

Modellering:

Broen mellem teori og praksis

PERSONBOKS

Anne Jensen

- Lektor biologi, bioteknologi og kemi på Københavns åbne Gymnasium.
- Master i Scienceundervisning fra Institut for Naturfagsdidaktik, KU. Anne har skrevet masterprojektet:
- Modellering som bro mellem teori og praksis i laboratoriearbejde.

Af **Anne Jensen**

Abstract

Artiklen fortæller om et studie af, hvordan elever kan øge deres forståelse for, hvordan og hvorfor praktisk forsøgsarbejde illustrerer teoretisk viden i naturvidenskabelige fag på ungdomsuddannelser ved at benytte modelleringsaktiviteter til at ændre, udvikle og afprøve en præfabrikeret øvelsesvejledning.

For at få indblik i elevernes læring benyttes værktøjet *Studie- og Forskningsforløb* (Jessen, 2014) til at analysere et undervisningsforløb i biologi med modeller, modellering og laboratoriearbejde i fokus. Eleverne udvikler og afprøver en øvelsesvejledning, så den kan benyttes til at vise funktionen af bageenzym. Undervisningen er tilrettelagt, så der i hvert modul er indtænkt forskellige modelleringsøvelser for at understøtte elevernes forståelse af undervisningsforsøg. Studiet synliggør, at når elever vælger at deltage aktivt i udvikling af, og især forbedring af, modeller, hjælper det dem med at koble observationer fra forsøgsarbejde med teoretisk viden. Studiet påpeger samtidig, at der bør fokuseres på undervisningsdifferentiering og forskellige niveauer af frihedsgrader i undervisningen for at sikre, at alle elever får udbytte af undervisningsformen.

Når elever udfører forsøg i naturvidenskabelige fag, spørger de ofte, hvad de skal gøre, og så selv om de har en trinvis beskrivelse af fremgangsmåden. De synes, det er svært at gennemskue metoden og endnu sværere at gennemskue, hvorfor de skal udføre de enkelte handlinger i øvelsen. Fagets teoretiske dimension og fagets praktiske arbejde bliver derfor for eleverne to adskilte verdener.

Elever får sjældent det tiltænkte udbytte fra praktiske arbejde, især ikke, når de arbejder med præfabrikerede øvelsesvejledninger, hvor målet er at eftervise teori. De lærer at følge en opskrift og øve elementære laboratoriefærdigheder (Krogh & Andersen, 2017), men efter praktisk arbejde husker elever ofte kun fragmenter fra en fremgangsmåde, såsom farven på en væske eller en eksplosion, uden nogen teoretisk erindring eller øget forståelse (Abrahams & Millar, 2008; Moeed, 2011). Det praktiske arbejde bidrager derfor kun lidt til reel uddannelsesmæssig værdi, det er dårligt forstået, sammenrodet og uproduktivt (Hodson, 2008; Osborne, 2015).

For at øge elevers udbyttet bør der derfor benyttes mere tid på at hjælpe de studerende med at skabe en kobling mellem det praktiske arbejde og de ideer, der knytter sig til arbejdet (Abrahams & Millar, 2008). Det kan måske gøres gennem modellering og gennem samtænkning af elevers modelleringskompetence med deres undersøgelseskompetence, da forskningen viser en sammenhæng mellem elevers evne til at arbejde med egen forståelse, deres evne til at kommunikere deres forståelse videre til andre samt deres modelleringskompetence (Schwarz, et al., 2009; Nielsen, 2020).

I studiet beskrevet i denne artikel er der netop sat fokus på ovenstående anbefalinger og observationer i et undervisningsforløb i en 3.g-klasse med biologi på B-niveau. Eleverne skal ændre og udvikle en præfabrikeret øvelsesvejledning, så den kan benyttes til at vise funktionen af bageenzym. I forløbet er der lagt fokus på at inddrage undervisningsaktiviteter, som støtter op om både elevernes arbejde med at kommunikere deres viden videre, på deres arbejde med at udarbejde og afprøve modeller samt at benytte modeller fra fagbøger. ➤

“Elever får sjældent det tiltænkte udbytte fra praktiske arbejde, især ikke, når de arbejder med præfabrikerede øvelsesvejledninger, hvor målet er at eftervise teori.”

Anne Jensen

Modeller og modellering

Når man åbner en naturvidenskabelig undervisningsbog, bliver man mødt af flotte illustrationer, tabeller, grafer og symbolmodeller. En stor del af undervisningen tager udgangspunkt i disse præfabrikerede og illustrative modeller, der benyttes som forenkledte versioner af virkeligheden. Ud over illustrationer og billeder i fagbøger dækker modelbegrebet over en bred vifte af repræsentationsformer lige fra auditive modeller, hvor elever f.eks. sammenligner forsøgsdata, til simulationsmodeller såsom rollespil eller virtuelle animationer. Modellerne benyttes oftest til at få eleverne til at zoome ind på den specifikke del af virkeligheden, som undervisningen skal handle om (Christiansen J. L., et al., 2019; Krell & Krüger, 2015). Såsom den sammenhæng, det er meningen, eleverne skal se mellem teoretisk viden og praktisk arbejde i de naturvidenskabelige fag.

