

Systemtænkning i vedvarende energi



Det fede ved at arbejde med bæredygtige energisystemer, det er, at man får lov til at skubbe på samfundsudviklingen.

Vi har byggestenene til et bæredygtigt energisystem

Smart Energy Systems er vejen frem

Kunsten at lagre grøn energi



INSPIRATIONS-
MATERIALER
**OM NY
NATURVIDEN-
SKABELIG
VIDEN**

TemaMagasinet **IndBlik**

Synergi i omstilling til grøn energi

Verdens befolkning forbruger mere og mere energi. Langt det meste produceres af kul, olie og gas, hvilket fører til udledning af drivhusgasser, som forandrer Jordens klima.

For at begrænse klimaforandringerne er det nødvendigt at omlægge energiproduktionen til vedvarende energikilder, der tilmed – som navnet antyder – har den fordel, at de ikke slipper op. De nye grønne teknologier skal spille sammen i fremtidens energisystem, hvis vi skal gå over til 100 procent grøn energi. For eksempel skal en vindmølle, et fjernvarmeanlæg og en elbil spille sammen på nye måder, hvis det samlede energisystem i vores samfund stadigvæk skal kunne fungere i fremtiden.

Systemisk tænkning i vedvarende energi er ifølge professor i energiplanlægning Brian Vad Mathiesen et spændende forskningsfelt med stor samfundsrelevans og med potentiale til at få elever i grundskolen til at spærre øjnene op.

Dette temamagasin præsenterer professor Brian Vad Mathiesens forskning, som foregår på Aalborg Universitet. Magasinet giver også en introduktion til systemisk tænkning i vedvarende energi som et tema, der kan didaktiseres fra 1. til 9. klasse.

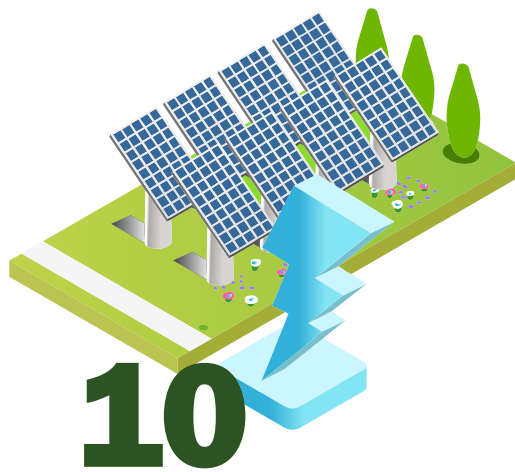
Naturvidenskabens ABC

Temaet vedrører grundlæggende naturvidenskabelige erkendelser. 10 sådanne erkendelser er beskrevet i Naturvidenskabens ABC, der er udviklet for Børne- og Undervisningsministeriet. Erkendelser, der er relevante for dette tema, er:

- Jordens ressourcer er konstante og indgår i et kredsløb (erkendelse 3).
- Fundamentale fysiske naturkræfter virker overalt i universet (erkendelse 8).
- Energien i universet er bevaret, men kan ændres fra en form til en anden (erkendelse 9).

Se naturvidenskabens-abc.dk





10

Smart Energy Systems er vejen frem

Fremtidens energisystem skal være mere fleksibelt og sammenhængende, så energiproduktion og -forbrug kan fungere omkostningseffektivt, bæredygtigt og sikkert.

4

Vi har byggestenene til et bæredygtigt energisystem

Vi behøver ikke vente på et teknologisk quickfix. Sådan lyder det fra professor Brian Vad Mathiesen, der er en af landets førende eksperter i energiplanlægning.



12

Kunsten at lagre grøn energi

Der er fokus på vindmøller, solceller og elbiler i klimadebatten. Men lagring er den store udfordring.



16

Vedvarende energi vil tale til mange elevers motivation

Gennem undersøgende undervisning kan eleverne tage del i at udvikle fremtidens bæredygtigt energisystem uden fossile brændsler.



22

Overblik: Temamagasinet er en del af en samlet videnspakke

Seks inspirationskataloger hjælper undervisning i temaet på vej, film formidler forskning, og redskaber støtter naturfagsteams.

Vi har byggestenene til et bæredygtigt energisystem

Vi behøver ikke vente på et teknologisk quickfix. Sådan lyder det fra professor Brian Vad Mathiesen, der forsker i energiplanlægning og har været med til at udarbejde en plan for at omlægge Danmarks samlede energisystem til vedvarende energi i 2050.



De færreste danskere har råd til at overisolere deres bolig og installere solceller på taget og batterier i kælderen. Derfor skal der findes nogle balancer, så alle samfundslag kan være med og føle sig som en del af den grønne omstilling. Vi kommer med andre ord ikke i mål med matrikelløsninger.

I 2030 skal vores udledning af CO₂ være reduceret med 70 procent, og i 2050 skal det være helt slut med udledningen. Det er besluttet politisk med henblik på at bremse klimaforandringerne – og målsætningerne kræver, at vi ændrer motoren i vores samfund drastisk. Hvordan det skal ske, er blandt de store spørgsmål, som Brian Vad Mathiesen, der er professor i energiplanlægning

og vedvarende energi ved Aalborg Universitet, forsøger at besvare:

”Det handler om, hvordan vi får løst klimaudfordringerne, samtidig med at vi har et velfungerende og effektivt energisystem. Det indebærer ikke kun teknologi, men også økonomi, betalingsbalance, jobskabelse og luftforurening. Der er så mange dele af samfundet, som de her teknologier egentlig påvirker”.

Væk fra matrikelløsninger

Brian Vad Mathiesen mener, at man i udviklingen af fremtidens energisystem nødvendigvis må fokusere på at udvikle smarte løsninger, som sikrer, at energiproduktionen kan foregå og udnyttes optimalt og på tværs af sektorer.

Både økonomiske hensyn og teknik spiller en stor rolle i den forbindelse, og vi skal ifølge den 43-årige professor tænke i sammenhængende systemer og strukturer for at opnå de store gevinster ved fremtidens grønne energisystem. Vi skal eksempelvis anlægge solceller på de store industritage i stedet for på hvert lille hustag.

Og vi skal anlægge en stor vindmølle, som mange kan deles om, i stedet for at have en lille vindmølle på hver matrikel.

”Det er en limousineløsning, hvis man som borger gør ting, som i virkeligheden ikke gavner det samlede energisystem – ja, faktisk måske ligefrem modarbejder det. Samtidig har de færreste danskere råd til at overisolere deres bolig og have solceller på taget og batterier i kælderen. Derfor skal der findes nogle balancer, så alle samfundslag kan være med og føle sig som en del af den grønne omstilling. Vi kommer med andre ord ikke i mål med matrikelløsninger”, forklarer Brian Vad Mathiesen.

Smart Energy Systems: Et samlet energisystem på tværs af el, varme og transport

Energiløsninger, der rækker ud over den enkelte matrikel, er i fokus, når Brian Vad Mathiesen forsker sammen med kolleger på Aalborg Universitet. De ser på, hvordan et samlet energisystem baseret på vedvarende kilder bedst kan sættes sammen på tværs af el-, varme- og transportsektorerne.

