

Et samarbejde i mellem:



LÆRERMATERIALE

Design, konstruer og test vindmøllevinger ved brug af Makerspace-teknologi - undervisningsforløb til udskolingen

INDHOLDS- FORTEGNELSE

01	OM LÆRERMATERIALET	1-3
-----------	---------------------------	------------

02	MODUL 1 – VINDMØLLER OG DERES HISTORIE	5-8
-----------	---	------------

03	MODUL 2 – MATERIALER	9-12
-----------	-----------------------------	-------------

04	MODUL 3 – AERODYNAMIK	13-18
-----------	------------------------------	--------------

OM LÆRERMATERIALET

Med dette lærermateriale sigter vi mod, at lære elever i udskolingen om vindenergi, samtidig med at vi vækker deres nysgerrighed for ingeniørdesignprocessen og Makerspace-teknologi. Dette projekt er udviklet af det danske videnscenter ENERGI & VAND og muliggjort gennem et partnerskab med WindEurope. Siden 1999 har ENERGI & VAND været en miljøskole og et uddannelsespartnerskab mellem Københavns Kommune og HOFOR, Hovedstadens forsyningsselskab. ENERGI & VAND tilbyder undervisningsforløb tilpasset til alle klassetrin, til skoler i og omkring København og modtager hvert år 23.000 elever. Det interaktive læringsmiljø hos ENERGI & VAND fokuserer på forsyning, specifikt energi- og vandforsyning, klimaforandringer og klimatilpasning, altid ud fra et bæredygtighedsperspektiv.

Dette undervisningsmateriale for udskolingen er udarbejdet som et supplement til de eksisterende undervisningsressourcer om vindenergi til mellemtrinet, som også er tilgængeligt på WindEuropes hjemmeside. Forløbet er udviklet ud fra et eksisterende ugeforløb hos ENERGI & VAND med fokus på vindenergi og design af vindmøllevinger. Viden og erfaringer fra dette forløb er blevet evalueret og ligger til grund for dette læremateriale.

Dette lærermateriale forbinder fagene **natur/teknologi, matematik, historie, geografi, fysik/kemi, og biologi** med emner inden for vindenergi. Det er designet til at passe til enhver skole og enhver lærer, der ønsker at undervise deres elever om vindenergi. De centrale undervisningsmetoder i dette forløb er teknologisk forståelse, praktisk erfaring, engineering og innovation. Undervisningen kan udføres i klasseværelset, men et Makerspace el. anbefales.

Materialet kræver ikke, at lærerne har nogen specialiseret uddannelse for at gennemføre modulerne i dette forløb, men det er en fordel at være fortrolig med grundlæggende Makerspace-teknologi. Forløbet kan gennemføres i sin helhed, eller dele kan udelades for at passe til læringsmål og elevforudsætninger.



Figur 1: Elever bøjer en vindmøllevinge af akryl med en varmepistol.

SÅDAN BRUGER DU DETTE LÆRERMATERIALE: LÆRERENS GUIDE

Dette lærermateriale er en udvidelse af materialet "Lær om vindenergi i mellemtrinnet". Materialet her har tre moduler, som kan gennemføres kontinuerligt eller tilpasset afhængigt af elevers og lærerens behov:

- **Modul 1:** Vindmøller og deres historie
- **Modul 2:** Materialer
- **Modul 3:** Aerodynamik

Modulernes struktur er opbygget lige som forløbet til mellemtrinnet og omfatter følgende:

- En **lektionsplan**, der viser målene for elevernes læring ift. til viden og kompetencer samt undervisningsaktiviteterne. Disse mål kan hjælpe dig med at forberede din egen undervisning.
- **Eksempler på elevarbejde** fra testforløb af lærermaterialet hos ENERGI & VAND, så du kan se, hvordan produkter og resultater kan se ud.

Modulerne omfatter både individuelle og gruppeprojekter og er baseret på teknologiforståelse, praktisk erfaring samt engineering og innovation.

Til materialet findes et baggrundsmateriale til læreren, som indeholder teoretiske aspekter, diagrammer og yderligere instruktioner. Vi anbefaler, at lærerne bliver fortrolige med baggrundsmaterialet, efterhånden som de gennemgår dette lærermateriale.

Materialet er designet til at blive brugt selvstændigt af læreren i et Makerspace, uden behov for eksterne eksperter.

Hvis du ønsker mere baggrundsviden om emnerne, kan du finde links til pålideligt undervisningsmateriale i slutningen af dette dokument.

BAGGRUNDSVIDEN OG KOMPETENCER FOR 7. KLASSES ELEVER

Vindmøller og vindenergi

- Kendskab til de grundlæggende dele af en **vindmølle: vinger, nav, rotor, vindmøllehus, gearkasse, generator, og tårn**
- Kender til vindenergi som en **vedvarende energitype**

Matematiske færdigheder

- Fortrolig med **addition, subtraktion, multiplikation og division** af decimaltal, brøker og procenter
- Kan **oprette, fortolke og analysere grafer**, f.eks. for at repræsentere **vindhastighedsdata, energiproduktionsrater** og **sammenligninger** mellem energikilder
- Kan måle **længder, arealer** og **volumener** i forskellige enheder
- Kan beregne **overfladearealer** (m^2) and **volumener** (m^3)
- Kan arbejde med **vinkler**

Videnskabelige og fysiske begreber

- Fortrolig med koncepter om **energi** og **energi-transformation**
- Er bekendt med begreberne **hastighed** og **acceleration**, og kan anvende disse i virkelige scenarier, såsom vindhastighed
- Forstår, hvordan den mekaniske energi fra **vindmøllevinger** overføres gennem en **gearkasse** til **generatoren** for at producere elektricitet
- Er fortrolig med grundlæggende principper bag **vinddannelse** og hvordan **vejrmonstre, temperatursforskelle** og **jordens rotation** skaber globale vindmonstre
- Har kendskab til forholdet mellem **vindhastighed** og **energiproduktion**

HVAD LÆRTE ELEVERNE I DET FØRSTE LÆRERMATERIALE OM "LÆR OM VIND-ENERGI I MELLEMLINNET"?

