



Innovation i fysik C, B og A (stx)

En introduktion

Af Niels Erik Wegge, Birkerød Gymnasium

Teksten giver en kort introduktion til innovation som undervisningsmetode i fysik (stx) med

- *rammesætning,*
- *indholdseksempler,*
- *forslag til strukturerende model,*
- *dokumentation og evaluering,*
- *eksempler på styringsteknikker mm,*
- *litteraturliste*

Om innovation som undervisningsmetode i stx fysik A, B og C

Niels Erik Wegge, Birkerød Gymnasium

Resumé og hovedpunkter

Innovation fylder en del på de politiske dagsordener i disse år, både i erhvervsliv og forskning, men også inden for uddannelse. Undervisningen i gymnasiet skal bl.a. "udvikle elevernes kreative og innovative evner og deres kritiske sans." [1] Styrkelsen af den kritiske sans synes vi jo nok, vi har haft på programmet i vores undervisning i mange år, men hvad med det kreative og innovative? Nærværende note går ikke ind i en polemik om, hvorvidt og i hvilken udstrækning innovation hører hjemme i gymnasiet eller ej, men forsøger at give håndgribelige og konkrete anvisninger på, hvordan man uden stort besvær kan tilrettelægge større eller mindre innovationsforløb med stærk faglig forankring. Ideerne som præsenteres nedenfor bygger på DASGs udviklingskurser *Innovation i Naturvidenskab* [2] [3] samt *Den Kreative Platform* fra Aalborg Universitet [4]. Se også artiklen *Innovation som undervisningsmetode i STX-fysik* [5].

- I 2017-reformen skal alle gymnasiale fag arbejde med innovation som undervisningsmetode.
- Fysik ABC-vejledningerne giver kortfattede anvisninger på, hvordan vi kan gøre i fysik – nærværende note går lidt mere i dybden med praktiske anvisninger.
- Det er muligt at strukturere et innovationsforløb i fysik på en måde, så forløbet får et stærkt fagligt indhold og således kan træde i stedet for mere traditionelle undervisningsforløb.
- Åbne, faglige problemstillinger med mulighed for flere løsninger og tilgange er velegnede til innovationsforløb. En liste med eksempler anføres.
- I et innovationsforløb er der ikke et på forhånd givet korrekt svar, og man kan ikke på forhånd vide hvilken vej, man kommer til at gå, eller hvor man havner.
- Benspænd af forskellig art kan være med til at sikre inddragelsen af bestemte fagligheder, som læreren ønsker klassen skal beskæftige sig med.
- Hvis eleverne efter et innovationsforløb er endt vidt forskellige steder og har fulgt vidt forskellige veje, kan en opfølgende skriftlig opgave sikre en fællesmængde af faglighed i klassen.
- "Dobbeltdiamant-modellen" gennemgås – den er simpel og gør det let for læreren og eleverne at navigere i et potentielt kaotisk innovationsforløb.
- Undervisningsforløb med innovation
 - behøver ikke nødvendigvis være lange. Man kan nøjes med delelementer af innovationsprocessen, hvis der ikke er så meget tid til rådighed (fx på fysik C).
 - kan være eksperimentelle og gøre det ud for de af A- og B-læreplanen krævede længerevarende eksperimentelle forløb.
 - kan opgives til eksamen.

Innovation iflg. læreplanen – et overblik

Ordet innovation forekommer ikke direkte i 2017-læreplanerne for fysik, men når der i afsnit 3.2 *Arbejdsformer* står, at eleverne skal have ”mulighed for at udvikle og realisere egne ideer inden for faget”, samt at der (i fysik A og B) skal ”tilrettelægges mindst ét forløb, hvor eleverne undersøger en problemstilling og udvikler og vurderer løsninger, hvor fagets viden og metoder anvendes”, så er det i denne åbne ramme, at en innovativ tilgang til fysikfagligheden kan udfoldes. Dette pointeres da også i vejledningerne til læreplanerne.

Et innovationsforløb kan være et kortere indslag i et mere traditionelt undervisningsforløb, men det kan også organiseres, så det udgør det ”længerevarende forløb, hvor eleverne i mindre grupper arbejder med en selvvalgt eksperimentel problemstilling”, som er krævet i læreplanen for fysik A og B. Under alle omstændigheder vil den såkaldt innovative tilgang dygtiggøre eleverne i at navigere i åbne problemfelter af fysikfaglig art, hvortil der ikke er ét på forhånd givet rigtigt svar.

