

Innovation som undervisningsmetode i STX-fysik

Af Niels Erik Wegge, Birkerød Gymnasium, HF, IB & Kostskole

Denne artikel handler om innovation som undervisningsmetode i STX-faget Fysik. Den handler altså ikke om valgfaget "Innovation". Artiklen præsenterer et undervisningsforløb på 6 timer, hvor en fysikklasse først lærer nogle grundlæggende idegenereringsmetoder og dernæst benytter disse til at finde innovative løsninger på en problemstilling inden for varmelære. Eleverne (og læreren) vurderede bagefter, at der havde været et substantielt fysikfagligt udbytte af forløbet – ikke på trods af innovationselementet, men netop på grund af det. I januar spurgte jeg klassen, om der var nogen som kunne hjælpe til med at præsentere sjove, klassiske fysikforsøg ved gymnasiets orienteringsaften. Ja, svarede adskillige, hvis vi også må fortælle om vores innovationsforløb!

De præsenterede innovationsideer og -metoder er i al væsentlighed baseret på "Den Kreative Platform", som er udviklet af Aalborg Universitet [1].

Innovation i STX

Lad os starte med (som mange i STX-verdenen gør det) kort og fyndigt at definere "INNOVATION" ved triaden "NYT – NYTTIGT – NYTTIGGJORT".

Altså: innovation er, når man finder på en mere eller mindre *ny* måde at løse en given problemstilling på; en måde som har værdi for andre (er *nyttigt*), og som realistisk kan lade sig gøre (kan *nyttiggøres*). Det er nok en forenkling af innovationsbegrebet, men er til gengæld til at have med at gøre i STX-sammenhæng, hvor den kan bruges i fag-faglighedens ærinde. Det kræver ofte at "NYTTIGGJORT" blødes lidt op: Selvom den innovative løsning i princippet skal færdigudvikles for at være af værdi, kan man sjældent forvente at eleverne i praksis kan (eller har tid til at) virkeliggøre deres ideer. Men det gør heller ikke noget, at elevernes løsningsforslag kun er anvisninger. Erfaringen (bl.a. fra Danske Sciencegymnasiers kurser om "Innovation i Naturvidenskab" [2]) synes at vise, at eleverne under alle omstændigheder lærer en masse og udvider/styrker deres faglighed i løbet af processen.

Det kunne være rimeligt at overveje, hvorfor man overhovedet skal gøre sig den ulejlighed at indføre innovation som del af undervisningen i de enkelte STX-fag. I STX-bekendtgørelsens overordnede §1 stk. 4 står der "Uddannelsen skal tillige udvikle elevernes kreative og innovative evner og deres kritiske sans", men det er de færreste fag, der nævner innovation i læreplanen. Kan man nå både at lære eleverne den nødvendige faglighed og arbejde innovativt? Lad mig som svar nøjes med at fortælle, at jeg selv har oplevet at innovation som undervisningsmetode i fysikfaget virker godt! Eleverne er gode til innovation; der kommer spændende ideer frem, som læreren aldrig selv havde kunnet finde på; eleverne får større ejerskab til deres faglighed; og så er det simpelthen sjovt. Det behøver ovenikøbet ikke tage specielt lang tid at gennemføre et innovationsforløb med solid faglighed, og de opsatte faglige læringsmål sikres nemt gennem en afsluttende skriftlig opgave. I fysik er der mange emner, der egner sig til en innovativ tilgang (se boks 1).

Boks 1. Innovationsforløb i fysik

Ideer fra deltagere i DASG-kurserne om "Innovation i Naturvidenskab".

