

# Computational thinking i matematik, naturfag og samfundsfag

– hvorfor, hvad og hvordan?



Line Have Musaeus, Aarhus Universitet



Jonas Ørbæk Hansen, Silkeborg Gymnasium



Keld Nielsen, Aarhus Universitet

**Abstract:** I et projekt der strakte sig over fire år, udviklede og afprøvede vi sammen med lærere fra gymnasiet undervisningsforløb der integrerer modelbaserede computationelle metoder i undervisningen i STEM-fagene. Der er publiceret og udviklet en didaktik for den integrerede undervisning, skrevet forskningsartikler herom samt udviklet ca. 100 nye undervisningsforløb der udnytter didaktikken. Samtidig er der udviklet et efteruddannelseskoncept som sætter lærerne i stand til selv at fortsætte arbejdet på egen skole. Projektet har vist at det er muligt at forny fagenes metoder og samtidig udvikle elevernes computationelle modelleringskompetencer ved at inddrage computationel tænkning og kodning i den faglige undervisning.

## Introduktion

“[...] Computermodellering og simulering har væsentligt ændret videnskabelige og kulturelle praksisser og formet udviklingen af nye “kulturer for forudsigelser”. (Oversat fra Heymann et al., 2017, s. ix)

## *Radikalt nye metoder i mange fag*

Metoderne i de fleste af de fag der indgår i gymnasiets fagrække, har ændret sig voldsomt i de sidste årtier. Ændringerne skyldes især omfattende og innovativ brug af computere, computermodeller, data og algoritmer (Duschl & Grandy, 2013; Winsberg, 2010; Johnson & Lenhard, 2011).

Især brugen af computermodeller til at analysere og lave prognoser har ændret mulighederne i mange professioner. Et iøjnefaldende eksempel er epidemiologers brug af modelbaserede smittescenarier under coronaepidemien. Det var viden produceret ved modelbaserede fremskrivninger der lå bag størstedelen af de politisk besluttede nedlukninger, teststrategier og udrulninger af vaccinationer. Sådan vil det også være i fremtiden.

Men smitteforskning og folkesundhed er langt fra enestående i denne omfattende brug af computerbaserede modeller. Områder som klimaforskning, meteorologi, oceanografi, kosmologi, strukturkemi, demografi, energiforsyning, samfundsøkonomi, markedsanalyse, medicinudvikling – fortsæt selv rækken – har i årevis udviklet nye metoder og ny erkendelse under intensiv brug af computermodeller. Nye forskningsområder som fx computational physics eller computational chemistry er opstået som en del af denne udvikling.

“Fra vores (og ikke kun vores) synspunkt, har computer simuleringer radikalt ændret videnskab. Transformationen har ikke kun påvirket naturvidenskaber som fysik, kemi og ingeniørvidenskab, men også sociologi, psykologi, samfundsvidenskab og endda matematik. Computersimuleringer ændrer (og vil fortsætte med at ændre) måden politiske beslutninger tages på, hvordan usikkerhed bliver håndteret og fremtiden bliver forstået” (Oversat fra Resch et al., 2017, s. 2)

## *Behov for fokus på computationelle metoder i gymnasiets fag*

De metodemæssige ændringer sker i forskningsmiljøer og andre professionelle sammenhænge uden for gymnasiet. Udfordringen for gymnasiet er at vigtige dele af disse ændringer har svært ved at trænge igennem i læreplanerne – og dermed i praksis i undervisningen.

Læreplaner og andre fagdefinerende dokumenter udtrykker klart at skolefagene skal hente inspiration i og afspejle den udvikling der foregår uden for skolen.

“Undervisningsfaget fysik er nært forbundet med videnskabsfaget fysik”, står der i *Vejledning til Fysik A, stx*. Faget skal give eleverne “fortrolighed med væsentlige naturvidenskabelige metoder” (UVM, 2022b, s. 6-7). Derfor finder vi det indlysende at arbejdet med computationelle modeller bør være en del af fysikfagets metoder og dermed også fagets indhold.

Noget tilsvarende gælder for gymnasiets øvrige naturvidenskabelige fag. I kemi skal

eleverne bibringes “generel forståelse for naturvidenskabernes genstandsområde og arbejdsmetoder til opnåelse af viden” (UVM, 2021a, s. 6). Biologi “tager udgangspunkt i videnskabsfaget”, og på B- og A-niveauet skal “videnskabsfagets metoder” være tydelige (UVM, 2022a, s. 6). Tilsvarende forhold mellem videnskabsfaget og skolefaget gør sig gældende for matematik og samfundsfag, omend denne sammenhæng ikke udtrykkes så direkte i vejledningerne.

I nogle fagbeskrivelser lægges der allerede stor vægt på modellering og arbejde med modeller. Men det er som om anvendelsen af modeller og hele opfattelsen af modeller er skrevet før computeren – og dermed programmering – blev opfundet.

I fysik A på stx lægges der i vejledningen vægt på at eleverne skal arbejde med *simuleringer* og *simuleringsprogrammer*. Men undervisning i computationel tænkning kræver at man skelner mellem simulering og model. Bag simuleringer, som fx dem man kan hente på nettet, ligger altid en computermodel der er skrevet i computerkode. Simuleringen er så at sige modellens fremtrædelsesform. Når eleverne arbejder med en simulering af fx solsystemet, arbejder de med en dynamisk model af systemet. Men de arbejder ikke med computermodellen, som er den faglige forståelse af solsystemets opførsel udtrykt i computerkode. Hensigten med at lade eleverne arbejde med modellens kode er ikke at eleverne skal lære at programmere. Hensigten er at de skal forstå kodens rolle i modellens/simuleringens opførsel, især hvordan kodens opbygning udtrykker den faglige forståelse af fænomenet. Det er først i arbejdet med modellens kode eleverne får mulighed for at tænke “computationelt”.

Behovet for fornyelse af indhold og metoder i fagene opfyldes ikke i tilstrækkelig grad af den udbredte brug i gymnasiets undervisning af computere og anden IT-teknologi som pædagogiske hjælpemidler. Brug af IT-udstyr som fx projektorer og avanceret software er vigtig for fornyelsen af undervisningens metoder. Det samme gælder brugen af computere til dataopsamling og databehandling i regneark eller matematikprogrammer. Også her er der tale om vigtige fornyelser. Men der mangler indholdsmæssigt og didaktisk fokus på modellernes rolle i arbejdsmetoder og erkendelse.

For at blive tidssvarende må kernen i fagene – deres metoder og til dels deres indhold – indarbejde de nye computationelle redskaber på måder der afspejler den virkelighed eleverne vil møde i fremtidige jobs.

### *Digital dannelse kræver computationel faglighed*

Oven i dette krav om metodemæssig opdatering af fagene kommer et overfagligt behov, der skyldes at den generelle digitale udvikling i samfundet har gjort det nødvendigt at alle elever i fremtiden får en dybere forståelse for hvad den digitale udvikling betyder for deres livsvilkår og for samfundets udvikling. Eleverne har med andre ord behov for digital dannelse der gør dem myndige ved at give dem reflektive

redskaber til at forholde sig kritisk, politisk og skabende/indgribende i forhold til teknologiudviklingen.

Dette generelle behov er identificeret i flere lande, og i Europa blev Informatics for All- koalitionens skabt for netop at advokere for inklusion af informatik og computationel tænkning (CT) som en fundamental disciplin i uddannelser på grundskole- og gymnasieniveau (Caspersen & Skov, 2022). I Danmark førte dette behov, i forbindelse med gymnasireformen i 2017, til et bredt krav om at eleverne skulle have digitale kompetencer. Digital dannelse og digitale kompetencer blev et fokusområde på tværs af alle fag. I bekendtgørelsen om lov om gymnasiale uddannelser står der nu:

“I fagene skal eleverne lære at søge information og forholde sig kildekritisk, når de søger viden gennem digitale medier, og gennem undervisningen skal eleverne opnå erfaring med digitale fællesskaber og arbejde med skabelsen af digitale produkter”. (Folketinget, 2022, § 29, stk. 6, s. 1)

Men der blev ikke i 2017, og heller ikke senere, angivet rammer for hvorledes udviklingen af elevernes digitale kompetencer kan indarbejdes i fagene, og hvad der skal lægges vægt på. Allerede da den nye gymnasielov var i høring i 2016, gjorde Gymnasieskolernes Lærerforening (GL) opmærksom på at det ikke er tilstrækkelig “mekanisk at indarbejde bestemmelser herom [om fx digitale kompetencer] i alle fag”. Kravene skal indarbejdes i nye lærerplaner, og det skal være i læreplaner “hvor det giver faglig mening”. (GL, 2016, s. 1).

Undersøgelser har afdækket at implementeringen og opdateringen af CT og informatik på uddannelserne på gymnasieniveau kun delvist er sket (Caspersen & Skov, 2022). På grund af de hastige ændringer i fagene uden for gymnasiet eksisterer der desuden et løbende behov for opdateringer af læreplaner og fagbeskrivelser (Caeli & Bundsgaard, 2019). Dette behov gør sig også gældende i forbindelse med elevernes almendannelse.

Haue (2003) har analyseret og beskrevet hvordan almendannelse i det danske gymnasium er tæt sammenvævet med gymnasiets fag og faglighed. Ifølge Haue udvikler eleverne almendannelse når undervisningen omfatter de almene dele af de videnskaber og fag der er relevante i samfundet. Uden faglighed er der ikke mulighed for at opnå almendannelse.