Det er væsentligt for innovationsforløbet, at eleverne har en værktøjskasse med redskaber til f.eks. idegenerering og ideudvikling. Denne innovationstekniske værktøjskasse kan op- eller udbygges i forbindelse med det fysikfaglige forløb, hvis den da ikke allerede er etableret i andre fag, hvor eleverne har gennemført innovationsforløb. Se mere nedenfor.

Et innovationsforløb bør styres stramt af læreren med klare faser og delmål undervejs, og der kan indbygges faglige benspænd, hvis der er bestemte fagligheder, man ønsker at bringe i spil. En opfølgende faglig opgave kan være med til at sikre en fælles faglighed i hele klassen, selvom de forskellige grupper har fulgt forskellige veje med forskellig faglig dybde og har nået forskellige mål i forløbet. Man kan udmærket bruge klassens innovationsforløb som mundtligt eksamensspørgsmål i fysik.

Innovation og faglighed

Innovation i gymnasieundervisningen kan lidt slagfærdigt defineres ved triaden NYT-NYTTIGT-NYTTIGGJORT. Altså en proces, hvor man finder på en mere eller mindre *ny* måde at løse en given problemstilling på; en måde som har værdi for andre (er *nyttig*), og som realistisk kan lade sig *gøre* (kan *nyttiggøres*). I kommissoriet til 2017-læreplansgrupperne [6] foretages der en interessant skelnen i brugen af innovation på de forskellige gymnasiale uddannelser:

- I stx knytter innovation sig til udvikling og vurdering af løsningsforslag i forhold til almene, virkelighedsnære og faglige problemstillinger i forlængelse af fagene og samspil mellem fagene.
- I hhx knytter innovation sig til udvikling og vurdering af løsningsforslag vedrørende erhvervsrettede problemstillinger på det merkantile område, herunder iværksætteri.
- I htx knytter innovation sig til innovativ problemløsning og produktudvikling i forhold til virkelighedsnære problemstillinger, vurdering af produkt samt iværksætteri.
- I hf knytter innovation sig til udvikling af løsningsforslag i forhold til almene og professionsrettede virkelighedsnære problemstillinger i forlængelse af fag og fagpakker.

Hvor der på hhx og htx vil være et tydeligt element af entreprenørskab og fokus på udvikling af et egentligt produkt, er det altså på stx nok så meget de faglige indsigter, der indgår i og opnås under arbejdet med opstillingen, udviklingen og vurderingen af selve ideen, der er målet. Innovation kan virkelig bruges til at bibringe eleverne faglige indsigter, ligesom traditionelle undervisningsforløb gør.

Innovation og åbne problemstillinger

Udgangspunktet for et innovationsforløb er en klart afgrænset, men samtidigt tilpas åben problemstilling, som giver mulighed for helt forskellige løsninger indenfor den faglighed, læreren ønsker at bringe i spil. I et innovationsforløb er der ikke noget "rigtig" løsning, og man kan ikke på forhånd vide, hvor man havner. Hvis læreren på forhånd kender løsningen og lader eleverne finde frem til denne løsning, bliver forløbet mere traditionelt (og det behøver der ikke være noget i vejen med, det er så blot ikke et innovationsforløb).

Forskellen på en lukket og en åben problemstilling kan illustreres med dette eksempel:

Lukket problemstilling: Beregn hvor meget energi man kan spare på et bad af 10 minutters varighed, hvis vandstrømningshastigheden er 6,0 liter pr minut og man sænker temperaturen fra 45 °C til 39 °C. [Her skal eleven gøre en antagelse om opvarmningsformens nyttevirkningsgrad, men bortset herfra er der ét korrekt svar. Elevens opgave er så at finde dette ene, af læreren på forhånd kendte, korrekte svar.]

Åben problemstilling med mulighed for innovativ løsning: Det er et problem, at der bruges meget energi på at opvarme vand til brusebad. Find på mindst to måder hvorpå omkostningen til dine egne brusebade kan reduceres med 40 %. [Eleven må undersøge alle de parametre, energiforbruget afhænger af, og overveje hvor meget der skal skrues på hver enkelt af dem. Derudover må eleven foretage målinger på eget brusebad, og løsningsforslaget må forventes rumme overvejelser, der rækker ud over det rent fysikfaglige (hvordan kan man realistisk få en person til at gennemføre besparelsen).]

Der kan ligge en udfordring til os som lærere her. Vi skal turde give slip og lade eleverne gå i retninger, hvor vi muligvis ikke selv har gået, og hvor vi ikke er sikre på at der kan være fagligt forsvarlige løsninger, som passer ind i vores læreplan.

