

# SCALE-UP-metoden og elevcentreret fysikundervisning

ANJA SKAAR JACOBSEN, KVUC, METTE MACHHOLM, Espergærde Gymnasium og HF og SOLVEIG SKADHAUGE, Nærum Gymnasium

## Indledning

Elevcentreret undervisning vinder frem i mange fag, på flere niveauer og i forskellige former. Vi vil her beskrive en elevcentreret metode i fysik, der sætter den fysiske forståelse i centrum, og som samtidigt udvikler og træner elevernes evne til kritisk faglig tænkning og til problemløsning. Oven i hatten får man skabt et dynamisk og levende klasserum, der summer af aktivitet, når eleverne i grupper kaster sig over de stillede opgaver. Formelle teoretiske gennemgange af stoffet, som jo står i bogen, kan reduceres til et minimum, og lærerens rolle bliver omdannet til en vejleder og en “dirigent”, der får tingene til at gå op i en højere enhed.

Metoden kaldes SCALE-UP, og det står for Student Centered Active Learning Environment for Undergraduate Program. Metodens formål er altså at få skabt elevaktivitet i klasserummet i modsætning til traditionel universitetsundervisning med forelæsninger. Den danske gymnasiefysik er naturligvis allerede meget elevaktiverende, først og fremmest fordi elevernes eksperimentelle arbejde skal udgøre mindst 20 % af undervisningstiden, men det er altid kærkomment at lære og blive inspireret af nye sjove undervisningsmetoder, der kan bruges til variation, og som tilmed kan forbedre elevaktiviteten i den teoretiske undervisning og minimere lange tavlegennemgange.

Onsdag og torsdag, den 12. og 13. marts 2025 afholdt Fysiklærerforeningen workshops om SCALE-UP-metoden i fysikundervisningen i henholdsvis København og Århus. Der var ca. 14 lærere på hver workshop. Ligeledes blev der afholdt et tilsvarende kursus i København året inden. Vi havde en meget medrivende workshopleder i *Gerald Feldman*, og der var stort engagement blandt de deltagende lærere og gode diskussioner.

Vi vil i det følgende beskrive Feldmans metoder og vise eksempler på og diskutere brugen af dem i gymnasiets fysikundervisning på alle tre niveauer.



Gerald Feldman er professor i eksperimentel kernefysik ved George Washington University i USA og har igennem mange år interesseret sig for forskning i, hvordan man underviser i fysik, og hvilke undervisningsmetoder der virker bedst. Han har dokumenteret scale-up-metodens effekt på de studerendes læringsudbytte, og i øvrigt også deres fastholdelse, i flere publikationer [1,2,3]

## SCALE-UP-metoden

Feldman bruger scale-up-metoden i et kursus han kalder fysik for fremtidige præsidenter, dvs. et almindende fysikkursus for universitetsstuderende, der studerer statskundskab og lignende med henblik på at få arbejde i administrationen i Washington. Det er nærliggende at sammenligne den gruppe af studerende med de mange danske gymnasieelever, der vælger en samfundsaglig studieretning og måske har fysik på B-niveau. Niveaut i Feldmans kursus kan netop sammenlignes med niveauet i den danske fysik B- og fysik A-undervisning, men metoden kan også sagtens bruges på fysik C. Det viser vi eksempler på nedenfor.

Prøveresultaterne for de elever, der har fulgt scale-up-undervisning, har i Feldmans undersøgelser vist sig at være markant bedre end en kontrolgruppe, som havde normal undervisning hovedsageligt bestående af forelæsninger. Faktisk har scale-up-metoden været så effektiv, at Georg Washington Universitetet nu konsekvent kører med scale-up-undervisning i alle fysikklasserne.

Feldman opdeler sine studerende i permanente grupper af tre, således at alle grupper består af en dygtig, en middel og en mindre dygtig studerende. I en dansk kontekst kan det være en udfordring med faste grupper, hvis man oplever stort fravær blandt nogle elever, men for Feldman fungerer det godt, og det er noget han aktivt bruger til at minimere fravær. Grupperne placeres, hvis muligt om runde (eller hexagonale) borde, så der er to grupper ved hvert bord. Det er helt fint, at grupperne kan skæve til og evt. lade sig inspirere af hvad de andre grupper laver.

