

↑  
NATURVIDEN  
SKABERNES  
HUS



# POWER-TO-X

En virksomhedscase udarbejdet af Topsoe og Naturvidenskabernes Hus

I samarbejde med

**TOPSOE**



LI-ION BATTERY

**ENERGY**

STORAGE

Lithium ion batteries  
C 2008058816

**CAUTION**  
9' 6.5" HIGH  
8' 6" WIDE  
CONTAINER

# PROBLEMBASERET PROJEKTFORLØB

Fremtidens energiproduktion skal være grøn. Men hvordan løser vi udfordringen med at lagre energi, så vi har tilstrækkelig energi til rådighed, der hvor vi har brug for den? Det skal du og dine gymnasieelever undersøge i vores virksomhedscase i samarbejde med Topsoe.

## Kickoff

Forløbet skydes i gang med en virtuel kickoff, hvor medarbejdere fra Topsoe præsenterer en virksomhedscase, som kan anskues i enten et lokalt eller globalt perspektiv. Herefter arbejder eleverne selvstændigt videre med deres projekter.

## Status

Midt i forløbet vil der være en spørgetime, hvor det er muligt at stille spørgsmål til Topsoes medarbejdere, som kan hjælpe eleverne videre med deres projekter.

## Pitch

Forløbet afsluttes med virtuelle elevpræsentationer af deres problemstillinger og løsninger. Inden den virtuelle præsentation udvælger hvert gymnasium en gruppe, som skal fremlægge deres problemstilling og løsningsforslag for de andre deltagende gymnasieelever, lærere samt medarbejdere fra Topsoe, som giver feedback på elevernes projekter.

God fornøjelse!



# VIRKSOMHEDSCASENS FASER

Denne virksomhedscase er et problembaseret undervisningsforløb med udgangspunkt i en autentisk case fra Topsoe.

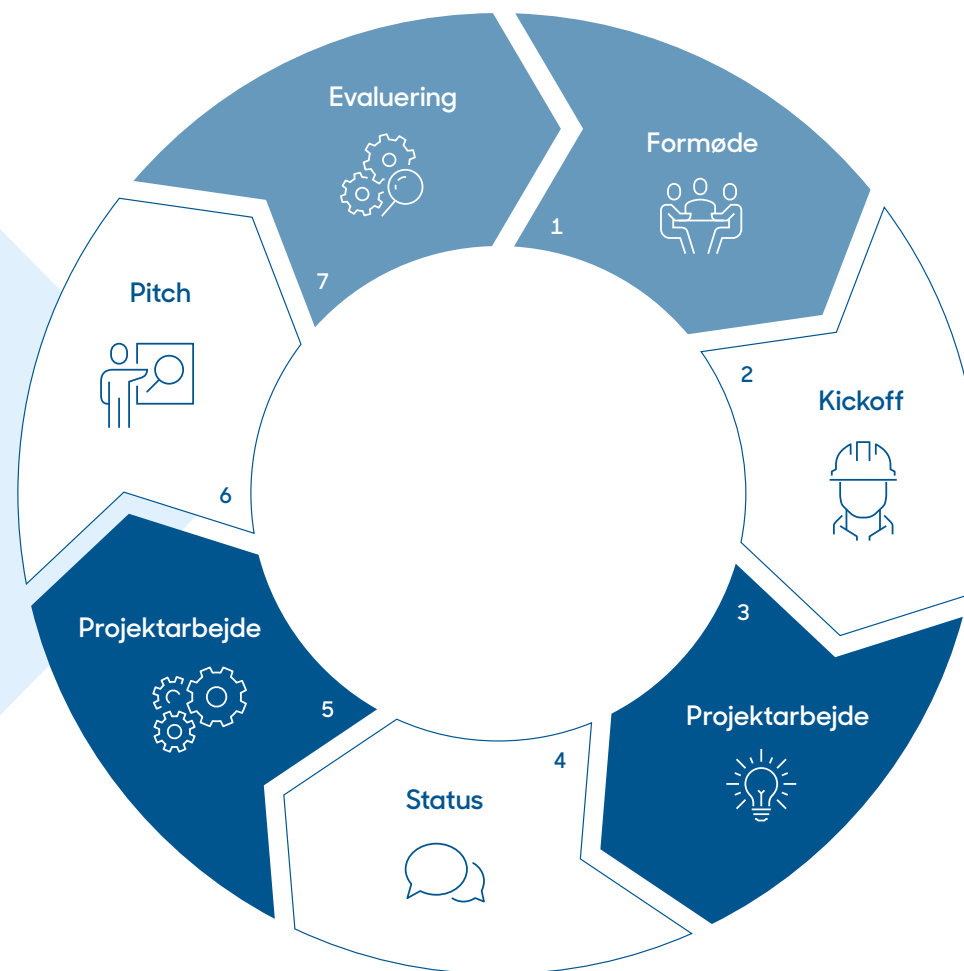
Hensigten er, at forløbet løfter de faglige forløb i gymnasieskolen og indfrier målet om, at eleverne udvikler kompetencer til at forstå, formulere og behandle samfundsrelevante problemer med henblik på at udvikle bæredygtige løsninger til fremtiden.