Kravet om et fagligt grundlag for dannelse gælder også digital dannelse og digital myndiggørelse. Meningsfuld italesættelse af digital dannelse i gymnasiets undervisning forudsætter at eleverne har computationelle kompetencer, herunder faglig indsigt i hvordan computere fungerer, og hvad de fagligt og erkendelsesmæssigt kan bruges til – altså computationelle metoder i fagene.

Derfor er der behov for faglig og metodisk nytænkning. Gymnasiet må udvikle en

konstruktiv respons på denne dobbelte udfordring. Det langsigtede mål med det projekt der præsenteres her, har været at bidrage til denne nytænkning gennem udvikling og afprøvning af undervisningsforløb som er rettet mod konkrete computationelle færdigheder og baseret på innovative didaktiske idéer.

## *Projektet Computational Thinking i Matematik og Naturvidenskab (CTiMNAT)*

Projektet var et landsdækkende udviklings-, forsknings- og efteruddannelsesprojekt rettet mod lærere fra stx og htx med naturvidenskabelige fag (fysik, kemi, geografi, biologi og bioteknologi) samt matematik og samfundsfag. Der var en overvægt af lærere som arbejdede med fysik (ca. 35 % af kursisterne) eller matematik (ca. 30 %). Projektet strakte sig over fire år – fra august 2018 til juni 2022.

Bag projektet har hele vejen ligget en intention om at udvikle nye metoder til undervisning i computationelle kompetencer i gymnasiet – primært i STEM-fagene. Intentionen har været at integrere centrale computationelle metoder i de eksisterende fag ved at lade eleverne arbejde med computerbaseret modellering af faglige emner. Eleverne lærer computationel tænkning mens de arbejder med faget, og de lærer faget gennem arbejdet med computationelle modeller.<sup>1</sup>

Den idémæssige baggrund for projektet blev beskrevet i 2014 af to informatik-didaktikere fra Aarhus Universitet. Overskriften var “Model-Based Thinking and Practice” (Nowack & Caspersen, 2014). Et centralt citat er:

“Vi foreslår at et stærkt fokus på sammenhængen mellem mentale modeller (af virkelige eller imaginære systemer) og computermodeller (i computer-baserede systemer) kan give en ny tilgang til at undervise i ‘computing’. Denne tilgang bør klarlægge modellens rolle i ‘computing’ i forbindelse med andre fag. Vi tror at en sådan tilgang vil udvide deltagelsen i ‘computing’[-uddannelse] da den vil lade flere elever blive aktive skabere med ‘computing’” (Oversat fra Nowack & Caspersen, 2014, s. 149)

Artiklernes udgangspunkt er at datascience har gjort det tydeligt hvordan modeller og modellering er centrale for vores tolkning af den verden der omgiver os. Det skyldes bl.a. at arbejdsmetoderne i mange fag og discipliner har ændret sig drastisk gennem brug af computere i forbindelse med modellering og databehandling. Læringsmæssigt fremhæves den vigtige rolle som mentale modeller spiller for vores tænkning om, og forståelse af, vores omverden. Der er altså en mulighed for at udvikle elevers mentale modeller af faglige fænomener gennem arbejde med computermodellering. En sådan

1. Projektet blev gennemført af Danske Science Gymnasier (DASG) i samarbejde med Center for Computational Thinking & Design (CCTD) ved Aarhus Universitet. Projektet blev støttet af Villum Fonden. Undervejs blev kurset udvidet til ikke kun at omfatte lærere fra STEM-fag, men også fra samfundsfag.

eksplicit brug af computermodeller i undervisningen var i 2014 en ny idé og ledte til nedenstående forskningsspørgsmål, der undersøges ved hjælp af både *computing education*-forskning og evaluering af kursusforløbene.

### *Forskningsspørgsmål i projektet*

Den nyudviklede didaktiske kerne i projektet var CMC-tilgangen, der gør det muligt at kombinere fagligt indhold (Content) med computermodellering (Modeling) og computerkode (Code). CMC-tilgangen omtales nærmere på s. 8. Forskningsspørgsmålene for projektet har fokus på tre områder: idéen bag CMC-tilgangen på baggrund af en teoretisk taksonomi for CT samt anvendeligheden af CMC-tilgangen for kursisterne og hvordan kursisterne støttes til at opnå kompetencer i design og konstruktion af egne læringsaktiviteter og computermodeller, og endelig hvilket læringsudbytte eleverne eventuelt opnår ved deltagelse i denne tilgang, specielt i relation til Nowack & Caspersens (2014) betragtninger om at undervise i CT og udvide antallet af elever der kan opnå erfaringer med computationel modellering og tænkning.

Følgende forskningsspørgsmål var drivende for forskningen i projektet:

1. Er den generelle idé om at integrere computermodeller og modellering i eksisterende fag holdbar, og kan lærere og elever arbejde med aktiviteter designet efter CMC-tilgangen?
2. Kan kursusforløbene give kursisterne kompetencer til selv at designe computermodeller og læringsaktiviteter der er brugbare i deres egen undervisning?
3. Kan der designes og udvikles et værktøj i form af en skabelon som kursisterne kan anvende ved konstruktion af nye læringsaktiviteter og computermodeller?
4. Hvad er elevernes læringsudbytte ved deltagelse i disse nye læringsaktiviteter designet efter CMC-tilgangen?

### *Intentioner med projektet*

I forbindelse med planlægningen af CTiMNAT blev der formuleret en række intentioner med projektet. Disse intentioners indfrielse blev forsøgt belyst ved hjælp af evalueringer efter hvert kursusforløb. Evalueringerne er beskrevet i detaljer i tre evalueringsrapporter (Buch et al., 2019; Hansen et al., 2021; Hansen et al., 2022).

Det var vores håb at der kunne svares positivt på de første tre forskningsspørgsmål beskrevet ovenfor, og at vi derved kunne undersøge yderligere om det ville være muligt at udvikle og implementere undervisning der opfyldte nogle eller alle af følgende intentioner:

- Kernen i den nye undervisning skulle være elevernes arbejde med computermødelles. Herunder at eleverne skulle kunne træne en række computationelle kompetencer, herunder læse og ændre eksisterende computerkode.
- Eleverne skulle blive mere bevidste om hvad en model er, hvad en model kan, og hvad det vil sige at modellere et fænomen.
- Undervisningen skulle kunne integreres i faget så den ikke blev til (endnu) et didaktisk og fagligt "add-on" der ville presse læreren med hensyn til at nå stoffet.
- Undervisningen skulle styrke den eksisterende faglighed og medvirke til at gøre fagets metoder mere tidssvarende.

Desuden var intentionen at alle undervisningsforløb der blev udviklet i projektet, skulle beskrives, testes og tilrettes og derefter deles offentligt, og at der skulle foreligge en didaktik for den nye undervisningstilgang og et koncept for efteruddannelse af lærere i computationel tænkning og modellering.

I det følgende beskriver vi projektets opbygning, indhold og resultater og konkluderer på baggrund af de gennemførte evalueringer og den forskning der blev udført i forbindelse med projektet, at de intentioner vi på forhånd havde med projektet, er indfriet.

## Teoretisk baggrund

### *Hvad forstår vi ved computationel tænkning?*

Både nationalt og internationalt er der en løbende debat om hvad man kan lægge i begrebet computational thinking/computationel tænkning (CT).

Der er enighed om en række overordnede beskrivelser, men for at arbejde konkret med efteruddannelse og udvikling af en didaktik, som det skete i projekt CTiMNAT, var det nødvendigt at præcisere hvad det var for en forståelse af CT vi ville arbejde med.

CT er baseret på et nyt videnskabeligt genstandsområde – datalogi – der har udviklet sig hastigt siden 1950'erne.

Begrebet CT blev lanceret i 1980 af den amerikanske datalog og didaktiker Seymour Papert, der ønskede at sætte fingeren på de revolutionerende nye muligheder for at tænke, lære og skabe som mennesket har fået gennem brug af computere (Papert, 1980, s. 189).

Men Paperts visionære tanker førte ikke til større faglige ændringer i skolefag og fagbeskrivelser, hverken i USA eller andre steder.

En anden datalog, Jeannette M. Wing, relancerede 25 år senere udtrykket i et forsøg på at komme tættere på kernen af hvad det er der er særligt for erkendelse og problemløsning gennem brug af computere (Wing, 2006). Nu var timingen bedre, og udtrykket computational thinking blev et internationalt feltråb for forsøg på at forny undervisning knyttet til computere og digitalisering.

Wings fokus var på at der er tale om en ny og særlig måde at tænke og løse problemer på:

“Computational tænkning er de tankeprocesser der er involveret i at formulere problemer og deres løsninger, så løsningerne kan repræsenteres i en form som kan udføres af en informations-processerende agent.” (Oversat fra Wing, 2011, s. 20)

Det lykkedes for Wing at sætte fornyet fokus på behovet for en tidssvarende og fornyende undervisning i computationelle kompetencer, men heller ikke hendes definition leder entydigt til hvad det er for begreber og fagligheder der kan/skal arbejdes med når man vil undervise i CT. Fx konstaterer Caspersen et al. (2018, s. 11) at Wings definition er væsentlig og relevant, men at den er udtrykt i meget generelle termer og derfor mere har karakter af en vision end af et didaktisk arbejdsgrundlag.

