



Fysik i det 21. århundrede

Læreplan

for skoleåret 2024-25.

I læreplanen for Fysik A (stx) indgår et særligt område, ”Fysik i det 21. århundrede”, der udmeldes inden hvert skoleår.

For skoleåret 2024-25 (inkl. prøven i vinterterminen 2025-26) er emnet

Elbilens fysik

– og andre elektriske transportmidler

med følgende afgrænsning af det tilhørende kernestof:

Fysikken bag en elbil eller et andet batteridrevet transportmiddel, specifikt:

- Det elektriske drivsystem, herunder fysisk model for elektromotoren og batteriet.
- Opladningen og afladningen af batterier i elbiler og andre elektriske transportmidler.
- Nyttevirkning af en elektromotor og et batteri.

Det er ligeledes relevant, at eleverne kan forholde sig til brugen af elbiler og andre elektrisk drevet transportmidler i forhold til transportsektorens klimaproblematikker.

Eksempler på vejledende opgaver offentliggøres på prøvebanken og som bilag til læreplanen udgives en kortfattet vejledning, der anviser råd og vink til undervisningen i emnet.

Thomas Brun Kristensen

Fagkonsulent

thomas.brun.kristensen@stukuvm.dk

Vejledning

Regelgrundlaget for læreplanspunktet ”Det 21. århundredes fysik” er læreplanen, der er citeret ovenfor. Derudover stilles denne vejledning til rådighed sammen med et antal vejledende eksempler på eksamensopgaver til den skriftlige prøve, som bredt udspænder det område af læreplanen, kernestof såvel som faglige mål, inden for, hvilke der vil kunne blive stillet opgaver ved den skriftlige prøve. Materialet offentliggøres på ministeriets hjemmeside eller på prøvebanken.dk. Undervisningen i emnet forventes at have et omfang svarende til ca. 15 timers undervisning.

Elektriske transportmidler

Elektriske transportmidler, som elbiler, er en vigtig del af løsningen på transportsektorens klimaproblematikker. Men elbiler er ikke det eneste alternativ. Andre elektriske transportmidler inkluderer fx elektriske cykler, scootere, busser og tog. Disse alternativer kan være mere passende i forskellige situationer, afhængigt af faktorer som afstand, infrastruktur og personlige præferencer.

Emnet er særlig relevant, da transportsektoren er en af de største kilder til CO₂-udledning i landet. Ved at forstå teknologien bag elektriske transportmidler og deres potentiale til at reducere CO₂-udledningen, kan vi danne unge mennesker til at træffe informerede valg om deres personlige transportmidler og bidrage til at forme fremtidens transportløsninger.

Desuden er Danmark et af de førende lande inden for vedvarende energi, især vindenergi. Dette gør elektriske transportmidler endnu mere attraktive, da de kan drives med lav-CO₂ energi. Ved at lære om elektriske transportmidler, kan eleverne også få en bedre forståelse for, hvordan forskellige teknologier kan arbejde sammen for at skabe en mere bæredygtig fremtid.

Det elektriske drivsystem

En elektromotor er hjertet i et elektrisk drivsystem. Man kan bygge en simpel model af en elektromotor ved hjælp af magnetisk tråd, magneter og batterier for at forstå, hvordan elektrisk energi omdannes til mekanisk energi. Dette kan gøres ved at lave en simpel elektromagnet, ved at vikle en ledning omkring en jernkerne og tilslutte den til et batteri. Ved at placere denne elektromagnet i nærheden af en permanent magnet, kan eleverne observere, hvordan elektromagneten drejer, når strømmen tændes.

Batteriet

Batteriet er en anden vigtig komponent i et elektrisk køretøj. Man kan fx eksperimentere med forskellige typer batterier for at forstå, hvordan de oplades og aflades, og hvordan dette påvirker deres ydeevne. Et simpelt eksperiment kunne være at opstille en model for et batteri ved at bestemme den indre modstand og hvilespændingen for batteriet. Man kan fx også lade eleverne arbejde med batterier med forskellige nominel spænding.

Et andet eksperiment kunne være at måle spændingen over et batteri, mens det aflades, og plote disse data for at visualisere, hvordan batteriets indre modstand og dermed også ydeevne ændrer sig over tid.

Nyttevirkning

Nyttevirkningen af en elektromotor og et batteri er afgørende for effektiviteten af et elektrisk køretøj. Man kan udføre eksperimenter for at måle nyttevirkningen af disse komponenter og diskutere, hvordan det påvirker køretøjets samlede ydeevne. For eksempel kan man måle strømmen og spændingen over en elektromotor, mens den kører, og bruge disse data til at beregne motorens effekt og nyttevirkning.