Scale-up-metoden er bygget op omkring forskellige former for øvelser:

- Ponderables (grublere)
- Tangibles (Hands-on grublere)
- Gruppe-quiz
- Whiteboard-aktivitet

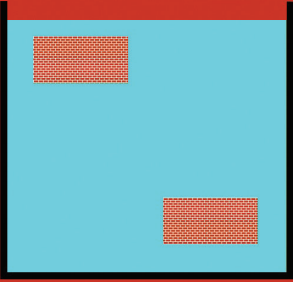
## Grublespørgsmål

“Ponderables” kan oversættes til “grublere” eller grublespørgsmål, altså spørgsmål eleverne skal gruble over. Det kan være konceptuelle opgaver såvel som beregningsopgaver. På figur 1 ses et eksempel på et grublespørgsmål, der (for Anja på KVUC) gav anledning til overraskende megen diskussion i Fysik B-klassen ved afslutningen af et forløb om kræfter, tryk og opdrift:

**Opdrift**

Du skal holde murstenene på de angivne positioner. Hvilken af de to mursten skal du bruge mindst kraft for at holde på plads?

1. Den øverste
2. Den nederste
3. De kræver lige store kræfter



Figur 1  
Et eksempel på et multiple choice-gruble-spørgsmål.

Feldman stiller spørgsmålene på en powerpoint. I grublespørgsmålene kan eleverne ofte vælge mellem en række svar, som det ses på eksemplet i figur 1. Besvarelsen foregår i det tilfælde med en "klikker" med forskellige svarmuligheder. På Fysiklærerforeningens kursus havde vi som "klikker" en simpel lowtech-version i form af et A4-ark ind delt med 8 felter, der kan foldes, så det

kan vise tallene 1 – 8. Det fungerer rigtig fint, og arkene kan sagtens genbruges flere gange i undervisningen.

Når der stilles et gruble-multiple-choice-spørgsmål, svarer hver elev først individuelt med sin "klikker" uden at have talt med sin gruppe. Læreren noterer sig svarene uden at give det rigtige svar.

Derefter får grupperne lov til at snakke sammen om, hvad de hver især har svaret og hvorfor. Derefter stilles spørgsmålet igen. Det er meget interessant at se, hvordan svarfordelingen så typisk har ændret sig.

Erfaringen fra metoden viser, at det, at eleverne får mulighed for at snakke sammen i gruppen, løfter alle i gruppen og procenten af rigtige svar stiger markant. Efterfølgende giver læreren det rigtige svar, hvorefter eleverne skal have lov til at forklare, hvorfor de har givet et bestemt svar, både det rigtige, men helst også hvad argumenterne for de forkerte svar var. Det kan give rigtig gode diskussioner i klassen, og tiden flyver.

Gruppequizen består af samme type grublespørgsmål med en række mulige svar, som grupperne kan svare på med en slags "skrabelod".

#### Små hands-on-forsøg

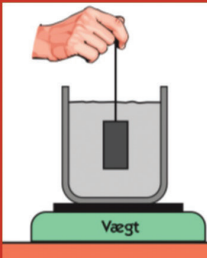
"Tangibles" er grublespørgsmål kombineret med små hands-on-forsøg, der kan demonstrere et fænomen, for eksempel opdrift på et lod, der nedsænkes i et glas med vand, der står på en vægt, som det ses på figur 2:

I denne type spørgsmål svarer eleverne først individuelt med deres "klikker".

**Opdrift**

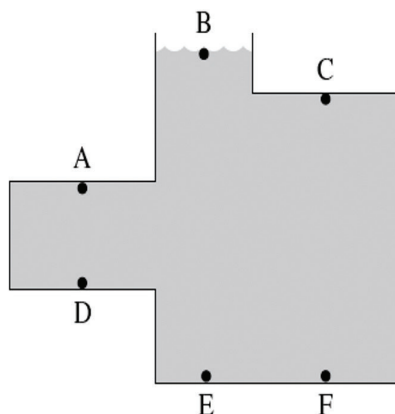
Der står et glas med vand på en vægt. Et metallod i en snor sænkes ned i glasset uden at det rører ved hverken bunden eller siderne af glasset. Hvad viser vægten? Højere, lavere eller samme værdi?

1. Højere værdi
2. Uændret værdi
3. Lavere værdi



Figur 2  
Et eksempel på et grublespørgsmål kombineret med et lille hands-on-forsøg.

Opskriv trykkene efter hvad der er størst og mindst



$$(E = F) > D > A > C > B$$

Figur 3

Eksempel på grublespørgsmål, der involverer whiteboard. Besvarelsen af dette spørgsmål gav også anledning til meget diskussion på Anjas fysik B-hold.