Sentance et al. (2018) giver et overblik over centrale aspekter af undervisning i en række lande relateret til informatik og CT og forsøger derved at komme til en mere klar formulering af hvad det er for idéer, begreber og traditioner som karakteriserer området. Men meget karakteristisk slår opsummeringen fast at der stadig er mange udfordringer for didaktikere og undervisere der vil arbejde med det nye område:

“Vi må konfrontere de dybe spørgsmål: Hvad bør vi undervise i og hvordan bør vi undervise i det? Andre fag har haft århundreder til at udvikle svar på disse spørgsmål (og diskuterer dem stadig) men ‘computing’ har ikke. Alligevel er behovet for svar presserende fordi undervisere [i computing] over hele verden hungre efter en inspirerende vision for deres undervisning og pædagogikker som beviseligt virker samt evalueringer der måler læring og fremskridt.” (Oversat fra Sentance et al., 2018, citeret fra Caspersen et al., 2018, s. 25)

Med henblik på den nationale situation giver Caspersen et al. (2018) også et overblik. Rapporten omtaler CT som “et vidt begreb” og giver et ekko af opsummeringen fra Sentance. Der er tale om et nyt skolefag, og det tager tid at få et sådant fag på plads.

“For et nyt skolefag kan det være en styrke, at der i karakteristikken af faget er rummelighed til at afprøve forskellige fortolkninger og konkretiseringer af fagets overordnede begreber. Men når lærere, der skal undervise i faget, ikke har et fagligt overskud, bliver der et endnu stærkere behov end normalt for at præcisere, hvad der skal undervises i og hvordan. Og hvis de, der skal bidrage med denne præcisering, de, der skal udvikle undervisningsmaterialer til eleverne, de, der skal vejlede og (efter-)uddanne lærerne, og de, der skal udvikle undervisningsmaterialer til lærernes (efter-)uddannelse, ikke har et fagligt overskud og evner at genfortolke fagligheden ift. almen uddannelse, risikerer vi at ramme langt forbi målet. Selv med højt kvalificerede curriculumdesignere, lærer-lærere og lærere



er det usandsynligt, at vi vil ramme bare tilnærmelsesvis tæt på skivens centrum i første forsøg.” (Caspersen et al., 2018, s. 49)

Den begrebsmæssigt usikre situation betød at vi i CTiMNAT var nødt til at præcisere det faglige grundlag – hvad det var for en opfattelse af CT vi ville arbejde med. En litteratursurvey kunne have været en del af svaret, men der var ikke tid og ressourcer til at lave en systematisk survey. Da fokus i projektet var på praktisk og konkret udvikling – herunder en afprøvning af idéerne i Nowack & Caspersen (2014) – blev løsningen en litteraturgennemgang med direkte henblik på at finde en beskrivelse af CT der kunne fungere som grundlag for projektet.

Vi valgte at tage udgangspunkt i en undersøgelse af hvad det rent faktisk er forskere og dataloger gør når de bruger computere i den Papert-Wingske betydning, som er udført og beskrevet af Weintrop et al. (2016).

Deres CT-beskrivelse passer godt til projektets intentioner, primært af to årsager. For det første ønskede Weintrop et al. (2016) at beskrive CT i situationer hvor CT indgår i andre fag, primært sciencefagene og matematik. For det andet ønskede de en beskrivelse som ikke var udledt af overordnede datalogiske principper – “abstraction and algorithms” (s. 128) – men baseret på en undersøgelse af hvad videnskabsfolk faktisk bruger computere til, og hvad lærere underviser i. Et indledende litteraturstudie blev efterfulgt af klasserumsobservationer, kodning og til sidst dybtgående interviews med 22 praktikere.

Denne undersøgelse lokaliserede en række CT-praksisser, grupperet i fire områder:

- Arbejde med data (indsamling, produktion, analyse, visualisering)
- Brug af modellering og simulering (beskrivelse af fænomener og problemer, finde og teste løsninger til problemerne, vurdering af modellers rækkevidde, design af modeller)
- Problemløsning (programmering, valg af computationelle redskaber, udvikling af computationelle løsninger, udvikling af abstraktioner, fejlfinding)
- Systemtænkning (beskrivelse af komplekse systemer, relationer inden for systemer, adskillelse af systemniveauer, kommunikation, håndtering af kompleksitet, mikro- og makroniveau).

Disse områder stemmer overens med tænkningen i CTiMNAT og er baggrunden for beskrivelsen af CT og positioneringen af computationel modellering i forhold til CT i projektet. Vi fandt desuden at når vægten er på praksisser i stedet for abstrakte begreber, er beskrivelsen mere konkret og operationaliserbar i undervisningssammenhænge og dermed nemmere at arbejde med i didaktiske sammenhænge.

Bemærk at der i denne forståelse af CT ikke er fokus på instruktion i praktisk brug

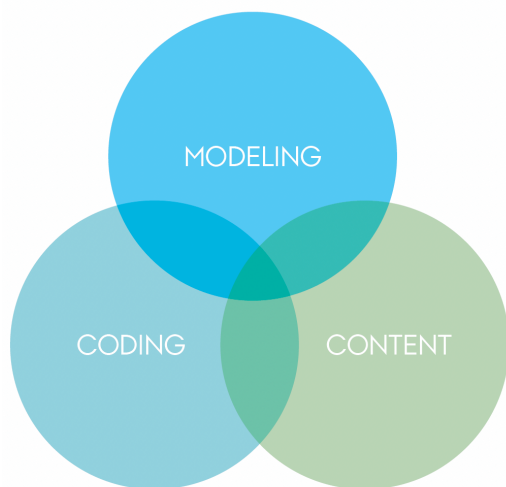
af computere (digital literacy) eller brug af IT-teknologi som et pædagogisk redskab i undervisningen. En lærer og en klasse kan godt bruge computere som redskaber uden at der er tale om undervisning i CT.

## Udvikling

### *En modelbaseret CT-didaktik*

Den CT-didaktik der blev udviklet i forbindelse med projektet, dækker alle fire praksisser, men tager udgangspunkt i modellering og arbejdet med en computermodel. Didaktikken omtales her som CMC-tilgangen (Musaeus & Musaeus, 2019; Musaeus et al., 2020).

I CMC-tilgangen kombineres fagligt indhold (content) med modellering (modeling) og kodearbejde (coding). Se figur 1.



**Figur 1.** I CMC-tilgangen integreres fagligt indhold (content) med en computermodel (modeling) og arbejde med computerkoden (coding).

Et undervisningsforløb kan typisk se ud som følger: Læreren vælger et centralt fagligt fænomen og finder eller udvikler en simpel computermodel over fænomenet. Modellen udleveres til eleverne. Læreren hjælper modelleringsprocessen hos eleverne ved at guide dem med didaktiske spørgsmål som en del af læringsaktiviteterne. Det forudsættes ikke at eleverne på forhånd kender til computerkode. Eleverne starter "forudsætningsløst" ved at undersøge og lære at bruge computermodellen gennem dens interface. Derefter får de adgang til den bagvedliggende kode.

Som der er gjort rede for i beskrivelsen af projektet (s. 5-7), er der tale om en ny idé

om undervisning, der involverer fag, modeller og kodning. Der er altså ikke tale om at didaktikken er inspireret af – eller forholder sig til – andre nyere didaktiske idéer som IBSE eller innovation.<sup>2</sup>

I projektet er anvendt programmeringsmiljøet NetLogo, der er udviklet til undervisningsbrug med henblik på at være intuitivt let at læse og forstå (Wilensky, 1999). NetLogo er baseret på Logosproget, som Seymour Papert udviklede. Det har igen og igen vist sig at det er overraskende let for eleverne at lære at læse koden og trække mening ud af den, hvorefter de kan gå i gang med selv at ændre, tilrette eller forbedre modellen ved at ændre i koden ud fra egne faglige overvejelser. Dette underbygges af opnåede resultater fra elevevalueringer beskrevet under afsnittet “Resultater”.

Et andet vigtigt didaktisk princip i projektet bestod i at læreren skelnede mellem tre niveauer i elevernes arbejde. 1. Elevernes brug af en model, hvor modellen simulerer det faglige fænomen. 2. Elevernes modifikation af modellen ved at lave mindre ændringer i modelkoden. 3. Skabelse af ny modelkode. Princippet omtales som use-modify-create (Lee et al., 2011). Rigtigt anvendt førte princippet bl.a. til at eleverne udviklede en følelse af ejerskab over for den model de selv havde lavet ændringer i.

### *Eksempel på et CT-undervisningsforløb fra kemi*

For at illustrere hvordan arbejdet med NetLogo og CMC-tilgangen kan tage sig ud i en klasse, gennemgås her et konkret undervisningsforløb udviklet af en kemilærer i forbindelse med deltagelse i et CTiMNAT-kursus.<sup>3</sup>

I forløbet arbejdes med en NetLogo-model af den kemiske analysemetode *fældningstitrering*. Forløbet bygger på CMC-tilgangen. Der er faglig og CT-mæssig progression gennem brug af use-modify-create. Forløbet kræver ikke forudgående kendskab til NetLogo.