Elevers evne til at arbejde med modeller betegnes modelleringskompetence og udgøres af deres evne til at modellere, deres overblik over modelleringsprocessen samt deres faglige viden. Ifølge ovenstående beskrivelse af modelbegrebet kan praktisk laboratoriearbejde også betragtes som modellering. Alt afhængigt af karakteren af det praktiske arbejde kan et forsøg simulere en simplifikation af virkeligheden, f.eks. hvordan enzymer påvirkes af temperatur. Der er ikke konsensus om klassificeringen af eksperimentelt arbejde som modellering, men inddelingen er i overensstemmelse med Auning (2020), som mener, at undersøgelses- og modelleringskompetencen er en iterativ proces, hvor de to kompetencer anvendes på samme tid, når elever bl.a. arbejder med at opstille fagligt funderede hypoteser eller forudsiger og udleder forklaringer og sammenhænge (Auning & Nielsen, 2020).

Modelleringsaktiviteter i undervisningsforløbet

I undervisningsforløbet besvarer eleverne spørgsmålet: *Hvordan kan vi afdække funktionen af bageenzym eksperimentelt og illustrere funktionen af bageenzym?*

For at guide dem i den rigtige retning arbejder de med tre underspørgsmål:

Hvordan ser enzymer ud?

Hvad består ingredienserne af?

Hvordan skal vi ændre forsøgsdesign af øvelsesvejledningen?

I undervisningsforløbet indtænkes forskellige typer modeller og modelleringsaktiviteter. I den første lektion arbejder eleverne med at genkalde sig deres eksisterende viden. Til det benyttes figurer fra fagbøger og artefakter som brød og bageenzym. Eleverne skal udarbejde en plakat med figurer, som opsummerer den viden, de mener, kobler sig til emnet bageenzym. I lektion to og tre introduceres en præfabrikeret øvelsesvejledning omhandlende gæring, som eleverne skal omskrive, så den kommer til at inkludere bageenzym og kan benyttes til at vise, hvordan bageenzym virker. Eleverne diskuterer i grupper, hvordan de vil ændre øvelsesvejledningen, og skal tegne en tegning som viser, hvordan de vil udføre deres forsøg og hvad de mener, forsøgets hypotese er. I de to efterfølgende moduler udfører eleverne egne forsøg og registrerer forsøgsresultater. I forløbets to afsluttende moduler forbedrer eleverne deres forsøgsdesign, arbejder videre med deres tegninger af forsøgets fremgangsmåde og vurderer, om deres forsøgsresultater kan benyttes til at vise funktionen af bageenzym. Afslutningsvist udarbejder og afleverer eleverne en video, hvor de præsenterer de modeller, de har arbejdet med i forløbets syv moduler.

Som hjælpemidler modtager eleverne løbende undervisning om emnet, og de har adgang til et ressourcerum med materiale, både af teoretisk karakter og i form af små videoer, som illustrerer forskellige trin i fremgangsmåden beskrevet i øvelsesvejledningen. Der er desuden indtænkt sessioner med vidensdeling grupperne imellem i hvert modul.

Elevernes arbejde med at designe, udføre, vurdere og gendesigne forsøg betragtes her som modellering i lige så høj grad, som det betragtes som undersøgelse. For at afdække elevernes udbytte er der derfor brug for et analyseværktøj, som både inddrager modellerings- og undersøgelsesaspektet på samme tid. Det finder man i værktøjet *Studie- og Forskningsforløb (SFF)*.

“I en undervisningssituation bør der altså være mere fokus på at forbedre forsøgsmodeller end på f.eks. brug af tekstbogsmodeller.”