Definition: smarte energisystemer

Smarte energisystemer er omkostningseffektive, bæredygtige og sikre energisystemer, hvor vedvarende energiproduktion, infrastrukturer og energiforbrug er integreret og koordineret med henblik på at skabe mere effektive, fleksible og grønne løsninger. Det store fokus på et samlet energisystem i dag handler især om, hvordan vedvarende, rigelig og billig elproduktion fra for eksempel vind og sol kan udnyttes i andre sektorer.

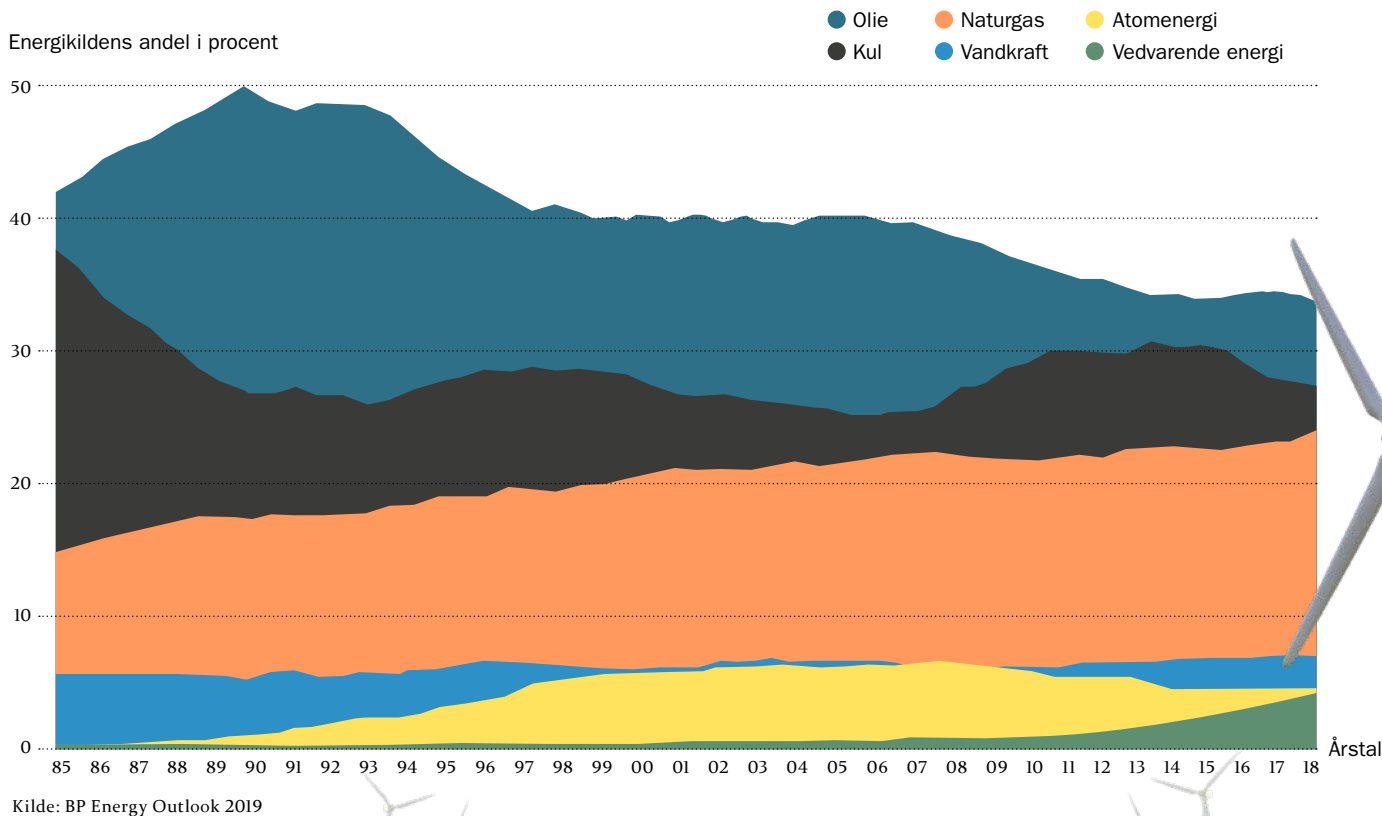
De vigtigste kilder til vedvarende energi er vind-, sol- og vandkraft samt biomasse. Blandt dem er især vind- og solkraft vigtige af to grunde:

1. Vind- og solkraft kan levere den nødvendige energi langt de fleste steder i verden.
2. Prisen på vind- og solenergi er kommet så langt ned, at den kan konkurrere med fossile energikilder.

Det er imidlertid udfordrende at udnytte energien fra vind og sol, da produktionen ikke følger menneskers behov, men vejrets luner. For at udnytte disse kilder optimalt skal de derfor integreres smart med resten af energisystemet, der fortsat drives i altovervejende grad af olie, kul og gas på verdensplan. Det er netop det, Brian Vad Mathiesens forskning i Smart Energy Systems handler om:

”I vores forskning i Smart Energy Systems arbejder vi med, hvordan man sørger for, at teknologierne spiller sammen i fremtidens energisystem. Hvordan kan eksempelvis en vindmølle, et fjernvarmeanlæg og en elbil spille sammen på en måde, så det samlede energisystem faktisk kan fungere? Hvor meget energi kan man spare i boliger og i industrien? Hvad er samspillet mellem forskellige former for energilagring?”

Udvikling i forbruget af energikilder på verdensplan



Matematiske modeller og dialog

I sin forskning har Brian Vad Mathiesen ved brug af matematiske modeller vist, hvordan vind og sol kan indgå som kilder i fremtidens energisystem. Det kræver en omstilling af energisystemet, hvor vind og sol spiller fornuftigt sammen med energilagere og fleksibel produktion af varme, elbiler og fremstilling af syntetisk brændsel. Omstillingen vil gøre det muligt at udnytte synergierne i energisystemet, samtidig med at vi også inddrager de problemstillinger, det kan medføre for samfundet, forklarer Brian Vad Mathiesen:

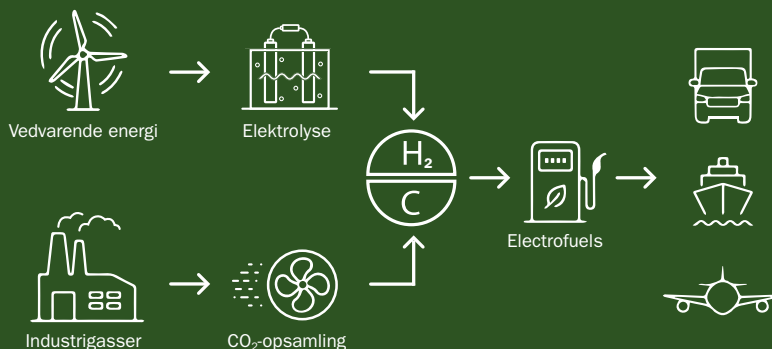
”Ud fra vores matematiske modeller kan vi lave scenarier for, hvordan vi kan komme over på 100 procent vedvarende energi gradvist. Men vores forskning foregår også ved at regne på samfundsøkonomien, tale med aktører fra kommuner, virksomheder, staten, NGO'er og borgere generelt. Så fra mit forskerperspektiv hænger teknik og samfund rigtig meget sammen”.

Electrofuels som eksempel på bæredygtig energi

Electrofuels kan ifølge Brian Vad Mathiesen blive svaret på, hvordan en af de store klimabelastere – nemlig den tunge transport – kan omlægges i fremtiden. Elbiler ligner den langsigtede løsning på fremtidens persontransport, men en meget stor del af CO₂-udledningen kommer fra den tunge transport som lastbiler, containerskibe og fly.