Samarbejdet vil forløbe gennem syv faser, som fremgår af denne model. Faserne er fleksible og kan tilpasses din læreplan og dine ønsker.

Det er vigtigt, at klassen deltager i de virtuelle aktiviteter med Topsoe.

Indimellem de virtuelle aktiviteter skal der afsættes tid til projektarbejde, så eleverne kan bidrage med et løsningsforslag.

[Læs mere om modellens faser.](#)



# OM TOPSOE OG CASEN

Som en del af den grønne omstilling er der et større behov for at omlægge vores energiforsyning markant i hele verden – også her i Danmark. Det tidligere og nuværende forbrug af fossile brændstoffer har medvirket til en stor udledning af CO<sub>2</sub> og dermed skabt klimaforandringer på Jorden. Ved at erstatte fossile brændstoffer med vedvarende energikilder såsom sol- og vindenergi kan vi reducere vores udledning af drivhusgasser markant.

En stor udfordring i den grønne omstilling er udligning og transport af energi. Udligning vil sige, at vi kan lagre energien, når den produceres i overskudsperioder og derved gemme energien til perioder, hvor der ikke produceres tilstrækkelig energi. Vi kan f.eks. producere mere solenergi om sommeren, end vi kan om vinteren. Transport af energi vil sige, at vi kan flytte produceret energi fra områder med overskudsproduktion til områder, der har underskud eller for at gøre energien mobil til transportsektoren, herunder til fly, skibe, biler mm. En udfordring er, at elektrisk energi ikke er velegnet til transport over større afstande, da der er begrænset kapacitet i elledninger og et relativt stort energitab undervejs.

I denne virksomhedscase skal I undersøge, hvordan man kan løse denne problemstilling om energisikring over tid og sted, og hvordan katalysatorer kan medvirke til at lagre og transportere energi. I kan f.eks. vælge et bestemt område eller land, analysere produktionsmuligheder og kortlægge det nuværende og fremtidige energiforbrug. Jeres løsning skal være klimavenlig og bidrage aktivt til den grønne omstilling. I kan også vælge at undersøge andre former for energibærere og vurdere disse ud fra et samfundsmæssigt, økonomisk eller politisk perspektiv.

## Case – Fysik

Hvordan vil I rådgive den danske regering?

- Undersøg, hvorfor lagring af energi er en vigtig del af omstillingen fra fossil til grøn energi.
- Undersøg, hvilke metoder der allerede er i brug til lagring af energi.
- Udvikl eller optimér en metode til lagring af energi.

## Case – Samfundsfag

Hvordan vil I rådgive den danske regering?

- Undersøg, hvilken betydning afgifter på f.eks. grøn brint har for omstillingen fra fossilsamfund.
- Diskutér, hvilke politiske tiltag der vil være nødvendige for at gøre Power-to-X-produkter konkurrencedygtige med fossile alternativer.

## Case – Naturgeografi

Hvordan vil I rådgive den danske regering?