Derefter må de snakke sammen i gruppen og svarer så på ny på den baggrund. Nu får eleverne i hver gruppe mulighed for at foretage forsøget, og svaret kan ofte være til stor undren for dem. Derefter skal de redegøre for fænomenet og om muligt dokumentere resultatet (i eksemplet vægtforøgelsen) med en teoretisk beregning.

Figur 4

Eksempel på en beregningsopgave, som kursisterne på Anjas fysik B-hold kastede sig over med krum hals.

Et forsøg kan også bruges til at måle en fysisk størrelse, for eksempel reaktions-

tiden for hvert medlem i gruppen i forhold til at gribe en lineal, der accelereres i frit fald. Grænsen for hvilke småforsøg man kan stille spørgsmål om er blot, at der skal være forholdsvis simpelt apparatur til rådighed for alle grupper.

### Whiteboard-aktiviteter

Whiteboard-aktiviteter bruges dels til besvarelse af nogle typer grublespørgsmål og til beregningsopgaver. Hver gruppe er forsynet med et lille, gerne bærbart whiteboard. Figur 3 er et eksempel på et grublespørgsmål, der ikke er en multiple choice-opgave. I eksemplet skal man rangere en række steder i en beholder med vand, efter hvor trykket er størst. I denne opgavetype må eleverne i grupperne snakke sammen fra start, og de skal skrive deres svar på elevtavlen efter et af læreren fastlagt tidsrum, for eksempel nogle minutter.

I beregningsopgaverne kan grupperne arbejde sammen om beregningen med det samme. Efter et af læreren givet tidsrum holder alle grupper deres tavler op med beregningerne og resultatet. Hvis der er flere måder at lave beregningen på, får forskellige grupper mulighed for at forklare deres beregning for klassen. Det er en rigtig god måde for eleverne at få øvet det, at gennemgå beregninger på en tavle, og at få inspiration til forskellige måder at løse en opgave på. Et eksempel på en beregningsopgave kan ses på figur 4.

Et bægerglas er 35 cm højt og 5 cm i diameter. Det er fyldt til randen med vand.

(a) Hvad er den totale nedadrettede kraft fra vandet på bunden af bægerglasset?



$$F = 6.7 \text{ N}$$

(fra vandet alene)

### SCALE-UP-metoden i en dansk gymnasial kontekst

For danske fysiklærere er det nok ikke realistisk at implementere scale-up-metoden i sin helhed og omlægge al undervisning til den metode, fordi vores prøveform ikke består af en multiple choice-test, men som bekendt i stedet (for fysik B og A) går på to ben og består af en eksperimentel del og en individuel teoretisk mundtlig del. Men der er alligevel masser af inspiration at hente til sjove tankevækkende øvelser, der aktiverer og engagerer elever.



Figur 5

Når man anvender lodrette whiteboards, har eleverne let ved at samarbejde og det er let for læreren at få overblik over hvad de laver.

Det kan forekomme uoverskueligt at starte fra bunden med at lave de begrebslige opgaver til danske elever. På [fysiksamlingen.dk](http://fysiksamlingen.dk) ligger nu Gerald Feldmans powerpoints [4], som man kan plukke i og oversætte, eller man kan blot bruge dem til inspiration. Et andet sted at få god inspiration til, hvilke opgaver man kan stille, er i bogen af ældre dato *Mc-opgaver i fysik* (1985) [5]. Derudover beskriver vi nogle konkrete eksempler herunder.

Vi vil opfordre fysiklærere, som arbejder videre med scale-up-metoden, til at dele deres materiale på [fysiksamlingen.dk](http://fysiksamlingen.dk) (anvend "scale-up" som tag på siden)

### Eksempler fra fysik C-undervisningen på Nærum Gymnasium

Jeg (Solveig) vil komme med et eksempel på et lille forløb, hvor jeg har brugt ideer fra scale-up-metoden, men også har ladet mig inspirere af Peter Liljedahls *Det tænkende klasserum i matematik* [6].

Under elevcentrerede forløb er det vigtigt, at man som lærer kommer rundt og

giver hints til grupperne, så de holdes i "flow," altså at de hverken bliver udfordret for lidt eller for meget. Man skal så vidt muligt understøtte elevernes mulighed for at selv at opdage ny viden og helst afholde sig fra at give direkte svar. Samtidig er det nødvendigt at man giver svar på ting som eleverne umuligt selv kan opdage, så som fagbegrebernes navne og nogle fysiske forhold.