Sådan laver man electrofuels

Electrofuels er en kombination af CO₂ og brint. El fra vindmøller og solceller omdannes til brint via elektrolyse, og den rene brint kombineres med CO₂ fra industri, biogas eller biomasseforgasning i en kemisk reaktion, som danner en gennemsigtig, flydende væske, der kan fyldes i tanken på vores biler, lastbiler, skibe og fly.



Transportsektoren stod ifølge United Nations Environment Programme i 2017 for 22 procent af verdens samlede energirelaterede CO₂-udledning. Og alt tyder på, at den tunge transport i mange år ud i fremtiden vil være afhængig af flydende brændstoffer, fordi batteriteknologien ikke er i nærheden af at kunne drive så tunge transportmidler over lange afstande.

Men måske kan det flydende brændstof gøres bæredygtigt? Det er ambitionen med electrofuels eller Power-to-X, som producerer grønt, bæredygtigt brændstof ud af strøm og brint. Brinten kommer ved hjælp af elektrolyse, som er en mere end 100

år gammel teknologi, hvor strøm splatter vand til ilt og brint. Bliver brint kombineret med en kulstofkilde som CO₂, kan der ud af den kombination fremstilles forskellige typer syntetisk brændstof, der er baseret på strøm. Hvis strømmen kommer fra for eksempel vindmøller eller solceller, er brændstoffet bæredygtigt:

”Lige nu arbejder jeg med, hvordan vi kan putte elektroner fra vindmøller ned i tanken på lastbiler, skibe og fly. Det handler om, at vi skal bruge brint, som produceres via elektrolyse fra vindmøllestrøm, sammen med noget kulstof, hvor vi så kan lave nogle flydende brændsler, som ligner

benzin og diesel, og bruge det i vores skibe og fly i fremtiden. Udfordringen er, at vi ikke kan putte batterier i alle vores transportformer. Derfor har vi brug for en energibærer, som har en meget stor koncentration af energi på en lille volumen”, forklarer Brian Vad Mathiesen.

Brian Vad Mathiesen vurderer, at det ikke kun er til gavn for den tunge transports klimaregnskab at erstatte traditionelt brændstof med den bæredygtige variant produceret ved hjælp af strøm fra vindmøller og solceller.

Det vil samtidig være en håndsrækning til energisektoren, fordi produktionen af electrofuels til den tunge transport kan

aftage overskydende energi – når det blæser meget – og dermed balancere energinet.

Teknologierne skal gøres effektive og driftssikre

Brian Vad Mathiesen er i sin forskning optaget af at finde måder til at forbedre de forskellige teknologier, så de bliver billigere, mere effektive og driftssikre. Men vi har allerede størstedelen af de teknologier, der er brug for i 2050, understreger han:

”Vi ved faktisk meget om, hvor vi skal hen, når vi taler om et vedvarende energisystem i 2050. Det er vigtigt, at vi erkender, at vi kan gøre en hel masse ting nu og her med de teknologier, vi har til rådighed. Vi skal altså accelerere vores indsats med forandringer i samfundet”.

Brian Vad Mathiesen peger for eksempel på, at udviklingen af electrofuels til den tunge transport kan prioriteres, hvis electrofuels skal komme ned i et prisleje, som er konkurrencedygtigt med benzin og diesel. At det kan lade sig gøre, er vindmøller et eksempel på. Vindmøller er herhjemme nærmest blevet symbolet på den grønne omstilling, men det har krævet investeringer at komme derhen:

”Tingene springer jo ikke ud af laboratoriet og bliver markedsmodne. Teknologier skal videreudvikles, og det gør man bedst ved at skabe et marked, der sænker produktionsomkostningerne, innoverer materialer, nye produktionsmetoder og så videre”, siger Brian Vad Mathiesen.

Electrofuels – kort fortalt

En ny type brændstof er helt centralt for en mere klimavenlig verden, og der kan electrofuels blive den helt store spiller. Fly og skibe – som globalt udleder store mængder CO₂ – kan drives frem af såkaldte elektrobrændstoffer, også kaldet electrofuels. Enkelt fortalt anvendes strøm fra for eksempel vindmøller i en kemisk proces til at udvikle brændstoffer, der populært sagt kører på CO₂, og som driver fartøjet frem uden at afgive ekstra CO₂ til atmosfæren.





Vi står ved en skillevej i forhold til de beslutninger, der er en villighed til at tage. Ikke bare her i Danmark, men i hele verden.

Energi er et centralt begreb i naturvidenskaben

Begrebet om energi skylder sin centrale plads i videnskabens historie og praksis til tidligere forskere, der har stået for grundlæggende forskningsgennembrud. Her er nogle eksempler med særlig relevans for forskningen i vedvarende energi:

1. Elektromagnetisme

H.C. Ørsted opdagede i 1820 det, vi i dag laver elektromagneter med. Senere fandt den britiske videnskabsmand Michael Faraday ud af, at den elektromagnetiske virkning går begge veje. Det vil sige, at man ved at bevæge en magnet over en ledning kan skabe en elektrisk strøm i ledningen. Senere, i 1865, udgav skotten James Clerk Maxwell den forklaring, vi i dag kalder elektromagnetisme: Et sæt matematiske ligninger, som beskriver de regler, der gælder for elektriske og magnetiske felter. I vore dage skabes næsten al den elektricitet, vi forbruger, ud fra elektromagnetismens regler. Nemlig ved at magneter og ledninger bevæges hurtigt i forhold til hinanden, hvorved en strøm induceres i ledningerne. På den måde producerer vindmøller, kraftværker og bilers generatorer elektricitet.

2. Termodynamikken

Termodynamikken (også kaldet varmelære) omfatter varme og omdannelse af varme til energi. Den klassiske termodynamik handler hovedsageligt om systemer i termodynamisk ligevægt og beskriver udveksling af varme mellem lukkede systemer.

Termodynamikkens historie begynder med den tyske fysiker Otto von Guericke, der havde sat sig for at modbevise Aristoteles' konstatering af, at naturen afskyr et vakuum. Von Guericke lykkedes med sit forehavende og byggede i 1650 verdens første vakuumpumpe, der

demonstrerede et vakuum ved hjælp af såkaldte magdeburgske halvkugler.

Den engelske fysiker og kemiker Robert Boyle havde lært af von Guericke's design, og i 1656 byggede han i samarbejde med kollegaen Robert Hooke en luftpumpe, der førte til opdagelsen af korrelation mellem tryk, temperatur og volumen. Med tiden blev Boyles lov formuleret - den angiver, at tryk og volumen er omvendt proportionale.

3. Elektrolyse

Elektrolyse spiller en stor rolle i Brian Vad Mathiesens forskning som metode til at lagre energi fra sol og vind i en langtidsholdbar form. Elektrolyse går ud på at adskille eller spalte et stof ved hjælp af elektricitet - for eksempel kan vanddamp (H_2O) spaltes til ilt og brint i en elektrolysator. Ophavsmanden bag elektrolyse-metoden er den britiske fysiker og kemiker Michael Faraday, der forskede i kølvandet på H. C. Ørsted.

