på at handlingen spiller en rolle. Denne kompetansen kan bidra til at elevene får en tro på at de kan

bidra inn i arbeidet med bærekraftig utvikling og at deres innsikt, forståelse, kunnskaper og engasjement for en sak har betydning. Elevene får også øve seg på å ta egne standpunkt og bidra inn i debatten med egne begrunna meninger.

I tabellen på neste side har vi foreslått fire sentrale fag som kunne vært involvert i problemstillinger knyttet til utbygging av fornybare energikilder. I nye læreplaner vil dette synliggjøres bedre, men tankegangen er den samme. Lærerne må se kompetansemålene i sammenheng ut ifra den aktuelle problemstillingen.

## BÆREKRAFT

Fag	Naturfag	Samfunnsfag	Norsk	KRLE
<b>LKo6, kompetansemål etter 7. trinn</b>	<p>gjøre rede for bruken av noen energikilder før og nå, og innhente informasjon og statistikk fra ulike kilder for å beskrive og diskutere mulige konsekvenser av energibruken for miljøet lokalt og globalt</p> <p>planlegge og gjennomføre undersøkelser i minst ett naturområde, registrere observasjoner og systematisere resultatene</p> <p>planlegge, lage og teste enkle produkter som gjør bruk av elektrisk energi, og reklamere for ferdig framstilt produkt</p>	<p>formulere eit samfunnsfagleg spørsmål, foreslå moglege forklarings og belyse spørsmålet gjennom ei undersøking</p> <p>diskutere samfunnsfaglege tema med respekt for andre sitt syn, bruke relevante fagomgrep og skilje mellom meiningar og fakta</p> <p>forklare samanhengar mellom naturressursar, næringar, busetnad og levevis</p> <p>beskrive korleis produksjon og forbruk kan øydeleggje økosystem og forureine jord, vatn og luft, og drøfte korleis dette kan hindrast og reparerast</p>	<p>lytte til og videreutvikle innspill fra andre og skille mellom meninger og fakta</p> <p>uttrykke og grunngi egne standpunkter og vise respekt for andres</p> <p>presentere et fagstoff tilpasset formål og mottaker, med eller uten digitale verktøy</p> <p>skrive tekster med klart uttrykt tema og skape sammenheng mellom setninger og avsnitt</p> <p>skrive fortellende, beskrivende, reflekterende og argumenterende tekster etter mønster av eksempeltekster og andre kilder, og tilpasse egne tekster til formål og mottaker</p>	<p>samtale om aktuelle filosofiske og etiske spørsmål og diskutere utfordringer knyttet til temaene fattig og rik, krig og fred, natur og miljø, IKT og samfunn</p>

Forslag til kompetansemål i LKo6 fra naturfag, samfunnsfag, norsk og KRLE etter 7. trinn som kan passe når problemstillinger rundt utbygging av fornybare energikilder skal undervises på tvers av fag.

### Komplekse og verdilada problemstillinger – *wicked problems*

Komplekse og verdilada problemstillinger er en innfallsvinkel til undervisning for bærekraftig utvikling. I teorien omtales store komplekse og verdilada problemstillinger som «wicked problems». I arbeid med bærekraftig utvikling kan det være nyttig å se litt på hva som definerer slike komplekse og verdilada problemstillinger og bruke dette som et verktøy for å komme fram til egne problemstillinger som er egnet til bruk i undervisningen.

Følgende fem punkter er med på å definere komplekse og verdilada problemstillinger og hvordan de kan håndteres (egen omskriving og oversetting)<sup>2,3,5</sup>:

- Det er ikke mulig å skrive en helt presis beskrivelse av problemet.
- Vi stopper ikke arbeidet med komplekse og verdilada problem fordi løsningen er funnet, men fordi vi endelig sier «Det er bra nok» eller «Jeg liker denne løsningen».
- Løsninger på komplekse og verdilada problem er ikke sanne eller usanne, men heller gode eller dårlige.
- Valg av innfallsvinkel til problemet vil avgjøre løsningens utfall.
- De som løser komplekse og verdilada problem har ingen rett til å ta feil, men blir holdt ansvarlige for de beslutningene som tas og hva disse kan genererer; effektene kan bety mye for de menneskene som berøres av disse handlingene nå og i fremtiden.