Forud for CT-aktiviteterne har eleverne lavet et forsøg i laboratoriet hvor de har bestemt saltindholdet i en saltvandsprøve.

Eleverne får udleveret en NetLogo-model af deres lærer, som de nu tager udgangspunkt i. Målet med arbejdet med modellen er at koble de makroskopiske observationer fra forsøget til hvad der sker på mikroniveau med de forskellige ioner og ionforbindelser i opløsningen. Programmeringen i NetLogo er baseret på såkaldte *agenter*, som i denne model er forskellige typer af ioner. I modellen er agenterne programmeret til at danne bundfald hvis to agenter af den rette type kommer tæt på hinanden.

2. I foråret 2022 blev en kombination af CMC-tilgangen og engineering-didaktik med held afprøvet i grundskolen. Projektet hed “Engineering, computermodeller og teknologiforståelse”. Grundskoleprojektet har ikke haft indflydelse på CTiMNAT. Det er omtalt her:

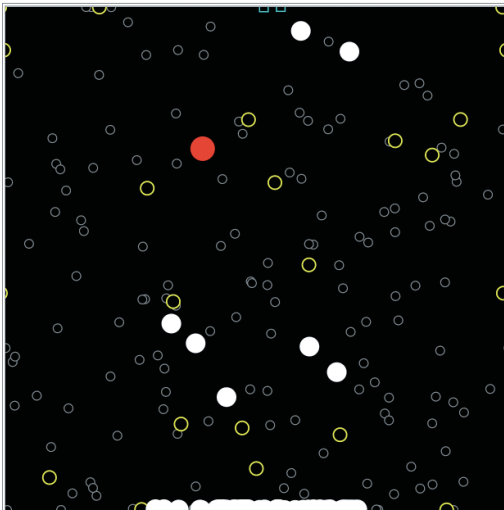
<https://engineerthefuture.dk/om-os/indsatser/projektbeskrivelse-engineering-computermodeller-og-teknologiforstaaelse/>.

3. Forløbet er udviklet af Gitte Alstrup Jensen fra Holstebro Gymnasium og HF i forbindelse med tredje kursusforløb og er beskrevet i større detalje på <https://library.ct-denmark.org/faeldningstitrering/>.

Undervejs bliver eleverne bedt om at forholde sig til modellens opførsel, muligheder og begrænsninger. Gennem en række opgaver hvor de arbejder med NetLogo-koden, får de trinvist skabt en model der er mere virkelighedsnær end den de fik udleveret. Der arbejdes på én og samme tid med det faglige indhold, koden og modelleringen.

Figur 2 viser et billede af NetLogo-simuleringen som den kan se ud efter eleverne har arbejdet med den. Inden da har eleverne i grupper:

- startet simuleringen, undersøgt knappernes betydning og fundet ud af hvilke ioner (agenter) der skal mødes for at danne henholdsvis hvidt og rødt bundfald
- undersøgt hvor mange sølv(I)ioner der skal tilsættes for at alle kloridioner er om-dannet til hvidt bundfald, og hvilken betydning det har at ændre startantallet af henholdsvis klorid- og kromationer
- ændret størrelse, udseende og fart af ioner og bundfald ved at ændre i modelkoden
- ændret i modelkoden så der tilsættes flere sølv(I)ioner ad gangen, og de tilsættes i toppen af beholderen
- afstemt reaktionsskemaet for fældningsreaktionen og ændret i koden så modellen er i overensstemmelse med det afstemte reaktionsskema
- ændret i modelkoden så modellen illustrerer opløsningens farve på makroniveau, mens de opløste ioner skjules på mikroniveau.



```
to lav-sølvchlorid?
  ask chlorider [
    if count sølvioner in-radius 1.5 > 0 [
      ask n-of 1 sølvioner in-radius 1.5 [die]
      set breed sølvchlorider
      set heading 180
      set shape "circle"
      set color white
      set size 1.5
    ]
  ]
end
```

**Figur 2.** Til venstre: en NetLogo-model over fældningstitrering. Billedet viser simuleringen som den ser ud efter eleverne har arbejdet med den. Til højre: udsnit af den kode i NetLogo-modellen som eleverne arbejder med. For at få modellen til at passe med reaktionsskemaet skal tallene i de to røde cirkler ændres.

## Oversigt over CTiMNAT-projektet

I projektet blev et timåneders efteruddannelseskursus i computationel tænkning (CT) gennemført tre gange med tre forskellige hold kursister. Andet og tredje kursusforløb blev justeret og forbedret på grundlag af en løbende opsamling af resultater og erfaringer fra de(t) foregående forløb.

I projektet blev der udviklet konkret indhold til fagintegreret CT-undervisning samt en didaktik hvor udgangspunktet er at eleverne arbejder med fagligt relevante computermodeller der i udgangspunktet er meget simple og skrevet til et specifikt fagligt emne. Kernen i de tre efteruddannelsesforløb var at en kursist selv udviklede, afprøvede og justerede undervisningsforløb, der var bygget op omkring en faglig computermodel som kursisten selv kodede.

**Tabel 1.** De tre kursusforløb i CTiMNAT-projektet. I det tredje forløb blev fagkredsen for kursisterne udvidet til også at omfatte samfundsfag.

Kursusforløb	Skoleår	Antal kursister	Antal repræsentative gymnasier	Antal publicerede undervisningsforløb
CTiMNAT-1	2018/2019	29	17	30
CTiMNAT-2	2019/2021	32	16	17
CTiMNAT-3	2021/2022	58	29	36
SAMLET		119	44	83

## Didaktisk, indholdsmæssig og forskningsmæssig progression over tre kursusforløb

I forbindelse med planlægningen af projektet blev det på forhånd besluttet at der skulle være en progression for aktiviteterne i de tre forløb i form af et skiftende fokus for kursusindhold, intern erfaringsopsamling på møder o.l., evaluering samt forskning. I de tre evalueringsrapporter (Buch et al., 2019; Hansen et al., 2021; Hansen et al., 2022) er der i detaljer gjort rede for progressionen i de tre kursusforløb. Kursusindholdet opsummeres kort herunder, og forskning og evaluering beskrives under afsnittet "Resultater".

En ph.d.-studerende (tidligere gymnasielærer) samt eksperter i computing education, datalogi og pædagogisk forskning designede og forestod forskningen i forløbene. Forskningsspørgsmålene i projektet betød at empiri, i form af både kvalitative og kvantitative data, blev indsamlet. Forskning beskrives yderligere under afsnittet "Resultater".

## Første kursusforløb (2018/19)

Her var fokus på udvikling, afprøvning, monitorering og evaluering af kursets indhold og struktur. Mere specifikt var der fokus på:

- Formulering af et robust og didaktisk *anvendeligt CT-begreb* med vægt på praksisser, herunder placering af begrebet i forhold til international CT-forskning
- *Operationalisering* af det formulerede CT-begreb med vægt på læreres brug af modellering og simulering, problemanalyse, brug af data, brug af algoritmer og forståelse af kodens struktur og funktion
- Formulering af en *specifik CT-didaktik* med omdrejningspunkt i den innovative CMC-tilgang
- Afprøvning af programmeringsmiljøet NetLogo som *et centralt redskab* i model-baseret CT-undervisning
- Indarbejdelse af ovenstående punkter i *design af et kursusforløb* med vægt på samspillet mellem workshops og kursisternes praktiske opgaver i form af udarbejdelse af en computermodel og et tilhørende undervisningsforløb, herunder afprøvning i egne klasser.

Resultater og erfaringer fra første gennemløb blev indarbejdet i det efterfølgende kursusforløb.

## Andet kursusforløb (2019/21)

Dette forløb blev forlænget på grund af coronarestriktioner. Fokus i forløbet var på udvikling af kursisternes undervisningskompetencer. Mere specifikt var fokus på kursisternes kompetence til at:

- Planlægge et samlet undervisningsforløb med målrettede og målsatte CT-aktiviteter for eleverne, herunder:
  - Overveje modellens rolle i et undervisningsforløb og bringe modellen i spil i udviklingen af elevernes CT-kompetencer og deres faglige forståelse af det modellede fænomen
  - Kode og/eller tilrette en faglig model i programmeringsmiljøet NetLogo med et specifikt undervisningsforløb for øje
  - Implementere en række CT-faglige, elevrettede læringsaktiviteter.

Desuden blev der udviklet og afprøvet en kursusmodel med brug af coaches i kurset i form af deltids-frikøbte gymnasielærere der fungerede som hjælpelærere for projektlederen. Hver coach var i målrettet dialog med mindre hold kursister.

## Tredje kursusforløb (2021/22)

Det tredje kursusforløb blev udvidet, så forløbet også blev udbudt til lærere i samfundsfag. Baggrunden for udvidelsen var erfaringer fra et CMC-inspireret projekt i Region Midtjylland, der havde vist at lærere i samfundsfag havde positivt udbytte af at arbejde med NetLogo og CMC-tilgangen i deres fag, hvor modeller spiller en fremtrædende rolle (Nielsen et al., 2021).