4. Einsteins berømte ligning

Einsteins berømte ligning $E = mc^2$ fortæller, at alt stof kan beskrives som energi. Einstein formulerede ligningen i forbindelse med sin relativitetsteori, der implicerer, at et legeme med masse besidder energi, selv hvis det er i hvile og ikke har nogen form for konventionel energi (potentielt energi, kinetisk energi, kemisk energi osv.).

Smart Energy Systems er vejen frem

Fremtidens energisystem er et omkostningseffektivt, bæredygtigt og sikkert energisystem, hvor vedvarende energiproduktion, infrastrukturer og energiforbrug er integreret. Brian Vad Mathiesen har regnet på scenarier, der viser, hvordan Danmark kan få et 100 procent vedvarende og fleksibelt energisystem.

50 procent vind, sol og bølger

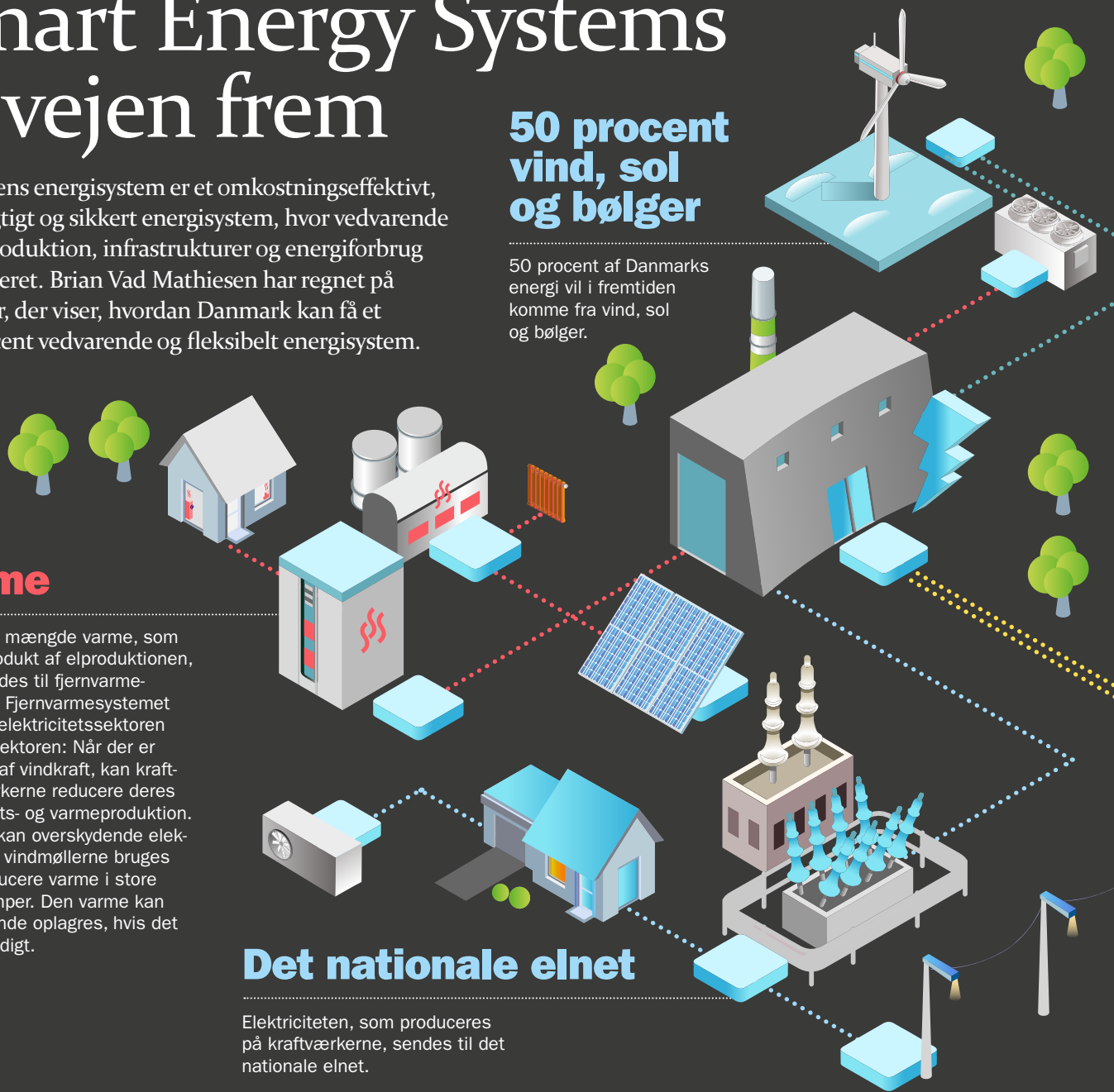
50 procent af Danmarks energi vil i fremtiden komme fra vind, sol og bølger.

Varme

Den store mængde varme, som er et biprodukt af elproduktionen, videregives til fjernvarmesystemet. Fjernvarmesystemet forbinder elektricitetssektoren til varmesektoren: Når der er overskud af vindkraft, kan kraftvarmeverkerne reducere deres elektricitets- og varmeproduktion. Samtidig kan overskydende elektricitet fra vindmøllerne bruges til at producere varme i store varmepumper. Den varme kan efterfølgende oplagres, hvis det er nødvendigt.

Det nationale elnet

Elektriciteten, som produceres på kraftværkerne, sendes til det nationale elnet.



50 procent biomasse

50 procent af Danmarks energi vil i fremtiden komme primært fra biomasse, særligt træ og halm, som er produceret i Danmark.

I Smart Energy Systems er produktionen af biomasse nøje afmålt, så den forbliver effektiv og bæredygtig. Det er vigtigt, at der ikke bliver tale om en overproduktion på bekostning af andre sektorer såsom fødevarerproduktion.

Biogas

En del af biogasserne vil fortsat komme fra klassisk biogasproduktion baseret på gødning og andre biprodukter:

- Fra landbruget
- Fra husholdnings- og industriaffald.

Lokale skove

Størstedelen af biogasserne fremstilles ved hjælp af termisk gasificering, hvor det organiske materiale bliver opvarmet til høje temperaturer, hvormed der udvikles gasser. Denne proces er yderst effektiv. Opvarmningen sker for eksempel ved hjælp af ubehandlet træflis fra lokale skove.

Biogasforbrug

Biogassen kan bruges på flere måder i energisystemet:

- Direkte på kraftvarmeværket, hvor turbinerne konverteres fra kul- til gasturbiner.
- Til brændselsceller, der i princippet fungerer som et batteri ved at omdanne brændstof og luft direkte til elektricitet, varme og vand gennem en elektrokemisk proces.

Vedvarende energi til transport

Elbiler kan ikke stå alene. En ny teknologi er hydrogenering. På hydrogeneringsanlæg bliver biogassen boostet med hydrogen (H) og kuldioxid (CO₂). Kuldioxid fås fra røgen fra kraftvarmeværkerne. Hydrogen eller brint produceres gennem elektrolyse af overskydende elektricitet, som produceres, når vindmøllerne producerer mere energi, end der er behov for.

Gennem hydrogenering kan en række forskellige brændstoffer produceres i flydende form og gasform – såkaldte electrofuels.

Kunsten at lagre grøn energi

Der er fokus på vindmøller, solceller og elbiler i klimadebatten. Men lagring er den store udfordring, og her kan elektrolyse blive afgørende for at lykkes med den grønne omstilling.