Klimaproblematikker

Endelig er det vigtigt, at eleverne forstår, hvordan brugen af elbiler og andre elektrisk drevne transportmidler kan bidrage til at løse transportsektorens klimaproblematikker. Dette kan inkludere diskussioner om CO₂-emissioner, vedvarende energi og bæredygtighed. Eleverne kan også undersøge, hvordan forskellige energikilder (f.eks. kul, naturgas, solenergi, vindenergi) påvirker CO₂-emissionerne fra elbiler.

Eksempler på eksperimenter og eksperimentelle undersøgelsesspørgsmål:

- Forsøg med spændingskilde/batteri
- Nyttevirkning i et kredsløb – dels batteri og ydre kredsløb.
- Forsøg med Laplaces Lov.
- Kan elmotoren bruges til at lade bilen når den bremser? Kan en elmotor virke som en generator, som opfører sig som en spændingskilde?
- Forsøg med bestemmelse af effekt og nyttevirkning af en elektromotor.
- Hvilken betydning har strømmen i en motor på nyttevirkningen?
- Energiomdannelse og nyttevirkning. Fra elektrisk energi til mekanisk arbejde.

Større projekter

Det elektriske drivsystem

Eleverne kan bygge en simpel elbil ved hjælp af en elektromotor, et batteri, ledninger og nogle hjul. Eleverne kan så undersøge, hvordan forskellige faktorer, såsom batterispænding, motorens størrelse og antallet af vindinger i spolen, påvirker elbilens hastighed og acceleration, de kan fx benytte Arduino til at opsamle værdier og målinger. Eleverne kan også måle strømmen og spændingen i kredsløbet og beregne motorens effekt og modstand.

Opladningen og afladningen af elbilens batteri

Eleverne kan lave et projekt, hvor de måler, hvor lang tid det tager at oplade og aflade et batteri, og hvordan det påvirker batteriets kapacitet og spænding. De kan bruge et multimeter fx via Arduino til at måle spændingen over batteriet, og en modstand til at skabe en konstant strøm i kredsløbet. De kan fx variere modstandens værdi, batteriets type eller størrelse, og registrere, hvordan det påvirker opladnings- og afladningstiden og -kurven.

Nyttevirkning af en elektromotor og et batteri

Eleverne kan lave et projekt, hvor de måler nyttevirkningen af en elektromotor og et batteri, det vil sige, hvor meget af den tilførte energi, der bliver omdannet

til nyttig arbejde. De kan fx bruge en elektromotor til at løfte en vægt, og måle, hvor meget arbejde motoren udfører, og hvor meget energi den omsætter. De kan også måle, hvor meget energi batteriet leverer, og hvor meget energi der går tabt som varme i kredsløbet. Eleverne kan til sidst beregne nyttevirkningen af motoren og batteriet ved at dividere det nyttige arbejde med den tilførte energi.

Perspektiverende

Brugen af elbiler og andre elektrisk drevet transportmidler i forhold til transportsektorens klimaproblematikker: Eleverne kan lave et projekt, hvor de sammenligner de miljømæssige fordele og ulemper ved forskellige typer af transportmidler, såsom elbiler, hybridbiler, brintbiler, benzinbiler og cykler. Eleverne kan fx undersøge, hvor meget CO₂ og andre drivhusgasser, der bliver udledt ved produktionen og brugen af hvert transportmiddel, og hvor meget energi, der bliver brugt og sparet. De kan også overveje andre faktorer, såsom omkostninger, tilgængelighed, sikkerhed og komfort.

Eksempel på et undervisningsforløb

Nedenstående undervisningsforløb er udviklet under den forudsætning, at der har været gennemført undervisning i B-niveau stoffet omkring elektriske kredsløb og kernestoffet omkring elektromagnetisme på A-niveau.

Tematiseringen

Klimaforandringer er en af de største udfordringer, vi står over for i dag. Transportsektoren er en af de største kilder til drivhusgasemissioner, og derfor er det afgørende at finde alternative løsninger. Elbilen er en lovende mulighed for at reducere CO₂-udledningen og dermed bekæmpe klimaforandringerne.

Bæredygtighed handler om at finde løsninger, der imødekommer nutidens behov uden at ødelægge mulighederne for fremtidige generationer. Elbilen kan bidrage til en mere bæredygtig transportsektor ved at reducere luftforurening, støj og afhængighed af fossile brændstoffer.

Men hvordan fungerer elbiler egentlig? Og hvilken rolle spiller fysikken i udviklingen af bæredygtig transport?

Her er en liste med artikler som kan benyttes som introduktion og rammesætning af tematiseringen.