## BÆREKRAFT

### Kan problemstillingen være en innfallsvinkel?

Det er sentralt å ha naturfaglig kompetanse når dilemmaer rundt for eksempel vindkraft skal diskuteres, men fag som samfunnsfag, norsk og KRLE kan bidra til å fremme argumentasjon, kritisk tenkning, systemforståelse, framtidstenkning, kommunikasjon, refleksjon og etisk bevissthet knyttet til problemstillingen. Ved at kompetansemålene blir mer integrert i hverandre, kan dette gi en mer helhetlig undervisning og mulighet for at elevene både får en helhetlig forståelse, men også en dypere forståelse for bærekraftig utvikling. Forskjellige lærere kan se faget sitt som mer aktuelt inn i en undervisning hvor problemstillingen er kompleks, samfunnsorientert og verdilada.

Å behandle problemstillinger knyttet til bærekraft gjennom en forståelse av kompleksitet, og verdilada problemstilling hvor ulike hensyn og interesser må vurderes og forståelse av relasjoner må vektlegges, kan øke muligheten til å ta de riktige avgjørelsene<sup>4</sup>.

Arbeidet med bærekraftproblemer basert på ideen om at de kan beskrives som tverrfaglige, betyr en ny måte å tenke på læring og undervisning. For skolen betyr denne endringen en strukturendring, hvor arbeidet og undervisningen innen slike tema vil involverer flere fag og undervisningen må organiseres på tvers av fag og timeplaner. Lærere må se nytten av hverandres faglige tilnærming og både ønske og få tid til å sette seg inn i andre fags kompetansemål. Et bredt og godt tverrfaglig samarbeid på skolen, hvor forskjellige lærerne har forskjellige innfallsvinkler og dermed forskjellige ideer til hvordan de skal behandle problemstillingen, kan skape vilkår for å sikre at elevene lærer i dybden.

At utdanningen skal bidra til en forandring blant elevene og åpne øynene for nye måter å tenke og handle på, er den grunnleggende ideen bak å undervise helhetlig og tverrfaglig om bærekraftsproblemene. Målet når elevene involveres i slike komplekse og verdilada problemstillinger er at de gjennom utforsking tilegner seg nok faglig kunnskap til å vurdere problemstillingen fra ulike synsvinkler, og argumentere for mulige løsninger på en demokratisk måte<sup>5</sup>. Det å jobbe med komplekse problemstillinger, gjerne knyttet til aktuelle saker, gir elevene erfaringer med å se samfunnsutfordringer fra flere sider. Elevene trenes i å argumentere, i å håndtere autentiske problemstillinger, til å delta i samfunnsdebatter og til å ta avgjørelser. Det kan bidra til forbedret handlingskompetanse og forberedelse til livet utenfor skolen.



Flere tema kan egne seg i arbeid med fornybar energi og bærekraftig utvikling. Her utforsker elever vannkraft. Foto: Den naturlige skolesekken

Det finnes mange tema i naturfag som egner seg til å jobbe med innenfor bærekraftig utvikling dersom man har en innfallsvinkel som legger til rette for det. På denne måten vil elevene kunne opparbeide seg en handlingskompetanse for bærekraftig utvikling innen ulike tema.

### Noter

- 1 Gabrielsen, A. (2019). Kontekst for læring. Nærmiljø som læringsarena i utdanning for bærekraftig utvikling. Faculty of Technology, Natural Sciences and Maritime Sciences. Bø, Norway, Universitetet i Sørøst-Norge. PhD-avhandling.
- 2 Hjorth, P., & Bagheri, A. (2006). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 38(1), 74-82.
- 3 Pryshlakivsky, J., & Searcy, C. (2013). Sustainable Development as a Wicked Problem. Chapter II in Kovacic, S. F. and Sousa-Posa, A. *Managing and Engineering in Complex Situations*. Volume 21 of the series *Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality*, pp 109-128. Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media. DOI: 10.1007/978-94-007-5515-4\_6.
- 4 Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemma in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 2, 155-169.
- 5 Scheie E., & Øyehaug A. B. (2017). Workshop – sammensatte problemstillinger. I Nordisk arbeidsmodell for undervisning for bærekraftig utvikling Naturfagsenterets rapport 1/2017, 20-23.

## BOKOMTALER

## Menneskets grunnstoffer

Byggeklussene vi og verden er laget av

Anja Røyne

Kagge forlag



Kan vi reise til verdensrommet for å hente materialer vi går tomme for på jorda? Mennesker består av grunnstoffer – det samme karbonet som i bensintanken på bilen, og det samme jernet vi lager togskinner av. Både fosforet i maten din og kobberet i mobiltelefonen din graves ut av jordskorpen med enorme maskiner. Du er laget av det samme som naturen du ser rundt deg, og kan bare fortsette å eksistere så lenge du får servert alle de nødvendige byggeklossene i form av mat, vann og luft.