Eksemplet er fra starten af et forløb om bølger [7], og målet er dels, at eleverne bliver fortrolige med begreber og dels, at de forstår formelen  $v = \lambda \cdot f$ , som jeg her vil kalde bølgeligningen, velvidende at det ikke er den korrekte fagbetegnelse.

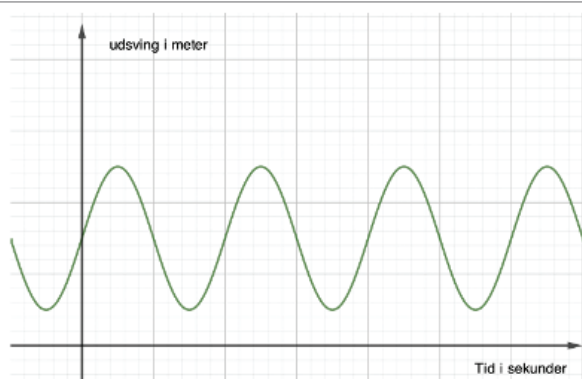
Inden vi gik i gang, sikrede jeg mig, at eleverne forstod definitionen af hastighed som den tilbagelagte afstand divideret med tiden. Eleverne arbejdede i første modul med at udlede eller rettere argumentere for bølgeligningen, herunder fik de også lært om forskellige bølgeparametre. Der blev brugt tilfældige grupper af tre, som arbejdede ved lodrette whiteboards. Vandrette whiteboards kan også bruges, hvis man ikke har mulighed for at anvende lodrette tavler. Eleverne fik en konkret animation af en vandbølge, som blev vist på en projektor, som alle i lokalet kunne se, og hvor konkrete tal kunne af-

læses for tid og afstand. Det interessante er, at grupperne aflæste forskellige værdier, men at alle selvfølgelig kom frem til samme hastighed. Jeg brugte dette til i fællesskab at snakke om, hvorfor nogle grupper havde fået  $\frac{8\text{ m}}{12\text{ s}}$ , en anden gruppe  $\frac{4\text{ m}}{6\text{ s}}$  og andre igen  $\frac{2\text{ m}}{3\text{ s}}$ . Her skabes der mulighed for at konsolidere viden om begrebet konstant hastighed og have en god fælles diskussion af dette.

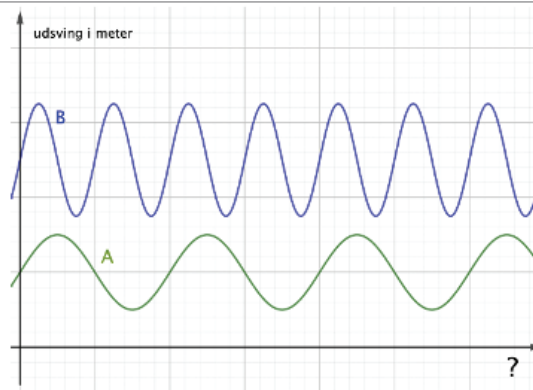
Begrebet konsolidering bruges i det tænkende klasserum til at beskrive aktiviteter, hvor der struktureret samles op, så 1) faglige indsigter bliver gjort til fælles viden for klassens elever, 2) fokus sættes på vigtige pointer og 3) indsigterne formuleres med fagets fagbegreber. Det er en lærerstyret aktivitet, hvor elevernes indsigter bruges som bidrag til at opbygge den fælles forståelse.

Efterfølgende fik eleverne definitionerne for bølgelængde og svingningstid, og de skulle aflæse disse og opskrive en sammenhæng mellem svingningstid, bølgelængde og bølgens hastighed, som de jo allerede havde fundet. Det at eksemplet er konkret og let genkendeligt for eleverne, nemlig en vandbølge, gør det mere medgørligt at arbejde med for dem. Efterfølgende skulle eleverne argumentere for sammenhængen mellem frekvens og





Hvilke af de fem bølgeparametre kan bestemmes ud fra figuren og hvilke værdier har de.



Figur viser to bølger A og B, som har samme bølgelængde.

- 1) Hvad står der på første akse, hvis du har valget mellem tid eller afstand
- 2) Hvilken bølge har størst frekvens, svingningstid, amplitude og hastighed.