Der er sket meget, fra det første elværk åbnede i Køge i 1891 og til i dag, hvor det er svært at forestille sig et liv uden elektricitet. Energi er en afgørende forudsætning for industriel, kommerciel og social velstand foruden personlig komfort og mobilitet. Men energiproduktion og -forbrug medfører også betydelig miljøbelastning: udledning af drivhusgasser, affaldsproduktion og olieudslip. Belastningerne bidrager til klimaforandringerne, skader de naturlige økosystemer og det menneskeskabte miljø og har negative sundhedsvirkninger.

I dag taler vi om at minimere mængden af CO₂, der udledes til atmosfæren, ved at omlægge til en mere bæredygtig energiproduktion. I Brundtland-rapporten fra 1987 bliver

bæredygtig udvikling defineret som "en udvikling, som opfylder de nuværende behov uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare".

Danmark er vindmøllernes land

I 2019 leverede vinden energi til næsten halvdelen af Danmarks elforbrug. Og intet tyder på, at vinden løjer af. Frem mod 2050, hvor Danmark skal være uafhængig af fossile brændsler, vokser andelen af vindenergi i elnettet. Udfordringen bliver at udvikle et energisystem, der er bæredygtigt, sikkert, baseret på vedvarende energikilder og uden for store omkostninger.

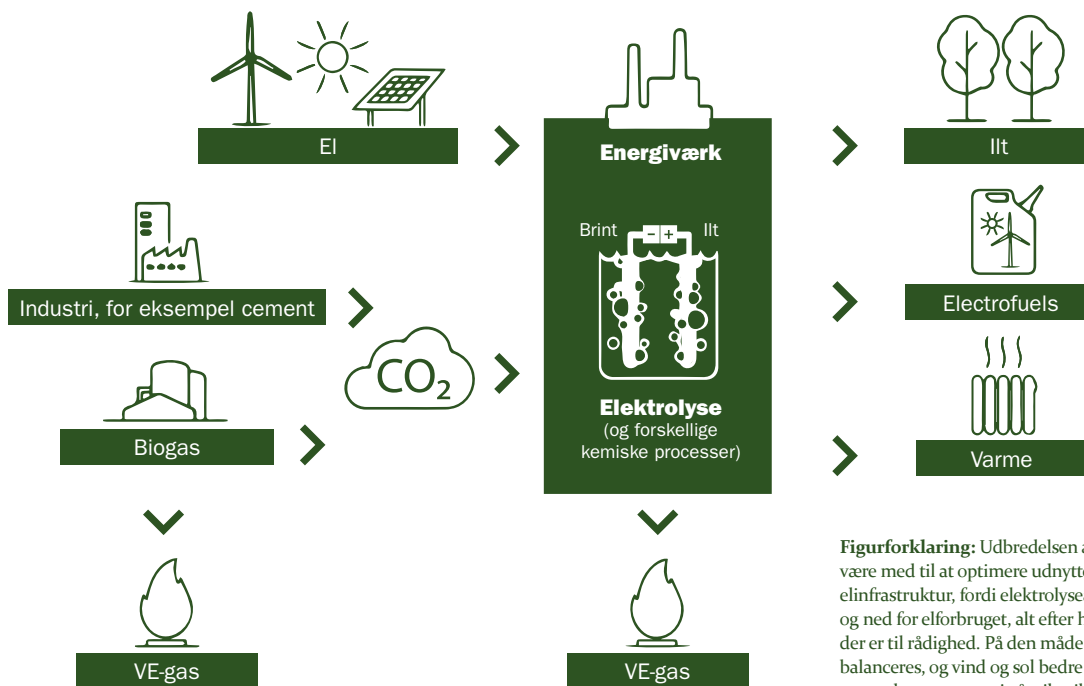
Vind og sol er i sagens natur ikke stabile energikilder. De producerer i bogstavelig forstand energi, som

vinden blæser, og solen skinner. Til gengæld er der nogle gange så meget af den, at vi i Danmark producerer store mængder overskydende energi, som blandt andet eksporteres til vores nabolande. Derfor er der brug for, at vi kan lagre energien, så vi kan bruge den igen på et senere tidspunkt, når vinden eller Solen ikke sender strøm ind i elnettet. Lagringsproblematikken er ikke kun relevant i forhold til at gemme energi – den er også relevant i forhold til at skabe balance i energisystemet, hvor produktion og forbrug skal være i konstant balance for at sikre stabil forsyning.

Elektrolyse omdanner strøm til brint

Elektrolyse er en teknologi, der kan bidrage til den grønne omstilling af Danmarks energisystem. Med elek-

Elektrolyseanlæg kan være med til at optimere udnyttelsen af eksisterende elinfrastruktur



Figurforklaring: Udbredelsen af elektrolyseanlæg kan være med til at optimere udnyttelsen af den eksisterende elinfrastruktur, fordi elektrolyseanlæggene kan skruer op og ned for elforbruget, alt efter hvor meget grøn strøm, der er til rådighed. På den måde kan elnettet nemmere balanceres, og vind og sol bedre integreres, uden at større mængder grøn energi går til spilde.

trolyse kan vanddamp (H_2O) spaltes til ilt (O_2) og brint (H_2) i en såkaldt elektrolysator, og foregår det med overskudsstrøm fra eksempelvis vindmøller eller solceller, er processen bæredygtig. Foregår elektrolysen i perioder, hvor der er højere produktionskapacitet end efterspørgsel på strøm – det kan være om natten, eller når det blæser godt – kan elektrolyse bidrage til at aftage strøm, skabe balance i nettet og producere brint til lokalt brug. Elektrolyse kan altså tage en del af den vedvarende energi ud af elnettet og lagre den i en stabil form. Den grønne strøm, som vinden eller Solen sender ind i elnettet nu og her, forvandles til et grønt brændstof, der kan forbruges, når behovet er der. På den måde kan elektrolyse samtidig være en vigtig brobygger mellem de forskellige energisektorer.

Hvad er en elektrolysator

En elektrolysator er et apparat, der består af elektrokemiske celler med positive og negative elektroder, lidt som i et genopladeligt batteri. Apparatet kendes også som et vandsønderdelingsapparat. Elektrolysatorer kan typisk kun spalte H_2O til brint (H_2) og ilt (O_2), men forskere arbejder på at udvikle elektrolysatorer, som derudover kan omdanne en blanding af H_2O og CO_2 til H_2 og CO (kulmonoxid) og O_2 .

Kilde: videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/elektrolyse-gor-al-energi-fra-vindmoller-vaerdifuld

Brint er afgørende for at omstille den grønne transport

Klimavenligt brændstof til transportsektoren og bedre udnyttelse af den vedvarende energi. Det er bare to af de fluer, der kan klares med smækket fra en øget brug af elektrolyse. Og netop den tunge trafik er et smertensbarn i den grønne omstilling.

El er fin som forsyningskilde i den lette og korte transport, men batterier er endnu ikke relevante for længere og tungere transport. Electrofuels handler om at konvertere el til brint gennem elektrolyse. Ved at konvertere vindmøllestrøm til brint gennem elektrolyse og lede den over

Er biobrændsel CO₂-neutralt?

Biobrændsel stammer fra dødt biologisk materiale ligesom fossile brændstoffer. Forskellen er, at fossile brændstoffer er biologisk materiale, der er dødt for millioner af år siden, mens biobrændsel er nyt biologisk materiale.