- **Lys.** Find på en totalløsning til forbedring af belysningen i et konkret klasseværelse. (El-lære, energiomsætning, lyspærers virkemåde, atomteori, lysintensitet, lysspektre, farveblanding.)
- **Lyd.** Opfind et "nyt" musikinstrument. (Bølgelære, stående svingninger, resonans, overtoner.)
- **Bevægelse.** Find ud af hvilke kørende forlystelser der kunne blive plads til ude på parkeringspladsen, hvis den blev omdannet til et mini-tivoli. Der skal være *rides* med f.eks. 4g-påvirkninger. (Fart, acceleration, kræfter, cirkelbevægelse, mekanisk energi.)
- **Energilagring.** Kom med forslag til hvordan man ville kunne lagre tilstrækkeligt meget energi fra solfangerne på et konkret hus fra sommer til vinter. (Varmelære, solarkonstant, effektivitet, husholdningens energiforbrug, varmeledning.)
- **Varmetab.** Find ud af hvordan man kan øge elkedlers effektivitet. (Energiomsætninger, el-lære, varmeledning, varmestråling, sorte legemer.)
- **Undervisning.** Det er et problem, at mange piger i Danmark mister interessen for naturvidenskab, når de er mellem 10 og 13 år. Gad vide hvorfor det er sådan og hvordan man genindfanger dem? Vælg et fysikemne og find på en ny måde at præsentere det for disse piger på.
- **Rumkolonier.** Det overvejes at bygge en koloni nær Månens sydpol. Foreslå hvordan en sådan koloni skal indrettes. (Tyngdekraft, solindstråling, kosmisk stråling, atmosfæretryk, energiforsyning.)
- **Energibesparelse** (gennemgås nedenfor). Kom med forslag til hvordan du sparer x % på omkostningerne til dit brusebad. (Varmelære, energiomsætninger, kilowatttime, strømningshastighed, målemetoder.)

Hvordan lærer man eleverne at arbejde innovativt?

Ligesom man ikke kan forvente, at en gruppe elever kan lave godt gruppearbejde om et fagligt emne uden i forvejen at have lært, hvordan man laver godt gruppearbejde, så kan man heller ikke bede elever arbejde innovativt uden de i forvejen har lært og trænet metoder til innovation. Blandt de mange kompetencer, der indgår i et fuldt udfoldet innovationsforløb, er det min vurdering, at man i en innovations-startpakke skal fokusere på den allervigtigste: kunsten hurtigt at generere et væld af ideer. Denne såkaldte "åbnefase" er altafgørende, og den kræver at både elever og lærere lærer en række teknikker. De to andre faser i "åbne/lukke-modellen" (se figur 1) fortjener også opmærksomhed og opbygning af teknikker, men jeg foreslår altså, at man for at komme i gang med innovation i undervisningen sætter hovedfokus på åbnefasen.



Figur 1. Den gængse åbne/lukke-model for innovationsprocesser. I åbnefasen genereres et væld af ideer uden skelen til deres værdi eller anvendelighed eller realiserbarhed. I overblikfasen analyserer og kategoriserer man ideerne, så man i lukkefasen kan udvælge og videreudvikle en enkelt blandt de mange ideer.

Da det er ambitiøst at lære fundamentalt nye arbejdsmetoder samtidig med at man lærer ny faglighed, er det mit innovationspædagogiske credo, at innovation som metode i STX-undervisningen skal gennemføres i tre trin: LÆRE-ØVE-BRUGE.

Trin 1: Innovationsmetoder læres fra bunden i en lettilgængelig, ikke-faglig sammenhæng:

- Hvordan man genererer massevis af ideer ("åbne", mest tid bruges her).
 - være kreativ på kommando
 - være åben over for potentialet i alle ufærdige ideer
 - arbejde videre med egne og andres ideer
- Hvordan man analyserer og vælger blandt de mange ideer ("overblik").
- Hvordan man færdigudvikler en idé ("lukke").

Trin 2: Innovation øves på en relativt simpel enkelt-faglig problemstilling (f.eks. i fysik):

- Læreren etablerer den minimalt nødvendige faglige for forståelse for problemstillingen.
- Eleverne finder på mange innovative løsningsforslag ved at bruge metoderne fra Trin 1, skaber overblik over dem og udvælger én, som videreudvikles.
- Undervejs i dette trin holdes der hele tiden metafokus på metoderne fra Trin 1 ("hvad er det, vi har gang i lige nu?").

- Efterbehandling: en skriftlig opgave sikrer, at forløbets faglige læringsmål bliver opfyldt for alle trods deres forskellige veje gennem forløbet.