- Undersøg, hvilke fordele og ulemper der kan være ved henholdsvis at placere Power-to-X-anlæg centralt eller decentralt i forhold til, hvor energien produceres.
- Undersøg, hvilke krav de forskellige placeringsmuligheder stiller til infrastrukturen.

## Case – Kemi

Hvordan vil I rådgive den danske regering?

- Undersøg forskellen på forskellige elektrolytiske celler (alkalisk elektrolyse, PEM og SOEC).
- Diskuter fordele og ulemper ved brug af en selvvalgt elektrokemisk celle til brug i Power-to-X.

# PROBLEMSTILLINGER

Til hver problemstilling er der tilknyttet en materialeliste. Her findes forslag til ekskursioner, litteratur, podcast og meget andet.

Arbejdet omkring den enkelte problemstilling kan udfoldes i forskellig grad, ligesom problemstillingerne kan tages i tilfældig rækkefølge. Det er også muligt at arbejde med flere indfaldsvinkler til den overordnede case 'Hvordan vil I rådgive den danske regering?' ved at undersøge andre problemstillinger end dem, der her er præsenteret' eller ved at udelade nogle af problemstillingerne.

Eleverne kan således arbejde kun ud fra en enkelt problemstilling, udvalgte af dem eller dem alle sammen.





# HVAD ER POWER-TO-X?

Power-to-X dækker over en række forskellige teknologier, der omdanner overskudsenergi fra vedvarende energikilder som f.eks. sol og vind til at fremstille brint gennem elektrolyse. Brint kan anvendes direkte i lastbiler, færger eller i industrien, men den kan også konverteres til andre brændstoffer. Brændstoffer som methanol eller flybrændstof kan dannes ved at viderekonvertere det med CO<sub>2</sub>, og ammoniak kan dannes ved en viderekonvertering af brint med kvælstof fra luften.

Power-to-X-teknologier er en vigtig del af den grønne omstilling, da de muliggør, at overskudsenergi kan lagres og anvendes til at erstatte fossile brændstoffer i transport og energisektoren.

Power-to-X-teknologier er stadig under udvikling og anses for at være relativt dyre sammenlignet med fossile brændstoffer. Men med den øgede anvendelse af vedvarende energi og den fortsatte teknologiske udvikling, kan Power-to-X spille en vigtig rolle i at reducere afhængigheden af fossile brændstoffer og reducere CO<sub>2</sub>-udledningen i fremtiden.





# MATERIALEBANK

## Besøgsservice

[AAU - Power-to-X](#)

[AU Foulum - Biogas-metanisering](#)

[SDU - Energiteknologier til grøn omstilling](#)

[GreenLab Skive - Guided Tour](#)

## Video og Podcast

[DTU - hvad er Power-to-X \(video\)](#)

[Power-to-X - Det nye vindmølleeventyr \(podcast\)](#)

## Litteratur

[Energistyrelsen - Power-to-X](#)

[Green Power - Power-to-X](#)

[Ing - Milliardinvesteringer i støbeskeen: Her er Danmarks PtX-planer](#)

[DTU - Sådan passer Power-to-X ind i fremtidens smarte energisystem](#)

[Videnskab.dk - Power-to-X skal forvandle blæsevejre til grønne brændstoffer - og udviklingen har rykket sig markant](#)

## Øvelsesvejledning og opgaver

[DA Åben Virksomhed - kemi](#)

# HVORDAN KAN DET SIKRES, AT ENERGI IKKE BLIVER ET STORPOLITISK MIDDEL?

Idet energi er en vigtig ressource, der er nødvendig for at sikre økonomisk vækst og national sikkerhed, kan det være en udfordring at sikre at energi ikke bliver et storpolitisk middel. En række forslag til at mindske sandsynligheden for at energi kan bruges politisk kan være:

- Variation af energikilder – er en metode til at undgå at blive afhængig af en enkelt energikilde eller leverandør. Dette kan omfatte udvikling af vedvarende energikilder som sol- og vindenergi samt anvendelse af forskellige former for brændstoffer såsom fossile brændstoffer og biobrændstoffer.
- Samarbejde og dialog – mellem lande og regioner kan hjælpe med at fremme en åben og gennemsigtig handel med energiresourcer, hvilket kan omfatte udvikling af internationale energiaftaler, der fremmer en fri og fair handel med energiresourcer og reducerer handelsbarrierer.
- Overholdelse af internationale standarder og regler – kan omfatte udvikling af internationale aftaler, der regulerer handel med energiresourcer og fastsætter standarder for sikkerhed og miljøbeskyttelse.
- Øget forskning og udvikling – nye metoder og teknologier til at producere og opbevare energi kan reducere afhængigheden af bestemte energikilder og forhindre energiresourcer i at blive et politisk værktøj.
- Investering i energieffektivitet – og reduktion af energiforbruget kan hjælpe lande til at mindske deres afhængighed af eksterne energikilder. Det kan reducere behovet for store investeringer i nye energikilder og infrastruktur.



# MATERIALEBANK

## Litteratur

[Det Europæiske Miljøagentur – Energi](#)

[Energistyrelsen – Dansk energipolitik](#)

[Energistyrelsen – Energibesparelser](#)

[Regeringen – Energiaftale \(2018\)](#)

[Regeringen – Energistrategi 2050](#)

[Consilium Europa – Energifriser og forsyningssikkerhed](#)

[Dansk Industri – Sektorkobling – nøglen til fremtidens bæredygtige energisystem](#)

[H. Ø. Nielsen og A.B. Pedersen – Hvordan kan staten fremme innovation, der fører til bæredygtige energisystemer? Forskellige teoretiske approaches](#)

# HVORDAN SIKRES EN GLOBAL PRODUKTION AF GRØN ENERGI, SÅ DE FOSSILE BRÆNDSTOFFER ELIMINERES?

For at imødegå klimaforandringerne er det nødvendigt at mindske brugen af fossile brændsler og øge den globale produktion af grøn energi. Nogle områder, der er vigtige at have fokus på, kan være:

- Investering i grøn energi – herigennem er det muligt at øge produktionen af grøn energi og dermed øge udbyttet af den potentielle kapacitet.
- Øget fokus på vedvarende energikilder – Ved at prioritere f.eks. sol, vind, vandkraft, geotermi og biomasse er det muligt at øge produktionen af grøn energi.
- Reguleringsrammer og økonomiske incitamenter – er vigtige politiske tiltag, der kan fremme brugen af grøn energi.
- Udvikling af energilagringsteknologier – kan sikre lagring og distribution på lokalt og globalt plan.
- Internationalt samarbejde og koordination – kan fremme udviklingen af grøn energi på tværs af lande og fremme teknologisk innovation.
- Reduktion af energiforbrug – det er muligt at sænke efterspørgslen af fossile brændsler ved at øge energieffektiviteten og det bevidste energiforbrug.



# MATERIALEBANK

## Podcast

[Power-to-X: Kapløbet om fremtidens energiform er i gang](#)

## Litteratur

[Europakommissionen – Løsninger Klima og Energi](#)

[Uddannelses- og Forskningsministeriet – Vindmølleindustrien og DTU Vindenergi](#)

[Worldwide Investeringsforeningen – CO2-neutral – er det overhovedet muligt?](#)

[Tænkertanken Mandag Morgen – Grønbog for et bæredygtigt energisystem](#)

[FN's verdensmål nr. 7 – Bæredygtig energi](#)

[Klimarådet – Klimarådets kommentarer til Energistyrelsens globale afrapportering](#)

[Økolariet – Vedvarende energi](#)

[Faktalink – Energi og brændstof](#)

[24Tech.dk – Greentech: Disse grønne teknologier skal løse klimaproblemerne](#)

[Rambøll – Sådan kan Power-to-X hjælpe dansk erhverv og økonomi med at nå længere end 70 procents-målet](#)

[Altinget – Forskere: Den grønne omstilling lykkes kun, hvis der forskes mere i power-to-x](#)

[Business Insights – Power-to-X skal føre Danmark i klimamål](#)

[KL – PtX-strategi](#)

[Regeringen.dk – Aftale om udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer \(2022\)](#)