Forslag til innovationsforløb i fysik

En liste over problemfelter, der egner sig til innovative undervisningsforløb:

- **Lys.** Det er et problem, at belysningen mange steder her på skolen er dårlig. Find på en totalløsning til forbedring af belysningen. (El-lære, energiomsætning, lyspærers virkemåde, atomteori, lysintensitet, lysspektre, farveblanding.)
- **Lyd.** Opfind et "nyt" musikinstrument. (Bølgelære, stående svingninger, resonans, overtoner.)
- **Lyd og støj.** Mange unge får høreskader. Find på et forslag til en innovativ løsning på dette problem. (Lyd og støj, frekvens, dB, afstandskvadratlov, resonans.)

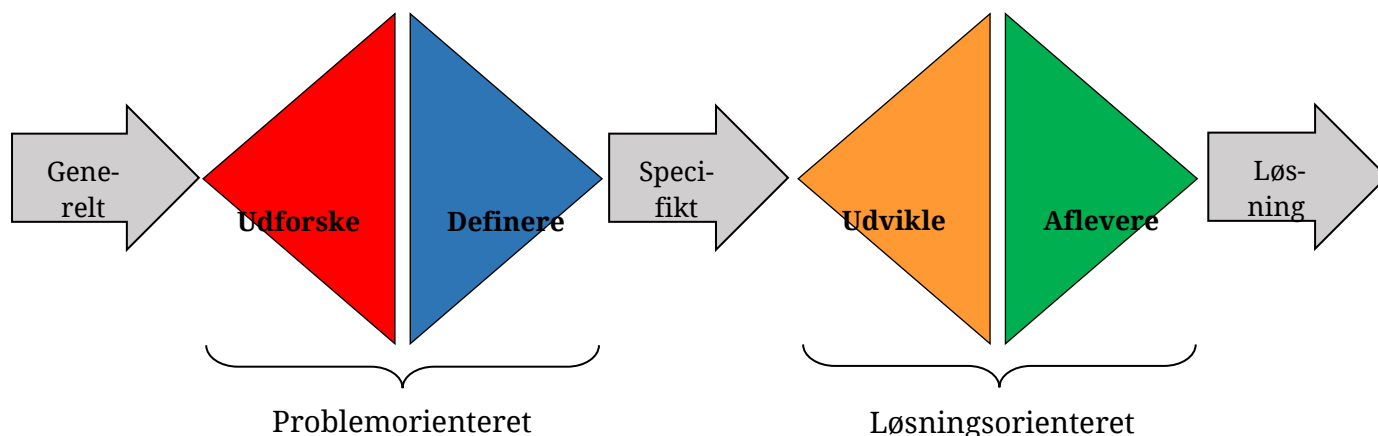
- **Bevægelse.** Tænk, hvis vi kunne lave et mini-tivoli ude på skolens parkeringsplads! Find ud af hvilke kørende forlystelser der kan blive plads til derude. Der skal være rides med 4g-påvirkninger. (Fart, acceleration, kræfter, cirkelbevægelse, mekanisk energi.)
- **Energilagring.** Det er et problem, at solen ikke altid skinner, når vi har brug for solenergien. Kom med forslag til hvordan man ville kunne lagre tilstrækkeligt meget varmeenergi fra solfangerne på et konkret hus fra sommer til vinter. (Varmelære, solarkonstant, effektivitet, husholdningens energiforbrug, varmeledning.)
- **Rumkolonier.** Tænk, hvis man (som det faktisk overvejes) byggede en koloni nær Månens sydpol. Foreslå hvordan en sådan koloni skal indrettes. (Tyngdekraft, solindstråling, kosmisk stråling, atmosfæretryk, energiforsyning.)
- **Transport.** Det er et problem, at transport af varer og mennesker over lange afstande er så energikrævende. Find på en måde hvorpå man kan spare på energiomkostningerne og CO₂-udslippet ved godstransport. (Energiomsætninger, energitab, effektivitet, luftmodstand)
- **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 sådan og hvordan man genindfanger dem? Vælg et fysikemne og find på en ny måde at præsentere det for disse piger på.
- **Fysikprincipper som kunst.** Tænk, hvis man kunne formidle grundlæggende fysiske ideer og begreber gennem kunst. Vælg et område i fysikken og et begreb eller en ide inden for dette område og illustrér det gennem en kunstnerisk installation.
- **Varmetab.** Find ud af hvordan man kan øge elkedlers effektivitet. (Energiomsætninger, el-lære, varmeledning, varmestråling, sorte legemer.)
- **Energibesparelse.** Det er et problem, at det er så dyrt at tage brusebad. Kom med forslag til hvordan du sparer x % på omkostningerne til dit eget brusebad. (Varmelære, energiomsætninger, kilowatttime, strømningshastighed, måle-metoder.) Dette eksempel er udfoldet i artiklen [5].