1. Lær om energi

- Definition af energi og energityper
- Undersøgelse af energikilder og præsentation af de forskellige typer
- Kendskab til forskellige aspekter af vindenergi: administrative, økonomiske og miljømæssige

2. Konstruktion af et anemometer (vindmåler) og udførelse af målinger

- Konstruktion af et anemometer
- Brug af et anemometer til at måle vind
- Udførelse af eksperimenter med anemometeret
- Måling af omkredsen og arealet af den cirkel, der dannes af anemometeret

3. Forståelse af vindmøleteknologi

- Vurdere deres egen viden om vindmøller
- Lære hvordan vindmøller fungerer
- Bygge en vindmølle og teste den
- Begrebsafklaring og begrebsliste

4. Lær om vind

- Grundlæggende viden om vind
- Udarbejdelse af vind- og aerodynamiske eksperimenter
- Undersøgelse af globale vindkort og vindtyper
- Vindens historie
- Undersøgelse af åndedrætssystemet

OVERSIGT OVER MODULER OG AKTIVITER

AKTIVITER			
MODUL	LEKTION	FAG/EMNER	VARIGHED
1. Vindmøller og deres historie	• Genopfrisk hvordan en vindmølle fungerer og vigtigheden af vedvarende energi • Lær om vindmøllers og turbiners historie • Lær at laserskære/3D-printe og bygge modeller	• Fysik • Historie • Geografi • Natur/teknologi • Engineering	• En (45-minutters) lektion til at genopfriske viden om vindmøller og vedvarende energi • To (45-minutters) lektioner til at undersøge vindmøllers historie og præsentere en vindmølletype • Tre (45-minutters) lektioner til at bygge og teste en vindmølletype
2. Materialer	• Introduktion af materialer til vindmølleproduktion, diskussion og fremstilling af plakater/Power points • Introduktion til miljøpåvirkninger af vindmølleproduktion og fremtidige tendenser i branchen • Genbrug og test af materialers bøjningsstyrker	• Fysik/kemi • Matematik • Biologi • Natur/teknologi	• To (45-minutters) lektioner med introduktion til vindmøllematerialer, diskussion og udarbejdelse af et diagram • En (45-minutters) lektion om miljøpåvirkningen af vindmølleproduktion og fremtidige tendenser • To (45-minutters) lektioner med genbrug og test af plastik
3. Aerodynamik	• Introducer aerodynamik og test af papirfly • Design, byg, test og forbedr en vindmølle • Design plakat og forbered gruppepræsentationer af vindmøller • Gruppepræsentationer om vindmølleprojekter	• Fysik/kemi • Matematik • Biologi • Natur/teknologi • Engineering	• To (45-minutters) lektioner til introduktion til aerodynamik og test af papirfly • 5-10 (45-minutters) lektioner til at designe, bygge, teste og forbedre egen vindmølle (man vælger selv antal moduler) • En (45-minutters) lektion til at designe en plakat og forberede en præsentation af vindmøllen • En (45-minutters) lektion til gruppepræsentationer af hjemmelavede vindmøller



MODUL I

VINDMØLLER OG DERES HISTORIE

OVERSIGT

Dette modul starter med en opsummering af, hvad eleverne lærte i materialet "Læring om vindenergi i mellemtrinet", specifikt hvordan en vindmølle fungerer, og hvorfor vedvarende energi er vigtig. Modulet introducerer også vindmøllernes historie, og eleverne arbejder med forskellige vindmølletyper. Eleverne introduceres til laserskærere/3D-printere og bygger forskellige vindmølletyper.

KLASSETRIN

6. – 9. Klasse

VARIGHED

- En (45-minutters) lektion til at genopfriske viden om vindmøller og vedvarende energi
- To (45-minutters) lektioner til at undersøge vindmøllers historie og præsentere en vindmølletype
- Tre (45-minutters) lektioner til at bygge og teste en vindmølletype

FAG OG EMNER

- Fysik
- Historie
- Geografi
- Natur/teknologi

- Engineering

LÆRINGSMÅL

Efter dette modul vil eleverne have opnået følgende viden og kompetencer:

Viden

- Forståelse af centrale forskelle mellem historiske og moderne vindmøller
- Forståelse af centrale overvejelser i vindenergiens historie: Placering, samfundsmæssig og kulturel betydning, global opvarmning og miljøpåvirkning

Kompetencer

- At genkende den historiske brug af vindmøller til at udføre opgaver som kornmaling, vandpumpning og elproduktion
- At forstå de teknologiske fremskridt inden for vindmølleproduktion
- At analysere den sociale og miljømæssige påvirkning af vindenergi gennem historien
- At placere udviklingen af vindmøller og vindmøller i en historisk kontekst

MODUL I

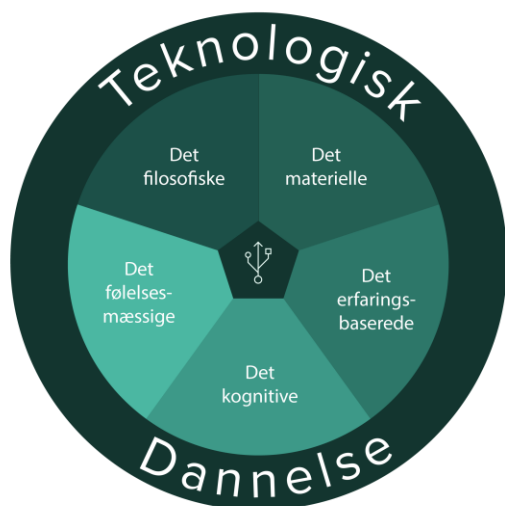
LEKTIONSPLAN

MATERIALER

Til konstruktion af vindmøller og turbiner skal du bruge:

- Laserskærer
- Akrylplader
- Vakuumformer
- Vindmaskine
- Varmepistol
- LEGO-sæt-9686
- LEGO-sæt-9688