Anne Jensen

Studie- og forskningsforløb (SFF) som analyseredskab

Når den antropologiske teori om didaktik og værktøjet SFF benyttes som analyseredskab, giver det et indblik i elevers arbejde med at koble teori med problem gennem arbejdet med spørgsmål (Q) og svar (A) (Barquero, Bosch, & Gascón, 2007). SFF tager udgangspunkt i et overordnet genererende spørgsmål Q0, som formuleres af underviseren. Elever studerer og udforsker besvarelser af spørgsmålet. I processen genererer eleverne selv spørgsmål og besvarer selv egne spørgsmål med udgangspunkt i relevant teori, f.eks. gennem diskussion i grupper (Jessen, 2014). Elevernes spørgsmål betegnes Qi og deres svar betegnes Ai, hvor i betegner hver gren af spørgsmål og underspørgsmål samt deres besvarelse. Samlet set skal besvarelserne af Qi kunne besvare Q0. Elevernes spørgsmål udgør grundlaget for SFF-analysen, som analytikeren benytter til at udarbejde enten spørgsmålstræer eller træer med elevernes besvarelser. Se et eksempel på et spørgsmålstræ i figur 1. Træerne giver et overblik over, hvilke spørgsmål elever selv har stillet for at besvare Q0, og hvilke sammenhænge de finder mellem Qi og Ai. Eftersom elever arbejder med at besvare et problem frem for at lære et koncept, er det muligt at følge hvert trin i elevernes proces og evaluere hele deres studieproces frem for kun deres endelige produkt (Barquero, Bosch, & Gascón, 2007).

Konstruktion af spørgsmålstræer og analyse af elevernes læring

Data til studiet opsamles via lydoptagelser af elevsamtaler, elevernes modeller og lærerobservationer. Lydoptagelserne giver mulighed for at studere elevernes arbejdsprocesser og afdække, hvor mange elever der deltager aktivt i gruppearbejdet.

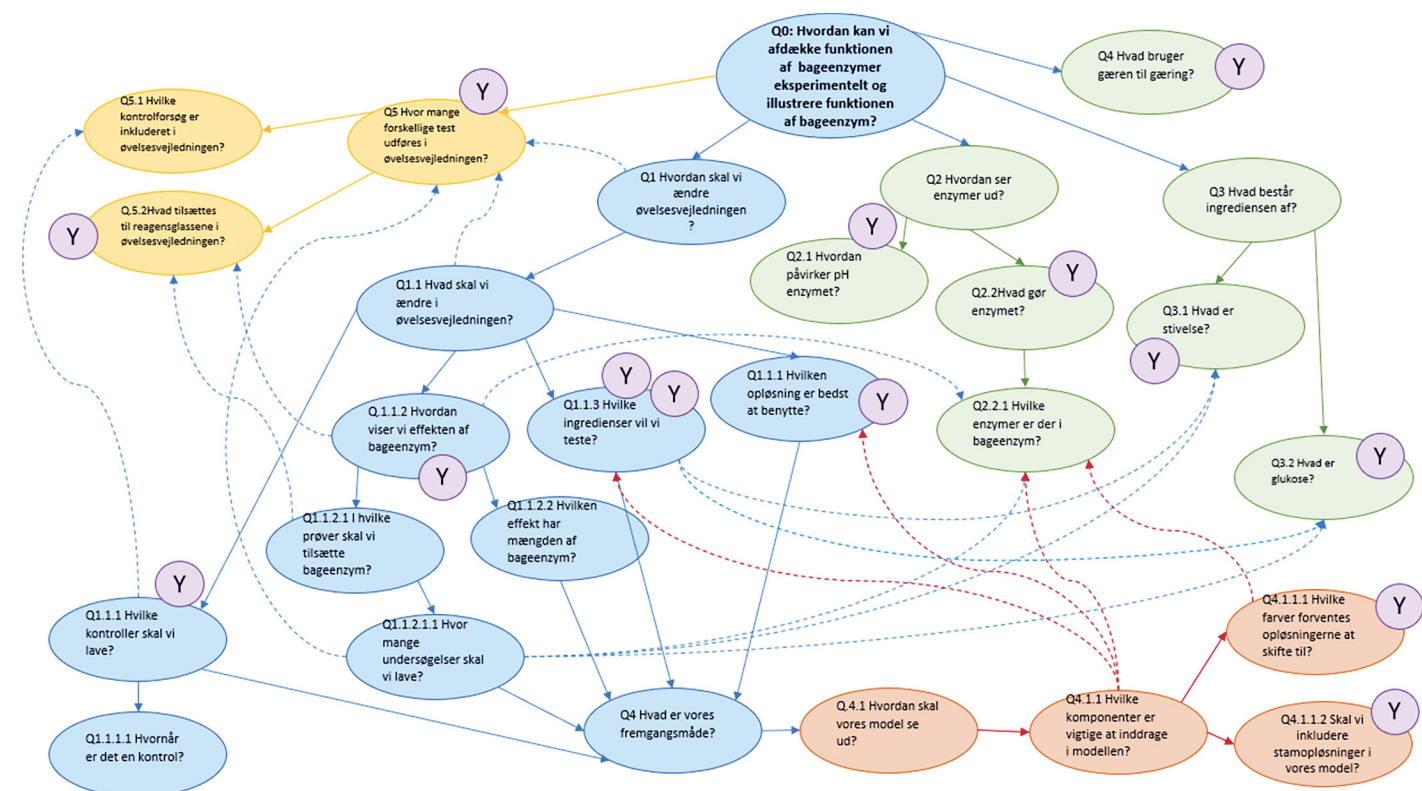
I den præliminære undersøgelse indgår alle elevgrupperne, og alle lydoptagelser aflyttes og transskriberes for at vurdere, hvilke elevgrupper der skal inddrages i analysen. Herefter udvælges to grupper til SFF-analysen. Den ene af grupperne præsterer lidt over middel, og den anden gruppe præsterer under middel.