[Antallet af danske elbiler næsten fordoblet på ét år - TV 2](#)

[Elbil-boom giver nye grønne udfordringer | Miljø | DR](#)

[Elbiler: Fra et problem til en del af løsningen i fremtidens elnet \(energinet.dk\)](#)

[Er elbiler bedre for klimaet end benzin- og dieselmotorer? \(videnskab.dk\)](#)

[Elbiler | Nyheder fra Videnskab.dk](#)

[AN3-2017.indd \(aktuelt naturvidenskab.dk\)](#)

[Aktuel Naturvidenskab nr 4-2023](#)

[Mindre rullemodstand på vejen – giver mindre CO2 til atmosfæren \(aktuelnaturvidenskab.dk\)](#)

[På vej mod faststofbatterier \(aktuelnaturvidenskab.dk\)](#)

Forløb med forskellige fysiske modeller af elbiler

I dette undervisningsforløb vil vi ved hjælp af simple simuleringer udforske, hvordan forskellige primære faktorer som batteriet, elektromotoren og kørslen påvirker ladningstilstanden og dermed også rækkevidden af en elbil. Vi vil dykke ned i koncepter som energiberegning, analyse af elektriske kredsløb og mekanik for at forstå de underliggende principper, der styrer elbilens ydeevne. Der vil blive taget udgangspunkt i en række simple fysiske modeller, som progressivt bliver mere komplekse (1 – 5) for elbiler og kørsel med elbiler. Modellerne baserer sig på en række fysiske antagelser om det elektriske kredsløb, styresystem, det mekaniske system omkring elektromotoren og de fysiske forhold ved kørsel. Fra en første model (1) for ladningstilstanden, hvor batteriet antages at være ideelt uden tab af energi for en given ydre belastning, til den mest komplekse model (5) for ladningstilstanden, med tab i både batteri og elmotor, og hvor vindmodstand og rullemodstand og dermed også bilens størrelse, vægt og hastighed er betydende faktorer.

Undervisningsspørgsmålet er:

- Hvordan påvirkes ladningstilstanden og dermed også rækkevidden af en elbil af forskellige primære faktorer som batteriet, elektromotoren og kørslen?

Forløbet er planlagt til en varighed på 10 lektioner af 1,5 time, hvor den sidste lektion er en buffer lektion, man kan bruge efter behov, fx i forbindelse med noget eksperimentelt arbejde.

Lektion (1,5 time)	Overskrift
1	Introduktion af tematiseringen, herunder ladningstilstand og undervisningsspørgsmål
2	Introduktion til model 2, batteri, hvilespænding og indre modstand – forsøg 1
3	Effekt i et kredsløb – simulering af model 2
4	Introduktion til model 3, elektromotorens virkning, kraft på en leder – forsøg 2
5	Modspænding i en motor og betydningen af omdrejningshastigheden – forsøg 3
6	Effekt i et kredsløb med en elektromotor – simulering af model 3
7	Introduktion til model 4, gearing og simulering af model 4, regning af vejl. opgaver
8	Introduktion til model 5, mekanisk effekt og hastighedens betydning, simulering
9	Opsamling på simuleringerne og regning af vejledende opgaver
10	Ekstra lektion som kan bruges som buffer der, hvor man mener eleverne har brug lidt ekstra fordybelse i emnet.

Formelsamling

Eksempler på relevante formler indenfor emnet. Listen er ikke udtømmende og uden forklaringer og ikke nødvendigvis dækkende for, hvilke områder der blive stillet opgaver i ved den skriftlige prøve. Der henvises her til de vejledende opgaver, som bredt udspænder det felt, der kan blive stillet opgaver inden for.

Forklaring	Formel
Seriekobling af resistorer og batterier.	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
Parallelkobling af resistorer og batterier.	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Model af spændingskilde.	$U_p = U_0 - R_i \cdot I$
Maksimaleffekten fra et batteri.	$P_{max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_0^2}{R_i}$
Nyttevirkningerne af et batteri.	$\eta = 1 - \frac{R_i \cdot I}{U_0}$
Model af elektromotoren.	$U = U_M + R_0 \cdot I$
Induceret modspændingen i elektromotoren.	$U_M = K \cdot \omega$
Vinkelhastigheden.	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$
Elektromotorens moment.	$M = K \cdot I$
Elektromotorens mekaniske effekt.	$P_{mek} = M \cdot \omega$
Nyttevirkningen af en elektromotor.	$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{el}} = \frac{1}{1 + \frac{R_0 \cdot M}{K^2 \cdot \omega}}$
SoC (ladningstilstanden), hvor Q_{max} er den maksimalt tilgængelige kapacitet i batteriet.	$SoC_t = \frac{Q_t}{Q_{max}}$
SoC (ladningstilstanden) som integralligning.	$SoC_{t_2} = SoC_{t_1} - \frac{1}{Q_{max}} \int_{t_1}^{t_2} I dt$
SoC (ladningstilstanden) som differensligning. I_t er den øjeblikkelige belastningsstrøm (antaget positiv ved afladning, negativ ved ladning).	$SoC_{t+\Delta t} = SoC_t - \frac{1}{Q_{max}} \cdot I_t \cdot \Delta t$
Gearingsforholdet mellem motor og hjul.	$i = \frac{\omega}{\omega_{hjul}}$
Fremdriftskraften på køretøjet.	$F_{frem} = i \cdot \frac{M}{r_{hjul}}$