Bemærk, at man ofte kan opstille en brugbar innovationsproblemstilling ved at bruge formuleringen "Det er et problem, at ..." eller "Tænk, hvis...".

Strukturering af innovative forløb: dobbeltdiamant-modellen

Det er, som allerede nævnt, væsentligt at opstille en struktur for innovationsforløbet, således at eleverne har noget at navigere i forhold til, og således at læringsudbyttet kan styres og sikres undervejs. Da innovation som undervisningsmetode har været på banen i en del år, er der adskillige gode modeller, man kan vælge blandt. Når denne note anbefaler *dobeltdiamant-modellen*, eller den *dobbelte åbne-lukke-model*, som den også kaldes, er det fordi den er simpel og lineær. Eleverne og læreren ved hele tiden hvor i forløbet, man er kommet til, og hvornår man skal gå videre, og herved sikres den fremdrift, der er så vigtig i et gymnasieundervisningsforløb, hvor man ikke har ubegrænset tid til rådighed.

I dobbeltdiamant-modellen struktureres den innovative faglige proces i to dele, se fig. 1. Af disse to dele kan man til det konkrete forløb i klassen vælge at medtage en større eller mindre del, afhængigt af hvor meget tid, man vil afsætte, eller hvor erfarne eleverne er.



Figur 1 Dobbeltdiamantmodellen [7] er som et kort, man kan navigere efter i en innovationsproces. Første del er problemorienteret (der skal udkrystalliseres en specifik problemstilling i det overordnede problemfelt). Anden del er løsningsorienteret (der skal først udtænkes og udvikles en mangfoldighed af løsningsforslag og derefter udvælges og færdigudvikles et af dem). Figuren er inspireret af det anbefalelsesværdige "Innovationskompendium" [3].

Del 1 af den innovative proces er i denne model problemorienteret. Elevgrupperne bruger i del 1 deres eksisterende faglighed og opsøger evt. ny faglighed for at indsamle viden om og efterfølgende afgrænse det overordnede, generelle problemfelt (hhv. "åbnefase" og "lukkefase"). Indsamling af viden kan ske ved læsning af relevante dele af lærebogen, ved søgning på nettet, ved at spørge læreren eller andre ressourcepersoner, ved interviews med problemfeltets interessenter, ved udførelse af målinger og eksperimenter, osv. Det er hensigtsmæssigt, at hver gruppe dokumenterer processen og al den indhentede faglige viden om problemfeltet. Læreren kan i denne fase evt. stille simple regneopgaver, som både kan fungere som ben-spænd og hjælp til at komme videre.

Ved slutningen af del 1 har hver gruppe således fået opbygget ny faglig indsigt vedrørende det overordnede problemfelt (eller fået konsolideret eksisterende faglig viden herom), og de har formuleret et specifikt fagligt problem, som optager dem, og som de har ejerskab af. Hvis det overordnede forløbs generelle problemfelt fx er "Energiforbrug i hjemmet", kunne to forskellige gruppers specifikke problemstilling f.eks. være hhv. "Tænk, hvis man kunne formindske omkostningerne til brusebade" og "Hvordan kan vi få en ordentlig køkkenbelysning, som koster mindre?".

Hvis der er brug for at spare tid, eller hvis læreren ikke ønsker, at der er alt for mange vidt forskellige konkrete problemstillinger i spil i klassen, kan man helt springe denne første del over og i stedet præsentere en eller flere færdige, specifikke problemstillinger, som eleverne skal vælge sig ind på efter interesse. Man må så sørge for at den nødvendige baggrunds-faglighed er tilvejebragt på anden vis (kort repetition af kendt stof, egentlig lærerstyret undervisning i nyt, relevant stof og/eller elevernes egen informations-søgning).