Det er dog ikke begrundelsen for valget. En gruppe udvælges (gruppe 1), da de arbejder seriøst med opgaven og fører faglige samtaler om deres forsøg. Det gør det muligt at følge deres tankegang og tilgang til opgaven. Den anden gruppe (gruppe 2) er interessant, fordi den aldrig køber helt ind på opgaven og forsøger at løse opgaven med mindst mulig indsats.

Elevernes udbytte og fremdrift analyseres i studiet ved at konstruere spørgsmålstræer, som viser elevernes samtaler, og sammenligne spørgsmålstræerne med de modeller, som hver gruppe udarbejder. Spørgsmålstræerne udarbejdes på følgende måde: Først transskriberes lydoptagelserne, og elevernes samtaler omskrives til spørgsmål. Spørgsmål af samme karakter omskrives til et overordnet spørgsmål. Herefter deles spørgsmålene ind i tre kategorier; teori, forsøgsdesign og modellering, som benyttes til at konstruere et spørgsmålstræ, se figur 1. I spørgsmålstræet angives direkte sammenhæng, som eleverne selv tilkendegiver, at de ser, med optrukne pile. De spørgsmål, som eleverne vender tilbage til i deres proces, angives med stiplede pile. Den kronologiske rækkefølge i spørgsmålstræet er fravalgt, da eleverne genbesøger flere af de samme spørgsmål adskillige gange. F.eks. undersøger gruppe 1 Q1.1.2.1.1 (*Hvor mange undersøgelser skal vi lave?*). For at besvare det spørgsmål vender eleverne tilbage til egne besvarelser af spørgsmål Q2.2.1 (*Hvilke enzymer er der i bageenzym?*), Q3.1 (*Hvad er stivelse?*) og Q3.2 (*Hvad er glukose?*). Herefter vender eleverne tilbage til spørgsmål Q1.1.2.1.1 (*Hvor mange undersøgelser skal vi lave?*) og sammenholder deres besvarelse med Q5 (*Hvor mange forskellige tests udføres i øvelsesvejledningen?*), inden de tager en endelig beslutning om antallet af undersøgelser, som leder dem frem til Q4 (*Hvad er vores fremgangsmåde?*), se figur 1. I spørgsmålstræet angives det, hvornår gruppen indgår i en samtale med deres underviser (Y).

Elevers udbytte af praktisk forsøgsarbejde

Analysen af lydoptagelserne viser, at eleverne stiller og besvarer de samme spørgsmål adskillige gange gennem undervisningsforløbet, og først ved forløbets afslut-



Figur 1. Spørgsmålstræ fra tidligt i undervisningsforløbet. Spørgsmål omhandlende forsøgsdesign er markeret med blå, teoretisk viden er markeret med grønt, spørgsmål omhandlende øvelsesvejledning er markeret med gult og modelleringsspørgsmål er angivet med rødt. Spørgsmål som er besvaret med hjælp fra en underviser, er markeret med lilla cirkel med et Y i. Fuldt optrukne linjer viser spørgsmål, som direkte afledes af hinanden mens stiplede linjer illustrerer besvarelser på spørgsmål, som eleverne genbesøger, når de prøver at besvare nye spørgsmål.

ning stopper eleverne med at genbesvare spørgsmål fra tidligere lektioner. Det indikerer, at assimilering af eksisterende viden ikke sker fortløbende, men først ved forløbets afslutning, når samme materiale er behandlet adskillige gange. Det tyder på, at elevernes udbytte fra aktiviteten med at genkalde sig tidligere lært viden via tekstbogsmodeller er begrænset, og at de i stedet arbejder med at genlære teori.