METODE



Figur 2: Model for teknologisk dannelse

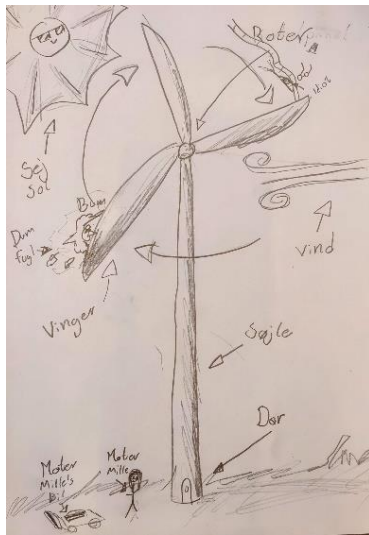
I dette modul er fokus på teknologisk dannelse (fig. 2), og vi vil arbejde med de materielle, erfaringsbaserede, videnskabsbaserede, følelsesmæssige og filosofiske aspekter af vindenergi. Fra det

materielle aspekt vil vi f.eks. se på teknologi og afhængighed; hvordan vi som mennesker er afhængige af forskellige teknologiske systemer. Fra det erfaringsbaserede læringsaspekt vil eleverne f.eks. arbejde med teknologi og design, designe og teste løsninger. Fra videnskabsaspektet vil eleverne lære om teknologi, samfund og historie; hvordan teknologi har påvirket forskellige samfund i forskellige historiske perioder. Derudover vil eleverne arbejde med de filosofiske aspekter i forbindelse med teknologi og fremtid; hvordan teknologi former vores samfund og fremtid.

TRIN I

Genopfrisk hvordan en vindmølle fungerer

- I klasseværelset tegner hver elev en moderne vindmølle med alle de komponenter, de kender (se fig. 3).
- Læreren beder et par elever om at præsentere deres vindmølle og forklare, hvordan turbinerne fungerer.
- Eleverne og læreren opsummerer, hvordan vindmøllerne fungerer: "Vinden får vindmøllevingerne til at dreje, hvilket genererer kinetisk energi. De roterende vinger får akslen i vindmøllehuset til at dreje, og en generator i vindmøllehuset omdanner den kinetiske energi til elektrisk energi."



Figur 3: Eksempel på elevtegning af en moderne vind turbine.

TRIN 2

Vedvarende energi og fossile brændstoffer

Eleverne og læreren diskuterer fordele og ulemper ved vedvarende energi og brugen af fossile brændstoffer. Sammen laver de følgende tabel:

	Vedvarende energi	Fossile brændstoffer
Fordele	Ren Billig i drift Udømtømmelig Skaber arbejdspladser Folkesundhed	Pålidelig Nem Omkostningseffektiv
Ulemper	Dyr at anskaffe Tilgængelighed Behov for energilagring Geografiske begrænsninger	Skaber forurening Vil blive opbrugt Folkesundhed

TRIN 3

Vindmøllernes historie

Læreren giver et overblik over vindmøllers udvikling gennem historien, fra de første kendte vertikale aksevindmøller (VAWT) i Persien til de moderne horisontale vindmøller (HAWT). Eleverne og læreren identificerer seks vindmølle typer til videre undersøgelse:

- Savonius Roter (Persisk vindmølle) (VAWT)
- Darrieus Rotor (VAWT)
- Kop Anemometer (VAWT)
- Amerikansk landvindmølle (HAWT)
- Hollandsk vindmølle (HAWT)
- Moderne vindmølle (HAWT)

TRIN 4

Præsenter en vindmølle type

Eleverne, i grupper (4-5 elever pr. gruppe, 6 grupper i alt), vælger en af de seks vindmølle typer og besvarer følgende spørgsmål vedrørende deres vindmølle type. Efter at have besvaret spørgsmålene, laver grupperne en PowerPoint-præsentation på 1 side (se fig. 4) med billeder og information om deres vindmølle, ud fra den præsenterer grupperne deres vindmølle type.

- Hvor og hvornår blev den opfundet?
- Hvad blev den brugt til?
- Hvad var dens samfundsmæssige betydning?
- Hvad var dens fordele?
- Hvad var dens ulemper?
- Bruges den i dag? Hvorfor?



Figur 4: Eksempler på elevpræsentationer af vindmølle typer

TRIN 5

Byg og test din vindmølletype

Eleverne konstruerer vinger til deres vindmølletype i de samme grupper som i trin 4 og tester dens funktionalitet (se proceduren i den blå boks nedenfor og trin-for-trin-vejledningen i hjælpematerialet). Hvis eleverne endnu ikke er bekendt med vakuumformeren, laserskæreren og/eller 3D-printdesignprogrammet, er denne øvelse en god mulighed for at lære om teknologierne.

Sammenlign og diskuter de forskellige resultater i klassen. Kunne I få de forskellige vindmøller til at dreje? Fik I de resultater, I forventede? Osv.

En anden mulighed er at bygge og teste vindmøllerne ved hjælp af husholdningsgenstande, f.eks. plastikflasker, pap, pinde, en ventilator osv. For yderligere beskrivelse og proceduremæssige detaljer, se baggrundsmaterialet.

Der findes alternativer til LEGO-sættene, f.eks. en cykelgenerator tilsluttet et amperemeter.

MAKERSPACE

Materialer:

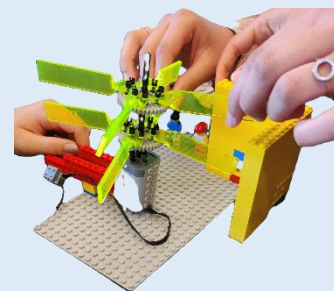
- Laserskærer, 3D-printer, varmepistol, vakuumformer, vindmaskine, LEGO-sæt-9686 og LEGO-sæt-9688, brugsklare vindmølletårne

Procedure (konstruktion):

- Design og skær vindmøllevingerne på laserskæreren.
- Form og lav kopper (til anemometeret) med varmepistoler eller på vakuumformeren.

Procedure (test):

- Saml eleverne. Diskuter, hvordan man tester effektiviteten, og den videnskabelige praksis (hvor vindmøllerne og vindmaskinen skal placeres, testes tidslængde osv.).
- Test vindmøllernes effektivitet ved hjælp af vindmaskinen og LEGO-energimåleren.
- Diskuter effektiviteten af de forskellige typer vindmøller/turbiner. Hvorfor fik vi de resultater, vi fik?



Figur 5: Eksempel på vindmølle, der er klar til test med vindmaskinen. Møllen er tilsluttet en energimåler.

MODUL 2

MATERIALER

OVERSIGT

Dette modul introducerer udfordringerne ved at vælge materialer til vindmølleproduktion. Eleverne lærer om både fysiske aspekter og miljømæssige påvirkninger af forskellige materialer. Der udføres test og beregninger af bøjningsstyrken, og eleverne vil evaluere og diskutere, hvilke materialer der foretrækkes til vindmølleproduktion.