I det tredje kursusforløb var der – ud over det allerede udviklede indhold – fokus på kursisternes fortrolighed med indholdet og deres eventuelle samarbejde ved at:

- Udvikle kursusaktiviteter der træner kursisternes grundlag for at arbejde selvstændigt og didaktisk i dybden med det anvendte programmeringsmiljø (NetLogo)
- Afprøve en udviklet evalueringsskabelon som et målsætnings- og planlægningsredskab for kursisterne
- Arbejde videre med kursisternes metaforståelse af modeller og modellens generiske (fagoverskridende) egenskaber og hvordan denne forståelse kan realiseres i forbindelse med fagrelevante CT-aktiviteter for eleverne.

### *Kursusforløbenes opbygning*

De tre kursusforløb havde i store træk den samme opbygning. Hvert forløb havde tre faser. I den første fase lærte kursisterne programmeringssproget NetLogo, de valgte et fagligt fænomen de ville arbejde med, og de udarbejdede en NetLogo-model med tilhørende elevaktiviteter.

I anden fase afprøvede kursisterne først deres eget undervisningsforløb på egne elever. Derefter afprøvede de endnu et forløb. Andet forløb kunne være et som en anden kursist havde udarbejdet, eller et nyt forløb som kursisten selv udarbejdede.

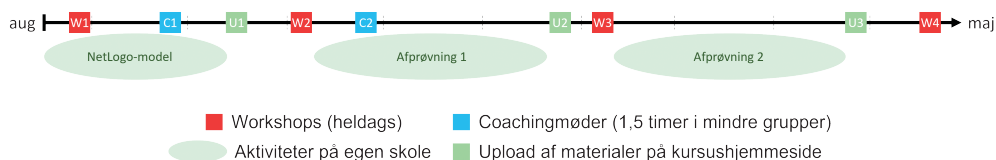
Tredje og sidste fase var en afrunding. Her blev de udarbejdede undervisningsforløb finpudset så de kunne deles med resten af gymnasiesektoren, og kursisterne præsenterede forløbene for hinanden ved en postersession.

En vigtig del af de to sidste kursusforløb var deltagelse af et antal tidligere kursister, der havde rollen som fagspecifikke hjælpelærere (coaches). Coachene deltog i alle workshops, gav faglig sparring på kursisternes modeller og deltog i møder (coachingmøder) med små grupper af kursister. Nedenstående beskrivelse er dækkende for de to sidste forløb.

På figur 3 er vist en oversigt over elementerne i kurset. Kurset er bygget op omkring fire workshops (W1-W4). Der blev afholdt coachingmøder (C1-C2) imellem første og anden workshop og imellem anden og tredje workshop. Før hver workshop skulle kursisterne færdiggøre de aktiviteter som de gik i gang med til sidste workshop, og uploade dem på kursushjemmesiden (U1-U3). Før workshop 3 og 4 afprøvede kursisterne en CT-aktivitet på eget hold.

Kursets opbygning er inspireret af QUEST-projektet, som var et større dansk udviklings- og efteruddannelsesprojekt for grundskolelærere der blev gennemført i 2012-2015.<sup>4</sup> QUEST-projektet implementerede erfaringer fra flere års international forskning i efteruddannelse af undervisere (van Driel et al., 2001; Vescio et al., 2008; Lund Nielsen et al., 2013).

I CTiMNAT-kurserne lagde vi især vægt på at det er en udbredt erfaring at hvis efteruddannelse rent faktisk skal få de involverede lærere til at ændre deres undervisning og deres fagforståelse, så skal efteruddannelsesforløbet opfylde en række minimumskrav om varighed, relevant indhold samt systematisk vekselvirkning mellem ny teori og kursisters eget arbejde med afprøvning i egen undervisning (Krogh, 2016).



Figur 3. Kursusforløbets elementer og deres fordeling gennem forløbet.

Workshoppene blev primært brugt til at følge op på kursisters afprøvning af CT-forløb og til at introducere nye værktøjer, teorier, principper og pædagogiske overvejelser.

Den vigtigste del af kurset foregik på kursisters egen skole. Det gælder færdiggørelsen af NetLogo-modeller, undervisningsaktiviteterne og -materialerne og de to omgange af afprøvning af en undervisningsaktivitet med eget hold. Ved kursets afslutning finpudsede og delte kursisterne mindst ét undervisningsforløb på websiden GraspIT ([www.graspit.dk](http://www.graspit.dk)).

Før og efter første workshop blev kursister som ikke havde erfaring med kodning/programmering, klædt på med de mest basale kodefærdigheder så de blev i stand til at kode deres egen NetLogo-model.

## Resultater

### Besvarelse af forskningsspørgsmål

De forskningsmæssige resultater af det treårige udviklingsprojekt er udgivet i separate internationale forskningsartikler (Musaeus & Musaeus, 2019; Musaeus et al., 2023; Musaeus & Musaeus, 2023).

Fra forskningen ved vi at modellering og *model-based thinking* kan styrke elevers

4. For en beskrivelse af QUEST-projektet, se <https://projekter.au.dk/q-model/quest-projektet>.



forståelse af ikke bare modeller i et givent fag, men også de sammenhænge og de strategier for problemløsning der eksisterer i relation til et fænomen i faget (Sun, 2006; Musaeus et al., 2022).

Flere forskere har arbejdet med at beskrive og afprøve modellering og model-baseret thinking i en uddannelsesmæssig sammenhæng. Modellering er beskrevet af computing education-forskere som et oplagt udgangspunkt for at introducere CT i uddannelsesmæssige sammenhænge (Guzdial et al., 2019). Som nævnt tidligere har danske forskere opnået international interesse ved at være de første til at pege på hvordan modellering, baseret på computere, kan implementeres i eksisterende fag i ungdomsuddannelserne (Caspersen & Nowack, 2013; Nowack & Caspersen, 2014; Caspersen et al., 2018).

At implementere computationel modellering i fagene i det danske gymnasium er ikke trivielt, men kan – som det er vist i projektet – gøres ved fx at anvende agentbaseret modellering, som det sker i NetLogo. Den agentbaserede tankegang og modeleringsproces kan være nemmere for eleverne at arbejde med og forstå frem for mere traditionelle programmeringsmiljøer.

I kraft af sine agenter er et agentbaseret sprog mindre abstrakt og mere håndgribeligt end traditionelle programmeringstilgange såsom objektbaserede, fx Java eller Python (Wilensky & Reisman, 2006). I arbejdet med at integrere CMC-tilgangen i fagene har vi derfor anvendt agentbaseret modellering i form af programmeringsmiljøet NetLogo, og i designet af det samlede kursusforløb er forskning indtænkt i alle tre forløb.

## CMC-tilgangen

### *Integration af modellering og computermodeller i undervisningen*

Vi bruger undersøgelserne beskrevet i afsnittet om den teoretiske baggrund, der fastslår at modellering er en central del af CT, som belæg for at undersøge om modelerings- og kodningsaktiviteter kan integreres i gymnasieundervisningen. I første kursusforløb havde forskningen således fokus på kursets design og struktur og dermed på at besvare det første forskningsspørgsmål: Var den generelle idé om at integrere computermodeller og modellering i eksisterende fag holdbar, og kunne lærere og elever arbejde med aktiviteter designet efter CMC-tilgangen?

Det blev undersøgt ved hjælp af flere metoder hvorvidt CMC-tilgangen var brugbar som fundament for design og gennemførelse af læringsaktiviteter for både kursister og elever. Spørgeskemaundersøgelser af elevers selvrapportering og fokusgruppeinterviews af lærere blev kodet, sammenlignet og analyseret af flere forskere. Resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen, der dækkede 22 underkategorier af CT (se Musaeus & Musaeus, 2019), viste at eleverne fik øget forståelse af sammenhængen mellem

kodning, modellering og faglige fænomener, samtidig med at de fik udbygget deres faglige indsigt. Resultater fra fokusgruppeinterviews med lærere viste desuden at de følte sig trygge ved at arbejde med programmeringsmiljøet og fik mulighed for at arbejde med kendt stof på en ny måde samt med nye idéer til modeller til brug i undervisningen. Se en detaljeret beskrivelse af data og resultater i Musaeus & Musaeus (2019) og evalueringsrapporten (Anonym, 2018).

### *Støtte til design af egne læringsaktiviteter og computermodeller*

I det midterste kursusforløb var forskningen fokuseret på hvorvidt den succesfulde CMC-tilgang og computationel modellering kunne anvendes af kursisterne til design af egne læringsaktiviteter og computermodeller for deres elever, for at besvare forskningsspørgsmål to og tre.

Det blev registreret hvor mange kursister der var i stand til at producere computermodeller og læringsaktiviteter i løbet af kursusforløbet, og hvor mange af kursisterne der kunne anvende disse i egen undervisning. Flere kursister arbejdede i par, og alle par producerede en computermodel med tilhørende læringsaktiviteter. Alle kursister udviklede computermodeller og læringsaktiviteter. I alt blev der udviklet eller tilpasset 26 computermodeller med tilhørende læringsaktiviteter i andet kursusforløb (se evalueringsrapport for detaljer (Hansen et al., 2021)). Heraf blev 17 forløb publiceret på [www.graspit.dk](http://www.graspit.dk).