Elevernes arbejde med selv at tegne og revidere egne modeller giver dem et større læringsudbytte end deres arbejde med modeller fra fagbøger. Gennem egne tegninger bliver eleverne opmærksomme på, hvilken viden de mangler at afdække for at besvare Q0. I spørgsmålstræet bliver det synliggjort ved, at elever med udgangspunkt i deres model (rød cirkel) benytter teori (de grønne cirkler) til at besvare spørgsmål om forsøgsdesign (blå cirkler). Et eksempel på det kan ses i figur 1, hvor eleverne arbejder med at besvare modelleringsspørgsmålet Q4.1.1 (*Hvilke komponenter er vigtige at inddrage i vores model?*). For at besvare spørgsmålet genbesøger de besvarelserne af spørgsmål, både teoretisk og praktisk karakter såsom Q2.2.1 (*Hvilke enzymer er der i bageenszym?*), Q1.1.3 (*Hvilke ingredienser vil vi teste?*) og Q1.1.4 (*Hvilken opløsning er bedst at benytte?*). Q1.1.3 får eleverne til at vende tilbage til besvarelsen af de teoretiske spørgsmål Q3.1 og Q3.2 (*Hvad er stivelse? Hvad er glukose?*). Eleverne spørger aldrig underviseren direkte om svaret på spørgsmål Q4.1.1 (*Hvilke komponenter er vigtige at inddrage i vores model?*). I stedet for fremgår det af spørgsmål-

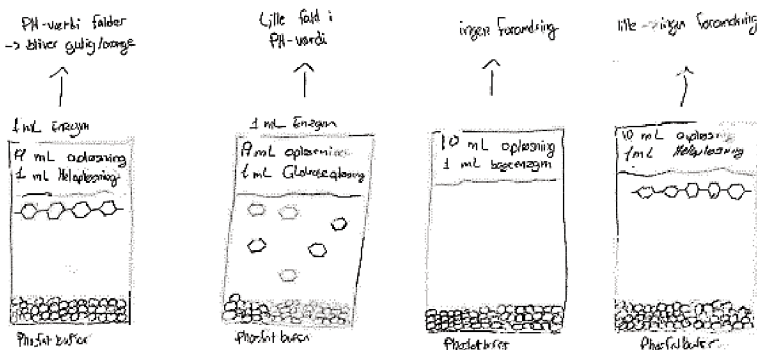
stræet, at eleverne søger hjælp hos underviseren for at få hjælp til at besvare Q1.1.3 (*Hvilke ingredienser vil vi teste?*) og Q1.1.4 (*Hvilken opløsning er bedst at benytte?*), besvarelserne benytter de til at besvare Q4.1.1 (*Hvilke komponenter er vigtige at inddrage i vores model?*). Udarbejdelsen af modellen har her den tiltænkte funktion, nemlig at få eleverne til at zoom ind på den viden, de skal benytte for at tage fagligt funderede beslutninger om deres undersøgelse.

En sammenligning af træet i figur 1 med lignende træer udviklet ud fra gruppe 1's samtale senere i undervisningsforløbet indikerer, at eleverne gennem forløbet i stigende grad arbejder med modelleringsaktiviteter, bedømt ud fra et stigende antal røde cirkler. Samme analyse viser også, at eleverne i langt mindre grad genbesøger besvarelserne af tidligere stillede spørgsmål sidst i forløbet, men stadig ønsker lærerkontakt, dog i højere grad til validering af deres besvarelser end til hjælp med spørgsmålsbesvarelser. Det tyder på, at eleverne nu har assimileret ny viden og ikke længere har behov for at genbesøge tidligere besvarede spørgsmål for at kunne besvare nye spørgsmål.

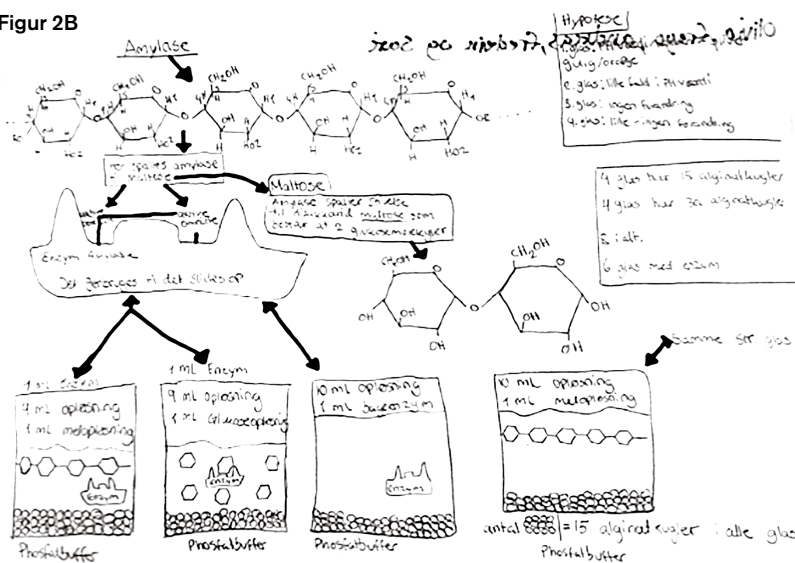
Elevernes afsluttende videoaflevering indikerer, at der er forskel på elevudbyttet ved forskellige modelleringsaktiviteter. Som allerede nævnt har elevernes arbejde med at genkalde sig tidligere lært viden via tekstbogsmodeller ikke den ønskede effekt. Videoerne, kombineret med SFF-analysen, indikerer, at elever, der arbejder med at forbedre modellen af forsøgsdesignet, opnår et bedre