# HVILKE PROBLEMATIKKER KAN DER VÆRE FORBUNDET MED TRANSITIONEN FRA FOSSIL TIL GRØN ENERGI?

Overgangen fra fossil til grøn energi kan være forbundet med en række udfordringer:

- Omkostning – Overgangen fra fossil til grøn energi kræver investeringer i både infrastruktur og teknologi.
- Politisk modstand – Visse regeringer, sektorer eller interessegrupper kan udvise politisk modstand mod omstillingen, der kan forsinke eller hindre implementeringen af grønne løsninger.
- Teknologi – Der er stadig teknologiske udfordringer f.eks. i forbindelse med skaleringen af energiproduktion, energilagring og distributionen.
- Økologisk bæredygtighed – Produktionen af biomasse til energiformål kan have konsekvenser for produktion af bl.a. fødevarer samt for biodiversiteten.



# MATERIALEBANK

## Podcast

[Power-to-X – Grøn omstilling og bæredygtighed til undervisning](#)

## Litteratur

[Energistyrelsen – Dansk energipolitik](#)

[KU – Udfordringer ved vedvarende energi](#)

[Klimarådet – Biomassens betydning for grøn omstilling](#)

[Viden om vind – Fordele og ulemper ved vindmøller](#)

[Illustreret Videnskab – Fem problemer står i vejen for grøn omstilling](#)

[Børsen – Storstilede danske havvindplaner løber ind i problemer](#)

[DI Business – Stigende energipriser bekymrer i EU: Grøn omstilling er løsningen – ikke problemet, mener DI](#)

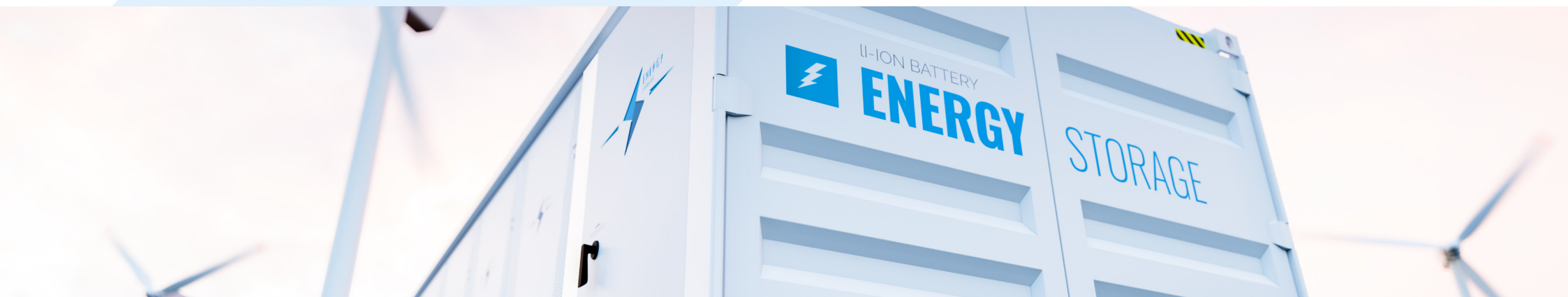
[DM BIO – Grøn energi kan blive en mangelvare til de mange behov for Power-to-X](#)

# HVORDAN KAN ENERGI LAGRES, SÅ DET KAN LAGRES OVER LÆNGERE TID OG TRANSPORTERES TIL DE STEDER, HVOR ENERGIEN SKAL BRUGES?

Der er flere måder at lagre energi, der alle opfylder krav omkring opbevaring over tid samt mulighed for transport af energien:

- Batterier – er en af de mest almindelige måder til at lagre energi. Overskudsenergi fra f.eks. solceller eller vindmøller kan lagres og frigives ved behov. Der er forskellige typer af batterier – f.eks. lithium-ion batterier, natrium-svovl, redox-flow og bly-syre. Fælles for alle batterityperne er, at der er en lang række af fordele og ulemper ved dem.
- Brændselsceller – producerer elektricitet ved at kombinere brændstof og ilt i en elektrokemisk proces. Brændselsceller kan bruges til at lagre energi og generere elektricitet, når der er et behov for dette. Brændselsceller kan producere elektricitet fra brint, methanol, ethanol og methan.
- Brint – kan fremstilles ved elektrolyse af vand ved brug af overskudsstrøm fra sol- eller vindmølleanlæg. Brint kan lagres i gasformige beholdere eller i flydende form og herefter transporteres rundt.
- Varmelagring – anvendes ofte i fjernvarmesystemer, hvor energien lagres i form af varme i store varmtvandsbeholdere eller jordlagre.