KLASSETRIN

7. – 9. Klasse

VARIGHED

- To (45-minutters) lektioner med introduktion til vindmøllematerialer, diskussion og udarbejdelse af et diagram
- En (45-minutters) lektion om miljøpåvirkningen af vindmølleproduktion og fremtidige tendenser
- To (45-minutters) lektioner med genbrug og test af plastik

FAG OG EMNER

- Fysik/kemi
- Matematik
- Biologi

- Natur/teknologi

LÆRINGSMÅL

Efter dette modul vil eleverne tilegne sig følgende viden og kompetencer:

Viden

- Forstå udfordringerne ved ressourceudnyttelse og materialevalg, både i form af mangel på ressourcer og materials udtjente levetid.
- Forstå konceptet bøjningsstyrke, hvordan man tester den og vigtigheden af egenskaberne ved de valgte materialer til vindmølleproduktion.

Kompetencer

- At vurdere materialer baseret på styrke, vægt, holdbarhed, korrosionsbestandighed og aerodynamiske egenskaber
- At evaluere bæredygtigheden af materialer i vindenergi under hensyntagen til faktorer som genanvendelighed og vigtigheden af vedvarende materialer
- At teste og eksperimentere med forskellige materialer for at forstå, hvordan materialevalg påvirker turbinebladens ydeevne

MODUL 2

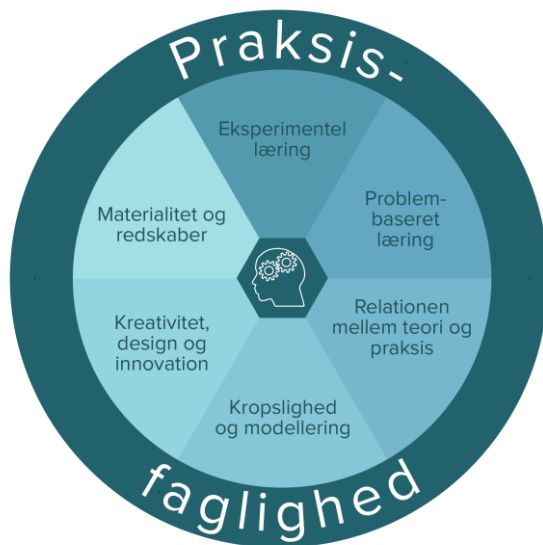
LEKTIONSPLAN

MATERIALER

Til genbrug af plastik og bøjningstests skal du bruge:

- Plastiklåg (f.eks. Fra skolemælk)
- Flad panini-grill
- Vægte med krog
- Materialer til test: Spaghetti, akryl, HDPE (plastlåg)

METODE



Figur 6: Model for praksisfaglig læring.

Dette forløb fokuserer på at udvikle praktiske færdigheder, og derfor bruges modellen for praksisfaglig læring (fig. 6) til at sikre, at de forskellige aspekter af praktisk læring er inkluderet.

I dette modul vil eleverne kombinere teoretisk læring med praktiske øvelser. De vil lære om forskellige aspekter og egenskaber ved forskellige materialer. Bagefter vil de udvikle hypoteser og teste materialers bøjningsevne. Eleverne vil også lære om fremtidige tendenser inden for vindmølleproduktion og designe deres egen futuristiske vindmølle under hensyntagen til produktion og materialer.

TRIN I

Materialer til vindmøllevinger og vindmølletårne

Læreren introducerer følgende seks materialer, der almindeligvis anvendes i produktion af vindmøller.

Vindmøllevingematerialer:

- Glasfiber: Holdbart og let, men energikrævende at producere.
- Kulfiber: Stærkere og lettere end glasfiber. Meget dyrt og vanskeligt at genbruge.
- Træ: Genanvendeligt og lettere at genbruge, men mindre holdbart.

Materialer til vindmølletårne:

- Stål: Stærkt og udbredt, men har et højt CO₂-aftryk.
- Cement: Meget stabilt og omkostningseffektivt, men har et højt CO₂-aftryk og en høj miljøpåvirkning.

- Beton: Det mest anvendte materiale til byggeri. 90 % af CO₂-aftrykket i beton stammer fra produktionen af cement.

TRIN 2

Materiale-poster/Power Point

I grupper diskuterer og undersøger eleverne omkostninger, holdbarhed og miljøpåvirkninger af et af de materialer, der bruges til vindmøllevinger og tårne. Eleverne laver en plakats eller et Power point (se fig. 7), der informerer de andre elever om omkostninger, holdbarhed og miljøpåvirkning af materialer til vindmøllevinger og vindmølletårne.



Figur 7: Eksempler på elev slides om materialer

TRIN 3

Diskussion: Hvilket materiale er bedst?

Sammen med læreren samler eleverne omkostningerne og miljøpåvirkningen (CO₂-udledning) for de forskellige materialer i en tabel.

Eleverne diskuterer derefter, hvilke materialer der er bedst egnede til produktion af vindmøller (vinger og tårne), idet de tager omkostninger og miljøpåvirkning i betragtning, og hvilke dele der ideelt set kunne forbedres eller ændres.

TRIN 4

Miljøpåvirkning af vindmølleproduktion

Læreren introducerer miljøpåvirkningen af vindmølleproduktion, genbrugelighed og materialernes udnyttelse ved udtjente levetid. Eleverne undersøger fremtidige tendenser inden for

vindmølleproduktion med fokus på nye materialer såsom biokompositter, fremskridt inden for genbrugsmaterialer, 3D-printede materialer og fremtidige teknologiske innovationer inden for vindmøller.