	Glas 1	Glas 2	Glas 3	Glas 4
Phosfatbuffer	+	+	+	+
Stivelseopløsning	+	-	-	+
Glukoseopløsning	-	+	-	-
Bageenzym	+	+	+	-

Figur 2A



Figur 2B



Figur 2. Modul for forsøgsdesign med tilhørende hypotese udviklet af gruppe 1 enten tidligt i forløbet (A) eller sidst i forløbet (B).

overblik over koblingen af teori med praksis end elever, som kun arbejder med udarbejdelsen af modellen for forsøgsdesignet. I en undervisningssituation bør der altså være mere fokus på at forbedre forsøgsmodeller end på f.eks. brug af tekstbogsmodeller.

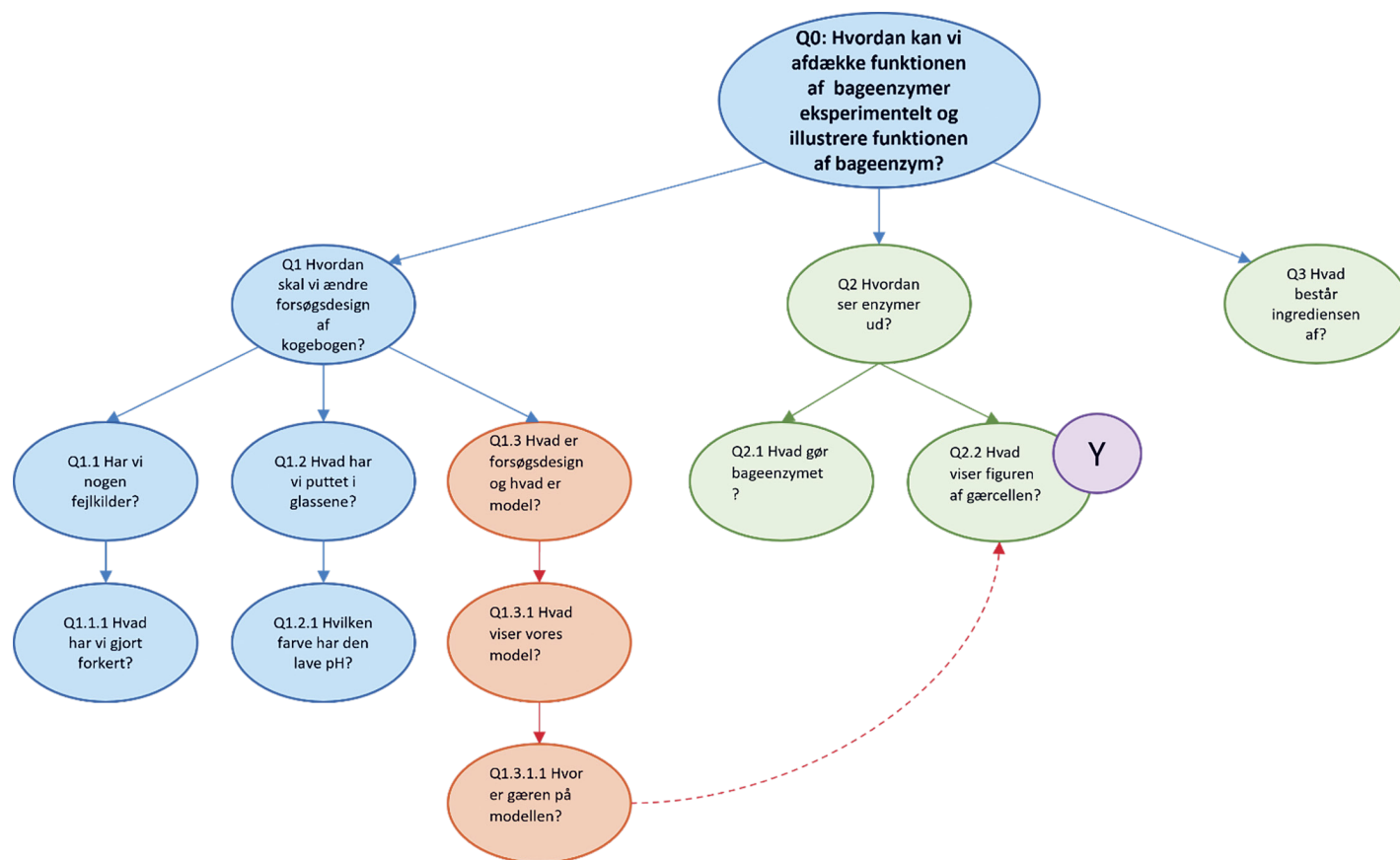
Figur 2A er et billede af den tegning, som eleverne i gruppe 1 tegner, mens de fører den samtale, som er illustreret i spørgsmålstræet i figur 1. Ved forløbets afslutning har eleverne produceret den tegning, som ses i figur 2B. I overensstemmelse med SFF-analysen bekræfter tegningerne, at eleverne får et meget større indblik i de mekanismer, der gør sig gældende i det praktiske arbejde gennem forløbet. Det ses f.eks. i figur 2A, at eleverne fokuserer på opbygningen af kulhydrater,