Trin 3: Innovation bruges i flerfaglig sammenhæng:

- Enten god, gammeldags tværfaglighed eller et forløb i STX-faget Almen Studieforbereelse.
- Eleverne bruger (med lethed!) de trænedede innovationsteknikker fra Trin 2 og kan nu fokusere helt på faglighederne.

På Birkerød Gymnasium har vi indført en STX-progressionsmodel, hvor trin 1 og 2 udliciteres til et egnet fag i starten af 2g (f.eks. fysik), hvorefter trin 2 gentages så ofte som muligt i nogle af klassens andre fag. Ved slutningen af 2g har eleverne en god værktøjskasse med adskillige innovationsredskaber, som uden videre kan bringes i anvendelse i en flerfaglig problemstilling. Trin 3 lægges derfor i et forløb med Almen Studieforbereelse i starten af 3g.

Nedenfor beskriver jeg et undervisningsforløb, hvor 26 elever i en 2g STX klasse gennemførte trin 1 og trin 2 med få dages mellemrum. Trin 3 har mine elever endnu til gode.

En fysikklasse på Birkerød Gymnasium lærer at arbejde innovativt

Trin 1: Innovationsmetoder læres.

Vi brugte et dobbelt-modul til dette trin, i alt 3 timer. Der var ikke noget "frikvarter" undervejs: Aktiviteterne foregik både indendørs og udendørs og var så afvekslende i sig selv at ingen følte behov for en pause. Forløbet var inspireret af Jesper Bruun-Schmidt (Mulernes Legatskole), og er grundlæggende baseret på metoder og ideer fra Den Kreative Platform [1].

Den ikke-fysikfaglige problemstilling var: "Det er et problem at eleverne på Birkerød Gymnasium får rørt sig så lidt i løbet af en skoledag".

Der er tre grundfærdigheder, der er vigtige, når man vil generere mange ideer/løsningsforslag: at give sig selv lov til at lave fejl; aldrig at sige nej; at kunne digte videre på andres ideer.

Første grundfærdighed: at fejre sine fejl

I mange fag møder vores elever lukkede problemstillinger, som har ét bestemt svar, og eleverne bedømmes på deres evne til at nå frem til dette korrekte facit. Når elever er fokuseret på at finde "den rigtige løsning", går de nødtigt ad nye veje. Nye veje kunne ellers muligvis føre til nye og måske bedre løsninger, men eleverne vil ikke risikere at svare "forkert". Derfor startede vi med at øve os i at acceptere, ja ligefrem fejre fejlslagne forsøg: eleverne blev sat til at lege sten-saks-papir to og to og med armene i vejret begejstret råbe "YES, vi har lavet en fejl!", hver gang de ikke slog det samme som makkeren. I starten var eleverne lidt generte, men det blev en fest efterhånden.



Figur 2. YES, vi har lavet en fejl!

Anden grundfærdighed: aldrig at sige nej

Det var ikke nemt! Det ligger åbenbart dybt i de fleste, at man er kritisk over for det, man får foreslået. “Nej, det synes jeg er en dårlig ide”. “Nej, det kan jo slet ikke lade sig gøre”. “Nej, det er nok for besværligt”. Eller man siger måske “Ja, det kunne vi godt, men...”.

Både “Nej, ...” og “Ja, men...” er forbudt i den indledende innovationsfase, hvor det gælder om at få masser af ideer på banen og holde dem i live. Man må derfor kun sige “Ja, og...”. Som øvelse lavede vi ferieplanlægning to og to. Den ene makker siger “Vi kunne tage til [indsæt sted/by/land]!”, og den anden skal så sige “Ja, og så kunne vi [indsæt aktivitet]”. Til dette siger den første “Ja, og så [indsæt hvad der så kunne ske]”. Osv.

Tredje grundfærdighed: at videreudvikle ideer – også andres ideer

Dette blev allerede øvet i forrige aktivitet: man skulle jo gribe makkerens forslag og arbejde videre med det. Nu fortsatte vi med at lave historiefortælling i nye makkerpar. Vi forestillede os, at vi bevægede os fra billede til billede i en tegneserie. Den ene elev starter med at beskrive, hvad der sker i historiens første billede. Det skal gøres malende, så man virkelig kan forestille sig scenen. De to elever går nu et par skridt hen i det næste billede, som det så er makkerens tur til at beskrive. Og så videre.