TRIN 5

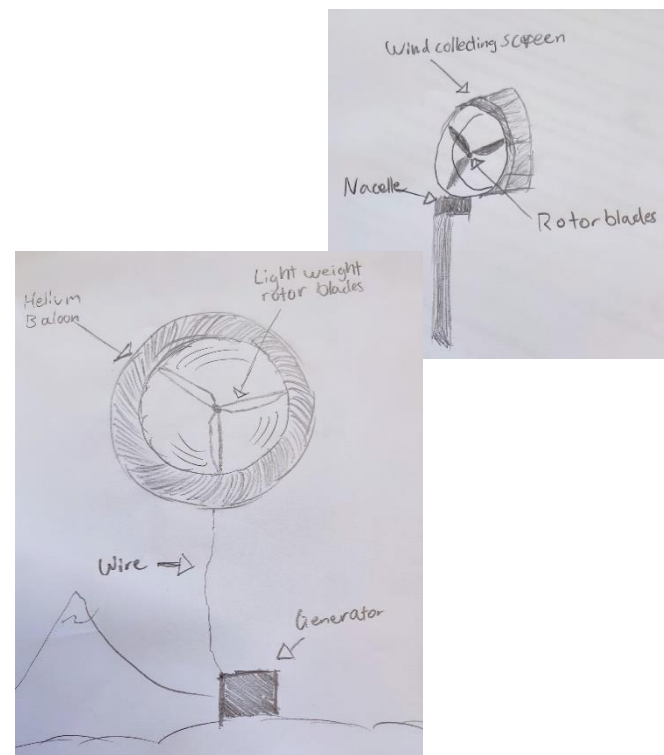
Design en fremtidig vindmølle

- I grupper designer eleverne en fremtidig vindmølle (se fig. 8) ved hjælp af nye materialer og de teknologiske innovationer, der tidligere er diskuteret.

TRIN 6

Præsentation af designet af en fremtidig vindmølle

- Hver gruppe laver en PowerPoint-præsentation på 1 side med deres design- og materialeovervejelser og præsenterer deres design for resten af klassen.



Figur 8: Eksempler på elevdesign af fremtidige vindmøller

TRIN 7: STYRKEEKSPERIMENT

Genbrug af plastik

For at fremhæve udfordringerne ved genbrug af materialer genbruger læreren og eleverne plastik og tester materialet for at sammenligne det med "ny" plastik. Selvom HDPE ikke bruges i vindmølleproduktion, er det ideelt til genbrug i klasseværelset.

Eleverne medbringer plastlåg for at genbruge plastikken (HDPE, type 2). Sammen med læreren varmer eleverne plastlågene op med en dobbeltsidet fladpladepresse (toastjern uden riller), indtil lågene er smeltet sammen (se fig. 9).

Lad den smeltede plastik køle af natten over. Se detaljeret procedure og sikkerhedsforanstaltninger i det supplerende materiale.



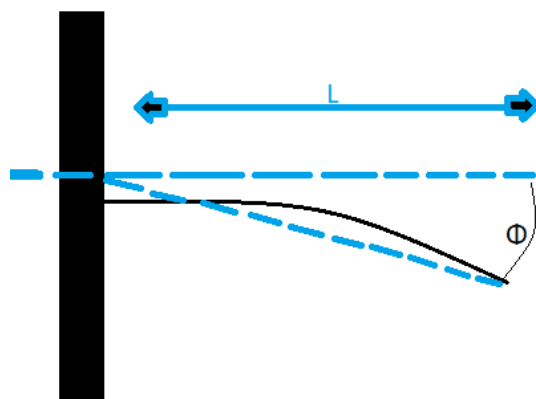
Figur 9: Plastikkapsler opvarmes og smeltes til genbrugsformål

Sammenlign styrken af forskellige materialer

Læreren forbereder plastikpinde til prøver: Når de er afkølet, kan den genbrugte HDPE skæres i stykker på 1 x 25 cm, f.eks. med en laserskærer. Hvis der er nok genbrugsplast, skal hver elevgruppe helst modtage én pind. Skær et lille rundt hul i den ene ende af pinden til at fastgøre hængende vægte til udkrænkningstest. "Nye" plastikpinde (fra akrylplader) forberedes på samme måde.

Brug kanten af et bord til at fastgøre den ene ende af pinden, mens den anden ende hænger ud fra bordet (se fig. 10 og baggrundsmaterialet). Eleverne hænger forskellige vægte på de genbrugte og nye plastikpinde for at finde og sammenligne deres brudstyrke. Forskellige mængder hårde spaghettibundter kan også testes til sammenligning. Eleverne udfylder en tabel, som den vist nedenfor.

Diskuter i klassen, om denne test gav anledning til nogle udfordringer i arbejdet med genbrugsmaterialer (styrke, æstetik, genbrugelighed af forskellige plasttyper osv.).



Figur 10: Simpel illustration af opsætningen til cantilever bøjningstest

Cantilever bøjningstest				
Materiale	Spaghetti (50g)	Spaghetti (100g)	Akryl	Genbrugt HDPE
Bristepunkt (g)				

MODUL 3

AERODYNAMIK

OVERSIGT

Dette modul introducerer eleverne til konceptet aerodynamik. Gennem praktiske prøver lærer eleverne om vigtigheden og anvendelsen af aerodynamik i produktionen af vindmøllevinger. I grupper vil eleverne bruge denne viden til at designe, bygge, teste og forbedre deres egne vindmøller ved hjælp af ingeniør- og innovationsmetoder. Eleverne vil opsummere deres gruppeprojekt-design og resultater på en plakat, hvorfra de vil præsentere deres vindmøller for resten af klassen.

KLASSETRIN

7. – 9. Klasse

VARIGHED

- To (45-minutters) lektioner til introduktion til aerodynamik og test af papirfly
- 5-10 (45-minutters) lektioner til at designe, bygge, teste og forbedre egen vindmølle, kan udvides (tid)
- En (45-minutters) lektion til at designe en plakat og forberede en præsentation af vindmøllen
- En (45-minutters) lektion til gruppepræsentationer af hjemmelavede vindmøller

FAG OG EMNER

- Fysik
- Matematik
- Natur/teknologi
- Engineering

LÆRINGSMÅL

Efter dette modul vil eleverne have opnået følgende viden og kompetencer:

Viden

- Grundlæggende aerodynamik
- Fremdriftsmetoder
- Effekt af aerodynamiske designs
- Beregn den samlede vindkraft ved hjælp af Pythagoras' læresætning.