Når fossile brændstoffer afbrændes, frigives der CO₂, som har været lagret i millioner af år. Når biobrændsel afbrændes, bliver der også frigivet CO₂, men sås der nye planter i et omfang, der svarer til dem, der afbrændes, vil CO₂'en igen blive optaget. Derfor vurderes biobrændsel generelt som CO₂-neutralt.

Det er en forudsætning for den vurdering, at de afgrøder, som biobrændslet hentes fra, drives bæredygtigt. Bæredygtigheden afhænger af, om der rent faktisk indfanges lige så meget CO₂ igen, efter biomassen er blevet fjernet. Det hjælper, hvis der er tale om restprodukter fra for eksempel fødevarerproduktion af korn, det vil sige halm.

Det kan også hjælpe, hvis afgrøderne til biobrændsel dyrkes lokalt, for så er det lettere at følge og kontrollere gensåningen og dermed CO₂-regnskabet.

i transportsektoren bliver det muligt at få en del af den tunge trafik over på grønne brændsler.

Electrofuels og sektorkobling er derfor uden tvivl vigtige byggesten i den næste vanskelige fase af den grønne omstilling, hvor vi i Danmark skal op på 100 procent grøn energi. Derfor er der også et stigende fokus på oprettelse af elektrolyseanlæg i disse år. I Danmark er der et elektrolyseanlæg i Hobro.

Hvad er Power-to-X?

Power-to-X er en samlet betegnelse for forædlingsprocesser, hvor vedvarende elproduktion via elektrolyse forædles til brint, syntetiske brændstoffer eller syntetiske kemikalier. Det kan for eksempel være:

- **Brint:** Kan bruges direkte til varme og elproduktion, i transportsektoren og som kemisk råvare. Brinten fremstilles ved elektrolyse af vand, hvilket er et fælles, første trin for fremstilling af de nedenstående Power-to-X-produkter.
- **Syntetisk metan:** Kan tilføres direkte i naturgasnettet og benyttes til samme formål som naturgas. Produktionen kræver en CO₂-kilde. Processen er ofte benævnt Power-to-Gas.
- **Syntetiske flydende brændstoffer som metanol, benzin, kerosin (jetbrændstof), diesel og gasolie:** Kan benyttes til samme formål som de tilsvarende fossile olieprodukter. Produktionen kræver en CO₂-kilde. Processen benævnes af og til Power-to-Liquids (PtL).
- **Ammoniak – en grundbestanddel i kunstgødning:** Kan bruges som energibærer for brint eller direkte som brændstof. Produktionen kræver ikke en CO₂-kilde, men blot nitrogen (kvælstof) direkte hentet fra luften.





Tre forskningseksempler:

Den bæredygtige omstilling af energisystemet

Der forskes i, hvordan vi skaber et omkostningseffektivt, bæredygtigt og sikkert energisystem, hvor vedvarende energiproduktion, infrastrukturer og energiforbrug er integreret og koordineret. Her er tre eksempler:

1. Aalborg Universitet: Smart Energy Systems

Forskningen i Smart Energy Systems skal være med til at sikre en stabil og bæredygtig energiforsyning. I forsøget på at opnå et CO₂-neutralt Danmark i 2050 har der tidligere været en tendens til at se isoleret på elektricitetssektoren. Med Smart Energy Systems anlægges i stedet en helhedsbetragtning på fremtidens energiforsyning, så forskellige sektorer såsom elektricitets-, varme- og transportsektoren tænkes sammen. Målet er at skabe en synergi, så vi samlet set får den bedste og mest økonomiske løsning. Smart Energy Systems bygger videre på allerede eksisterende teknologier, men de kræver også nye teknologier og ny infrastruktur. Bioenergi, vind- og solenergi er hoved-

produktionsformerne i Smart Energy Systems. Tanken er, at vind, sol, geotermi og bioenergi skal erstatte den mængde fossilt brændstof, vi bruger i dag. Desuden kan fjernvarmen samle det energispild op, der er fra industri, spildevand, datacentre mv. og bruge store varmepumper og varmelagre til at skabe fleksibilitet. Sammen med elbiler og på sigt electrofuels skaber det flere omkostningseffektive lagringssystemer mellem produktionen og forbruget.

Læs mere her: www.en.plan.aau.dk/brianvad/video/

2. Danmarks Tekniske Universitet: SOEC

SOEC er en forkortelse for 'Solid Oxide Electrolysis Cell', det vil sige en elektrolysecelle, som er det bærende element i en elektrolyseteknologi, der har udviklet sig enormt over de sidste 15 år – både med hensyn til ydeevne, levetid og opskalering af teknologien. Vi er gået fra kun at lave små forsøg og tests i laboratoriet af kortere varighed til nu at kunne demonstrere det på et anlæg. Kort sagt består teknologien i at anvende

elektrolyseceller, der bruger elektricitet fra vind og sol til at spalte vandmolekyler til brint og ilt. Derudover er det muligt, lidt forsimplet, at bruge CO₂ og kombinere det med brint, som man får fra strøm, for eksempel fra vindmøller.

Læs mere her: www.energy.dtu.dk/forskning/elektrolyse/keramiske-elektrolyseceller

3. Aalborg Universitet:

Handlingsplan for storskala-anvendelse af elektrolyse i Danmark

Interessen for brug af elektrolyse i energisektoren er stor, men udrulningen er kompleks. Danmark har en unik mulighed for at blive en central aktør inden for elektrolyse og produktion af electrofuels, da Danmark med sin høje andel af vedvarende energikilder kan fungere som testcenter for integration af vedvarende

energi og integrationsteknologier samt som producent af brændsler til den tunge transport.

Læs mere her: vbn.aau.dk/en/publications/handlingsplan-for-storskala-anvendelse-af-elektrolyse-i-danmark

Vedvarende energi vil tale til mange elevers motivation

Det er elevernes fremtid, det gælder, når et bæredygtigt energisystem uden fossile brændsler skal udvikles. Gennem undersøgende undervisning kan eleverne engageres i at tage del i arbejdet.

Viden fra forskning i bæredygtig energi skal bidrage til at løse de store klimaudfordringer, vi står overfor. Brian Vad Mathiesen er en af de forskere, der til dagligt arbejder med bæredygtig og vedvarende energi. Hans forskning kan være med til at motivere eleverne til at lære om og arbejde med emnet.

Seks inspirationskataloger, der er udarbejdet i forlængelse af dette temamagasin, giver naturfagslærere og -teams konkrete forslag til at gennemføre undervisning i temaet. De seks inspirationskataloger er målrettet forskellige klassetrin og præsenterer autentiske problemstillinger, som eleverne kan arbejde problembaseret og selvstændigt med. Katalogerne sætter hver især fokus på et selvstændigt undertema i relation til Brian Vad Mathiesens aktuelle forskning.