I alle tre kursusforløb blev kursisterne præsenteret for CMC-tilgangen og computationel modellering som begreb (se en nærmere beskrivelse af kursusforløbene under afsnittet "Kursusforløbenes opbygning"). Alle computermodeller og læringsaktiviteter produceret af kursisterne blev afprøvet i deres egen undervisning, hvilket kan besvare forskningsspørgsmål to om hvorvidt kursisterne opnåede kompetencer til selv at designe disse aktiviteter og materialer. I forbindelse med det tredje kursusforløb (N = 42) vurderede 86 % af kursisterne at de havde forbedret deres egne kompetencer til at inddrage computationelle elementer i undervisningen, og 70 % vurderede at deres egen undervisning om modeller og modellering var blevet mere kvalificeret. Vi konkluderer heraf at workshops, sammen med coachingmøder og afprøvning på egen skole, udgjorde en god struktur for kursisters arbejde med udvikling af modeller og undervisningsforløb, hvilket underbygger besvarelsen af forskningsspørgsmål nummer to.

I forbindelse med andet kursusforløb blev der udviklet en skabelon til brug af kursisterne til design af didaktiske spørgsmål til eleverne, som støttede dem i deres computationelle modellering. Skabelonen blev udviklet ved hjælp af *design-based research* som indebar design-iterationer af skabelonen baseret på samarbejde med kursisterne. Skabelonen præsenterer både elementer af computationel modellering som vedrører det faglige område (fx et fænomen i fysik), og elementer som vedrører det compu-

tationelle område (fx variable og værdier i programmet). Teorien om computationel modellering som begreb er beskrevet i Nowack & Caspersens (2014) arbejde og ligger til grund for udformningen af skabelonen og de to områder (det faglige og det computationelle). Skabelonen blev anvendt af kursisterne til design af didaktiske spørgsmål til eleverne, som en del af læringsaktiviteterne om computationel modellering. Flere forskere foretog en kodning, sammenligning og efterfølgende analyse af kursisters egne producerede læringsaktiviteter. Disse resultater viste at alle kursister var i stand til at designe og producere både computermodeller og tilhørende didaktiske spørgsmål der refererede til både det faglige og det computationelle område, ud fra skabelonen (Musaeus et al., 2023). Herved kunne forskningsspørgsmål tre besvares positivt.

## Elevernes læringsudbytte

I det tredje – og foreløbig sidste – kursusforløb var forskningen fokuseret på elevernes læring med computermodeller integreret i fag. Fra tidligere forskningsarbejde, der bygger på tilsvarende idéer og principper med at undersøge eleverne læring i et specifikt fag (bioteknologi), vides det at sammenlignet med traditionel undervisning lærer eleverne bioteknologifaget bedre når de arbejder med faglige computermodeller, og at eleverne samtidig opnår computationelle kompetencer igennem dette arbejde (Musaeus et al., 2022). For at undersøge om dette fænomen også var gældende for elever hvis lærere havde deltaget i CTiMNAT-projektet, blev eleverne testet i deres modelleringskompetencer og deres evne til at tænke computationelt ved hjælp af spørgsmål fra validerede tests (Dagiené & Sentance, 2016), efter de havde deltaget i kursisters læringsaktiviteter. Der blev desuden anvendt en kontrolgruppe af tilsvarende elever og klasser som blev undervist traditionelt (uden computermodeller), og deres testresultater blev sammenholdt med de klasser der havde arbejdet med læringsaktiviteter inden for computermodellering.

Elevernes computationelle tænkning og modelleringsfærdigheder blev målt med både *åbne spørgsmål* og *multiple choice-spørgsmål* i de anvendte tests. Elevernes svar på de åbne spørgsmål blev kodet af flere forskere og analyseret. Ved sammenligningen viser foreløbige resultater fra elevernes svar at eleverne blev bedre til algoritmisk og computationel tænkning gennem arbejdet med computationel modellering. Evnen til at kommunikere med en computer i form af en sekvens af instrukser der indeholder både loop og en trinvis beskrivelse, blev bedre hos eleverne der havde deltaget i kursisters læringsaktiviteter med computermodeller. Desuden gav flere elever sig i kast med at skrive egentlig kode som svar på et spørgsmål og med at skrive instrukser til en computer, efter de havde arbejdet med computermodeller i fagene matematik og samfundsfag. Endelig blev eleverne bedre til at forholde en computermodel til et virkeligt fænomen som modellen repræsenterede, og dermed til at identificere

forsimplinger og begrænsninger i en model, efter at de havde arbejdet med computermødelles i undervisningen (Musaeus & Musaeus, 2023). Tilsammen besvarer disse resultater forskningsspørgsmål fire ved at undersøge hvad elevernes læringsudbytte er ved at deltage i disse nye læringsaktiviteter designet efter CMC-tilgangen.

### *Opfyldelse af intentioner med projektet*

Intentionerne med projektet er skitseret ovenfor (i afsnittet "Intentioner med projektet") og var først og fremmest at lærerne skulle være i stand til selv at designe og producere computermødelles og spørgsmål som gjorde eleverne i stand til arbejde med computermødelles og kode som en del af deres undervisning. Resultater fra evalueringerne af kursusforløbene viser at alle kursister udviklede computermødelles og didaktiske spørgsmål. Nogle kursister arbejdede i par, men alle var aktive i fremstillingen af både computermødelles og læringsaktiviteter.

Forskning i og evaluering af elevernes deltagelse i læringsaktiviteterne viste at 79-95 % af eleverne (N = 662) selv arbejdede med koden ved at tolke og lave ændringer i den (Musaeus & Musaeus, 2019; Hansen et al., 2021). I lyset af at 95 % af de samme elever på forhånd indikerede at de havde "lidt" eller "ingen" forudgående erfaring med at arbejde med computerkode (Hansen et al., 2021), anses disse tal for meget høje.

Elevernes læringsudbytte blev belyst ved hjælp af forskningsspørgsmål nummer fire med specielt fokus på elevernes færdigheder i computationel tænkning og modellering (Musaeus & Musaeus, 2023). Men kursisters (N = 42) egen vurdering af elevernes læring blev undersøgt ved hjælp af en evaluering efter kursusforløb nummer tre. Denne evaluering viste at 67 % af kursisterne vurderede at deres elevs computationelle læring i forbindelse med afprøvning(er) var "god/meget god", og 93 % af kursisterne vurderede at elevernes faglige læring var "den samme som", "bedre end" eller "meget bedre end" ved konventionel undervisning (Hansen et al., 2022).

Desuden var intentionerne med projektet at vise hvordan de deltagende fag kunne præsenteres mere tidssvarende, og at det ikke behøver at opleves af kursisterne som noget der tager ekstra tid i deres undervisning. Følgende citater fra evalueringsrapporten efter tredje kursusforløb (Hansen et al., 2022) viser dette:

- "Jeg er blevet meget mere sikker og effektiv i min inddragelse af mødelles. Jeg har også fået indsigt i hvordan mødelles kan inddrages i forskellige dele af læringsprocesserne med eleverne – fx induktivt og deduktivt".
- "Jeg har altid brugt en del mødelles i fysik, så nu er det en anden type mødelles jeg kommer til at bruge".
- "Når jeg nu har programmer og mødelles der kan bruges mere eller mindre direkte, så har jeg mere mod på at bruge NetLogo-mødelles i min undervisning".

- “[Jeg] vil fremadrettet anvende modellen jeg selv lavede, og vil også prøve at indarbejde andre modeller. Inden kurset havde ingen computermodeller af nogen slags med”.
- “Det [kurset] har givet mig en mulighed for at eleverne kan arbejde med modeller af mikroniveau i kemi, og vi har nogle konkrete modeller at vurdere muligheder og begrænsninger på baggrund af”.
- “Modeller fylder allerede en del i samfundsfag, men dette kursus bidrager med nye vinkler og nye og gode måder at arbejde med dem på”.
- “Eleverne får set faget på en anden måde”.

Endelig var intentionen at alle undervisningsforløb der blev udviklet i projektet, skulle testes og tilrettes og derefter deles offentligt. Alle undervisningsforløb er nu beskrevet, testet og offentligt tilgængelige på hjemmesiden GraspIT ([www.graspit.dk](http://www.graspit.dk)).

## Diskussion og konklusion

### *Et bud på undervisning i at “tænke computationelt” i faglige sammenhænge*

De forskningsspørgsmål og intentioner der var formuleret for projektet, er blevet besvaret og bekræftet. Projektet har demonstreret at i matematik, de naturvidenskabelige fag og samfundsfag er det muligt – med udgangspunkt i CMC-tilgangen og som foreslået af Nowack & Caspersen (2014) – at integrere undervisning om computermodeller og modellering i de eksisterende fag, så flertallet af lærere finder at det styrker og moderniserer fagligheden.

Der er designet, evalueret og beskrevet et kursusforløb for lærere i de indgående fag som giver dem kompetencerne til selv at udvikle undervisningsforløb som – igen under brug af CMC-tilgangen – integrerer computationel tænkning og modellering i egen undervisning.

Der er udviklet et værktøj til at understøtte lærernes arbejde med dette i form af en skabelon for didaktiske elevspørgsmål.

Endelig er det vist at eleverne opnår kompetencer i både computationel tænkning, kodning og modellering ved at deltage i disse aktiviteter. Vi mener at det et stort skridt for lærere og elever i retning af at “tænke computationelt”.

Intentionerne med projektet er dermed blevet indfriet. De mange publicerede undervisningsforløb demonstrerer tydeligt at lærere der deltog i et af de tre kursusforløb, blev i stand til at producere computermodeller med tilhørende undervisningsforløb der opfylder intentionerne i CMC-tilgangen.