Denne øvelse lavede vi udenfor, hvor der var god plads til at alle klassens makkerpar kunne gå fra “billede” til “billede”. Det virkede befordrende for fantasien, at man ikke sad på en stol og digtede historien, men rent fysisk bevægede sig fra den ene forestillede scene til den næste.

Så gik vi i gang med det egentlige problem: at eleverne rørte sig så lidt i skolen. Eleverne blev i nye makkerpar sendt ud på en kort “walk-and-talk” med det formål at finde på så mange løsningsideer som muligt. Ideerne skulle ikke arbejdes igennem, men der skulle være mange! Grundfærdighed 2 og 3 kom i sving. Alle ideer blev skrevet ned på små sedler og lagt frem for hele klassen. Blandt disse ca. 80 ideer måtte hver elev (i tavshed) tage en seddel med en ide, som umiddelbart virkede tiltalende.



Figur 3. Eleverne vælger blandt de mange ideer.



Figur 4. Ideerne videreudvikles i gruppen.

Eleverne blev delt i grupper på 4-5 og gik i gang med at videreudvikle de 26 valgte ideer. Her var det vigtigt at have god plads, så vi brugte A3-papir at tegne og skrive på. Jeg gik rundt og mindede grupperne om grundfærdighederne: I må ikke sige nej, I skal holde ideerne i live, der er ikke noget forkert endnu, og “fejl” kan ende med at være produktive.

Boks 2. Nogle af de 26 ideer grupperne arbejdede videre med:

1. bytte plads i løbet af timen
2. undervise ude i naturen
3. mere idræt
4. en forhindringsbane ude på gangen som man er nødt til at kravle/hoppe igennem
5. indføre fravær for inaktivitet
6. kun optage elever der bor i cykelafstand og så kræve at alle cykler i skole
7. udskifte stolene med motionscykler
8. lægge metalvægte ind i undertøj
9. tilbyde gratis kakao et sted langt væk på skolens område

Nu var der gået knap to timer af de tre, der var til rådighed, og de 26 videreudviklede ideer blev båret ind i åbne/lukke-modellens næste fase: overblikfasen. Eleverne tog hver deres A3-ide med ind i nye grupper

(6-7 elever), hvor man fandt frem til en placering i et todimensionalt værdikompas (se figur 5). Man kan finde på mange parametre at måle ideerne med, men jeg havde valgt de to akser:

*nyttigt for få ↔ nyttigt for mange
nemt at implementere ↔ svært at implementere*



Figur 5. Ideerne analyseres i forhold til et værdikompas.

Efter at have skabt et hurtigt overblik begyndte lukke-fasen. Hver storgruppe udvalgte to ideer til videreudvikling, og så blev der endelig åbnet for skabet med alle de Bonos hatte; også nej-hatten og den realistisk/kritiske hat kom i brug! Der findes meget materiale på nettet om de Bonos tænkehatter [3], og der kan bruges meget tid på at øve brugen af dem. Mine elever fik kun en ultrakort introduktion, og vi gik ikke særligt dogmatisk til værks med disse hatte. Jeg gik bare rundt og hjalp grupperne til at blive bevidste om hvilken hat, de havde på.

Gruppens to færdige ideer blev beskrevet og tegnet fint op på A3-papir, men kun den bedste af de to blev udvalgt til fremlæggelse for resten af klassen. Til sidst valgte klassen ved afstemning to favoritter:

- Idé 1: Opstilling af motionscykler i skolens fællesområder. Brug af cyklerne udløser værdikuponer, som kan indløses til kakao eller andre varer i skolens kantine. (Videreudvikling af idé 7 fra boks 2.)
- Idé 2: Trapperne erstattes af rulletrapper, der kører den forkerte vej. Der indføres ensretning, som gør at man bliver nødt til at løbe op ad den nedadrullende trappe, når man skal ovenpå, og vice versa. (Videreudvikling af idé 4 fra boks 2.)