Fra eget elforbrug til Smart Energy Systems

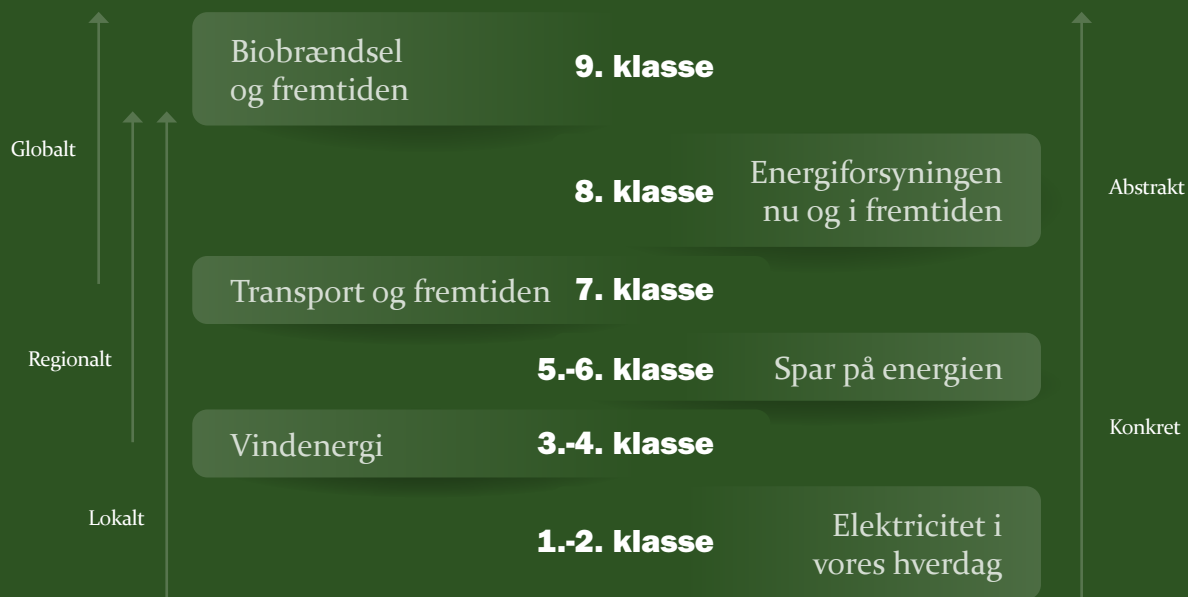
I natur/teknologi i 1.-2. klasse får eleverne en grundlæggende viden om, hvor vi bruger elektrici-

tet, og hvordan elforbruget er steget gennem tiden. Eleverne skal primært arbejde med undersøgelser på baggrund af deres naturlige undren og nysgerrighed. Med afsæt i den undren kan eleverne i 3.-4. klasse lære om fordele og begrænsninger ved vindenergi. I 5.-6. klasse kan eleverne gennem deres eget forbrug af elektricitet få indsigt i, hvordan mennesker kan reducere mængden af den CO₂, vi udleder.

I 7. klasse kan eleverne anvende de enkelte fags erkendelses- og arbejdsformer til at få færdigheder i arbejdet med problemstillinger i fællesfaglige forløb inden for undertemaet om fremtidens transport. I 8. klasse skal eleverne beskæftige sig med fremtidens samlede energisystem, inden de i 9. klasse stiller skarpt på biobrændsel og fremtiden.

Inspirationskatalogerne danner et sammenhængende forløb gennem skoleforløbet, samtidig med at hvert enkelt katalog udgør et afrundet emne (undertema) i sig selv.

Klassetrin



Progression og den røde tråd

Figuren illustrerer temaets progression gennem inspirationskatalogerne, der dækker hele skoleforløbet fra 1. til 9. klasse. Figuren viser dermed også den faglige røde tråd i forhold til temaet.

Inspirationskatalogernes undersøgelses- og aktivitetsforslag har progression fra det nære og lokale i indskolingen og til samfundsmæssige og globale perspektiver i udskolingen. Graden af problembaseret i forslagene øges gennem skoleforløbet, ligesom der sker en udvikling fra

det beskrivende over mere konkrete fænomener i indskolingen og på mellemtrinnet mod et højere abstraktionsniveau i udskolingen.

Gennem skoleforløbet får eleverne forudsætninger for at arbejde med vedvarende, bæredygtig energi i et helhedsperspektiv - i første omgang gennem tilegnelse af viden om elektricitet, til undersøgelser af vedvarende energi og af menneskets ansvar og muligheder for udvikling af en samlet bæredygtig energiforsyning.

Bæredygtig energi på tværs af de seks inspirationskataloger

På tværs af de seks inspirationskataloger løber fire røde tråde, der kan være med til at skabe undring og viden, der gør eleverne i stand til at handle og tage ansvar.

1. Fremtiden med Smart Energy Systems og Brian Vad Mathiesens forskning

I alle seks inspirationskataloger er der fokus på at skabe en forståelse for forskningen. Desuden kastes der lys over, hvordan en forsker som Brian Vad Mathiesen arbejder, samt hvilken betydning forskernes forslag om eksempelvis Smart Energy Systems har for vores samfund og løsningen af de udfordringer, vores planet står overfor.

2. Bæredygtig energi

Det overordnede tema for de seks inspirationskataloger er 'Systemtænkning i vedvarende energi' set i relation til bæredygtighed. I forbindelse med undervisning inspireret af inspirationskatalogerne er det relevant at arbejde med forståelsen af de to begreber bæredygtighed og energi. Bæredygtighed er et relativt nyt begreb, og bæredygtig udvikling blev defineret således i 1987 i Brundtland-rapporten: "En udvikling, som opfylder de nuværende behov uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare".

Brian Vad Mathiesens forskning handler om at sikre, at CO₂-udledningens mindskes samtidig med, at nuværende behov for energi kan opfyldes.

3. Udledning af CO₂ som en konsekvens af fossilt brændstof

Endnu en rød tråd gennem inspirationskatalogerne er det historiske perspektiv, hvor arbejdet med at forstå det stigende energiforbrug kræver et blik tilbage til industrialiseringen. Et historisk tilbageblik kan være med til at motivere eleverne til at arbejde med reduktion af CO₂-udledning.

4. Udvikling af nye teknologier

Kan nye og forbedrede teknologier løse de udfordringer, vi som samfund og planet står over for i forbindelse med den nødvendige overgang til grøn energiforsyning? I de seks inspirationskataloger er udviklingen af teknologier et gennemgående tema. Dels videnskabshistorisk, som for eksempel hvordan opfindelser ofte bliver til som små forbedringer og udvikling af allerede eksisterende teknologier, hvad eksempelvis historien om vindmøllernes udvikling viser. Dels som de etiske dilemmaer, nye teknologier kan skabe - eksempelvis i forbindelse med fordele og ulemper ved selvkørende biler.

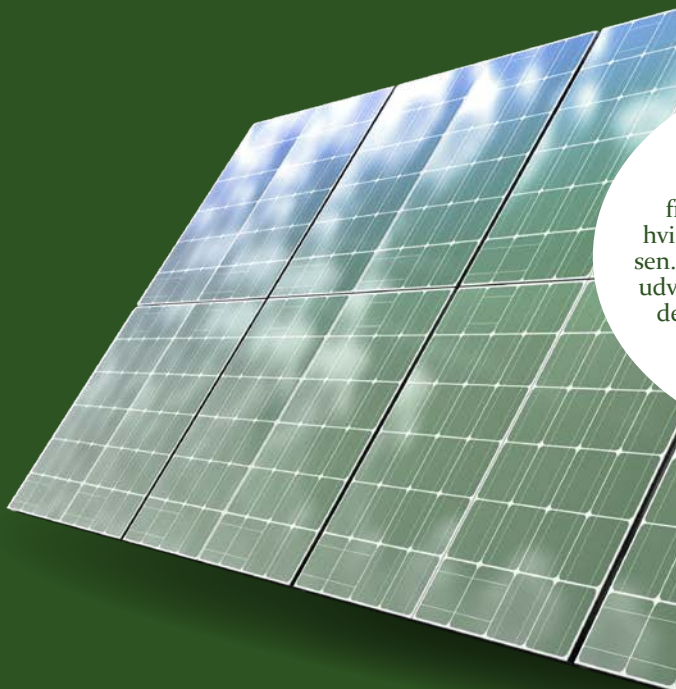


Ud af klasselokalet

I hvert af de seks inspirationskataloger er der idéer til, hvordan arbejdet på skolen med vedvarende energi kan bringes ud af klasselokalet. Det kan være mindre aktiviteter, der er formidlet af læreren, såsom en tur ud i landskabet for at se på vindmøller og solceller.