Men vi mennesker er mer enn bare kroppene våre. Historien om den menneskelige sivilisasjon er også historien om hvordan vi har lært oss å forme planetens materialer til vår egen nytte. Hvor lenge kan denne suksesshistorien fortsette? Og kan vi virkelig hente det vi mangler fra verdensrommet? Det kom tross alt derfra en gang i tiden.

## Genier, sjarlataner og 50 bøtter med urin

Historien om det periodiske system

Eivind Torgersen

Spartacus



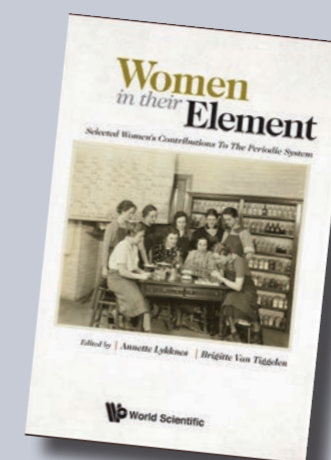
I det periodiske systemet er alt du trenger for å forstå verden rundt deg. Her ligger forklaringen på hvordan oksygenet i lufta kommer seg over i blodet når du puster. Hvorfor biffen blir så saftig og deilig når du steker den riktig. Hvorfor stål blir sterkere når du finner den rette blandingen av metaller.

Men det periodiske system skjuler også 118 historier om menneskene som oppdaget grunnstoffene og om tiden de levde i. Det er historien om hvordan kjemien ble en vitenskap – fra grekernes første flamlende forsøk, via gulltørste alkymister til moderne forskningslaboratorier. Det er historien om flaks og uflaks – og om slurv. Og som alltid når mennesker er ute etter nye oppdagelser, er det historier om sjalusi, misunnelse og jakt på ære og berømmelse.

## BOKOMTALER

## Women in their Element:

Selected Women's Contributions to the Periodic System

Annette Lykknes og  
Brigitte Van TiggelenWorld Scientific  
www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/11442

This book offers an original viewpoint on the history of the Periodic Table: a collective volume with short illustrated papers on women and their contribution to the building and the understanding of the Periodic Table and of the elements themselves.

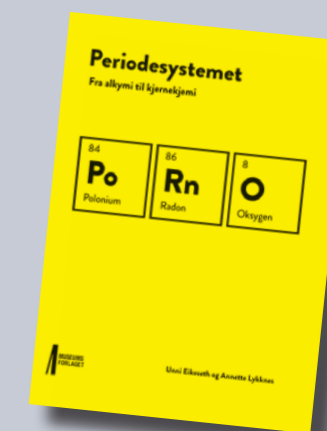
Few existing texts deal with women's contributions to the Periodic Table. A book on women's work will help make historical women chemists more visible, as well as shed light on the multifaceted character of the work on the chemical elements and their periodic relationships. Stories of female input, the editors believe, will contribute to the understanding of the nature of science, of collaboration as opposed to the traditional depiction of the lone genius.

## Periodesystemet

Fra alkymi til kjernekjemi

Unni Eikeseth og  
Annette Lykknes

Museumsforlaget



Du har nok sett det mange ganger. På internett, i bøker, på t-skjorter, kaffekopper og lignende, og ganske sikkert i et naturfagklasserom fra skoletida. Grunnstoffenes periodesystem kan ved første øyekast se ut som en helt vanlig oversiktstabell, og på én måte er det rett. Periodesystemet er en tabell over alle grunnstoffer vi kjenner til, byggesteinene som danner utgangspunkt for det uendelige antall av stoffer vi møter i naturen, i kroppen og i laboratoriet. Samtidig er periodesystemet så mye mer enn en tabell. Bak tabellen skjuler det seg nemlig et helt spesielt system. Når man lærer periodesystemet å kjenne, kan man nemlig – bare ved å se på de ulike grunnstoffenes plassering i tabellen – vite noe om disse grunnstoffenes egenskaper og evne til å reagere i kjemiske reaksjoner. Periodesystemet oppsummerer rett og slett mange av de grunnleggende kunnskapene vi har i kjemi.