Trin 2: Innovation øves på et fysikfagligt problem: Hvordan sparer vi på prisen for et brusebad?

Dette trin blev gennemført få dage efter det forrige og varede ligeledes to moduler (3 timer). I min undervisningsplan indgik forløbet som repetition af varmelæren.

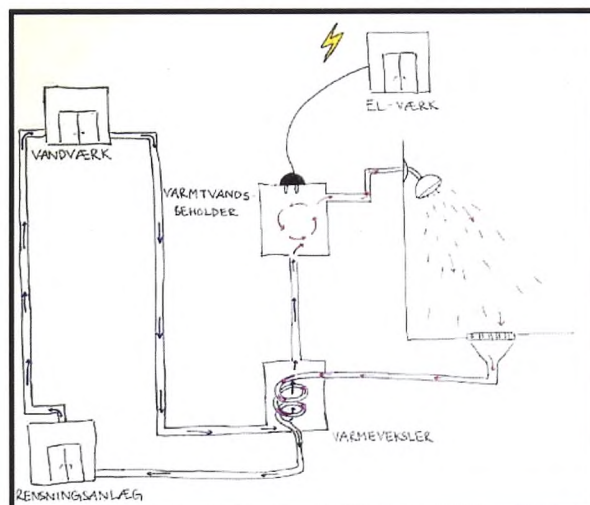
Er det et problem, at det er så dyrt at tage brusebad? Det viste sig, at ikke alle eleverne var bevidste om, at det koster penge at tage bad, så vi startede med i fællesskab at gennemregne et tænkt brusebad. Med 5 liter vand pr. minut i 12 minutter bliver det til 60 liter, som koster ca. 50 kr/m³. Hvis vandet skal opvarmes elektrisk fra vandværkets 10 °C til behagelige 40 °C,

koster det energien $Q = mc\Delta T$, som ved 100 % effektivitet bliver 2,1 kWh. Med en kWh-pris på ca. 2 kroner koster brusebadet altså i alt ca. 7,20 kr.

Eleverne var nu blevet opmærksomme på de forskellige parametre, der påvirker badets pris, og så gik innovationsprocessen i gang med samme skridt som i trin 1. Vi brugte igen længst tid på åbne-fasen (walk-and-talk i par, individuel ide-udvælgelse, gruppeudvikling af ideerne) for at bevare en åbenhed for nye ideer og løsninger gennem længere tid. Herefter valgte grupperne to favoritideer, som blev færdigudviklet og præsenteret for hele klassen. Med til den kvalitative præsentation hørte en kvantitativ beregning af besparelsen på både vand- og elregningen i forhold til de 7,20 kr, vi havde regnet ud i starten.

Efter de tre timer stod klassen med to vindere:

- Idé 1: Man kunne indrette brusekabinen ligesom en bilvask, hvor man på ca. et minut blev spulet og børstet ren.
- Idé 2: Man kunne genvinde varme fra afløbsvandet og bruge denne energi til gennem en varmeveksler at forvarme vandet til bruseren.



Figur 6. Brusebadet kan gøres billigere ved at genvinde varme fra afløbsvandet.

Disse ideer er da herlige! Er de også innovative? Ja, det synes jeg. Hvert løsningsforslag er i hvert fald NYT og NYTTIGT. Og begge kunne vel også nyttiggøres gennem en længere udviklingsproces, hvis det skulle være. Blandt klassens andre ideer var der mere "fantasiløse" som f.eks. at sætte en flow-reduktion på bruseren eller bare skære ned på badetiden. Det er måske ikke så innovativt, men gav stadig anledning til gode udregninger og overvejelser af, hvilke fysikparametre der får prisen til at stige mest.

Afslutning på det fysikfaglige innovationsforløb – og på artiklen

Har alle eleverne nu lært innovation som metode? Ja, men de kan sagtens blive dygtigere. Dette forløb skal følges op af andre enkeltfaglige innovationsforløb (trin 2 gentaget), og værktøjskassen skal udvides. Jeg kunne f.eks. godt tænke mig at der kom nogle konkrete brainstorm-redskaber ned i kassen.