Figur 6

Eksempler på grublespørgsmål, hvor eleverne tester deres forståelse som en del af opsamlingen på aktiviteterne om bølgeligningen.

svingningstid. Igen bliver man som lærer nødt til at give dem viden om fagbebreber, så de fik definitionen på frekvens, altså antal svingninger pr. sekund. For en konkret bølge med frekvensen 2 Hz, der blev udleveret til dem som en graf i et udsving-tid diagram, skulle eleverne aflæse både  $f$  og  $T$ . Herefter skulle de selv tegne flere bølger med frekvenser på 3 Hz, 4 Hz,  $\frac{1}{2}$  Hz,  $\frac{1}{3}$  Hz osv. og samle deres resultater i et skema over  $f$  og  $T$  og derved komme frem til en sammenhæng mellem frekvens og svingningstid. Igen er opsamlingen, hvor læreren strukturer elevernes viden, meget vigtig og noget man bør bruge tæt på halvdelen af tiden på.

Det efterfølgende modul blev eleverne bedt om at repetere deres viden fra sidst. Hvilke bølgeparametre er der, og hvilke enheder måles de i? Lav illustrationer til begreberne. Hvilke sammenhænge er der mellem dem? Igen anvendtes (nye) tremandsgrupper som arbejdede på lodret-

te whiteboards. Efter arbejdet ved elev-whiteboards, konsolideres deres viden igen ved fælles opsamling, og her gør man flittigt brug af det, eleverne har skrevet på tavlerne. Det kan være, at man som lærer peger på en tegning over en bølge, hvor der mellem to toppe indikeres, at afstanden imellem dem er " $\lambda$ ", men hvor der ikke står, hvad der er ud ad  $x$ -aksen, og man så spørger om det. Det er nødvendigt, at viden repeteres flere gange over tid, for at den faktisk huskes, og at det også transformeres fra en gruppeviden til en individuel viden. Derfor anvendte jeg scale-up-metodens grublespørgsmål til at eleverne individuelt testes i deres forståelse, se figur 6. Man kan eventuelt lade dem efterfølgende diskutere spørgsmålene med hinanden.

Min erfaring fra denne måde at undervise på er en markant forbedret forståelse for bølgeparametrene blandt eleverne. Jeg har tidligere, på trods af flere tavlegenemgange, hvor jeg har lagt vægt på, at der skal være "afstand ud ad  $x$ -aksen", hvis det er bølgelængden og tilsvarende "tid," hvis det er svingningstid, man skal illustrere, aldrig rigtig oplevet, at eleverne tog denne viden til sig. Der var højst en dygtig elev, der rent faktisk af

sig selv ville sætte korrekt betegnelse på akserne. De fleste elever ville ikke kunne svare på det, hvis man spurgte, hvad der er ud ad  $x$ -aksen. Jeg ved at nogle helt undgår denne problematik med sted eller tid ud ad  $x$ -aksen, men det er en af mine kæpheste, da jeg synes det er centralt for forståelsen af begreberne.

I klasser, hvor jeg har lavet elevcentreret undervisning, oplever jeg, at over halvdelen af eleverne selv medtager korrekte aksebetegnelser, når de forklarer om de forskellige bølgeparametre også ved selve eksamenssituationen. Samtidig oplever jeg, at eleverne, specielt drenge, liver op ved elevaktiverende undervisning, og at dette medvirker til at højne læringen. Men det er selvfølgelig ikke noget mirakelmiddel, specielt vil elever som ikke aktivt arbejder på deres læring, desværre ikke lære noget. Som lærer har man også mindst lige så meget at se til, som ved en lærergennemgang, da alle grupper skal holdes i "flow."

Et andet eksempel på materiale til et elevcentreret scale-up-inspireret forløb er om årsagen til årstider på Jorden og kan findes på [fysiksamlingen.dk](https://fysiksamlingen.dk) [8].

### Eksempel fra fysik A på Espergærde Gymnasium

Jeg (Mette) har tilpasset en del af Gerald Feldmans materialer til danske forhold. Materialerne er afprøvet på et lille fysik A-hold. Holdet består af 9 elever og jeg har brugt tilfældige grupper med 3 elever, dvs. nye grupper i hvert modul.

I mit fysiklokale har vi lodrette elevtavler, så grupperne kan stå ved hver deres tavle og tegne, mens de diskuterer. Jeg bruger projektoren til at præsentere de opgaver, eleverne arbejder med. De lodrette elevtavler gør det let at inddrage elevernes overvejelser og skitser, når de skal forklare, hvad de har diskuteret. Det gør det også let for mig som lærer at følge med i deres diskussioner og afgøre, hvornår de er ved at være færdige med deres diskussioner.