Kompetencer

- At forstå de grundlæggende principper for aerodynamik
- At anvende aerodynamiske principper til at optimere formen og størrelsen af vinger
- At teste deres vindmøllevingedesign, indsamle og analysere data
- At optimere og forfine deres vindmøllevingedesign baseret på testfeedback, forbedre vinkler, former og materialer
- At gribe Engineering-problemer metodisk an

MODUL 3

LEKTIONSPLAN

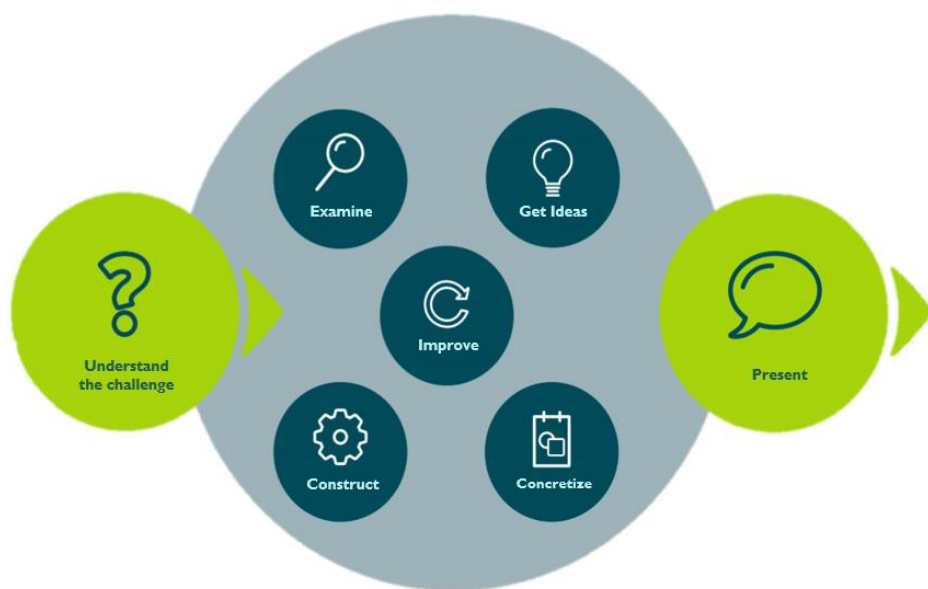
MATERIALER

Til konstruktion af vindmøller og turbiner skal du bruge:

- Laserskærer
- Akrylplader
- Vindmaskine
- Akrylbøjemaskine og/eller varmepistoler
- Varmebestandige handsker
- LEGO-sæt-9686
- LEGO-sæt-9688

METODE

Vores Makerspace-tilgang følger Engineering- og innovationsmodellen (se fig. 9), hvor eleverne udvikler praktiske færdigheder ved at omdanne ideer til prototyper, der løbende testes, evalueres og forbedres. Modellen understøtter kompetencer i brugen og organiseringen af et Makerspace. I dette modul arbejder vi med design, laserskærere, vakuumformere, 3D-printere osv.



Figur 9: Engineering- og innovationsmodel

TRIN 1

Eleverne besvarer følgende spørgsmål:

- Hvad påvirker hvor hurtigt rotoren drejer?
- Hvilke aspekter af vindmøllevinger kan du justere?
- Hvordan kan du teste det?

TRIN 2

Eleverne ser en introduktionsvideo om en vindmølles aerodynamik.

[The Physics of Windmill Design \(youtube.com\)](#)

TRIN 3

Papirflyvemaskine

Læreren introducerer aerodynamik med fokus på de kræfter, der påvirker fremdrift, løft, modstand og tyngdekraft. Eleverne laver og tester papirsfly og illustrerer vigtigheden af de fire kræfter. Se baggrundsmaterialet for en detaljeret trin-for-trin instruktion.

TRIN 4

Aerodynamik

Læreren giver et overblik over hvilke vindkræfter, der skal tages højde for ved design af vindmøllevinger. Læreren og eleverne diskuterer forholdet mellem modvind og rotationsvind (luftmodstand) og beregner den samlede indkommende vindkraft ved hjælp af Pythagoras' læresætning. Se baggrundsmateriale for flere detaljer.

TRIN 5

Indledende eksperimenter

Eleverne udfører en række eksperimenter på vindmøllevinger med faste designs med forskellige længder, bredder, vinkler og bøjninger for at forberede dem til at designe og forbedre deres egne

vindmøllevinger i trin 6. Alle grupper udfylder deres egen tabel, som den der er vist til højre. Se baggrundsmaterialet for flere detaljer.

Før eksperimentet diskuterer og opstiller eleverne hypoteser i grupper om, hvilke vindmøllevinger de forventer vil generere mest elektricitet.

	Effektivitet (Joule genereret over 60 sek.)		
	Test 1	Test 2	Test 3
Vinklet: (0°)			
Vinklet: (10°)			
Vinklet: (30°)			
Bredde: (30mm)			
Bredde: (50mm)			
Længde: (140mm)			
Længde: (170mm)			
Antal vinger: (3)			
Antal vinger: (6)			
Bøj: (Bøjet)			
Bøj: (Ikke Bøjet)			

TRIN 6

Design, byg, test og forbedr dine egne vindmøllevinger

Eleverne begynder at designe og teste forskellige former og størrelser af vindmøllevinger. Bagefter bøjes de bedste vinger for yderligere at forbedre designet. Antallet af vinger bør fastsættes for bedre sammenligning mellem grupperne. Se baggrundsmaterialet for en trinvis vejledning.

En anden mulighed er at bygge vindmøllerne/turbinerne ved hjælp af husholdningsgenstande, f.eks. plastikflasker, pap, pind, en ventilator osv. For yderligere beskrivelse og proceduremæssige detaljer, se baggrundsmaterialet.

Alternativer til LEGO-komponenterne er tilgængelige, f.eks. en cykelgenerator forbundet til et amperemeter.



Figur 10: Forskellige designs af laserskårne vindmøllevinger

MAKERSPACE

Materialer:

- Laserskærer, akrylplader, vindmaskine, akrylbøjemaskine og/eller varmepistoler, varmebestandige handsker, LEGO-sæt-9686, LEGO-sæt-9688

Procedure (konstruktion):

- Design og skær vindmøllevingerne på laserskæreren.
- Bøj vindmøllevingerne med varmepistoler eller akrylbøjemaskine

Procedure (test):

- Saml eleverne og diskuter, hvordan man tester effektiviteten og den videnskabelige praksis (hvor testen skal placeres, vindmøllerne/turbinerne, vindmaskinen, testenes længde osv.).
- Test vindmøllernes effektivitet ved hjælp af vindmaskinen og LEGO-energimåleren.
- Indsaml alle data og resultater til den følgende præsentation.