Del 2 af den innovative proces er løsningsorienteret. I denne del findes der først (i "åbnefasen") en mangfoldighed af mulige (og sikkert også umulige) løsningsforslag til det specifikke problem, f.eks. gennem struktureret brainstorm og andre idegenereringsteknikker. Det er en vigtig opgave for læreren – her er en meget væsentlig pointe! – at sørge for, at eleverne forbliver i del 2s åbnefase i relativt lang tid for dér at generere og pusle om en meget lang række alternative ideer. Eleverne skal hjælpes til at modstå fristelsen til straks at gå i gang med at færdigudvikle den første den bedste yndlingside. Først når der gives grønt lys til den efterfølgende "lukkefase", går man i gang med at sortere og vurdere og forfine/videreudvikle ideerne – og man kasserer i denne proces de fleste. Til sidst præsenteres og vurderes den overlevende ide.

En række **essentielle teknikker** til del 2:

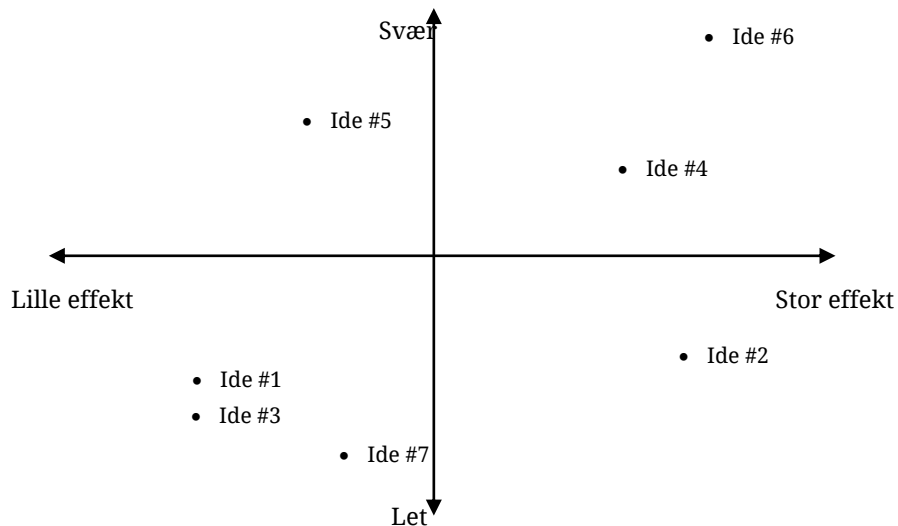
Brainstorm er velegnet til hurtig generering af mange ideer. Der findes flere forskellige brainstorm-teknikker, se fx [4] og [3], og det er vigtigt, at man følger "spillereglerne". Fælles for alle brainstorms er, at de på systematisk vis hjælper til at tømme gruppemedlemmernes hoveder for ideer. Der skal så mange ideer på bordet som muligt, og det skal gå hurtigt, så man ikke begynder at vurdere og være kritisk. Kvantitet over kvalitet! Da enhver ide potentielt rummer en mulighed, er ingen ideer på forhånd forkerte eller ubrugelige. Der dømmes/vurderes ikke, og *alle* i gruppen *skal* byde ind. En brainstorm-proces bør ikke vare længere end 10-15 minutter.

Walk-and-talk: til generering af ideer, til videreudvikling af ideer. Det kan være nemmere at tænke ud ad tangenter og på tværs, når man går afsted.

Tage imod og bære andres ideer videre: Man må øve sig i aldrig at sige "nej!" eller "ja, men...". I stedet skal man altid sige "ja, og så...". Herved kan ideer, der til en start ser ubrugelige ud, måske udvikles til noget brugbart og virkeligt innovativt.

De Bonos tænkehatte [3], [8]. Med de seks forskellige hatte (den kritiske, den praktiske, den optimistiske, osv) kan gruppen iscenesætte en systematiseret vurdering og videreudvikling af sine ideer.

Værdikompasset: kan bruges ved starten lukkefasen til at skabe overblik over de mange ideer på bordet. Ideernes placeres i et todimensionalt koordinatsystem, hvis akser udgøres af parametre såsom *nyttigt for få* ↔ *nyttigt for mange*, *nemt at implementere* ↔ *svært at implementere*, *stor fysikfaglighed* ↔ *lille fysikfaglighed* eller lignende (fig. 2).



Figur 2 Todimensionalt værdikompas med 7 ideer organiseret efter parametrene *Lille effekt* ↔ *Stor effekt* og *Let at realisere* ↔ *Svært at realisere*.