Jeg har brugt gruble-spørgsmål til at få eleverne til at diskutere det faglige indhold, som de har læst om hjemmefra. Min erfaring med gruble-spørgsmålene er, at de fremmer den faglige refleksion og forståelse. Det er vigtigt, at eleverne først skal stemme på deres foretrukne svar, inden de diskuterer. Det får flere elever til at deltage aktivt i diskussionen. Jeg har brugt øvelserne både som indledende i moduler, midt i moduler og som repetition. Øvelserne har således også været en måde at skabe variation i undervisningen.

### Kilder

- [1] G. Feldman et al. 2019, *Collaborative Group Learning in a Swiss Introductory Physics Class*, J. Phys.: Conf. Ser. 1286 012020.  
[iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1286/1/012020](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1286/1/012020)
- [2] Feldman et al. 2014: *Student Engagement in a Collaborative Group-Learning Environment*  
[drive.google.com/file/d/1\\_of0K25y-To8oKJy8SFpdzYxdPRmJV9u\\_/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1_of0K25y-To8oKJy8SFpdzYxdPRmJV9u_/view?usp=sharing)

### Rekyl

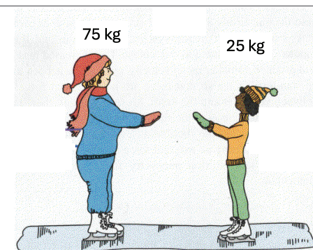
Mor (75 kg) og barn (25 kg) står stille på deres skøjter på glat is.

De skubber til hinanden.

Efter skubbet har moren en fart på 6 m/s.

Hvilken fart har barnet?

1. 2 m/s
2. 6 m/s
3. 9 m/s
4. 12 m/s
5. 18 m/s
6. Det kan ikke afgøres



### Bilsammenstød

Du kører på en enkelt spors vej med en fart på 50 km/t.

Du kan se en modgående bil, som kører direkte i mod dig med en fart 50 km/t.

Du kan ikke undvige, men kan vælge mellem at køre direkte ind i bilen eller en direkte ind i en solid betonmur.

Hvad bør du vælge?

1. Bilen
2. Betonmuren
3. Det er lige meget
4. Det kan ikke afgøres



Bilen stopper i begge tilfælde =>  $\Delta p$  er ens  
Antager at kollisionen tager samme tid  
=>  $\Delta t$  er ens  
=>  $F$  er ens

Figur 7

To eksempler på grublespørgsmål. Tekst og markering med grønt vises først til sidst, efter elevernes diskussion og opsamling i klassen. Den grønne tekst kan bruges af eleverne efter modulet, da de ikke kan tage noter, mens de står ved tavlerne.

- [3] Gerald Feldman & Guillaume Schlitz, *Creating a Student-Centered Collaborative Learning Environment in a University Physics Classroom*.  
[indico.cern.ch/event/1162407/contributions/5941031/attachments/2850246/5089172/077\\_W\\_revised\\_v2.pdf](https://indico.cern.ch/event/1162407/contributions/5941031/attachments/2850246/5089172/077_W_revised_v2.pdf)
- [4] [fysiksamlingen.dk/feldmans-scale-up-materialer-pa-engelsk](https://fysiksamlingen.dk/feldmans-scale-up-materialer-pa-engelsk)
- [5] Henrik Tarp-Johansen, red., *Mc-opgaver i fysik: Fysikopgaver fra HF-A eksamenssæt*, F & K Forlaget, 1985.  
[fys.dk/fysikforlaget](https://fys.dk/fysikforlaget) – tekst nr. 8
- [6] Peter Liljedahl, *Det tænkende klasserum i matematik*, udgivet på dansk af Akademisk Forlag, 2022.
- [7] [fysiksamlingen.dk/introduktion-til-bolger-via-elevcentreret-undervisning](https://fysiksamlingen.dk/introduktion-til-bolger-via-elevcentreret-undervisning)  
– luk ind på [fysiksamlingen.dk](https://fysiksamlingen.dk) først.
- [8] [fysiksamlingen.dk/aarstider-via-elevcentreret-undervisning](https://fysiksamlingen.dk/aarstider-via-elevcentreret-undervisning)