Vi finder det markant at en evaluering viste at forløbene – herunder arbejdet med computerkoden – gav faglig og arbejdsmæssig mening for så godt som alle elever.

95 % af eleverne rapporterede at de selv havde skrevet ændringer ind i modelkoden (Hansen et al., 2021). Svar på en række spørgsmål viste desuden at næsten lige så mange elever (> 80 %) oplevede hvordan der var sammenhæng mellem deres kodeændringer og ændringer i modellens opførsel (ibid.).

Desuden gav aktiviteterne – når først lærerne mestrede NetLogo og den nye didaktik – ikke en ekstra arbejdsbyrde for lærerne.

Projektet har dog ikke været uden udfordringer. Som beskrevet ovenfor strakte kursusforløbene sig over et helt skoleår, og kursisterne skulle ind imellem kursets workshops planlægge, gennemføre og rapportere om en række aktiviteter i egen undervisning. Det er velkendt – også internationalt – at ambitiøs kompetenceudvikling af denne type ofte løber ind i udfordringer af strukturel art (Krogh et al., 2019), hvilket også var tilfældet her.

Fokusgruppeinterviews, uformelle samtaler og mailkorrespondance med kursister viste at det gav problemer for mange at få allokeret den nødvendige (og på forhånd anslåede) arbejdstid til deres kursusaktiviteter. Desuden havde flere kursister vanskeligt ved at involvere kolleger i de nye idéer om undervisning. Mange oplevede manglende opbakning fra skolens ledelse. Dertil kom at mange skoler stadig ikke har en strategi for udvikling af den computationelle undervisning, så nogle kursister i hjemmeskolen følte at de arbejdede i et udviklingsmæssigt vakuum.

Nogle af disse udfordringer var nemmere at håndtere for kursister der deltog sammen med én eller flere kolleger fra samme skole, så der var mulighed for samarbejde. I det ovenfor omtalte QUEST-projekt var det en del af lærernes kompetenceudvikling at de systematisk skulle involvere fagkolleger på egen skole i aktiviteter som tog udgangspunkt i kursusaktiviteter. Denne del af QUEST-projektet valgte vi ikke at arbejde med i CTiMNAT, hvor fokus ikke har været på at udvikle skolerne, men på at udvikle didaktik og undervisning.

### *Fremtid for computationel undervisning i gymnasiet?*

CTiMNAT-projektet er afsluttet på et tidspunkt hvor der er stor usikkerhed om nye fag og fagligheder i gymnasiet i forbindelse med elevernes udvikling af digitale og computationelle kompetencer. Hvem skal undervise i hvad, med hvilke mål og på hvilke vilkår?

Der er udbredt enighed blandt en lang række aktører om at der er et påtrængende behov for ændringer, men hverken politisk eller didaktisk er der samlede og tydelige bud på hvordan disse ændringer – herunder fremtidig undervisning knyttet til begrebet computationel tænkning – konkret kan realiseres.

De danske overvejelser om at undervise i CT tog fart da Vækstrådet i 2016 i en rapport anbefalede at CT skulle gøres til en “integreret og obligatorisk del af undervisningen i [bl.a.] grundskole og ungdomsuddannelser” (Danmarks Vækstråd, 2016,

s. 6). Siden er der fulgt en række initiativer, hvoraf det vigtigste er grundskolens forsøgsfag digital teknologiforståelse, som er blevet afprøvet i stor skala på 42 skoler. Faget indeholder fire kompetenceområder: computationel tankegang, teknologisk handleevne, digital design og digital myndiggørelse (UVM, 2021b).

Afprøvningen sluttede i sommeren 2021, men en politisk beslutning om fagets fremtid i grundskolen er endnu ikke taget. Dermed er grundlaget for at skabe sammenhæng mellem en (altså stadig uafklaret) udvikling i grundskolen og en (endnu mere uafklaret) udvikling i gymnasiet usikkert og uigennemskueligt.

En rapport fra november 2022 fra bl.a. Akademiet for de Tekniske Videnskaber og Den Nationale Alliance for digital Teknologiforståelse peger på at politikernes tøven er stærkt problematisk: Det haster med at gøre faget digital teknologiforståelse obligatorisk i grundskolen, og derfor haster det også med en indsats som sætter gymnasiet i stand til at bygge videre på de digitale kompetencer som eleverne får i grundskolen. For gymnasiet anbefaler rapporten at

“digital teknologiforståelse og it-faglighed skal skrives frem i læreplaner for alle fag. [...] Der er brug for at opdatere de eksisterende afsnit om brug af it i undervisningen i læreplanerne for alle fag.” (Den Nationale Alliance for digital Teknologiforståelse, 2022)

Læren fra CTiMNAT-projektet er at en indsats i gymnasiet kan integreres i gymnasiets eksisterende fag og kobles til faget digital teknologiforståelse i grundskolen. En sådan integration vil kunne profitere af og supplere en eventuel styrkelse af det selvstændige fag informatik.

Det er specielt vigtigt at prioritere og konkretisere indsatsen inden for området computationel tænkning, da lærerne i grundskolen finder dette kompetenceområde udfordrende at arbejde med, ikke mindst fordi de finder området “abstrakt” (UVM, 2021b, s. 23). Det er vores håb at CTiMNAT giver et konkret og operationaliserbart bud på hvordan computationel tænkning kan integreres i undervisningen i gymnasiet (og eventuelt i grundskolen) og dermed modvirke tendenser til “abstrakthed”.

Konklusionen på dette projekt er dermed todelt. Denne artikel samt en offentligt tilgængelig hjemmeside med alle udviklede materialer og en beskrevet didaktik (Musa-eus et al., 2020) bidrager med faglige elementer og en didaktik der gør CT-undervisning til et konkret, håndterbart og fornyende element i en række fag.

Desuden bidrager projektet med en beskrivelse af et efteruddannelseskoncept der viser hvordan man kan samarbejde med lærere i deres egen efteruddannelse, så nye efteruddannelsesforløb bliver afprøvet og tilpasset under realistiske omstændigheder i lærernes og skolernes travle hverdag. Vi mener at den beskrevne didaktik, fagelementerne og efteruddannelsen kan være udgangspunkt for en udbredelse som – med



støtte fra en politisk strategi og skolernes ledelser – kan inddrage flere skoler og (endnu) flere lærere på hver enkelt skole.

Afslutningsvis vil vi gerne takke Danske Science Gymnasier (DASG) for kvalificeret sparring på projektet og Villum Fonden for økonomisk støtte til projektet.

## Referencer

(Evalueringsrapporter fra CT-projekter er mærket med en asterisk)

- \*Anonym (2018). *CT i Gymnasiefag. Afsluttende rapport til Region Midtjylland/Regional udvikling. April 2018*. Lokaliseret 02/01/2023 på [https://cctd.au.dk/fileadmin/user\\_upload/CT\\_i\\_Gymnasiefag-afslutningsrapport-ur.pdf](https://cctd.au.dk/fileadmin/user_upload/CT_i_Gymnasiefag-afslutningsrapport-ur.pdf).
- \*Buch, J., Etches, A., Nielsen, K., Musæus, L.H. & Hjorth, A. (2019). *Computational Thinking i Matematik og Naturvidenskab (CTiMNAT). Evaluering af kursusforløbet efter første gennemløb 2018-2019*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://science-gym.dk/evaluer/CTiMNAT-evaluering-20182019.pdf>.
- Caeli, E.N. & Bundsgaard, J. (2019). "Datalogisk tænkning og teknologiforståelse i folkeskolen tur-retur". *Tidsskriftet Læring og Medier (LOM)*, 11(19), s. 1-30.
- Caspersen, M.E. & Nowack, P. (2013). "Computational Thinking and Practice. A Generic Approach to Computing in Danish High Schools". *Proceedings of the Fifteenth Australasian Computing Education Conference*, 136, s. 137-143.
- Caspersen, M.E. & Skov, S. (2022). "Informatik som almen kompetence på alle uddannelsesniveauer". *Acta Didactica Norden*, 16(4), 9 sider.
- Caspersen, M.E., Iversen, O.S., Nielsen, M., Hjorth, A. & Musæus, L.H. (2018). *Computational Thinking – hvorfor, hvad og hvordan. Efter opdrag fra Villum Fondens bestyrelse*. Lokaliseret 02/01/2023 på [https://www.it-vest.dk/fileadmin/user\\_upload/pdf/2018-12-18--Computational-Thinking--hvorfor-hvad-og-hvordan--PRINT-2-sided.pdf](https://www.it-vest.dk/fileadmin/user_upload/pdf/2018-12-18--Computational-Thinking--hvorfor-hvad-og-hvordan--PRINT-2-sided.pdf).
- Dagiené, V. & Sentance, S. (2016). "It's Computational Thinking! Bebras Tasks in the Curriculum". I: A. Brodnik & F. Tort (red.), *Informatics in Schools. Improvement of Informatics Knowledge and Perception* (s. 28-39). ISSEP 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9973. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46747-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46747-4_3).
- Danmarks Vækstråd (2016). *Rapport om kvalificeret arbejdskraft*. Lokaliseret 02/01/2023 på [https://www.co-industri.dk/files/2021-07/Rapport\\_om\\_kvalificeret\\_arbejdskraft.pdf](https://www.co-industri.dk/files/2021-07/Rapport_om_kvalificeret_arbejdskraft.pdf).
- Danske Gymnasier (2021). *Danske Gymnasiers 2025-strategi. Uddannelse skaber samfund*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://danskegymnasier.dk/wp-content/uploads/2021/02/Danske-Gymnasiers-2025-strategi-1.0.pdf>.
- Den Nationale Alliance for digital Teknologiforståelse (2022). *Et uddannelsessystem til Danmarks digitale fremtid. Hvad er næste skridt?* Lokaliseret 02/01/2023 på <https://algoritmer.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/brief-hvordan-sikrer-vi-et-uddannelsessystem-til-danmarks-digitale-fremtid.pdf>.