hvilke eventuelle farveskift de forventer at se i forsøget, samt helt lavpraktisk, hvilke volumener de vil benytte af de forskellige blandinger i forsøget. I figur 2B tilføjer eleverne yderligere opbygning og funktion af enzymer samt en mere detaljeret illustration af kulhydraters opbygning.

SFF-analysen i figur 3 af gruppe 2's samtale viser, at eleverne igennem forløbet ikke formår at benytte modellering til at koble teori med praktisk laboratoriearbejde. Ved forløbets afslutning prøver eleverne kun at koble teoretisk viden med deres tegning en enkelt gang, når de stiller spørgsmål til, hvor på deres tegning der er gærceller (Q3.1.1.1, *Hvor er gæren på modellen?*). De spørgsmål, som de stiller hinanden, ændrer ikke karakter gennem forløbet. Der er altså ikke sket nogen udvikling af elevernes forståelse af det praktiske arbejde. Det ses både kvantitativt og kvalitativt ud fra antal og det faglige niveau af Qi samt antallet af stiplede linjer på spørgsmålstræet. F.eks. har eleverne endnu ikke fået afdækket funktionen af bageenzym (Q2.2, *Hvad viser figuren af gærcellen?*). Interaktionerne med deres underviser og samtalen mellem eleverne viser, at eleverne forsøger at få deres underviser til at løse opgaven for dem. Da det ikke lykkes, giver de op og kommer ikke i mål med et brugbart forsøgsdesign med tilhørende model. I den afsluttende video, hvor eleverne fortæller om deres arbejde i forløbet, bliver det tydeligt, at eleverne har udviklet deres begrebsapparat, så der er sket læring, bare ikke i forhold til deres modellerings- eller undersøgelseskompetence.

Refleksioner over studiet

Inden studiet havde eleverne arbejdet med enzymer, kulhydrater og gæring i andre undervisningssammenhænge. Det blev derfor forventet, at de allerede havde et teoretisk grundlag til design af forsøget om bageenzym. Lydoptagelserne viste dog et andet billede; her lød det ikke til, at eleverne dekonstruerede og rekonstruerede eksisterende viden, men nærmere arbejdede med at afdække og søge ny viden. Det kan tyde på meget situeret læring i tidligere forløb, som er knyttet til de praksisfællesskaber, som læringen fandt sted i (Dolin & Kaspersen, 2017). For at tage hensyn til dette blev det oprindelige



undervisningsdesign ændret løbende for at skabe plads til gennemgang af teori. Som alternativ kunne der indtænkes flere undervisningsaktiviteter i forløbets opstart for at hjælpe eleverne med at koble viden tillært i andre situationer med besvarelsen af Q0.

En anden forhindring for elevernes succes kan være deres begrænsede erfaring med udvikling af forsøgsdesign og manglende praktiske erfaring. Eleverne blev tildelt stor autonomi både i forhold til forsøgsdesign og udførelse af det praktiske arbejde på bekostning af brugbare data til efterbehandling. En mulig løsning er at tilpasse antallet af frihedsgrader til den enkelte gruppes behov (Andersen & Krogh, 2017). Forslaget er i overensstemmelse med studiet fra Bonnet et al. (2017),

hvor der argumenteres for, at når elever arbejder med at udvikle forsøgsdesign i biologi, vil en indskrænkning af frihedsgrader hjælpe eleverne med at udvikle mere brugbare forsøgsdesign. Det kan gøres enten ved at sætte pejlemærker for forsøgsdesignet eller gennem en mere stram tidsstyring af elevaktiviteter samt en højere grad af eksplicitering og fællesgørelse evt. ved at give eleverne mulighed for i fællesskab at udarbejde ét fælles forsøgsdesign med udgangspunkt i deres egne ideer (Bonnet, Marzin, & Girault, 2017; Jessen, 2017). Det vil både sikre, at alle elever arbejder med et solidt forsøgsdesign (også elever, som ikke har lyst til at indgå i forsøgets udviklingsfase), og at eleverne efterfølgende

Figur 3.