Valget af den bedste metode til energilagring og til transport af energien afhænger af en række faktorer – herunder energikilder, kravene til opbevaring og til transport samt den økonomiske rentabilitet.





# MATERIALEBANK

## Besøgsservice

[DTU – Brændselsceller](#)

## Video

[Power to X & Green Hydrogen – Technologies for Europe](#)

## Litteratur

[Energimuseet – Energilagring Power-to-X](#)

[Experimentarium – Brændselsceller](#)

[SDU – Energilagring og Power-to-X](#)

[Aktuel Naturvidenskab nr. 3 \(2014\) – Ion-batterier – “The Next Generation”](#)

[NOAH's klimasider – Varmelagring](#)

[Miljø og Ressourcer – Varmelagring i jorden](#)

[GEUS – Vejledning til GIS applikation “Muligheder for varmelagring”](#)

## Øvelsesvejledning og opgaver

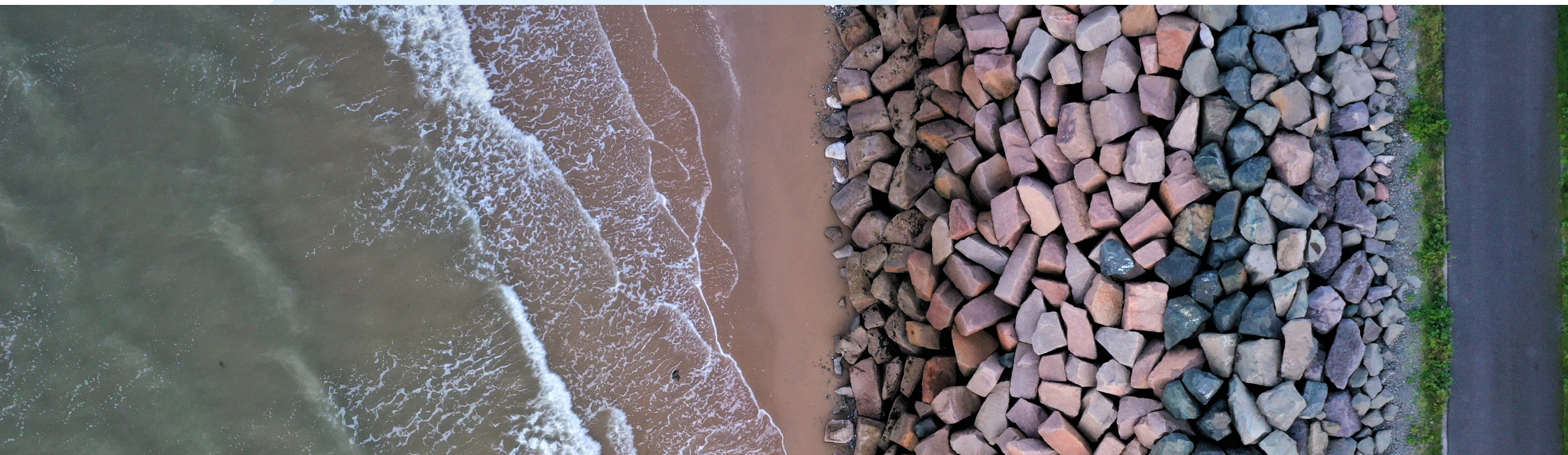
[EMU – hvor skal energien komme fra? Forløb på 7 moduler til ng-c.](#)

# HVORDAN KAN MAN IMØDEGÅ KLIMAFORANDRINGERNES INDFLYDELSE PÅ DEN GRØNNE OMSTILLING?

Klimaforandringerne kan have indvirkning på f.eks. vandkraft idet de øgede temperaturer og ændringer i nedbørsmønstre vil påvirke mængden af tilgængeligt vand til vandkraft. I områder der er afhængige af sne- og gletsjersmeltning som en vigtig kilde til vandforsyning til vandkraftværker, kan klimaforandringer have en betydelig indvirkning. Med stigende temperaturer kan sne og gletsjere smelte hurtigere, hvilket kan føre til, at der er mindre vand tilgængeligt i tørkeperioder senere på året. Tilsvarende vil øget temperatur og lavere nedbørsmængde begrænse biomasseproduktionen.