Kunne vi have brugt tiden bedre, hvis vi havde lavet traditionel undervisning i stedet for dette fysikinnovationsforløb? Nej, i betragtning af hvor sjovt eleverne havde det, hvor meget fysik de havde gang i, og hvor mange aha-oplevelser de fik, så var det bestemt de to moduler værd.

Har alle eleverne fået lært "hvad de skulle"? Måske ikke, så derfor stillede jeg afslutningsvis en individuel skriftlig opgave med titlen "Gå billigere i bad" (se boks 3).

Boks 3. Gå billigere i bad

Afsluttende skriftlig opgave på 3-5 sider.

1. **Gør rede** for dit vand- og energiforbrug til bad. Hvor meget vand og hvor meget energi bruger du? Kræver egne målinger af vandmængde og temperatur (dokumenteres med fotos).
2. Gør rede for og **analysér** din innovationsgruppes idé til at spare på vand- og energiforbruget i forbindelse med dit bad. Hvor mange procent kan du spare? (Antag: Vandet opvarmes elektrisk med strøm fra elværket, og der er ikke varmetab fra varmtvandsbeholderen.)
3. **Vurdér** hvordan du vil kunne skære dine omkostninger til bad ned med 40 %. Du behøver ikke bruge din gruppes idé.

Med denne opgave trænes elevernes eksperimentelle kompetence gennem hjemme-forsøget, samtidig med at de bevidstgøres om fysikken i deres dagligdag.

Bemærk at opgaven naturligt falder i tre dele svarende til de tre taksonomiske niveauer, vi tit tænker gymnasieopgaver i: redegørelse, analyse, vurdering. Bemærk også at der i opgaven både skal regnes "ligefrem" (hvor meget sparer du?) og "baglæns" (hvad skal parametrene sættes til, for at en bestemt besparelse opnås?).

Eleverne skrev nogle flotte besvarelser, og det gav anledning til livlig diskussion i klassen, da jeg fortalte at badetiderne (før innovativ besparelse) varierede fra 2,5 minutter helt til 25 minutter; at vandflowet gik helt fra 2 til 12 liter pr minut, og de årlige badeomkostninger fra 300 kr til 3400 kr!

Til slut blev eleverne opfordret til at indgå en kontrakt med deres forældre: "jeg lover at spare 40 % på mine brusebade det næste år – hvis I udbetaler mig halvdelen af besparelsen".



Figur 7. Eleverne har stillet sig i rækkefølge efter hvem der bruger mest vand på et brusebad.



Figur 8. Hurtig, uformel evaluering af innovationsforløbet: "Hvor meget har I fået ud af dette forløb på en skala fra lav til høj?"

Litteratur

- [1] Den Kreative Platform;
www.uva.aau.dk/Den+Kreative+Platform/
- [2] Danske Science Gymnasier (DASG);
www.science-gym.dk
- [3] For en overkommelig introduktion til de Bonos tænkehatte, se f.eks.
www.janfjordbak.dk/sixhat.htm



Niels Erik Wegge underviser i matematik og fysik på Birkerød Gymnasium, HF, IB & Kostskole. Han er kursusleder på DASG-kurserne "Innovation i Naturvidenskab".

Inge Lehmanns Legat af 1983

Administreret af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab.

Legatet skal fortrinsvis anvendes til længerevarende forskningsophold eller videregående forskningsuddannelse i udlandet for forskere på ph.d.-niveau, dog ikke til finansiering af det obligatoriske miljøskifte.

Legatet tildeles (1) forskere inden for **geofysik** – primært til studier af jordens indre og dens overfladelag – eller (2) forskere inden for empirisk psykologi.

Ansøgning skal dreje sig om et forskningsprojekt, der specifikt kan udføres ved udlandsopholdet.

Der skal benyttes et ansøgningsskema, som udfyldes via www.royalacademy.dk, hvor yderligere information også kan findes (eller kontakt sekretær Mette Danielsen: mda@royalacademy.dk). Ansøgningsfrist: fredag den **1. april 2016**.