- Duschl, R.A. & Grandy, R. (2013). "Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science". *Science & Education*, 22, s. 2109-2139.
- EVA (2017). *Den faglige udvikling i gymnasiet. En undersøgelse af udviklingen i dansk, engelsk, matematik og fysik i perioden 1967-2017 – belyst gennem læreplaner og eksamenssæt*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.eva.dk/sites/eva/files/2020-01/Rapport%20-%20Den%20faglige%20udvikling%20i%20gymnasiet%20-%20layoutet%20-%20rev160120.pdf>.
- Folketinget (2022). *Bekendtgørelse af lov om de gymnasiale uddannelser (LBK nr. 957 af 22/06/2022)*. Lokaliseret 02/01/23 på <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2022/957>.
- Musaeus, L. H., Nowack, P., Caspersen, M. E., Musaeus, P. (2023). *A Template for Teaching Computational Modelling. A Design-Based Research Study with Teachers in Danish High Schools* [manuskript indsendt til publikation].
- Musaeus, L. H., Musaeus, P. (2023). *Learning Transfer from Computational Modeling to Computational Thinking* [manuskript indsendt til publikation].
- GL (2016). *GL's bemærkninger til forslag til lov om de gymnasiale uddannelser*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.gl.org/uddannelse/udd.politik/Hoerings svar/Gymnasielov%202016%20-%20GL's%20h%C3%B8ringssvar.pdf>.
- Guzdial, M., Kay, A., Norris, C. & Soloway, E. (2019). "Computational Thinking Should Just Be Good Thinking". *Communications of the Association of Computing Machinery*, 62(11), s. 28-30. DOI: 10.1145/3363181.
- \*Hansen, J.Ø., Musaeus, L.H. & Nielsen, K. (2021). *Computational Thinking i Matematik og Naturvidenskab (CTiMNAT). Evaluering af projektets andet kursusforløb 2019-2021*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://science-gym.dk/evaluer/CTiMNAT-evaluering-20192021.pdf>.
- \*Hansen, J.Ø., Musaeus, L.H. & Nielsen, K. (2022). *Computational Thinking i matematik, naturvidenskab og samfundsfag (CTiMNAT). Evaluering af projektets tredje kursusforløb 2021-2022*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://science-gym.dk/evaluer/CTiMNAT-evaluering-20212022.pdf>.
- Haue, H. (2003). *Almendannelse som ledestjerne. En undersøgelse af almindannelsens funktion i dansk gymnasieundervisning 1775-2000*. Afhandling ved Syddansk Universitets Humanistiske Fakultet. Odense: Syddansk Universitetsforlag.
- Heymann, M., Gramelsberger, G. & Mahony, M. (red.) (2017). *Cultures of Prediction in Atmospheric and Climate Science. Epistemic and Cultural Shifts in Computer-based Modelling and Simulation*. New York: Routledge.
- Johnson, A. & Lenhard, J. (2011). "Toward a New Culture of Prediction". I: A. Nordmann, H. Radder & G. Schiemann (red.) (2011). *Science Transformed? Debating Claims of an Epochal Break* (s. 189-199). University of Pittsburgh Press.
- Krogh, L.B. (2016). "Professionel udvikling af naturfagslærere – brikker til et fælles afsæt". *MONA*, 2016(4), s. 57-70.
- Krogh, L.B., Nielsen, K. & Waadegaard, N. (2019). "SUN-projektet. Skolebaseret udvikling af naturfag og kapacitet i gymnasiet". *MONA*, 2019(3), s. 47-67.

- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J. & Werner, L. (2011). "Computational Thinking for Youth in Practice". *Association of Computing Machinery Inroads*, 2(1), s. 32-37. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929902>.
- Lund Nielsen, B., Pontoppidan, B., Sillasen, M., Mogensen, A. & Nielsen, K. (2013). "QUEST – et storskalaprojekt til udvikling af naturfagsundervisning". *MONA*, 2013(2), s. 49-66.
- Lynning, K.H. (2007). *Kampen om dannelsesbjerget. En analyse af debatter om naturvidenskabernes rolle i det danske gymnasium i forbindelse med skolereformerne i 1903 og 1958*. Ph.d.-afhandling, Aarhus Universitet.
- Musaeus, L.H. & Musaeus, P. (2019). "Computational Thinking in the Danish High School. Learning Coding, Modeling, and Content Knowledge with NetLogo". *Proceedings of the 50th Association of Computing Machinery Technical Symposium on Computer Science Education*, s. 913-919. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287452>.
- Musaeus, L.H., Hansen, J.Ø., Damsgaard-Madsen, M. & Nielsen, K. (2020). *Computational thinking i gymnasiefag. En modelbaseret didaktik*. Aarhus: Center for Computational Thinking & Design, Aarhus Universitet. <https://cs.au.dk/fileadmin/www.cct.au.dk/cctd.au.dk/PDFs/CT-didaktik2020.pdf>.
- Musaeus, L.H., Tatar, D. & Musaeus, P. (2022). "Computational Modelling in High School Biology. A Teaching Intervention". *Journal of Biological Education*, s. 1-17. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2118353>.
- \*Nielsen, K., Damsgaard-Madsen, M. & Musaeus, L.H. (2021). *Modellering og Computational Thinking i Gymnasiefag. Afsluttende rapport til Region Midtjylland/Regional udvikling*. Lokaliseret 02/01/2023 på [https://cctd.au.dk/fileadmin/www.cct.au.dk/cctd.au.dk/PDFs/Evaluering\\_af\\_MCTiG-rapport.pdf](https://cctd.au.dk/fileadmin/www.cct.au.dk/cctd.au.dk/PDFs/Evaluering_af_MCTiG-rapport.pdf).
- Nowack, P. & Caspersen, M.E. (2014). "Model-Based Thinking and Practice. A Top-Down Approach to Computational Thinking". *Proceedings of the 14th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, s. 147-151. <https://doi.org/10.1145/2674683.2674686>.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms. Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Resch, M., Kaminski, A. & Gehring, P. (red.) (2017). *The Science and Art of Simulation I. Exploring – Understanding – Knowing*. Berlin: Springer.
- Sun, R. (red.) (2006). *Cognition and Multi-Agent Interaction. From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge University Press. S. 79-99.
- UVM (2021a). *Kemi A, B og C, stx. Vejledning*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.uvm.dk/-/media/filer/uvm/gym-vejledninger-til-laereplaner/stx/210708-kemi-a-b-c--stx-vejledning-juni-2021.pdf>.
- UVM (2021b). *Forsøg med teknologiforståelse i folkeskolens obligatoriske undervisning. Slutevaluering. Børne- og Undervisningsministeriet. Rapport, oktober 2021*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.uvm.dk/-/media/filer/uvm/aktuelt/pdf21/okt/211004-slutevaluering-teknologiforstaelse.pdf>.

- UVM (2022a). *Vejledning til Biologi A, B og C, stx. Juni 2022*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.uvm.dk/-/media/filer/uvm/gym-vejledninger-til-laereplaner/stx/220826-biologi-c-b-og-a-stx-vejledning-juni-2022.pdf>.
- UVM (2022b). *Vejledning til Fysik A, stx. August 2022*. Lokaliseret 02/01/2023 på <https://www.uvm.dk/-/media/filer/uvm/gym-vejledninger-til-laereplaner/stx/220826-fysik-a-stx-vejledning-august-2022.pdf>.
- van Driel, J.H., Beijaard, D. & Verloop, N. (2001). "Professional Development and Reform in Science Education. The Role of Teachers' Practical Knowledge". *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), s. 137-158.
- Vescio, V., Ross, D. & Adams, A. (2008). "A Review of Research on the Impact of Professional Learning Communities on Teaching Practice and Student Learning". *Teaching and Teacher Education*, 24(1), s. 80-91.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L. & Wilensky, U. (2016). "Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms". *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), s. 127-147.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and instruction*, 24(2), 171-209.
- Wing, J.M. (2006). "Computational Thinking". *Communications of the ACM*, 49(3), s. 33-35.
- Wing, J. (2011). Research notebook: Computational thinking—What and why. *The link magazine*, 6, 20-23.
- Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press.

## English abstract

*In collaboration with teachers from Danish high schools we have developed and evaluated teaching activities which integrate model-based computational methods in STEM education. We have developed and described a teaching strategy for this integrated approach, and we have published research papers and approximately 100 new teaching sequences based on this teaching strategy. A concept for the education of in-service high school teachers, enabling them to utilize this new approach at their home schools, has been designed and developed. The four year project has demonstrated that it is possible to renew existing high school subjects by integration with model-based computational thinking and coding.*