Skalaforståelse



Factfulness-regler

1. Don't panic
2. Don't blame
3. Don't overreact
4. Calculate the risk
5. Check the proportions
6. Question your categories
7. Look for the drivers
8. Use multiple tools
9. Beware of conclusions
10. Take time



Kritisk tænkning

Database

TRIN 7

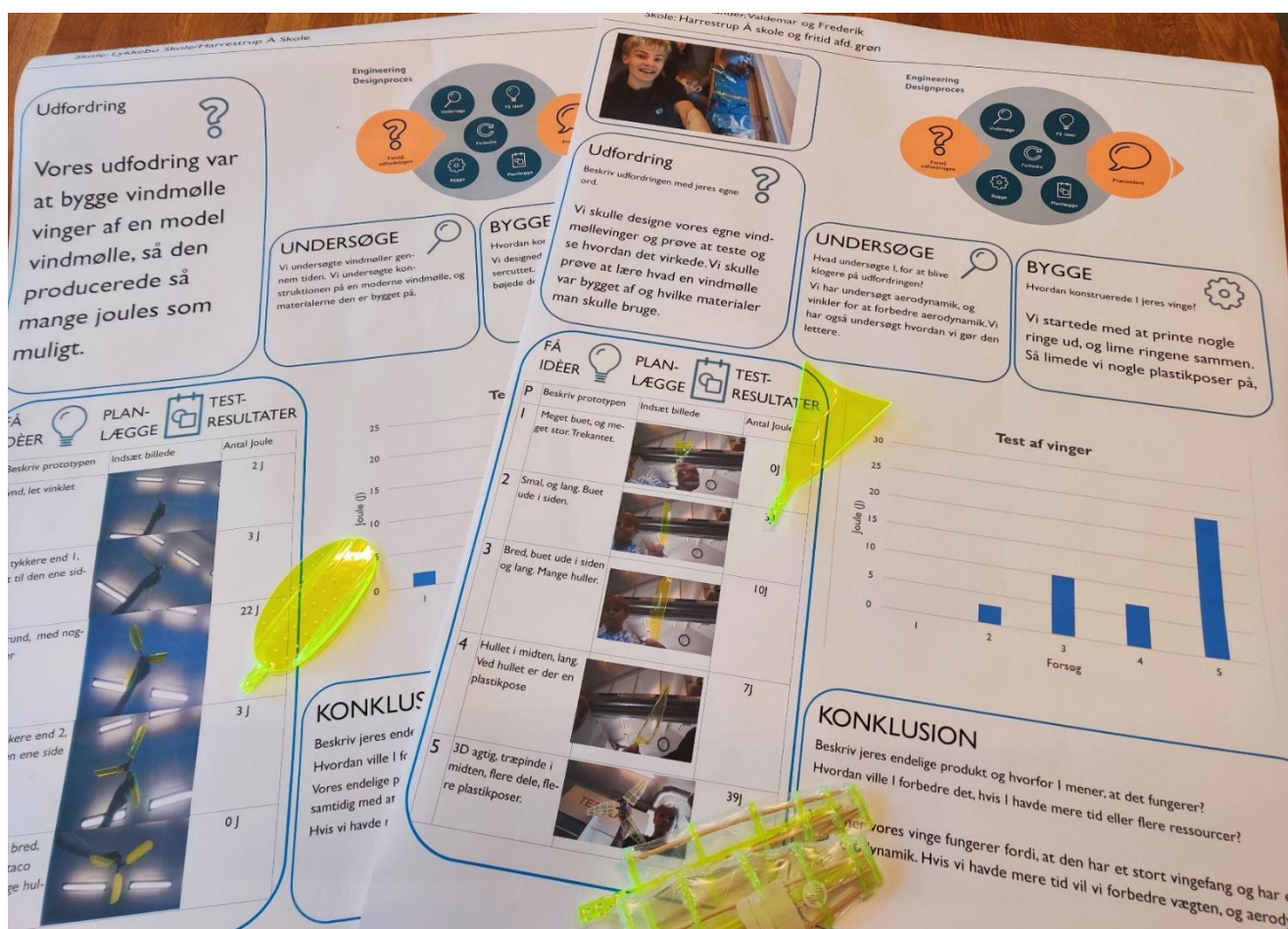
Lav en poster

Hver elevgruppe laver en poster, hvorfra de skal præsentere deres vindmølle (se fig. 12 for inspiration). Plakaterne indeholder tegninger/billeder af deres vindmølle, af alle deres prototypevinger og deres testresultater. Posterne viser også elevernes overvejelser om materialevalg og ideer til yderligere forbedringer af vingerne, hvis de fik mere tid.

TRIN 8

Præsenter din vindmølle, vindmøllewingedesign, resultater, forbedringer og valgte materialer

Eleverne præsenterer deres projekter for resten af klassen.



Figur 11: Eksempler på elevposters, der viser de forskellige designs og testresultater

BAGGRUNDSMATERIALE TIL LÆREREN

Som en hjælp til lærere, der implementerer dette læremateriale, har vi udviklet et baggrundsmateriale. Baggrundsmaterialet giver lærerne yderligere information og instruktioner til, hvordan de udfører hvert modul.

Baggrundsmaterialet indeholder følgende informationsområder:

Teoretiske aspekter

- Vindmøllernes historie
- Materialer til vindmøllevinger og vindmølletårne
- Miljøpåvirkninger fra vindmølleproduktion
- Aerodynamik

Klasediskussioner

- Vedvarende versus ikke-vedvarende energikilder; deres fordele og ulemper
- Materialer til vindmølleproduktion

YouTube videoer

- The physics of wind turbine design

Trinvis vejledning og instruktioner

- Byg din egen vindmølletype
- Genbrug og test af materialer
- Papirflyver
- Indledende eksperimenter: vindmøllevinger
- Design, byg, test og forbedr dine egne vindmøllevinger

For at finde ud af mere kan du bruge følgende gratis ressourcer fra WindEurope Learn Wind:

- **Teachers Toolkit: Learning Wind Energy for Primary Schools**, læremateriale, mellemtrins forløb
- **Let the wind blow**, bog og video forklarer klimaforandringer og vindenergi
- **When I Grow up**, bog der inspirerer unge voksne til at overveje en karriere inden for bæredygtig energi
- **Wind Energy Basics**, animation der lærer brugerne om vindenergiteknologi
- **Offshore Wind 4 Kids** workshops der demonstrerer, hvordan havvindmøller fungerer