Spørgsmålstræ for gruppe 2 udarbejdet ud fra en samtale eleverne imellem sidst i forløbet. Spørgsmål omhandlende forsøgsdesign er markeret med blå, teoretisk viden er markeret med grønt og modellerings-spørgsmål er angivet med rødt. Spørgsmål som er besvaret med hjælp fra en underviser, er markeret med Y i lilla cirkel.

“Det lykkedes eleverne at rekonstruere ny viden, f.eks. om enzymeres specificitet, og hvilke typer af enzymer der findes i gær, og afslutningsvist lykkedes det dem at koble deres teoretiske viden sammen med deres model, forsøgsdesign og forsøgsresultater.”

Anne Jensen

har mulighed for at sammenligne og dele forsøgsresultater med hinanden.

Konklusion

Til spørgsmålet om, hvorvidt modellering kan hjælpe elever med at koble teori med praktisk arbejde, når elever arbejder med at udvikle præfabrikerede øvelsesvejledninger, må svaret ifølge dette studie være: Ja, for nogle elever. Observationer fra studiet tyder på, at elever får større udbytte af selv at fremstille og forbedre modeller end af at arbejde med modeller i tekstbøger. For andre elever tyder det på, at deres evne til at indgå i det didaktiske miljø har betydning for, om de opnår den tilsigtede læring, og der bør i et SFF som dette indtænkes mere undervisningsdifferentiering og opsamling af de elever, som har sværest ved opgaven.

Det blev observeret, at elever, der deltog aktivt i undervisningen, øgede deres modelleringskompetence. SFF-analysen viste desuden, at eleverne gennem hele forløbet genbesøgte og besvarede samme spørgsmål overraskende mange gange og faktisk først ved forløbets afslutning evnede at besvare egne spørgsmål. Det lykkedes eleverne at rekonstruere ny viden, f.eks. om enzymeres specificitet, og hvilke typer af enzymer der findes i gær, og afslutningsvist lykkedes det dem at koble deres teoretiske viden sammen med deres model, forsøgsdesign og forsøgsresultater. Elever, der ikke arbejdede aktivt med at fremstille og udvikle modeller øgede deres faglige teoretiske viden, men ikke deres evne til at forklare den teoretiske baggrund for det praktiske arbejde, som de udførte. ●

Litteratur

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school. *International Journal of Science Education*.
- Andersen, H. M., & Krogh, L. B. (2017). *Fagdidaktik i Naturfag*.
- Auning, C., & Nielsen, S. S. (2020). Kan modellering adskilles fra undersøgelse i grundskolens naturfagsundervisning? *MONA*, s. 97-103.
- Barquero, B., Bosch, M., & Gascón, J. (2007). Using research and study courses for teaching mathematical modelling at university level. *CERME 5*.
- Bonnet, C., Marzin, P., & Girault, I. (2017). Structured experimental procedures in biology with a web environment. *ESERA17*.
- Bosch, M., Chevallard, Y., & Gascón, J. (2006). Science or magic? The use of models and theories in didactics of mathematics. *Fourth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*.
- Chevallard, Y. (1985). La Transposition Didactique. Du savoir savant au savoir enseigné. *La Pensée Sauvage*.
- Christiansen, J. L., Andersson, J., Hansen, D., Jensen, M.-A. S., Kinnerup, L. B., & Lilius, K. M. (2019). Brug af modeller og modellering i udskolingens naturfagsundervisning. *MONA*.
- Dolin, J., & Kaspersen, P. (2017). 3.2 Læringsteorier. I J. Dolin, G. H. Ingerslev, & H. S. Jørgensen, *Gymnasiepædagogik – En grundbog*. Hans Reitzels Forlag.
- Hodson, D. (2008). Et kritisk blik på praktisk arbejde i naturfagene. *MONA*.
- Jessen, B. E. (2014). How can study and research paths contribute to the teaching of mathematics in an interdisciplinary setting? *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*.
- Jessen, B. E. (2017). How to generate autonomous questioning in secondary mathematics teaching? *Recherches en Didactique des Mathématiques*.
- Krell, M., & Krüger, D. (2015). Testing models: "A key Aspect to promote Teaching activities related to models and modelling in Biology Lessons?". *Journal of Biological Education*.
- Krogh, L. B., & Andersen, H. M. (2017). 4.2 Motivation. I J. Dolin, G. H. Ingerslev, & H. S. Jørgensen, *Gymnasiepædagogik – En grundbog*. Hans Reitzels Forlag.
- Moeed, A. (2011). Successful Science Learning from Practical Work. *School Science Review* 93 (343), s. 121-126.
- Nielsen, S. S. (2020). Et bud på en mere procesorienteret tilgang til modeller og modellering i skolens naturfagsundervisning. *MONA*, s. 91-96.
- Osborne, J. (2015). Practical work in science: misunderstood and badly used? *SSR*.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Ache'ri, A., Fortus, D., . . . Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of research in Science teaching*.