En anden mulighed er selvstændige aktiviteter, hvor læreren initierer, eller eleverne selv tager initiativ til en aktivitet eller en undersøgelse uden for skolen. Det kunne være en brugerundersøgelse eller en undersøgelse af eget energiforbrug i elevernes husstand.

En tredje mulighed er samarbejde med lokale virksomheder eller foreninger. Det kan for eksempel være en vindmøllevirksomhed.



Udvikling af inspirationsmaterialerne

Der er udviklet i alt 10 sæt inspirationsmaterialer om i alt 10 naturvidenskabelige temaer, herunder dette om 'Systemtænkning i vedvarende energi'. De øvrige temaer dækker over blandt andet klimaforskning, bæredygtigt byggeri, rent ferskvand, biodiversitet, genetik og sygdomme, det teknologiske samfund, rumforskning og mørkt stof.

I hvert sæt indgår der et temamagasin, en film og seks inspirationskataloger med inspiration til undervisning i det pågældende tema på forskellige klassetrin. Fagudviklere fra professionshøjskoler har udviklet indholdet på baggrund af forskernes input og i samarbejde med arbejdsgrupper med lærere.

De nyeste forskningsresultater er guf for os som lærere. Men det er et stort arbejde for os at finde frem til dem. Vi ville ikke kende dem, hvis ikke forskerne var inddraget i processen. Og materialet fungerer først, når det er udviklet sammen med dem, der skal bruge det. Og det er i sidste ende os lærere og vores elever.

Naturfagslærer Anette Fonder Nielsen
på Firehøjeskolen

For eleverne er det jo super-spændende at høre om forskeres forskning, og hvad der sker i den virkelige verden. De kan godt lide at arbejde med problemstillinger frem for bare at få overleveret viden.

Fagudvikler Line Stald, VIA University College

Seks inspirationskataloger om systemtænkning i vedvarende energi

De seks inspirationskataloger, som kan inspirere til undervisning ud fra Brian Vad Mathiesens aktuelle forskning, er tilrettelagt med henblik på de naturfaglige kompetenceområder og Fælles Mål:



**1.-2.
klasse**

Elektricitet i vores hverdag

Kompetenceområde i fokus:
Modellering

Fælles Mål:
Færdigheds- og vidensområdet teknologi og ressourcer i 2. klasse.



**5.-6.
klasse**

Spar på energien

Kompetenceområde i fokus:
Kommunikation

Fælles Mål:
Færdigheds- og vidensområderne teknologi og ressourcer; kommunikationskompetencen i naturfag efter 6. klasse.



**3.-4.
klasse**

Vindenergi

Kompetenceområde i fokus:
Undersøgelse

Fælles Mål:
Færdigheds- og vidensområderne teknologi og ressourcer; undersøgelser i naturfag i 4. klasse.



7.
klasse

Transport og fremtiden

Kompetenceområder i fokus:
Undersøgelse og modellering

Fælles Mål:

Fysik/kemi: produktion og teknologi; undersøgelse i naturfag; modellering i naturfag

Biologi: anvendelse af naturgrundlaget; perspektivering i naturfag; modellering i naturfag

Geografi: jordkloden og dens klima; demografi og erhverv; undersøgelse i naturfag; modellering i naturfag



8.
klasse

Energiforsyningen nu og i fremtiden

Kompetenceområder i fokus:
Perspektivering og kommunikation

Fælles Mål:

Fysik/kemi: stof og kredsløb; formidling; perspektivering i naturfag

Biologi: anvendelse af naturgrundlaget; kommunikation i naturfag; perspektivering i naturfag

Geografi: Jorden og dens klima; kommunikation i naturfag; perspektivering i naturfag



9.
klasse

Biobrændsel og fremtiden

Kompetenceområder i fokus:
Undersøgelse og perspektivering

Fælles Mål:

Fysik/kemi: stof og kredsløb; undersøgelse i naturfag; perspektivering i naturfag

Biologi: økosystemer; undersøgelser i naturfag; modellering i naturfag

Geografi: naturgrundlag og levevilkår; undersøgelse i naturfag; perspektivering i naturfag

Læs mere ...

De seks inspirationskataloger er struktureret ud fra en fagdidaktisk ramme, som understøtter systematisk planlægning og udførelse af undervisningen. Rammen er grundigt udfoldet i 'Vidensnotat om kompetenceorienteret naturfagsundervisning'.

En proces for at arbejde i naturfagsteamet med inspirationskatalogerne til temaet 'Systemtænkning

i vedvarende energi' ud fra den fagdidaktiske ramme er beskrevet i 'Udviklingsredskab til kompetenceorienteret naturfagsundervisning til naturfagsteams'.

Begge dele kan sammen med de seks inspirationskataloger hentes på emu.dk/grundskole/naturvidenskabsstrategien.

Du står med en del af en samlet videnspakke

Hent pakkens indhold her: emu.dk/grundskole/naturvidenskabstrategien



Bokssæt med 10 temamagasiner



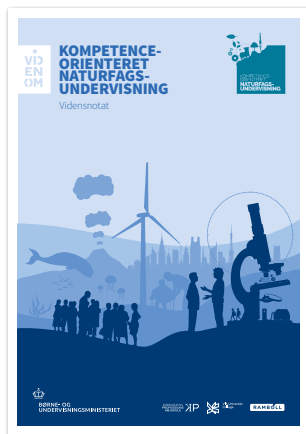
60 inspirationskataloger (10 temaer til seks klassetrin)



10 film i lang og kort version
Forskere fra de 10 temamagasiner præsenterer deres naturvidenskabelig forskning.



Podcasts



Vidensnotat
12 sider.



Planlægningsredskab
Otte sider til naturfagslærere og vejledere i grundskolen.



Eksemplarisk fællesfagligt forløb
16 sider til naturfagsteams og -lærere.



Udviklingsredskab
Fire sider til skoleledelserne.



PowerPoint-præsentation
Præsentation af de vigtigste pointer fra vidensnotatet.



Video
Speed drawing.



Udarbejdet af Rambøll Management Consulting,
Københavns Professionshøjskole, VIA University
College for Børne- og Undervisningsministeriet.

Eftertryk med kildeangivelse er tilladt.

Design & illustrationer
Campfire & co

Fotos
B2Bfilm ApS

ISBN
87-603-3279-4 (web udgave)
87-603-3280-8 (trykt udgave)



**BØRNE- OG
UNDERVISNINGSMINISTERIET**