FORFATTERE / UDVIKLERE AF UNDERVISNINGSMATERIALET:

Andreas W. Josephsen, Rikke Bostrup, Patrick Lyng Ølholm Rosenkjær og Lærke Daverkosen (ENERGI & VAND – Greater Copenhagen Living Lab)

REDAKTØRER:

**Jesper Steenberg og Stine Eiersholt
(ENERGI & VAND – Greater Copenhagen Living Lab)**

BILLEDER:

Jens Christian Rørbæk Kruse

TAKKEORD:

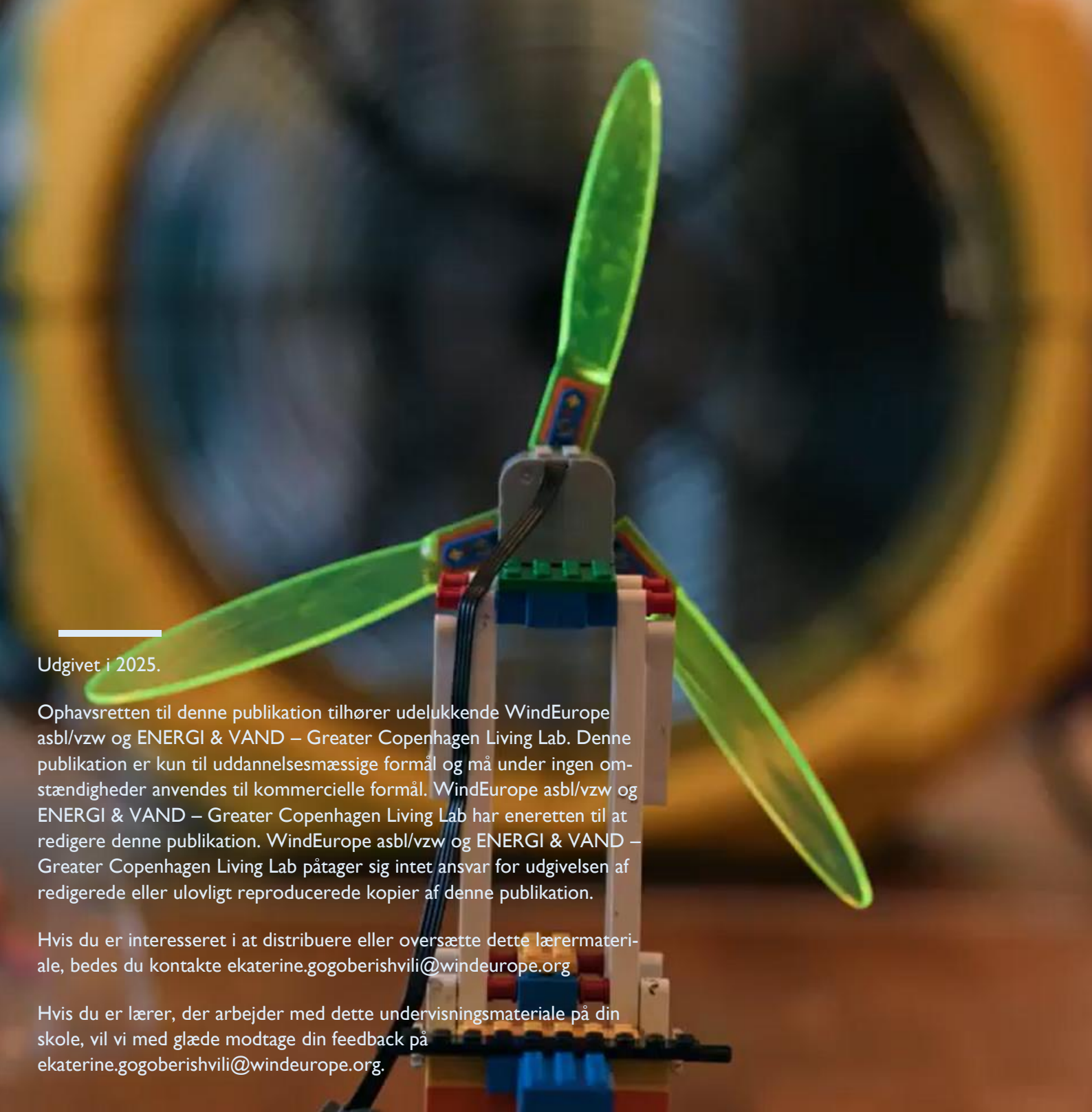
Vi vil gerne takke:

Lauritz Lauritzen fra Lykkebo skole, og hans elever for deltagelse og stort engagement under testforløb. Desuden for at dele deres erfaringer med lærermaterialet med flere politikere og skoleledere på Københavns Rådhus.

Tarek Katamto fra Damhusengens Skole, som udviste stor velvilje, selv med udfordringer med lærerdækning, og til sine elever for deltagelse og stort engagement under testforløb.

Ditte Kjeldbjerg de Vries fra Kirsebærhaven Skole, og hendes elever for deltagelse og stort engagement under testforløb.





Udgivet i 2025.

Ophavsretten til denne publikation tilhører udelukkende WindEurope asbl/vzw og ENERGI & VAND – Greater Copenhagen Living Lab. Denne publikation er kun til uddannelsesmæssige formål og må under ingen omstændigheder anvendes til kommercielle formål. WindEurope asbl/vzw og ENERGI & VAND – Greater Copenhagen Living Lab har eneretten til at redigere denne publikation. WindEurope asbl/vzw og ENERGI & VAND – Greater Copenhagen Living Lab påtager sig intet ansvar for udgivelsen af redigerede eller ulovligt reproducerede kopier af denne publikation.

Hvis du er interesseret i at distribuere eller oversætte dette læremateriale, bedes du kontakte ekaterine.gogoberishvili@windeurope.org

Hvis du er lærer, der arbejder med dette undervisningsmateriale på din skole, vil vi med glæde modtage din feedback på ekaterine.gogoberishvili@windeurope.org.

Wind[•]
EUROPE

Rue Belliard 40, 1040 Brussels, Belgium
T +32 2 213 1811 · F +32 2 213 1890
windeurope.org

I samarbejde med:

ENERGI  VAND