Dokumentation og evaluering af innovationsforløb

Hvis klassen allerede har en vis rutine i innovative processer, vil det være en god ide at stille krav til grupperne om at dokumentere processen frem mod løsningsforslaget. Det kan gøres meget nemt ved simpelt hen at fotografere de skriftlige mellemstationer, som den strukturerede innovationsproces har bestået af. Det kunne være:

- væggen fuld af ideer på post-its ("så mange ideer startede vi med at generere!").
- gruppen der er ude på *walk-and-talk*.
- de interviews gruppen har lavet med problemets interessenter for at afdække hvad problemet egentlig bestod af.
- de morfologiskemaer der blev benyttet til at skabe systematisk variation af løsningen ("sådan strukturerede vi delkomponenterne og satte dem sammen på nye måder").
- gruppen med de Bonos tænkehatte på, osv.

På den måde bliver det synligt både for gruppen selv og for læreren, om turen mod løsningen har fulgt den brede, sikre vej, som mange andre har gået før – eller om det var en tur ud i sump og buskads. Dette kan efterfølgende være med til også at sætte selve løsningen i perspektiv: måske lavede gruppen et stort, velbygget slot, lige til at flytte ind i (men efter en tur ad den nemme, brede vej); måske blev det kun til en skæv og vakkelvorn carport (men efter en tur i det svært fremkommelige faglige buskads). Slottet giver måske umiddelbart en bedre løsning, mens carporten muligvis kan vidne om bedre læring, både fagligt og innovationskompetencemæssigt.

Kom godt i gang: innovation fra bunden

Innovationskompetencer i en klasse kan opbygges i tre trin:

- Trin 1: Innovationsmetoder læres fra bunden (på et lettilgængeligt, ”rygmarvsfagligt” problem, så det faglige ikke står i vejen for det innovationstekniske).
- Trin 2: Innovation øves (på et relativt simpelt ”fag-fagligt” problem, fx i forbindelse med repetition af et emne)
- Trin 3: Innovation bruges (i en enkelt- eller flerfaglig sammenhæng, hvor innovationsteknikkerne nu sidder på rygmarven, og der kan fokuseres helt på det faglige).

Et undervisningsforløb på 3+3 klokketimer dækkende Trin 1 og Trin 2 er beskrevet i detaljer i artiklen [5].

Forløbet benytter kun anden diamant i dobbeltdiamant-modellen, altså den løsningsorienterede del 2. I forløbet bygges Trin 1 op omkring den ”rygmarvsfaglige” problemstilling ”*Det er et problem, at eleverne får rørt sig så lidt i løbet af en skoledag*” (eller måske ”*Det er et problem, at så få elever på vores gymnasium engagerer sig i operation dagsværk*”), mens Trin 2 handler om den af læreren færdigformulerede fysikfaglige problemstilling ”*Det er et problem, at det er så dyrt at tage brusebad*”. Forløbet tjente i den pågældende klasse til dels at introducere innovation som arbejdsmetode, dels som repetition af varmelære.

For en langt mere detaljeret diskussion af og konkrete anvisninger for undervisningsforløb med innovation i naturvidenskab i gymnasiet: se innovationskompendiet [3].

Litteratur og henvisninger

[1] Lov om de gymnasiale uddannelser, Kapitel 1, §1 stk 3

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=186027>

[2] Undervisningsmaterialer fra DASG-kurserne Innovation i naturvidenskab

<https://science-gym.dk/andet/innova.htm>

[3] Hansen, C.T. og Boelskifte, P. ”Innovation i naturvidenskab”, DTU Mekanik, Danmarks Tekniske Universitet, 2017. Forventes udgivet på Fysikforlaget i 2018.

[4] Den Kreative Platform, Aalborg Universitet <http://www.uva.aau.dk/den-kreative-platform/>

[5] Wegge, N.E., ”Innovation som undervisningsmetode i STX-fysik”, KVANT, 2016,

<http://www.kvant.dk/upload/kv-2016-1/kv-2016-1-NEW-innovation-fysik.pdf>

[6] Bilag til Kommisorium for læreplansgrupperne for de gymnasiale uddannelser 2016

[7] The Double Diamond, Design Council <http://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond> og (i langt større dybde)

[http://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/ElevenLessons_Design_Council%20\(2\).pdf](http://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/ElevenLessons_Design_Council%20(2).pdf)

[8] De Bonos tænkehatte, se fx kort forklaring på dansk i https://insero.com/media/3683/de-bono-six-thinking-hats_introduktion.pdf og <http://innolab-gym.dk/de-7-taenkehatte-de-bono> eller mere omfattende på engelsk i https://en.wikipedia.org/wiki/Six_Thinking_Hats