Havniveaustigninger og hyppigere ekstremvejr kan påvirke vindenergi og offshore-vindmøller, da de er mere udsatte for storme og oversvømmelser.

Mere ustabile vejrforhold kan gøre det sværere at forudsige energiproduktionen fra vedvarende energikilder og dermed vanskeliggøre en stabil planlægning af energiforsyningen.



# MATERIALEBANK

## Litteratur

[Videnskab.dk – Sådan bliver vejret i år 2100](#)

[Miljøministeriet – Klimatilpasning – Danmarks fremtidige klima](#)

[DMI – Hvor kommer fremtidens ekstreme vejr fra?](#)

[Aktuel Naturvidenskab nr. 1 \(2022\) – Modeller for jordkloden viser fremtidens klima](#)

[Energy Supply – Ekstreme vejrforhold og grøn energi skal undersøges nærmere](#)

[EnergWatch – Nyt forskningsprojekt skal sikre grøn energi under ekstreme vejrforhold](#)

[Ea Energianalyse – Klima og energisystemer – Risici, potentiale og tilpasning](#)

# HVORDAN KAN ELEKTROLYSE OPTIMERES TIL AT HJÆLPE MED DEN GRØNNE OMSTILLING?

Elektrolyse er den proces, hvor elektrisk energi anvendes til at omdanne en kemisk forbindelse til nye stoffer. I Power-to-X omdannes vand til brint og ilt. Apparatet som anvendes ved processen kaldes en elektrolysator. Inden i elektrolysatoren er der serieforbundet en række af elektrokemiske celler, der meget ligner brændselsceller.

Der findes tre forskellige elektrolyseteknologier, der kan spalte vand til  $H_2$  og  $O_2$  – alkalisk elektrolyse, polymer elektrolyt membran (PEM) og fastoxid-elektrolyse (SOEC). SOEC-elektrolysatorer viser højere energieffektivitet end de andre konkurrerende teknologier, hvilket gør denne teknologi interessant for opskalering og industrielt brug.



# MATERIALEBANK

## Video

[DTU – Søren Bredmose Simonsen – elektrolyse som led i den grønne omstilling \(engelsk\)](#)

[Topsoe – SOEC – The green hydrogen solution](#)

## Litteratur

[DTU – Elektrokemisk celle](#)

[Hydrogen Valley – Biogas til CCS og PtX: Cirkulær økonomi i praksis](#)

[ING – Verdens største elektrolysator-installation bestilt til brintfabrik i Esbjerg: "Det kræver en vis størrelse"](#)

[Videnskab.dk – Elektrolyse gør al energi fra vindmøller værdifuld](#)

[Videnskab.dk – Elektrolyse kan lagre grøn energi – ny forskningsmetode skal gøre teknologien rentabel](#)

[ING – Danske forskere i Science: Fastoxid-elektrolyse kan vinde teknologikampen om Power-to-X](#)

[Dansk Kemi – Fastoxid elektrolyseceller: Store muligheder for integration med fremtidens energisamfund](#)





## OM NATURVIDENSKABERNES HUS

Naturvidenskabernes Hus tænder gnisten hos børn og unge for de naturvidenskabelige og tekniske fag. Det sker i tæt samarbejde med danske virksomheder og undervisere i grundskolen og gymnasiet – og ved at understøtte skolevirksomhedssamarbejde i de danske kommuner. Sammen gør vi en forskel for børn og unge, erhvervsliv og samfund. Læs mere på [nvhus.dk](http://nvhus.dk)



Scan QR-koden og find alt materiale  
til Power-to-X