## BOKOMTALER

## Fysikkdidaktikk

2. utgave

Angell, Bungum,  
Henriksen, Kolstø,  
Persson og Renstrøm

Cappelen Damm



Boka gir en helhetlig framstilling av fysikk som undervisningsfag i norsk utdanningssystem og er et unikt verktøy for alle fysikklærere og fysikklærerstudenter. Boka dekker et stort spenn av temaer, fra fysikkens historie og egenart som vitenskapsfag til hva som kjennetegner elevers forhold til faget, og hvordan læreren kan hjelpe elevene til faglig forståelse gjennom for eksempel bevisst bruk av språk og eksperimenter i undervisningen. Boka gir helt konkrete tips til undervisning i sentrale temaer, og viktige aspekter av elevvurdering i faget inngår i bokas siste del.

Boka er skrevet for studenter som tar fysikkdidaktikk som del av sin lærerutdanning ved universiteter og høyskoler, lærere i fysikk og naturfag og lærerutdannere i disse fagene. Den er et verktøy for videreutvikling av egen undervisning og refleksjon over fysikkfagets rolle og egenart i skole og samfunn.

## Dybdelæring i naturfag

Liv Oddrun Voll, Anne  
Holt og Anne Bergliot  
Øyehaug (red.)

Universitetsforlaget



Hvordan kan naturfaglæreren skape interesse for naturfaget hos elevene og legge til rette for at de utvikler sin fagforståelse og evne til å anvende det de har lært? Skolens naturfagundervisning har blitt karakterisert som en mil bred og en tomme dyp, men anbefalingen nå er å konsentrere undervisningen rundt dybdelæring i noen sentrale og grunnleggende byggesteiner i faget. Hva betyr dette i praksis?

I *Dybdelæring i naturfag* viser forfatterne hva dybdelæring er, og de presenterer ny forskning på hvordan man kan legge opp undervisningen for å fremme god progresjon i faglig forståelse, kunnskaper og ferdigheter. Dybdelæring er gjennomgående i alle kapitlene og sees i sammenheng med fagdidaktiske tema som valg av kjerneelementer i faget, utforskende undervisning, bruk av modeller, ulike læringsarenaer og grunnleggende ferdigheter.

Boka er skrevet for lærere, lærerutdannere og lærerstudenter som vil utvikle og forbedre skolens naturfagundervisning.

## BOKOMTALER

## Elever som forskere i naturfag

2. utgave

Erik Knain og Stein  
Dankert Kolstø (red.)

Universitetsforlaget



Utforskende arbeidsmåter gir rom for utvikling av interesse, metodekompetanse, kreativitet og evne til kritisk vurdering og bruk av data og informasjon. I boken viser forfatterne hvordan læreren kan ta i bruk utforskende arbeidsmåter i egen undervisning.

Forfatterne presenterer metoder i samspill med fagdidaktiske teorier og gir gode råd om hvordan arbeidsmåtene kan benyttes for å fremme naturvitenskapelig kompetanse. Boka er praksisnær og inneholder mange eksempler fra klasserommet.

I denne andreutgaven har forfatterne oppdatert boka med nye innsikter og i lys av de reviderte læreplanene. Utforskende arbeidsmåter blir knyttet til både dybdelæring og de nye, tverrgående temaene.

## Utvidet klasserom i naturfag

Merethe Frøyland og  
Kari Beate Remmen

Universitetsforlaget



Undervisning på andre læringsarenaer kan fremme gode læringsprosesser og forståelse i naturfag. Men for mange kan det likevel oppleves som vanskelig å få til gode undervisningsopplegg utenfor klasserommet i en skolehverdag der både tid og ressurser er knappe. I boka viser forfatterne hvilke muligheter som ligger i det utvidete klasserommet, og hvordan lærere kan designe undervisningsopplegg.

Rammefortellingen i boka handler om to klasser, en andreklasse i grunnskolen og geofagklasse i videregående skole, som fikk undervisning med utvidet klasserom i temaet bergarter. Ett år etter undervisningen viste det seg at andreklassingene løste bergartsoppgaven helt korrekt, mens elevene fra videregående skole slet med å bruke kunnskapen de hadde lært, til å løse den samme oppgaven. Med denne fortellingen som ramme diskuterer forfatterne forståelse, undervisningsdesign, oppdrag, undervisningsprogresjon, observasjon – og tolkningsverktøy og vurdering. De gir didaktiske råd som kan gi leseren et verktøy for å designe og studere undervisning i et utvidet klasserom.